

лахъ обыкновеннаго типа, длиною 2,70 м., размѣщенныхъ слѣдующимъ образомъ:

$$0,25 + 0,50 + 0,75 \times 10 + 0,50 + 0,25 = 9 \text{ м.}$$

Первый изъ этихъ типовъ, отличающійся отъ типа IV лишь качествомъ балласта, обозначенъ ниже типомъ IVa, другой-же, отличающійся отъ типа I длиною рельсовъ (9 м., вм. 6 м), длиною шпаль (2,70 м. вм. 2,44 м.) и ихъ распредѣленіемъ, обозначенъ типомъ V.

Типъ V отличается отъ типа I еще тѣмъ, что шпалы, рельсы и скрѣпленія были въ немъ новыя, безъ признаковъ порчи или износа.

Для означенныхъ двухъ типовъ верхняго строенія произведены были по описанному способу наблюденія одновременныхъ деформаций по вертикальному и горизонтальному направленіямъ, а равно вслѣдствіе вращенія рельса, надъ шпалами и по срединѣ между ними (черт. 16).

Затѣмъ, съ цѣлью опредѣленія относительныхъ деформаций рельса по вертикальному направленію, надъ шпалами и по срединѣ между ними, оба аппарата поставлены были рядомъ и перпендикулярно къ оси пути, при чемъ одинъ давалъ діаграммы деформаций надъ шпалою, а другой одновременныя деформации по срединѣ между тою-же шпалою и смежною съ нею.

Для новаго балласта опредѣленъ былъ также коэффициентъ его (черт. 17), а равно осѣданіе грунта на разныхъ глубинахъ.

Наконецъ сняты были діаграммы деформаций въ стыкахъ (черт. 18) типовъ, наблюдавшихся въ 1897 г., а равно въ стыкахъ по типамъ Рюппеля (черт. 51), Неймана (черт. 52) и съ приставнымъ рельсомъ (Stossfangschiene) (черт. 53 и 54). Съ этою цѣлью подъ 12-ти метровымъ рельсомъ дано было шпаламъ такое же расположеніе какъ въ типѣ III (типъ IIIa). Расположеніе аппаратовъ для каждаго рода наблюденій показано на чертежахъ.

IV. Наблюденія въ предѣлахъ непрерывности рельсовъ.

А. Деформации по вертикальному направленію.

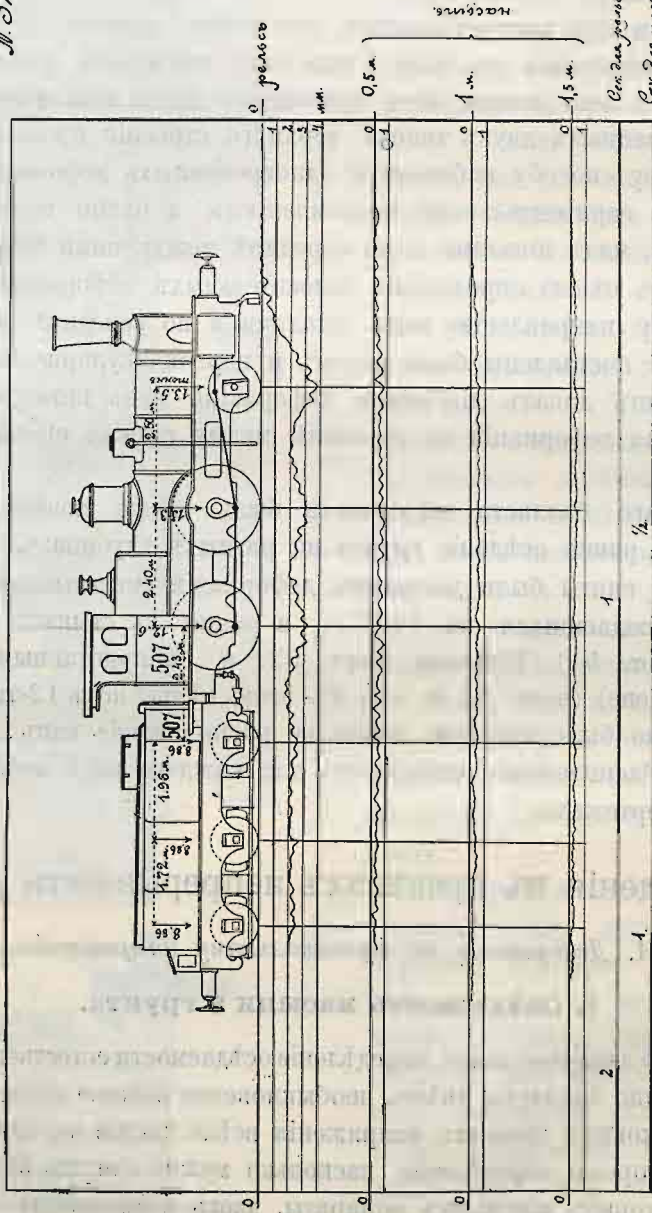
1. Осѣдаемость насыпи и грунта.

Какъ было замѣчено выше, опредѣленіе осѣдаемости естественнаго грунта насыпи, а равно балласта, имѣетъ необыкновенно важное значеніе, ибо отъ величины таковыхъ зависятъ напряженія всѣхъ частей верхняго строенія. Съ другой стороны опредѣленіе, насколько можно считать неподвижными опоры, на которыхъ покоились аппараты, даетъ возможность заключить о точности произведенныхъ при помощи этихъ аппаратовъ наблюденій.

Вблизи желѣзнодорожнаго полотна весь грунтъ подверженъ болѣе или

менѣ сильнымъ сотрясеніямъ, вслѣдствіе чего наблюденіе помощью описанныхъ аппаратовъ абсолютнаго движенія фундаментовъ при проходѣ поѣз-

№ 323 ^{сд} 326 ^{сд}



Черт. 20.—Диаграммы осѣданія грунта насыпи на разныхъ глубинахъ. Верхнее строеніе типа V.
Скорость поѣзда 35 и 60 км. въ часъ.

довъ является невозможнымъ и приходится довольствоваться наблюденіемъ относительнаго движенія одного фундамента по отношенію къ другому.

Съ этою цѣлью на одномъ изъ фундаментовъ прикрѣплялось зеркальце, а на другомъ устанавливался аппаратъ, при помощи котораго снималась діаграмма движенія зеркальца при проходѣ поѣздовъ. Положеніе аппарата было двойное: при одномъ наблюдались вертикальныя движенія зеркальце, при другомъ же горизонтальныя по направленію перпендикулярному къ пути. Полученныя діаграммы обнаружили относительныя колебанія фундаментовъ въ вертикальномъ направленіи не болѣе 0,15 мм. и въ горизонтальномъ направленіи не болѣе 0,1 мм. Принявъ въ соображеніе, что движеніе обоихъ фундаментовъ не происходитъ одновременно и что максимальныя относительныя перемѣщенія соответствуютъ крайнимъ противоположнымъ отклоненіямъ отъ нормальнаго положенія, слѣдуетъ придти къ заключенію, что абсолютныя колебанія аппарата не превосходили въ данномъ случаѣ половины указанныхъ величинъ, т. е. 0,075 мм. по вертикальному и 0,05 мм. по горизонтальному направленію, каковыя предѣлы соответствуютъ указанной выше (см. стр. 12) точности измѣренія деформаций по діаграммамъ. Что касается движенія самаго грунта на глубинѣ заложения фундаментовъ, т. е. на глубинѣ 7,40 метр., то таковое могло быть больше въ виду упругихъ прокладокъ, примѣненныхъ при кладкѣ фундаментовъ, что вѣроятно уменьшило амплитуду колебаній аппарата.

Для наблюденія осѣданія насыпи на разныхъ глубинахъ просверлены были ручнымъ буровомъ у самаго рельса, между концами шпаль, три скважины глубиною 0,5, 1 и 1,50 метра діаметромъ 10 сант., и въ нихъ опущены того же діаметра и длины желѣзныя трубы, образуя три колодца. Въ дно каждаго изъ колодцевъ забита была штанга изъ желѣзной газовой трубки, заходившей въ грунтъ насыпи на 0,40 метра ниже дна колодца. Затѣмъ къ верхнему концу штанги прикрѣплялось зеркальце и снималась діаграмма движенія его при проходѣ поѣздовъ.

Прилагаемая діаграмма (черт. 20) обнаруживаютъ упругое осѣданіе грунта даже на глубинѣ 1,5 метр. отъ верха балласта.

Величина наибольшаго осѣданія грунта насыпи при проходѣ поѣздовъ составляла, въ миллиметрахъ на тонну давленія колеса паровоза:

Т а б л и ц а I.

Глубина, считая отъ верха балласта.	Типы верхняго строенія.			
	I.	III.	IVa.	V.
0,50 м.	0,15	—	—	0,11
1,00 м.	0,11	0,09	0,09	0,08
1,50 м.	0,09	0,07	0,06	0,07

2. Коэффициентъ постели шпаль.

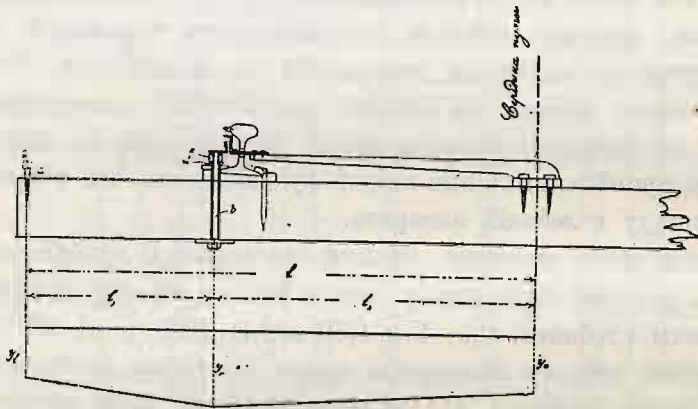
(Коэффициентъ балласта).

По предложенію Винклера *) принято называть коэффициентомъ балласта частное давленія p на квадратную единицу подошвы шпалы, дѣленнаго на ея осѣданіе y :

$$C = \frac{p}{y} \dots \dots \dots (1)$$

въ предположеніи, что осѣданіе шпалы пропорціонально въ извѣстныхъ предѣлахъ означенному выше давленію на ея подошву.

Опредѣленная такимъ образомъ величина C , выражая собою степень жесткости постели шпалы, должна очевидно зависѣть отъ свойствъ всѣхъ

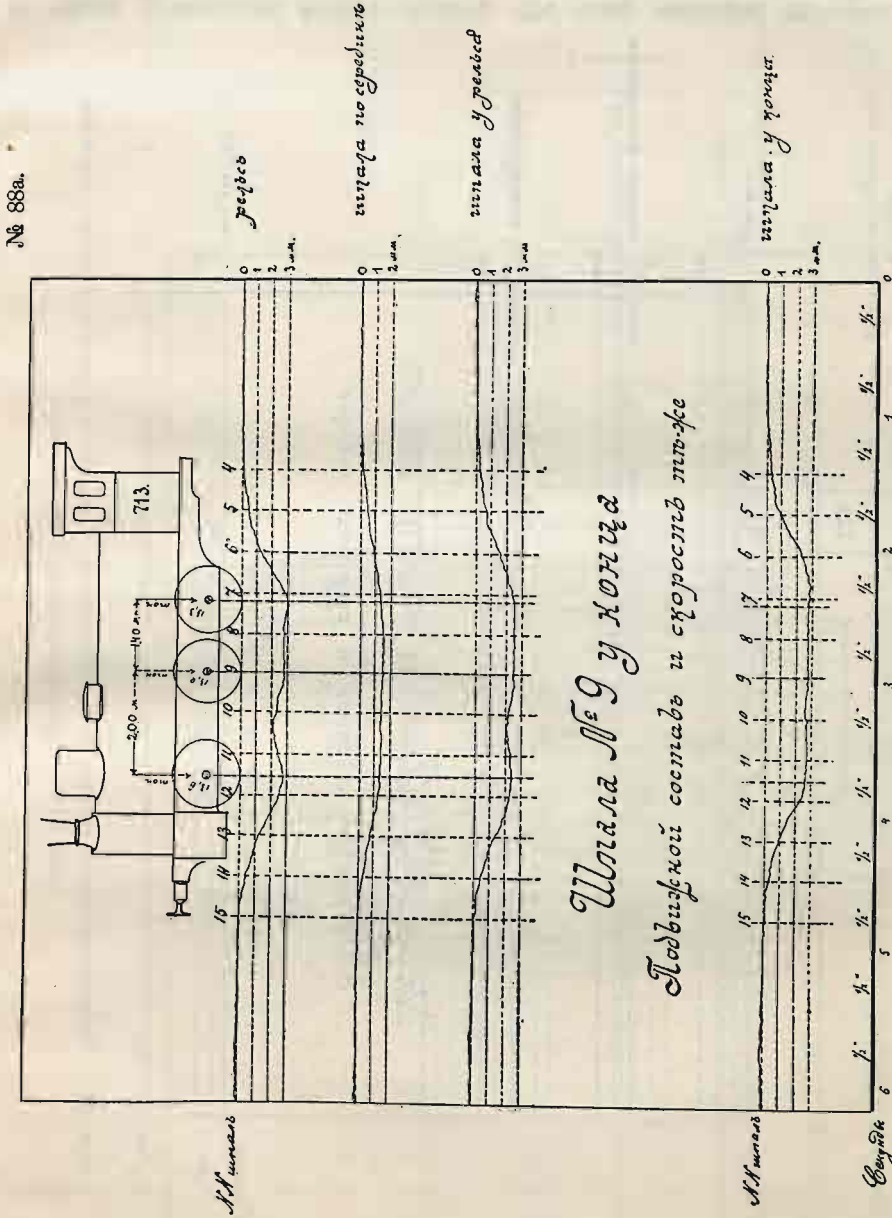


Черт. 21.

матеріаловъ, расположенныхъ подъ шпалюю, до глубины, на которой производимое ею давленіе, распространяясь на все большую площадь, практически перестаетъ существовать. Изъ описанныхъ выше наблюдений надъ сжимаемостью грунта оказывается, что въ существовавшихъ на наблюдательномъ посту условіяхъ упругое осѣданіе грунта при проходѣ поѣздовъ, даже на глубинѣ 7,4 м. отъ уровня рельсовъ, не вполне прекращалось. Такое-же осѣданіе на глубинахъ отъ 0,5 до 1,5 м. даетъ діаграммы, на которыхъ вліяніе каждой отдѣльной оси можетъ быть въ точности измѣрено. Очевидно наконецъ, что эта составная часть общаго осѣданія постели шпаль будетъ измѣняться въ зависимости отъ того, пролегаетъ-ли рельсовый путь въ выемкѣ или въ насыпи, какая высота этой насыпи, какія свойства матеріала ея, а равно естественнаго грунта подъ нею или въ выемкѣ.

*) Vorträge über Eisenbahnbau—1 Heft.

Въ виду вышеизложеннаго названіе коэффициентомъ балласта величины C , которая не даетъ понятія о вліяніи балласта на жесткость пути, слѣдуетъ считать неправильнымъ и, во избѣжаніе недоразумѣній,



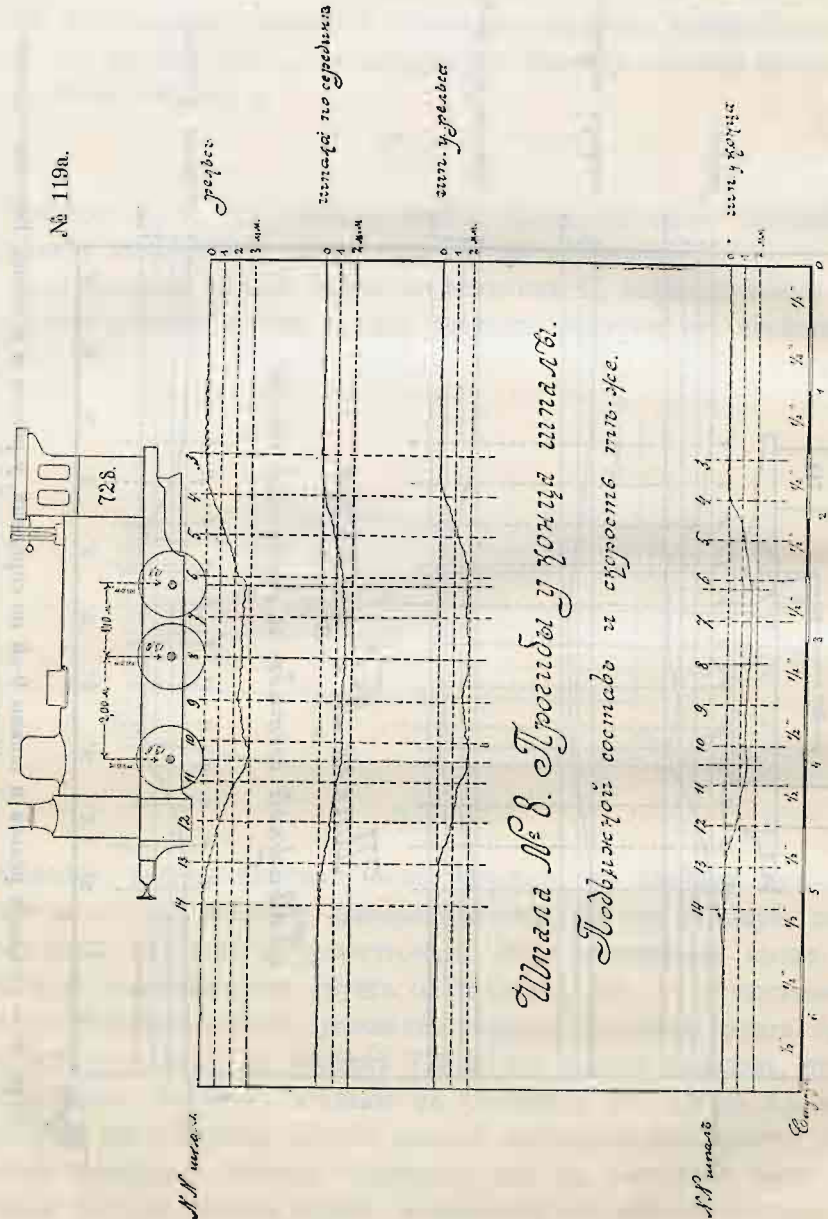
Черт. 22. — Осѣданіе рельса и шпалы 9-ой по срединѣ, у рельса и у конца. Верхнее строепіе тѣла П. Скорость паровоза 9 км. въ часъ.

замѣнить его другимъ, называя напр. величину C , какъ это принято ниже, коэффициентомъ (жесткости) постели шпаль.

На Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ коэффициентъ постели шпаль былъ опредѣляемъ по методу аналогичному тому, который былъ примѣ-

нень Циммерманомъ при наблюденіяхъ, производившихся на Эльзась-Лотарингскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

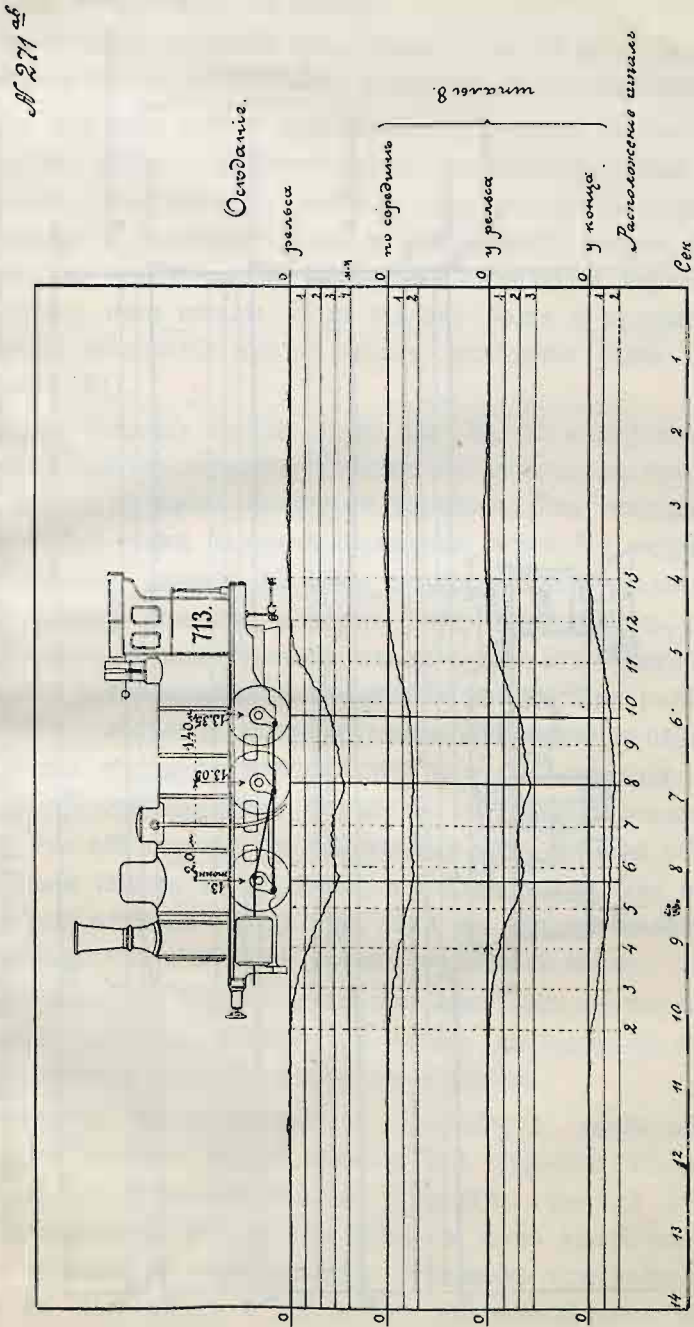
Для наблюдений, производившихся съ цѣлью опредѣленія коэффициента постели, избраны были двѣ среднія шпалы рельсоваго звена и



Черт. 23. — Осѣданіе рельса и шпалы 8-ой по срединѣ, у рельса и у конца. Верхнее строепіе типа III. Скорость паркова 8 км. вѣ. часъ.

на каждой изъ нихъ три точки, характеризующія линію ихъ изгиба, а именно: по срединѣ, у рельса, и у конца шпалы. Шпалы эти, равно какъ и всѣ шпалы наблюдательнаго участка, подбивались аккуратно, но безъ той тщательности, которая ставила бы ихъ въ исключительныя

условія. Къ серединѣ наблюдаемой шпалы привинчена была солидная штанга, свободно проходившая сквозь отверстие продѣланное въ рельсѣ.



Черт. 24.— Осѣданіе рельса и шпалы 8-ой по серединѣ, у рельса и у конца. Верхнее строеніе типа IV^a. Скорость паровоза 5 км. въ часъ.

При помощи этого устройства (черт. 21) получилась возможность наблюдать посредствомъ одного аппарата осѣданіе середины шпалы, рельса

У конца шпалы зеркальце было прикрѣплено къ шурупу *a* діаметромъ 13 мм. ввинченному въ шпалу.

Для наблюденія осѣданія шпалы подъ рельсомъ и съ цѣлью исключенія вліянія сжатія шпалы на показанія примѣнено было слѣдующее устройство.

У края подошвы рельса пропущенъ былъ сквозь шпалу, съ наружной стороны пути, болтъ *b* шляпкою внизъ. Въ верхнемъ концѣ болта, т. е. надъ шпалою, завинчивалась гайка *c*, подъ которую было заложено пружинное кольцо *d*, тянувшее болтъ по направленію вверхъ. Такимъ образомъ зеркальце, прикрѣпленное къ верхней части болта, передавало въ точности движеніе низа шпалы. Подъ шляпку болта и пружинное кольцо, во избѣжаніе врѣзыванія ихъ въ шпалу, заложены были широкія подкладки (черт. 21).

Діаграммы осѣданія шпалы (черт. 22, 23, 24 и 25) получены были, пропуская по наблюдательному участку совершенно тихимъ ходомъ (отъ 3 до 10 верстъ въ часъ) одиночный паровозъ, безъ тендера. Разстояніе между крайними осями паровоза составляло всего 3,4 метра, вслѣдствіе чего при рельсахъ длиною 12 метр. и расположеніи средней оси паровоза надъ среднею шпалою, осѣданіе шпалъ простиралось, какъ показываютъ діаграммы, не далѣе третьей шпалы, считая отъ обоихъ стыковъ, т. е. въ предѣлахъ равномернаго распредѣленія шпалъ. При рельсахъ длиною 9 м. осѣданіе доходило до стыковыхъ шпалъ не переходя однакоже стыка.

Полученная діаграмма изображаетъ исторію осѣданія *одной* лишь шпалы при проходѣ паровоза. Однакоже въ данныхъ условіяхъ можно допустить, что всѣ шпалы, расположенныя подъ средней частью рельса, будутъ осѣдать такимъ же образомъ, а слѣдовательно, для полученія величины осѣданія какой-нибудь изъ нихъ въ данный моментъ слѣдуетъ лишь опредѣлить на діаграммѣ соотвѣтствующее ей мѣсто.

Такимъ образомъ можно опредѣлить для даннаго положенія паровоза величину осѣданія каждой изъ шпалъ въ трехъ ея характерныхъ точкахъ, а слѣдовательно и среднее ея осѣданіе.

Обозначенное на прилагаемыхъ діаграммахъ расположеніе шпалъ соотвѣтствуетъ моменту, когда средняя ось паровоза стала непосредственно надъ наблюдаемою шпалою. Очевидно, что всѣ шпалы могли бы быть передвинуты вправо или влѣво, и тогда діаграмма изображала бы другой моментъ прохода паровоза. Однакоже при расположеніи, показанномъ на діаграммахъ и принятомъ для опредѣленія коэффиціента постели, шпалы, ближайшія къ стыку, получаютъ внѣ кривой осѣданія, а потому предположеніе относительно того, что всѣ шпалы, принятыя для расчета, находятся въ одинаковыхъ условіяхъ, является наиболѣе вѣроятнымъ.

Среднее осѣданіе шпалы y по осѣданію трехъ ея точекъ y_i , y_r , и y_0 (черт. 21) получено было отъ раздѣленія площади S :

$$S = (y_i + y_r) \frac{l_1}{2} + (y_r + y_0) \frac{l_2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

на полудлину шпалы l .

Затѣмъ, зная площадь основанія шпаль ω , величину ихъ средняго осѣданія y и вѣсъ паровоза P , коэффициентъ C опредѣленъ былъ по уравненію

$$C \Sigma \omega y = P \dots \dots \dots (3)$$

Опредѣленный по указанному методу коэффициентъ постели шпаль получился:

для типа	II	отъ 3,9 до 4,6	въ среднемъ	4,2
»	»	III	» 5,4 » 6,4	» 5,8
»	»	IVa	» 4,0 » 4,7	» 4,5
»	»	V	» 2,9 » 3,1	» 3,0

Число шпаль, на которыя распредѣлялось давленіе трехоснаго паровоза съ разстояніемъ между крайними осями 3,4 м., составляло въ среднемъ для типовъ: II—10,5; III—10; IVa—10 и V—12,5.

Изъ означенныхъ цифръ оказывается, что замѣна въ 1898 году карьернаго балласта гранитнымъ щебнемъ уменьшила коэффициентъ постели шпаль. Однакоже оцѣнка вліянія балласта на коэффициентъ постели, можетъ быть произведена лишь послѣ разсмотрѣнія результатовъ наблюденій надъ осѣданіемъ всѣхъ шпаль рельсоваго звена.

3. Изгибъ шпаль.

Тѣ же діаграммы, на основаніи которыхъ опредѣленъ былъ коэффициентъ постели, послужили тоже для опредѣленія вида упругой линіи шпаль длиною 2,44 м. (типъ II, черт. 22) и 2,70 м. (типы III, IV^a и V, черт. 23, 24 и 25).

Относительная величина осѣданія шпаль въ трехъ характерныхъ точкахъ ихъ изгиба, а именно по серединѣ, у рельса и у конца, опредѣлена была, измѣряя, при помощи планиметра, соответствующія этимъ точкамъ площади осѣданія по діаграммамъ. Такимъ образомъ получено было среднее отношеніе осѣданія шпалы въ трехъ ея точкахъ за все время деформаціи. Если обозначить осѣданіе шпалы по серединѣ, у рельса и у конца соответственно черезъ y_0 , y_r и y_i и принять величину осѣ-

данія шпалы у рельса равною 100; то полученное отношеніе $y_0: y_r: y_l$ выразится для шпалъ длиною 2,44 м.

$$y_0: y_r: y_l = 69:100:124$$

и для шпалъ длиною 2,70 м.

при типѣ III $y_0: y_r: y_l = 75:100:68.$

» » IV^a $y_0: y_r: y_l = 74:100:64.$

» » V $y_0: y_r: y_l = 91:100:78.$

На основаніи теоретическихъ выводовъ Циммермана, при коэффиціентѣ постели $C = 5$ для карьернаго балласта и $C = 4$ для щебня, какъ это было опредѣлено въ среднемъ для даннаго случая по непосредственнымъ наблюденіямъ, и принимая коэффиціентъ упругости для дуба $E = 120$ тоннъ на кв. с., тѣ же отношенія составляютъ для шпалъ длиною 2,44 м.

$$y_0: y_r: y_l = 70:100:106$$

и для шпалъ длиною 2,70 м.

при $C = 5$ $y_0: y_r: y_l = 80:100:80.$

при $C = 4$ $y_0: y_r: y_l = 83:100:83.$

Такимъ образомъ по наблюденіямъ получено, что концы шпалъ длиною 2,44 м. осѣдаютъ больше, а шпалъ длиною 2,70 м. напротивъ того менѣе, чѣмъ слѣдовало ожидать по теоріи. Отношеніе, полученное для типа V, отличается бѣльшимъ осѣданіемъ середины и концовъ шпалы, какъ будто наблюдаемая шпала была жестче предыдущихъ.

Тѣмъ не менѣе общій видъ кривой изгиба, какъ по наблюденіямъ, такъ и по теоріи получается одинаковымъ, а именно при шпалахъ длиною 2,44 метра концы осѣдаютъ значительно больше, чѣмъ середина, послѣдняя же менѣе, чѣмъ подрельсная часть; при шпалахъ же длиною 2,70 м. середина, равно какъ и конецъ шпалы, осѣдаютъ менѣе, чѣмъ подрельсная часть.

При опредѣленіи длины шпалъ для даннаго типа верхняго строенія руководствуются, какъ извѣстно, соображеніемъ, чтобы рельсъ, осѣдая подъ нагрузкою, не наклонялся въ одну или другую сторону, что производило бы вредныя для движенія измѣненія въ ширинѣ пути.

Условіе это будетъ выполнено, ежели осѣданіе середины и конца шпалы будетъ одинаково. При недостаточной длинѣ шпалъ концы ихъ будутъ осѣдать болѣе середины, и произойдетъ уширеніе пути. При чрезмѣрно длинныхъ шпалахъ произойдетъ обратное явленіе, т. е. суженіе пути.

По выводамъ Циммермана длина шпалы, опредѣленная при условіи одинаковой осадки ея середины и концовъ, колеблется, съ измѣненіемъ качества балласта и типа шпалъ, въ очень незначительныхъ предѣлахъ и составляетъ около 2,70 метра,

Между тѣмъ только что приведенные результаты наблюдений указываютъ, что хотя длина шпалы въ 2,44 метра безусловно недостаточна, то однакоже при длинѣ 2,70 метра концы осѣдаютъ нѣсколько менѣе середины, т. е. что длина эта нѣсколько больше, чѣмъ требуется.

Впрочемъ означенная разница въ осѣданіи незначительна, и могла произойти отъ не вполне равномерной подбивки шпалъ по ихъ длинѣ. Ежели только середина шпалы подбита нѣсколько сильнѣе остальной части, устойчивость ея можетъ быть легко нарушена. Избѣгая этого легко впасть въ противоположность т. е. подбить середину шпалы нѣсколько слабѣе концовъ ея.

4. Осѣданіе шпалъ у рельсовъ.

Кромѣ описанныхъ выше наблюдений надъ осѣданіемъ среднихъ шпалъ въ разныхъ точкахъ съ цѣлью опредѣленія коэффиціента постели и изгиба шпалъ, произведены были для всѣхъ типовъ верхняго строенія наблюденія надъ осѣданіемъ у рельса всѣхъ шпалъ одного рельсоваго звена, а равно самаго рельса надъ шпалами (см. образцы діаграммъ, черт. 26, 27, 28, 29 и 30). Съ этою цѣлью одно зеркальце прикрѣплялось къ шурупу, завинченному въ шпалу, а другое къ головкѣ рельса.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ II приведены среднія величины осѣданія, отдѣльно подъ паровозомъ и тендеромъ, полученные для каждой шпалы и каждаго изъ четырехъ типовъ верхняго строенія.

Величины эти выражены въ миллиметрахъ и отнесены къ тоннѣ нагрузки на колесо.

Вычисленіе производилось слѣдующимъ образомъ.

Для каждаго наблюденія опредѣлялись по діаграммѣ величины осадокъ подъ всѣми колесами паровоза и тендера, и сумма ихъ раздѣлялась на половину вѣса паровоза или тендера даннаго типа въ рабочемъ состояніи. Такимъ образомъ исключено было по возможности вліяніе на результаты временной перегрузки отдѣльныхъ колесъ.

Паровозы, обращающіеся на участкѣ, гдѣ производились наблюденія, по большей части трехъ-осные съ нагрузкою въ 13 тоннъ на ось. Лишь въ курьерскихъ и скорыхъ поѣздахъ обращаются четырехъ- и пяти-осные паровозы съ тельжками впереди и съ нагрузкою на ведущія оси до 15 тоннъ (черт. 31 и 57). Наблюденія производились при самыхъ разнообразныхъ скоростяхъ поѣздовъ, измѣнявшихся отъ 8 до 70 км. въ часъ.

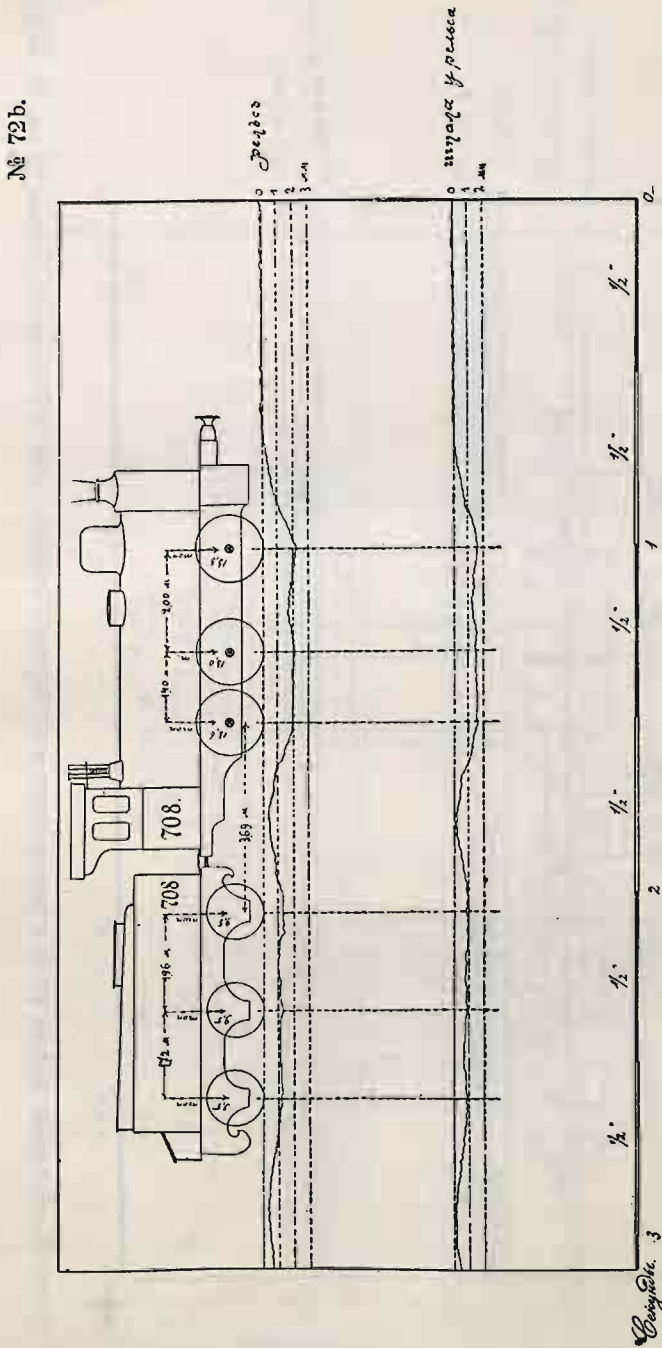
Т а б л и ц а II.

№ шпалы.	Осѣданіе шпаль въ мм. на тонну давленія колеса.											
	Подъ паровозомъ, для типовъ верхняго строенія:						Подъ тендеромъ *), для типовъ верхняго строенія:					
	I	II	III	IV	IV ^a	V	I	II	III	IV	IV ^a	V
1	0,30	0,20	0,23	0,22	0,30	0,25	0,43	0,29	0,29	0,27	—	0,28
2	0,46	0,18	0,20	0,21	0,26	0,28	—	0,24	0,23	0,29	0,35	0,38
3	0,49	0,19	0,16	0,20	0,32	0,33	0,71	0,33	0,20	0,24	0,39	0,43
4	0,52	0,33	0,21	0,27	0,29	0,41	0,80	0,44	0,27	0,36	0,47	0,67
5	0,54	0,35	0,25	0,32	0,35	0,45	0,93	0,56	0,36	0,44	0,43	0,72
6	0,45	0,46	0,25	0,22	0,27	0,45	0,64	0,80	0,40	0,31	0,28	0,56
7	0,50	0,20	0,22	0,25	0,44	0,44	0,72	0,24	0,27	0,29	0,73	0,68
8	0,48	0,27	0,27	0,22	0,42	0,40	0,57	0,32	—	0,29	0,68	0,64
9	—	0,37	0,26	0,29	0,32	0,43	—	—	—	0,36	0,49	0,72
10	—	0,35	0,24	0,24	0,31	0,37	—	0,49	0,31	0,28	0,41	0,61
11	—	0,39	0,22	0,24	0,29	0,32	—	0,73	0,24	0,29	0,33	0,52
12	—	0,32	0,32	0,23	0,34	0,38	—	0,41	0,41	0,53	0,55	0,49
13	—	0,25	0,26	0,25	0,36	0,43	—	0,37	0,35	0,21	0,49	0,61
14	—	0,26	0,22	0,20	0,32	—	—	0,73	0,27	0,27	0,44	—
15	—	—	0,22	0,23	0,23	—	—	—	0,24	0,29	0,32	—
16	—	0,19	0,19	0,20	0,24	—	—	0,21	0,23	0,31	0,33	—
Среднее осѣданіе .	0,468	0,287	0,232	0,237	0,316	0,384	0,686	0,442	0,294	0,315	0,447	0,562

Въ среднемъ скорость поѣздовъ составляла 43 км. въ часъ. Не смотря на это, въ величинахъ осѣданія шпаль, приведенныхъ къ тоннѣ нагрузки колеса, не замѣчалось разницъ, которыя могли бы быть приписаны измѣненіямъ въ скорости поѣздовъ. Правда, что величины осѣданія шпаль въ каждомъ типѣ верхняго строенія колеблются въ довольно широкихъ предѣлахъ, что должно быть приписано неравномѣрности подбивки, искривленіямъ рельсовъ въ вертикальной плоскости, а равно временной перегрузкѣ колесъ, вліяніе которой не могло быть вполне исключено указаннымъ выше способомъ расчета. Однакоже колебанія эти замѣчались почти въ тѣхъ же предѣлахъ какъ при малыхъ, такъ и при большихъ скоростяхъ.

*) Давленіе на ось тендера принято равнымъ $\frac{3}{4}$ давленія при полной его нагрузкѣ.

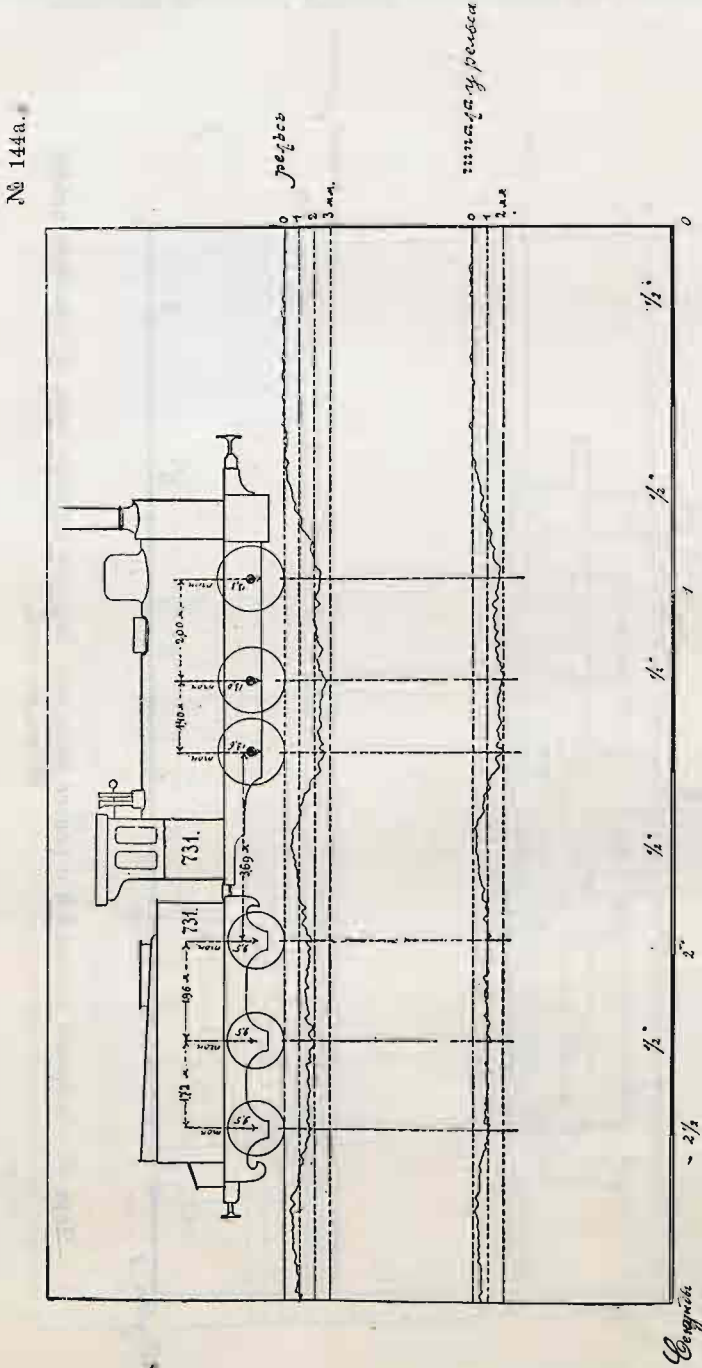
чены результаты всѣхъ наблюдений, безъ различія скоростей, и сдѣлано лишь раздѣленіе между осѣданіемъ подъ паровозомъ и подъ тендеромъ.



Черт. 27.—Осѣданіе шпалы 8-й и рельса надъ нею. Верхнее строеніе типа II. Скорость поезда 28 км. въ часъ.

Деформации подъ тендеромъ, въ виду характерныхъ особенностей такихъ, будутъ разсматриваемы отдѣльно.

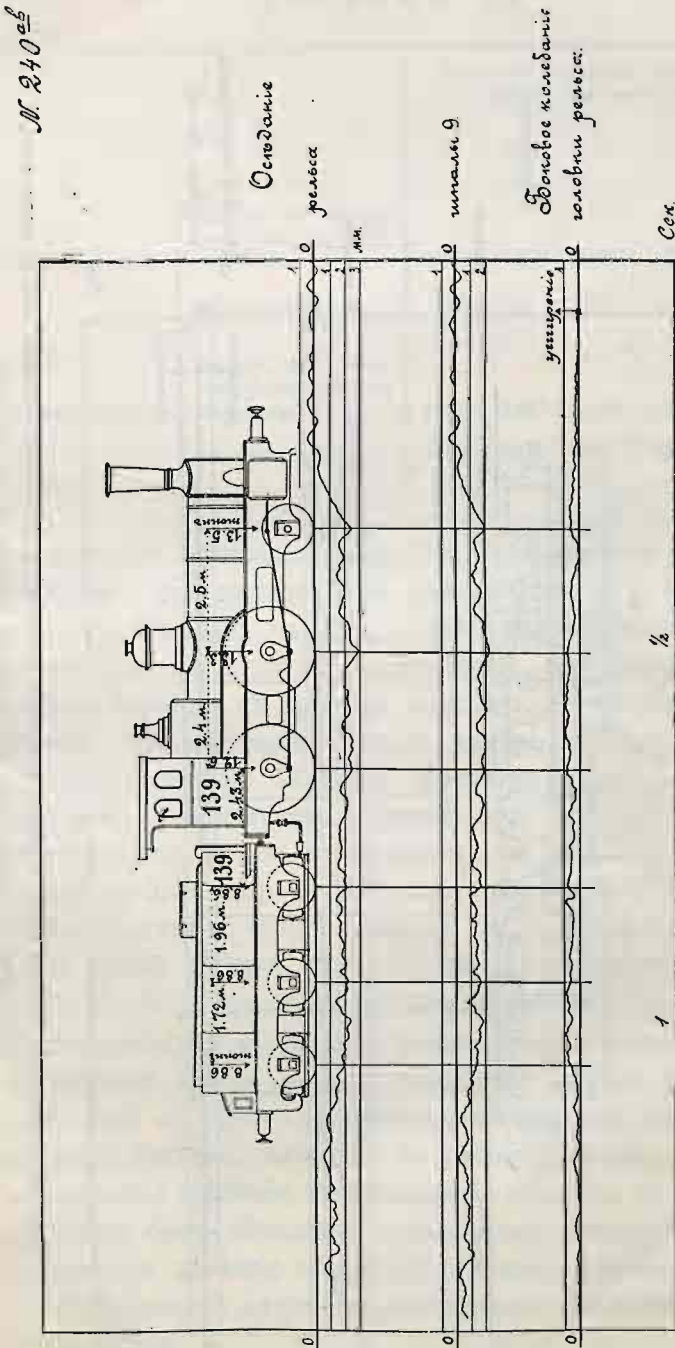
Сравнивая среднія величины осѣданія шпалъ подъ паровозомъ для четырехъ типовъ верхняго строенія, оказывается, что при переходѣ отъ



Черт. 28.—Осѣданіе шпалы 12-ой и рельса надъ нею. Верхнее строеніе типа III. Скорость поѣзда 22 км. въ часъ.

типа I-го ко II-му, т. е. къ болѣе сильнымъ рельсамъ, осѣданіе уменьшилось на 39%; при переходѣ отъ типа II-го къ III-му, т. е. съ удли-

ненієм шпаль — уменьшилось еще на 11% и наконец при переходѣ отъ типа III-го къ IV-му, когда вслѣдствіе сближенія стыковых шпаль

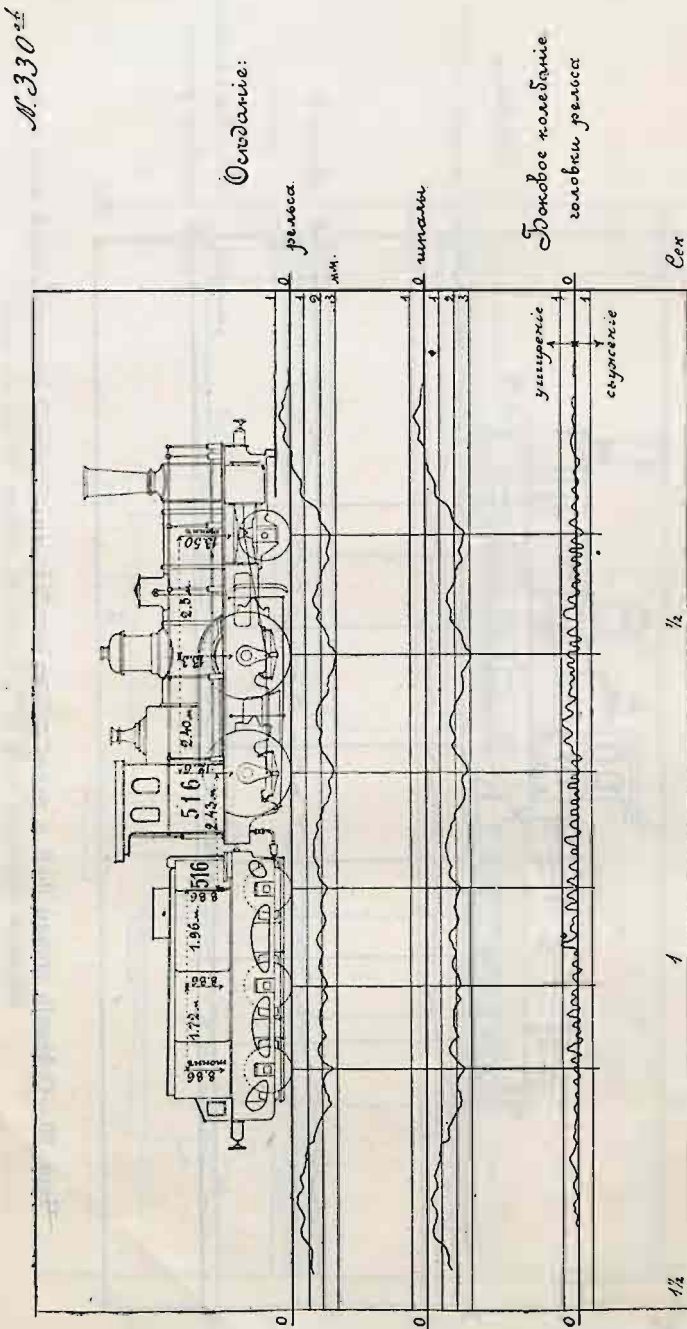


Черт. 29.—Осѣданіе шпалы 9-ой, а равно осѣданіе и боковыя колебанія головки рельса надъ нею. Верхнее строеніе типа IV^а. Скорость поѣзда 56 км. въ часъ.

среднія были нѣсколько раздвинуты, осѣданіе увеличилось на 1%.

Въ нижеприведенной таблицѣ III результаты наблюденій сопостав-

лены съ теоретическими величинами осѣданія шпаль, опредѣленными на основаніи выводовъ Циммермана при коэффициентѣ постели $C = 5$ для



Черт. 30.— Осѣданіе шпалы 9-ой, а равно осѣданіе и боковыя колебанія головки рельса надъ нею. Верхнее строеніе типа V. Скорость поѣзда 49 км. въ часъ.

карьернаго гравія и $C = 4$ для щебня и коэффициентахъ упругости рельсовой стали $E = 2000$ и дерева $E' = 120$ (въ тоннахъ на кв. сант.).

Т а б л и ц а III.

		Среднее осѣданіе шпаль для типовъ верхняго строенія:					
		I	II	III	IV	IV ^a	V
По наблюденіямъ	въ мм. на тонну нагрузки колеса паровоза	0,468	0,287	0,232	0,237	0,316	0,384
	въ процентахъ . .	100	61	50	51	68	82
По Циммерману	въ мм. на тонну нагрузки колеса паровоза	0,401	0,367	0,345	0,362	0,429	0,430
	въ процентахъ . .	100	91,5	86	90	107	107

Изъ означенной таблицы оказывается, что величины осѣданія шпаль по наблюденіямъ, при легкомъ типѣ рельсовъ, на 17% больше теоретическихъ, а при тяжеломъ на 22% — 33% менѣ таковыхъ. Вслѣдствіе этого вліяніе усиленія пути на его жесткость, при переходѣ отъ одного типа верхняго строенія къ другому, выходитъ по наблюденіямъ несравненно сильнѣе, чѣмъ по теоріи. Такъ напримѣръ переходъ къ типу рельса вѣсомъ 38 кгр. и длиною 12 метр., вмѣсто рельсовъ вѣсомъ 31,45 кгр. и длиною 6 метр., увеличиваетъ жесткость пути по теоріи всего на 8,5%, въ дѣйствительности же по наблюденіямъ на 39%. Затѣмъ увеличеніе длины шпаль съ 2,44 метр. до 2,70, при томъ же типѣ рельса, увеличиваетъ жесткость пути по теоріи всего на 5½%, въ дѣйствительности же на 11%, а потому обѣими сими мѣрами увеличивается жесткость по теоріи всего на 14%, въ дѣйствительности же на 50%.

Столь значительныя отступленія теоретическихъ выводовъ отъ результатовъ наблюденій могли бы быть объяснены отчасти тѣмъ обстоятельствомъ, что хотя въ выводахъ Циммермана приняты были во вниманіе всѣ важнѣйшіе факторы, вліяющіе на работу верхняго строенія, но въ основу опредѣленія давленія, передаваемого рельсомъ на опоры, т. е. на шпалы, сдѣланы были нѣкоторыя недостаточно обоснованныя предположенія. Означенное давленіе опредѣляется Циммерманомъ для одного изъ двухъ нижеслѣдующихъ случаевъ расположенія нагрузки, дающаго наибольшіе результаты:

1) Рельсъ покоится на безконечномъ числѣ упругихъ опоръ, расположенныхъ въ равныхъ разстояніяхъ, причѣмъ грузы размѣщены надъ опорами черезъ одну.

2) Рельсъ покоится на трехъ равноотстоящихъ упругихъ опорахъ и подверженъ дѣйствию одного сосредоточеннаго груза, расположеннаго надъ среднею опорою.

Въ дѣйствительности однакоже рельсъ подверженъ дѣйствию системы грузовъ, вліяніе которыхъ, а равно вѣса рельса, на опорныя давленія можетъ значительно разниться отъ выведеннаго въ означенныхъ двухъ предположеніяхъ. Ниже, при опредѣленіи коэффиціента балласта и дѣйствительнаго давленія рельса, приведено будетъ другое объясненіе упомянутаго разногласія.

5. Исправленный коэффиціентъ постели шпаль.

Коэффиціентъ постели шпаль былъ опредѣляемъ выше на основаніи діаграммъ осѣданія *одной* изъ среднихъ шпаль, хотя и не всегда той же самой, причемъ на діаграммы эти было нанесено положеніе другихъ шпаль въ предположеніи, что всѣ онѣ осѣдаютъ приблизительно одинаково. Однакоже предположеніе это, допущенное, на сколько мнѣ извѣстно, всѣми предшествовавшими наблюдателями, нельзя признать вѣрнымъ. Вслѣдствіе неодинаковой подбивки шпаль, разницы въ осѣданіи ихъ оказываются довольно значительными, въ чемъ легко убѣдиться, разсматривая таблицы средняго наибольшаго осѣданія каждой изъ шпаль. Такъ напр. среднее наибольшее осѣданіе у рельса шпалы 9 по діаграммѣ 88^a (черт. 22) составляетъ 0,35 мм. на тонну давленія колеса паровоза, между тѣмъ какъ по таблицѣ II осѣданія шпаль типа II, шпалы 4—14, участвовавшія въ прогибѣ при положеніи паровоза, изображенномъ на діаграммѣ, осѣдали въ среднемъ лишь на 0,32 мм. Это показываетъ, что коэффиціентъ постели шпаль опредѣленъ былъ на основаніи осѣданія шпалы, осѣдавшей сравнительно сильнѣе, чѣмъ остальные, а потому вслѣдствіе допущеннаго обобщенія коэффиціентъ этотъ получился менѣе дѣйствительнаго.

Аналогичнымъ обстоятельствомъ объясняются значительныя колебанія въ величинѣ коэффиціентовъ постели шпаль, опредѣленныхъ Гентшелемъ изъ нѣсколькихъ наблюденій на одномъ и томъ же наблюдательномъ участкѣ *).

Въ данномъ случаѣ для исправленія сей неточности необходимо коэффиціентъ постели, получившійся по діаграммѣ 88^a (черт. 22) равнымъ 4,2, въ соотвѣтственной пропорціи увеличить и тогда онъ получается:

$$C' = 4,2 \times \frac{0,35}{0,32} = 4,6.$$

*) См. Das Verhalten der Gleisbettung in statischer Beziehung nach den Versuchen der Reichseisenbahnen, von G. Hüntzschel. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1889 г.

То же самое вмѣсто коэффиціента 5,5, полученнаго по діаграммѣ 119^а (черт. 23) слѣдуетъ принять

$$C' = 5,5 \times \frac{0,28}{0,25} = 6,2.$$

Изъ сказаннаго видно, что означенная поправка, допущенная въ предположеніи, что начало и конецъ осѣданія каждой изъ шпаль въ средней части рельса соотвѣтствуютъ тому же положенію паровоза относительно нея, а равно, что общій видъ изгиба каждой изъ этихъ шпаль одинаковъ, равнозначуща уменьшенію или увеличенію всѣхъ ординатъ діаграммы, по которой былъ опредѣленъ коэффиціентъ постели шпаль, соотвѣтственно дѣйствительному среднему осѣданію шпаль.

Очевидно, что поправка эта предполагаетъ тоже, что за все время наблюденій, послужившихъ для даннаго вывода, условія подбивки шпаль не измѣнялись, что можетъ быть въ данномъ случаѣ допущено, такъ какъ въ продолженіе наблюденій надъ каждымъ типомъ верхняго строенія въ отдѣльности, шпалы не были вовсе подбиваемы.

Примѣняя означенную поправку ко всѣмъ наблюденіямъ, послужившимъ для опредѣленія коэффиціента постели шпаль, таковой получается:

для типа II . . .	$C' =$ отъ 4,4 до 5,2 въ среднемъ 4,7
» » III . . .	$C' =$ » 5,8 » 6,4 » » 6,1
» » IV ^а . . .	$C' =$ » 4,6 » 5,1 » » 4,8
» » V . . .	$C' =$ » 3,3 » 3,5 » » 3,4

Выводы эти, подтверждая въ общемъ результаты, приведенные въ таблицѣ, а именно, что замѣна карьернаго балласта гранитнымъ щебнемъ не повліяла въ смыслѣ увеличенія жесткости пути, приводятъ вмѣстѣ съ тѣмъ къ заключенію, что коэффиціентъ постели шпаль находится въ зависимости отъ длины шпаль и типа рельса. При одинаковомъ балластѣ, типѣ рельсовъ и проч. коэффиціентъ этотъ получается больше для типа верхняго строенія III со шпалами длиною 2,70 метр. Съ другой стороны, при одинаковомъ балластѣ и длинѣ шпаль, онъ получается больше для типа IV^а, чѣмъ для V, т. е. больше для того типа верхняго строенія, въ которомъ рельсъ сильнѣе. Въ виду небольшого числа произведенныхъ наблюденій зависимость эта не можетъ быть достаточно выяснена, тѣмъ не менѣе разницы въ среднемъ осѣданіи, при одинаковомъ давленіи на единицу площади, въ зависимости отъ величины и фигуры давящей поверхности, вполне понятны и подтверждаются наблюденіями Гентшеля и Энгессера.

6. Коэффициентъ балласта.

Въ виду только что изложенныхъ причинъ при оцѣнкѣ вліянія на жесткость пути замѣны карьернаго балласта щебеночнымъ могутъ быть сравниваемы лишь величины коэффициента постели шпаль, полученныя при той же длинѣ шпаль и томъ же типѣ рельса, а именно: величины при типѣ верхняго строенія III для карьернаго балласта $C' = 6,1$ и при типѣ IV^a для щебеночнаго балласта $C' = 4,8$.

Однакоже и это сравненіе было бы невѣрно, ибо изъ наблюдений надъ сжимаемостью грунта, результаты которыхъ приведены были выше, оказывается, что таковая имѣетъ весьма сильное вліяніе на коэффициентъ постели шпаль.

Желая выдѣлить это вліяніе и опредѣлить для обоихъ означенныхъ типовъ верхняго строенія относительную жесткость пути въ зависимости лишь отъ качества балласта, необходимо опредѣлить для нихъ коэффициентъ постели шпаль въ предположеніи абсолютной жесткости нижняго строенія, каковая величина и будетъ дѣйствительнымъ коэффициентомъ балласта.

Для этой цѣли можно воспользоваться діаграммою осѣданія насыпи на глубинѣ 0,5 м. ниже поверхности балласта, т. е. приблизительно на уровнѣ подошвы балласта по новому профилю.

На основаніи наблюдений Шуберта *) можно принять, что на этой глубинѣ давленіе шпалы распредѣляется болѣе или менѣе равномерно на ширину по крайней мѣрѣ равную разстоянію между шпалами, (составлявшему въ данномъ случаѣ 75—85 см. ось отъ оси), а потому хотя колодцы, въ дно которыхъ забиты были штанги, показывавшія осѣданіе на извѣстной глубинѣ, помѣщались у рельса между концами двухъ шпаль, то однакоже можно допустить, что осѣданіе грунта на той же глубинѣ подъ шпалою было приблизительно такое же.

Распредѣленіе давленія на той же глубинѣ по направленію длины шпалы неизвѣстно, однакоже предположеніе, что оно соотвѣтствуетъ измѣненіямъ въ осѣданіи самой шпалы въ разныхъ точкахъ по ея длинѣ, является наиболѣе вѣроятнымъ.

Такимъ образомъ для полученія діаграммы осѣданія шпалы у рельса, происходящаго исключительно отъ сжимаемости балласта, необходимо

*) Schubert. Planum, Bettung und Schwellenform des Eisenbahngeleises. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1897, Heft 6 и 7. Согласно этимъ наблюдениямъ при балластѣ, состоявшемъ изъ нижняго слоя песку толщиною 5 см., затѣмъ слоя щебня толщиною 30 см., подъ шпалою, разсыпанныхъ на слой мягкой глины и при многократной (нѣсколько сотъ тысячъ разъ) нагрузкѣ шпалы въ 4 кгр. на кв. сантим. ея основанія, поверхность нижняго слоя глины шириною въ 95 см., оставалась горизонтальною, между тѣмъ какъ при меньшей толщинѣ балластнаго слоя замѣчалось подъ шпалою вдавливаніе его въ глину.

на діаграмму абсолютнаго осѣданія шпалы въ этой точкѣ нанести діаграмму осѣданія нижняго строенія на глубинѣ подошвы балласта и тогда разница ординатъ обѣихъ кривыхъ дасть ординаты искомой діаграммы. Ординаты діаграммъ осѣданія шпалы по серединѣ и у конца ея должны быть измѣнены въ той-же пропорціи.

Для упрощенія этой задачи можно ограничиться уменьшеніемъ ординатъ діаграммъ осѣданія шпалы въ томъ отношеніи, въ которомъ уменьшаются наибольшія среднія осѣданія шпалы подъ осями паровоза. Наибольшее осѣданіе грунта насыпи на глубинѣ 0,5 м. отъ верха балласта, при карьерномъ балластѣ и типѣ I верхняго строенія, составляло на тонну давленія колеса 0,15 мм. Такъ какъ среднее наибольшее осѣданіе шпаль этого типа составляло 0,47 мм. на тонну, то отношеніе его къ сжатію балласта получается:

$$\frac{0,47}{0,47 - 0,15} = 1,47$$

Въ типѣ III верхняго строенія балластъ былъ тотъ-же, что и въ типѣ I, а потому можно принять, что означенная величина одинаково относится къ обоимъ симъ типамъ, и тогда по выведенному выше для типа III коэффициенту постели шпаль $C' = 6$, получается коэффициентъ балласта для карьернаго гравія:

$$K = 6,1 \times 1,47 = 9,0.$$

При щебеночномъ балластѣ и типѣ V верхняго строенія сжатіе грунта подъ подошвою балласта составляло 0,10 мм. на тонну давленія колеса.

Такъ какъ среднее наибольшее осѣданіе шпаль этого типа составляло 0,38 мм. на тонну, то отношеніе его къ сжатію балласта получится:

$$\frac{0,38}{0,38 - 0,10} = 1,36$$

Такъ какъ въ типѣ IV^a балластъ былъ тотъ-же, что и въ типѣ V, то по коэффициенту постели шпаль $C' = 4,8$, опредѣленному для перваго изъ нихъ, получается коэффициентъ балласта для щебня:

$$K = 4,8 \times 1,36 = 6,5$$

Такимъ образомъ сопротивленіе щебеночнаго балласта вдавливанію шпалы составляетъ лишь $\frac{6,5}{9} = 72\%$ такого-же сопротивленія балласта изъ карьернаго песка съ гравіемъ. Обнаруженію этого свойства другими наблюдателями мѣшало то обстоятельство, что наблюденія производились въ разныхъ мѣстахъ, т. е. при неодинаковомъ пизнемъ строеніи, осѣданіе котораго не было опредѣлено, а равно, что при опредѣленіи коэффи-

ціента постели принімалось во вниманіе лишъ осѣданіе одной шпалы или опредѣленнаго пункта продольнаго подрельснаго лежня. Такъ напр. изъ наблюденій надъ разными типами верхняго строенія на шпалахъ, Гентшелемъ получены въ среднемъ слѣдующія величины коэффиціента постели шпаль:

Для стараго балласта изъ обикповеннаго гравія на плотномъ глинистомъ грунтѣ $C = 4,4$

Для стараго балласта изъ щебня на такомъ же грунтѣ : . . . $C = 5,3$

Между тѣмъ изъ наблюденій, производившихся надъ типами верхняго строенія на продольныхъ лежняхъ, имъ же получено:

Для стараго балласта изъ гравія на плотномъ глинистомъ грунтѣ $C = 5,0$

Для стараго балласта изъ щебня на такомъ же грунтѣ . . . $C = 4,6$

Послѣднія цифры служатъ какъ бы подтвержденіемъ результатовъ, полученныхъ на Варшавско-Вѣнской желѣзной дорогѣ. Однакоже обстоятельство, что изъ наблюденій надъ осѣданіемъ шпаль коэффиціентъ постели для щебня полученъ больше чѣмъ для гравія, изъ наблюденій же надъ осѣданіемъ подрельсныхъ лежней—обратно, ясно доказываетъ, что причина этого кроется въ неопредѣленности названія «плотный глинистый грунтъ», сжатіе котораго не было измѣрено.

Впрочемъ въ числѣ наблюденій Гентшеля имѣются нѣкоторыя, позволяющія судить о степени сжимаемости грунта, а именно наблюденія надъ осѣданіемъ шпаль при свѣжемъ балластѣ изъ гравія, рассыпанномъ 1) по легкому естественному грунту, по которому еще не ходили поѣзда; 2) по плотному естественному грунту, хорошо слежавшемуся подъ давленіемъ поѣздовъ; 3) по скалѣ. Для этихъ трехъ случаевъ получены были коэффиціенты постели шпаль: $C = 2$; $C = 2,7$ и $C = 4$, т. е. что осѣданіе грунта составляло отъ 50% до 33% общаго осѣданія шпалы. Къ сожалѣнію, наблюденія эти произведены были лишь для одного рода балласта и притомъ при неодинаковой его толщинѣ (отъ 23 до 53 сант.). Тѣмъ не менѣе нельзя не замѣтить, что отношеніе величины сжатія грунта къ общему осѣданію шпаль весьма близко подходитъ, во второмъ случаѣ, къ полученному по наблюденіямъ на Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ, для типа I—0,32 и для типа V—0,26.

Резюмируя сдѣланные выводы и допуская, что отношеніе осѣданія грунта подъ подошвою балласта къ осѣданію шпалы остается для разныхъ типовъ верхняго строенія, при одинаковомъ родѣ и толщинѣ балласта и томъ-же нижнемъ строеніи, одинаковымъ, получаемъ нижеслѣдующія величины коэффиціентовъ балласта для типовъ верхняго строенія, для которыхъ былъ опредѣленъ выше коэффиціентъ постели.

Т а б л и ц а IV.

Типъ верхняго строенія.	Родъ балласта.	Исправленный коэффициентъ постели шпаль C'	Осѣданіе шпаль.	Отношеніе осѣданія грунта подъ подошвою балласта къ осѣданію шпаль.	Коэффициентъ балласта K
			Въ мм. на тонну давленія колеса паровоза.		
II	} крупный карьерный песокъ съ гравіемъ	4,7	0,287	0,32	6,9
III		6,1	0,232	0,32	9,0
IV ^a	} Гранитный щебень	4,8	0,316	0,26	6,5
V		3,4	0,384	0,26	4,6

Такимъ образомъ коэффициентъ балласта колеблется, въ зависимости отъ рода балласта и типа верхняго строенія, въ предѣлахъ: для крупнаго песка съ гравіемъ—отъ 7,9 до 9 и для гранитнаго щебня—отъ 4,6 до 6,5.

По наблюденіямъ Гентшеля коэффициентъ этотъ составлялъ, какъ было приведено выше, для свѣжаго балласта изъ гравія на скалѣ, $C = 4$. Однакоже изъ другого ряда наблюденій, производившихся надъ старымъ балластомъ, получено Гентшелемъ, для гравія по скалѣ, $C = 7,3$ а для гравія по каменной наброскѣ (Packlage) $C = 9$.

Поэтому хотя наблюденія Гентшеля производились вообще для совершенно другихъ типовъ верхняго строенія, чѣмъ на Варшавско-Вѣнской желѣзной дорогѣ, при чемъ вышеприведенныя цифры выведены были изъ наблюденій надъ осѣданіемъ пути на продольныхъ лежняхъ, сравненіе же въ обоихъ случая качества балласта не можетъ быть произведено, тѣмъ не менѣе, принимая во вниманіе, въ какихъ широкихъ предѣлахъ колеблются обыкновенно величины коэффициента балласта, получаемыя по наблюденіямъ, можно сказать, что въ этомъ окончательномъ результатѣ наблюденія Гентшеля и Варшавско-Вѣнской жел. дороги хорошо согласуются между собою.

Полученная на Варшавско-Вѣнской желѣзной дорогѣ величина коэффициента балласта изъ карьернаго песка съ гравіемъ $K = 9$ подтверждается тоже наблюденіями инженера I. P. Стецевича на Тамбово-Саратовской и Балтійской жел. дорогахъ. Последнимъ получены для коэффициента постели шпаль слѣдующія значенія: на Тамбово-Саратовской жел. дорогѣ—отъ 3,5 (въ нулевыхъ мѣстахъ при податливомъ грунтѣ), до 5-ти (въ выемкахъ, въ плотно глинистомъ грунтѣ), а на Балтійской жел. дорогѣ—9 (въ выемкѣ, въ весьма плотной глинѣ).

Тотъ же наблюдатель приводитъ однакоже фактъ, что при наблюденіяхъ на Балтійской жел. дорогѣ нѣкоторыя изъ шпаль почти вовсе не обнаруживали осѣданія и допускаетъ вслѣдствіе этого возможность увеличенія коэффиціента постели шпаль до $C = 45$.

Судя по наблюденіямъ Варшавско-Вѣнской желѣзной дороги, такая величина коэффиціента постели шпаль является невѣроятною. Напротивъ того, изъ означенныхъ наблюденій, производившихся для двухъ столь различныхъ матеріаловъ, какъ карьерный песокъ съ гравіемъ и гранитный щебень, можно, казалось-бы, заключить, что для всѣхъ переходныхъ по качеству, между сими двумя, родовъ балласта коэффиціентъ его долженъ заключаться въ полученныхъ для нихъ предѣлахъ т. е. отъ $K = 6,5$ для щебня, до $K = 9$ для песка съ гравіемъ. Коэффиціентъ постели шпаль долженъ быть очевидно менѣе этихъ величинъ, причемъ уменьшеніе его зависитъ непосредственно отъ осѣдаемости нижняго строенія пути, косвенно-же должно зависѣть, очевидно, отъ распредѣленія давленія, передаваемого балластомъ нижнему строенію.

Измѣненіе качествъ матеріала нижняго строенія, тамъ гдѣ оно существуетъ, является возможнымъ въ смыслѣ надлежащаго осушенія его, оказывающаго, какъ извѣстно, весьма большое вліяніе на состояніе пути.

Равномѣрное распредѣленіе давленія балласта на полотно должно быть достигнуто, придавая балласту надлежащую толщину, которая, какъ выяснили произведенныя въ послѣднее время опыты *), должна составлять, при обыкновенно встрѣчаемыхъ на практикѣ разстояніяхъ между шпалами, не менѣе 35 сантим. подъ шпалою.

Дальнѣйшее затѣмъ увеличеніе коэффиціента постели шпаль помощью улучшенія качества балласта является возможнымъ въ незначительныхъ, сравнительно, размѣрахъ, ежели принять во вниманіе, что при вполне одинаковомъ балластѣ коэффиціентъ постели шпаль можетъ измѣняться, въ зависимости отъ нижняго строенія, въ предѣлахъ отъ 3 до 9-ти, а коэффиціенты балласта для щебня и гравія измѣняются всего отъ 6,5 до 9.

Слѣдуетъ-ли изъ результатовъ наблюденій, произведенныхъ на Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ, заключить въ частности, что песчаный балластъ лучше щебеночнаго или вообще, что улучшеніе качества балласта является излишнею роскошью?—Очевидно, что нѣтъ, ибо многосложная роль, которую играетъ балластъ въ конструкціи верхняго строенія, заставляетъ признать наилучшимъ тотъ балластъ, который даетъ наибольшую сумму искомымъ качествъ.

Цѣль наблюденій, предпринятыхъ на Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ,

*) См. примѣчаніе на стр. 48.

составляло лишь опредѣленіе упругихъ деформаций верхняго строенія, а потому наблюденія эти производились въ такихъ условіяхъ, въ которыхъ постоянныя деформации отъ осѣданія балласта не превосходили степени точности показаній аппаратовъ, т. е. проще сказать, не могли быть замѣчены на діаграммахъ.

Однакоже сопротивленіе балласта постояннымъ деформациямъ, зависящее отъ степени взаимной подвижности его частицъ и сцѣпленія ихъ со шпалою, отъ прочности его т. е. сопротивленія истиранію, измельченію и дѣйствию атмосферы, а равно отъ его водонепроницаемости, слѣдуетъ признать болѣе важнымъ факторомъ, по отношенію устойчивости и прочности верхняго строенія, чѣмъ мелкія разницы въ упругости этого балласта.

Относительно того, что качества эти присущи въ значительно высшей степени гранитному щебню, чѣмъ карьерному песку съ гравіемъ, не можетъ быть двухъ мнѣній—это подтверждается не только наблюденіями Шуберта, Брейнинга и др., но и долготѣннымъ опытомъ многихъ желѣзныхъ дорогъ, и могло быть констатировано тоже, хотя за незначительный промежутокъ времени, на Варшавско-Вѣнской желѣзной дорогѣ. Замѣна на наблюдательномъ посту обыкновеннаго балласта щебеночнымъ и регулировка линіи были окончены $\frac{2}{14}$ Іюня 1898 г. Съ того времени до окончанія, $\frac{8}{20}$ Августа, наблюденій надъ уложеннымъ типомъ верхняго строенія IVa, а равно со времени окончанія укладки типа V-го, $\frac{13}{25}$ Сентября, по конецъ Ноября 1898 никакихъ работъ по подбивкѣ шпаль, регулировкѣ линіи и т. п. на наблюдательномъ посту производить не приходилось, ибо никакихъ измѣненій ни въ плотности подбивки шпаль, ни въ ширинѣ колеи и относительной высотѣ обоихъ рельсовъ, при часто повторяемыхъ повѣркахъ, обнаружено не было. Между тѣмъ при обыкновенномъ карьерномъ балластѣ, при которомъ производились наблюденія 1897 года, иногда ранѣ истеченія мѣсяца подбивка нѣкоторыхъ, въ особенности стыковыхъ, шпаль становилась неизбѣжною.

Такимъ образомъ результаты наблюденій надъ коэффициентами обоого рода балласта, обнаружившія, противъ ожиданія, ббльшую упругость щебеночнаго балласта, доказываютъ лишь, что преимущества его должны быть приписаны другимъ, упомятымъ выше, его качествамъ.

7. Коэффициентъ полотноа дороги.

Приведенные выше результаты наблюденій и основанные на нихъ выводы даютъ возможность оцѣнить относительное вліяніе балласта и нижняго строенія на осѣдаемость пути.

Только-что опредѣленный для двухъ родовъ балласта коэффициентъ

измѣряетъ сопротивленіе его сжатію подъ давленіемъ шпаль независимо отъ свойствъ нижняго строенія.

Параллельно этому желательно было бы опредѣлить при помощи соотвѣтственнаго измѣрителя осѣдаемость полотна дороги независимо отъ балласта. Для этого необходимо представить себѣ послѣдній въ видѣ слоя сыпучаго, но несжимаемаго матеріала. Допуская далѣе, что упругое осѣданіе полотна дороги будетъ происходить одинаково въ случаѣ неупругаго, что и упругаго балласта и называя коэффициентомъ полотна дороги отношеніе давленія балласта на квадратную единицу верхней площадки полотна къ осѣданію ея (въ кгр. и см.) легко опредѣлить означенный коэффициентъ для даннаго нижняго строенія по діаграммѣ осѣданія его подъ подошвою балласта.

Способъ опредѣленія коэффициента полотна можетъ остаться тотъ-же, который былъ примѣненъ при опредѣленіи коэффициента постели шпаль, съ тою лишь разницею, что для полученія средняго давленія, производимаго данною нагрузкою, необходимо очевидно принимать во вниманіе не общую площадь основанія всѣхъ шпаль, на которыя означенная нагрузка распределяется, а соотвѣтственную площадь основанія балластнаго слоя. Послѣдняя можетъ быть съ достаточнымъ приближеніемъ принята равною площади основанія шпаль, принявшихъ нагрузку, помноженной на отношеніе разстоянія между осями шпаль a къ ширинѣ нижняго основанія шпалы b .

Однакоже коэффициентъ полотна дороги, который обозначимъ буквою N , можетъ быть опредѣленъ проще на основаніи извѣстныхъ уже коэффициентовъ постели шпаль и балласта.

Дѣйствительно, обозначая $\frac{a}{b} = n$, зависимость между указанными тремя коэффициентами можетъ быть выражена уравненіемъ:

$$\frac{1}{C'} = \frac{1}{K} + \frac{1}{nN} \dots \dots \dots (4)$$

откуда

$$N = \frac{KC'}{nK - C'} \dots \dots \dots (5)$$

Въ нижеслѣдующей таблицѣ V приведены величины коэффициента полотна дороги, полученные по фор. (5) и по опредѣленнымъ раньше коэффициентамъ постели шпаль и балласта.

Какъ видно изъ таблицы V, не смотря на значительныя разницы въ величинахъ коэффициентовъ постели шпаль, равно какъ и балласта, при переходѣ отъ одного типа къ другому, коэффициентъ нижняго строенія, какъ этого и слѣдовало ожидать, колеблется въ очень незначительныхъ предѣлахъ и равенъ приблизительно 5.

Т а б л и ц а V.

Типъ верхняго строенія.	Разстояніе между ося- ми шпаль. <i>a</i>	Ширина нижняго основанія шпалы. <i>b</i>	$n = \frac{a}{b}$	К о э ф ф и ц и е н т ы :		
				постели шпаль. <i>C'</i>	балласта. <i>K</i>	нижняго строенія. <i>N</i>
II	80	25	3,2	4,7	6,9	4,6
III	80	25	3,2	6,1	9,0	5,9
IV ^a	85	25	3,4	4,8	6,5	5,4
V	75	25	3,0	3,4	4,6	4,4

Такимъ образомъ, при одинаковомъ давленіи на квадратную единицу поверхности, полотно на наблюдательномъ посту Варшавско-Вѣнской жел. дороги сопротивляется сжатію лишь немногимъ менѣе слоя щебня толщиною въ 53 сантиметра.

8. Давленіе рельса на шпалу.

Полученныя величины коэффициента постели, средняго осѣданія шпаль и ихъ изгиба даютъ возможность опредѣлить среднее наибольшее давленіе рельса на шпалу для каждаго изъ типовъ верхняго строенія, подвергавшихся наблюденію, не прибѣгая къ теоретическимъ формуламъ.

Для примѣра возьмемъ верхнее строеніе типа IV^a.

Отношеніе осѣданія шпалы по срединѣ, у рельса и у конца составляло для этого типа:

$$y_0 : y_r : y_l = 74 : 100 : 64$$

а слѣдовательно среднее осѣданіе шпалы y_m составляло отъ осѣданія ея у рельса y_r (см. черт. 21).

$$y_m = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{75}{135} \cdot 0,74 + \frac{60}{135} \cdot 0,64 \right) y_r = 0,846 y_r.$$

Коэффициентъ постели шпаль для этого типа верхняго строенія опредѣленъ былъ, какъ указано выше (см. табл. IV^a), въ среднемъ изъ четырехъ наблюденій, $C' = 4,8$.

Половина площади основанія шпалы $\omega = 135,25 = 3375$ кв. см.

Такимъ образомъ давленіе рельса на шпалу, необходимое для того, чтобы послѣдняя погрузилась подъ рельсомъ на 1 сантиметръ, равно:

$$D = C\omega \cdot \frac{y_m}{y_r} = 4,8 \cdot 3375 \cdot 0,846 = 13,7 \text{ тонны} \quad . \quad (6)$$

А такъ какъ по наблюденіямъ наибольшаго осѣданія у рельса всѣхъ

шпаль данного типа оказалось, что таковое составляет 0,0316 сантим. на тонну давления колеса паровоза (см. табл. II), то среднее наибольшее давление рельса на шпалу $\frac{P}{G}$, соответствующее этому осъданию, получается:

$$\frac{P}{G} = 0,0316 \quad D = 0,43 \text{ тонны.}$$

Въ нижеслѣдующей таблицѣ IV приведены величины среднего наибольшаго давления рельса на шпалу, на тонну давления колеса, для всѣхъ типовъ верхняго строенія, подвергавшихся наблюденію, опредѣленные по указанному выше способу.

Т а б л и ц а VI

Типъ верхняго строенія.	Отношеніе между осъданіемъ шпалы по серединѣ, у рельса и у конца. $y_o : y_r : y_l$	Исправлен- ный коэффи- циентъ по- стели шпаль. C'	Отношеніе средняго осъ- данія шпалы къ осъданію у рельса. $\frac{y_m}{y_r}$	Среднее наи- большее осъ- даніе всѣхъ шпаль звена у рельса. сантим.	Давленія рельса на тонну давленіе ко- леса: $\frac{P}{g}$	
					по наблюде- ніямъ.	по формулѣ (10).
I	(69 : 100 : 124)	(3,3)	(0,951)	0,0468	(0,45)	0,52
II	69 : 100 : 124	4,7	0,951	0,0287	0,39	0,48
III	75 : 100 : 68	6,1	0,855	0,0232	0,41	0,50
IV	(75 : 100 : 68)	(6,1)	(0,855)	0,0237	(0,42)	0,51
IV ^a	74 : 100 : 64	4,8	0,846	0,0316	0,43	0,50
V	91 : 100 : 78	3,4	0,927	0,0381	0,41	0,49

Для типовъ I и IV коэффициентъ постели шпаль опредѣляемъ не былъ. Однакоже разница между типами III и IV состоитъ исключительно въ нѣсколько иномъ расположеніи шпаль, причемъ общее число ихъ подъ рельсовымъ звеномъ осталось то же. Въ виду этого коэффициентъ постели шпаль можетъ быть принятъ для обоихъ типовъ одинаковымъ. Что касается типа I, то таковой имѣетъ тотъ же балластъ и длину шпаль, что и типъ II, разница-же между ними заключается главнымъ образомъ въ другомъ профилѣ рельса, т. е. въ томъ же, чѣмъ отличается типъ V отъ типа IV^a, а потому судя по аналогіи, можно было бы принять для типа I коэффициентъ балласта $4,7 \times \frac{3,4}{4,8} = 3,3$. Величина эта, равно какъ и коэффициентъ балласта для типа IV, являются лишь правдоподобными, а потому въ таблицѣ III помѣщены въ скобкахъ.

Приведенные выше результаты, основанные на наблюденіи, интересно было бы сравнить съ теоретическими величинами наибольшаго давления на шпалу, опредѣленными для статической нагрузки.

Однакоже извѣстныя формулы Шведлера, Гофмана и другія основаны

на произвольныхъ предположеніяхъ, не согласныхъ съ условіями распре- дѣленія нагрузки, встрѣчаемыми въ дѣйствительности.

Формула Шведлера

$$\frac{P}{G} = \frac{\gamma + 2}{3\gamma + 2} *) \dots \dots \dots (7)$$

выведена въ предположеніи дѣйствія одного лишь груза, расположеннаго по срединѣ балки на трехъ опорахъ, между тѣмъ какъ на рельсъ дѣй- ствуетъ система сосредоточенныхъ грузовъ.

Формула Гофмана

$$\frac{P}{G} = \frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1} \dots \dots \dots (8)$$

предполагаетъ расположеніе грузовъ надъ шпалами черезъ одну.

Между тѣмъ на наблюдательномъ участкѣ Варшавско-Вѣнской жел. дороги разстояніе промежуточныхъ шпалъ составляло для типовъ I до IV^a отъ 80 до 85 см., а для типа V—75 см., разстояніе же между осями трехъ-осныхъ паровозовъ (четырёхъ-осные и пяти-осные паровозы были наблюдаемы сравнительно рѣдко) составляло:

для паровозовъ товарныхъ	2	м. и	1,40 м.
» » пассажирскихъ	2,50	» »	2,40 »

Паровозы каждаго изъ поименованныхъ типовъ имѣли почти одина- ковую нагрузку на ось въ 6,7 тонны и дали почти одинаковое число наблюдений. Изъ прилагаемыхъ діаграммъ видно, что путь въ проме- жуткѣ между паровозомъ и тендеромъ возвращался почти въ первоначальное положеніе, т. е. что нагрузка тендера почти не вліяла на пониженіе опоръ, осѣдавшихъ подъ паровозомъ. Такимъ образомъ можно сказать, что статическое дѣйствіе паровозовъ на путь наблюдательнаго участка соответствовало дѣйствию системы трехъ равныхъ грузовъ на балку на безконечномъ числѣ упругихъ опоръ, причемъ разстояніе между гру- зами составляло въ среднемъ отъ двухъ до трехъ разъ взятое разстояніе между опорами.

Ежели предположимъ, что балка на безконечномъ числѣ опоръ на-

*) Въ этой, равно какъ и въ послѣдующихъ формулахъ $\gamma = \frac{B}{D}$, гдѣ $B = \frac{6EI}{a^3}$ — грузъ, производящій въ кускѣ рельса, свободно опирающемся на двухъ неподвиж- ныхъ опорахъ въ разстояніи равномъ $2a$, т. е. двойному разстоянію между осями шпалъ, стрѣлу прогиба въ 1 см.

D — грузъ, который будучи приложенъ къ шпалѣ, въ точкѣ опоры рельса, про- изводилъ бы осадку шпалы въ этомъ же мѣстѣ на 1 см.

гружена не через одну, а через двѣ опоры, то величина наибольшаго давленія на опору опредѣлится по формулѣ *):

$$\frac{P}{G} = \frac{\gamma + 1}{3\gamma + 1} \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots \quad (9)$$

Въ виду затруднительности болѣе точнаго опредѣленія опорныхъ давленій казалось бы въ данномъ случаѣ болѣе правильнымъ принять, что наибольшая величина ихъ равна полусуммѣ выраженій (8) и (9), т. е.

$$\frac{P}{G} = \frac{1}{2} \left(\frac{4\gamma + 1}{8\gamma + 1} + \frac{\gamma + 1}{3\gamma + 1} \right) \cdot \dots \cdot \dots \quad (10)$$

Опредѣленные по этой формулѣ величины наибольшихъ опорныхъ давленій помѣщены въ послѣдней графѣ таблицы VI, причемъ оказывается, что величины эти отъ 18% до 21% болѣе выведенныхъ на основаніи наблюденій. Въ виду столь точной пропорціональности между обоими рядами сихъ цифръ, полученныхъ разными способами, высказанная выше предположенія относительно величины коэффиціента балласта для типовъ I и IV, а равно относительно теоретическаго опредѣленія наибольшаго давленія на опоры, пріобрѣтаютъ тѣмъ болшую вѣроятность.

Что означенныя давленія получаются вообще больше опредѣленныхъ по наблюденіямъ среднихъ наибольшихъ давленій отъ трехъ колесъ паровоза, является вполне понятнымъ, ежели замѣтимъ, что теоретическая формула выведена была въ предположеніи не трехъ, а безконечнаго числа грузовъ.

Наконецъ ежели обратить вниманіе на то обстоятельство, что въ дѣйствительности разстояніе между осями паровозовъ было въ среднемъ ближе къ утроенному, чѣмъ къ удвоенному между осями шпаль, и на приблизительность избраннаго способа теоретическаго опредѣленія опорнаго давленія, то слѣдуетъ придти къ заключенію, что давленіе это, выведенное на основаніи наблюденій, хорошо согласуется съ теоретическимъ, въ предположеніи статической нагрузки, а потому не обнаруживаетъ увеличенія въ осѣданіи шпаль отъ динамическихъ причинъ, что было уже замѣчено раньше по результатамъ наблюденій надъ осѣданіемъ шпаль при разныхъ скоростяхъ.

Выше (таб. III) произведено было сравненіе осѣданія шпаль всѣхъ типовъ, полученнаго по наблюденіямъ, съ вычисленнымъ по Циммерману, для среднихъ величинъ коэффиціента постели шпаль, при чемъ теоретическіе выводы оказались весьма несходными съ результатами наблюденій.

*) Ast. Les traverses et leur assise. Compte rendu du congrès intern. des ch. de fer. V session.

Между тѣмъ согласно послѣднимъ двумъ графамъ таблицы VI, давленіе рельса, полученное по наблюденіямъ, колеблется для отдѣльных типовъ верхняго строенія въ одинаково тѣсныхъ предѣлахъ, какъ и определенное по теоріи.

Причиною этого являются обнаруженныя наблюденіями разницы въ коэффициентѣ постели шпаль въ зависимости отъ типа верхняго строенія. Разницы эти, измѣняя существенно общую жесткость пути, не могли не вліять на результатъ расчета. Послѣ того какъ онѣ были приняты во вниманіе и давленіе рельса определено для каждаго типа по найденному для него коэффициенту постели шпаль, наблюденіе и теорія привели почти къ тождественнымъ заключеніямъ.

9. Длина рельса и число шпаль, которымъ передается давленіе колеса.

Въ связи съ разсмотрѣннымъ вопросомъ давленія рельса на шпалу интересно обратить вниманіе на длину рельса и число шпаль, которымъ передается давленіе колеса.

Впереди приближающагося поѣзда рельсы вибрируютъ на значительномъ протяженіи, величина котораго зависитъ отъ типа верхняго строенія и скорости приближающагося поѣзда. Затѣмъ, на разстояніи отъ 3 до 6 метровъ отъ передняго колеса, рельсы поднимаются нѣсколько выше первоначальнаго своего положенія и, возвращаясь къ нему на разстояніи отъ 1,5 до 3,5 м. отъ передняго колеса, начинаютъ осѣдать подъ нагрузкою. Осѣданіе шпаль, вслѣдствіе неплотнаго прилеганія къ нимъ рельса, начинается нѣсколько позже. Моментъ, въ который рельсъ и шпалы начинаютъ осѣдать, въ виду медленности осѣданія въ его началѣ, трудно опредѣлить вполне точно. Однакоже не подлежитъ сомнѣнію, что разстояніе передней оси паровоза отъ наблюдаемой точки въ моментъ, когда въ этой же точкѣ начинается осѣданіе рельса или шпалы, весьма часто бываетъ неодинаково для двухъ поѣздовъ, слѣдующихъ за собою и имѣющихъ во главѣ паровозы того же типа.

Обстоятельство это указываетъ на вліяніе случайныхъ причинъ, какъ напр. неодинаковой перегрузки колесъ или измѣненій въ плотности прилеганія рельсовъ къ опорамъ.

Въ результатѣ однакоже разницы въ означенномъ разстояніи, доходившія до 1 м, оказывали лишь незначительное вліяніе при опредѣленіи коэффициента постели. Среднее разстояніе передней оси паровоза отъ наблюдаемой точки въ моментъ, когда въ этой же точкѣ начинается осѣданіе рельса или шпалы, составляло:

Т а б л и ц а VII.

Типъ верхняго строенія.	Расстояніе въ метрахъ передней оси паровоза отъ наблюдаемой точки въ моментъ, когда въ этой точкѣ начинаетъ осѣдать:				Число шпалъ, осѣдающихъ впереди передняго колеса паровоза.	Число шпалъ, которымъ передается давленіе паровоза при разстояніи между крайними его осями равномъ 3,4 м.
	Рельсъ надъ шпалою.		Ш п а л а.			
	Въ среднемъ надъ всеѣми шпалами рельсоваго звена.	Въ среднемъ, за исключеніемъ двухъ крайнихъ шпалъ въ каждомъ концѣ рельса.	Въ среднемъ для всеѣхъ шпалъ рельсоваго звена.	Въ среднемъ, за исключ. 2-хъ крайнихъ шпалъ въ каждомъ концѣ рельса.		
I	2,39	2,49	2,35	2,49	2,9	9,8
II	2,35	2,46	2,21	2,37	3,0	10,2
III	2,14	2,21	2,03	2,09	2,6	9,4
IV	2,07	2,19	1,93	2,06	2,4	8,8
IV ^a	2,21	2,26	2,11	2,22	2,6	9,2
V	2,02	2,14	2,04	2,14	2,9	10,3

Изъ таб. VII оказывается, что шпалы начинаютъ осѣдать впереди паровоза почти на томъ же разстояніи, что и рельсы. Разстояніе это для промежуточныхъ шпалъ и расположенныхъ надъ ними точекъ рельса нѣсколько больше, чѣмъ для стыковыхъ.

Вообще разстояніе это весьма мало измѣняется въ зависимости отъ типа верхняго строенія. Наиболеѣ подходящими для сравненія слѣдуетъ считать цифры графы 5 таб. VII, относящіяся къ осѣданію шпалъ въ средней части звена, гдѣ разстояніе между ними одинаково. Изъ означенныхъ цифръ можно было бы заключать, что разстояніе, на которое распространяется давленіе колеса, при слабомъ типѣ рельса (типы I и V), короткихъ шпалахъ (типы I и II) и податливомъ балластѣ (типы IV^a и V) больше, чѣмъ при тяжелыхъ рельсахъ, уложенныхъ на длинныхъ шпалахъ и мало упругомъ балластѣ (типы III и IV). Тотъ же результатъ получается, ежели принять во вниманіе разстояніе между шпалами и опредѣлить число ихъ, на которое распространяется давленіе передняго колеса. Ежели по этимъ даннымъ вычислить число шпалъ, которымъ передается давленіе паровоза съ разстояніемъ между крайними осями равномъ 3,4 м., служившаго для опредѣленія коэффиціента постели шпалъ, то оказывается, что число это на 1 до 2 шпалъ менѣе того, которое получено было (см. стр. 28) при опредѣленіи означеннаго коэффиціента, т. е. при весьма медленномъ движеніи паровоза. Результатъ этотъ доказываетъ, что при медленномъ надвиганіи нагрузки рельсъ успѣваетъ передать давленіе большому числу шпалъ, чѣмъ при быстромъ; такъ какъ однакоже осѣданіе крайней шпалы вообще весьма незначительно, то обстоятельство

это не оказывает существеннаго вліянiя на величину осѣданiя остальныхъ шпаль.

Обнаруженное наблюденіями Варшавско-Вѣнской жел. дороги незначительное вліянiе типа рельсовъ на длину осѣданiя ихъ подъ давленіемъ передняго колеса подтверждается отчасти наблюденіями Коюара. Послѣдній заключаетъ, правда, что давленіе перваго колеса распредѣляется на тѣмъ большее число шпаль, чѣмъ жестче и длиннѣе рельсъ, однакоже въ подтвержденіе этого приводитъ, что давленіе перваго колеса обнаруживалось осѣданіемъ рельса, при длинѣ его въ 5 м. (на 7 шпалахъ) на протяженіи отъ 1,5 м. до 2,9 м. и при длинѣ 10 м. (на 12 шпалахъ) на протяженіи отъ 1,7 до 3,10 м. передъ колесомъ. При значительныхъ и, какъ видно изъ составленной Коюаромъ таблицы *), весьма неправильныхъ колебаніяхъ въ величинѣ этого протяженіа, сдѣланный Коюаромъ выводъ нельзя признать достаточно обоснованнымъ, тѣмъ болѣе, что число шпаль подъ обоими рельсами, подвергавшимися наблюденію, не было пропорціонально ихъ длинѣ.

10. Разница между осѣданіемъ шпаль и рельсовъ надъ ними.

Во всѣхъ наблюденіяхъ надъ осѣданіемъ шпаль и рельсовъ надъ ними послѣднее получалось нѣсколько больше перваго, что происходитъ очевидно отъ неплотнаго прилеганія рельсовъ къ подкладкамъ и сихъ послѣднихъ къ шпаламъ, а равно отъ сжатія матеріала шпаль.

Разницы эти, какъ видно изъ таб. VIII, колеблются для каждаго изъ типовъ верхняго строенія въ довольно широкихъ предѣлахъ, ибо величина зазоровъ между рельсомъ, подкладкою и шпалою зависитъ отъ разныхъ случайныхъ причинъ, а именно: неровности прикасающихся поверхностей, искривленій рельса и недостаточной добивки костылей, сжимае-

Т а б л и ц а VIII.

Типъ верхняго строенія.	Разница между осѣданіемъ рельса и шпалы въ мм. на тонну давленія колеса паровоза.		
	О т ъ.	Д о.	Въ среднемъ.
I	0,06	0,29	0,157
II	0,04	0,21	0,101
III	0,04	0,15	0,090
IV	0,02	0,26	0,093
IV ^a	0,04	0,16	0,093
IV'	0,00	0,07	0,018

*) Revue gen. des ch. de fer 1887. II p. 365.