

625.107

O.

n

~~589~~

Shank



2227

625.1

~~5-88~~
6-89

625.1/09/

~~0-75~~
Б 89

1990 К

ОСНОВАНИЯ

устройства железнодорожного пути.

СОСТАВЛЕНО

КАРЛОМ БРЭУНИНГОМ.

Со 109 чертежами в тексте.

Перевод с немецкого инженера П. С.—В. Н. КАЗАКОВА

вт под редакцией
инженера П. С.—А. Ю. БУНДЕЛЯ.

~~Издательство Восток~~
~~Москва~~
~~1924~~
4922

МОСКВА.—1924.

159292
625.109.4
16.12.23
1923-363

5-я ТИПОГРАФИЯ
«ТРАНСПЕЧАТИ» НКПС
«ПРОЛЕТАРСКОЕ СЛОВО»,
Южная пер., д. № 4.

СОДЕРЖАНИЕ.

| | |
|--------------------|--------|
| Введение | Стр. 7 |
|--------------------|--------|

Расчет, наблюдение.—Литература.

I ЧАСТЬ.

| | |
|---|----|
| Действующие в пути силы и результат их воздействия. Виды взаимодействий и сопротивлений | 11 |
| Передача усилий. — Неподвижная нагрузка. — Подвижная нагрузка.—Ударные силы. | |
| Действие сил на рельсовую нитку. | 16 |
| Езда по ровному пути.—По неровному пути.—Движения у рельсового стыка.—Ударные действия у рельсового стыка.—Некруглые колеса. Образование стыковых переломов.—Стыковые уступы.—Стыковые зазоры.—Деформация накладок.—Рельсов.—Образование волнистости.—Боковые воздействия, явления.—Сопротивления трения на прямом участке.—В закруглениях.—Устойчивость рельсов.—Направляющие рельсы.—Продольные сдвигающие силы.—Износ рельсов. | |
| Действие сил на шпалы | 44 |
| Статические воздействия.—Динамические. — Износ деревянных шпал.—Односторонняя нагрузка.—Износ железных шпал. — Упругость деревянных шпал.—Направленные вверх растягивающие усилия.—Боковые воздействия. | |
| Действие сил на крепления | 53 |
| Рельсовые костыли.—Болты. | |
| Действие сил на балласт и полотно | 55 |
| Упругость балластного слоя.—Всего пути.—Несовершенная упругость балласта.—Сдвиги в балласте.—Сопротивляемость балласта.—Распределение давления в балласте.—Сопротивляемость под головками шпал.—Сопротивление поперечному сдвигу.—Продольному сдвигу.—Износ вещества балласта.—Содержание воды в гравелистом балласте.— Действие мороза.—Изменение в положении колес. | |

II ЧАСТЬ.

Устройство рельсового пути.

| | |
|---|-----|
| Технические и хозяйственные требования | 75 |
| Рельсы | 76 |
| Материал рельсов.—Формы рельсов. | |
| Шпалы | 80 |
| Материал шпал.—Заготовка деревянных шпал.—Срок службы.— Форма деревянных шпал.—Железные шпалы.—Бетонные шпалы.— Составные шпалы.—Расстояние между шпалами. | |
| Путевые скрепления | 92 |
| Прикрепление деревянных шпал.—Рельсовые опоры.—Зажимные планки.—Лапчатые подкладки.—Полушки, рельсовые стулья.— Английский рельсовый стул.—Клиновое прикрепление.—Распо- ложение подкладок.—Прикрепление железных шпал.—Напра- вляющих рельсов. | |
| Стыковые соединения | 107 |
| Накладки, стык навесу.—Стыковые мостки.—Распределение шпал у стыка.—Жесткий стык.—Перекрытый стык.—Выводы.— Стыки по наугольнику в разбежку. | |
| Упругие променуточные прокладки | 118 |
| Цель.—Пружинные планки.—Пружинные кольца.—Пружиня- щие скрепления. | |
| Предупредительные меры против угона рельсов | 121 |
| Балласт | 122 |
| Материал балласта.—Форма балластного тела. | |
| Закругления пути, ширина колеи, возвышение наружных рельсов | 127 |
| Ширина колеи.—Боковые давления в закруглениях.—Возвыше- ние рельсов в кривых.—Переходные кривые.—Опытные поездки. | |
| Сохранение пути ? | 134 |
| Положение пути по направлению.—По высоте.—Путевые скре- пления.—Рельсовые стыки.—Замена изношенных частей. | |
| Заключение | 143 |

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Побуждением к изданию настоящего небольшого труда послужили долгие тщательные наблюдения и исследования над верхним строением железнодорожного пути, которые, в дополнение к уже имеющимся другими путями достигнутым результатам, преследовали цель вывести из происходящих в пути под нагрузкой движений и из остающихся изменений состояния пути некоторые закономерности, которые могли бы быть применены в виде оснований, как для чисто теоретической разработки вопросов, касающихся верхнего строения, так и в практическом отношении—для устройства и содержания железнодорожного пути. Если сделанное в этой области и далеко недостаточно для того, чтобы установить, хотя бы приблизительно, закономерность всех запутанных явлений, происходящих в железнодорожном пути, то все-таки систематическое развитие могущих быть предъявленными к железнодорожному пути требований уже на основании результатов бывших до сего времени наблюдений, могло бы служить полезным вкладом в выяснение еще открытых вопросов и побудить к новым исследованиям, в которых дальнейшее усовершенствование устройства пути настоятельно нуждается. Поэтому труд этот имеет в виду не ограничиться изложением и разъяснением обычных способов устройства верхнего строения, но обстоятельно определить, в первую очередь, действующие силы и результаты их действия, поскольку это только возможно по теперешнему состоянию исследований, и из этих наблюдений над отдельными типичными устройствами пути выяснить, насколько они способны сопротивляться этим воздействиям.

Дальнейшая точка зрения, которая обусловила выбор материала и способ изложения, заключалась в стремлении приспособить этот труд для введения молодых техников в изучение железнодорожного верхнего строения, и позднее доста-

вить им несколько опорных пунктов, при устройстве жел.-дорожного пути на практике и его содержании. Обстоятельные расчеты избегнуты, так как они при развитии вопроса мешают охватить все в целом, и т. к. они уже компетентными лицами настолько выполнены, насколько современное состояние науки делает это возможным. Поэтому изложение вообще довольствуется результатами обстоятельных расчетов и указанием соответствующей литературы, но не предполагает для понимания этого труда в читателях более высоких теоретических познаний, чем дает средняя техническая школа.

Подслак.
Март, 1920 г.

Брунинг.

ВВЕДЕНИЕ.

Расчет, наблюдение.

Самым надежным основанием для устройства железнодорожного пути является знание действующих в пути сил и их воздействий на все составные части пути и на состояние материалов, из коих он построен. Два средства являются к услугам для достижения этого знания; во-первых,—это расчет, который с помощью некоторых определенных данных относительно величины внешних сил и прочности и упругости материалов выводит лишь из неизбежных математических законов напряжения в пути, и по ним придает отдельным частям их формы и размеры; во-вторых,—наблюдение, которое, прежде всего, стремится установить все появляющиеся в пути изменения и исследовать их причины, затем, из этих полученных у действительности результатов вывести закономерность явлений и создать такое путевое устройство, в котором осуществлены обеспечивающие сохранность пути влияния, а вредные по возможности устранены. На самом деле, однако, ни расчет, ни наблюдение каждое в отдельности, не дают возможности вполне проникнуть в чрезвычайно разветвленные взаимоотношения между действующими силами, материалами и всем составом пути. Оба средства должны непременно работать совместно, дополнять друг друга, и на взаимных началах применяться там, где какое либо из них не дает решения.

Внешние действующие силы проявляются в двойной форме, либо—как неподвижные грузы и другие продолжительные воздействия, то есть, как статические силы, либо—как следствия движения масс в форме ударов и колебаний, то есть,—как динамические воздействия. Статические воздействия известны наперед в виде вертикальных давлений колес, или могут быть определены путем подсчета, как натяжения болтов,

боковые давления колес и напряжения от действия теплоты. Поэтому подсчет находит здесь определенные, могущие быть непосредственно использованными, основания. Динамические воздействия определяются из совместного действия массы и ее движения, по скорости и направлению. Направление зависит от вида пути. Последний, правда, известен, или легко определяется в спокойном положении, но он меняется под подыскивой нагрузкой, получает поэтому свою служащую мерилом форму только под влиянием самих действующих сил. Из известных масс и скоростей движения, из известных форм покоя и упругих свойств материалов возможно, правда, вывести формы нагруженного пути, и по ним определить действующие силы; однако, способы динамического воздействия слишком разнообразны и запутаны, чтобы можно было получить путем одного расчета применимые, точно отграниченные, численные значения. Поэтому тут должны вступить в свои права в более широком размере наблюдения, которые непосредственно устанавливают действительные движения и деформации под нагрузкой.

Дальше необходимо исследовать, как эти действующие силы воспринимаются путем в форме напряжений и передаются от одной его составной части к другой, пока они в каком-нибудь месте не исчерпаются. Также и эти внутренние процессы могут быть подсчитаны на основании известных законов статики, динамики и теории упругости, поскольку определены движущиеся массы и их упругие свойства, и поскольку внутренние напряжения материала остаются в пределах известных границ, в пределах упругости материалов. Но расчет делается несостоятельным при перенапряжении материала свыше этих пределов, т. к. явления в таком состоянии слишком мало знакомы, а также повидимому слишком мало закономерны. О перенапряжениях, которые всегда проявляются при некоторых динамических воздействиях, можно судить только по их результатам, остаточным деформациям, по о самих деформациях, их особенностях, их развитии и их зависимости от действующих сил можно судить только на основании обширных и правильно поставленных опытов.

Л и т е р а т у р а .

Устройство верхнего строения многосторонне обработано математически с чисто статической точки зрения, особенно—Винклером, Шведлером, Гофманом, Енгесером, Френкалем и другими, основательнее всего в общей связи—Доктором Г. Циммерманом в его труде «Расчет железнодорожного верхнего строения». Предполагаются неподвижные нагрузки в виде колес и совершенная упругость материалов, в том числе и балласта. Подвергнуты также расчету явления, происходящие под действием катящейся нагрузки, между другими: Бедером: «Взаимодействия между колесом и рельсом», Астом: «Взаимоотношения между путем и подвижным составом», чисто динамические взаимодействия—особенно обстоятельно Доктором-инженером Г. Заллером: «Действия ударов в фермах и в верхнем строении». Хотя протекающие в пути явления ни в коем случае не так однородны, как ими они предполагаются при расчетах, и хотя один расчет не в состоянии проникнуть во все явления, которые проходят в пути, тем не менее он остается незаменимым средством для развития определенных основополагающих условий, которым должны удовлетворять отдельные составные части пути, и для придания пути во всем его устройстве равномерной сопротивляемости, а отдельным составным частям его—целесообразных форм и размеров. Наблюдение, которое должно доставлять расчету могущие быть выраженными цифрами основания и вообще заполнять пробелы расчета, не могло по сие время идти в ногу с значительными успехами, которыми может похвастаться метод расчета, вследствие тех больших, без сомнения, трудностей, которые встречаются на пути всеобъемлющих основательных предпрятий в этой области.

Все же ряд выдающихся отдельных наблюдений свидетельствует о заботливости, которая в течение продолжительного времени была направлена на эту область и, между другими, наблюдения и опыты М. М. фон Вебера над устойчивостью пути и его отдельных составных частей и над прочностью креплений, наблюдения Ваяртынского над упругими движениями и деформациями рельсов, шпал, балласта и земляного полотна под катящимся грузом,—очень ценные основания для расчета

пути, далее—исследования Шуберта, которые дают основополагающие разъяснения, главным образом, относительно остающихся деформаций и устойчивости балластного слоя и земляного полотна, Генцшеля—об упругих соотношениях балластного слоя, исследования Фулка, Фламаша, Аста. Устройство пути в полном объеме с теоретической и практической точек зрения было разработано Вльмом, в: «Современная железнодорожная техника» и Гаарманом в: «Железнодорожный путь».

Только когда удастся получить ясное и исчерпывающее представление об игре сил в ж.-д. пути, могут быть установлены надежные основания для устройства пути, которые несмотря на разнообразие форм, зависящих от примененных сырых материалов, местного климата и унаследованных привычек, являются надежным путеводителем для полного приспособления во всех условиях к пред'являемым к нему запросам. В последующих исследованиях будет сделана попытка проследить за этой игрой сил в ее отдельных проявлениях и извлечь из таковой некоторые заключения относительно тех требований, кои должны пред'являться к постройке главных линий, и относительно способности наиболее ныне употребительных форм верхнего строения удовлетворить этим требованиям.

При этом относительно устарелых и оставленных форм слишком распространяться не предполагается, а речь будет идти лишь о повсему ныне применяемом в открытых железнодорожных путях устройстве пути на поперечинах.

І ЧАСТЬ.

Действующие в пути силы и результаты их воздействия.

Виды воздействий и сопротивлений.

Передача усилий.

Действующие в ж.-д. пути силы имеют происхождение, в первую очередь, в подвижном грузе, затем, в физических явлениях, как расширение материалов от теплоты, разжижение от мокроты, вынуживание от мороза, в химических разложениях, как гниение, ржавчина. Подвижная нагрузка проявляется прежде всего в форме вертикального давления колеса, которое, для определения грузоподъемности пути, в Германии принимается в настоящее время не свыше 9 тонн, в некоторых других странах—значительно выше. Незначительность площади опоры колеса вызывает высокие давления на единицу площади у головки рельса, тем больше, чем меньше диаметр колеса, доходящие уже под неподвижным грузом до $2000 \frac{\text{клар.}}{\text{см}^2}$ и выше. От головки рельса давление распространяется на глубже лежащие части пути, однако, обыкновенно, не в виде простого сжимающего напряжения, но при содействии изгибающих напряжений, обусловливаемых упругостью пути, расположением нагрузки вне точек опоры рельса, и передачей отдельных нагрузок на широкие упругие опорные поверхности. Изгибающие напряжения, которые представляют собой соединения вытягивающих и сжимающих напряжений,—могут восприниматься только крепко связанными частями, каковы—рельсы, накладки, шпалы, но не сыпучими массами, каковы—балластный слой и земляное полотно, которые могут воспринимать исключительно давящие и сдвигающие усилия.

Всякое давление вызывает сдвигающие напряжения, которые в сыпучих массах ограничиваются коэффициентом трения вещества.

Неподвижная нагрузка.

Статический расчет пути на поперечинах рассматривает рельсовую нитку, обыкновенно, как бесконечной длины постоянного сечения балку на частых, отдельных опорах, на упруго-податливом основании, находящуюся под действием неподвижных отдельных грузов, и выводит в зависимости от них упругие деформации в пути, напряжения в поперечных сечениях рельсов и шпал и давление на балласт, которое принимается, как находящееся в постоянном соотношении с просадкой пути. Циммерман исходит в своих расчетах из устройства пути на продольных лежнях, который он рассматривает, как бесконечный упругий и опирающийся по всей своей длине прут, вычисляет упругую линию прута, давления на балласт, уклоны упругой линии, изгибающие моменты и поперечные силы, прежде всего—под влиянием одного отдельного груза. Совместное действие нескольких грузов в каком нибудь месте прута равно алгебраической сумме действий всех отдельных грузов в этом месте. Он исследует затем влияния нарушения непрерывности в пруте, находит, например, что рельсовый стык, в коем концы рельсов могут свободно вертикально передвигаться один относительно другого, не прерывая, однако, изгибающего момента, втрое глубже опускается под грузом, чем в случае непрерывного прута, и вдвое больше, чем в последнем случае, если концы рельсов хотя и соединены неподвижно, но изгибающий момент у стыка прерван, что, наконец, при совершенном перерывании прута наибольшее опускание учетверяется, на большая поперечная сила удваивается, наибольший изгибающий момент увеличивается на $4,3\%$. При полном перерыве прута в двух местах получается прут конечной длины и, как частный случай,—под двумя симметричными отдельными грузами—поперечина.

Упругая линия пути на поперечинах (чертеж 1) довольно точно совпадает с таковой в случае пути на продольных лежнях, при условии одинаковых в обоих случаях величин момента инерции рельсовых прутьев и опирающейся на балласт площади. Глубина оседания d под наибольшей нагрузкой от колеса составляет при сильном верхнем строении на жестком балласте в среднем около 2 миллим., под'em f перед колесом—только 23-ю часть, уклон $tg\tau$ —около 1:600. Давление рельса на шпалу Гофманом и Шведлером рассчитывается для известных положений нагрузки, как давление на опоры балки, покоящейся на упругих отдельных опорах, но оно может быть выведено для тесного расположения шпал также и из давлений на продольных лежнях, в том виде, как этот вопрос обстоятельно трактуется Циммерманом, так как давление на балласт от

шпалы, а в месте с ними давление рельсов находится в постоянном отношении к оседанию. В сильных путях с тесным расположением шпал наибольшее давление, передаваемое на шпалу рельсом, достигает, согласно расчета, лишь около половины величины давления колеса, а по наблюдениям Васютинского еще меньше.

Из составленных Циммерманом уравнений получаются следующие общие зависимости между рельсами, балластом и поперечницами,—для последних—до предельной длины около 3 метров:

1. Изгибающий *рельс момент—тем меньше, чем теснее расположение шпал, чем жестче шпала и чем менее податлив балласт.

2. Давление рельса на шпалу—тем незначительнее, чем жестче рельс, чем теснее расположение шпал и чем податливее балласту.



Черт. 1. Просадка пути под неподвижной нагрузкой.

3. Изгибающий шпалу момент—тем незначительнее, чем более гибка и чем длиннее шпала и чем менее податлив балласт.

4. Давление на балласт—тем незначительнее, чем жестче рельс и шпала, чем длиннее шпала и чем податливее балласт.

Рельсовые накладки Циммерман расчитывает в предположении стыка на весу и полной передачи давления рельса на опорные поверхности шпал и кладок, и находит, что напряжение в накладках—тем незначительнее, чем больше жесткость рельсов по отношению к жесткости накладок, и чем незначительнее расстояние между стыковыми шпалами, далее—что, хотя с возрастанием длины накладок давление у опорных плоскостей накладок и уменьшается, но изгибающее напряжение сильных накладок в поперечном разрезе у стыка возрастает, что, наконец, с возрастанием износа опорных плоскостей накладок, сами накладки разгружаются, во всяком случае—во вред как отдельным частям пути, так и всему составу пути.

Он доказывает дальше, что накладки, по сравнению с другими поддерживающими частями пути, очень сильно работают, и им приходится воспринимать напряжения свыше

$$3.000 \frac{\text{кг/см}^2}{\text{см}^2}.$$

Подвижная нагрузка.

Однако, неподвижная нагрузка менее оказывает воздействию на весь состав пути свой своеобразный отпечаток, чем подвижная нагрузка с сопутствующими ей явлениями, с увеличенными статическими и с динамически действующими силами. Эти виды сил обуславливаются, отчасти, родом устройства и воздействием подвижного состава, колебаниями рессор, неуравновешиваемыми действиями масс, быстрой сменой нагрузки и разгрузки колес, отчасти,—формой пути. Косо направленное давление движущихся дышел у паровозных осей уменьшает или увеличивает давление колес ведущих осей до 25% от неподвижной нагрузки и вызывает колебания всего паровоза около горизонтальной поперечной оси, смещенные один относительно другого движущие мотыли влияют на качательное движение вокруг вертикальной оси. Меняющиеся напряжения в сквозном тяговом пруте бросают и прижимают подвижной состав в боковом направлении к рельсам, особенно—в закруглениях пути. Дальнейшие динамические воздействия возникают вследствие скользящих движений, вследствие принудительного изменения направления движения, особенно, вследствие непосредственного жесткого удара, имеющего по большей части причиной неисправность пути.

Скользящие движения появляются прежде всего между колесом и рельсом, потом—в упруго-подвижной колесе во всех местах соприкосновения соединенных частей, поскольку они не соединены между собой неподвижно, особенно—между рельсами и накладками, между рельсами и их постелью из шпалах, во всех скреплениях, между шпалами и балластом, и между отдельными составными частями самого балласта. Последствием является сильная работа трения, разрушение входящих в состав пути материалов и износ в соприкасающихся поверхностях. Изменения направления движения возникают в вертикальном направлении вследствие неровностей пути, в горизонтальном направлении—от подобных же причин, и от извилистых движений подвижного состава. Если эти изменения действуют не в форме скоропреходящих, а постоянных сил, то они имеют свойства статических сил, которые часто могут рассматриваться статически как центробежные силы, какими они и являются в закруглениях.

Ударные силы.

Удар возникает вследствие внезапного нарушения движения масс. Мерилом для освобождающейся при этом работы удара служит заключаемая в ударяющем теле живая сила $\frac{1}{2} mv^2$, в которой m —ударяющая масса, v —скорость перед ударом, выраженная в метрах в секунду. Действие удара сказывается двойным образом, во-первых,—как уничтожение

живой силы, проявляясь в форме перенапряжения материала, износа материала, раздавливания материала. Этот род действия есть необходимое последствие удара масс; он подвигается тем резче, чем незначительнее упругая податливость ударяющихся друг о друга тел. Второй род действия сказывается, как превращение живой силы удара во внутреннее упругое напряжение материала, обуславливающее возникновение новых движений, проявляющихся, по большей части, в колебательной форме. Они не непременно ведут к перенапряжениям материала, но лишь тогда, когда во внутренних напряжениях переступается граница упругости. Это превращение живой силы в живое напряжение—тем совершеннее, чем больше упругая податливость соударяющихся тел, чем больше промежуток времени, в течение которого протекает работа удара. А так как каждому телу присуща известная упругость, то полное действие удара никогда не проявляется мгновенно, но лишь в течение некоторого, хотя бы очень краткого, промежутка времени, соответствующего тому, которое необходимо для осуществления работы сил упругости.

Когда неподвижное упругое тело подвергается удару падающего тела, то не вся его масса принимает сразу участие в упругой работе, но сначала—лишь верхний, подвергнувшийся удару, слой. Ибо инерция массы, т.-е. сопротивление, которое противопоставляет каждая масса нарушению ее состояния покоя или движения, дает себя знать сначала в самом верхнем слое, почему действует замедляющим образом на передачу усилий вниз. Чем глубже распространяется опускание, тем больше становится противодействующая масса; тем больше также становится общее упругое напряжение внутри массы, пока наступает момент, в котором противодействующие силы уравнивают силу удара и воспрепятствуют дальнейшему опусканию. При процессе часть силы удара, которая используется исключительно для преодоления инерции массы, уничтожается, в то время, как остальная часть превращается в упругое напряжение, которое, в свою очередь, действует обратно вверх и обуславливает игру колебаний, которая поглощается лишь постепенно инерцией масс и внутренним трением. Однако, при очень малой продолжительности такое колебание не приобретает достаточно времени, чтобы вполне распространиться до нижайших слоев большой массы, но ограничивается более или менее верхней частью массы, между тем как нижняя часть подвергается лишь почти равномерному, соответствующему спокойной нагрузке, давлению. Этот род действия удара играет в пути большую роль и имеет тем большее значение, что речь идет всегда об очень незначительных высотах падения (удара) и кратковременных нагрузках. Часть приложенной к рельсам силы удара перерабатывается уже массой самих рельсов, другая—шпалами, остаток—балластом и земляным полотном.

Чем больше масса колес, тем больше может она поглотить силы удара и предохранить основание от последствий удара. Этим объясняется благоприятное влияние тяжести колес на продолжительность сохранения ею ее положения. Упругая передача силы выливается в еще более благоприятную форму, если она не распространяется непосредственно от места возникновения до основания, но, как это по большей части бывает в колесе, при содействии более способствующей равномерному распределению усилий упругости при изгибе. Заллер рассчитывает действия удара, превращая их в статические напряжения и определяя величину спокойных нагрузок, под которыми колесо упруго прогибалась бы также глубоко, как под более незначительными ударными нагрузками. Он находит действие удара тем менее вредным, чем оно совершеннее превращается в работу упругих деформаций, т. е., чем более упругость и масса ударяемого тела и чем меньше высота, с которой происходит удар.

Действие сил на рельсовую нитку.

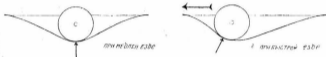
Езда по ровному пути.

Когда колесо движется медленно по ровному упругому пути (черт. 1, 2), то оно производит как вперед себя, так и за собой одинаковое поднятие рельса, при чем господствует статическое равновесие, как в состоянии покоя, движение не испытывает сопротивления, как по неупругому пути. Когда колесо приводится в быстрое движение, тогда путь, вследствие инерции своей массы, больше не в состоянии достаточно быстро, в соответствии с положением груза, опускаться перед колесом и подниматься позади его. Перед колесом поэтому возникает повышенное сопротивление, — позади колеса уменьшенное поднятие (черт. 2, 2). Вследствие этого колесо приподнимается до тех пор, пока давление колеса и противоположное ему давление не уравновесятся. При быстрой езде по ровному пути колесо движется поэтому в более высоком уравне, чем при медленной езде, и упругое опускание уменьшается несмотря на то, что величина груза остается одинаковой. Ибо часть давления воспринимается непосредственно инерцией массы колес, и поэтому остается без влияния на опускание колес. Можно было бы считать за предельный случай бесконечно большую скорость, при которой всякое упругое опускание колес должно было бы исчезнуть, потому что малейшее опускание имело бы последствием бесконечно большое сопротивление. Что нарушение положения статического равновесия фактически имеет место, подтверждается также наблюдениями Вассиньского, по которым протяжение опускания колес перед

колесом при быстрой езде меньше, чем при медленной. Правда, это нарушение даже при наибольших применяющихся скоростях имеет незначительную величину, напр., по приблизительному определению при скорости езды в 120 км/ч. поднятие колеи позади колеса отстает только на длину около 10 см. от положения колеса. Все же достойно внимания, что при быстрой езде по ровному пути нижние части пути, вместо балласта, будучи заперены вышележащей массой колеи, подвергаются не большому воздействию, чем при медленной езде, как это установлено также Шигерой, Божаром и Гунделем.

Езда по неровному пути. 7421

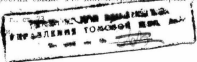
Когда колесо должно пройти через какое-нибудь воздушное колеи, то, прежде всего, вследствие инерции своей массы, оно стремится следовать по задаваемому ему этим воздушным путем, почему сильнее давит на рельс. В какой мере при этом увелившемся давлении, с одной стороны, опускается колесо,



Черт. 2. Просадка пути под поперечной нагрузкой.

с другой стороны — поднимается колесо, — существенно зависит от соотношения масс колеса и колеи. Если преобладает масса колеса, то сначала быстрее и сильнее опускается упругая колес, колесо же поднимается только постепенно вследствие возрастающего противоположного давления колеи, при этом оно подбрасывается вверх выше своего среднего положения и начинает колебаться совместно с колеей, последствием чего является попеременное увеличение и уменьшение нагрузки колеи. Переезд через поднятие колеи начинается с разгрузки колес, но в остальном протекает таким же образом. Шигера³⁾ трактует эти явления, вводя в расчет вертикальные центробежные силы, которые возникают при проезде по неровностям. Понятно, что ж.-д. пути, даже когда на них имеются лишь незначительные неровности, при быстрой езде подвергаются обыкновенно более сильным просадкам, чем при медленной езде. Это было также установлено на электрическом опытно-участке Берлин-Цоссен посредством быстрых поездов, которые при скоростях свыше 140 километров на каждый уча-

³⁾ «Organ» 1911 г., стр. 23
Оса. устр. жел. пу.



ствам пути, вызывали опускание до 6 миллим. Васютынский находит усиленные опускания колеи при скоростях свыше 64 килом.

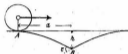
Вертикальные движения колеса передаются на главную массу поковки, на ее кузов, не непосредственно, а посредственно через рессоры. Всякое быстрое изменение в положении колеса по высоте изменяет в такой же мере прогиб рессоры, а тем и ее напряжение. Только это очень незначительное изменение напряжения действует на движение кузова подвижного состава, оно вызывает ускорения, из которых по известным законам колебаний развиваются вертикальные качания кузова. При долгих и коротких спусках колес смена напряжений и, вместе с тем, вертикальное ускорение так ничтожны, что тяжелый кузов едва приходит в движение от игры рессор. Например, при проходе через понижение пути длиной в 1 метр, и глубиной в 5 миллим., со скоростью в 90 килом., кузов пассажирского вагона, согласно расчета, опускается только на величину около 0,1 мм. Поэтому удары в обыкновенных стыковых прогибах при быстрой езде ощущаются пассажирами исключительно с помощью слуха. Сообразно с этим, при взаимодействии масс между колесом и рельсом, в вертикальном направлении двигающейся массой, как общее правило, является только не пружинящий колесный скак, ускоряющей же силой для него служит вес колесного скака вместе с полным давлением рессор, т.-е. полное давление оси. Если $n = P : g$ — означает отношение полного давления оси P к весу g не пружинящего колесного скака, g — ускорение силы тяжести $= 9,81$ метра, h — высоту падения, то ускорение в вертикальном направлении свободно падающего, находящегося под давлением рессоры, колеса равно ng , скорость падения $V = \sqrt{2 ngh}$ $\left(\frac{\text{метр}}{\text{секунда}} \right)$.

За среднее значение n может быть принято для ведущих осей паровозов скорых поездов около 3,2, для свободных осей паровозов и вагонов — около 10. Бегущее колесо может только тогда падать свободно и таким образом вполне отделяться от рельса, когда форма пути движения поезда в каком-нибудь месте колеи не только соответствует линии свободного падения колеса, но в дальнейшем также дает место для свободного поднимания вверх разгруженной колее. Такую возможность можно было бы наперед предположить при глубоких и крутых опусканиях рельсовых стыков (чрт. 3), однако, приближительный расчет дает, что при половинной длине прогнувшегося участка $a = 20$ см. быстробегущее колесо только тогда совершенно освобождается от рельса, когда глубина просадки h достигает величины около 6 мм — состояние, которое редко наступает на быстро проезжаемых участках. Напротив, в случае наклоненных вниз уступов в колее, какие часто образуются при двушпунтном движении у старых стыков и в широких зазорах, можно безусловно считать с полным освобо-

ждением колеса. Больше, однако, значение имеют действия ударов, которые всегда возникают и без отделения колеса от рельса, при проезде через стыковые прогибы и стыковые уступы.

Движения у рельсового стыка.

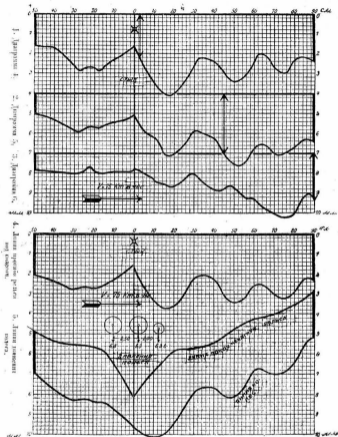
Прежде всего в стыковом прогибе (ч е р т е ж 3) давление катящегося колеса на исходящем участке АВ уменьшается, колесо опускается, между тем как разгруженная колея поднимается. У точки В опускающаяся колея встречает непосредственно поднимающийся кверху конец крепко связанного с предыдущим, встречного по движению, рельса, и производит поэтому неблагоприятное ударное действие, обусловливаемое сильной потерей живой силы при незначительном поглощении таковой силами упругости. После удара колея внезапно опускается под массой колеса, но затем поднимается постепенно вследствие собственного увеличившегося напряжения. Наблюдения над этими явлениями приведены на австрийской императора Фердинанда (Северной жел. дороге ¹⁾). Они распространяются на упругие опускания обоих рельсовых концов и на возникающие при этом переходящие уступы. В сознании той важности, которую необходимо приписывать именно динамическим явлениям у рельсовых стыков, автором были произведены дальнейшие наблюдения над тем, как в действительности протекают явления, сопровождающие движения рельса и колеса в соседстве со стыками. Для этих исследований были выбраны на однопутном участке пятилетнего возраста с рельсами весом 33 $\frac{\text{кмп.}}{\text{пог. метр}}$ на деревянных шпалах



Черт. 3. Стыковой прогиб.

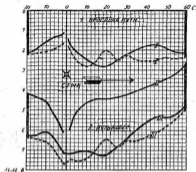
шесть стыков, с более или менее определенными стыковыми прогибами, но с хорошо соединенными накладками, так что оба рельсовых конца совершали почти одинаковые движения. Нагрузка состояла из одиночного паровоза с давлением на колесо передней оси в 6.2 тонны, при скорости движения $V = 75$ до $25 \frac{\text{км}}{\text{час}}$ в каждом направлении. В дальнейшем задача состояла в том, чтобы во время движения определить как размер, так и скорость вертикальных движений колес у рельсового стыка, чтобы иметь возможность на основании этого оценить напряжения в колесе и механические взаимодействия сил у стыка. Для этой цели были выбраны (ч е р т. 4)

¹⁾ „Орган“ 1900 г., дополнительный выпуск.



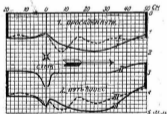
Черт. 5. I стик.

черт. 5, черт. 6, черт. 7), а отсюда определялись осадки грунта под неподвижным паровозом на глубине 1,1 метра. Как видно на черт. 8, образуется очень пологая, достигающая под передним колесом только 0,3 мм., просадка, которая, конечно, должна быть принята в расчет при определении общей просадки колес, но на взаимные движения между колесами и рельсом, о которых здесь идет речь, влияния не имеет. Также обстоит дело и с сотрясениями, которыми подвергаются столбы вместе с окружающим грунтом. Если описанный способ и не может иметь претензий на точность действитель-



Черт. 6. III стая.

тельно тонких измерений, то он вполне достаточен для того, чтобы дать возможность выкинуть в особенности движения в соответствии с формой движного состава. На черт. 5, 1 до 3 представлены диаграммы, от 4-ой до 6-ой, одного сильно сбитого рельсового стыка (черт. 5, 4), и увеличенном и в 100 раз искаженном масштабе. Продольные размеры означают расстояние места нагрузки от середины стыка, соответствующие вертикальные размеры — опускания места расположения диаграмм при этом положении груза. Расположение груза на самой диаграмме и просадка в этом месте обозначены двойной стрелой. Если вставить между шестью диаграммами с помощью интерполирования и дальнейшие еще диаграммы, то получим в непрерывном ряде точек прогиб рельса непосред-



Черт. 7. III стая.

Линия I. Прогиб колес под колесом.

* II. Линия поперечного нагружения рельса.

* III. Линия движения колеса.

— V = 70 до 75 км. в час.

- - - V = 25 км. в час.

ственно под катящимся колесом (черт. 5₃). Если теперь таким образом полученную линию прогибов нанести под положением покоя незагруженного рельса, то получится линия опускания колеса, т. е. путь, который колесо фактически описывает (черт 5₂).

Как видно из чертжа 5₁ ф. 3 диаграммы имеют между собой некоторое сходство по форме. Повсюду колес приводятся вверх перед самым проходом стыка, резко отбрасываются вниз при ударе колеса в встречный рельс, и затем начинает колебаться. Эти явления, естественно, сильнее всего запечатлеваются на диаграмме, находящейся непосредственно у стыка (черт. 5₁). Подобный отпечаток представляет собой непрерывная линия осадки пути под колесом (черт. 5₄), и путь самого колеса (черт. 5₂). Но в то время, как линия осадки колес у стыка резко согнута вниз, путь колеса претерпевает там только незначительные отклонения, т. к. колесо по своей массе и скорости падения значительно превосходит колесо.



Черт. 8. Просадка земляного полотна.

На черт. 6 и 7 приведены данные относительно двух других стыков с менее глубокими, но более крутыми прогибами, при различных скоростях езды. Крутой, сильно наклоненный встречный ход езды оказывает давление колеса большее сопротивление, поэтому колесо при набегании сильнее отклоняется, а также подбрасывается кверху (черт. 6₂, и 7, линия 3)

Ударные действия у рельсового стыка.

Явления прохода через стыковые впадины соединяют в себе особенности неупругого и упругого ударов. Удар между жесткими колесами и массой колес в момент набегания на встречный рельс необходимо рассматривать как почти неупругий. Возникающее при этом неупругое действие удара измеряется живой силой ударяющей массы колеса и колес. Ее величина получается из величины масс и внезапного изменения их вертикальных скоростей в момент удара, т. е., как алгебраическая разность живых сил непосредственно перед и после удара, с принятым во внимание направлением. Вертикаль-

ные скорости определяются легко из наблюдений. Напр., на черт. 5, колесо на протяжении 55 мм перед рельсовым стыком опускается на 0,6 мм. Это протяжение при скорости в 75 килом. проходится колесом в $\frac{1}{136}$ секунды. Итак, вертикальная скорость колеса составляет перед стыком 0,23 метра в сек.; но при ударе умирается до 0,15 метра в сек. (не принимающее участие в ударе, не снабженного рессорами (не упругого), колесного полуската составляет 550 кгр, откуда действующая перед ударом живая сила $\frac{1}{2} \cdot 550 \cdot 0,23^2$; $g = 1,48$ кгр./мт./сек., после удара $-\frac{1}{2} \cdot 550 \cdot 0,15^2$; $g = 0,63$ кгр./м/сек., — обе направления вниз. Итак разница составляет $1,48 - 0,63 = 0,85$ кг/м/с.

Колеса приедмается кверху согласно чертежа 5, перед ударом со скоростью 0,21, после же удара опускается вниз со скоростью 0,42. Изменение живой силы является походу здесь как сумм отдельных сил. Однако, размер, принимающей участие в ударе массы колес без дальнейшего еще не известен. Он зависит от удлинения, которому колес подвергается вследствие нагрузки, от скорости, с которой удар распространяется в массе колес, от степени упругости массы колес и от того направления, которое имеется в колесе ко времени удара. Чем незначительнее упругость и чем больше напряжение, тем глубже вниз, включительно до балластного слоя, распространяется принимающая участие в ударе часть массы пути. При этом нужно принять во внимание, что напряжение в колесе распределяется по всему протяжении принимающей участие в ударе части колес не равномерно, но уменьшается с расстоянием от места нагрузки, а также и с глубиной под поверхностью. С помощью расчета изменяющейся действующая масса вряд ли может быть точно определена, не ее можно вывести с помощью наблюдений из общего закона неупругого удара. Именно. Если V_1 и V_{11} обозначают вертикальные скорости колеса до и после удара, W_1 и W_{11} те же скорости колес, m — известную массу колеса, M — предполагаемую сосредоточенную у стыка действующую массу одной половины колес, то по закону ударов:

$$mv_1 + Mw_1 = mv_{11} + Mw_{11}, \text{ откуда } M = \frac{m(v_1 - v_{11})}{w_{11} - w_1}.$$

Для случая, изображенного на черт. 5, после вставления известных величин, действующий при ударе вес половины колес получается около 70 кгр; и общее неупругое взаимодействие удара у стыка между колесом и колеей выражается в виде разности между живыми силами до и после удара через:

$$\left(\frac{1}{2} mv_1^2 - \frac{1}{2} mv_{11}^2\right) + \left(\frac{1}{2} M w_1^2 - (-\frac{1}{2} v. w_{11}^2)\right) = \frac{1}{2,9,81} \times \\ \times (550 \cdot 0,23^2 - 550 \cdot 0,15^2 + 70 \cdot 0,21^2 + 70 \cdot 0,42^2) = 1,64 \text{ кгр./м/с.}$$

Следовательно, это действие удара обозначает не превращение в упругую деформацию, но разрушенную, или лучше сказать, превращенную в длительное деформирование работу удара. Однако, после совершения удара развивается новая работа, производимая весом груза и противоположного ему подвигания колес, и то и другое—под влиянием существующих в них после удара вертикальных их скоростей. Эта работа превращается в упругое напряжение колес и ведет к колебаниям, которые всегда наблюдаются после удара. Ее величина вообще принимается, как находящаяся в постоянном отношении к наибольшей осадке колес после удара. Но и здесь необходимо считаться с неопределенной и, вероятно, в течение упругих процессов изменяющейся, действующей массой колес. Прежде всего обнаруживающееся действие неупругого удара распространяется в первую очередь на ударяемые поверхности, и с ослабленным действием—на глубже лежащие составные части пути. Оно является причиной известных остаточных деформаций и иных повреждений концов рельсов и их постелей, которые дают свой особый отпечаток прогрессирующим преобразованиям рельсового стыка. Следующие затем упругие напряжения менее вредны. Их можно выразить в виде статических напряжений под увеличенной неподвижной нагрузкой, которые могут быть приняты в расчет при устройстве колес.

Главные результаты описанных наблюдений могут быть следующим образом объединены:

1. Неупругое действие удара у стыка возрастает вместе со скоростью езды. Оно при скорости в 75 км около 4-х раз больше, чем при скорости в 25 км.
2. Оно возрастает с углом прогиба у стыка (черт. 3), возрастает при скорости в 75 км от 1,6 кг/м/с при угле прогиба 1 : 28 непрерывно до 7,0 кг/м/с при угле прогиба 1 : 19, при скорости в 25 км и при тех же углах прогиба—менее равномерно от 0,3 до 1,4 кг/м/с.
3. Оно возрастает вместе с принимающей участие в ударе массой колес, притом, постоянно—при медленной езде, и менее постоянно—при быстрой езде.
4. Действующая масса тем больше, чем меньше поднимается колес перед ударом, чем больше поэтому напряжение колес в момент удара; и притом—равномернее при быстрой, чем при медленной езде. Действующий вес одной половины колес изменяется в пределах между 70 и 1100 кл.
5. Чем глубже впадина у стыка, тем больше поднимается колес перед ударом и опускается после удара, тем больше поэтому получается при расчете давление на балласт, зато тем незначительнее, с другой стороны, по крайней мере при медленной езде, неупругое действие удара.
6. Определенные соотношения между скоростью езды и наибольшим оседанием колес после удара не могли быть уста-

повлечены наблюдениями. Оседание при более медленной езде было иногда больше, чем при быстрой езде (черт. 6, 4), иногда меньше.

При всех этих изменяющихся действиях главнейшую роль рядом со скоростью езды играет форма прогиба, у стыка, при чем меньшее значение имеет глубина прогиба, чем его уклон, который, как известно, служит мерилом для внезапных изменений скоростей масс. Но как раз в глубоких прогибах образуются более крутые уклоны, чем в глубоко раз'езженных рельсовых стыках. При быстрой езде и в крутых стыковых прогибах расходуется относительно много работы в неупругом ударе и мало работы превращается в упругие деформации колес. Наибольшее наблюдавшееся неупругое действие удара составляло 7,0 кг/м/с. То же самое действие возникло бы, если бы на неподвижно укрепленный конец рельса испадало колесо весом 550 килогр. с высоты в 13 мм свободно, или под давлением пружины с высоты 1,3 мм, что само по себе является незначительным единичным воздействием, которое приобретает значение лишь при чрезвычайно частом повторении.

Некруглые колеса.

Ударные действия, подобные имеющим место в стыковых переломах рельсовой нитки, производится некруглыми колесами. Некруглая форма образуется или от неравномерностей обыкновенного износа колесного обода, которые доходят до



Черт. 9.
Некруглое колесо.

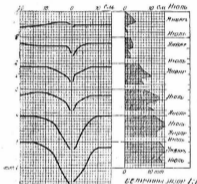
7 миллим ¹⁾, или от обтачивания сильнообтормаженных колес о рельсы. Если d (черт. 9) глубина стачивания, а — соответствующая хорда, то происходит одинаковое ударное воздействие, как если бы совершался переезд через стыковой переход длиной a и глубиной d . Такие переломы, какие изображены на рисунке 9 в одинаковом масштабе с стыковыми переломами рис. 5 до 7, отличаются чрезвычайно крутыми уклонами, — знак того, что воздействия даже мало сточенных колес много сильнее, чем воздействия в обыкновенных стыковых переломах, что, однако, глубокие стачивания, каковые наблюдались Заллером величиною даже до 20 миллим., должны иметь последствием сильнейшие расстройств в пути.

Образование стыковых переломов.

Чтобы объяснить форму стыковых переломов, нужно выискать в их первоисточник и исследовать, что за силы уже в новой колее производят эти своеобразные деформации. Многочисленные измерения показывают, что у всех тупых стыков

¹⁾ «Орган» 1914 г., ст. 333.

проявляется в полной мере при двухпутном движении, между тем как однопутное движение действует в направлении постепенного сглаживания уступа. Для оценки ударного воздействия в случае закрепленного уступа должна быть принята в расчет, в качестве сопротивления, вся масса крепко соединенных составных частей пути. Иначе обстоит дело в случае упругого уступа, при котором прежде всего подвергается воздействию лишь меньшая масса податливого рельса. Этим путем большая часть силы удара превращается в упрочие деформации, зато действие удара на верхнюю поверхность рельса умеряется.



Черт. 11. Прогибы у стыка при однопутном движении после прохода 1,5 мил. тон груза.

дает возможность познать влияние высоты уступов на величину износа, а также постепенное выравнивание уступа¹⁾.

Стыковые зазоры.

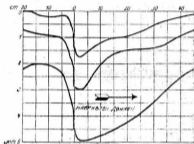
Влияние стыковых зазоров на выработку стыковых переходов наглядно представляет черт. 11, в группе новых, свободных от образования уступов, стыков на весу, при однопутном движении, по проходе подвижного груза в 1,5 миллиона тонн. Отдельные изображения расположены в порядке величин стыковых зазоров, которые указаны рядом с изображениями на основании которых измерения. Уже после этой

¹⁾ Ср. также „Zeitschrift. F. Bauwesen“ — 1893 г., стр. 445.

Наоборот, опорные поверхности рельсов подвергаются более сильному воздействию, когда они всецело подвергаются свободным ударам пружинящего рельса.

На черт. 10 представлен износ рельсовых концов в группе рельсовых стыков с стыковыми уступами, из однопутного участка с деревянными поперечницами, на гравелистом балласте. Заштрихованные площади означают износ под влиянием перевозимого груза в 6,5 миллионов тонн, и

незначительной нагрузки вредное влияние широких стыковых зазоров становится в высокой мере заметным, однако, и в узких стыковых зазорах появляются ясные зачатки стыковых переломов. Сильное воздействие в стыковом зазоре по чер. 11 имеют такую же величину, как при проезде стыкового перелома с уклонами по обоим сторонам равными $t_2a = 1/2 a$: г. если a означает ширину стыкового зазора. Для $a = 10$ мм, $r = 500$ мм., $t_2a = 1 : 100$, следовательно, для всего угла перелома $t_2a = 1 : 50$. Это суть величины, которые ни в коем случае нельзя низко оценивать, и кои вполне объясняют вредное быстрое действие даже умеренных стыковых зазоров. При однопутном движении, прежде всего, пока колесо встречает только крайние лобовые кромки рельсовых концов, образуются крутые места ударов, которые с течением времени делаются более пологими и углубляются, в то время как место главного воздействия колеса больше и больше отодвигается от стыкового зазора, пока, наконец, крайние концы вообще больше не задеваются колесом и стыковые зазоры таким образом переходят из поля действия. Менее благоприятно развиваются несимметричные стыковые переломы при двухпутном движении у нисходящих стыковых уступов, конх своеобразная форма на черт. 12 в некоторых очень изношенных стыках старого 15-тилетнего пути с деревянными поперечницами, плоскими накладками и стыками навесу, на гравелистом балласте, особенно разительно выступает. К первым зачаткам стыковых переломов, которые проявляются в износе и вдавлении верхней поверхности рельса, присоединяются в дальнейшем процессе увеличивающийся изгибания рельсовых концов, как следствие перенагружения от удара колес и от изнашивания опорных поверхностей накладок.



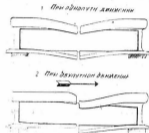
Черт. 12. Прогибы у стыков при двухпутном движении.

Черт. 12 в некоторых очень изношенных стыках старого 15-тилетнего пути с деревянными поперечницами, плоскими накладками и стыками навесу, на гравелистом балласте, особенно разительно выступает. К первым зачаткам стыковых переломов, которые проявляются в износе и вдавлении верхней поверхности рельса, присоединяются в дальнейшем процессе увеличивающийся изгибания рельсовых концов, как следствие перенагружения от удара колес и от изнашивания опорных поверхностей накладок.

Деформации накладок.

В тесной связи с воздействиями у рельсовых концов стоит деформация опорных накладок. Она протекает при однопутном движении вообще симметрично по направлению к середине, при двухпутном же движении в преобладающей степени

вырисовывается под встречным по движению рельсом, как показывает схематическое изображение, черт. 13, для стыка наветсу. В наивысшие места опорных поверхностей рельсовые головки вполне укладываются часто и в спокойном положении, когда стыковые шпалы подаются, или когда рельсовые концы уже изогнуты. Местам сильных вдавливания и изломам верхних опорных поверхностей накладок соответствуют обыкновенно менее сдавленные, или свободные от давления, места названных опорных поверхностях, и наоборот. Это попеременное наивысшие не допускает действительного подтягивания накладок, почему освобождает накладки от выполнения их главной задачи — сообщать рельсовый шпал у места ее перерыва сопротивление и устойчивость целого рельса. Однако, и прилегающие без зазоров и крепко стянутые накладки стыка наветсу не могут вполне удовлетворять этой задаче. Ибо они должны быть в состоянии воспринимать возникающие в нагруженных рельсовых концах горизонтальныедвигающие усилия по опорным поверхностям. Этидвигающие усилия достигают, согласно расчету, у каждой из четырех опорных поверхностей накладок одного рельсового конца до 5000 килограмм. Они могут быть передаваемы лишь посредством сопротивлений трения по опорным



Черт. 13. Износ накладок.

поверхностям, почему требует при коэффициенте трения 1 : 3 у всех четырех опорных поверхностях общего давления накладок величиною около $3 \times 4 \times 5000 = 60.000$ килограмм для каждого рельсового конца, т. е. такого давления, которое не может быть ни произведено движущим грузом, ни достигнуто усердным стягиванием накладок без уничтожения свободой удлинения рельсов. Накладки находятся в тем более благоприятных условиях относительно воздействий на них, изгибающие напряжения и давления накладок становятся тем незначительнее, и рельсовые концы тем менее нуждаются в поддержке помощью накладок, чем теснее лежат поперечина в пределах накладок.

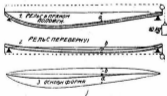
Деформации рельсов.

Оставшиеся изгибы рельсов возникают не только у стыков, но простираются также по всей длине рельса. Самые разительные явления этого рода суть так называемые «свиные хребты», выгибания всего рельса кверху, наблюдаемые почти

только у коротких рельсов. Причину их искали в том, что под влиянием сильного местного давления, в соединении с сходящимися движениями колеса, верхние волокна рельсовой головки вытягиваются и заставляют весь рельс принимать изогнутую кверху форму. С другой стороны, принимают, что они исходят от оседаний сильно работающих стыков, и отсюда распространяются по всему рельсу. Возможно, что действуют обе причины совместно. Однако, по-видимому, тут имеют значение и другие влияния, которые исходят от способа устройства пути и от сопротивляемости балласта. Ибо ни в том случае рельсы не выгибаются кверху, как общее правило, но настолько же часто книзу, особенно, рельсы длинные.

При своем связанном положении в пути рельс, правда, встречает препятствия к полному осуществлению своей изогнутой основной формы, однако, при развившейся деформации он в посредстве подбивки не может быть принужден к принятию вполне вытянутого положения, принимает скорее форму, которая, хотя в общем и более вытянута, чем основная форма, однако, в частностях сохраняет ее особенности. При этом он стремится постепенно приблизиться к основной форме, что ему облегчает его незначительная собственная длина и податливость балласта.

Эти явления были более точно прослежены в течение многих лет с помощью повторных измерений как основной формы рельсов, так и их связанного положения в пути ¹⁾. Чтобы прежде всего определить ненапряженную основную форму рельса, его свободно подвешивали по концам и над ним натягивали сильно нагруженный шелковый шнур (черт. 14₁). После того как прогнувшийся рельс был промерен от шнура к поверхности головки, его переворачивали вместе со шнуром и таким же образом промеряли снизу (черт. 14₂). Если теперь, согласно черт. 14₃, перевернуть второй промер,

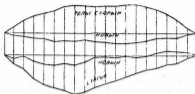


Черт. 14. Основная форма рельсов.

подложить его так поверх первого, чтобы оба сошлись у концов, то средняя линия между обоими будет действительной основной формой рельса. Провес шнура, который, впрочем, на 9 метров длины, составлял только 0,5 мм, при этой процедуре сам собой выключается, однако, при промерах в пути, каковые, конечно, могут производиться лишь сверху, должен приниматься в расчет.

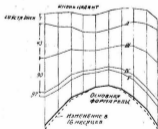
¹⁾ Подробности: „Zeitschrift f. Bauwesen“—1886—стр. 546.

Черт. 15 показывает изменение основной формы у двух 15 м. длиной рельсов, соединенных в накладку, на деревянных поперечниках, после прохода груза в 18 миллионов тонн.



Черт. 15. Изменение основной формы рельсов длины 1:200, высоты 1:1.

промежутка времени, в четыре месяца от последней подбивки, почти вновь достиг своей основной формы в линии IV, чтобы затем при дальнейшем опускании сохранить эту форму в линии V. Затем в течение промежутка времени—в 16 месяцев уже могло быть установлено в нем заметное изменение основной формы. Хотя такие разительные явления и наблюдались лишь в плохом подвертом пути, тем не менее повсюду можно было видеть, как рельсы стремятся вновь и вновь восстанавливать свою действительную форму. Как наибольший размер изгиба, который претерпевала в течение времени основная форма рельсов, наблюдалось, на вычете собственно



Черт. 16. Форма рельсов в пути, длины 1:200, высоты 1:1.

по отработке рессоры, получает достаточно времени, чтобы последовать неровностям колеи и прийти в колебания. Известны в путях с резко выраженными «свинными хребтами» резкие вертикальные колебания, которые достигают своей выс-

шайке, на вычете собственно стыковых прогибов, 16 мм. В старых путях, на предельных лежнях, со стыками рельсов и лежней в разбежку, установлено своеобразное явление, что рельсы в своей основной форме выгибались силой кверху, а лежни большей частью вниз. Изгибы рельсов на больших протяжениях и их волнообразное положение в пути, имеют в конец-концов гораздо большее влияние на движение новозок, чем короткие прогибы у стыков. Ибо и кузов,

16 месяцев

ней точки, когда полное колебание кузова совпадает с длиной рельса. Однако, и взаимное положение по высоте одной пары рельсов может в такой мере нарушиться вследствие различной выработки их основных форм, что в поездах образуются весьма заметные боковые колебания; хотя редье тем больше вытягивается, чем он длиннее и гибче, чем тяжелее поперечины и чем крепче прикрепление к поперечинам, однако, даже самые тяжелые поперечины не в состоянии выравнивать все единичные неровности рельса.

Образование волнистости.

Дальнейший своеобразный род воздействий у поверхности катания рельсов воплощается в образовании волнистости, т. е. довольно равномерных волнистых линий с длинами волны около 4 до 10 см и больше (ч е р т. 17). Они появляются весьма часто, и в сильно выраженном виде, в прочно заделанных путях городских дорог, так же часто, но слабо выраженными, в открытых железнодорожных путях, и притом не сплошь у всех рельсов одного участка пути, но у отдельных рельсов одинакового происхождения, в то время, как рельсы другого происхождения остаются свободными от рифления. Существует мнение, что они в усиленном размере появляются при незначительном диаметре колес, т. е., при высоком одиночном давлении под колесом, а также при большой скорости передвижения. Также у совсем новых рельсов были находимы зачатки явления рифления, которые после неперодолжительной езды по ним вырабатывались в настоящие рифления. Первый повод к этому ищут в несовершенстве процесса прокатки, в местном насильственном сдавливании и уплотнении материала при недостаточной теплоте прокатки, так что более твердые места чередуются с более мягкими, легче подверженными износу местами. С другой стороны, за причины образования рифления принимаются сдвигания материала под катящейся и скользящей колесной нагрузкой, или периодическое изменение давления колеса, особенно при электрической тяге.

Мейер ¹⁾ находит путем основательных наблюдений главную причину в коротких быстрых колебаниях твердо лежащих рельсов, требует поэтому и для прочно заделанных путей известной меры упругости в рельсовых опорах, далее рекомендует твердую сталь для рельсовой головки, более мягкую

¹⁾ А. Мейер. «К выяснению важных вопросов в вопросе строения городских дорог»,—1915. Сравн. также «Verkehr Wochenschrift» 1910, стр. 50.

202651



Черт. 17.

Образование волнистости.

7421

для шейки и подошвы и безупречную прокатку рельсов. В упругих открытых железнодорожных путях образования рифлений не повели до сих пор к таким значительным ущербам чтобы оказались необходимыми иные мероприятия, кроме особенно безукоризненного процесса прокатки.

Боковые воздействия. Виллиние.

Рядом с вертикальными давлениями колес появляются, в виде воздействий второго порядка, разнообразные проявления боковых сил, которые обнаруживаются, или как действительные поперечные движения подвижного состава, или как сопротивления трения между колесом и рельсом. Относительно действия центробежной силы в закруглениях будет речь позднее. Неравномерные короткие поперечные толчки протекают большей частью от неудовлетворительного состояния пути.

Их действие на путь тем незначительнее, чем легче колесный скат без рессор (не пружинающий), и чем выше положение центра тяжести повозки. Поперечные движения определенного рода обнаруживаются в виллинии повозок в боковых колебаниях, большей частью, в связи с качательными движениями около вертикальной оси. Причины их—загнанный род, и их следует искать, главным образом, в переменной работе двигателей, а также в неравномерном напряжении в тяговой штанге, в коничности колес и в неровностях колес ²⁾. Они появляются, главным образом, на более длинных прямых участках в виде периодических движений, которые возрастают до известного предела, затем прекращаются, чтобы начать новый период колебаний, подобно вертикальным колебаниям в путях с «винными хребтами». Виллиющие движения тем сильнее, чем больше скорость езды, чем меньше расстояние между осями повозки и чем больше выдающаяся за базу масса повозки. Такие способ устройства рессор оказывает на них сильное влияние. При нецелесообразном устройстве они могут возрости до того, что могут угрожать сходом с рельсов, особенно если и рельсы, при неудовлетворительной укладке, могут принимать участие в колебаниях. Однако, эту опасность можно считать исключенной даже при самой быстрой езде со времени применения длинных баз, особенно в соединении с далеко выдвинутыми наружу поворотными тележками у паровозов и вагонов, с целесообразным устройством рессор и с улучшенной укладкой пути.

²⁾ Подробности: Г. Нордман «Glaser's Ann» 1912, стр. 20.—Веддингс, там же 1913, стр. 11.

Сопротивления трения на прямом участке.

Сопротивления трения между колесом и рельсом возникают уже при самой свободной езде по прямому участку, ибо каждое из обоих колес одной оси, благодаря своей коничности, имеет стремление скатиться по верхней поверхности рельса наружу (черт. 18). Однако, так как ему в этом препятствует его жесткое соединение с осью, то оно стремится — наоборот — повернуть рельс перед собой внутрь с таким моментом вращения, который соответствует сопротивлению трения колеса по рельсу, и который делается тем меньшим, чем уже поверхность катания по рельсу. Он составляет для давления колеса в 5000 килгр. ширины поверхности катания в 4 см. и коэффициенте трения 1 : 4, около 13 метр./килогр. При этом возникают скользящие движения а (черт. 18) между колесом и рельсом, которые соответствуют пути скольжения в 3,1 мм для одного полного оборота колеса. Приблизительно такой же величины пути скольжения получаются, когда под действием каких-либо сил, каковые часто возникают при быстрой езде и на прямом пути, колесный скат принуждается идти, прижавшись вплотную к одному из рельсов на значительных протяжениях, следовательно, катится по крутам неодинаковых диаметров. Однако, при плотном прижатии к рельсу колесо опирается, главным образом, выкружкой обода на внутреннее закругление головки рельса, следовательно, сдвигает внутрь опорную линию рельса. Также вследствие своей подуклонки внутрь рельс, вероятно, больше нагружается по его внутренней половине, ибо следует считать, что давление колеса передается перпендикулярно к конической поверхности колеса в направлении коса составленной оси рельса, но направляется более вертикально вследствие трения между колесом и рельсом. Таким образом, как и опыт указывает, вообще в прямом пути преобладает давление на внутреннюю сторону рельса и придает самому рельсу высокую степень устойчивости против опрокидывания наружу. Так как коничность колес также действует благоприятно в этом смысле, то, вероятно, этому обстоятельству, по крайней мере, отчасти она обязана своим прочным действием, рядом с намерением, по возможности, избежать скользящих движений между колесом и рельсом. Между тем, достоинство конических колес не представляется на практике неоспоримым, ибо и цилиндрическая форма колес с вертикальным положением рельсов нередко употребляется, особенно на американских дорогах.



Черт. 18. Катание конических колес.

Сопротивления трения в закруглениях.

В закруглениях пути, в конх наружному колесу всегда приходится проходить больший путь, чем внутреннему, конические колеса при достаточно большом радиусе закругления пути имеют возможность устанавливаться таким образом, что они катятся без скольжения. При применяемых в Германии ширинах колеи и при коничности в 1 : 20 это возможно лишь в очень пологих кривых, а для диаметров колес в 1 метр лишь в закруглениях с радиусом большим 1500 метров. В более крутых закруглениях одному колесу приходится скользить. При этом внутреннее колесо забегает вперед и прижимает реборду наружного колеса к наружному рельсу с усилием, которое равняется сопротивлению боковому скольжению по внутреннему рельсу. Затем, положение осей по отношению к колесу находится под влиянием продольных натяжений в тяговой штанге, прежде всего, однако, обуславливается прикреплением осей к прочной раме и жесткими свариваниями осей, которые допускают лишь параллельное их положение. Между теоретическими исследованиями, которые трактуют эти зануточные процессы, необходимо указать на соображения Бедекера, согласно конх при жесткой раме передняя ось давит под острым углом на наружный рельс, между тем как задняя ось идет более или менее сильно к внутреннему рельсу, и следовательно, принимает положение, которое противоречит условию свободного катания конических колес. Наиболее сильное боковое давление обнаруживается у реборды наружного переднего колеса и составляет, по Бедекеру, для более старых трехосных паровозов с давлением колеса P в наиболее крутых закруглениях до $0,6 P$, по Фукеу и Велеру—до $0,67 P$. С боковым давлением забегавшей на рельсы реборды соединяются также,—вертикальные сопротивления трения по внутренней части рельсовой головки, которые поддерживают реборду в ее стремлении подняться на рельс. Если при новейшем способе устройства подвижного состава с поворотными тележками и целесообразным распределением осей, боковое давление и становится значительно меньшим, все-таки необходимо принимать в расчет возможность неожиданных боковых ударов, например, вследствие неровностей пути, а также возможность того, что в очень крутых быстро проезжаемых закруглениях реборда в действительности поднимется своей скошенной внутренней поверхностью на рельс. При оценке этой опасности необходимо принимать в расчет полное боковое давление, действующее у реборды; иначе обстоит дело при оценке устойчивости рельса. А именно, колесо, которое стремится скатиться по рельсу наружу, принуждается ребордой осуществлять скользящие движения по рельсу в поперечном направлении внутрь, т. е., противоположно давлению реборды.

бокового передвижения стальной пластинки определялось то положение, при коем рельс опрокидывался под поездом, что обнаруживалось из раздавливания свинцовой полоски. Опыты, приведенные над 50 поездами со скоростью от 30 до 85 килом., привели к изображенным на чертежах 20, 2 и 3 результатам. Опорные точки d и e черт. 20₄ обозначают места, у коих наружный рельс начинал наклоняться наружу или внутрь, точки f и g —места, у которых он совершенно опрокидывался и раздавливал свинцовую полоску. Следовательно, короткая, расположенная в пределах внутренней половины рельса, опорная поверхность, оказывалась достаточной для предохранения наружного рельса от опрокидывания. У внутреннего рельса черт. 20₃ для этого была достаточной одна единственная опорная точка, притом любая точка линии fg в наружной половине рельса, в то время как короткая опорная плоскость de была достаточной для предупреждения даже незначительных наклонов рельса,—знак большей равномерности, с которой действует боковое сдвигающее усилие у внутреннего рельса.

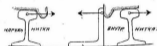
В связи с этими опытами были также наблюдаемы с помощью обширных измерений боковые движения прочно уложенных рельсов в различных кривых ²⁾. Для этого служило изготовленное для этой цели устройство, подобное раздвижному шаблону, которое указывало автоматически, помощью шиберов, наибольшие боковые отжатия обоих рельсов по каждому направлению и наибольшие изменения ширины колеи при проходе поездов. На прямом участке движения рельсов наружу и внутрь были приблизительно одинаковыми и редко превосходили 1 мм., точно также и изменения ширины колеи. В кривой радиуса 1.500 метров с возвышением в 35 мм наружный рельс колебался до 2 мм внутрь и наружу, внутренний—до 2 мм внутрь и до 4 мм наружу. Уширение колеи во время езды составляло до 5 мм, между тем как сужения случались лишь редко и незначительных размеров. В кривых радиуса 750 м, с возвышением в 60 мм, наружный рельс точно также колебался довольно равномерно до 1,5 мм внутрь и наружу, внутренний до 3,5 мм наружу и только изредка на незначительную величину внутрь. Уширения пути составляли до 5 мм, сужения появлялись редко, величиной до 0,5 мм. В той же самой кривой, но с возвышением лишь в 30 мм внешний рельс определенно отжимался наружу до 4 мм, но никогда внутрь, внутренний рельс точно также только наружу до 2,5 мм. Сужений не случалось, но уширения достигали 6 мм. Скорости движения поезда, которые изменялись между 85 и 30 килом., не оказывали заметного влияния на боковые движения рельсов. Измерения ширины колеи, содействующие обыкновенному содержанию пути в исправности, показывали, что пути на новых деревянных шпалах на прямых участках обыкновенно

сужаются, во всех даже очень пологих кривых равномерно упрямятся. При этом места стыков, с их более частым расположением шпал держат большей частью лучше шпирину колеи, чем прочие места.

Из всего изложенного можно заключить, что в главном пути на перегоне, при его правильном содержании, надежном прикреплении к шпалам и надлежащем возвышении наружного рельса, действующие в пути поперечные силы даже в крутых кривых недостаточны, чтобы угрожать устойчивости широкоподошвенных рельсов, что они, напротив, в очень крутых кривых при особо неблагоприятных обстоятельствах в состоянии приводить реборду колеса на наружный рельс.

Направляющие рельсы.

Чтобы предупредить эту опасность и разгрузить нагруженную рельсовую нить от бокового давления, в новейшее время устраиваются в кривых радиуса меньше 500 м вдоль внутренней рельсовой нитки направляющие рельсы по черт. 21. Этим совершенно изменяется взаимодействие между рельсом и колесом. Все оси оказываются принужденными устанавливаться в



Черт. 21. Контррельс.

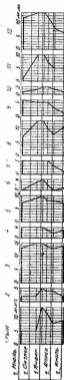
определенное положение по отношению к внутреннему рельсу, наружное колесо влечет, с помощью трения, наружный рельс внутрь, чтобы иметь возможность катиться по большему диаметру, между тем как, наоборот, внутренний рельс отжимается наружу. Полное, направленное внаружу кривой, боковое давление должно восприниматься одним направляющим рельсом. Так как последний не несет вертикальной нагрузки, то он переносит сдвигающее усилие, которое имеет величину до 4000 килогр., неслабленным на скрепления. Из этих неблагоприятных воздействий в достаточной мере обходятся большие сопротивления движению в пути с направляющими рельсами и трудность сохранить направляющий рельс в правильном положении относительно путевого рельса. Его применение может быть оправдано лишь там, где действительно существует опасность схода с рельсов, следовательно—в кривых с меньшим, чем в 350 м радиусом, но не там, где дело идет лишь о защите наружного рельса против бокового износа. Ибо достигнутая выгода была-бы совершенно поглощена большим износом в других местах и большим расходом силы. В Англии направляющие рельсы применяются лишь в кривых радиуса 200 м и меньше.

Продольные сдвигающие силы.

Кроме поперечных усилий, на рельсы действуют продольные по направлению пути. Они возникают отчасти от тех же причин, как первые, именно, — вследствие несовершенного катания колеса одного и того же ската по неодинаковым или несоответствующим закруглениям пути диаметрам. Забегающее вперед колесо тянет рельс назад, отстающее толкает его вперед с силой, которая возрастает до величины сопротивления скольжению колеса по рельсу. Затем, ведущие колеса стремятся сдвинуть путь под собой назад с силой, которая равняется полному сопротивлению поезда. Противоположно, т. е. по направлению вперед, действуют на путь сопротивления свободных колес посредством трения о рельсы или посредством горизонтальных давящих и ударных воздействий по неровному пути. Эти взаимно противоположные силовые воздействия вообще не одинаковы по величине и взаимно не уничтожаются. Направленный назад уклон под движущимися колесами перевешивает — на площадках и на под'емах, также на в'ездах на под'емы, уклон вперед — на уклонах и тормазных участках. При этом силовое воздействие движущих колес действительнее, чем свободных, потому что оно сосредотачивается на коротком участке пути, большую часть же на протяжении длины одного рельса, между тем как воздействие свободных колес распределяется на большой участок пути, почему и проявляется в более слабой степени на единичных рельсах.

Друго рода продольные передвижения происходят вследствие волнообразных движений под катящимся грузом, при коих лежащая впереди ненагруженная часть пути гонится вперед, однако, таковые имеют малое значение для сильных, лежащих на хорошем основании, путей. Большое значение имеют изменения длин рельсов под влиянием перемен температуры. Продольное напряжение в крепко зажатом рельсе под влиянием изменений температуры может быть определено из коэффициента расширения и коэффициента упругости материала рельса. Если принять эти коэффициенты равными $12 : 1.000.000$ на 1 градус разности температур, и $2.000.000$ килогр./см², то напряжение на 1 см² поперечного сечения рельса при изменении температуры на 1 градус составляет $12.2.000.000 : 1.000.000 = 24$ килогр., при 40° разности температур — 960 килогр., и для всего поперечного сечения рельса, имеющего около 50 см² — 48.000 килогр. Хотя столь высокие напряжения не превосходят прочности рельсового материала, однако, они допустимы лишь тогда, когда рельсовая колея совершенно обеспечена от выгиба в бок, как в прочно закрепленных путях уличных дорог. В открытом пути допустимы лишь значительно меньшие напряжения, почему рельс должен иметь возможность осуществлять изменение длины под влия-

ишем температуры с такими уменьшенными напряжениями и при этом находить готовым необходимым пространство для этих изменений. Мерилом для продольных напряжений в рельсах обыкновенно служит давление накладок. Если опорные поверхности накладок имеют уклон в 1 : 4, и если накладки укреплены на каждом конце рельса двумя болтами с напряжением по 1.500 килогр. в каждом, то общее давление накладок по четырем опорным поверхностям каждого рельсового конца определяется в 24.000 килогр. Из этой величины действует, в форме сопротивления трению по гладким поверхностям соприкосновения и по величине равная продольному напряжению в рельсе, приблизительно одна треть, т. е. усилие в 8.000 килогр. Напряжения такой величины можно, на основании опытных данных, рассматривать как предельные для надежного обеспечения пути от вымирания. Особенно можно ожидать чрезмерных напряжений, когда стыковые зазоры исчезают на значительном протяжении пути вследствие угла рельсов в течение холодного времени года,—опасность, которая в особенности имеет место на участках с сильными направленными в одну сторону сдвигающими воздействиями, как на тормазных участках. Но и в других случаях никак нельзя предполагать равномерности стыковых зазоров, так как весьма различные напряжения накладок у одного стыка препятствуют, у другого—способствуют изменению длины рельсов. Для примера на черт. 22 представлены изменения стыковых зазоров в течение одного года у двенадцати следующих один за другим стыков. В пути на деревянных шпалах рельсы длиной 12 м накопились на открытых подкладках и были прикреплены двумя и тремя шпальными шурунами без зажимных планок. Уклон опорных поверхностей накладок был 1 : 4. Из изображений, без дальнейшего, явствует чрезвычайно большое разнообразие в величине и в подвижности отдельных зазоров. Это разнообразие—знак того, что рельсы не находили достаточного сопротивления в своих креплениях к шпалам, или шпалы—в балласте,



Черт. 22. Изменения стыковых зазоров.

чтобы преодолевать неодинаковые напряжения в накладках. Влияние неодинаковых стыковых зазоров на износ рельсов было изображено на черт. 11.

Все действующие в пути продольные сдвигающие усилия в результате ведут к определенно выраженному утону рельсов и всей колес. Его причины так разнообразны, что род передвижения трудно определить наперед. Опыт учит, что при утоне действуют большие усилия, что движение лежащих друг против друга рельсовых шпал большей частью неодинаковы по величине, и что, хотя направление передвижения на известных участках, остается постоянным, однако, на других, особенно при однопутном движении, изменяется. В качестве вредных явлений, сопутствующих утону, являются чрезмерные сужения или уширения стыковых зазоров на протяжении значительных участков пути, перекашивание стыков и шпал, сдвигание, кантование и ослабление шпал, изменение расстояний между шпалами, в конце концов, боковое сдвижение всего пути.

Износ рельсов.

Износ, которому подвергаются рельсы вследствие различных воздействий на них, обнаруживается или в форме потери



Черт. 23. Износ рельсов (по Гаарману) 1 : 3.

вещества, или в форме нарушения связи его, в виде вдавливания, трещины и изломов. Потери вещества в существенной части должны быть приписаны явлениям трения между колесом и рельсом. Они, обыкновенно, происходят по поверхности катания рельсовой головки таким образом, что поверхность головки срабатывается и довольно равномерно на прямых участках (черт. 23,1), у наружных же рельсов закруглений—в соответствии с формой набегавшей реборды (черт. 23,3 и 4). Рельсы, черт. 23,4 и 5, стояли в пути вертикально и по ним ездили с цилиндрическими колесами. Объем износа у рельсовых головок зависит от твердости рельсовой стали. Черт. 23,2 показывает деформацию мягкого томасовского рельса, у которого особенно бросается в глаза сильный износ по опор-

вещества, или в форме нарушения связи его, в виде вдавливания, трещины и изломов. Потери вещества в существенной части должны быть приписаны явлениям трения между колесом и рельсом. Они, обыкновенно, происходят по поверхности катания рельсовой головки таким образом, что поверхность головки срабатывается и довольно равномерно на прямых участках (черт. 23,1), у наружных же рельсов закруглений—в соответствии с формой набегавшей реборды (черт. 23,3 и 4). Рельсы, черт. 23,4 и 5, стояли в пути вертикально и по ним ездили с цилиндрическими колесами. Объем износа у рельсовых головок зависит от твердости рельсовой стали. Черт. 23,2 показывает деформацию мягкого томасовского рельса, у которого особенно бросается в глаза сильный износ по опор-

ным поверхностным наждаком, который подбирается к самой рельсовой шейке и, следовательно, почти параллелюет поддерживающее действие наждака. Однако, и среди однородных сортов стали износ колеблется в чрезвычайно широких пределах.

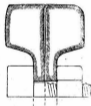
При этом, рядом с местными особенностями движения и устройства подвижного состава имеют значение химические и физические свойства стали, коих влияние еще недостаточно выяснено. Согласно статистических данных Союза немецких жел. дор. Управлений, за время от 1906 до 1909 г., износ в поперечном сечении рельса под подвижным грузом в 1 миллион тонн составлял в прямом пути, и в кривых до 1000 м. за исключением некоторых необыкновенно изношенных участков:

1. для Бессемеровской стали—0,30 до 0,50 мм²,
2. для Мартеновской « —0,30 « 2,50 «
3. для Томасовской « —0,30 « 3,40 «

В закруглениях от 500 до 350 м износ был в среднем для большого числа случаев приблизительно на 65% больше; при этом, у наружных рельсов, в свою очередь, на 65% больше, чем у внутренних. На английской Мидландской дороге наблюдались износы в 2,5 мм², на богатой закруглениями Готтардской дороге — свыше 13 мм² под 1 миллионом тонн груза.

В целом рельсы вдавливания превосходят уже и под спокойно катящимся по мягкому материалу рельса грузом вследствие высокого давления колес, приходящегося на единицу площади. Если целостность рельсовой головки заранее нарушена продольной щелью, как в стыке в нахлестку, или в составном, разделенном вертикально пополам рельсе, то и твердая сталь не выдерживает этого давления. Острые края щелей насильственно вдавливаются внутрь, разламывают головку в стороны и, в конце концов, отделяются в виде треугольных, клинообразных осколков или длинных отщеплений (черт. 24). Другой род раздавливания проявляется в сдвигании концы головки при боковом скольжении колес, особенно, у внутренних рельсов кривых (черт. 23,5).

Все эти деформации проявляются в усиленном размере у рельсовых стыков, по Гаарману почти на 12% сильнее, чем у рельсовых средин. Они приводят нередко к раскалыванию торцов рельсовых головок, а также шеек. Поперечные трещины и каломы происходят большей частью вследствие перенапряжений от ударов колес, плохой укладки пути, насильственных испучиваний от мороза и вследствие хрупкости и других недостатков материала рельсов. Они в последнее



Черт. 24. Рельсовый лезвие Гаармана.

время сделались значительно более редкими, чем раньше, вследствие улучшения способа изготовления рельсов и лучшей укладки пути. Другие, с трудом могут быть избегнутыми, износы происходят в рельсах при взаимодействии их с накладками (ср. черт. 13 и 23,2), как под влиянием давления колес, так и трения при переменах температуры. Износ рельсов на их постелях и у мест прикрепления может быть удерживаем в безвредных пределах помощью соответственного способа прикрепления.

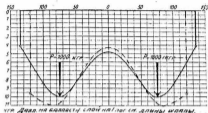
Действие сил на шпалы.

Воспринимаемые рельсами давления грузов подлежат дальнейшей передаче на лежащие глубже опорные части пути. Пробовали укладывать рельсы крупных размеров непосредственно на балласте, как, например, цельный рельс Гартинга и состоящий из двух частей рельсовый лежень Гаармана, однако, без успеха, так как они не доставляли достаточной опорной поверхности на балласте, затрудняли сохранение ширины колеи и положения по высоте и до такой степени утрамбовывали и уплотняли балласт, что отвод воды прекратился. Также и путь на продольных лежнях, который необходимо рассмотреть, как состоящий из двух, горизонтально разделенных частей рельса, оказался неудовлетворительным, главным образом, по этой причине, почему был почти совершенно оставлен на главном пути, в пользу пути на поперечинах, который дает возможность в широком объеме увеличивать опорную поверхность колеи помощью частого расположения шпал, который, кроме того, лучше приспособлен к тому, чтобы воспринимать на себя передаваемые от рельсов поперечные усилия и действительно освобождать от таковых менее способный к сопротивлению балласт.

Статические воздействия.

Циммерман рассчитывает поперечину статически, как балку, на которую, в качестве внешних сил, действуют оба симметрические давления рельсов и в противоположном направлении — неравномерно распределенные под шпалой давления балласта. Эти последние находятся, предполагая совершенную упругость материалов балласта и шпалы, в постоянном одинаковом отношении к упругому опусканию, следовательно соответствуют в своем распределении упругой линии шпалы. Они тем неравномернее, чем более гибки шпалы. Под упругой железной корытообразной шпалой, обыкновенно, применяемой формы, наибольшее давление балласта, согласно расчета, в 1,3 раза превышает таковое под жесткой деревянной шпалой.

Затем, существенное влияние на форму упругой линии шпалы оказывает длина шпалы. Черт. 25 показывает, по Циммерману, в искаженном масштабе упругие линии двух железных шпал в 240 и 270 см длиной и давления балласта под каждым 1-см длины шпалы, при давлении колеса в 1000 килограмм. Циммерман принимает за наиболее благоприятную такую длину шпалы, при коей давления балласта по середине шпалы и по концам ее равны друг другу, при коей, следовательно, давления балласта наиболее выравнены, и отсюда находит для пути с нормальной колесой размер в 270 см. Для того, чтобы получить одинаковые изгибающие моменты под серединой шпалы и под рельсами, нужно было бы придавать шпале длину в 240 см.



Черт. 25. Упругие линии шпал по Циммерману.

посередине шпалы и по концам ее равны друг другу, при коей, следовательно, давления балласта наиболее выравнены, и отсюда находит для пути с нормальной колесой размер в 270 см. Для того, чтобы получить одинаковые изгибающие моменты под серединой шпалы и под рельсами, нужно было бы придавать шпале длину в 240 см.

Динамические воздействия.

Давление рельсов на шпалы при покоящейся нагрузке — умеренно, при отсутствии подкладок составляет лишь около 30 килогр./см², почему само по себе оно не в состоянии нарушить строение даже мягкого дерева; последнее, однако, происходит, когда присоединяются динамические воздействия, действующие всегда разрушительно, как только рельс получает возможность отделяться от своей постели и совершать свободные движения.

В результате постоянно чередующихся в рельсе направленные вверх усилия и обратные удары должны влечь за собой в каком либо месте раз'единение составных частей пути. Возникает поэтому вопрос, в каком месте неизбежна раз'единяющая щель наименее опасна. Если она находится между балластом и шпалой, то, вследствие трамбующих движений шпалы, происходят усиленные воздействия на основание, которые обнаруживаются в более сильном и неравномерном оседании балласта и в скорейшем износе материала балласта, а также — нижней постели шпал. Затем быстро и часто повторяющиеся движения шпал высасывают в мелкозернистом балласте на верх мокроту, затрудняют высыхание, и производят всем знакомые образования ила и ослабление тела балласта.

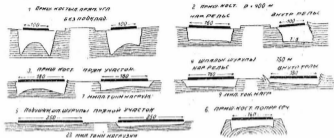
Если место раз'единения лежит между рельсом и шпалой, то, в первую очередь, приходится рельсовым постелам, а также скреплениям, выдерживать удары трамбующего рельса со всеми их колебательными и скользкими движениями. К этому присоединяется то обстоятельство, что более легкий свободный рельс совершает движения большего объема, чем тяжелая прочно соединенная часть пути. Так, например, при ряде наблюдений над прочно соединенным во всех своих частях путем с железными поперечинами были найдены поднятия колеи во время езды не более как на 0,3 мм над положенным носком. После ослабления скреплений, рельс, следуя за своей естественной формой, поднялся над большей частью шпал на высоту до 2 мм, затем во время езды поднялся еще на 2 мм, так что между рельсом и шпалой образовались просветы до 4 мм, которые, разумеется, должны были повести к сильным обратным ударам. Чем больше масса прочно соединенной части пути, чем глубже, следовательно, лежит место раз'единения, тем незначительнее игра, и тем незначительнее действие ударов у места раз'единения. Заслуживает ли предпочтения прочное или свободное соединение между рельсом и шпалой, зависит от тех средств, которые будут найдены для смягчения вредных действий того или другого способа соединения. В пользу свободного соединения были предложены ¹⁾ ограниченные размеры зазоров или упругие прокладки между рельсом и шпалой, вообще же, предпочтается прочное соединение, потому что оно упрощает устройство и содержание пути, предохраняет составные части пути от сильного изнашивания и ограничивает сумму движений в пути наименьшими размерами. Во всяком случае, необходимо было бы для всякого свободного соединения предусматривать приспособления для надежного, свободного от трещин, направления податливых частей.

Износ деревянных шпал.

Представление о службе более или менее плотно прикрепленных шпал дает черт. 26 на нескольких примерах, взятых из пути и, приблизительно, соответствующих среднему состоянию сосновых шпал. Не имеющей подкладок, прикрепленный костылими, рельс, (черт 26,1 и 2) обладает совершенно свободной игрой на шпале, узкая опорная поверхность выработывается глубоко внутрь дерева, принимает при этом, под влиянием боковых колебаний и боковых давлений рельса, выпуклую кверху или наклонную форму, которая, в конце концов, угрожает устойчивости рельса. Та же игра повторяется, хотя и в меньшем размере, при введении кротких подкладок (черт. 26,3). Напротив, существенно ограничивается износ

¹⁾ T. Maas «Glaser's Ann.» 1917, стр. 172.

деревянной шпалы в пути на шурупах тем больше, чем крепче держат шуруны, пока, наконец, при очень прочном, сильно надвинутом прикреплении шурунами, он не исчезает почти совершенно (черт. 26,5). В нижеследующей сводке указан



Черт. 26. Износ сосновых шпал. Длины 1:10, высоты 1:2.

размер износа сосновых шпал в цифрах для различных способов укладки и прикрепления. Цифры означают износ одной постели на сосновых шпалах в см. после прохода 1 миллиона тонн груза, определенный как средний из всех шпал одного полного рельсового звена. Для дубовых шпал износ ограничивался приблизительно третьей частью в сравнении с сосновыми.

СОПОСТАВЛЕНИЕ

среднего износа одной рельсовой постели на сосновых шпалах под действием 1 миллиона тонн груза при одностороннем движении.

| Порядковый №. | Способ прикрепления. | Объем износа. | |
|---------------|---|-----------------------------------|----------------------------------|
| | | Проклевет шпалы см ³ . | Стыковые шпалы см ³ . |
| 1 | Подкладки 16×18 см., от 2 до 3 костылей. | 25,6 | 28,3 |
| 2 | » 16×18 см., 2 шпальных шуруна. | 14,3 | 17,3 |
| 3 | Лопчатые подкладки 16×25,5 см., 3 шуруна. | 16,1 | 21,8 |
| 4 | » » 16×29 см., 3 » | 17,4 | 17,2 |
| 5 | Дюбелировка. 3 буковых дюбеля с шурупами, подкладки 16×20 см..... | 10,6 | 14,6 |
| 6 | Подушки литого железа, 18×32 см., 4 шурупа с пружинными кольцами: | | |
| | а) первый период наблюдений 9 лет... | 8,2 | 10,7 |
| | б) второй » » 5 » ... | 5,9 | 5,6 |
| 7 | Подушки литого железа, как предыдущие, однако 18×25 см., у стыка 18×30 см., 4 шурупа лучшей формы с пружинными кольцами (ср. черт. 70): | | |
| | а) первый период наблюдений 8 лет... | 5,7 | 3,3 |
| | б) второй » » 5 » ... | 2,5 | 2,8 |

Достоин замечания очень незначительный износ под № 7^б таблицы, который в вертикальном направлении составлял лишь 0,05 мм под действием 1 миллиона тонн. Достойных уменьшения разниц в величине износа у наружной и внутренней шток умеренных закруглений не было обнаружено, но такие были обнаружены в уклонах поверхности износа. Так например, в одной кривой в 750 мм после прохода груза в 6 миллионов тонн у наружной штики почти сплошь образовался поперечный уклон внутрь, который доходил до 1:56, у внутренней штики сплошь наружу до 1:53 (черт. 26, 2 и 4). В прямом участке уклон сплошь был направлен внутрь до 1:30.

Одностороннее нагружение.

Косой износ постели указывает на одностороннее нагружение. Если, согласно черт. 27, груз приложен в расстоянии e от середины подкладки, то давление от подкладки распределяется в виде трапеции по постели, и между оконечными давлениями x и y устанавливается соотношение:



Черт. 27. Односторонняя нагрузка.

$$1) \quad \frac{x}{y} = \frac{l+6.e}{l-6.e}$$

То же соотношение существует и для поперечного сечения износа в том предположении, что глубина износа в каждом месте находится в прямом отношении к давлению. Поскольку поверхность постели чувствительна уже к незначительному перемещению нагрузки, можно видеть из того, что при длине подкладки $l=18$ см. и перемещении $e=1$ см. величина x уже вдвое больше y , а под рельсом шириною в 12 см. без подкладки она втрое больше. Соотношение становится более благоприятным, когда прибавляется новый, равномерно распределенный и постоянно действующий груз, как в случае сильного соединения рельсов со шпалами посредством скреплений. Уклон поверхности постели выражается, если F обозначает наблюдаемую площадь поперечного сечения износа, через:

$$2) \quad \frac{x-y}{l} = \frac{12.e.F}{l^3}$$

находится, следовательно, в обратном отношении к третьей степени длины подкладки, откуда выясняется чрезвычайно благоприятное действие широких подкладок. Таким образом, из уравнения 2 можно найти расстояние e линии давления от средней линии, если величины износа x , y и F установлены

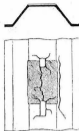
путем измерения. Оно, согласно наблюдений, колеблется при плоских подкладках на прямых участках и у наружной пятки умеренных кривых между 0 и 20 мм внутрь, у внутренней пятки между 0 и 20 мм наружу. При рельсовых стульях высотой в 5 см на прямом участке расположение груза в точности посередине подкладки оказалось самым благоприятным. К каким опасным последствиям как в отношении износа шпал, так и в отношении изменения ширины колеи, может повести нецелесообразное нагружение подкладки, может быть показано на взятом из действительности примере—черт. 27.

Поперек шпалы поверхности износа часто имеют выпуклость кверху, также с наклоном в одну сторону (черт. 26,6),—форму, которая имеет свое происхождение, главным образом, от неравномерной поддержки шпал в балласте и от продольного угона пути, в меньшей степени—от волнообразных движений рельсов. Ибо последние образуют в верхнем строении среднего веса уклоны, достигающие лишь до 1:600, вместе с тем—возникшие края шпал, которые происходят понижение средних шпал лишь на 0,2 мм, каковые, следовательно, могут без вреда восприниматься упругостью шпалы и балласта.

Износу постели в значительной мере содействует проникание вещества балласта, который отлагается особенно над краями подкладок и зачастую вырабатывает здесь в дереве желобчатые углубления. Вследствие механических воздействий подкладок и вещества балласта постели, особенно шпал из мягкого леса, приобретают волокнистое, подушкообразное строение, лобовые поверхности мест износа представляются смятыми или расщепленными (черт. 26, 1 до 4). Чем прочнее соединение, тем больше исчезает этот вид разрушения, тем тверже и глаже становится строение поверхностей постелей. При совершенно плотном и неподвижном соединении вообще не происходит больше никакого износа, напротив, подкладки вдавливаются в дерево, уплотняют верхние слои дерева и увеличивают их сопротивляемость (черт. 26,5). Этим объясняется также результат под № 6 и 7 таблицы на стр. 47-й, согласно которого подкладки в течение второго периода наблюдений вдавливались под тем же грузом значительно меньше, отчасти лишь на половину так глубоко, как в течение первого. Следовательно, поверхности постелей могут иметь тем меньшие размеры, чем плотнее их соединение с рельсами.

Износ железных поперечин.

Еще вреднее, чем на деревянные шпалы, влияют механические воздействия рельсов на железные шпалы наиболее употребительной корытообразной формы. Тонкая крышка сама по себе уже обладает малой сопротивляемостью внешним воздействиям, но вследствие непрерывного скольжения и уда-

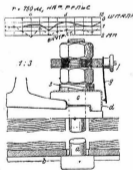


Черт. 28. Разрушение железных шпал.

ров рельсов ослабляется до такой степени, что она уже по истечении немногих лет подвергается совершенному уничтожению, которое, начинаясь от углов и мелких трещин у отверстий, охватывает всю постельную поверхность и ее окружность, как изображено на черт. 28 для случая слабой поперечины старой формы. Дальнейшие повреждения железных поперечин происходят от воздействий подбойки и твердого остроугольного вещества балласта, а затем—от ржавления. По определениям саксонских казенных железных дорог ¹⁾, ежегодный износ железных поперечин, выраженный в потере веса, может приниматься в 1,0 до 1,6‰, следовательно, его значение для долговечности поперечин железа недооценивать.

Упругость деревянных поперечин.

Передаче давления на шпалы существенно благоприятствует упругость вещества шпалы. Упруго податливая шпала способна ослаблять действия ударов, лучше превращать их в простые напряжения давления и,



Черт. 29. Упругость сосновых шпал.

воспринимая их в себя, в такой менее вредной форме передавать их дальше основанию. Она помогает рельсу быстро уклониться от жестких воздействий колеса помощью упругой податливости, минуя необходимость приводить в движение всю массу колес, сохраняет поэтому рельс, поперечину и балласт. Чтобы получить более точные сведения относительно величины упругого сжатия деревянных шпал под движущейся нагрузкой, был предпринят ряд измерений неповрежденных шпал в эксплуатируемом пути ²⁾. Для этого на всех шпалах одного рельсового звена обыкновенное прикреплете рельсов было, согласно черт. 29, заменено анкерными болтами а с нижним поперечным анкером

¹⁾ Сравни: Шейбе, Organ 1915, стр. 220.

²⁾ Сравни также: Zeitschrift für Bauwesen 1896, стр. 561.

В и с зажимной планкой е, между зажимной планкой и болтовой гайкой была вставлена изогнутая цинковая полоска d и пружинная шайба e с натяжением около 175 киллогр., а над болтовой гайкой крепко привинчена пластинка f с пружинным карандашом g. Анкерные болты натягивались до тех пор, пока пружинная шайба не закрывалась вполне. Таким образом, при сжатии шпалы под давлением колеса зажимные планки с опускались вместе с цинковой полоской, между тем как анкерные болты с карандашом сохраняли свое положение по высоте над нижней поверхностью шпалы неизменным, вследствие натяжения пружинных шайб. Поэтому прочерченные на цинковых пластинках по обеим сторонам рельса знаки показывают действительный размер сжатия шпалы под внутренним и наружным краями рельсовой подошвы. Основные шпалы поперечного сечения 26×16 см., с подкладками величиной 16×18 см., с расстоянием между шпалами в 77 см, сжимались давлением колес в 6,8 тонны под серединой рельса на величину от 0,6 до 1,8 мм, в закруглениях—в 750 мм у внешней нитки под внутренним краем рельсовой подошвы больше, чем под внешним, у внутренней нитки—наоборот, явление, согласующееся с наблюдаемым в других случаях способом передачи давления рельса в закруглениях. Дубовые шпалы, по наблюдениям, обладают едва третьей частью упругости основных, почему передают давление на основание не так благоприятно, как последние.

Направленные вверх растягивающие усилия.

Вместе с вертикальным давлением на шпалы изменяются направленные вверх растягивающие напряжения, как следствия поднятия колес перед и позади груза и обратных ударов разгруженных рельсов. Поднятия колес остаются в очень умеренных пределах (ср. черт. 1) и происходят настолько медленно, что растягивающие напряжения лишь немного превышают собственный вес шпал. Иначе обстоит дело с обратными ударами рельсов. Быстро разгруженный рельс устремляется вверх с тем напряжением, которое он испытал при нагружении, при неплотном соединении он свободно ударяется о скрепления, но прочно прикрепленную шпалу он увлекает с собой вверх, приводя ее инертную массу в ускоренное движение. Развивающиеся при этом растягивающие напряжения становятся тем большими, чем тяжелее шпалы и чем короче время, в течение которого рельс разгружается, следовательно чем больше скорость езды. Их можно оценить примерно в 400 кг. для каждой рельсовой постели. Другие растягивающие напряжения, которые появляются вследствие натяжения шпальных шурупов под влиянием движения, могут быть ограничиваемы любыми, безвредными, размерами поперечью соответственных мероприятий.

Боковые воздействия.

Исходящие от рельсов боковые сдвигающие усилия передаются при посредстве скреплений или других сопротивлений у рельсовой постели, на шпалы. Боковое давление скреплений действует на деревянные шпалы вообще неблагоприятно, во-первых, по причине незначительной величины поверхностей давления, во-вторых, вследствие действия усилия по закону рычага (черт. 30). Под действием этих усилий легко подвергаются чрезмерным сжимающим напряжениям особенно верхние, сами по себе менее способные к сопротивлению, слои деревянной шпалы, каковые напряжения могут оцениваться в крутых закруглениях при трех костылях у одной рельсовой постели примерно, в 200 кил./см.². Они смещают древесные волокна, нарушают прочность закрепления и создают вредные зазоры. Сжимающее напряжение может быть уменьшаемо путем увеличения количества скреплений и равномерной передачи давления при помощи подкладок, а так-же—посредством вставки широких деревянных дюбелей, наиболее, однако, действительным образом—посредством повышения сопротивлений трения по рельсовой постели. Правда, под вполне нагруженным рельсом трение по подверженной давлению опарной поверхности вообще уже само по себе достаточно для того, чтобы воспринимать боковые давления ¹⁾, однако, не то для менее нагруженных, или совершенно ненапряженных мест, также подверженных боковому давлению. Они поэтому нуждаются в увеличении трения посредством сильного натяжения скреплений. Сопротивления скольжению крепко стянутого соединения может быть в незначительной степени усилено помощью клейких прокладок, каковые образуются уже при выступлении пропитывающего вещества из шпал, или могут быть устроены при помощи прокладок пропитанных смолой волокнистых веществ или деревянных пластинок. Если удастся уничтожить боковые давления с помощью одних сопротивлений скольжению, то получается та, не могущая быть переоцененной, выгода, что избегаются все боковые движения и протекающие от них износы по постелям, что затем скрепления и места их закрепления в шпалах совершенно разгружаются от боковых сдвигающих усилий и, вследствие этого, самым действительным образом предохраняются от износа и сминания.



Черт. 30. Боков. давление.

1) Сравни: М. М. v. Weber, «Устойчивость рельсовой колеи», стр. 219. Вебер.

Так же, как для деревянных шпал, вредны боковые воздействия скреплений для железных шпал. Стенки отверстий в тонких крышках неспособны воспринимать сильные давления, тем более в том случае, когда соприкасающиеся поверхности трутся друг о друга. В этом случае в широких размерах происходит всем знакомые изнашивания как стенок отверстий, так и скреплений. Самым действительным предохранительным средством и здесь необходимо считать полную разгрузку стенок отверстий от боковых давлений.

Действия сил на скрепления.

К о с т ы л ы.

Рельсовым скреплениям легко могут быть приданы такие размеры, какие вполне соответствуют подлежащим восприятию напряжениям. Они получают, однако, свою форму не только по соображениям их собственной прочности, но и по соображениям надежности их закрепления, особенно для пути на деревянных поперечниках. Прочность закрепления обыкновенного костыля равняется его сопротивлению трения по жестко спрессованным упругим древесным волокнам. Это сопротивление, которое в новых сосновых шпалах для костылей длиной 160 мм и толщиной 14×14 мм может быть принимаемо в 2000 килогр., а в шпалах из твердого леса до 3500 килогр., вначале одно бывает достаточным против возникающих растягивающих напряжений, однако, с течением времени ослабевает упругое давление дерева и, при содействии атмосферических влияний, прочность закрепления уменьшается до весьма скромной величины, головки костылей приподнимаются над рельсовой подошвой,—заурядное явление в старых путях на костылях.

Ш у р у п ы.

Шуруп, который рядом с трением доставляет дереву действительные опорные поверхности, в состоянии передавать шпалу определенные напряжения постоянного характера (ч е р т. 31). При этом возникают два рода напряжений в дереве, во-первых, чистое сжимающее напряжение D по верхней поверхности винтового хода, во-вторых, срезающие напряжения S в дереве по окружности внешнего диаметра шурупа. При данной действующей силе срезающее напряжение зависит от работающей длины l и от внешнего диаметра шурупа, а сжимающее напряжение, кроме того,—от высоты h винтовой нарезки и шага винта a . Наиболее совершенное состояние имеет место тогда, когда дерево одинаково способно к сопро-

тивлению обоим видам воздействий. Это приводит к определенным соотношениям размеров, которые могут быть установлены лишь на основании более долгих наблюдений. Правда, посредством опытных нагрузок была определена прочность закрепления различных форм шурупов в новом дереве, напр., для шурупов в сосновых шпалах—до 3200 килогр., в дубовых—6000, в буковых—7300 кил., однако, этим ни в коем случае не дается мерила для их дальнейшей службы.



Черт. 31.
Шпальный шуруп.

Даже в очень старых путях находят шурупные скрепления в превосходном состоянии, винтовые нарезки шурупов в их первоначальной чистой форме, нарезки в дереве здоровыми и прочными, с другой стороны, в более молодых путях—нарезки почти съеденными ржавчиной, дерево рыхлым и изъеденным мокротой и жравчиной. Поэтому достоинство шурупного скрепления покоится не только на форме шурупа, но еще больше—на предохранительных мерах против разрушающих сил природы, особенно—против проникания мокроты.

По сравнению с шурупами для дерева, болты для железа с головкой и гайкой имеют то преимущество, что может быть использована их полная сопротивляемость растягивающим усилиям, почему они в состоянии образовывать соединения с гораздо более сильными натяжениями. Это особенно обнаруживается при соединении рельсов с железными шпалами, или железными стульями.

Обыкновенно считают, что наибольшие напряжения шурупы испытывают во время завинчивания. При этом в шурупах, рядом с растягивающими напряжениями, возникает скручивающие напряжения, коих величина меняется в зависимости от ширины предварительно просверленной дыры и твердости дерева, и часто является решающим обстоятельством при выборе размеров шурупа. Так как напряжение шурупа находится в определенном отношении к рычажной передаче шурупного ключа, то имеется возможность держать его в довольно определенных границах.

Очень неблагоприятно отзываются на скрепленных внецентренные воздействия. Наибольшее напряжение волокон в стержне шурупа, который односторонне опирается на рельсовую подошву, по расчету, почти в 8 раз больше, а напряжение в деревянной резьбе—в 4—5 раз больше, чем при одинаковом усилии, направленном по оси шурупа. Еще выше, почти до 10 раз, поднимается напряжение в односторонне подпертых болтах. Если принять в соображение, что на болт толщиной в 22 мм с помощью ключа длиной 50 см можно без труда передать напряжения в общем больше, чем в 2000 килогр., то получаются односторонние напряжения волокон, которые далеко превышают допустимый предел, особенно, если присоеди-

няются боковые воздействия с новыми сдвигающими и изгибающими напряжениями. Для долговечности путевых соединений имеет поэтому большое значение по возможности освобождать скрепления от всех воздействий, для восприятия коих они определенно не устроены, обыкновенные шурупы—особенно от сильных сдвигающих и изгибающих напряжений и односторонних усилий. О степени разрушительности подобных воздействий красноречиво свидетельствуют все собрания старых бывших в употреблении скреплений.

Действия сил на балласт и полотно.

От шпала давление передается дальше на балласт и на глубже лежащее основание. Балласт, как тело неоднородное и непрочное соединенное, не может воспринимать растягивающие напряжения, сжимающие же—лишь при содействии внутренних сопротивлений трения. Как только последние преобладают, в слабо связанном теле происходит сдвиг, предел сопротивляемости достигается.

Упругость балластного слоя.

Однако, вплоть до этого предела, плотно лежащий балласт обладает упругими свойствами, подобными таковым однородного подвергающегося давлению тела, а именно, принимают, что, по крайней мере, до известной степени нагружения величина его упругого сжатия находится в постоянном отношении к величине давления,—предположение, на которое опирается весь расчет верхнего строения. В качестве коэффициента упругости материала балласта, большей частью называемого кратко коэффициентом балласта C , вводится груз в килограммах, под действием когото 1 см^2 верхней поверхности балласта упруго опускается на 1 см . При этом не может быть речи о каких-либо твердо установленных или тесно ограниченных величинах, ибо упругое опускание балласта изменяется, в зависимости от более рыхлого или ставшего с течением времени более плотным сложения, в зависимости от величины, формы и упругости отдельного зерна, а также в зависимости от упругости основания, в широких пределах. Циммерман, на основании тщательных исследований при неподвижной нагрузке, устанавливает величины C —для гранулированного балласта—3, а для щебенистого—8. К существенным результатам приходит Васютинский при его обширных, произведенных под подвижным грузом наблюдениях¹⁾. Он отделяет коэффициент упругости собственно балласта от тако-

¹⁾ Organi 1879 до:полнительная тетрадь.

вого основания и находит для песчаного основания опускание, которое почти в точности соответствует опусканию, определенному для глинистого основания согласно черт. 8. Отсюда он выводит коэффициент упругости δ для основания на глубине 50 см под шпалой. Для гравелистого грунта самого по себе он находит величину 6,9 до 9, для гранитного щебня—лишь 4,6 до 6,5, и отсюда для гравелистого балласта вместе с основанием—величину $C=4,7$ до 6,1 и для щебеночного балласта вместе с основанием—лишь $C=3,4$ до 4,8. В других случаях принимаются значительно более высокие величины, для щебеночного балласта на сухой каменной кладке—15, даже до 30.

Упругость пути в целом.

Упругое опускание всего пути в целом, таким образом, составляется из упругого сжатия балласта и шпалы, и из печенования просветов между рельсом, шпалой и балластом. Как выше упомянуто, наблюдаемое упругое сжатие сосновых шпал под давлением колеса в 6,8 тонн составляло от 0,6 до 1,8 мм. Упругое опускание гравелистого балласта вместе с его основанием было в то же время наблюдеено в размере от 0,5 до 1,2 мм. Это должно бы составить в прочно соединенном и прочно лежащем пути общее опускание в среднем около 2 мм. Действительное опускание всего пути под подобным грузом было определено Васютынским в размере от 2,2 до 3 мм, автором настоящего труда,—в прочно соединенном и хорошо уложенном пути,—в размере от 1 до 2,3 мм, в старом пути на костяках с сосновыми шпалами—от 1,5 до 4,8 мм. Эти более значительные опускания должны быть отнесены на счет просветов под рельсами или шпалами. Хотя посредством устройства прочных соединений просветы между рельсом и шпалой почти устраняются однако между шпалой и балластом они при этом увеличиваются. Эти просветы под шпалами были определены в прочно соединенных, хорошо уложенных на гравелистом балласте, путях, в пределах от 0 до 1,2 мм. Они, обыкновенно, появлялись группами



Черт. 32. Положение шпал на весу.

Длины 1 : 150, высоты 5 : 1.

пути попадались лишь единичные поднявшиеся на величину до 0,4 мм шпалы. При попеременно дубовых и сосновых шпалах просветы под дубовыми были равномерно большими, чем под сосновыми,—явление, которое связано с различной степенью упругости обоих родов шпал, и которое не позволяет рекомендовать смешанное применение неоднородных шпал,

являлись группами (черт. 32), при чем их величина обуславливалась основной формой рельса и тяжестью колес. В слабо скрепленной

как это прежде часто было принято. Под железными шпалами наблюдались просветы до 2 мм.

В статическом отношении, размер упругого опускания пути имеет, по Циммерману, то значение, что давление рельсов на шпалы и давление балласта уменьшаются с увеличением податливости балласта, а изгибающие рельс и шпалу моменты увеличиваются. У стыковых переломов опускание пути в положении покоя претерпевает от динамических воздействий приращение, которое при выше описанных опытах колебалось между 50 и 100%. Такое же приращение Васютинский находил при своих наблюдениях. Аст оценивает все приращение вследствие динамических воздействий до 133%, Фламах и Дудлей — примерно до 100%. Чтобы соотношение между приращениями изменялось по определенным законам в зависимости от степени упругости пути, нельзя усмотреть из производившихся до сих пор наблюдений. Также и другие опыты не дают основания увеличивать упругость пути, которая при нынешнем устройстве пути составляет около 2—3 мм, для того, чтобы ослабить действия ударов, тем более, что с этим были бы связаны другие невыгоды, а именно, более легкое ослабление всего состава пути и продольный угон вследствие усиления волнистости пути. Задлер рекомендует умеренную, но равномерную упругость пути, хотя он и считает, из чисто теоретических соображений, полезным больший размер таковой.

Несовершенная упругость.

Хотя и можно считать, что под однократным нагружением балласт сохраняет полную упругость, однако под влиянием частой перемены нагрузки он претерпевает также остающиеся деформации, которые не остаются без влияния на распределение давления балласта. Там, где равномерно возникают более сильные давления балласта, балласт постепенно более подается, чем в местах, подвергающихся меньшим давлениям, и таким путем, до известной степени, выравнивается давление балласта. Для того, чтобы сделать очевидным этот процесс, может служить следующий опыт. На участке пути с деревянными шпалами, крепко прикрепленными шурупами, на траверсистой балласте, отдельные шпалы были намеренно неодинаково подбиты, так что, после прохода первых поездов, лишь одиночные шпалы покоились плотно на балласте, а остальные держались свободно навесу. Просветы под шпалами были определены помощью измерения опусканий, которые испытывали шпалы при ослаблении прикрепляющих их шурупов. Помощью повторных измерений (черт. 33) было затем найдено, что просветы с течением времени уменьшились и что, следовательно, более нагруженный балласт под плотно лежащими шпалами скорее подавался, пока воздействия на балласт

почти выравнились, во всяком случае, одновременно с сильным нарушением первоначальной равномерности положения пути по высоте. Можно предположить вперед, что подобные процессы происходят и под отдельными шпалами. На новом балласте



Черт. 33. Выравнивание давления балласта. Длина 1:3, высоты 1:1.

давление упругой шпалы вначале распределяется не равномерно (черт. 25), однако, с течением времени — почти выравнивается по всей длине шпалы вследствие более сильной податливости подвергающихся большому давлению мест. Такое выравнивание давления имеет своим последствием то, что наибольшее давление балласта уменьшается, а изгибающее напряжение в шпале увеличивается. Затем этот процесс выравнивания давления предполагает вперед, что поверхность балласта не останется ровной, но уже в незагруженном состоянии принимает под шпалой ту же форму, как упругая линия нагруженной шпалы под равномерно распределенным давлением балласта (черт. 34).



Черт. 34. Равномерно распределенное давление балласта.

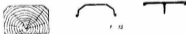
При разнообразии величин нагрузок нужно предположить, что при этом осуществляется такая форма упругой линии, которая, примерно, соответствует средней величине нагрузки. Итак, незагруженная прямая шпала покоится

лишь в нескольких местах на балласте. Наиболее благоприятное положение имеет место тогда, когда просветы под шпалой d остаются возможно малыми, когда, следовательно, шпала в состоянии покоя опирается в трех местах: посредине и по концам. Согласно расчету, это положение наступает при длине шпалы около 270 см. каковая длина рекомендуется в Циммерманом, в предположении неравномерного давления балласта. Наибольший просвет d при этом составляет под деревянными шпалами, согласно расчету менее чем 0,5 мм, под употребительными железными шпалами, примерно, вдвое больше. В согласии с этим, Васютынский наблюдал, что при длинных шпалах в 270 см. головы менее опускаются, чем выходит по расчету

Циммермана, а при коротких шпалах в 244 см — больше. Кюено в действительности находил форму нагруженной шпалы в виде оттока в балласте. Также известно и легко можно наблюдать, что гибкие железные шпалы длиной 270 см в ненагруженном состоянии часто лежат плотно своими концами, под рельсом же с просветами, явление, которому сверх того, вероятно, содействует обычно более сильная подбивка концов. Как бы то ни было, длину шпалы в 270 см можно считать вполне достаточной, и не имеет никакого основания выходить за пределы этого размера.

Процессы, происходящие в балласте под нагрузкой, наблюдал Шуберт¹⁾, помощью особых опытов в таком роде, что он шне пути образовывал прочно отграниченные балластные тела, и в быстрой последовательности, наподобие действительных процессов в пути, нагружал и разгружал таковые при посредстве накладываемых кусков шпал с помощью механического приспособления. Он находил, что свежо подбитая шпала сначала быстро, потом медленнее вдавливается в балласт, пока после полного уплотнения вещества балласта не наступит установившееся состояние, при котором путь под дальнейшим нагружением опускается равномерно. Опускание до наступления этого установившегося состояния он обозначает как потерю балласта. Отношение опускания к числу нагрузок он изображает на чертеже в виде линий опускания, которые дают наглядный масштаб для определения сопротивляемости балласта и полотна, и для суждения о целесообразности различных форм шпал. Он далее установил, что потери балласта и дальнейшее опускание после каждой новой подбивки становится все меньше, что они получаются меньшими при шпалах с плоской постелью, чем при корытообразных шпалах, что они наконец уменьшаются быстро по мере уменьшения расстояний между шпалами. Под одинаковым грузом опускание в гравелистом балласте было, примерно, в три раза большим, чем в твердом каменном щебне, и опускание железных корытообразных шпал, примерно, в шесть раз большим, чем деревянных. По-

Черт. 35. Сопротивление балласта шп.:
деревянной шп. корытообр. шп. ребристой шп.



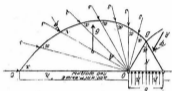
тери в высоте подбивки относились при деревянных шпалах, плоских железных ребристых шпалах и железных корытообразных шпалах форм черт. 35, как 2 : 5 : 8. Установившееся состояние опускания наступало при деревянных шпалах после, примерно, шестикратной подбивки, при железных

¹⁾ Zeitschrift f. Bauwesen 1896 и 1897, Organ 1897.

корытообразных шналах лишь после 20-ти кратной подбивки, после того как просвет под шпалой вполне заполняется измельченным материалом балласта. Раз установившееся состояние было достигнуто, то размер дальнейшего опускания оставался менее зависящим от формы и материала шпала, чем от материала балласта и от расстояний между шпалами.

Сдвиги в балласте.

Одновременно с вертикальными в балласте под сильной нагрузкой происходят боковые сдвиги, которые имеют свое начало под шпалами и в результате ведут к вспучиванию балласта рядом со шпалой. Эти круговые движения были математически исследованы сперва Шведлером, потом Циммерманом. Оба предполагают, что в балласте на особенно прочном полотно, согласно черт. 36, начиная от сильно нагруженной



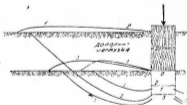
Черт. 36. Отделяющееся тело балласта по Циммерману.

у вершины $\alpha = \frac{1}{2} \pi - \varphi$. На отделяющееся тело, в качестве внешних сил, действуют: собственный вес g , давление шпалы p , b , сопротивление R у клина и направленные к точке O сопротивления s по поверхности скольжения BC . Из вращательного момента всех действующих сил вокруг точки O вычисляется нагрузка шпалы, которая в состоянии привести в движение отделяющееся тело. Форма пути скольжения представляется в виде логарифмической спирали. Сопротивление отделяющегося тела находится в определенной зависимости от угла трения φ , дополнительной нагрузки h рядом со шпалой и ширины шпалы b . Особенное значение имеет угол трения φ , который выражается углом естественного откоса вещества балласта. Если последний возрастает от 30° до 40° , — разницы, с конями приходится считаться в гравелистом балласте, то сопротивление возрастает уже в пять раз. Затем сопротивление пути возрастает с высотой дополнительной нагрузки на балласт и с шириной шпалы, в прямом отношении к последней при отсутствии дополнительной нагрузки. Шведлер выводит отсюда для допустимого давления в гравелистом балласте среднюю величину $p = 0,08$. b килогр./см.²

Сопротивляемость балласта.

Подобно этим, вычисленным, протекают действительные процессы, которые Шуберт наблюдал в пути при своих опытах с давлением. Для того, чтобы получить дальнейшее освещение этих процессов, имеющих такое значение для сопротивляемости балласта, автором настоящего труда были организованы новые опыты ¹⁾, которые имели целью точно исследовать все действительные движения во всех частях балластного тела и определить тот груз, под которым балласт в конце-концов совершенно поддается и вместе с тем достигает предела своей сопротивляемости. Такие опыты могли быть произведены лишь с моделями в малом масштабе. Результаты поэтому не могут быть без дальнейшего перенесения, по размерам и численным значениям, на большие масштабы, или на действительные обстоятельства в пути, и должны быть скорее рассматриваемы как средства для наглядного представления своеобразных передач усилий в насыпных массах. Для опытов большей частью применялся мелкий просеянный песок с величиной зерен меньше 1 мм. Последний укладывался тонкими, различно окрашенными слоями в ящик с передней стеклянной стенкой, и при посредстве шпалообразных дощечек подвергался давлению пневматического штемеля, соединенного с манометром. Возникшие при этом движения слоев зарисовывались на стеклянной пластинке, и таким путем получались изображения передвижений в каждом любом месте. Ширина шпала составляла от 25 до 80 мм, ширина балласта возле шпала могла изменяться по желанию посредством вставки твердых стенок.

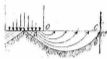
При первых опытах с одиночными шпалами в неограниченной с боков постели последняя сначала сжималась вертикально под шпалой, затем при дальнейшем возрастании давления начинала передвигаться в бок под и около шпала, таким образом, что над некоторым нижним, остающимся в покое, слоем отделялось тело, сначала расширяющихся линий, затем резче и определенное. При совершенном обнаружении линии раздела достигалось наибольшее сопротивление балласта, шпала внезапно проваливалась при сильном понижении давления. На черт. 37 представлены некоторые из этих линий отделе-



Черт. 37. Наблюдаемые линии отделения 1:3.

¹⁾ Zeitschrift f. Bauwesen, 1904, стр. 591.

ния (1, 2, 3). Они в общем, по своей форме, соответствуют вычисленной Шведлером логарифмической спирали, однако не удается обнаружить ясно выраженного клина давления в этом виде, как его предполагал Шведлер. Правда, возникали вертикальные движения несущих зерек под шпалой, которые могут пагубить на предположение о наличии такой формы, однако настолько же часто, особенно под сильным давлением в ограниченном стенкой балласте начинались вращательные движения, каковые наблюдал и Шуберт, уже непосредственно под шпалой рядом с крепким, обращенным острием вверх опорным клином (ср. черт. 38). Отделение очевидно



Черт. 38. Линии давления в ограниченном балластном слое.

следует той линии, которая представляет наименьшее сопротивление сдвигу. Тому соответствует в неограниченном балласте Шведлеровская линия. Если же балласт с боку ограничен, то линия отделения принуждена идти более короткого, хотя и представляющего большее сопротивление пути, какой изображен на черт. 38. Чем больше увеличивается ограничение, тем меньше становится угол наклона β , пока он не достигнет предельной величины φ , угла трения вещества балласта, ниже которого даже при самом сильном давлении никакое боковое сдвижение более не возможно. Следовательно, балласт, при известном размере бокового ограничения OC , достигает беспредельной сопротивляемости.

Далее для того, чтобы сдвинуть по основанию состоящее из рыхлой пыльной массы отделяющееся балластное тело в целом, его нижние слои требуют более сильного давления, чем верхние, ибо им приходится преодолевать более длинные пути трения и большие сопротивления. А так как эти нижние слои свое боковое давление получают от средней части шпалы,

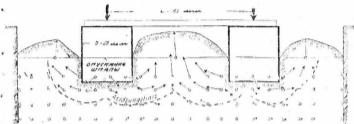


Черт. 39. Сопротивляемость балластного слоя под отдельными шпалами.

то давление балласта в середине шпалы становится наибольшим, по направлению к краям — меньшим (черт. 38) — явление, которое вытекает также из Шведлеровского предположения, и которое могло быть непосредственно наблюдаемо при опытах над давлением. На черт. 39 изображена наглядно сопротивляемость балласта из мелкого песка, вплоть до провала под одиночной шпалой при возрастании бокового ограниче-

ния постели и под различной дополнительной нагрузкой балласта сверху, рядом со шпалой. Как видно, сопротивляемость возрастает значительно с дополнительной нагрузкой и в быстро восходящем обратном отношении к ширине постели, следовательно, и к расстоянию между шпалами.

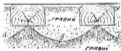
Процессы подобного рода протекают и под давлением двух соседних шпал. От обеих исходят линии отделения, ко-



Черт. 40. Сдвиги в песчаном балластном слое, 2:3.

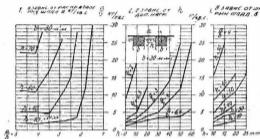
торые встречаются под шпалами и совместно преломляются вертикально кверху. Опыт давления, черт. 40, наглядно показывает посредством стрел по направлению и величине, движения, совершаемые во время опускания шпал единичными точками балласта, а также—положение линии отделения. Преломление кверху, очевидно, затрудняется, когда обе линии отделения уже более не могут встретиться под углом, направленном кверху, но беспрерывно переходят друг в друга, или принуждены сталкиваться под углом, направленным вниз, как показывает черт. 41.

В таком случае возникает, в качестве опоры для шпал, неподвижный сводообразный слой ниже линии ABC, из коего, даже при наибольшем давлении, никакая частица материала балласта не может устремиться кверху. Когда наступает это состояние, зависит, кроме строения балласта, существенно от распределения шпал под рельсом, т.е. от отношения $a : b$, расстояния между серединами шпал к ширине шпалы. Оно было достигнуто при опыте со шпалой шириною 30 мм в балласте из мелкого песка при распределении шпал $a : b = 1,5$, и при дополнительной нагрузке балласта над подошвой шпал примерно в 20 мм, с увеличением давления на балласт до 40 кил. гр./см². Также



Черт. 41. Балластный свод.

изображенный на черт. 42,1 опыт подтверждает подобные обстоятельства давления. Ибо при редком расположении шпал сопротивление постели остается довольно одинаковой, лишь, начиная с определенного распределения $a : b$ между 4 и 2, смотря по высоте дополнительной засыпки, оно внезапно возрастает в сильно восходящей степени—явление, которое должно быть объяснено наступившим замыканием балластного



Черт. 42. Сопротивляемость балластного слоя под несколькими шпалами.

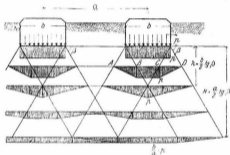
слоя. Из черт. 42,¹ можно видеть, как сопротивляемость балласта увеличивается в возрастающем отношении к дополнительной нагрузке, и притом, тем больше, чем теснее расположение шпал. С широким шпалами в увеличивается сопротивляемость, отнесенная к единице нагруженной поверхности, примерно, в постоянном отношении (черт. 42,²), как и Циммерман доказывает путем расчета. Из выдающегося влияния тесного расположения шпал, объясняется также незначительность устойчивости продольного лежня, который, в отношении передачи давления, может быть рассматриваем, примерно, как одиночная шпала в балласте, неограниченном с боку.

Вследствие сотрясений под движущимся грузом уменьшается сопротивление трения в балластном теле и с тем вместе его сопротивляемость, тем больше, чем круглее зерна балласта. При опытах с давлением, под равномерным единичным давлением, соответствующим обыкновенной подвижной нагрузке рельсового пути, но при сильном сотрясении несчаной постели, не удалось достигнуть совершенного положения покоя. Однако, влияние распределения шпал на погружение шпал обнаруживалось совершенно подобным образом, как и при неподвижном грузе, особенно—чрезвычайно благоприятное влияние тесного расположения шпал и высокой засыпки над подошвой шпал.

Распределение давления в балласте.

Однако, обыкновенной нагрузки пути ни в каком случае не бывает всегда достаточно для образования действительных отделяющихся тел, или опорных сводов. Вспучивания между шпалами, правда, образуются в гравелистом балласте также и при довольно тесном расположении шпал, однако, редко— в чистом щебеночном балласте с его большим сопротивлением трения.

Можно причесть, что под обыкновенной нагрузкой давление, начиная от шпалы распространяется в балласте приблизительно в форме расходящейся кнаруже трапеции, и что это давление почти одинаково по всей ширине шпалы. Если следо-



Черт. 43. Распределение давления в балластном слое.

вать простейшему предположению, что давление на балласт от каждой точки шпальной поверхности шпалы распространяется вниз конусообразно по прямым линиям, то получается распределение давления, изображенное на черт. 43. Под каждой отдельной шпалой образуется в отдельных слоях балласта по особой средней зоне одинакового давления BC, ибо каждая точка этой зоны лежит в области всех исходящих от шпальной поверхности шпалы конусов давления. Присмыкаясь зоны VA и VD удаляются постепенно из общей области всех конусов давления и испытывают таким образом равномерное уменьшение давления. Навстречу действует вырабатывающим образом давление от соседней шпалы, которое в конце-концов ведет к совершенно равномерному распределению давления на глубине, зависящей от расстояния между шпалами, именно, согласно черт. 43. на глубине $H = \frac{1}{2} a \text{ tg } \beta$. Из изображенных

на различных глубинах фигур давления видно, что единичное давление сначала сохраняет остающееся постоянным наибольшее значение p до некоторой глубины $h=1/2 \cdot b \cdot \operatorname{tg} \beta$, и уменьшается только на большей глубине. При среднем значении $\beta=60^\circ$, $b=26$ см, $a=60$ см, получаем $h=22$ см, $H=52$ см. Хотя способ распределения давления, именно угол β , и является



Черт. 44. Раздавливание земляного пласта по Шуберту.

неопределенной величиной, все-таки очевидно, что полное уравнение давления имеет место только на значительной глубине, по опытам Шуберта — на глубине $a=+20$ см. Такое далеко распространяющееся выравнивание давления необходимо на легко поддающемся основанию, т.к. в нем, при



Черт. 45. Вспучивание мягкого земляного полотна по Шуберту.

одинаковом давлении образуются подобные как в балласте, но более короткие, отделяющиеся части, которые вымучиваются кверху между шпалами, увлекая за собой лежащий на них балласт. Это вымучивание усиливается тем, наблюдаемым также Гейнцелем и Шубертом, обстоятельством, что давление на балласт от шпалы передается на податливое основание по более крутому направлению, т.е. распространяется в сторону меньше, чем при твердом основании. На черт. 44 показан произведенный Шубертом опыт давления, на черт. 45 — состоявшие в эксплуатационном пути, из коего видно своеобразное далеко распространяющееся выдавливание мягкого, глинистого грунта ¹⁾. Шубертходит далее, что щелевой балласт передает давление на основание равномернее, чем гравелистый балласт, что вращательные движения под шпалой над твердым основанием происходят по тем более пологим направлениям, чем теснее распределение шпал. При расстоянии между шпалами в 55 см и ширине шпалы в 25 см они распространялись только на 12—15 см ниже шпалы, в то время как более глубокие слои оставались свободными от боковых выдавливаний. (см. также черт. 41).

¹⁾ Подробности: Шуберт, устройство полотна «— Zeitschrift f. Bauwesen / 1889 / 1891.

Сопротивляемость балласта под концами шпал.

Иначе обстоит дело с балластом перед концами шпал, где его боковое сопротивление значительно меньше, чем между шпалами, в связи с тем и общая его сопротивляемость нагрузке ослабевает. Если нагрузка превышает определенный предел, то балласт здесь поддается раньше, чем под средней частью шпал, и давление на балласт уменьшается приблизительно так, как изображено на черт. 46. И в более глубоких слоях становится заметным более незначительное боковое сопротивление. Если рассматривать путь, как одно слоенной формы тело, то при недостаточной сопротивляемости основания образуются сбоку отходящая часть, подобные тем, какие образуются сбоку у продольных торцов отдельной шпалы, не имеющих боковых ограничений. Они проникают через балласт глубоко в основание и появляются в очень податливом глинистом грунте в виде боковых выдающихся бровок и вспучиваний поверхности полотна, которые тянутся в виде валов вдоль торцов шпал (черт. 46).



Черт. 46. Боковое давление в теле земли полотна.

Сопротивление поперечному сдвигу.

Поперечное сдвигающее усилие, исходящее от рельсовой шпалы, воспринимается в балласте, отчасти, посредством сопротивления окружающей колесо балластной массы, отчасти, посредством трения шпал в балластном слое. Расположенная перед торцами шпал часть балластного слоя под влиянием недостаточного сдвигающего давления отделяется по некоторой поверхности ав, которая оказывает сдвигу самое незначительное сопротивление; вообще сдвиг происходит по восходящей поверхности скольжения АВ, черт. 47. В шероховатом балласте с коэффициентом трения $\mu = 1$ расчетное сопротивление засыпки на один метр пути составляет около 125 кгр., сопротивление трению ненагруженной колес на деревянных шпалах составляет около 150 кгр. К этому прибавляется при хорошо слежавшемся балласте довольно значительное сопротивление трению вдоль продольных сторон шпалы, так что можно считать, что боковое сопротивление балласта для ненагруженного пути составляет около 400 килогр. на 1 метр пути. М. М. фон Вебер находит посредством пробных давлений сопротивление одной деревянной шпалы боковому сдвигу в засыпанном балластом, ненагруженном пути, на плотно слежавшемся щебеночном балласте, в среднем равным около



Черт. 47. Сопротивление перед торцами шпал.

500 кгр. Сильнейший боковой сдвиг происходит в незагруженной колее вследствие перемен температуры, когда рельсы не могут свободно удлиняться.

Боковое единичное давление p балласта (ч е р т. 48), которое необходимо для уравновешения продольного напряжения P в рельсовой нитке на кривой радиуса r получается из уравнения $P = pr$. Если принять для P чрезвычайно большое значение и



Черт. 48. Поперечный сдвиг.

36.000 калгр., которое должно бы иметь место в наглухо закрепленных рельсах при увеличении температуры до 30° , то боковое давление p в кривой радиуса 300 мт на 1 мт длины рельса составляет только 120 кгр, а, следовательно, на 1 мт колеи 240 кгр. В соответствии с этим, путь, засыпанный балластом, даже при ограниченной свободе расширения рельсов является в высокой мере обеспеченным против бокового выжимания колеи, что, как учит опыт, не имеет места при засыпанном балластом пути. В нагруженном пути при хорошей укладке боковые сдвиги обыкновенно парализуются уже вследствие увеличившихся сопротивлений трения по балласту. Там же, где они все-таки появляются, можно выводить заключение о неправильностях в содержании или об ошибках в укладке пути.

Сопротивление продольному сдвигу — угону.

Против угона колеи сопротивление отдельный шпале оказывает лишь узкое балластное тело K (ч е р т. 49); величину сопротивления при одинаковом с вышеуказанным допущением,



Черт. 49. Продольный сдвиг.

можно оценивать приблизительно в 300 кгр. К этому прибавляется сопротивление трения шпалы по ее основанию в 150 кгр., так что каждой шпале в ненагруженной колее противопоставляется сопротивление около 450 калгр. Рельсовое звено в 15 метр. длины на 24 шпалах, в согласии с этим, встречало бы в балластсопротивлении 10800 калгр., которое соответствует стремлению к продольному сдвигу каждого рельса с силой в 5400 килеогр. Такой значительный односторонний сдвиг может произойти уже вследствие увеличения температуры на $4,5^{\circ}$ при неравномерном зажатии стыковых накладок, не говоря о других, действующих в колее,двигающих силах. Также и опыт подтверждает, что сопротивление балласта существующим на деледвигающим силам ни в коем случае не всегда достаточно. Тем более представляется необходимым привести достаточный слой в полном объеме к сопротивлению, то есть, соединить шпалы с

рельсами таким образом, чтобы их бока могли быть вполне использованы, как пункты опоры в балласте. Это уже достигается, когда рельс встречает сопротивление скольжению около 250 килогр. на каждой шпальной постели.

Износ вещества балласта.

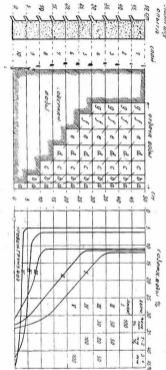
Износ балласта происходит вследствие воздействия погоды, вследствие изменений в нагрузке, сопровождаемых передвижениями и внутренними трениями в веществе балласта, далее вследствие ударов и скольжения жестких шпал в балластном слое, но больше всего вследствие действия подбоек. До какого значительного размера доходят эти разрушения, показывает Шуберт в своих опытах по подбивке и нагрузке колес. Он находит, что от 1000 ударов при подбивке в чистом крупнозернистом гравелистом балласте образуется 4,5 литра пыли с зернами менее чем 1 мм. Это означает для одной полной подбивки одной шпалы около 5 до 7 литров. В твердом щебне это количество уменьшается до одной третьей его части. И так как при щебеночном балласте, в виду его более устойчивого положения, реже приходится производить подбивку, то Шуберт оценивает износ твердого щебеночного балласта только в одну седьмую часть износа гравелистого балласта. В отношении формы и рода шпал, Шуберт наблюдал далее, что под коробчатыми железными шпалами разрушаются вещества балласта вдвое больше, чем под деревянными шпалами, или под плоскими железными шпалами (черт. 35),—явление, причину которого нужно искать в более усиленной подбивке и в большей работе трения под коробчатыми железными шпалами.

Вред, который причиняется износом балластного слоя, состоит не только в потере годного к употреблению балласта, но также и в ухудшении всего балластного слоя (черт. 50). Образующееся под шпалами разрушенное вещество балласта пробивается частью через крупно-зернистый слой вниз, частью же, вследствие приподнятия и проседания шпал при прохождении поезда, особенно в мокрую погоду, высасывается вверх и откладывается здесь в виде илестых образований. (Особенно благоприятствует этому явлению полая форма коробчатой шпалы и дает подходящее место илестым образованиям внутри себя. В мелкозернистом гравелистом балласте ил вообще не проникает до самых нижних слоев, напротив того—полностью высасывается вверх и при обратном ударе шпалы, выдавливается на сторону, чтобы отложиться возле шпал на верхней поверхности в виде валиков. Если это автоматическое очищение и приносит очевидную пользу, то оно не обходится без разрыхления и ослабления



Черт. 50. Разрушение вещества по Шуберту.

балластного слоя. Ибо балластный слой сильно теряет в способности сопротивляться, если количественное содержание в нем воды превосходит известную границу, а именно — обыкновенную грунтовую влажность. Однако, балласт способен тем больше задерживать в себе воды, чем мельче его вещество.



Черт. 51. Совершенство поды в гравелистом балласте.

Содержание воды в гравелистом балласте.

Чтобы узнать теперь, как велики и как далеко распространяются эти задерживаемые количества воды, узкий железный ящик, 50 см высотой (ч е р т. 51), был снабжен по одной из боковых стен вертикальным рядом дыр, просверленных в расстоянии 5 см друг от друга, и был сначала, при закрытых отверстиях, наполнен высушенным мелким песком, состоящим из зерен величиной меньше 1 мм, полученным путем просеивания из обыкновенного балластного гравия. После того, как вся сыпучая масса совершенно пропитывалась водой и количество израсходованной воды было точно определено, постепенно, начиная сверху, одна за другой, открывались дыры, и определялись количества воды, которые вытекали из каждой дыры. Из первой дыры вытекла только незначительная часть стоявшей выше этой дыры воды, из чего видно, что мелкое вещество балласта на

совершенно пропитывалась водой и количество израсходованной воды было точно определено, постепенно, начиная сверху, одна за другой, открывались дыры, и определялись количества воды, которые вытекали из каждой дыры. Из первой дыры вытекла только незначительная часть стоявшей выше этой дыры воды, из чего видно, что мелкое вещество балласта на

высоте в 5 см над уровнем грунтовых вод удерживает в себе почти всю полученную им воду. Отдача воды из верхнего слоя представлена на черт. 51 площадью а, слоем 1. Из второй дыры вытекло значительно больше воды. Но это могло произойти только вследствие прибавления части а из ближайшего второго слоя, т. к. на одинаковой высоте над горизонтом грунтовых вод удерживается всегда одинаковое количество воды. Остаток в поэтому должен был отдать первый слой, который находился теперь на большей высоте над горизонтом воды. Соответственно этому на чертеже нанесено в виде отдачи воды в слое 2—количество а, и в слое 1—количество в. Еще большим было вытекание из дыры 3. Оно распределяется таким же образом между слоями 3, 2 и 1 соответственно в количествах а, в и с излишком с. Вытекавшее количество воды все возрастало до дыры 7, т. е. до глубины в 35 см под верхней поверхностью, затем, однако, оставалось на дальнейших глубинах одинаковым по величине. Следовательно, на глубине 35 см приток из верхнего слоя прекратился, после отдачи этим последним всего излишка воды вплоть до остатка, соответствующего обыкновенной почвенной влажности. Этот опыт показывает, что мелкий песок с величиной зерен меньше 1 мм имеет способность удерживать в себе воду в убывающем количестве до высоты около 35 см над горизонтом грунтовых вод, или всасывать ее на ту же высоту. В правой части чертежа 51 показано для гравия с различной крупностью зерен, различными способами перемешанного, распределение содержания воды в отдельных слоях после открытия самого нижнего спускного отверстия. Как видно, наибольшее влияние на высоту всасывания в балластном слое оказывает содержание мельчайших зерен размерами меньше 1 мм. Время, которое требовалось, чтобы из отдельных отверстий последовательно извлечь всю воду, составляло при мельчайшем зерне меньше 1 мм около двенадцати часов, между тем как при более крупном зерне свыше 1 мм вода вытекала полной струей в короткое время. Из этого следует заключить, что в отношении содержания воды и водонепроницаемости величина зерен не менее 1 мм безвредна, напротив того,—вредное действие нужно искать только в мельчайшем балласте с зернами менее 1 мм. Как горизонт грунтовых вод нужно рассматривать водонепроницаемую поверхность земляного полотна. Если балластный слой настолько слаб, что высота всасывания достигает почти подошвы шпалы, то эта последняя вновь выкачивает при каждом проезде влагу наверх, где она тем-дольше остается, чем водонепроницаемое балластный слой. Балластный слой с большим содержанием мелкого песка требует поэтому на водонепроницаемом земляном полотне, так же и по этой последней причине, большей толщины, чем чистый крупно-зернистый балластный слой. Незначительное, появляющееся в виде обыкновенной грунтовой влажности, содержание воды влияет благоприятно на сопротивляемость мелкого балласта.

Действие мороза.

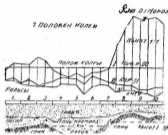
Некоторые роды грунта страдают как от мокроты, так и от мороза. Землистое водопроницаемое основание, как, напр., разные породы глины, уже при незначительном действии мороза сильно вспучивается, чего не случается с песчаным, хотя бы мелкозернистым и медленно пропускающим воду грунтом, с гравелистым же балластом только тогда, если он слишком загрязнен земляными составными частями. Песчаные подстилки, доходящие до глубины промерзания, достаточны поэтому для того, чтобы предотвратить появление тунин под путем. Гравелистый балласт, между тем, в мерзлом состоянии неводопроницаем и поэтому не может пропускать воду при таянии. Это качество для пути на деревянных поперечинах правда, менее вредно, т. к. под деревянной шпалой, как под плохим проводником тепла, мерзлота исчезает быстрее, чем между шпалами. Гравелистый балласт, находящийся между шпалами, уже может поэтому отводить воду от таяния, коль скоро она образуется под нижней постелью шпал. Железные шпалы, напротив, отделяются как хорошие проводники тепла, очень скоро от оттаивающего балласта, прежде чем он становится способным отводить воду от таяния, присасывают к себе мокроту и образуют в течение дней и недель настоящие илстые корыта, пока весь балластный слой не оттаяет. Они требуют поэтому особенно крупно-зернистого всегда водопроницаемого балластного слоя.

Изменения в положении колен.

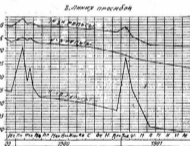
Все эти воздействия на балластный слой проявляются в исчезающих просадках и сдвигах рельсовой колеи. Объем и время, в течение которого это происходит, образуют важнейший внешний признак доброкачественности балластного основания. Более точные наблюдения в этом направлении были произведены в течение больших промежутков времени на отдельных участках пути по двенадцати рельсовых звеньев длиной с различными родами верхнего строения, балластного слоя и земляного полотна, но с совершенно одинаковой подвижной нагрузкой¹⁾. Оставшиеся просадки колен определялись у всех стоек и средних рельсов через известные промежутки времени, в зависимости от погоды и предстоящих работ по подбивке. Один пример дает черт. 52. Над продольным разрезом балластного слоя и земляного полотна показано первоначальное положение колен, в виде прямой линии I, позднейшее изменение положения — линиями II, III и IV. Чертеж 52₂ дает линию просадки колен, т. е. среднюю просадку ограниченного участка

¹⁾ Подробности: «Zeitschrift für Bauwesen»—1904, стр. 591.

колея за определенные промежутки времени. Из изображенного видно, какое выдающееся влияние на положение колея при изменяющейся погоде, особенно при глубоком промерзании, оказывает род грунта земляного полотна. Балластный слой состоит из гравия умеренного качества, земляное полотно — из слоя песка, под ним — плотно слежавшегося глинистого грунта переменной высоты, местами достигаемого морозом. Соответственно этому, выпучивания от мороза, показанные линией II под рельсовыми звеньями 1—3 — умеренны, 4—6 — едва заметны и очень значительны под звеньями 8—10. Внезапно и непосредственно выпучиваются от мороза указывают на то, каким чрезвычайно высоким напряжениям может подвергаться рельсовая колея вследствие мороза. С усилением морозов колея, согласно линий III и IV, опять получает довольно равномерное положение. Линии просадок отдельных участков



колея (черт. 52,2) позволяют видеть, что в неморозное время род грунта земляного полотна имел небольшое значение, что, далее, во время сырого времени года — осени и зимы — колея веда больше подавалась, чем весной и летом. Пути на железных поперечниках и гравелистом балласте были в отношении погоды значительно чувствительнее, чем пути на деревянных поперечниках; просады также и при сухой погоде сильнее, — еще более путь на продольных лежнях. В щебеночном балласте просады были веда незначительнее и равномернее, чем в гравелистом балласте, поскольку земляное полотно состояло из водонепроница-



Черт. 52. Изменение положение пути по высоте.

мого и способного сопротивляться морозу грунта; эти просадки могут быть оценены приблизительно в третью часть просадок в гравелистом балласте, как выводит Шуберт из своих особых опытов. Как средние, в отдельных случаях безусловно очень меняющиеся, просадки, на хорошем морозоупорном земляном полотне, были наблюдаемы в путях:

С деревянными шпалами, в гравелистом балласте, с расстоянием между шпалами в 75 см. ... 3 мм на 1 мил. тонн груза.

С легкими железными коробчатыми шпалами в гравелистом балласте ... 9 мм на 1 мил. тонн груза.

На продольных лежнях в гравелистом балласте—12 мм на 1 м. тонн груза.

На продольных лежнях в щебеночном балласте— 4 мм на 1 м. тонн груза.

В отношении службы стыков и средин рельсов достойно внимания то, что в рельсовом пути на поперечных шпалах остающиеся просадки у стыков в среднем не были, как ожидалось, большими, чем у средин,—часто даже меньшими. Главная причина этого должна, повидимому, лежать в сильной поддержке стыков вследствие тесного расположения шпал, ибо в пути на продольных лежнях, который лишен указанного преимущества, несмотря на расположенные в разбежку стыки рельсов и лежней, просадки у стыков были сплошь заметно большими, чем у средин рельсов. Такое же явление имеет место в старых путях на поперечных шпалах с короткими рельсами, в которых прогибы стыков и форма свиных хребтов уже получили сильное выражение.

Наблюдения над боковыми сдвигами пути не привели ни к какому определенному результату, т. к. только редко удавалось удовлетворительно обеспечить реперные точки от бокового сдвига, что имеет тем большее значение, что речь идет об очень малых размерах, составляющих даже при более продолжительном времени наблюдения лишь немного миллиметров.

II ЧАСТЬ.

Устройство рельсового пути.

Технические и экономические требования.

Делу устройства рельсового пути выпадает на долю задача приспособиться наивыгоднейшим образом в выборе строительных материалов, в формах пути и в путевых скреплениях к разнообразным воздействующим на путь силам. Задача решается тем совершеннее, чем больше расширяются и углубляются наши познания о действительных силах, и чем большей становится уверенность в соответствующем выборе и надлежащем изготовлении путевых материалов. Поэтому все существующие формы рельсовой колеи могут иметь притязание только на преходящее значение и нуждаются в постоянном дальнейшем развитии.

Но, кроме чисто технических требований, имеют значение в качестве мерила экономические соображения, а именно: оценка стоимости устройства в сравнении со стоимостью содержания и с долговечностью рельсового пути. Но как раз оценка этих экономических величин, построение их на надежных, оправданных подсчетах, основаниях, представляет величайшую трудность. Ни статистика, ни другие опыты и наблюдения, не дают возможности ясно выискнуть в то глубокое значение, которое занимает в результатах железнодорожной эксплуатации то или другое устройство отдельных составных частей пути, а также тот или другой объем и способ производства работ по содержанию пути. Если прибавить сюда еще такие общие экономические соображения, как широкое развитие добычи и выработки строительных материалов внутри страны, принятие во внимание современного состояния рабочего рынка, то станет ясным, на каких переметных основаниях покоится экономическая оценка какого бы то ни было способа устройства верхнего строения. Вообще же экономическая оценка идет рука об руку со степенью технического совершенства. Ибо главным мерилом для технического совершенства служат именно данные экономического свойства, как долговечность, умеренная стоимость устройства и содержания, целесообразность соединений с другими составными частями и взаимодействия с подвижным составом.

Справедливо стремятся ограничить по возможности объем работ, необходимых для содержания пути, не останавливаясь даже перед более значительными расходами на первоначальное устройство, которые, при принятии в соображение цифровых только данных, могли бы показаться неблагоприятными в хозяйственном отношении. Ибо, чем меньше рабочей силы требует содержание, тем лучше обычное состояние пути—к выгоде не только долговечности самого пути, но также и состояния подвижного состава, тем меньше, в то же время, и расход средств и времени на надзор и общее управление,—обстоятельства, которые не поддаются обыкновенно цифровым подсчетам. Чрезвычайное влияние на содержание пути имеет равномерная сопротивляемость пути во всех его составных частях и соединениях по отношению к действующим силам. Путевое устройство, поэтому имеет своей задачей гарантировать пути долгое состояние покоя и исключить на долгое время возможность всякого рода нарушений его целостности. Вместе с тем нужно придавать особое значение наибольшей возможной простоте путевых креплений и удобству обращения с ними.

В какой мере и какими средствами устройство пути в его современном положении в состоянии удовлетворять предъявляемым к нему требованиям, видно будет из ближайшего рассмотрения наиболее употребительных форм и путевых материалов на главнейших эксплуатируемых путях. Рельсовые пути второстепенного значения должны будут устраиваться на подобных же основаниях, но более просто, соответственно меньшим нагрузкам.

Рельсы.

Материал рельсов.

Требования в отношении качества материала для рельсов диктуются способом воздействия внешних сил, особенно, динамическими воздействиями и взаимным трением между колесом и рельсом. Требуется высокая прочность материала, чтобы противостоять высоким динамическим напряжениям; большая упругость, чтобы ослаблять действие толчков; растяжимость материала, превышающая даже предел упругости, для предохранения от изломов при перенапряжениях и, наконец, некоторая степень твердости в местах воздействия сил для предупреждения чрезмерного износа. Чтобы ослабить действие толчков, Зальер требует для путевого строительного материала большой упругости, большой прочности у предела упругости и незначительного собственного веса.

Удовлетворить этим многосторонним требованиям и при этом использовать в самом широком масштабе имеющиеся в нашем распоряжении руды—есть особая задача горной техники.

Она должна, управляя в полном объеме процессом изготовления материала, удалять примеси, к необработанному железу вредные вещества, как сера, фосфор, кислород, полезные же как никель, марганец, силиций, особенно углерод—оставлять или прибавлять в желаемом количестве. После того, как благодаря способу Бессемера была достигнута возможность массового производства стали, благодаря способу Томаса—руды с содержанием фосфора были сделаны полезными, и благодаря способу Сименса-Мартена были достигнуты дальнейшие усовершенствования в деле изготовления стали, предстала задача, точнее исследовать в химическом и физическом отношениях те качества стали, которые делают ее пригодной для рельсов наиболее пригодной. Это может, естественно, происходить только в теснейшей связи с данными эксплуатации, требует продолжительных, необыкновенно тщательных наблюдений. Но и свойства материала колесных бандажей имеют большое значение, ибо необходимо, в конце концов, считать конечной целью—держать колесо как рельсов, так и колесных бандажей, в возможно узких границах и устанавливать их взаимоотношения наиболее выгодным образом. В настоящее время требуется прочное сопротивление разрыву рельсовой стали до $70 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$

вместе с большой вязкостью, т.-е. растяжимостью в холодном состоянии, и известная твердость, которая, между прочим, определяется из сопротивления вдавливанию стальных шариков. В остальном, вопрос о рельсовом материале находится еще в процессе полного развития. Различные опыты, с так называемой, неподдерживающейся износу сталью не оправдали ожиданий. В новейшее время сделан опыт изготовления рельсов не из однородного материала, но, соответственно природо-воздействию, как рекомендует и Заллер, в верхней головной части—из более твердой, неизнашивающейся стали, в остальной—из более мягкой и упругой стали. ⁴⁾ Какое практическое значение следует придать этому приему, может указать только продолжительный опыт.

Формы рельсов.

Самое целесообразное поперечное сечение рельса, как лежащего на близких одна к другой опорах балки, есть форма I, которая с минимальным расходом материала соединяет наибольшую способность сопротивления. Эта основная форма была поэтому уже давно введена повсеместно, затем с течением времени, по мере усовершенствования прокатной техники, все больше и больше развивалась. При этом верхняя полка, в качестве головки рельса, должна была оставаться неизменной

⁴⁾ Процесс Мелана.

к форме колесного бандажа, но ее шероховатость должна была заключаться в некоторых границах, чтобы не затруднять катания конических колес. Высота головки рельса определялась из требуемой сопротивляемости рельса, с принятием в соображение износа при эксплуатации. Так возникла довольно однообразная форма головки, между тем, как в остальных частях рельса было возможно более свободное развитие форм. Нижняя полка получила первоначально форму, подобную головке (ч е р т. 53,б), с одной



Черт. 53. Формы рельсов 1 : 6. G—вес килограмм./пл. м., W—момент сопротивления см³.

техника предоставляла всебольшую и большую свободу в вопросе получения желаемых форм, тем не менее во многих случаях двухголовчатый рельс удержался и до нынешнего дня, особенно почти везде на его родине—в Англии. Рельс с широкой подошвой образует эту последнюю в виде широкой полки балки и приобретает вследствие этого большое преимущество, заключающееся в совершенной собственной устойчивости и в меньшем расходе материала при одинаковой сопротивляемости. Он сделался ради своих преимуществ широко господствующей формой и часто вытеснял уже водворившийся двухголовчатый рельс.

С возрастанием подвижной нагрузки стал на очередь вопрос об усилении способности рельса нести нагрузку, т. е.

об увеличении его момента сопротивления и, вместе с тем, о лучшем, чем раньше, использовании материала и о сбережении его там, где он не нужен для целей увеличения сопротивления рельса. Высота рельса была увеличена, толщина шейки уменьшена. С увеличением высоты возрос в значительной мере момент сопротивления и жесткость рельса, а вместе с ними— способность распределять нагрузку на большее число шпал,— другими словами—разгружать шпалы и балласт. Это последнее обстоятельство тем значительнее, что широкая разгрузка балласта дает вернейшее средство получить устойчиво лежащий путь, хотя и нельзя упускать из вида того, что жесткий рельс больше страдает от динамических воздействий, чем более упруго-податливый. Найти здесь верную середину остается задачей наблюдения.

На черт. 53₁ до 4 представлены поперечные разрезы нескольких самых тяжелых, ныне употребляемых, широкоподошвенных рельсов. Верхняя поверхность головки имеет в поперечном разрезе по большей части закругленную сверху форму, прежде всего—по мотивам прокатной техники. Однако, она также способствует уменьшению сопротивлений трения при движении колеса по узкой поверхности катанья. Но так как эта выгода современным нечезает вследствие взаимного истирания и пригоны друг к другу поверхностей катания колеса и рельса, и прокатная техника не требует более закругленной формы головки, неоднократно переходили в новейшее время к плоским, более благоприятным в отношении износа колесного бандажа, формам головки. При выборе ширины подошвы необходимо соотносываться с целесообразным использованием материала, что, как и в обыкновенной двутавровой балке, ведет к определенному соотношению между высотой рельса и шириной подошвы; затем, необходимо также считаться с устойчивостью рельса, с распределением давления на шпалу и жесткостью рельса в отношении бокового изгиба. Устойчивость и распределение давления находятся в известной взаимной связи, но играют главную роль только при расположении рельсов непосредственно на деревянных шпалах. Гделтого рода устройство преобладало, как напр. на Северо-Американских ж. дорогах (черт. 53₁), подошва рельса достигает наибольшей ширины, между тем, как на дорогах, которые рано перешли к подкладкам, как, напр., в Пруссии и Австрии, удовлетворялись более узкими подошвами. Боковая жесткость рельса имеет для положения колес в плане то же значение, как вертикальная жесткость для положения пути в вертикальном направлении. Она распределяет боковое сдвигающее усилие на большее число шпал, увеличивает поэтому боковую сопротивляемость всего пути и особенно предохраняет от коротких боковых сдвигов. Этим очевидным выгодам противостоят более трудная укладка в кривых частях пути жестких в боковом направлении рельсов, а именно—легкое возникновение боковых стыковых

перетягов, и повышенные силовые воздействия на стыковые накладки. Посредством изгибания рельсов перед укладкой возможно избежать этих неудобств, но это ограничивает свободное употребление изогнутых рельсов впоследствии. Поэтому до настоящего времени мало освоились с применением этой меры, однако, следовало бы поближе подойти к этому вопросу при дальнейшем возрастании ширины подошвы, что для поперечного положения пути имеет неоспоримое значение и не представляет никаких затруднений для техники прокатки. Т. к. рельсам все же присуща некоторая боковая гибкость, то единая форма кривых рельс средней кривизны оказала бы хорошие услуги.

Форма нижней поверхности головки и верхней поверхности подошвы рельсов стоит в тесном соотношении с формой накладок, поэтому будет рассмотрена ниже, одновременно со стыковыми соединениями.

Длина рельсов меньше подвергается ограничению по мотивам прокатной техники, чем по другим соображениям. Очевидные выгоды длинных рельсов, основывающиеся на уменьшении числа стыков, после некоторого предела исчезают — вследствие трудности обращения с чрезмерно тяжелыми рельсами, а затем вследствие необходимости увеличения стыковых зазоров, со всеми их вредными последствиями для состояния стыков. Нормально длина рельса принята в настоящее время приблизительно в 15 метров с допущением превышения этой величины только в особых случаях, напр., для избежания стыков в местах переездов через путь в одной с ним плоскости, или на коротких железных мостах. Для уравнивания дачи на кривых служат укладываемые по внутренней даче рельсы, укороченные на 4—12 см.

Повышенные в последнее время требования к изготовлению рельсов направлены также на более точное соблюдение их размеров. Для Прусских железных дорог различия в высотах в сравнении с установленным размером, допускаются лишь в пределах 0,5 мм.

Шпалы.

Материал шпал.

В качестве материала для шпал употребляется исключительно дерево или железо, в виде омыта — также и железобетон. Однако, ни в одном из отдельных вопросов по устройству пути нет такой непосредственной противоположности мнений, как в оценке деревянных и железных шпал, при чем нередко предубеждение и особые интересы выступают на первый план больше, чем это полезно для непрерывного и делового развития вопроса. Чтобы доказать экономическое преимущество одного или другого рода шпал, выводят на поле сражения статистику. Эта

последняя, конечно, дает в своем теперешнем виде много ценных, оправдываемых цифрами, фактов, не углубляясь, однако, в причины и следствия, и не отделяя удовлетворительным образом неизбежных, связанных с природой материала явлений, от данных, являющихся случайными и базирующихся на очевидных, легко могущих быть избегнутыми, ошибках в устройстве. Поэтому она не дает верного изображения тех величин, которые в техническом и хозяйственном отношениях присущи деревянным и железным шпалам, поскольку она не идет рука об руку с тщательными, опирающимися на самое широкое основание, наблюдениями, которые дают ясное объяснение всех происходящих во всем составе пути переменных взаимодействий и их причин. На основании бывших до сего времени опытов, можно причислить к главнейшим преимуществам деревянных шпал их большую сопротивляемость, глубокое положение их опорной поверхности, при которой балласт меньше подвергается сотрясениям и действительнее защищен от бокового выпучивания; их упругость и большой вес, которые ослабляют действия ударов в рельсовой колее и в балласте и обеспечивают более устойчивое положение колес, их меньшую твердость, которая слабее воздействует на вещество балласта, более легкую подбивку, более легкую обработку и приспособление к разным способам укладки рельсов, меньшие требования в отношении качеств балласта и, наконец, сбережения в расходах на изготовление их и по содержанию пути, по сравнению с железными шпалами. В качестве преимуществ железных шпал отмечаются их большая долговечность, более действительная поперечная связь колес, сохранение ширины колес и поперечного уклона рельсов, более сильное закрепление отдельных соединительных частей и более жесткая связь всей рельсовой колеи, наконец, большая ценность отслужившего материала ¹⁾. Эти предполагаемые выгоды и невыгоды выведены из обычных до сего времени способов устройства колес, отчасти—посредством ошибочных заключений, однако, ни в коем случае не основываются вообще на природе материала шпалы самого по себе, напротив, допускают большее или меньшее уравнивание помощью улучшенных способов устройства колес. Только доказанные недостатки, которые не могут быть устранены никакими соответствующими средствами, но неизбежно присущи материалу шпалы, могут быть приняты для сравнения. Рядом с этим всегда будут выступать хозяйственные соображения, которые проистекают из возможностей получения сырых материалов дерева и железа и часто являются более решающими. Чем технические преимущества и недостатки. Железные шпала

¹⁾ По Бидерману: «Верхнее строение на деревянных и железных шпалах» 1915, по хозяйственным данным, до сих пор нельзя приписать железным шпалам никаких преимуществ перед деревянными.

вырабатывалась особенно в Германии, именно в Пруссии, Бадене, Вюртемберге и Ольденбурге, и вводилась мало-по-малу в возрастающем объеме. Также и в Швейцарии она имеет большое применение, меньшее—в Австрии и Франции, между тем, как остальные страны удовлетворялись только немногими опытами. Повсюду за границей решительно предпочитается деревянный шпал. Расширенное применение железных шпал в тропических странах рекомендуется в виду быстрого разрушения дерева под влиянием климата и насекомых.

Заготовка деревянных шпал.

Для деревянных шпал применяется, главным образом, дубовый, буковый и хвойный лес, последний—в Германии преимущественно в виде сосны. Каждая порода леса требует соответствующей обработки, сообразно его особым физическим свойствам и его сопротивляемости гниению. Почти все шпалы пропитываются теперь для предохранения от быстрой порчи консервирующими веществами, прежде—медным купоросом, хлористым цинком и креозотовым маслом или их смесью, в новейшее же время—в Германии—почти исключительно креозотовым маслом по способу Рюнига, по которому пропитывающее вещество вводится в дерево сначала до полного насыщения, а потом частично опять извлекается. Подобный способ пропитки был введен почти во всех странах Европы, также и в Северной Америке. Для одной шпалы объемом в 0,1 м³. требуется пропитывающего вещества—для шпалы из дубового леса—около 8 килгр., из букового—16 килгр., из соснового—некоторое промежуточное количество. Успех пропитки является в первую очередь мерилом ценности для деревянной шпалы, ибо от него одного зависит ее долговечность, поскольку приняты меры к тому, чтобы достигнутая выгода не парализовалась преждевременными механическими разрушениями, чтобы, следовательно, шпалы действительно остались годными к употреблению, пока они не подвергнутся естественной порче вследствие гниения.

Дубовые шпалы, вследствие их большой твердости, обладают наибольшей способностью сопротивляться всем внешним воздействиям. Они уже в сыром виде противостоят гниению долгое время, но пропитывающее вещество принимают только в пределах тонкого слоя заболони, но не в толстое, содержащее дубильное вещество, однако, само по себе более способное к сопротивлению адрю. Одно из отрицательных качества дубовых шпал заключается в частом образовании трещин, которые дают сырости свободный доступ к внутренним незащищенным местам и, кроме того, уменьшают надежность шпал для прикрепляющихся приспособлений. Поэтому они ни в коем случае не долговечнее, чем хорошо пропитанные шпалы из других пород леса и, при

их высокой цене, применяются в Германии только там, где дело идет о сопротивлении особенно сильным воздействиям, как, напр., на необыкновенно сильно загруженных участках, в крутых закруглениях пути и на стрелках.

Буковый лес имеет такие же качества твердости, как и дубовый, но обладает очень незначительной долговечностью и слабым состоянием. Он получает поэтому свою ценность в виде шпала исключительно только с помощью надлежащей пропитки, которой в высокой мере благоприятствует свойство бессердцевинного букowego дерева жадно принимать пропитывающее вещество до самой середины. Оно, однако, легко трескается при быстром высыхании и при лежании, и требует в виду этого особой заботливости. Употребляемые часто для предохранения от трещин скобы и болты представляют, как и при дубовых шпалах, только несовершенное вспомогательное средство. При ее меньшей цене и долговечности, буковая шпала повсюду может вполне заменить дубовую шпалу. Во Франции она издавна — в употреблении, в новейшее же время, благодаря обилию букowych лесов, она и в Германии находит все большее и большее применение.

В сосновом дереве существенно различные качества сердцевины и заболони имеют еще большее значение, чем в дубовом дереве. Мягкая заболонь сама по себе мало устойчива против гниения, но иногда принимает пропитывающее вещество в противоположность богатой смолой сердцевине, которая сопротивляется проникновению пропитывающего вещества, но при этом же своей очень долговечна. Особые преимущества сосновых шпал, которым эти последние именно и обязаны своим преобладающим применением в Германии, заключаются в их большой упругости, прямом росте, незначительном образовании трещин и их более низкой цене по сравнению с твердыми породами. Их меньшая сопротивляемость механическим воздействиям требует во всяком случае большего расхода на рельсовые подкладки и скрепления.

Продолжительность службы деревянных шпал

Продолжительность службы пропитанных креозотовым маслом шпал определена из статистики Международного Железнодорожного Конгресса, как среднее из многих наблюдений, для дуба — от 18 до 25 лет, для бука — от 20 до 30 лет, для сосны — от 15 до 20 лет. Но эти средние данные о сроке службы пропитанного дерева не могут без дальнейшего быть применимы, так как все они содержат в себе выходы шпал, которые получаются вследствие преждевременного механического износа, или вследствие смены еще годных к употреблению шпал. Более точные наблюдения на определенных участках привели к значительно более благоприятным результатам.

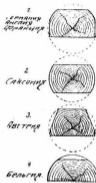
На участке Нейштегун—Полен лежало в пути после 34 лет еще 40% пропитанных хлористым цинком и креозотовым маслом сосновых шпал первоначальной укладки, на участке при Рюгенвальде после 31 года лежало еще 82% таких же шпал, из букowych шпал участка Саарбург—Альбершвейлер после 14 лет—еще 96%, на участках французской Восточной жел. дороги после 24 лет—еще 88%, в Эльзасе, после 28 лет—еще 86%. На основании таких опытов средний срок службы во Франции хороших пропитанных букowych шпал определяется в среднем больше, чем в 30 лет. Наблюденная большая разница в сроках службы объясняется различием в способах обращения со шпалами и, особенно, механическими износами, вследствие которых, по данным Шейдта, около 70% всех шпал на путях более старой укладки преждевременно приходили в негодность. В деле устройства и содержания пути возникает поэтому важная в хозяйственном отношении задача—вполне использовать естественную долговечность дерева, а преждевременным местным разрушениям воспрепятствовать посредством целесообразных соединений рельсов со шпалами. Из других пород дерева в заморских странах применяются тик, квебраха, сарра, благородный каштан, в Австрии—также и лиственница. Европейская ель мало пригодна для шпал (вследствие ее незначительной твердости и очень ограниченной способности принимать пропитывающее вещество).

Форма деревянных шпал.

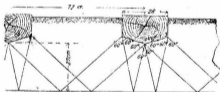
Форма деревянной шпалы предудказана уже в виде прямой балки с постоянным поперечным сечением. Чтобы использовать наимыгоднейшим образом ствол дерева и уменьшить расходы по заготовке, вполне отделяют обыкновенно только нижние постели, боковые же поверхности и верхние постели оставляют более или менее в их естественном состоянии, как показано на черт. 54. Необходимая ширина шпалы находится в переменной зависимости от расстояния между шпалами и сопротивляемости балласта. Ширина эта может быть меньше на грубом балласте, точно также—при частом расположении шпал, при каком отдельная шпала разгружается, но вместе с тем усиливается способность балласта нести нагрузку. Однако, с другой стороны, для ширины шпалы требуется некоторый наименьший предел, чтобы можно было надежно уложить и закрепить рельсы, а также желателен определенный нормальный размер для возможности свободного пользования шпалами на практике. Поэтому для главных линий в Германии почти повсеместно приобрела право гражданства нормальная ширина шпалы около 26 см, при чем для выбора расстояния между шпалами принимается в расчет большая или меньшая величина подвижной нагрузки. Высота деревянной шпалы опреде-

листая около 16 см, величина, которая, принимая во внимание прикрепление рельса к шпалу, только незначительно может быть уменьшена. Шпала получает таким образом, по отношению к требуемой от нее работе, очень значительное поперечное сечение, почему подвергается только умеренным изгибам и напряжениям. Для длины шпалы признана целесообразным рассчитанный Циммерманом размер в 2,7 мт, который принят на большинстве Германских и Австрийских главных линий. Также и Англия употребляет шпалы подобных размеров, однако, стыковые шпалы весьма часто — шириной до 31 см. Особое значение следовало бы придавать полному равенству размеров и ширины постелей шпал, так как уже незначительные различия в давлении на балласт вредно влияют на положение колес. По этим соображениям представляется желательным, путем отделки сторон, придавать шпалам совершенно одинаковую ширину, как на черт. 54.

Нижняя постель деревянной шпалы обыкновенно ровна и горизонтальна. При такой форме она передает давление на балласт наимыгоднейшим образом и укрепляет его против боковых вспучиваний, к которым особенно склонен хрящеватый балласт. Но в щебеночном балласте, который лучше сопротивляется вспучиваниям, совершенно или



Черт. 54. Деревянные шпалы 1:15.



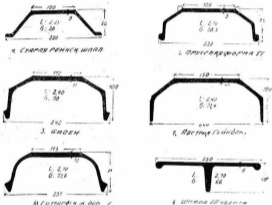
Черт. 55. Давление балласта под шпалами с косыми нижними постелями.

только у кромок стесанная нижняя постель может быть полезна тем, что она распространяет на большую площадь вниз давление на балласт и выравнивает его на меньшей глубине, чем горизонтальная постель. На черт. 55 представлено действие давления стесанных шпал при таких же прочих предположениях, как на черт. 43, и показано, как уже на глубине

и 27 см под шпалой давление совершенно выравнивается. Поэтому нет недостатка в предложениях укладывать деревянные шпалы наружной или круглой стороной вниз и тем одновременно приобретать надежное основание для рельсов на широкой, повернутой кверху сердцевинной поверхности сосновых шпал. Насколько эти предположения верны и какие иные возможные неудобства сопровождают этот способ укладки, должен показать более продолжительный опыт.

Железные шпалы.

Железные шпалы готовятся путем прокатки из литого железа, редко из стали, которая легче подвергается ржавлению. В выборе ее формы с самого начала больше, чем



Черт. 56. Железные поперечны 1:6. G—длина, L_1 —вес (килг.).

в случае деревянной шпалы, выступает на первый план стремление целесообразно использовать дорогой материал, т. е. чтобы с наименьшим расходом материала получить требуемую нагрузочную прочность и размер нижней постели, определяемой величиной сопротивления балласта. Это стремление сначала было преувеличено, не принимались заранее в достаточной мере в расчет неизбежный износ и возрастающие требования движения, так что первоначальные формы очень скоро оказались слишком слабыми (черт. 56₁), и должны были в большом количестве удалиться из пути, не будучи использованными.

Целесообразная в иных случаях для коортыных балок двутавровая форма привела бы к поперечному сечению большой ширины и незначительной высоты, которое, не говоря о трудности прокатки, не дает больше той статической выгоды, как высокая и узкая форма. Только в Северной Америке шпалы этой формы—шпалы Карнеджи, были уложены в виде опыта в более значительном объеме (черт. 57), однако,—с мало удовлетворительным успехом. Вообще, почти повсеместно с самого начала нашла применение коробчатая шпала (черт. 56), крышка которой образует одновременно основание для рельса и главную опорную поверхность на балласте. Наиболее выдающиеся преимуществу этой формы, способствующее ее широкому распространению, это—ее надежное положение в балласте. Крепко захватывая тело балласта своею полостью, она в одинаковой мере предохраняет как себя самое от бокового сдвига, так и балласт от бокового выдавливания из-под нижней постели.



Черт. 57.



Черт. 58.



Черт. 59.

Правда, эта форма не является выгодной для восприятия статической и, как доказывает Заллер, и динамической нагрузки, а также подбивка требует большой тщательности, если хотят, чтобы удалось приготовить для всех шпал, что совершенно необходимо, равномерно плотное основание, и это тем более, что в данном случае для балласта применим лишь грубый материал с острыми краями. После того как многолетний опыт показал, что эти шпалы лежат равномернее и устойчивее, если они опираются на балласт только крышкой, а не какой-нибудь еще нижней полкой, как шпалы Востермана (черт. 56, 1), то при дальнейшем развитии поперечного сечения шпал избегалась всякая опорная поверхность внизу, но на ее месте устраивался большей частью клиновидный прилив, клином вниз, чтобы усилить способность шпалы нести нагрузку, и предохранить нижние ребра шпалы от вредного износа и искривления.

Между распространенными видами шпал самые сильные формы поперечных сечений имеют—баденская шпала (черт. 56, 3), юртембургская, ольденбургская и готардская шпала (черт. 56, 5), менее сильную форму имеет прусская шпала (черт. 56, 2). Она снабжается в новейшее время вдоль крышки двумя буртиками, которые усиливают поперечное сечение и вместе с тем дают подкладке надежные боковые опоры. Поперечное се-

чение железной шпалы делается, обыкновенно, неизменным по всей длине шпалы, но на концах крышка шпалы загибается вниз до уровня нижних ребер, или еще ниже, чтобы предохранить колею от поперечного сдвига. В других случаях считали выгодным поддерживать шпалу под ее средней слабее, чем под рельсами, чтобы при всех обстоятельствах сохранить ее надлежащее и прочное положение под местом нагрузки. Шпалы подбивались посередине слабее, чем в других местах, или же их поперечное сечение посередине суживалось, как у шпалы Поста. Но подобные мероприятия оправдываются только при незначительных длинах шпал, но не при больших, применяемых в новейшее время на главных линиях, длинах около 2,7 мт, которые возникли из предположения, что шпала опирается равномерно на балласт по всей длине. С этим, однако, соединена дальнейшая, имеющая очень высокое значение, выгода, что вся имеющаяся в распоряжении поверхность балласта используется в полной мере для восприятия нагрузки; давление на балласт, следовательно, уменьшается.

Чтобы иметь возможность легче и надежнее подбивать железные шпалы и одновременно доставить материалу балласта более прочную преграду, у которой он мог бы уплотниться при подбивке, Шуберт заменяет боковые стенки коробчатой шпалы одним ребром посередине (черт. 56,6), отказываясь тем во всяком случае, от главного преимущества коробчатой шпалы — образовывать под собой плотно замкнутое балластное тело. Шейбе пытаются устранить главнейшие недостатки железных шпал, как показано на черт. 58. Он придает ей в загнутых опорных поверхностях упругость, которая почти равняется упругости сосны; пытаются облегчить подбивку и шире распространить давление на балласт посредством наклонного положения опорных поверхностей (сравни черт. 55) и, наконец, — заполнить полости шпалы веществом балласта пытаются сильно повысить рабочий вес шпалы. Хотя действительная ценность предложений этого рода может быть испытана только путем продолжительного наблюдения, тем не менее они заслуживают внимания в их стремлении более деятельно выступить против считавшихся неизбежными недостатков железных шпал, рекомендуют целесообразное приспособление форм к действующим силам и к требованиям содержания пути.

Продолжительность службы железных шпал, как и деревянных, очень различна, смотря по способности нести нагрузку и по способу укрепления. В то время, как очень слабые и недостаточно закрепленные шпалы служили только немного лет, срок службы сильных и хорошо укрепленных шпал Ваденской казенной ж. д. определяется, приблизительно, в 35 лет. Однако, еще недостает надежных статистических данных. Черт. 61 дает изображение широко распространенной в Германии

в прежнее время продольной шпалы Гильфа с характерным износом, распространяющимся по всей длине шпалы по месту расположения рельса,—следствие скользящих движений, которые возникают в каждом устройстве на продольных лежках вследствие независимых друг от друга упругих действий рельсов и лежней.

Бетонные шпалы.

К деревянным и железным шпалам в новейшее время, в качестве третьего рода, присоединяется железо-бетонная шпала, которая в Германии укладывалась пока только на коротких опытных участках, в других же, бедных железом и деревом странах, как Италия—в большом объеме. Их заготовительная стоимость равняется, приблизительно, такой же стоимости железных шпал. Она представляет то большое



Черт. 60.



Черт. 61.

преимущество, что главнейшие, входящие в ее состав сырые материалы, почти повсюду могут быть дешево добыты, что ей можно придавать любую, совершенно отвечающую назначению, форму, и что она всегда обладает значительным весом. Не представляет также затруднений придать ей нужную способность сопротивления с помощью железных вставок в умеренном количестве (черт. 59). Для возможности прикрепления к ним рельсов в них часто забетонируются деревянные пробки, которые, однако, недолго держатся в шпале прочно, а также вследствие своей недолговечности затрудняют содержание пути. Предпочтительнее надежно забетонированные железные якоря в виде представленных, например, на черт. 59, с хорошим успехом примененных дуг, за верхние, мало выдающиеся из шпал, ушки конх захватывают крючкообразные зажимные болты. Неустраненные до сих пор недостатки бетонных шпал заключаются в трещинах, которые появляются часто вскоре после укладки, в чистом цементном бетоне, начинаясь, большей частью, с верхней поверхности шпалы и распространяясь постепенно внутрь. Причины этого, по видимому, нужно искать в атмосферных влияниях и в обыкновенно быстрой и частой смене соединенных с сильными сотрясениями напряжений, за которыми не в состоянии следовать неупругая и хрупкая масса бетона. Видя на лучший успех, по видимому, сможет представить бетонная масса с упругим связующим средством.

Составные шпалы.

Наконец, нужно упомянуть еще об одном виде шпал, по имеющимся сведениям, с хорошим успехом применявшихся во Франции,—о так называемой составной шпале, которая дает для каждого рельса (следую), симметрически нагруженную опору, при чем две таких опоры соединены в одно сопротивляющееся изгибу тело (черт. 69). Опоры состоят из деревянных или бетонных колод длиной около 70 см, соединяющихся между собою двумя полосками листового и узкого корытообразного железа). Поэтому вся шпала получает незначительную длину—около 2,2 мт. Она лежит, подобно неподбитой посередине полной шпале и имеет, правда, как и эта, то преимущество, что всегда плотно опирается на балласт своими раздельными короткими опорными и верхними тупыми и производит равномерное давление на балласт, но она не дает возможности использовать всю, имеющуюся к услугам, поверхность балласта, поэтому ведет к значительно большим давлениям, чем длинная цельная шпала, и имеет, кроме того, присущие каждой составной шпале недостатки, которые возникают, как следствия ослаблений и износа в местах соединений. О таких шпалах может быть речь только в случаях слабо нагруженных ширококолейных путей, в которых, из экономических соображений, должны применяться короткие шпалы.

Расстояние между шпалами.

Расстояние между шпалами, в пределах обычных границ, меньше зависит от изгибающих напряжений в рельсах, чем от давления на балласт. При возрастании расстояния между шпалами от 70 до 85 см, изгибающее напряжение в рельсах возрастает только на 5%, а давление на балласт—на 15%. Особенно важное значение получает поэтому сильное возрастание способности балласта нести нагрузку с уменьшением расстояния между шпалами (сравни черт. 42₁). Оно получает полное значение в мягком, легко выдавливаемом между шпалами балласте, а также—на подающемся земляном полотне. При таких обстоятельствах рекомендуется поэтому также и на мало загруженных участках шпалы широко применять на близком расстоянии между шпалами, между тем как в щебеночном балласте на твердом грунте уже и при более значительных расстояниях между шпалами сохраняется необходимая устойчивость балласта. Сопротивляемость балласта может быть усилена также путем применения шпал большей ширины и большей загрузки балластом промежутков между шпалами (сравни черт. 42₂ и 42₃). Более в общем узкие и легкие железные шпалы требуют поэтому более частой укладки, чем более широкие и более сильные деревянные шпалы. Для деревянных шпал шириной в 26 см, имея в виду надежную подбивку, наименьшее расстояние между

промежуточными шпалами составляет около 60 см, каковая величина введена в Пруссии на участках с сильнейшим движением также и для железных шпал. На главных линиях в Австрии приняты в настоящее время расстояния между шпалами от 72 до 81 см, в Англии—от 76 до 80 см, в Северной Америке—от 50 до 60 см. Иных расстояний между шпалами требуют стыки, для которых дело идет о том, чтобы посредством больших опорных поверхностей в балласте сделать безвредными значительные большие статические и динамические воздействия. Стыковые шпалы, а часто также и соседние с ними шпалы, придвигаются поэтому ближе друг к другу, а также обе стыковые шпалы соединяются в одну широкую двойную шпалу. Большие подробности об этом будут приведены при изложении вопроса о стыковых соединениях.

Теперь возникает вопрос, особенно в отношении пути на железных шпалах, какие шпалы предпочтительнее для получения наибольшей устойчивости пути при одинаковом расходе материала—широкие шпалы с большим расстоянием между ними, или узкие шпалы с частым расположением. При этом сравнении рельс можно не принимать во внимание так как его работа очень мало зависит от расстояния между шпалами, поскольку оно остается в умеренных границах. Одинаковый расход материала для шпал при неизменной высоте шпалы предполагает, приблизительно, постоянное отношение расстояния между шпалами к ширине шпалы. Можно принять, что этому соотношению соответствуют давление рельса на отдельные шпалы и сопротивляемость шпал, так что расход материала на шпалы также мало зависит от расстояния между ними. Также обстоит дело со скреплениями, если их масса соответствует работе отдельной шпалы, и, наконец, также и с работой балластного слоя. Напротив, степень сопротивления балластного слоя на единице поверхности увеличивается приблизительно в прямой зависимости от ширины шпалы (сравни черт. 42_а). С этой точки зрения можно было бы, однако, теоретически дать предпочтение широким шпалам с значительным расстоянием между ними. Между тем, с другой стороны, нужно обратить внимание на то, что узкие, часто лежащие шпалы выравнивают давление в балласте на меньшей глубине, чем широкие и далеко друг от друга отстоящие шпалы, поэтому они имеют преимущество на тонком балластном слое и подающем грунте земляного полотна. Если выдвигается вопрос о том, чтобы довести способность сопротивления балластного слоя до возможно большей высоты, то расстоянию между всеми шпал целесообразно придать такую величину, при которой еще возможна хорошая подбивка, т. е., приблизительно, в 50 см, просвет же между шпалами ограничивается минимальной величиной, требующейся для возможности подбивки.

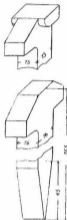
Путевые скрепления.

Прикрепление деревянных шпал.

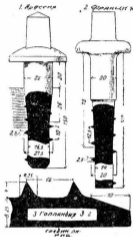
В прежнее время уделяли мало заботы соединению между рельсами и деревянными шпалами. Довольствовались тем, что прикрепляли рельсы к шпалам простейшим образом—или непосредственно или посредством прокладок несколькими костыльобразными гвоздями. Только сильный износ по постелям, в связи с возрастающим дисбалансом и увеличенными давлениями колес, заставили признать большое значение путевых скреплений для безопасности движения и сохранности пути.

Гладкий четырехгранный костыль (черт. 62), правда, встречает в деревянной шпале большое сопротивление против бокового отжима, но не находит необходимой постоянной прочности закрепления, которое ослабевает по мере высыхания шпалы и при повторном добивании костыля. Также и различные видоизменения с переменным или витым поперечным сечением, которые могут быть рассматриваемы как переходные к шпальному шурупу формы, не представляют никаких преимуществ. Поэтому на главных линиях почти повсеместно мало-помалу костыль был заменен шпальным шурупом. Однако, последний вместе с большим преимуществом более прочного закрепления в шпале соединяет тот недостаток, что однажды утерянная прочность закрепления не может быть восстановлена так просто, как при костыле, путем заколачивания деревянных дробок для заполнения разработанных дыр. Поэтому шуруп должен во все время службы шпалы сохранять полную прочность своего закрепления. При этом, особенно в деревянных шпалах из мягких пород, имеет значение длина шурупа, форма его нарезки и ширина предварительного просверливания. Дерево выигрывает в сопротивляемости, если оно во всех местах соприкосновения с шурупом сильно спрессовано, но без нарушения его строения. С этим должны сообразоваться форма нарезки и предварительное просверливание. Дерево твердой породы, согласно опыта, должно просверливаться не крайней мере на 1 мм уже диаметра стержня шурупа, дерево мягкой породы—по крайней мере на 3 мм уже. Виток нарезки в поперечном разрезе должен быть высоким и узким, чтобы получить надлежащую опорную поверхность в дереве, без нарушения строения последнего. Нарезка нового прусского, а также и французского шпального шурупа (черт. 63, 1 и 2) вполне соответствует дереву твердой породы, но для дерева мягкой породы—менее целесообразна, чем голландская, с высотой ее витка в 4 мм (черт. 63, 3). Совершенно плотное соприкосновение шурупа и шпалы требуется не только для лучшего закрепления, но также для защиты от проникновения мокроты,

Плотное примыкание имеет особенно важное значение на поверхности шпала и самым действительным образом достигается помощью глубокого вдавливания более толстой конусообразной шейки шуруна (черт. 63,1), которая, вместе с тем, посредством своей большей опорной поверхности, передает более удовлетворительно боковое давление на материал дере-



Черт. 62. Костыль 1:2.



Черт. 63. Шпальные шурупы.

вянной шпала. Полезная длина нарезки, которая для прусских шпальных шурупов составляет около 11 см, должна была бы быть увеличена для шпал из дерева мягкой породы, приблизительно, до 18 см, чтобы использовать для закрепления шуруна всю толщину шпала, а также особенно прочную сердцевину сосновой шпала. Толщина шуруна определяется, преимущественно, требованиями сопротивления скручиванию. Она колеблется в диаметре стержня между 14 и 16,5 мм.

Для дальнейшего закрепления шуруна в шпалах из леса мягкой породы, часто вставляются, в качестве промежуточных частей между шпалой и шуруном, деревянные ввертыши (винтовые дюбели) из твердого пропитанного букового дерева, по примененному впервые Колле способу на французских железных дорогах в мягких еловых шпалах (черт. 64).

Их назначение, с одной стороны, в качестве твердого дерева—увеличивать прочность закрепления шурупов, с другой,—вследствие их большого диаметра—надежнее передавать боковое давление на мягкое дерево шпалы, и, наконец,—разгружать верхнюю постель шпалы от вертикального давления и предохранять ее от быстрого износа. По имеющимся до настоящего времени опытам, они выполняют это требование в значительно большей мере, чем устаревшие слабые способы закрепления в шпалах из мягкого дерева. Перекрытые, по большей части, короткими железными подкладками, они почти целиком воспринимают своей верхней очень прочной торцевой поверхностью полную нагрузку и образуют отдельные опоры, которые, с помощью своей винтовой нарезки, передают давление груза непосредственно на внутренность шпалы. Поэтому на шпалах с свертышами находят верхнюю поверхность менее плотно спрессованной, чем на шпалах без свертышей, часто даже волокнистой—признак полной разгрузки. Вместе с этим, во всяком случае исчезает то желательное значительное сопротивление трения рельса или подкладки по большей верхней поверхности шпалы



Черт. 64. Винтовой долбель 1 : 4.

при отсутствии свертышей, которое одно уже в состоянии воспринять существенную часть боковогодвигающего усилия без содействия скреплений. Поэтому почти все боковоедвигающее усилие, возникающее в рельсе, передается свертышами на боковую стенку своего седла в шпале. Затем, представляемая ими опорная поверхность для вертикального давления значительно меньше загруженной части поверхности шпалы при отсутствии свертышей; в винтовых нарезках четырех свертышей она заключает меньше половины опорной поверхности подкладки размером 16×25 см. То обстоятельство, что несмотря на это, все таки при тщательном изготовлении закрепление свертыша в шпале оказывается долговечным, следует приписать, отчасти, большей твердости внутренней работающей части древесины шпалы, а главным образом тому очень плотному соединению между свертышами и шпалой, которое исключает возможность всякого взаимперемещающего движения, каковое состояние, однако, может быть достигнуто и без свертышей, путем целесообразного скрепления рельса со шпалой. Применение свертышей еще более исключает возможность всякой последующей работы по их подкреплению, чем простые шурупы, не дает также возможности находить новые места закрепления путем умеренного

сдвига шпал. Они оказались действительным средством для исправления старых, сильно попорченных костылями или шурупами шпал из мягкого дерева, и на прусских железных дорогах они применяются почти исключительно с этой целью. Насколько выгодно применять деревянные шпалы уже к новым шпалам из мягкого леса, как это недавно стало практиковаться на других дорогах, должно выясниться дальнейшие опыты.

Рельсовые опоры.

Одна из очень простых форм расположения рельса на деревянных шпалах из твердого дерева имеет применение во Франции, а в виде опыта—также и на прусских железных дорогах (ч е р т 65). Широкая подошва рельса покоится на тонких прокладках из войлока, пропитанного смолой мягкого дерева, большей частью—тополя или из пропитанной смолой укаки и прихватывается по бокам 2—4-мя стальными шпальными шурупами. Эти мягкие прокладки имеют целью совершенно заполнить промежуток между рельсом и шпалой, предохранить от износа

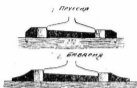


Черт. 65. Прокладки 1:6.

верхние поверхности шпал под рельсом и ослабить действие ударов о шпалы. Затем, им приписывают способность сильно противодействовать утону рельсов,—явление, которое, без сомнения, меньше должно приписываться подкладке самой по себе, чем сильному напряжению шурупов и вдавливаю клейкого пропитывающего вещества, которое можно наблюдать также в других случаях при хорошо укрепленных, пропитанных смолой шпалах. Такие прокладки могли-бы оказывать лучшие услуги при железных шпалах, чем при деревянных, для непосредственной передачи жесткого давления от рельса к шпале. Между тем, лишь только натяжение болтов ослабнет, прокладка сама сильно изнашивается, выдавливается на сторону и выталкивается. Поэтому они требуют много заботливости при содержании их, если они должны исполнять свое назначение и больше приносить пользы, чем вредить. Применяются также большого размера и более сильные прокладки из особенно твердого дерева, но без особенного по настоящее время успеха, т.к. очень трудно предохранить от предных трещин такие короткие прокладки.

Самый распространенный способ подкладывания при деревянных шпалах—это железная подкладка. Она появилась сначала в виде простой гладкой пластины, часто с такой незначительной опорной поверхностью, что она едва улучшала распределение нагрузки. Зато она была, без сомнения, в состо-

линии распределять боковое давление между всеми скрепляющими частями и благоприятнее передавать его на шпалы. Но сами скрепляющие части оставались подверженными непосредственным боковым воздействиям подошвы рельса и быстрому изнашиванию. Поэтому вскоре перешли к реборчатым

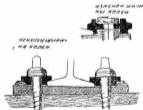


Черт. 66. Реборчатые подкладки 1:6.

подкладкам, которые сначала воспринимают на себя боковое давление рельса, а затем равномерно передают его всем скреплениям (черт. 66). Они получили потом клиновидное поперечное сечение, соответствующее наклону рельса, чтобы избежать глубоких косых зарубок в верхней постели шпалы. Возрастающее движение и увеличивающиеся давления колес требовали дальнейших предохранительных мер, особенно, для шпал из леса мягкой породы. Опорная поверхность подкладок была увеличена, количество скрепляющих частей также увеличено, и прочность закрепления их в дереве усилена.

Зажимные планки.

Особенно вредно отозвалось действие одностороннего нажатия головки шурупа на подошву рельса. Шурупы изгибались в бок, стенки отверстий для них в дереве сминались. Поэтому была добавлена новая промежуточная часть, зажимная пластинка, в простейшем

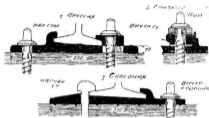


Черт. 67. Зажимные планки.

виде—согласно черт. 67,1. Она опирается на подошву рельса и на подкладку и передает давление на шуруп лишь по направлению его оси. Рычажное действие зажимной планки вызывает во всяком случае усиленное натяжение в шурупе. Поэтому нужно было обратить особое внимание на то, чтобы не делать соотношения плеч рычага слишком неблагоприятным и давать пластинке соразмерную ширину. Хорошо опертая зажимная пластинка по черт. 69,2, очевидно, действительнее, чем представленные на черт. 69,1 и 68,1, при которых сомнительно, дают ли они вообще на подошву рельса. Чтобы хорошо закрепить рельс в боковом

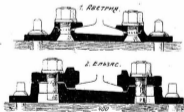
направлении и предохранить его от сдвига, наружная опора зажимной планки часто отделяется в виде клина, как на австрийской северо-восточной линии, и в соединении с ланчатыми подкладками—на прусских казенных дорогах, согласно черт. 68, 2. Это требует большой точности в размерах, ибо уже при небольшом отступлении в них и незначительном износе поддерживающих поверхностей зажимная планка устанавливается косо, но вред стягивающему шурупу, или совершенно теряют свою способность заклинивания. Имеющимися до настоящего времени опытами еще не доказано, имеется ли настоящая необходимость в подобных заклиниваниях, или уже сильные вертикальные натяжения шурупов в соединении с клиновидной формой подкладок весьма достаточны, чтобы крепко и неподвижно закрепить рельс на его постели в любом направлении.

С зажимной планкой дан простейший способ перемещать рельсы в боковом направлении по их основанию, следовательно, изменять ширину колеи, не изменяя мест закрепления связывающих частей. Для этой цели либо изготовляются зажимные планки различной ширины, либо однообразные зажимные планки приспособляются для укладки при различной ширине колеи (ср. черт. 67, 2 и 69, 2). Потребность в исправлении ширины колеи ощущается не только при ремонте, но уже и при укладке пути, вследствие неизбежных неточностей в размерах отдельных частей. Но для долговечности прикрепления к шпалам весьма важно избежать всяких воздействий на места первоначального закрепления скрепленных в шпалах.



Черт. 68. Ланчатые подкладки.

С зажимной планкой дан простейший способ перемещать рельсы в боковом направлении по их основанию, следовательно, изменять ширину колеи, не изменяя мест закрепления связывающих частей. Для этой цели либо изготовляются зажимные планки различной ширины, либо однообразные зажимные планки приспособляются для укладки при различной ширине колеи (ср. черт. 67, 2 и 69, 2). Потребность в исправлении ширины колеи ощущается не только при ремонте, но уже и при укладке пути, вследствие неизбежных неточностей в размерах отдельных частей. Но для долговечности прикрепления к шпалам весьма важно избежать всяких воздействий на места первоначального закрепления скрепленных в шпалах.



Черт. 69. Подушки 1:6.

Зажимные планки по черт. 67₂ и 69₃ имеют то преимущество, что они не только допускают в широких пределах изменение ширины колеи, но при помощи прилегающей к подошве рельса регулирующей—ширину колеи закраины, предохранены от бокового поворачивания. Подобные зажимные планки, но с клиновидным седлом, применяются на австрийской северо-восточной железной дороге.

Лапчатые подкладки.

К шпальным шурупам, которые прикрепляют одновременно подкладки и рельсы, предъявляются два противоречащих друг другу требования — с одной стороны, умеренные, соответствующие прочности дерева, растягивающие напряжения в пределах внутренней части дерева, с другой стороны—возможно сильное натяжение между рельсом и подкладкой. К этим несовместимым требованиям пытаются подойти в новейшее время путем отдельных закреплений подкладок и рельсов, — в первую очередь, на германских дорогах—в несовершенном виде, с помощью лапчатой подкладки. У прусской лапчатой подкладки (черт. 68₁) сильная лапа захватывает наружный край подошвы рельса и образует здесь единственное скрепление между рельсом и подкладкой, между тем, как сама подкладка соединяется с деревянной шпалой двумя отдельными шурупами. Внутренний край подошвы рельса, напротив, прихватывается непосредственно шпальным шурупом. В действительности, плотного прилегания подошвы рельса к внутренней поверхности лапы уже наперед не получается, вследствие неизбежных зазоров между ними. Зазоры, однако, увеличиваются с возрастающим износом лапы или вследствие ничтожного бокового сдвига рельса, и часто получают размеры, при которых действие лапы вообще исключается, и полное воздействие рельса приходится на долю одного внутреннего шпального шурупа. Это ведет к чрезмерным напряжениям и преждевременным износам внутренних соединительных частей, из чего может, наконец, развиться такое состояние, какое было показано на черт. 27, на примере одной из несимметричных прусских лапчатых подкладок. Но и при более новых, довольно симметрически нагруженных и снабженных зажимными планками, лапчатых подкладках, закрепление шурупами с внутренней стороны остается в невыгодных условиях по сравнению с наружной стороной, вследствие непосредственного воздействия рельса, тем более, что с внутренней стороны применяют обыкновенно только один шуруп. Зажимная планка новейшей прусской лапчатой подкладки с ее увеличенной длиной и клинообразным седлом (черт. 68₂), хотя сильно расклинивает в боковом направлении подошву рельса в лапе, однако, не препятствует вертикальным движениям в лапе, которые действуют тем вреднее,

что они происходят под высоким давлением по трущимся поверхностям. Саксонская казенная железная дорога и австрийская вонная дорога применяют подобие лапчатые подкладки, но укладывают лапы с внутренней стороны рельса, т. е. опыт показал, что внутренний край подошвы рельса подвержен более сильным движениям, чем наружный (черт. 68_а).

Если придают значение совершенно неподвижному соединению между рельсом и шпалой, то лапчатая подкладка вышесказанной формы оказывается несостоятельной, т. е. она не может осуществлять постоянного и сильного натяжения, которое является необходимой предпосылкой для всякого жесткого соединения.

Подушки и рельсовые стулья.

Очень большое усовершенствование представляет полное отделение прикрепления рельса от прикрепления шпалы с помощью подушек или рельсовых стульев. С их помощью представляется возможным необыкновенно прочно и надежно прикрепить рельс к его непосредственному основанию, независимо от прочности закрепления шпальных шурупов, эти же последние — так распределить и умножить, независимо от рельсов, что они подвергаются совершенно равномерным и не слишком сильным воздействиям и надолго гарантируют плотное соединение между шпалой и подушкой. К тому же, сильное зажатие рельса в подушке, обыкновенно, уже одно бывает достаточным, чтобы воспрепятствовать утону рельсов по подушке. Ибо, если по прежним выводам, принять, что незагруженная, более подверженная утону, шпала, встречает в балласте сопротивление около 500 киллогр, то, чтобы использовать это сопротивление, необходимо, чтобы сопротивление трению по каждой рельсовой постели составляло 250 киллогр, следовательно, продольное давление у подошвы рельса, при коэффициенте трения в $\frac{1}{4}$, должно составлять 1000 киллогр, которое распределяется на обе зажимные планки по 500 киллогр. Вследствие рычажного действия, напряжение в каждом зажимном болте необходимо увеличить приблизительно до 1000 киллогр, оно остается, следовательно, в умеренных границах. Даже половина этого напряжения достаточна, если, кроме поверхности рельсовой постели, принять в расчет поверхность давления зажимной планки у подошвы рельса, как полную поверхность трения, если, следовательно, зажимная планка не имеет возможности сдвигаться вместе с рельсом. Этот имеет место, хотя и в несовершенном виде, обыкновенно уже как результат натяжения шурупа, однако, осуществляется гораздо действительнее и целесообразнее помощью боковых упоров по рельсовой постели, в которые упирается зажимная планка, при совершенной разгрузке зажимного болта от

боковых усилий. Чтобы такое прочное соединение между рельсом и шпалой могло-бы вредным образом воспрепятствовать температурному удлинению, на основании опыта, не следует опасаться. Ибо балласт, способный только в ограниченных размерах сопротивляться боковому давлению, упруго-податлив, как и рельсовые шпалы; поэтому, при содействии сильных сотрясаний, он допускает незначительные, составляющие только несколько миллиметров, перемещения шпал без вредных напряжений.

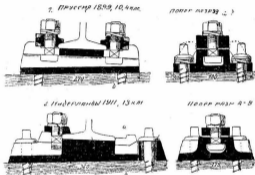
Подушки изготовляются посредством прокатки или отливки. Прокатные подушки получаются вообще легче, но по условиям способа производства, ограничены в формах, и поэтому часто должны обрабатываться дополнительно. Литые подушки можно гораздо свободнее проектировать, и заранее легко придавать им такие формы, которые всего лучше соответствуют силовым воздействиям и целесообразным способам закрепления, к тому же, они меньше подвержены ржавлению, чем прокатное железо. Предубеждение, с которым в деле верхнего строения неоднократно относились к литым железу и стали, как к неупругой, хрупкой, трудно в безукоризненном виде получаемой массе, по опытам, особенно в Англии, не оправдалось, если только особенности отливаемой массы достаточно учитываются при выработке форм, и при процессе отливки применяется необходимое знание дела и тщательность¹⁾.

В промежутке между прокатным и литым производством стоит до сих пор (sic) мало усовершенствованное штамповальное производство, которое предварительно прокатанным предметам придает окончательную форму путем теплого пресования и штампования. Многосторонность, которая присуща этому производству, заставляет ожидать от дальнейшего его усовершенствования значительных выгод и для устройства железнодорожной колеи.

По своей форме, рельсовые подушки изготовляются часто в виде лапчатых подкладок, но по большей части приспособляются для применения зажимных планок с обеих сторон рельсовой подошвы. При подушках из прокатного железа болты, прикрепляющие рельс, имеют гнезда в образованных при прокатке узких прорезах или в конусообразных отверстиях, и вводятся обыкновенно снизу, иногда же и сверху по черт. 69, 2, — при более сильных рельсовых ступах из литого железа, обыкновенно, — сверху, в связи с чем получается существенное преимущество, заключающееся в том, что подушки могут быть окончательно соединены со шпалами уже перед укладкой рельсов и что при возможных сменах болтов, прикрепляющих к ним рельсы, впоследствии не требуется нару-

¹⁾ Сравн. Bрзрег: Zeitschrift d. Ver. Deutscher Ingenieure 1919 стр. 25.

вать прикрепление шпал, но, вместе с этим, во всяком случае, имеется и недостаток, заключающийся в том, что в расширенные отверстия легко проникает сверху мокрота и нечистоты, шпалы загнивают, а болты в подушках ржавеют и плотно закрепляются. С целью воспрепятствовать этому автором с 1898 г. укладывались на главных путях на сосновых шпалах рельсовые стулья из литого железа по черт. 70.1. В них основная подушка остается закрытой, а болты, прикрепляющие рельсы, вводятся сбоку между двумя вертикальными ребрами, выступающие верхние закраины которых образуют гнезда для головок болтов¹⁾. Зажимные планки приспособлены для изменения ширины колеи до 6 мм, а частью и до 12 мм, против



Черт. 70. Чугунные рельсовые стулья 1:6.

продольного сдвига они могут быть подперты возвышениями в ребрах подкладки, в роде того, как показано на черт. 70.1, в поперечном разрезе.

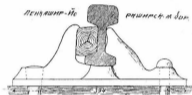
Под головки шпальных шурупов положены сильные пружинные шайбы. Поверхность шпал под этими стульями, даже по истечении продолжительного времени, оставалась невредимой, хотя под давлением она сильно спрессовывалась, но не разнашивалась (сравни таблицу на стр. 47 под номером 7). Выступавшее пропитывающее вещество местами так плотно склеивало подушки со шпалами, что они могли быть раз'единены только с помощью ударов молотка. Подобной формы рельсовые стулья, как показано на черт. 70.2, введены с 1912 г. Нидерландским Обществом Государственных железных дорог

¹⁾ Подробности: Organ 1899, стр. 143; 1908, стр. 177; 1914—стр. 130.

и Центральным железнодорожным обществом для своих главных линий ¹⁾). Также и с других сторон отзываются благоприятно о подушках и рельсовых стульях, но применение их можно иметь в виду только в случае шпал из мягкого дерева, между тем, как для шпал из твердого дерева вообще—считать достаточно и более простое устройство опор, вроде показанного например, на черт. 67.

Английский рельсовый стул.

Из существенно иных предположений исходит устройство английского рельсового стула из литого железа, который сохранил свою основную форму со времени возникновения железных дорог и до настоящего времени (черт. 71). Английский двухголовчатый рельс не обладает собственной устойчивостью, как широкоподошвенный рельс, поэтому нуждается



Черт. 71. Английский рельсовый стул 1:6,
25,4 кг.

в сильной боковой опоре и боковом закреплении. Это повело к главной особенности английского стула—к высоким боковым опорам и к заклиниванию. Пропитанные льняным маслом, сильно зажатые, деревянные клинья стесаны со слабым

уклоном, обыкновенно — даже по параллельным плоскостям. Они вводятся сухими и сохраняют свое полное натяжение лишь вследствие разбухания в сыром воздухе, но с течением времени теряют свою заклинивающую способность и часто нуждаются в исправлении, или замене. Как ни кажется простым это заклинивание, но оно не представляет полноценной замены сильного заклинивания, т. к. при его посредстве не достигается долговечного соединения между рельсом и стулом, что является изнашиванием клиньев, рельсов по их постели и внутренних поверхностей примыкания стуловых челюстей. Стул соединяется со шпалой посредством четырех сильных дюбелей, или гвоздей из дерева или железа, при чем ни в коем случае не получается надежного соединения между шпалой и подушкой, как показываю незначительные изнашивания шпальных постелей. Нет никакой побудительной причины переносить основную форму английского стула, который с течением времени возрос до

¹⁾ Organ 1912, стр. 416.

созидного веса в 25 килограмм, на широкоподошвенный рельс, т. к. этот последний, на основании опыта, не нуждается ни в какой боковой опоре, и с помощью закрепления подошвы обеспечивается в отношении устойчивости совершеннее, чем при боковом клине. В Германии, вообще, английский клин не оправдал себя, т. к. он усыхает и ослабевает и дает повод к угону рельсов. Напротив, в тоннелях он находит выгодное применение.

Клиновое приращение.

В виде замены зажимных болтов, предлагался железный клин, в различных видах, между рельсом и подкладкой или железной шпалой (сравни черт. 72), между другим—Ваузом¹⁾, также применялся часто еще в старейших устройствах



Черт. 72. Двухплечатая подкладка с клином.

железных шпал, в новейшее время—в шпале Карнедзи. Он является очень действительным и простым средством не только для создания прочных соединений, но также и для желаемого регулирования установки соединяемых частей друг относительно друга. При этом он требует меньше места, и применение его более многосторонне, чем болта. Поэтому широкое применение он находит в машиностроении, до сих пор, однако, не утвердившись в деле устройства верхнего строения пути, т. к. он легко ослабевает при сотрясениях и продолжительном угоне. Тем не менее, при его преимуществах в других отношениях, дальнейшие опыты с надежно устроенным клином (сравни черт. 96) заслуживают внимания.

Расположение подкладок.

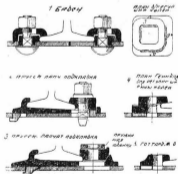
В стремлении защитить верхнюю постель шпал из мягкого дерева, подкладкам и подушкам стали придавать длину до 40 см и более. Но чем прочнее и неподвижнее соединения они со шпалами, тем незначительнее износ постелей, который в результате проявляется лишь в спрессовывании древесных волокон, и тем незначительнее, следовательно, могут быть размеры воспринимающей давление поверхности шпалы. Для всякого рода подкладок имеет чрезвычайно большое значение совершенно полное и равномерное прилегание ее к шпале, чтобы избежать всех промежутков, которые дают повод к прониканию вещества балласта и мокроты, к быстрому, неравномерному износу и к вредным изменениям ширины колеи. Обработанные только тонором или декселем, и даже вышплен-

¹⁾ Verkehrstechnische Woche—1911, стр. 785.

ные, поверхности не всегда гарантируют желаемую точность. Поэтому весьма распространенный способ обрабатывать постели под подкладки машинным рубанком во всех случаях заслуживает рекомендации.

Укрепление железных шпал.

Для железных шпал одним из старейших средств закрепления рельсов является клин, который, в соединении с клинообразными прокладками, загонялся вертикально в отверстие в шпале. Но он не оправдал себя, т. к. легко ослабевал, и, вследствие производимого им большого давления, действовал разрушительно на стенки отверстий, и потому скоро уступил место болту. Этот последний захватывает непосредственно снизу за крышку шпалы, и вставляется, по большей части, сверху, в виде так называемого анкерного болта (черт. 73, 2). Так как шпалы, из соображений целесообразности, охотно снабжаются одинаковым размещением отверстий, как для прямых, так и для кривых частей пути, то скрепляющие части приспособляются для возможности изменения ширины колеи в ограниченных пределах. Из многих способов закрепления заслуживает быть отмеченным устройство Рота и Шилера, с



Черт. 73. Прикрепление железн. шпал 1:6.

особыми, переставными, регулирующими ширину колеи, вкладышами. Введенное уже при первоначальном устройстве пути на железных перепонках на Гаденских казенных железных дорогах, мало по малу развивается оно до теперешней своей формы, представленной на черт. 73, 4. Оно отличается простотой, однообразной формой скрепляющих частей, хорошим закреплением болтов и регулирующей ширину колеи вкладышей в совершенно заполненных отверстиях

в шпалах, разгрузкой болтов отдвигающих усилий и долговременным и крепким натяжением болтов, чему способствует упругость широких зажимных плашек. Вредных продольных передвижений рельсов по шпалам, по имеющимся сведениям, не наблюдалось. С другой стороны, как недостаток отмечается

введение болтов снизу и ослабление шпал шпиральной отверткой в крышке. Тем не менее, этот род устройства, по сообщениям Гаденских казенных железных дорог, оказался, на основании продолжительного опыта, во всех отношениях целесообразным и особенно сохраняющим от износа шпалы и крепления. Готардевая ж. дор. так же, как и прежняя Рейнская, применяет простую зажимную планку, нижняя цапфа которой получает переменную толщину для возможности регулирования ширины колеи (черт. 73₂). Вюртембергская дорога применяет необъединенную регулирующую и зажимающую планку Гейндля (черт. 73₃).

Рельсы лежат или непосредственно на шпалах, которые на своей поверхности снабжаются подкладкой, соответствующей наклону рельса, или на подкладках, посредством которых дается рельсу наклон, и, вместе с тем, крышка шпалы предохраняется от непосредственного жесткого воздействия рельсов. Прусская казенная железная дорога дала им форму ланчатой подкладки (черт. 73, 2), которая с наружной стороны захватывает под крышку шпалы вторым крюковидным придатком, между тем как внутренняя сторона, подобно тому, как на деревянных шпалах, закрепляется болтом и зажимной планкой. Регулировка ширины колеи достигается различным расположением верхнего крюка и требует ланчатых подкладок и зажимных планок четырех разных сортов. Как преимущество этой подкладки нужно отметить, что она делает ненужными болты у наружной стороны рельса, что, кроме того, подобие другого рода крепления, она передает поперечное сдвигающее усилие рельса непосредственно на шпалу, не действуя на зажимный болт. В противоположность этому, нужно отметить, как большой недостаток, ненадлежащее прижатие к обоим крюкам, которое допускает вертикальные движения на величину до 2 мм и является поэтому причиной износа крюков, крышек шпал и стенок отверстий. Еще большие движения, до 4 мм, допускает подкладка с крюковидной цапфой (черт. 73, 3), которая возникла из намерения перекрыть подкладкой и усилить слабейшее продырявленное место в шпальной крышке путем просовывания нижнего крюка вниз. Затем, недостаточное прижатие между рельсом и крюком вызывает, как показывает опыт, продольное передвижение рельсов по шпалам. Поэтому ланчатая подкладка принятой формы ни на деревянных, ни на железных шпалах не может, по своей службе, считаться равноценной хорошо устроенному двустороннему прикреплению шурупами, при котором на железных шпалах, как показывает опыт, вообще можно обходиться без подкладок.

Своеобразное и простое устройство, заслуживающее внимания для дальнейшего усовершенствования устройства колеи на железных шпалах, введено в последнее время на Ольден-

бургской казенной ж. д. (ч е р т. 74). Из шпальной крышки выдвигаются два ребра, которые, являясь опорами для зажимных планок, дают рельсам надежное боковое укрепление. Для регулирования ширины колеи зажимные планки изготовляются двух сортов, которые отличаются шириной поверхности основания.

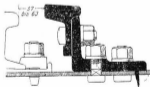


Черт. 74. Олявбургская ребристая шпала 1:6.

чет за собой большой недостаток, заключающийся в том, что стенки отверстий в углах подвергаются сильному воздействию и испещряются мелкими трещинами, которые, под действием ударов, расширяются и часто бывают причиной преждевременного разрушения целого изделия. Поэтому предпочтительнее в очень ответственных местах прорезывать дыры, вместо того, чтобы их продавливать, и во всяком случае—избегать острых углов, как и вообще всякого резкого изменения поперечного сечения.

Укрепление направляющих рельсов.

Требования совсем особого рода предъявляются к прикреплению направляющих рельсов, которые подвергаются только боковому давлению колес в 3000 килограммов и более без вертикальной нагрузки. Простые привинченные L-образные железные узоры (ч е р т. 75) оказались на деревянных шпалах



Черт. 75. Прусский кантрельс 1:6.

недостаточными, т. к. они вдавливаются в косом направлении и подвергаются шпальные шурупы недопустимо-сильным, в вертикальном и боковом направлениях, воздействиям. Также и на железных шпалах они предъявляют высокие требования к прикрепляющим частям и к стенкам отверстий. Так как направляющий рельс и соответствующий внутренний путевой рельс подвергаются боковому давлению колеса в противоположных направлениях, то, без сомнения, непосредственное соединение этих двух рельсов, без содействия шпала, является самым целесообразным, будет ли это сделано посредством распорных болтов по способу прикрепления направляющих

Отверстия в железных шпалах выштамповываются большей частью в холодном состоянии. Поэтому способ вы-

давливаются в косом направлении и подвергаются шпальные шурупы недопустимо-сильным, в вертикальном и боковом направлениях, воздействиям. Также и на железных шпалах они предъявляют высокие требования к прикрепляющим частям и к стенкам отверстий. Так как

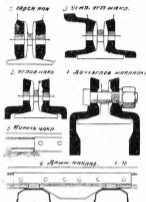
рельсов в стрелках, как это принято в Саксонии, посредством скоб, которые проводятся под рельсом, или посредством общих подкладок и подушек. Такие подушки были с успехом применены на городских железных дорогах в Берлине при первоначальной укладке направляющих рельсов и должны, хотя бы и в другой форме, представлять собой лучший способ прикрепления направляющих рельсов, т. к. они сильнее всего действуют, не требуют никаких сверлений в рельсах, облегчают прилаживание контррельсов и надежнее сохраняют их расстояния от путевых рельсов.

Стыковые соединения.

Накладки, висячий стык.

Старейшее соединение стыков рельсов, состоящее из коротких плоских железных полос, свинченных с рельсовыми шейками, могло, конечно, соединять концы рельсов друг с другом, в крайнем случае, — связывать их и в поперечном направлении, но не могло обеспечить правильность их взаимного положения по высоте, которая зависела исключительно от расположения на общей стыковой шпале. Выяснившейся вскоре потребности в непрерывности рельсовой нитки удовлетворила принятая теперь повсюду расширяющая накладка, которая плотно укладывается между головкой и подошвой рельса своими клиновидными опорными поверхностями и в этой тесной связи с рельсами — в состоянии не только прочно закреплять концы рельсов по направлению, но и воспринимать у места перерыва возникающие в рельсовой нитке изгибающие и сдвигающие напряжения, передавать их от одного рельса к другому и обеспечивать почти равномерную сопротивляемость всей рельсовой нитке. Для этого пара накладок требует такой же сопротивляемости, как и сам рельс, а все стыковое устройство требует опоры, которая, принимая во внимание увеличенные динамические воздействия, обладала бы такой же устойчивостью, как и остальные рельсовые опоры. Для устройства стыка в этом смысле, общая стыковая шпала с прочно укрепленными на ней концами рельсов оказалась, прежде всего, мало пригодной. Стык переместили в промежуток между шпалами, и этим передали воздействия на стык равномерно на две шпалы, создали вместе с тем для мест, наиболее подверженных воздействию, для концов рельсов упруго-податливое положение, и способствовали следовательно сохранению рельсов, шпал и балласта посредством разгрузки таковых. Пространство же между двумя стыковыми шпалами давало наилучшую возможность свободно развиваться форму накладок и повысить, наконец, ее сопротивляемость до тех размеров, как у рельсов, — имеющее высокое значение пре-

мушество, которому, конечно, в первую очередь обязано повсеместное принятие и дальнейшее распространение этого нового стыка. Развитие формы накладок получает соответственно с этим определенный отпечаток. Оно идет свой путь,



Черт. 76. Поддерживающие
накладки 1:6.

Накладка исполняет свое назначение тем совершеннее, чем она крепче соединена с рельсом и чем положе наклонены ее опорные поверхности. Поэтому в дальнейшем уклон подвергается уменьшению, в Германии—до 1:4, в Бельгии—до 1:5, а число с стыковых болтов было увеличено до 6. Было бы бесцельно идти еще дальше, т. е. продольное удлинение рельсов вызвало бы недопустимо большие напряжения. Несмотря на эти мероприятия и несмотря на увеличение опорных поверхностей накладок у расширенных головок рельсов, нельзя избежать того, что опорные поверхности преждевременно изнашиваются и непрерывность соединения ослабевает, или совсем исчезает. Но при неравномерном износе исключена возможность подтянуть поврежденные накладки до полного их прилегания. Правда, этот недостаток можно до некоторой степени ослабить, если, как показано на черт. 77, накладка с самого начала установлена в наиболее ответственных местах лишь отдельными короткими опорными поверхностями, однако, при этом легко теряется непрерывность соединения при направленном вверх давлении, которое появляется при волнообразном движении под катящимся грузом, или при сильной подбивке стыка.

по черт. 76 от плоской накладки, через угловую наладку, к глубоко вниз выгнутой, обладающей большой степенью сопротивления, двухугловой накладке. Длина накладок, которая первоначально ограничивалась свободным пространством между стыковыми шпалами, с течением времени так сильно увеличилась, что концы накладок получили прочные опоры на стыковых шпалах (черт. 76, 5 и 6). Поэтому, вместе с задачей непрерывно соединять рельсы, накладка получает свойства прочно закрепленной балки, которая в значительной степени разгружает рельсы, и при этом подвергается меньшему давлению на опорные поверхности, чем короткая накладка.

Опыты с этими накладками не повели к ожидавшемуся успеху. Совершеннее, хотя и не так просто, осуществляется подобная мысль Циммерманом ¹⁾ тем, что у каждого болта накладки,



Черт. 77. Накладка с отдельными опорами.

как показано на черт. 78, он вставляет отдельную короткую с'емную подпорную пластинку, которая, как отдельная опора, перехватывает давление от головки рельса. Фр. Гох заменяет каждую накладку парой продольных клиньев, которым он приписывает, рядом с возможностью регулировки, как особое преимущество, — большую жесткость соединения концов рельсов ²⁾. Затем, в качестве общего преимущества приспособленных к регулированию накладок, выдвигается то, что при сильном подтягивании они приподнимают концы рельсов, приводят поэтому опустившиеся от езды стыкт в их первоначальное положение, или могут придавать новым стыкам с самого начала значительное повышение, чтобы противодействовать быстрому образованию стыковых прогибов. Однако, не только вследствие износа по опорным поверхностям накладок, но и вследствие образования выемочек в рельсах (сравни черт. 23₁₂), подтягивание делается недействительным, достигая, вообще, своего предела, лишь только накладка коснется рельсовой шейки, — состояние, которое нередко наблюдается в старых железнодорожных путях при пологом наклоне опорных поверхностей накладок. Тогда ничего не остается, как заменить износившиеся накладки новыми, несколько более высокими, или посредством прессы изогнуть старые накладки немного вверх, чтобы они, по возможности, точно прилегли к разработанному месту прилегания накладок чер. 79.



Черт. 78. Заклинивающаяся накладка Циммермана.

Для противодействия главному злу простого скрепления накладками — большому давлению на узкие опорные поверхности накладок, давно уже домогались создать новые опорные поверхности, для чего представляла подходящее место широкая подошва рельса. Шудер опирает концы рельсов на переставные клинья а (черт. 80),



Черт. 79. Выгнутая верхняя накладка.



Черт. 80. Клиновой стык Шулера.

Для противодействия главному злу простого скрепления накладками — большому давлению на узкие опорные поверхности накладок, давно уже домогались создать новые опорные поверхности, для чего представляла подходящее место широкая подошва рельса. Шудер опирает концы рельсов на переставные клинья а (черт. 80),

¹⁾ Условия долговечности стыкового соединения. Zentralblatt d. Bauverwaltung — 1892.

²⁾ Verkehrstechnische Woche — 1913, стр. 12.

которые вставлены в нижние фартуки накладок. Однако, не удавалось надолго удержать плотную заклинку и предотвратить износ всего клинового устройства вместе с местами его закрепления в накладках, в также—

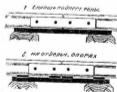


Черт. 81. Подошвенная накладка.

В дальнейшем, в большем объеме использовали подошву рельса, согласно черт. 81, в форме подошвенной накладки, также с применением натяжного болта—по Вохумскому способу. Если и может быть достигнуто в новом состоянии, при точной работе, хорошее соединение получившихся таким образом трех опорных поверхностей, то все же, при возрастающем износе, которому, по наблюдениям, подвержены преимущественно нижние опорные поверхности, и здесь невозможно подтягивать накладки. Пытались помочь делу подкладыванием клиньев под концы рельсов, или совершенно отделили низовое скрепление накладками от бокового и, усиливая в дальнейшем накладку под подошвой рельса, подошли к существующей уже форме стыка—к стыковому мостику.

Стыковые мостики.

Стыковой мостик образует самостоятельную, прочно-закрепленную на стыковых шпалах, балку, в своей совершеннейшей форме достаточно сильную для того, чтобы быть в состоянии восприниматьдвигающие и изгибающие напряжения в стыке и вертикальном и горизонтальном направлениях, и настолько разгружать накладки, чтобы последние служили только для внешней связи концов рельсов.

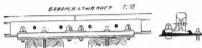


Черт. 82. Стыковые мостики.

Поэтому допустимо, и даже выгоднее, держать накладки слабее и делать их способными, без большого принуждения, следовать упругим движениям стыкового мостика. Подошва рельса покоится, обыкновенно, полностью на стыковом мостику (черт. 82₁), однако, нет никаких препятствий к тому, чтобы образовать отдельные опоры путем введения подкладок или придания соответственной формы мостовой подкладке, и с их помощью передавать нагрузку на мостик и опоры более определенным образом (черт. 82₂). Поддерживающая способность балластного слоя может быть произвольно усилена путем более частого расположения шпал под мостиком. В простейшей форме стыковой мостик представляется на Баварской казенной ж. д.—в виде

и делать их способными, без большого принуждения, следовать упругим движениям стыкового мостика. Подошва рельса покоится, обыкновенно, полностью на стыковом мостику (черт. 82₁), однако, нет никаких препятствий к тому, чтобы образовать отдельные опоры путем введения подкладок или придания соответственной формы мостовой подкладке, и с их помощью

удлиненной лапчатой подкладки (черт. 83), на Прусской казен. жел. дор.—в виде соединительной части между двоянными железными стыковыми шпалами (черт. 84).—безукоризненное изготовление которой и получение для нее достаточной соприкляемости натолкнулись, однако, на трудности.—наконец, в усиленном стыке Гаармана—в виде накладываемого мостика из стального литья (черт.85.). Пенсильванская ж. д. применяет стыковые мостики длиной до 1,778 мт.



Черт. 83.



Черт. 84.



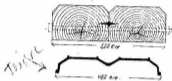
Черт. 85.

До настоящего времени стыковые мостики укладывались только на больших или меньших опытных участках. Как результат этих опытов выставляют вообще хорошее долговечное положение стыка, которое объясняется, конечно, благоприятной передаточной нагрузкой на шпалу и балласт. Также существует мнение, что при этом рельсы меньше изнашиваются. Во всяком случае, мостовая подкладка подвергается, под лежащим на ней всей поверхностью своей подошвы рельсом, неравномерному износу, под концами рельсов возникают более глубокие выбоины, и, в конце концов, получаются стыковые прогибы, особенно, если концы рельсов с самого начала неодинаковой высоты. Поэтому износ у стыковых мостиков—подобен износу накладок, однако, протекает медленнее, чем при простом соединении накладками. Он, вообще, всегда будет проявляться в одинаковой форме, если значительно по своему протяжению поверхности соприкосновения нельзя, путем подтягивания, держать в продолжительном полном соприкосновении,—явление, которое в верхнем строении железнодорожного пути заслуживает особого внимания.

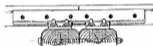
Расстояние между шпалами у стыка.

Другое особенно действительное средство для усиления устойчивости стыка, как указал всесторонний опыт, дается близким расположением стыковых шпал. Чем чаще лежат шпалы, тем лучше распределяется и, вместе с тем, уменьшается

давление на балласт, но тем более, с другой стороны, становится сопротивление балластного слоя, тем незначительнее, следовательно, получается напряжение в рельсах и накладках. Расстояние между шпалами ограничивалось прежде требованием возможности подбивать каждую шпалу с обеих сторон. В Пруссии для деревянных шпал шириной в 26 см. оно доходило у стыка, от середины до середины, до 54 см., в Баварии и Франции до 42 см., для железных шпал—до 34 см. С тех пор, однако, как было испытано, что и односторонней подбивкой можно придать шпалам прочное положение, стали в новейшее время сближать



Черт. 86. Сдвоенные шпалы 1;12.



Черт. 87. Прусский стык на сдвоенных шпалах.

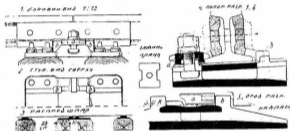
и деревянные шпалы у стыка до нескольких сантиметров просвета между ними, с весьма до сих пор удовлетворительным результатом. Прусская казенная ж. д. сделала еще шаг вперед, придвинув стыковые шпалы, как показано на черт. 86, вплотную друг к другу, связав деревянные шпалы дубовыми или болтами, железные шпалы, по предложению Гудьбе, соединив в одну двойную шпалу. При таком частом расположении шпал не оставалось больше места для сильных, глубоко опускающихся вниз двугольных накладок, пришлось удовлетвориться

более слабыми, плоскими или угловыми накладками, в предположении, что, вследствие более прочного положения колен в балласте, накладки разгружаются в достаточной мере (черт. 87). В состоянии ли, действительно, более слабое соединение накладками сохранять неизменность положения рельса во всех направленных на продолжительное время, должен показать дальнейший опыт. Не должно остаться незамеченным то, что шпала, встречная по движению, вследствие ударов у стыка, подвергается большим воздействиям, чем шпала попутная, поэтому при двупутном движении шпала встречная склонна глубже опускаться в балласт и, в свою очередь, передавать более сильное напряжение накладкам.

Жесткий стык.

Уже при сильных длинных накладках и еще более при стыковом мостике, почти совершенно исчезает главное преимущество, которое приписывалось всякому стыку—упругое поло-

железные концы рельсов, в дальнейшем же, вместе с сближением стыковых шпал, отпадает благоприятная возможность усилить поперечное сечение накладок в промежутке между шпалами. Способ поддержки стыка более принимает особенности жесткого стыка, т. е. расположения шпал непосредственно под концами рельсов. В новейшее время приобретают значение стремления вернуться к ясно выраженному жесткому стыку, чтобы с его помощью в возможно большей мере разгрузить накладки, сберечь поддерживающие поверхности накладок и концы рельсов и обеспечить непрерывность поверхности катания по жестко уложенным концам рельсов. Необходимую же, более сильную поддержку в балластном слое предполагают возможным достигнуть с помощью более широких стыковых шпал и более частым расположением шпал в окрестности



Черт. 88. Жесткий стык.

стыка. Северный ж. д. императора Фердинанда достигла, по ее сообщениям, с помощью жесткого стыка на стыковых шпалах шириной в 31 см. весьма хороших результатов). Остается нерешенным, не повторяется ли при двупутном движении то знакомое явление, что подверженный более сильному воздействию встречный по движению рельс и место его закрепления более поддаются, чем попутный рельс, и что со временем образуются стыковые уступы со всеми вредными последующими явлениями, если не позаботиться для каждого конца рельсов о приспособленных к регулированию опорам. Затем, при жестком стыке нужно не упускать из виду, что температурное удлинение рельса сказывается не только на опорных поверхностях накладок, но также и на частях, прикрепляющих рельсы к объединенной стыковой шпале, вследствие чего указанные части нуждаются в сильной защите против продольного сдвига. Для выяснения тех задач, которые должны предвидеться жесткому стыку, может служить черт. 88.

*) Справка Акт. Орган 1900, дополнительный том.

Концы рельса лежат на стыковом стуле из железного, или стального, литья с двумя плосковыпуклыми сближенными опорами для рельсов (черт. 88_а) и прижимаются общими зажимными планками а (черт. 88_а), которые посредине вырезаны и действуют только своими концами над опорами рельса. Поэтому путем лишь подтягивания зажимного болта возможно держать всегда, также и при износе, в крепком соединении с подошвой рельса, как зажимные планки, так и обе опорные поверхности на стуле. Зажимные планки упираются в продольном направлении в выступы в стуле, точно также—и вырезанные накладки, т. е. все продольные сдвигающие усилия воспринимаются исключительно стулом, не нагружая зажимного болта. При необходимости усиления жесткости стыка в поперечном направлении, накладки могут быть усилены, как показано на черт. 88_а. В качестве опор могут применяться одиночные широкие, или тесно расположенные, объединенные посредством стула, более узкие шпалы, вроде того, как показано на черт. 88_б. Незначительный промежуток между соединенными шпалами не ослабляет сопротивляемости балластного слоя, наоборот—кажется выгодным, т. к. он расширяет площадь основания всей опоры стыка и способствует более равномерной передаче нагрузки на шпалы и балластный слой. Более сильною воздействием на встречную шпалу при двупутном движении можно противодействовать применением встречной шпалы большей ширины или соответственным передвижением стула по шпалам в направлении, противоположном направлению движения. Вообще, представляется целесообразным, при устройстве стыка, отнюдь не делать расстояния между шпалами заранее неизменным, но делать его в некоторых границах изменяемым, чтобы иметь возможность размещать шпалы соответственно действительной потребности, смотря по качеству балласта и по роду воздействия нагрузки.

Перекрытый стык.

Очень далеко назад по времени простираются опыты, имевшие целью уловить недостатки рельсового стыка в их источнике—в стыковом зазоре, и либо совершенно устранить его, либо разгрузить помощью перекрывающих частей. Широко распространенный до последнего времени стык в нахлестку разделяет одиночный стыковой зазор на два перекрытых полустыка, и хотя приобретает таким путем лишнюю зазора, пересекаемую без удара, поверхность катания, но ослабляет рельс очень ощутительным образом в области нахлестки (черт. 89). Рельсовые половинки раздавливаются по своим узким поверхностям катания, по острым кромкам продольного зазора сминаются и раздробляются, а также часто и ломаются в местах соединения. Поэтому от стыка в нахлестку почти

совершенно отказались для главных путей, точно также, как и от составного из двух частей рельса со сквозным продольным зазором. Концы рельсов можно, очевидно, действительно всего защитить, если удастся предохранить их совершенно, или, по крайней мере, в значительных размерах, от воздействий колес. Для этого требуются особые поддерживающие части у концов рельсов, способных по своей форме без удара принимать груз от одного рельса и передавать его другому. Это предполагает непрерывную поверхность катания, не только в вертикальном, но также и в горизонтальном направлении. Из такого требования возникла подхватывающая удар накладка (черт. 90), которая, имея в верхней своей части форму рельсовой полуголовки, совершенно прилегает к плоско вырезанным концам рельсов, между тем как вырезанные концы, как обыкновенные накладки, входят в впадину между головкой и подошвой рельса. Но и здесь не оправдался ожидавшийся успех, суженная часть головки рельса и подхватывающая накладка оказались слишком слабыми в отношении сильных воздействий и подвергались подобным же раздавливаниям, как и стык в нахлестку.



Черт. 89. Стык в нахлестку изношенный.

Саксонская казенная ж. д. избегает всякого ослабления рельсов у стыка и доводит наружную накладку, в виде подхватывающей накладки, рядом с полной головкой рельса, до верхнего уровня этой последней (черт. 91). Таким путем непрерыв-



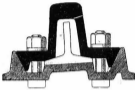
Черт. 90. Подхватывающая накладка Неймана.



Черт. 91. Саксонская подхватывающая накладка.

ность поверхности катания, во всяком случае, совершенно нарушается, колесо катится по накладке по другому кругу катания, чем по рельсу, катящееся колесо ударяет в имеющий форму наклонной плоскости конец накладки, приподнимается с тем, чтобы у другого конца накладки вернуться на рельс. Таким образом, возникают два места удара—первое на накладке, второе—на встречном рельсе. Наклонная поверхность ребра накладки, на которую набегает колесо, имеет уклон в 1:30, т. е. приблизительно такой же крутой, как и наиболее сильные стыковые прогибы. Проходящие ударные действия ни в коем случае поэтому не могут быть незначительными. Покрываются ли вредные результаты достоинствами подхватывающих накладок и могут ли они быть ослаблены путем улучшения формы накладки,

повидимому, имеющимся до сих пор опытом еще недостаточно определено освещено. В то время, как некоторыми железнодорожными управлениями эти опыты оставлены, как бесперспективные, другие они, как например, Сакеонских ж. д., продолжают. Подобным образом действуют подхватывающие рельсы, расположенные головка с головкой рядом с путевым рельсом и соединенные, обыкновенно, с этим последним расширенными вкладышами. Встыковом перекрытии Мелзуна (черт. 92) головки рельсовых концов вырезаются на всю их высоту и заменяются шпалообразной, опирающейся на стыковой костик, вставной частью, длиною около 45 см., ко орля дальше по своей длине имеет форму накладки. Устройство это представляет собой двукратный туевой стык, применяется особенно на городских жел.



Черт. 92. Стык Мелзуна 1:6.

дор. с целью улучшения старых разбитых стыков и считается надлежащим средством для того, чтобы снова привести эти последние в состояние годности на продолжительное время.

От всех недостатков рельсового стыка предохраняет, очевидно, коренным образом бесстыковая рельсовая нитка. Она фактически получается посредством спайки рельсов друг с другом или с накладками, однако она уместна и широко распространена в прочно заделанных уличных путях, которые не подвержены полному колебанию температуры воздуха и при этом достаточно обеспечены против бокового сдвига. В открытых путях подобным образом, правда, составляются рельсовые нитки длиною до 100 и более метров, однако, без желаемого успеха, так как остающиеся стыки с их расширенными зазорами подвергаются тем более сильным воздействиям.

Конечный вывод.

До сих пор не доказано в отношении ни одного стыкового перекрытия, что оно может заменить простой туевой стык. Поэтому он до сих пор остался повсеместно распространеннейшей формой стыка. Хотеть устранить совершенно его очевидные недостатки, по физическим причинам, задача безнадежная. Ибо, если и удастся ослабить эти недостатки путем усиления отдельных составных частей, путем повышенных требований в отношении прочности материала рельсов, точности работы и безукоризненной пригонки стыковых соединений, посредством сильных и надежно уложенных шпал, то оста-

нется, как источник зла, стыковой зазор, у которого менее способные к сопротивлению, и при том испытывающие более сильные воздействия, торцовые кромки, подвержены более быстрым деформациям, чем цельный рельс вне стыка. Как протекает процесс износа у стыкового зазора, как уже в новом пути возникает крутые, короткие стыковые прогибы, которые влекут за собой сильные удары и движения колеса и рельса, было уже наглядно пояснено на чертежах от 10 до 12. Возможное ограничение этих движений будет главной целью при разработке устройства стыка. Направленный вниз стыковой прогиб всегда принуждает колесо к внезапному и насильственному изменению направления движения. Если же дать стыку незначительное повышение, то колесо сохраняет большую свободу движения, ударяет менее жестко в встречный рельс. Изогнутая вверх накладка (черт. 79)



Черт. 93. Приподнятый стык 1:18.

и поддержка клиньями имеют в виду подобную форму стыка. Были также произведены наблюдения над сильными, поддерживаемыми сдвоенными шпалами, стыками, и нельзя отрицать, что при более определенной разработке этой формы, вроде того, как показано на черт. 93, стык может быть разгружен выгодным образом. Излишнее сначала повышение оказалось бы при этом, в отношении износа, неизбежно наступающего позднее, благоприятным. Притом незначительные повышения не оказывают вредного влияния на ход подвижного состава, как такого же размера понижения.

Стыки по наугольнику, стыки в разбежку.

Европейскими железными дорогами придается значение тому, чтобы рельсовые стыки в колесе лежали точно по наугольнику друг против друга, чтобы на разбитых стыках не давать подвижному составу никакого повода к боковой качке.

В Америке, напротив, сильно распространено обыкновение сдвигать стыки один относительно другого на половину длины рельса, главным образом, для того, чтобы ослабить вертикальные удары подвижного состава. Подобные опыты со стыками в разбежку были в Германии произведены без удовлетворительного результата, напротив, они повели к усиленным воздействиям на целый рельс против стыка и поэтому в дальнейшем были оставлены.

Упругие промежуточные прокладки.

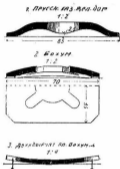
Ц е л ь .

Очень заслуживающими внимания являются введенные в более значительных размерах в новейшее время, с целью обеспечения и усиления путевых скреплений, вспомогательные средства, в виде упругих пружинных прокладок. Они применяются уже с давнего времени, с целью помешать самопроизвольному отвинчиванию болтовых гаек, которое происходит только при неапряженном состоянии, при чем они оказались в этом смысле действительнее, чем другие средства, которые не в состоянии держать болты в напряженном, как напр., изогнутые пластинчатые прокладки, шпильки, клинья, колпачки и др. С возрастанием надежности в деле выработки пружинной стали, они подверглись дальнейшему видоизменению с целью передачи более определенных и постоянных напряжений между соединяемыми частями колес. Хотя и возможно путем подтягивания придать болтам желаемое натяжение, однако, оно ослабляется и часто совершенно уничтожается вследствие износа и длительного ослабления соединенных частей, так что нет уверенности в том, остается ли соединенные действительно постоянно напряженными, и в какой мере пружина выравнивает эту перемену натяжений. Если, напр., под головки четырех шпальных шурупов ступчатой подкладки включить пружинные прокладки с натяжением в 250 килограммов каждая, то подкладка и в неапружинном состоянии, а также после умеренного износа шпала, будет постоянно оставаться прижатой к шпалу с силой почти в 1000 килогр. Поэтому она никогда не может отстать от шпала, а также и сдвинуться по ней вследствие большого сопротивления трению пропитанной крезотом шпале, следовательно, не может оказывать никаких вредных воздействий на постель шпала. Пружина дает, далее, средство парализовать слишком сильные натяжения при условии, если болты подтягиваются не сильнее, чем то допускается игрой пружины. Также ограничения особенно полезны в отношении болтов, стягивающих накладку, также и в отношении шпальных шурупов в мягком дереве.

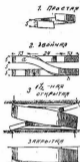
Пружинные пластинки.

Формой упругих натяжных прокладок является пластинка или кольцо. Употребительные пружинные пластинки (черт. 94₁ и 2) передают очень высокое давление — часто значительно более 1000 килогр., обычно имеют при малой длине только незначительную игру, редко более 2 миллиметров. Они особенно пригодны для очень жестких соединений между собой железных частей, как, напр., рельсов со ступчатыми подклад-

ками или с железными шпалами. Если же, напротив, напряжение пружины должно удерживаться на определенной степени и должна при этом быть достигнута большая игра пружины, то требуются пластинки большей длины, или несколько коротких пластинок друг над другом. На черт. 94_а представлена пластинка, устроенная по Вохумскому образцу для двух скрепляющих накладок болтов попарно, с игрой в 7 миллим., имеющая перед однодырной пластинкой рис. 94_б, кроме того, то преимущество, что она не ослабляется болтовым отверстием



Черт. 94. Пружинные
пластинки.



Черт. 95. Пружинные
кольца.

в неблагоприятном месте, с другой же стороны, имеет во всяком случае тот недостаток, что ее длина зависит от переменного расстояния между болтами.

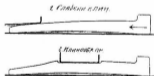
Пружинные кольца.

Пружинное кольцо (черт. 95) имеет перед пластинкой преимущество постольку, поскольку оно не воздействует на поверхность большую, чем болтовая гайка или болтовая головка, и, следовательно, может быть вставлено во всякое болтовое соединение. Но вместе с тем, можно придать такую значительную длину несколько раз кольцообразно завитой пружине, что она уже при умеренном давлении будет иметь большую игру. Она пригодна поэтому особенно для деревянных шурупов, следует за упругим и длительным сжатием дерева без большой потери в силе натяжения и предохраняет древеси-

ную нарезку от перенапряжения. Пружинному кольцу часто ставят в упрек ломкость, ослабление силы натяжения и эксцентричное нагружение болта—недостатки, которые присущи конечно, только нецелесообразным формам. Например, в пружинном двойном пружинном кольце (черт. 95₂) вся игра пружины в 5 мм. воспринимается одной короткой частью а—в, что во всяком случае должно иметь следствием перенапряжения. Но эксцентричные натяжения болтов имеют причиной обычно применяемую форму пружинных колец с одиночным, или двойным завитком. Если, напротив, пружинное кольцо на всей своей длине равномерно принимает участие в упругой работе, если его переменное поперечное сечение в каждом месте соответствует действующим моментам, если ему, далее, придется полуторный или двух-с-половинный оборот— то местные перенапряжения в кольце и эксцентричные действия легко могут быть избегнуты. Эти требования могли бы привести, например, к форме, представленной на черт. 95₃, или к ей подобной, могущей быть приспособленной для массового производства.

Пружинящие скрепления.

Пружинные сильных типов могут быть использованы и непосредственно, как скрепления, напр., как зажимные планки или пружинящие клинья. Ненадежность, которая, вследствие отклонений и продольного сдвига пути, присуща жесткому заклиниванию, может быть устранена, если клин, подобно



Черт. 96. Пружинящие клинья.

болту, остается под постоянным натяжением, или посредством особых пружинных приделков и пружинных вставок, или, еще лучше, путем изготовления самого клина в виде пружины с обеспечиванием его от продольного сдвига, в роде того, как показано на черт. 96. Пружинные скрепления этого рода

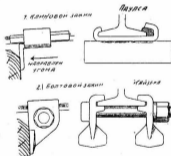
предполагают, само собой разумеется, превосходную пружинную сталь, которая на долгое время сохраняет без ослабления свою первоначальную упругость. Им следовало бы придавать только незначительную игру; поэтому они могли бы применяться исключительно для жестких, неупругих соединений железа с железом. Необходимость предъявления еще более повышенных требований к пружинной стали влечет за собой предложение¹⁾ придать целой рельсовой сетке способность

¹⁾ Organ, 1893,—стр. 184.

пружинить путем установления могущих воспринимать полную нагрузку листовых пружин между подошвой рельса и шпалами и создать, таким образом, вполне и равномерно упругий путь, который подхватывает ударные действия подобно вагонным рессорам, но с небольшой игрой. Такие пружины действовали бы, приблизительно, так, как очень упругие шпалы, и они могли бы поэтому найти применение, как вспомогательное средство, для неупругих, особенно для железных шпал, в предположении, что удастся такое применение пружин осуществлять в простом и прочном устройстве.

Меры против продольного угона рельсов.

Продольный сдвиг пути проявляется в утоне рельсов по шпалам, или всей колес в балласте, смотря потому сопротивлению, которое представляет то или другое место. Сопротивление балласта заключается в довольно определенных границах, в зависимости от его вещества и формы шпал. Совершеннейшее состояние имеет место тогда, когда сопротивление по рельсовой постели по меньшей мере так же велико, как сопротивление в балласте. Как уже было сказано, это состояние может быть достигнуто посредством постоянного и сильного натяжения между рельсом и его основанием. Если же такого состояния нет, то необходимо прибегнуть к особым вспомогательным средствам. Они состоят, по большей части, из отдельных опорных приспособлений, которые, будучи прочно соединены с рельсом, упираются в бок шпала.



Черт. 97. Рельсовые зажимы 1 : 6.

Сначала брали обыкновенные вырезные рельсовые накладки, которые укладываются между двумя шпалами, или между их подкладками, или захватывают эти последние, так что они одновременно действуют на обе шпалы и по любому направлению. Чтобы не связывать себя расстоянием между шпалами и необходимостью сверления рельсов, и получить лучшие опорные поверхности у шпал, перешли к рельсовым зажимам, которые, будучи прикреплены к подошве рельса клиновыми или натяжными болтами, в нижней своей части представляет для шпалы широкую опорную поверхность. Черт. 97 представляет под

1 один из употребительнейших клиновых зажимов, устроенный по способу Паулдуса, в основу которого, подобно другим клиновым зажимам, положена цель—автоматически держать клин в натянутом состоянии под действием противоположного давления шпала. Более надежными против ослабления, чем клиновые зажимы, оказались повсеместно бетонные зажимы, одна из распространеннейших конструкций которых представлена на черт. 97, 2.

Зажимы ставились сперва на отдельных шпалах, потом—на большем числе шпал в средней части рельса в направлении, противоположном преимущественному утону колес. Однако, на многих участках пути, не только с однопутным, но и с двухпутным движением, направление утона чрезвычайно неопределенно и переменчиво, так что часто наблюдаются и на значительных участках зазоры между шпалами и зажимами. Если хотят, чтобы сопротивление балласта было использовано полностью, то зажимы необходимы на всех шпалах, а на многих участках—с обеих сторон шпал. Если принять в расчет то, что зажимы представляют постоянное и обременительное затруднение при содержании пути, то едва ли им можно будет придавать значение большее, чем крайней мере при наличии несовершенного закрепления рельсов.

Балластный слой.

Вещество балластного слоя.

Балластный слой представляет фундамент пути, который должен передавать на более широкое основание нагрузку от колес. Вместе с собственной удовлетворительной грузоподъемностью, балластный слой должен иметь дальнейшую способность распределять и уравнивать входящие от шпал отдельные давления в такой мере, как того требует сопротивляемость грунта. Однако, само по себе способное к сопротивлению, но жесткое основание, как бетон, непригодно в качестве балластного слоя для пути на переселках, т. к. оно только с большими расходами может быть устроено устойчивым, и т. к. оно не может без вреда упруго воспринимать сотрясения и другие динамические воздействия, почему содействует износу всех частей пути, а для неизбежного последующего исправления пути готовит величайшие затруднения. Хотя работа упругости осуществляется частью деревянными шпалами, частью особыми упругими вкладышами, однако, во всех случаях особенно, при железных шпалах, она, главным образом, остается в удел нижнему строению. Поэтому балластный слой устраивается повсеместно в виде рыхлой насыпной массы, которая,

в соединении с основанием, составляет одно общее уруговое тело, и исправление пути делает возможным простейшим образом путем подбивки шпал.

Употребительнейшими веществами для балластного слоя являются: гравий и каменный щебень. Гравий состоит из продуктов разрушения твердых невыветривающихся каменных пород, большей частью кремней, и находится в естественных месторождениях, на суше или в речных областях, отчасти, в непосредственно примененном состоянии, отчасти — готовится посредством отсеивания мелких составных частей. При выборе породы для щебня, в первую очередь нужно обращать внимание на способность сопротивляться атмосферным воздействиям, а потом — в механическому изнашиванию. Из возможных быть примененными каменных пород приходится, главным образом, иметь дело с базальтом, порфиром, серым песчаником, углеродистым песчаником, гранитом, кварцитом, диоритом и известняком. Очень твердая хрупкая порода, как базальт, повреждает железные шпалы, и под подбивкой страдает больше, чем менее твердая, но более вязкая порода. По новейшим опытам, известные сорта серого песчаника, повидимому, дают наилучший в стране материал для путевого щебня, как вследствие их твердости и вязкости, так и вследствие их гладкого и остроугольного излома, который придает щебню особенно устойчивое положение.

Гравелистый балластный слой, с его закругленными зернами, обладает против боковых давлений только умеренным сопротивлением, которое, вследствие сотрясений, затем еще более ослабляется, и он требует поэтому частого расположения шпал. Затем, круглые катающиеся зерна трудно поддаются подбивке, если они не удерживаются вместе более мелкими связывающими составными частями. Но более богатое содержание мелких частиц задерживает влагу и дает повод к гнилым образованиям, особенно, если размер этих частиц спускается ниже некоторой определенной величины зерна, примерно, в 1 мм. Поэтому также мелкие составные части по русским правилам должны содержаться в балластном гравии в количестве не более 20%.

Много благоприятнее обстоит дело с остроугольным каменным щебнем, который, обладая уже сам по себе большей сопротивляемостью, чем гравий, менее подвергается влиянию сотрясенной пути и требует, по Шуберту, при подбивке только около третьей части той работы, которую требует гравий. Его устойчивость возрастает с величиной зерна, но соображения относительно прочной и равномерной подбивки ставят величине зерна некоторые границы, которые, по опытам германских дорог, колеблется между 25 и 60 мм., но другим предположениям, не должны превосходить 50 мм. Шуберт рекомендует

прибавление более мелкого зерна до 8 мм, Замет¹⁾ для подбивочного слоя—мелкий щебень размером от 15 до 35 мм., который облегчает подбивку, сохраняет шпалы и их равномерное подерживание, чем более грубое зерно. Чтобы использовать преимущественно более крупного зерна, часто, применительно к способу устройства улич, образуют нижнюю часть балластного слоя из грубого материала, верхнюю, подбивочную часть, по меньшей мере на 10 см, толщиной, из более мелкого щебня,



Черт. 98. Балластный слой с подстилкой из сухой каменной кладки.

или также из крупнозернистого гравия (черт. 98). Нижний слой, образованный в виде плотноуложенной и расщепленной сухой каменной кладки, особенно пригоден для восприимчивости, кроме вертикального давления, также и горизонтального сдвигающего усилия, которое, при сильной нагрузке, развивается особенно в нижних слоях балласта. Трудность, с кою сопряжено устройство в существующих эксплуатируемых жел.-дорожных каменной кладки, не должна быть упущена из виду, однако, преимущества ее оправдывают широко распространенное ее применение в новых постройках, а также, по возможности, и при возобновлении старого балластного слоя на тяжело загруженных эксплуатируемых линиях. В качестве основания под щебеночным балластным слоем или под каменной кладкой должен-бы иметься водонепроницаемый и не поддающийся действию мороза слой песка или гравия не менее 12 см. толщиной, чтобы выравнивать дальше кювету давлении балластного слоя и не допускать кустых образований внутри пути и кучен, исходящих из земляного полотна. Если можно опасаться сильных вспучиваний или вдавливания в очень податливом земляном полотне, то от каменной кладки приходится совершенно отказаться.

Большие преимущества щебеночного балластного слоя с каменной кладкой, или без нее, по сравнению с гравелистым балластным слоем, открыли дорогу для применения щебня в качестве материала для балласта почти повсеместно на главных германских железнодорожных участках также и при деревянных шпалах, даже в бедных камнем частях страны, в которых цена щебня получается раза в два—три больше цены гравия. В верхнем строении на железных шпалах гравий, как мало устойчивый и слишком подверженный влиянию сырости, принципиально не применяется.

¹⁾ Organ, 1915, стр. 191.

Форма балластного слоя.

Толщина балластного слоя существенно зависит от рода земляного полотна, вещества балласта и от расстояния между шпалами. На прочном, хорошо защищенном от воды, земляном полотне, обладающем не меньшей сопротивляемостью, чем сам балластный слой и ненужающемся поэтому в совершенном уравнивании давления, как например, скалистый грунт или каменная галька, совершенно достаточно, в качестве балластного, слоя насыпка из мелкого каменного щебня или крупного гравия, чтобы можно было хорошо подбить шпалы и сохранить балластному слою нужную упругость. Если земляное полотно обладает меньшей сопротивляемостью, чем балластный слой, то приходится передавать давление балластного слоя на большую поверхность земляного полотна и усиливать, следовательно, балластный слой, сообразуясь с сопротивлением земляного полотна. Очень податливый грунт, как мягкая глинистая масса, требует уравнивания давления на большей глубине и значительно увеличенной толщины балластного слоя, так как место уравнивания давления лежит тем глубже, чем податливее грунт. На грунте, неспособном сопротивляться морозу, балластный слой во всяком случае должен доводиться до глубины промерзания. Возникающие под шпалами круговые движения в лежащем на плотном основании балластном слое распространяются только на некоторую определенную глубину, которая возрастает с расстоянием между шпалами. Они не могут быть поэтому уничтожены увеличением толщины балластного слоя, только лишь более тесным расположением шпал, которое дает возможность преградить путь таким движениям.

Гравелистый балластный слой должен быть вообще, толще, чем щебеночный, так как он выравнивает давление шпал на большей глубине. Впрочем, употребляемые размеры высоты собственно балластного слоя чрезвычайно разнообразны. В то время как балластному слою под шпалами в Северной Америке дается толщина около 40 см, в Англии до 45 см, в Германии и Австрии удовлетворялись 20—25 см, в последнее же время перешли к 25—30 см. и более. Шуберт, на основании своих наблюдений, рекомендует толщины, которые убывают вместе с расстоянием между шпалами, а именно: для гравелистого балласта—толщину от 40 до 20 см, для щебеночного балласта—от 30 до 20 см при расстоянии между шпалами от 95 до 55 см.

На легко поддающемся грунте он требует толщины балластного слоя, которые на 20 см превышают расстояние между шпалами в свету. На прусских главных железнодорожных линиях толщина балластного слоя дается теперь размер, во меньшей мере, в 30 см,—величина, которая представляется

достаточной, если принять в соображение применяемое теперь такое расположение шпал от 75 до 80 см и повышенные требования к качеству вещества балласта, при земляном полотне из хорошо сопротивляющегося грунта. Если на очень податливом или плохо сопротивляющемся морозу земляном полотне необходимо глубже опустить балластный слой, то для этого доста-



Черт. 99. Балластный слой на мягком основании 1 : 100.

точек слой менее ценного водонепроницаемого и устойчивого материала, как песок, галька, шлак, использованные массы графия или щебня (сравни. черт. 99).

Верхняя поверхность балластного слоя делается ровней с верхней поверхностью шпалы, или поднимается выше—до низа головки рельса. В какой высокой мере может быть усилена устойчивость, особенно подверженного сотрясениям, балластного слоя, против боковых выпучиваний путем дополнительной нагрузки балласта между шпалами, было уже более подробно разъяснено (сравни. черт. 42_а). Поэтому нужно придавать значение возможности использовать также имеющуюся в нашем распоряжении высоту для засыпки шпал выше их подошвы, особенно, при легкоподвижном гравелистом балласте. К тому же высокая засыпка шпал придает балластному слою большую сопротивляемость боковому движению рельсовой колеи, предохраняет, далее, верхнюю поверхность деревянных шпал от вредного действия солнечных лучей, чрезмерного высыхания и образования трещин. Хотя при этом прикрепление шпал и ускользает от непосредственного постоянного надзора, однако, при предъявляемых теперь требованиях к надежности путевых креплений можно было бы отказаться от обычного прежде непрерывного опробования креплений.

Ширина балластного слоя складается из длин шпалы и ширины присыпки перед торцом шпалы. Присыпка имеет назначение не только придать необходимую боковую опору рельсовой колеи, но и усилить устойчивость балластного слоя под концами шпал против выдавливания перед торцами поэтому ширина и должна образовываться с устойчивостью вещества балласта. Гравелистый балласт требует более широкой присыпки, чем щебенистый балласт. Длинные шпалы нуждаются в меньшей присылке, чем короткие. В качестве средней ширины присыпки перед шпалами длиной в 2,70 мт получила права гражданства величина около 30 см, и, на основании опыта, она оказалась совершенно достаточной.

Черт. 100 показывает новейшую форму балластного слоя на прусских главных линиях для деревянных и железных шпал. Толщина балластного слоя под подошвой шпалы для обоих родов шпал принята одинаковой, верхняя поверхность балластного слоя лежит в уровне верхней поверхности шпалы. При этом железная шпала, повидимому, находится в невыгодных условиях, т. к. более узкая железная шпала при одинаковом расстоянии между шпалами, требует для



Черт. 100. Балластный слой Прусских глав. жел. дорог 1:100.

выравнивания давления более толстого балластного слоя чем деревянная шпала, т. к. высота засыпки над уровнем нижней постели при железной шпале значительно меньше, чем при деревянной¹⁾

Очень податливый грунт земляного полотна, если выпучиванию его между шпалами и поставлено препятствие, находит еще выход в сторону от пути (сравни черт. 46). Поэтому здесь необходимо особенно глубоко опустить устойчивый промежуточный слой между балластным слоем и земляным полотном, чтобы оказать противодействие боковым выпучиваниям или раздавливаниям всего земляного полотна (черт. 99).

Закругления колеи, ширина, повышения.

Ширина колеи.

Нормальная ширина колеи, т. е. расстояние в свету между головками рельсов, составляет на большей части европейских и американских жел. дорог—на прямой—1,435 м, размер, который был перенят из Англии при первом возникновении жел. дорог. Ширина новых колесных скатов на германских дорогах—на 10 мм меньше ширины колеи, и таким образом подвижному составу дана возможность свободно проходить по небольшим неровностям в направлении и ширине колеи. Еще большая свобода движения подвижного состава имеется на французских ж. д., ширина колеи коих на 20 мм, больше, чем ширина колесного ската—к выгоде ли для езды, до сих пор не могло быть установлено сравнительными опытами. В

¹⁾ Ср. Е. Бидерман. Верхнее строение на деревянных и железных поперечниках. Стр. 13.

закругленных ширина колес должна быть, по меньшей мере настолько увеличена, чтобы реборды колес наиболее широких неподвижных скатов имели полный зазор между собой и рельсами. Ширина колес соответствует конструкции подвижного состава и радиуса закругления, и устанавливается для каждого отдельного случая на основании опыта. На прусских дорогах уширение колес начинается на кривых радиуса 800 м. и доходит до 18 мм при радиусе в 300 м.—кривизна, которая на главном пути магистральных линий преодолевается не без сопротивления. Применение больших уширений, хотя бы для облегчения катания конических колес в крупных закругленных, вообще целесообразным не считается, так как, в сущности при движении только передний скат прижимается к наружному рельсу, между тем как задний скат отнесается к внутреннему рельсу, располагаясь таким образом тем неудобнее, чем больше уширение колес. Французские дороги с их большим зазором между шириной колес и скатов отличаются от всякого уширения; английские дороги прибегают к нему обыкновенно только в очень крутых закруглениях— радиуса около 300 мет.

Боковое давление в кривых.

При изменении направления движения подвижного состава в кривых возникают боковые силы, как следствия либо сопротивлений трения, либо центробежных сил. Вследствие сопротивления трения между колесом и рельсом, особенно наружная рельсовая нитка испытывает значительное воздействие и износ. Этому пытались противодействовать преувеличенным повышением наружной нитки и создать такое состояние, при котором износ наружной и внутренней нитки был бы почти одинаковым,—однако, без успеха, т. к. для этого необходимо было бы чрезвычайно большое, трудно осуществимое, и в других отношениях вредное, повышение. Поэтому ограничиваются, в сущности, такими размерами повышения, которые диктуются соображениями безопасности движения. Опасность для движения возникает при проходе крутых кривых и состоит в поднятии наружного колеса на рельс; она надежно может быть устранена при помощи контррельсов.

Эти боковые воздействия, основываясь на трении, имеют ту особенность, что они поглощаются в виде внутренних сил, не порождая в массе подвижного состава дальнейших боковых сил. Иначе обстоит дело со второй формой боковых воздействий—с центробежной силой, которая охватывает равномерно всю массу подвижного состава, линия давления которого отнесается наружу и действует в направлении откидывания через наружный рельс. Хотя центробежная сила, даже в крутых закруглениях, далеко недостаточна для того,

чтобы действительно подвергать подвижной состав опасности, однако, она ведет к вредной неравномерной нагрузке обеих рельсовых вилок и рессор, беспокоит также пассажиров в недопустимых размерах.

Возвышение наружного рельса.

Итак, действие центробежной силы может быть уничтожено в полном объеме простым повышением наружного рельса, что и применяется повсюду, но крайней мере, в крутых закруглениях главного пути на перегонах. Размер повышения наружного рельса h определяется по черт. 101 из требования, чтобы линия давления S экипажа, которая складается из линии собственного веса G и центробежной силы F была перпендикулярна к плоскости пути, чтобы, следовательно, $h:1,50 = F:G$. После подстановки значения F из известной формулы центробежной силы $F = \frac{mv^2}{r}$, получаем

$$h \text{ (м)} = \frac{0,153 v^2}{r} \text{ или } h \text{ (мм)} = \frac{11,8 v^2}{r},$$

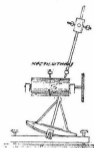
если v скорость езды в километрах в час, r —радиус закругления в метрах. При чрезвычайно разнообразных скоростях езды, которые на одном и том же участке могут изменяться от 120 километров для скорых поездов и до 30 километров для товарных поездов, не имеется возможности найти повышение, которое удовлетворяло бы всем требованиям. Тяжелые медленные товарные поезда требуют только незначительного повышения, или совсем его не требуют, между тем как быстро движущиеся



Черт. 101. Центробежная сила.

пассажиры поезда требуют обращать особенное внимание на спокойную, ненарушаемую чрезмерными боковыми силами, езду, и делать повышения, которые, некоторым образом, соответствовали бы центробежной силе этих поездов. Если бы, однако, повышение определялось исключительно по наибольшей скорости движения, то в крутых закруглениях при медленной езде внутренний рельс был бы вдвое сильнее нагружен, чем наружный. К этому прибавляется еще направленная внутрь поперечная сила от натяжения тяговых приборов. Что уже и при обычных умеренных повышениях внутренние рельсы в среднем сильнее нагружаются, показывает их заметно больший износ у стыков, по сравнению с наружными рельсами. Поэтому дело идет о взаимном согласовании, которое наилучшим образом удовлетворяло бы обоим требованиям, вытекающим из быстрой и медленной езды. В отношении скорых поездов возникает теперь вопрос, в какой мере может быть уменьшено

повышение без причинения беспокойства пассажирам,—одним словом, как велика та часть центробежной силы, которая может оставаться неуравновешенной. Чтобы получить в данном случае некоторое более определенное мерило, в целом ряде опытных поездов отмечались с помощью катающегося маятника (ч. р. т. 102) на смазывающейся полоске избыточные боковые силы, в виде отклонений маятника, и определялись границы, до которых отклонения эти могли возрастать без недопустимых нарушений покоянности хода поезда ¹⁾. Служащие мерилом линии отклонения выявлялись не непосредственно, но только после извода средних величин из отдельных колебаний маятника, продолжительность которых составляет около одной секунды для двойного колебания. Само собой разумеется, этот прием не может претендовать на точные числовые выводы, но может дать лишь приблизительное основание для выбора повышения.



Черт. 102. Маятник.

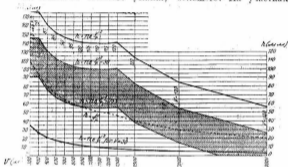
Таким образом обнаружилось, что угол отклонения, меньший 0,02, которому соответствует ошибка в повышении на 30 мм, оставался без всякого заметного влияния на ход вагона, что только при угле отклонения более 0,05, соответствующем ошибке в повышении на 75 мм, наступало отжатие в бок, доставшее предела, могущего еще считаться допустимым. Применение превышения приблизительно на 30 мм меньше, чем определяется по формуле центробежной силы, поэтому допустимо, а может быть и полезно, чтобы гарантировать подвижному составу возможность всегда быть спокойно направляемым наружным рельсом. Однако, на участках с оживленным пассажирским движением указанное превышение не должно быть без всяких оснований уменьшаться больше, чем на 75 мм, следовательно, на участках со смешанным движением оно должно быть бы колебаться между пределами от h (мм) = $\frac{11,8 \cdot V^2}{r} - 30$ до $\frac{11,8 \cdot V^2}{r} - 75$, если V обозначает наибольшую скорость движения.

На ч. р. т. 103 показаны повышения колеи для наибольших допускаемых в Германии, в зависимости от радиуса скоростей движения и для скоростей движения товарных поездов в 30 килом., затем, для скорых поездов, уменьшенные на 30—75 мм, принимаемые за предельные. В более крутых закруглениях, до 1300 метров, действительное повышение нуж-

¹⁾ Подробности: Zentralblatt d. Bauverwaltungen 1907 стр. 83.

но держать, имея ввиду товарные поезда, ближе к нижнему пределу, в пологих закруглениях приближать к верхнему пределу. Этому требованию вообще соответствует пунктирная линия по формуле $h = \frac{V}{2r}$, которая лежит в основечисления повышения для прусских жел. дорог.

Однако, тут необходимо принимать в расчет также и другие соображения. На подъемных участках двухколейных дорог, на которых поезда находятся под действием значительного тягового усилия, оправдывается допущение и меньшего повышения, а на участках на спусках, на которых не проявляется почти никакого тягового усилия,—большого. На участках с



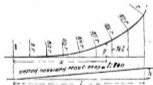
Черт. 103. Возвышения нагруженного рельса.

преобладающим товарным движением и сильно отступающим на задний план пассажирским движением требования в отношении товарных поездов заслуживают преимущественного внимания. Величина повышения не должна поэтому втискиваться в жесткие формулы, но должна применяться к характеру местного движения и профилю пути в каждом частном случае. В немецких странах повышению придается различное значение. В то время как во Франции и Америке применяется повышение до 200 мм, некоторые английские дороги удовлетворяются 88 мм, даже в наиболее крутых кривых.

Переходные кривые.

Для перехода из горизонтального прямого участка в кривой участок с повышением требуются переходы с подъемом, которые, в видах целесообразности, образуются обычно путем постепенного повышения наружной шпалки, в то время как

внутренняя литка сохраняет без изменения ту высоту, как если бы участок был прямой. Этому переходному участку предъявляются разнообразные требования, значение коих растет с увеличением скорости движения. Путь в области под'ема представляет косую поверхность, по которой подвижной состав может следовать только с изменяющимися прогибами отдельных рессор; следовательно, с неодинаковым давлением колес. Следствием этого являются косые изгибы рам и неблагоприятные воздействия на все другие части подвижного состава, которые тем вреднее, чем круче под'ем. Затем, быстрое вертикальное изменение направления у подошвы и вершины крутых под'емов причиняет толчки и вертикальные колебания. Уклоны переходной кривой должны поэтому ставиться определенными границами, которые в последнее время, в связи с нарастающими скоростями, обычно не должны превосходить отношения 1:500. Но и в горизонтальном направлении прямой участок должен постепенно переходить в кривую. Ибо, хотя ходовые части должны принудительно вынуждаться в кривую, тем не менее, покоящийся на рессорах кузов будет подаваться стремительно инерция своей массы сохранить прямое направление, сначала отжиматься наружу, а потом переходит в боковое колебательное движение. Эти вредные движения могут быть, если не совершенно устранены, то все-таки ограничены до незначительности, если круговая кривая будет выходить из прямой не сразу, а постепенно. К подобной форме перехода приводит дальней-



Черт. 104. Переходная кривая.

нее требование, чтобы повышение колес находилось в определенном отношении к радиусу кривизны. У подошвы под'ема радиус кривизны должен поэтому начинаться с бесконечной величины, затем убывать в обратном отношении к повышению переходной кривой, пока у вершины он не достигнет величины радиуса круговой кривой. Это требование при приближенной форме переходной кривой выполняется, если основная ее форма образует кубическую параболу ¹⁾, согласно уравнению:

$$y = \frac{x^3}{6r.l} \text{ (ср. ч е р т. 104).}$$

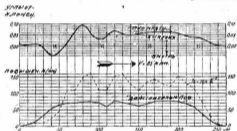
В этом уравнении больше не появляется скорость движения, а только лишь радиус r — круговой кривой и длина l — переходной кривой. Эта длина должна назначаться для главных

¹⁾ О. Сарацини и Обербек. Карманная книжка для расчета круговых кривых.

ливный настолько большой, чтобы уклон переходной кривой оказывался не круче 1:500, и чтобы, кроме того, масса подвижного состава была в состоянии следовать по кривой без заметных колебаний. На прусских дорогах, на основании новейших опытов, она определялась для крутых кривых при радиусе до 500 мет. в 80 мт, при радиусе от 500 до 1500 мт—и 60 мт, и при радиусе свыше 1500 мт—в 40 мт, откуда уклон переходной кривой получается не больше чем 1:750, в предположении, что переходные кривые и уклоны по длине совпадают.

Опытные поездки.

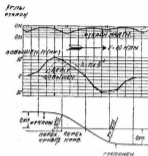
Наконец, как в сущности проявляются центробежные силы при езде по кривым, показано на черт. 105, для одной из опытных поездок по кривой радиуса 600 мт, при скорости движения 85 килом. В верхней части показано фактическое повышение колес; далее показано то повышение, которое соответство-



Черт. 105. Боковое колебание в кривой 600 метр.

вало бы формуле центробежной силы для действительного радиуса кривизны в отдельных местах кривой при скорости 85 килом. Радиусы закруглений измерялись путем точных измерений стрел. При входе в кривую, (черт. 105) где, по прежнему обыкновенно, действительное повышение предшествует форме кривой, кузов наклоняется внутрь, затем быстро отбрасывается наружу, после нескольких колебаний приходит в состояние покоя, переходя к плавному движению к концу кривой, с еще более соответственным повышением. Черт. 106 наглядно показывает подобным образом ездю по короткой обратной кривой, где вся длина кривой занята одними переходными кривыми. Действительное повышение соответствует формуле центробежной силы, но в первой части кривой забегает несколько вперед. Отклонение маятника было чрезвычайно незначительно

особенно во второй части кривой, езда совершенно спокойна и без толчков, хотя прямой вставки между кривыми не было. Хотя в правилах эксплуатации железных дорог для Германии требуется промежуточная прямая, но крайней



Черт. 106. Боковое колебание в обратной кривой.

мере, в 30 мт, но она представляется излишней, если переходные кривые достаточной длины, и потому в месте их взаимного примыкания вытянуты очень полого. Непосредственный переход обратных кривых одна в другую имеет к тому же то преимущество, что вращение подвижного состава вокруг его продольной оси, которое вызывается движением по поперечному уклону, не прерывается в точке поворота и продолжается в том же направлении, между тем как на промежуточной прямой оно претерпевает внезапный перерыв, нарушающий устойчи-

вость движения. При этом предполагается, во всяком случае, хорошо выправленное положение колес. Вообще для спокойной езды по закруглениям, на основании опыта, менее важны незначительные размеры повышения, чем равномерность и постоянство положения колес по направлению и высоте. Ибо боковые отклонения тем чувствительнее, не только чем они сильнее, но еще более, чем они неправильнее и внезапнее происходят.

Содержание пути.

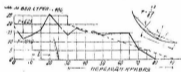
Всякий железнодорожный путь, даже если он по роду своего устройства и вполне приспособлен к воздействиюм на него силам, подвергается некоторым остающимся явлениям, имеющим своей причиной подавляющее влияние динамических воздействий, или разлагающее действие естественных сил, которые сказываются в изменении положения колес, в ослаблении и в износе отдельных составных частей пути.— всего состава пути и подвижного состава, и, наконец, в насильственной и естественной порче вещества материала. Все эти изменения ведут к менее вредным последствиям, если они заблаговременно обнаруживаются и, по возможности, устраняются. Но всякое местное воздействие на путь при его исправлении приносит с собой новые нарушения и новые неравномер-

ности, не только в самом месте воздействия, но также и по соседству с ним и требует поэтому много умения и времени. Содержание пути должно иметь в виду двойную цель—привести путь в такое состояние, которое обеспечивало бы долговременный покой, но и заблаговременно воздействовать, где все-таки появляются изменения.

Исправление направления колеи.

Коренное значение для всего состава пути имеет уход за положением колеи по направлению и по высоте, т. е. всякая неправильность вызывает новые динамические воздействия как на путь, так и на подвижной состав. Рихтовка пути на прямых участках легка и надежно может быть производима на глаз; иначе обстоит дело на кривых участках, на которых отсутствуют определенные направляющие точки, которые могли бы дать глазу надежную опору для проведения главной кривой. Поэтому здесь должны применяться другие средства: либо точное закрепление раз навсегда оси пути посредством реперов, либо повторная проверка и исправление положения колеи при помощи

снятия с натуры ее действительного положения, — проще всего путем измерения стрел от одинаковой длины хорд при помощи туго натянутого шнура. Если измерения стрел начертить по порядку

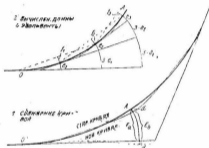


Черт. 107. Измерения стрел.

в виде ординат (черт 107), то легко найти среднюю величину стрел, которую нужно взять за основу при исправлении кривой, которая дает также радиус исправленной кривой по формуле: $r = \frac{l^2}{8f}$. Полученный с натуры график дает возможность узнать, как сильно изменяется радиус кривизны и тщательно, но на глаз вырихованной кривой, и как недостаточен поэтому такой способ рихтовки.

Простой способ измерения стрел является удовлетворительным, если вопрос касается местных искажений формы кривой, в целом же кривая правильна, однако, он становится утомительным и мешкотным, если кривая занушена так, что ее нужно сильно привести к новой форме и при этом сильно передвинуть в сторону, — состояние, которое очень часто должно иметь место, вследствие последующих изменений положения пути, укладки стрелок и вставки переходных кривых. Тогда

возникает задача—Между двумя данными прямыми уложить новую кривую, которая должна получиться из старой кривой с наименьшими боковыми передвижениями. В новейшее время опубликован ¹⁾ и с успехом применяется способ, придуманный Каленцом, разработанный далее Гёфером и приспособленный для практического применения, который задается целью в произвольном количестве точек на кривой наперед определить величину предстоящего передвижения. Эта величина d (черт. 108₁) определяется непосредственно путем изображения существующей в натуре кривой и нанесения правильной кривой. На кривой в натуре измеряются стрелы от хорд одинаковой длины и для исправляемой кривой берется в основание равномерная стрела, определенная, как среднее арифметическое



Черт. 108. Исправление кривой по Каленцу.

всех измеренных в натуре стрел. Величину сдвига d нужно представлять себе как разницу двух эвольвент Ea и $Eб$, которые получаются, если разворачивать обе кривые от точки A до точки O . Но эвольвенты можно определить при помощи известных величин стрел f , если высоты e (черт. 108₂) приравнять этой стреле f , что при коротких хордах допустимо. Напр., для точки A длина эвольвенты составляет:

$$E = 5 e_1 + 3 e_2 + e_3 = 5 f_1 + 3 f_2 + f_3.$$

Этот способ, который, главным образом, осуществляется графически, дает возможность вписать в старую кривую вместе с переходными кривыми новую кривую, которая заключает в самых незначительных пределах необходимые боковые сдвигания, видимые по величине непосредственно на чертеже и при

¹⁾ М. Гёфер. Исправление кривизны в кривых, 1914 г.

этом обходит неустранимые препятствия и сохраняет определенными неподвижные точки в пути. Он представляет еще то большое преимущество, что главная работа, которая во всяком случае требует навыка и соображения, должна быть исполняема вне пути, между тем как незначительные работы на самом пути требуют незначительного времени и труда. Когда таким образом кривая выровнена, переходят к тому, чтобы закрепить надежными реперами полученную однажды кривую для позднейших исправлений.

Положение пути по высоте.

Изменения в положении пути по высоте действуют, большей частью, менее вредно своими размерами, чем своей неравномерностью. Поэтому балласт должен каждой шпале оказывать одинаковое сопротивление против осадки. Для этого требуется совершенно однообразное строение балластного слоя, равномерная сопротивляемость полотна, распределение более значительных давлений от нагрузок, появляющихся обыкновенно у стыков на большие поверхности балластного слоя. Поэтому необходимо избегать всякого местного ослабления сопротивляемости, как, например, гнездообразной присыпки худшего качества балласта, уменьшения толщины балластного слоя, препятствий стоку воды, а переменную сопротивляемость полотна под балластным слоем, в случае надобности, выравнивать путем утолщения балластного слоя, или путем устройства хорошо сопротивляющихся нижних слоев; расстояниям же между шпалами вблизи стыка давать размеры, соответствующие действительной потребности.

Путь сохраняет свое прочно укрепленное и выравненное положение только при помощи подбивки шпал, т. е. при помощи сильного уплотнения балластного слоя. На дальнейшее положение колеи имеет существенное влияние качество подбивки; она требует навыка и умения при совместной работе значительного числа рабочих, если должна быть достигнута главная цель, — придать балласту под каждой шпалой одинаковую плотность, и вследствие этого одинаковую сопротивляемость. Поэтому нужно придавать особенное значение хорошо освоившимся с работой артелям подбойщиков.

Но с подбивочной работой связано большое, хотя и неизбежное зло, а именно — разрушение вещества балласта в широких размерах. Правда, это разрушение можно ограничить умением хорошо владеть инструментами и применением более тяжелых подбоек с менее твердыми ударными частями, чему, однако, при обыкновенной ручной работе поставлены узкие пределы. Лучший успех также и в отношении качества и быстроты подбивки обещают машинные приспособления, которые при-

няты в употребление в виде подбивочных машин различной формы ¹⁾, особенно для сплошной подбивки пути при его переустройстве и при обновлении балластного слоя. Они делают возможной совершенно равномерную подбивку шпал с обеих сторон посредством давления и удара, могут также работать, при соответственном устройстве, между тесно расположенными шпалами, и не представляют, следовательно, никакого препятствия для тесного расположения шпал. Однако, затруднительна была зачастую их громоздкость, которая обуславливалась необходимостью прочного устройства и приспособления особых, отдельных от машины, источников силы и передач ее. Хотя еще нельзя указать на совершенное, отвечающее всем требованиям решение, но, принимая во внимание большие преимущества машинной подбивки, дальнейшие усилия к его достижению очень заслуживают поощрения, и, например, новейшие дожки машин внутреннего стирания могли бы представлять для этого подходящее основание. Шпалы длиной около 2,7 м, если они по всей своей длине одинаково сильно подбиты, дольше всего сохраняют свое прочное положение в балласте: между тем как короткие шпалы должны сильнее подбиваться под рельсами и под концами, чем посредине. Полезное действие подбивки различно в зависимости от формы шпал, и может быть оценено на основании вызываемой первой нагрузкой просадки шпал, которую Шуберт обозначает как потерянную высоту подбивки. Из этого первого проседания свежесподбитых шпал становится понятным, что отдельные просевшие шпалы, особенно железные корытообразные, очень трудно вновь вынуть по высоте в положение, одинаковое с прочно лежащими соседними шпалами. Тем большее поэтому значение нужно придавать тому, чтобы путь сразу подбивать настолько равномерно, чтобы единичные последующие подбивки требовались лишь в исключительных случаях, пока весь путь в целом не потребует новой подбивки. Вместо того, чтобы подбивать отдельные шпалы, вставляют также между рельсом и шпалой для выравнивания высоты прокладки из войлока, ткани, кровельного толи или деревянных дощечек подходящей длины, загоняют также двойные деревянные клинья, но эта мера имеет цену только крайнего средства, и ни в коем случае не может заменить повторной подбивки всего пути.

Путевые скрепления.

Тщательного попечения требуют путевые скрепления, от состояния которых в первую очередь зависит долговечность всего пути в целом. Также и из этих соображений необходимо

¹⁾ Фран, *Zeitschr. d. Ver. Deutscher Eisenb. — Verwaltungen*, 1903, № 9/10. Ручная подбивочная машина фон Гаммеке, *Organ* 1915 стр. 329; *Glasers Annalen* 1917 стр. 147.

было бы время от времени производить выверку пути во всем его составе и прилагать заботы к тому, чтобы в промежуточное время в отдельных местах требовалось по возможности меньше подиравок, так как они не остаются без влияния на положение и состояние соседних частей пути, и если они исполняются путевой стражей, то часто не так, как это требовалось бы. Для этой цели рекомендуется поручать спетелатическую сплошную выправку небольшим артелям, знающим дело путевых рабочих, и иметь в виду, что полумеры, которые дают только кратковременный успех, должны быть избегаемы. Все эти работы должны идти рука об руку с подбивкой и рихтовкой пути, т. е. ненадлежащее положение пути всегда имеет своим последствием новые сильные воздействия на путевые скрепления.

При подиравке путевых скреплений пути дело касается, главным образом, подтягивания ослабевших болтов, костылей и клиньев, замены изношенных частей, исправления постелей, проверки примыкания накладок, исправления ширины колеи и стыковых зазоров. Повторное аббипание рельсовых костылей, закрепление которых вполне заметно ослабело, — бесполезно. Тотчас же явится необходимость прибегнуть, — правда, к несовременному вспомогательному средству — к забивке деревянных пробок в отверстия для костылей. Но такие средства совершенно неспригодны при шпальных шурупах. Последние требуют особого обработки, которая заранее предохраняла бы винтовую нарезку в шпале надлежащим образом против наследственных разрушений. Применяемые гаечные ключи должны представлять собой рычаг с таким небольшим плечом, чтобы шурупы не могли быть перекручены, предварительно просверленные дыры должны быть настолько узкими, чтобы шурупы везде плотно прижимались к дереву, — в мягком дереве приблизительно на три, в твердом на один мм уже, чем стержень шурупа. Перед завинчиванием шурупа целесообразно погружать в теплую смолу для защиты от мокроты. При повторном ввинчивании вынутых шурупов безусловно необходимо следовать старой винтовой нарезке в дереве. Хорошую услугу оказывают пружинные подкладки под головками шурупов, натяжение коих равно желаемому натяжению шурупа, и смакание коих указывает востому тот предел, до которого можно ввинчивать шуруп. В новых шпалах из мягкого дерева шурупы приходится вначале чаще подтягивать, пока не образуется полная, равномерно сжатая постель. Вообще же как шпальные шурупы, так и подкладки, насколько это возможно, не нужно тревожить и тем нарушать раз достигнутое плотное соприкосновение с деревом. Если же необходимо исправлять постели шпал, то это нужно делать не по одиночке, а шпала за шпалой по шаблонам, чтобы рельсы покоились полностью на всех постелях и чтобы все скрепления были одинаково напряжены. Нельзя рекомендовать раздвижку шпал в пути для того, чтобы по-

лучить новые здоровые востелы или новые отверстия для шурупов, т. е. это ведет к несимметричной нагрузке балластного слоя.

В железных болтах имеется стремление к саморазвинчиванию гаяк под влиянием сотрясающей колеи, и тем легче, чем чаще их подтягивают. Надежное всего можно предотвратить это также при помощи пружин и пружинных колец, сила натяжения коих, по возможности, соответствует предполагаемому натяжению болта. Наиболее сильные натяжения нужно давать тем болтам, которые должны осуществлять особенно прочное неподвижное примыкание, как в соединении рельсов с железными подушками и с железными шпалами. Если же, напротив, соединяемые части должны сохранять некоторую подвижность, как в соединении рельсов накладками, то тогда требуется меньше натяжения и более слабые пружины с большей игрой.

Рельсовые стыки.

Исправления, в которых нуждаются рельсы, ограничиваются почти исключительно местами стыков. Прежде всего нужно обращать внимание на равномерную соответствующую потребности величину стыковых зазоров, а именно, своевременно приступать в грузовом порядке к сужению или расширению зазоров. Поскольку рельсы не защищены от угона посредством прочного соединения со шпалами, или посредством боковых опорных зажимов, они, по освобождении накладок, передвигаются назад с помощью разгонных приборов, двойных винтов с противоположными нарезками. Накладки очищаются и смазываются маслом, чтобы облегчить движение рельсов при изменении температуры. Уступы у рельсовых стыков часто устраняются с помощью рельсовых рубанков. Этот способ требует при тех незначительных размерах, с которыми приходится иметь дело, большой точности, и не может быть осуществлен при помощи простого ручного рубанка, но лишь посредством точно устанавливающегося, надежно направляемого, машинного рубанка. Особенно нужно уделить выравнивания, чтобы избежать коротких перепадов. Преходящие, образованные лишь вследствие плохого примыкания накладок уступы, нельзя устранять стругом. Недостатком стругования нужно признать и то, что оно разрушает верхний, хорошо уплотненный ударам и более способный к сопротивлению слой головки рельса. Другие, часто применявшиеся вспомогательные средства для устранения стыковых уступов и для улучшения примыкания накладок, состоят из жестких прокладок, которые вводятся между изношенными опорными плоскостями накладок или же на двупутных участках из сены накладок таким образом, что более изношенная часть накладки,

находившаяся под встречным рельсом, помещается под попутным рельсом. Самое действительное, чаще всего применявшееся средство заключается в своевременной замене износившихся накладок новыми, или выгнутыми вверх старыми. Но чтобы заранее ограничить износ в стыке, нужно уделять особенное внимание также и подширанию стыка, а именно—распределению шпал.

Замена изношенных частей.

Определение наличия полного износа и необходимости замены какой-нибудь части вообще должно оставаться делом практического опыта. Здесь также следовало бы исходить из той точки зрения, чтобы при производстве общего ремонта пути сразу достигалось такое его состояние, которое исключало бы необходимость последующих обновлений и исправлений в течение более продолжительного времени покоя. Особенно на главных линиях следовало бы избегать применения ложной бережливости и устранять всякую часть, которая, будучи хотя и не совсем еще изношенной, могла бы нарушать прочность пути. Линии второстепенного значения и второстепенные пути дают возможность использовать далее также, наполовину использованные, части. В отношении рельсов часто устанавливается особое требование, по которому они должны смениться, как только поверхность катания головки изнашивается до некоторой определенной глубины. Однако, имеют значение не только износ головки рельса, но также и другие явления, как изгиб и раздавливание рельсов, и в первую очередь—стыковые прогибы, которые вынуждают к преждевременной замене. Но всякий вновь укладываемый при замене рельс влетит за собой новые нарушения, ибо если он и берется из пути одинакового возраста, то редко все-таки удастся сохранить у стыков желаемое постоянство поверхности катания. Поэтому, когда скоро вопрос касается уже не замены отдельных преждевременно износившихся рельсов, но усиленной замены вследствие прогрессирующего общего износа рельсовой пятки, не следовало бы в главных путях медлить с совершенным обновлением. Это относится и к шпалам и еще более—к накладкам, от плотного примыкания коих так существенно зависит долговечность всего стыкового устройства. Со всякой сплошной сменой рельсов следовало бы всегда соединять полное переустройство пути. Полученные от смены рельсы могут быть существенно исправлены путем удаления находившихся в области накладок наиболее изношенных концевых частей. Однако, и укороченные рельсы обнаруживают такую большую разницу по высоте, что укладка их вновь на главных линиях не рекомендуется.

Износ вещества балласта выражается в измельчении или совершенном истирании зерна и округлении его острых углов. То и другое обуславливает для балласта потерю в устойчивости, которая, особенно под железными шпалами, проявляется в высшей степени вредным образом. Поэтому время от времени необходимо или совершенно обновлять балласт, или очищать его от накопления мелких составных частей и замещать их добавкой свежего материала. Эту последнюю, как более устойчивую часть, следовало бы располагать в более глубоких, работающих слоях; старый же менее надежный остаток, применять для засыпки. Одновременно с обновлением собственно балластного слоя нужно выравнивать полотно и, в случае необходимости, перекрыть его промежуточным слоем, для которого часто с выгодой может быть использован старый снятый балласт. Так как при устройстве нового балластного слоя трудно избежать того, чтобы рельсовая колея местами не оказалась неодинаково подпертой и не подвергалась усиленным напряжениям, то рекомендуется, чтобы обновление балластного слоя не следовало за переустройством колеи, но ему предшествовало, чтобы таким образом дать новой колее уже плотно слежавшееся устойчивое основание. Как цель, заслуживающую достижения, всегда нужно иметь в виду такое состояние пути, которое не только удовлетворяет наиболее насущной потребности, но, кроме того, обеспечивает более продолжительное хорошее состояние пути и его достаточную сопротивляемость также в отношении увеличенной подвижной нагрузки. Ибо не только в военное время, но также и во время мира, другие неотложные работы часто требуют для своего исполнения такую большую часть могущих быть использованными рабочих сил, что содержание пути должно отступать на задний план на более продолжительный срок. Требования, предъявляемые к работе пути, изменяются часто в кратчайший срок и неподдающейся учету степени. Поэтому доброкачественность состояния пути должна скрывать в себе богатый запас, который был бы в состоянии помогать переживать неблагоприятные времена. Осуществление этого является задачей не только устройства пути, но в равной мере и содержания пути.

З а к л ю ч е н и е.

Поразительным представляется прежде всего то явление, что долгий опыт, который сопутствует делу устройства пути не был достаточным для того, чтобы выработать формы, которые могли бы рассматриваться повсеместно, как образцовые. Что, напротив, самые противоречивые взгляды на преимущества и недостатки известных способов устройства продолжают и ныне еще существовать непосредственно рядом друг с другом. На этой неопределенности нужно заключить, что основания, на которые опирается суждение, еще недостаточно укреплены, чтобы можно было строить на них надежные выводы. Как на самые надежные основания для устройства пути, указывалось на расчет и на наблюдение. Хотя на основании некоторых добытых наблюдениям положений относительно рода действующих сил, прочности и упругости материалов, расчет и в состоянии развить математически обоснованные, и потому неопровержимые, результаты, которые имеют непосредственную ценность для устройства пути, но во многих отношениях наблюдение, из коего он должен черпать основные численные величины, оставляет его на мели; с другой же стороны, он не может всегда следовать за чрезвычайным разнообразием явлений, которые доставляются ему наблюдениями. Но наблюдение, с своей стороны, должно не только доставлять нужные основания для расчета, но и само создавать непосредственные основные данные для устройства пути. Его род и объем имеют величайшее значение для прогресса в деле устройства железнодорожного пути, хотя до настоящего времени оно не развивалось в такой мере, которая соответствовала бы этому значению. Это объясняется трудностями и длительностью, которые нужно преодолеть, чтобы мало-по-малу выискивать в многосторонние и перемещающиеся явления.

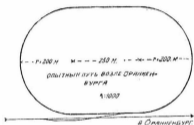
Простейшая форма наблюдений ограничивается беспрерывным исследованием состояний пути, его изменений и причин последних, исключительно на глаз. Такое наблюдение должно производиться каждым, кому непосредственно доверено содержание пути, кои не должны пренебрегать к тем, на чьей обязанности лежит высший надзор и руководство путевыми работами и выработка проектов форм пути. Ибо оно (наблюдение) является незаменимым вспомогательным средством для изощрения взглядов на те практические требования, которые должны пред'являться к форме отдельных составных частей пути и их соединений. Но чтобы можно было оценить достоинства и недостатки различного рода устройств, необходимо их взаимно сравнивать по их службе. Для этого больше недостаточно одной лишь видимости, напротив, необходимо

добыть определенные числовые значения в качестве оснований для сравнения. Это ведет к расширенной форме наблюдений— к статистике. Она дает сводку числовых данных относительно долговечности службы целых путей или отдельных частей, относительно произведенных возобновлений, расхода рабочей силы при содержании и возобновлении пути; также—относительно службы пути в общем, всегда в зависимости от рода устройства и от способа эксплуатации. Достаточно расширенная и расчлененная, она дает солидные основания для оценки того и другого способа устройства, но не пригодна для более глубокого ознакомления с причинами явлений, для обоснования бесчисленных взаимодействий между внешними силами и противодействиями, знание коих так незаменимо для правильной оценки действительных потребностей.

Уж давно старались определить в мерах и членах эти взаимодействия с помощью соответственно организованных наблюдений, частью путем измерения деформаций, которые появляются в колее под влиянием движения поездов или других воздействий, частью путем обособленных опытов вне колеи, при возможно точном воспроизведении явлений, происходящих в самой колее. Этот последний способ заключает в себе преимущество, что множество действующих на колею внешних сил могут быть изолированы и исследованы в своем действии каждая в отдельности, что можно, далее, по этому способу делать опыты на моделях малого масштаба со значительно меньшими, чем проявляющиеся в пути, внешними силами, с целью представить одинаковые действия. Он пользуется поэтому большой симпатией и находится в большом употреблении, также бесспорно представляет хорошее вспомогательное средство для выяснения особенностей внешних сил и их действий, однако, он не в состоянии дать руководящих числовых величин. Ибо результаты наблюдений в малом масштабе ни в коем случае не могут в мерах и числах без дальнейшего быть перенесенными на большие масштабы; такие никогда не могут произвольно приложенные силы вполне заменить действительные, отчасти неизвестные воздействия на путь—ни порознь, ни в их совместном действии. Поэтому такие опыты имеют обыкновенно значение и целью лишь выяснить обстоятельства и подготавливать для наблюдений в самом пути.

До настоящего времени опыты и наблюдения находились почти исключительно в руках отдельных лиц, взявших на себя труд из любви к делу. Они (опыты) обнаружали много заслуживающих внимания и полезных результатов, но были почти всегда направлены на отдельные явления, как напр., на службу балластного слоя, стыков, скреплений, на положение пути в целом и на его упругие свойства,, на сопротивляемость и

долговечность путевого материала, как иначе и нельзя ожидать от деятельности отдельных лиц рядом с их другими служебными обязанностями. Но отсюда выясняется и недостаточность таких наблюдений. Они недостаточны для того, чтобы охватить взаимную зависимость отдельных явлений и совокупности всех явлений, и дать полную картину истинного характера действия сил. Даже наблюдение отдельных явлений только в редких случаях могло получить такой объем, который нужен для их полного понимания. Но всякое несовершенство легко ведет к односторонностям, к ничем неоправдываемой переоценке отдельных полученных результатов и к пренебрежению другими, быть может, имеющими большее значение для общего состояния пути влияниями. Большой объем и необходимо боль-



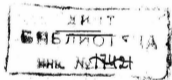
Черт. 109.

шая продолжительность таких наблюдений требуют поэтому устройства, существование которых более не связано с личностью одного единичного наблюдателя, но—устройств долговечного вида, водвинутых на самых широких основаниях, снабженных совершенными вспомогательными средствами, и не зависящих от перемен сотрудничающего персонала.

Первое устройство такого рода было призвано к жизни Прусской казенной жел. дорогой на опытном пути у Ораниенбурга. Оно состоит по черт. 107 из продолговатого кольцевого пути, короткие стороны которого ограничены круговыми кривыми радиуса 200 м и снабжены конгрельсами. Подвижная нагрузка состояла из электрического локомотива и прицепленных к нему товарных вагонов, которые были в состоянии передать пути годовую нагрузку до 40 миллионов тон, т.е. около четырехкратной нагрузки сильно нагруженного эксплуатированного пути. Целью этого предприятия было прежде всего—испробовать различные материалы для балласта, затем—испытать отдельные виды устройства, и, наконец, установить

У. 1-60

продолжительность службы электрических моторных вагонов и локомотивов. Хотя опытный путь, по его протяжению, по его форме и по роду его (черт. 109) эксплуатации не был приспособлен к тому, чтобы выявить все процессы, которые происходят в главных эксплуатируемых путях и линиях, и потребовал значительных расходов для продолжительной эксплуатации, — все-таки нужно считать это ценным достижением, дающим надежду, что оно представит исходный пункт для более обширных устройств, которые вполне осветят действительные явления, происходящие в эксплуатируемых путях. Наиболее подходящими участками для наблюдений остаются сами эксплуатируемые участки. Было бы нетрудно объединить, например, примыкающие к большим станциям пути в один расширенный район для опытов и наблюдений, который заключает в себе разнообразие способов эксплуатации, подвижной нагрузки и условий кривизны, как это должно предполагаться для исчерпывающих сравнительных наблюдений. Только такие постоянные устройства могли бы быть пригодны для того, чтобы создать твердые и имеющие повсеместное значение основания для устройства пути.



1929

