

это не оказывает существеннаго вліянiя на величину осѣданiя остальныхъ шпаль.

Обнаруженное наблюденими Варшавско-Вѣнской жел. дороги незначительное вліянiе типа рельсовъ на длину осѣданiя ихъ подъ давленіемъ передняго колеса подтверждается отчасти наблюденими 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 протяженiя, сдѣланный Коюаромъ выводъ нельзя признать достаточно обоснованнымъ, тѣмъ болѣе, что число шпаль подъ обоими рельсами, подвергавшимися наблюдению, 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 прилеганiя рельсовъ къ подкладкамъ и сихъ послѣднихъ къ шпаламъ, а равно отъ сжатiя матеріала шпаль.

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

Т а б л и ц а VIII.

Типъ верхняго строенiя.	Разница между осѣданіемъ рельса и шпалы въ мм. на тонну давленiя 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 ^b	0,00	0,07	0,018

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

мость же шпального дерева измѣняется въ зависимости отъ качества его, продолжительности службы шпалы, влажности ея и проч.

Для выясненія, какая часть общей разницы между осѣданіемъ рельса и шпалы могла произойти отъ сжатія шпалы, опредѣлимъ величину послѣдняго *), принимая коэффициентъ упругости для дуба, при сжатіи перпендикулярно къ волокнамъ, $E'' = 15$ тоннъ на кв. сант.

Давленіе рельса $\frac{P}{G}$ для каждого изъ типовъ верхняго строенія помѣщено въ таб. VI.

Площадь шпалы ω , на которую передавалось означенное давленіе, составляетъ въ типахъ I и V $9,7 \times 15 = 145$ кв. сант. и въ остальныхъ типахъ $19 \times 15 = 285$ кв. сант. Высота шпалы h равна 15 сант.

Сжатіе шпалы на тонну давленія колеса выразится:

$$\delta = \frac{P}{G} \cdot \frac{1}{E''} \cdot \frac{h}{\omega} \dots \dots \dots (11)$$

Опредѣленное по этой формулѣ сжатіе шпалы, а равно за вычетомъ такового остальная часть разницы между осѣданіемъ рельса и шпалы, выражающая существующій между ними зазоръ, показаны въ табл. IX. Въ той же таблицѣ показано, въ послѣдней графѣ, среднее осѣданіе рельса надъ шпалою, непосредственно полученное по наблюденіямъ.

Т а б л и ц а IX.

Типъ верхняго строенія.	Осѣданіе шпалы.	Сжатіе шпалы.	Зазоръ между рельсомъ (подкладкою) и шпалою.	Осѣданіе рельса надъ шпалою.
	къ мм. на тонну давленія колеса паровоза.			
I	0,468	0,030	0,127	0,625
II	0,287	0,014	0,087	0,388
III	0,232	0,014	0,076	0,322
IV	0,237	0,015	0,078	0,330
IV*	0,316	0,015	0,078	0,409
V	0,384	0,028	— 0,010	0,402

Изъ табл. IX оказывается, что для всѣхъ типовъ верхняго строенія съ 12-метровыми рельсами неплотное прилеганіе между рельсомъ, подкладкою и шпалою составляетъ около 0,08 мм. на тонну давленія колеса или абсолютно около $0,08 \times 6,7 \infty \frac{1}{2}$ мм. Въ типѣ V разница

*) Величина сжатія шпалы отъ давленія рельса не могла быть измѣрена непосредственнымъ наблюденіемъ, вслѣдствіе незначительности ея, а равно затруднительности укрѣпленія зеркала въ верхнихъ слояхъ шпалы, подъ рельсомъ.

между осѣданіемъ рельса и шпалы должна быть приписана исключительно лишь сжатію шпаль *), изъ чего слѣдуетъ заключить, что въ этомъ типѣ рельсъ прилегалъ вполне плотно къ шпаламъ, безъ зазора, обнаруженнаго для типовъ II, III, IV и IV^a.

Послѣдніе типы, въ отношеніи прикрѣпленія къ шпалѣ, отличались отъ типа V примѣненіемъ клинообразныхъ подкладокъ на каждой шпалѣ, между тѣмъ какъ въ типѣ V примѣнены были лишь на стыковыхъ шпалахъ плоскія накладки. Поэтому разница въ осѣданіи рельса и шпаль типовъ II, III, IV и IV^a, сверхъ происшедшей отъ сжатія шпаль, должна быть приписана неплотному прилеганію взаимноприкасающихся поверхностей рельса, подкладки и шпалы, избѣжать которое добивкою костылей является труднѣе, чѣмъ въ типѣ V, въ виду бѣльшаго числа и размѣра этихъ поверхностей, а равно бѣльшей жесткости рельса.

Что касается типа I-го, въ которомъ разница между осѣданіемъ рельса и шпаль получена почти вдвое больше, чѣмъ въ типахъ съ клинообразными подкладками, то таковая происходитъ вѣроятно не отъ существованія между рельсомъ и шпалою столь значительнаго зазора, а скорѣе отъ бѣльшей сжимаемости шпаль этого типа, въ сравненіи съ остальными. Какъ упомянуто было выше (см. стр. 18), наблюденія 1897 г. производились сперва надъ существовавшею конструкціею пути, при чемъ 6-ти метровые рельсы укладки 1879 г. положены были на дубовыхъ шпалахъ поставки 1890 г., т. е. пролежавшихъ 7 лѣтъ въ пути. При значительномъ въ этомъ типѣ давленіи рельса на шпалу (см. табл. VI) и малой поверхности, на которую оно распредѣлялось, большое сжатіе шпалы является вполне естественнымъ.

11. Осѣданіе и прогибъ рельса между шпалами.

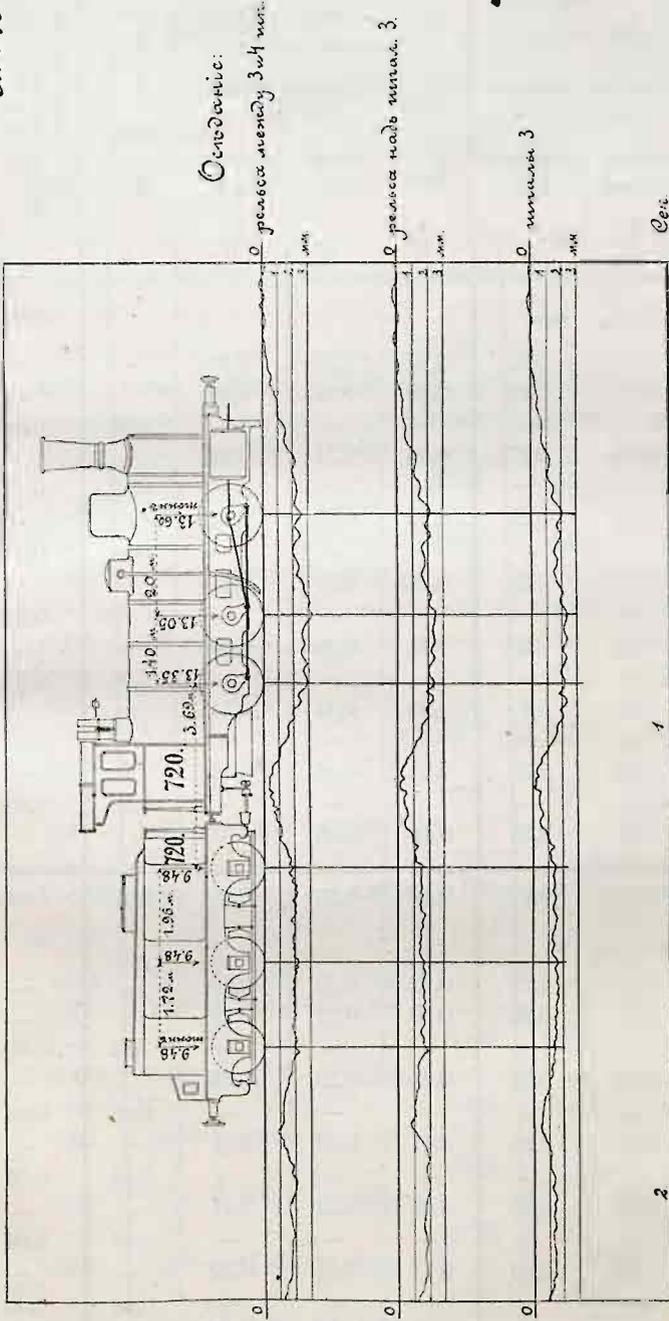
Осѣданіе рельса между шпалами по отношенію къ осѣданію шпаль и рельса надъ ними было наблюдаемо на протяженіи отъ 1-й до 9-й шпалы для типа IV^a и отъ 1-й до 7-й для типа V. Образцы полученныхъ діаграммъ показаны на черт. 31 и 32, общіе же результаты помѣщены въ табл. X.

За неизмѣненіемъ третьяго аппарата, осѣданіе рельса надъ двумя опорами и по серединѣ между ними не могло быть наблюдаемо одновременно, вслѣдствіе чего точность опредѣленія стрѣлы прогиба рельса между опорами можетъ быть оспариваема, ибо въ промежутокъ времени между двумя послѣдовательными перестановками аппаратовъ осѣдаемость шпаль могла измѣниться. Съ цѣлью возможнаго уменьшенія погрѣшно-

*) Разница между осѣданіемъ рельса и шпалы получена даже нѣсколько менѣе величины сжатія шпалы, что, какъ увидимъ ниже, произошло отъ вращенія рельса около продольной оси во внутрь колесъ.

чательной вывѣрки пути, то слѣдуетъ предполагать, что измѣненія въ осѣданіи отдѣльныхъ шпалъ отъ одного наблюденія къ слѣдующему были

№ 345



Черт. 32.— Осѣданіе рельса между шпалами 3-ей и 4-ой, а равно осѣданіе шпалы 3-ей и рельса надъ нею. Скорость поѣзда 36 км. въ часъ. Верхнее строеніе типа V.

незначительны. Наконецъ слѣдуетъ замѣтить, что такъ какъ стрѣла прогиба была опредѣляема въ видѣ разности осѣданія рельса между двумя

Т а б л и ц а X.

Подъ паровозомъ.

№№ шпалъ.	Осѣданіе шпалы при положеніи колеса:			Осѣданіе рельса						
	надъ шпалою.	между данною шпалою и		надъ шпалами при положеніи колеса:			между шпалами; наибольшее.	Разница наибольшаго осѣданія рельса между и надъ шпалами.	Стрѣла наибольшаго прогиба рельса между двумя шпалами.	Поднятіе рельса надъ серединою шпалы при положеніи колеса между шпалами.
		предъидущую.	послѣдующую.	надъ шпалою.	между данною шпалою и					
					предъидущую.	послѣдующую.				
$\frac{y_r}{G}$	$\frac{y'_r}{G}$	$\frac{y''_r}{G}$	$\frac{z}{G}$	$\frac{z'}{G}$	$\frac{z''}{G}$	$\frac{z_0}{G}$	$\frac{z_0 - z}{G}$	$\frac{\delta}{G}$	$\frac{\gamma}{G}$	
Т и п ъ IV^a.										
1	0,30	0,25	0,22	0,39	0,32	0,29	—	—	—	0,02
2	0,26	0,17	0,19	0,36	0,21	0,25	—	—	—	0,05
2—3	—	—	—	—	—	—	0,35	0,01	0,10	—
3	0,32	0,21	0,27	0,36	0,21	0,29	—	—	—	0,035
3—4	—	—	—	—	—	—	0,37	0,025	0,11	—
4	0,29	0,23	0,26	0,33	0,25	0,31	—	—	—	0,005
4—5	—	—	—	—	—	—	0,41	0,037	0,11	—
5	0,35	0,26	0,28	0,475	0,39	0,41	—	—	—	—0,005
5—6	—	—	—	—	—	—	0,505	0,058	0,12	—
6	0,27	0,24	0,25	0,42	0,39	0,38	—	—	—	0,01
6—7	—	—	—	—	—	—	0,56	0,10	0,145	—
7	0,44	0,37	0,40	0,50	0,44	0,44	—	—	—	0,005
7—8	—	—	—	—	—	—	0,61	0,07	0,15	—
8	0,42	0,33	0,33	0,58	0,46	0,46	—	—	—	0,03
8—9	—	—	—	—	—	—	0,50	0,005	0,105	—
9	0,29	0,27	0,25	0,41	0,36	0,33	—	—	—	0,035
	0,327	0,259	0,272	0,425	0,337	0,351	0,477	0,044	0,122	0,021
Т и п ъ V.										
1	0,25	0,25	0,22	0,32	0,29	0,29	—	—	—	0,015
2	0,28	0,27	0,24	0,30	0,27	0,29	—	—	—	—0,005
2—3	—	—	—	—	—	—	0,34	0,015	0,04	—
3	0,33	0,28	0,32	0,35	0,29	0,33	—	—	—	0,01
3—4	—	—	—	—	—	—	0,42	0,01	0,09	—
4	0,41	0,32	0,36	0,41	0,32	0,37	—	—	—	—0,005
4—5	—	—	—	—	—	—	0,48	0,04	0,115	—
5	0,45	0,37	0,40	0,47	0,39	0,41	—	—	—	—0,005
5—6	—	—	—	—	—	—	0,48	0,04	0,09	—
6	0,41	0,39	0,39	0,41	0,40	0,39	—	—	—	—0,005
6—7	—	—	—	—	—	—	0,48	0,06	0,095	—
7	0,43	0,34	0,37	0,43	0,35	0,37	—	—	—	—0,005
	0,366	0,317	0,329	0,385	0,330	0,350	0,440	0,039	0,086	0,000

Подъ тендеромъ *).

№№ шпалъ.	Осѣданіе шпалы при положеніи колеса:			Осѣданіе рельса						
	надъ шпалою.	между данною шпалою и		надъ шпалами при положеніи колеса:			между шпалами; наибольшее.	Разница наибольшаго осѣданія рельса между и надъ шпалами.	Стрѣла наибольшаго прогиба рельса между двумя шпалами.	Поднятіе рельса надъ серединою шпалы при положеніи колеса между шпалами.
		предъидущую.	послѣдующую.	надъ шпалою.	между данною шпалою и					
					предъидущую.	послѣдующую.				
$\frac{y_r}{G}$	$\frac{y'_r}{G}$	$\frac{y''_r}{G}$	$\frac{z}{G}$	$\frac{z'}{G}$	$\frac{z''}{G}$	$\frac{z_0}{G}$	$\frac{z_0 - z}{G}$	$\frac{\delta}{G}$	$\frac{\gamma}{G}$	
Т и п ъ IV^a.										
1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2	0,345	0,25	0,27	0,51	0,345	0,39	—	—	—	0,055
2—3	—	—	—	—	—	—	0,545	0,065	0,165	—
3	0,385	0,27	0,36	0,45	0,305	0,415	—	—	—	0,02
3—4	—	—	—	—	—	—	0,545	0,04	0,155	—
4	0,465	0,36	0,415	0,56	0,48	0,48	—	—	—	0,005
4—5	—	—	—	—	—	—	0,655	0,000	0,085	—
5	0,495	0,36	0,44	0,75	0,615	0,655	—	—	—	0,02
5—6	—	—	—	—	—	—	0,74	0,061	0,16	—
6	0,28	0,225	0,265	0,585	0,52	0,545	—	—	—	0,02
6—7	—	—	—	—	—	—	0,705	0,005	0,095	—
7	0,735	0,665	0,64	0,815	0,72	0,705	—	—	—	0,02
7—8	—	—	—	—	—	—	0,935	0,06	0,20	—
8	0,68	0,44	0,575	0,985	0,655	0,745	—	—	—	0,065
8—9	—	—	—	—	—	—	0,85	0,04	0,24	—
9	0,52	0,345	0,40	0,68	0,465	0,56	—	—	—	0,02
	0,487	0,365	0,420	0,662	0,514	0,563	0,710	0,039	0,157	0,032
Т и п ъ V.										
1	0,28	0,28	0,255	0,375	0,335	0,305	—	—	—	0,04
2	0,375	0,375	0,32	0,40	0,375	0,335	—	—	—	0,02
2—3	—	—	—	—	—	—	0,455	0,025	0,02	—
3	0,425	0,345	0,455	0,455	0,375	0,495	—	—	—	—0,005
3—4	—	—	—	—	—	—	0,615	0,055	0,165	—
4	0,68	0,545	0,52	0,665	0,545	0,52	—	—	—	—0,015
4—5	—	—	—	—	—	—	0,695	0,005	0,075	—
5	0,72	0,615	0,68	0,72	0,655	0,695	—	—	—	—0,025
5—6	—	—	—	—	—	—	0,785	0,14	0,18	—
6	0,56	0,455	0,56	0,575	0,465	0,56	—	—	—	0,005
6—7	—	—	—	—	—	—	0,68	0,055	0,145	—
7	0,655	0,56	0,585	0,68	0,575	0,60	—	—	—	0,01
	0,528	0,453	0,482	0,553	0,476	0,502	0,646	0,056	0,117	0,004

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

шпалами и полусуммы осѣданія его надъ ними, то неточности въ опредѣленіи осѣданія одной изъ шпаль могли оказать вліяніе на величину стрѣлы прогиба лишь въ половинномъ размѣрѣ. Осѣданіе шпалы и рельса надъ нею при положеніи колеса между данною шпалою и смежною съ нею предъидущею или послѣдующею по направленію движенія, опредѣлялось, проводя на діаграммахъ ординаты въ разстояніи отъ ординаты наибольшаго прогиба, равномъ полуразстоянію между осями шпаль *).

Изъ разсмотрѣнія табл. X въ отношеніи прогибовъ подъ осями паровоза **) оказывается, что средняя стрѣла прогиба рельса составляетъ въ типѣ IV^a. 0,122 мм. и въ типѣ V. 0,086 мм. на тонну давленія колеса паровоза.

Замѣчая, что равномерное распределеніе шпаль начинается лишь со шпалы 3, та же средняя стрѣла получается для типа IV^a, при разстояніи между шпалами 85 см., 0,125 мм., а для типа V, при разстояніи между шпалами 75 см., 0,10 мм. на тонну давленія колеса.

Для сравненія этихъ результатовъ съ теоретическими выводами воспользуемся формулою Циммермана для стрѣлы прогиба бруса, опирающагося на четырехъ упругихъ опорахъ и нагруженнаго по серединѣ средняго пролета одиночнымъ грузомъ G ***).

Стрѣла прогиба въ среднемъ пролетѣ, въ точкѣ приложенія груза, составляетъ въ этомъ случаѣ на единицу вѣса груза

$$\frac{\delta}{G} = \frac{20 \gamma + 11}{16 (4 \gamma + 10) B} \dots \dots \dots (12)$$

Такъ какъ моментъ инерціи рельса вѣсомъ 38 кгр. въ пог. метрѣ (типъ IV^a) равенъ 1141 см.⁴ и рельса вѣсомъ 31,45 кгр. въ пог. метрѣ (типъ V), 768 см.⁴, то принимая $E = 2000$ тоннъ на кв. см. получается:

для типа IV^a. $B = 22,3$ тонны
 » » V $B = 21,8$ »

Величина D можетъ быть опредѣлена по наблюденіямъ на основаніи

*) Такъ какъ шпалы были нумерованы по направленію шкетажка, т. е. отъ Варшавы, движеніе же поѣздовъ происходило по обратному направленію, то для движущагося поѣзда, согласно обозначенію, принятому въ таблицѣ X, предъидущею по отношенію, напр., къ шпаль 6-й является шпала 7.

**) Нѣкоторыя цифры таблицы X, относящіяся къ наибольшему осѣданію шпаль, разнятся отъ соответственныхъ цифръ таблицы II, которыя выведены были изъ значительно большаго числа наблюденій.

***) Этотъ случай нагрузки даетъ для наибольшихъ моментовъ большія значенія, чѣмъ случай балки на многихъ опорахъ, нагруженной тремя грузами, при разстояніи между ними равномъ отъ 2 до 3 разъ взятому разстоянію между опорами. См. А. А. Холодецкий. Исслѣдованіе вліянія внѣшнихъ силъ на верхнее строеніе желѣзнодорожнаго пути. Кіевъ 1897.

для типа IV^a. . . $\frac{1}{D} = \frac{1}{13,7} + \frac{1}{46,2} = \frac{1}{10,5}$; $\gamma = \frac{22,3}{10,5} = 2,12$

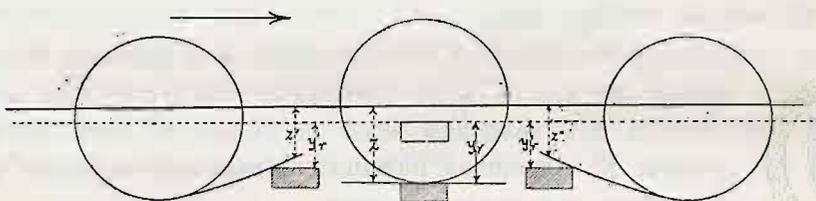
» » V. . . $\frac{1}{D} = \frac{1}{10,6} + \frac{1}{222} = \frac{1}{10,2}$; $\gamma = \frac{21,8}{10,2} = 2,14$

стрѣлы прогиба рельса получаются соответственно:

для типа IV^a. . . . $\frac{\delta}{G} = 0,0081$

» » V. . . . $\frac{\delta}{G} = 0,0083$

Хотя со введеніемъ этой поправки теоретическая величина стрѣлы прогиба рельса подъ давленіемъ паровоза приблизилась въ типѣ IV^a къ найденной по наблюденіямъ, тѣмъ не менѣе она не превзошла такой же стрѣлы, вычисленной для типа V. Большая стрѣла прогиба рельса въ типѣ IV^a въ сравненіи съ типомъ V тѣмъ менѣе понятна, что въ пер-



Черт. 33^a. — Поднятіе рельса надъ опорами.

вомъ изъ нихъ рельсъ былъ уложенъ на подкладкахъ, препятствовавшихъ вдавленію его въ шпалу при изгибѣ, вслѣдствіе чего точки опоры рельса должны были приблизиться къ краямъ шпаль, т. е. нагруженный пролетъ уменьшится.

Что означенное явленіе дѣйствительно имѣло мѣсто, можно убѣдиться на основаніи слѣдующихъ соображеній.

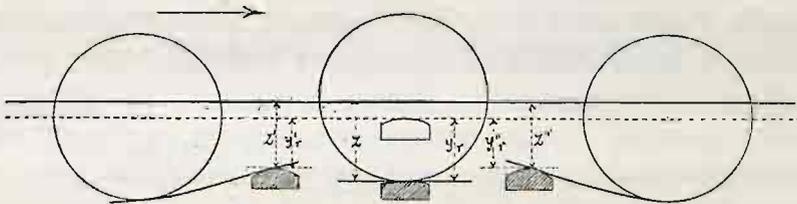
Обозначимъ (черт. 33^a) черезъ y_r , y' и y'' , осѣданіе шпалы, соотвѣтствующее положенію колеса непосредственно надъ нею, а равно по срединѣ между нею и смежными предъидущею и послѣдующею шпалами. Соотвѣтственныя величины осѣданія рельса пусть будутъ z , z' и z'' .

Ежели поднятіе рельса надъ опорой, при положеніи колеса въ смежныхъ съ нею пролетахъ, дѣйствительно существуетъ, то разница между осѣданіемъ рельса и шпалы, составлявшая при положеніи колеса надъ шпалой $z - y$, должна вслѣдствіе этого уменьшиться до $z' - y'$ и $z'' - y''$, поднятіе же рельса надъ шпалой ζ выразится соотвѣтственно:

$$\left. \begin{aligned} \zeta' &= z - y_r - (z' - y'_r) \\ \zeta'' &= z - y_r - (z'' - y''_r) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (14)$$

Изъ таблицы X явствуетъ, что означенное поднятіе рельса надъ опорою дѣйствительно происходитъ въ типѣ IV^a и составляетъ въ среднемъ 0,021 мм. на тонну давленія колеса паровоза. Напротивъ того, въ типѣ V рельсъ сохраняетъ по серединѣ ширины шпалы относительное положеніе свое къ опорѣ при любомъ положеніи колеса, ибо мелкія и взаимно компенсирующіяся значенія ζ (за исключеніемъ стыковой шпалы 1, на которой имѣлась подкладка), слѣдуетъ приписать лишь неточностямъ въ измѣреніи ординатъ на диаграммахъ. Такой результатъ наблюденія для рельса, уложеннаго безъ подкладокъ, легко объясняется смятіемъ кромокъ шпалъ при изгибѣ рельса (черт. 33^b).

Возвращаясь къ величинѣ стрѣлы прогиба рельса въ типѣ IV^a слѣдуетъ придти къ заключенію, что на большую величину ея въ сравненіи съ типомъ V должны были повліять особыя, пока не выясненныя причины.



Черт. 33^b.

Въ числѣ послѣднихъ можно предполагать существованіе разницъ въ величинѣ коэффициента упругости рельсовой стали. Коэффициентъ этотъ получень былъ разными наблюдателями въ предѣлахъ отъ 1.700 до 2.200 тоннъ на кв. см. Въ расчетахъ, приведенныхъ выше, таковой былъ принятъ равнымъ 2.000 тоннъ. Ежели-бы коэффициентъ упругости рельсовой стали въ типѣ IV^a составлялъ не 2.000, а 1.700 тоннъ, то стрѣла прогиба рельсовъ увеличилась-бы отъ этого на 10%.

Всего вѣроятнѣе, наконецъ, является предположеніе, что стрѣлы прогиба, найденныя въ пролетахъ 6—7 и 7—8 типа IV^a, будучи значительно больше чѣмъ въ смежныхъ, составляютъ лишь случайныя отклоненія, происшедшія отъ большой осѣдаемости шпалъ 7 и 8.

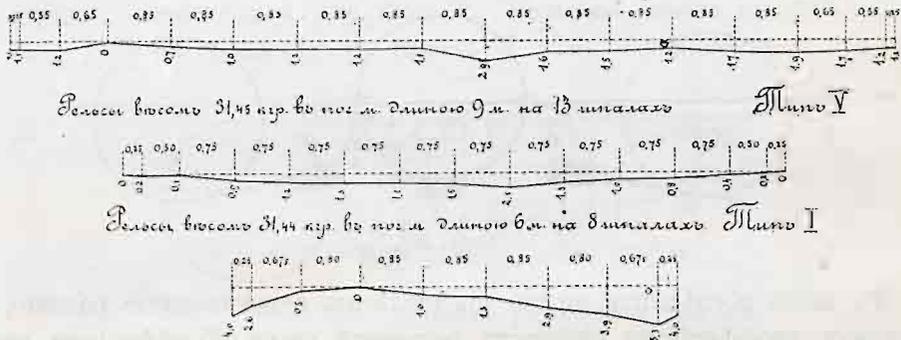
Послѣдняя могла произойти не только отъ болѣе слабой подбивки этихъ шпалъ, но и отъ не вполне одинаковыхъ, въ сравненіи съ другими шпалами, условій, въ которыхъ онѣ могли находиться по отношенію къ дѣйствующей, хотя бы статически, нагрузкѣ.

Допуская даже, что вполне прямолинейная выправка рельсовъ возможна на заводѣ, таковыя рѣдко когда-либо попадаютъ на линію въ такомъ видѣ. Отклоненія отъ прямой линіи въ 2—3 миллим. существуютъ почти въ каждомъ рельсѣ, въ особенности при большой длинѣ его,

а потому не смотря на тщательный выбор рельсовъ, предназначенныхъ для наблюдательнаго участка, отклоненія эти и въ нихъ не могли быть избѣгнуты. Измѣренія отклоненій рельса отъ прямой линіи въ вертикальной плоскости, производившіяся для всѣхъ рельсовъ наблюдательнаго участка, обнаружили, что рельсы, къ которымъ относятся наблюденія, послужившія для составленія таблицъ II и X. имѣли въ пути видъ показанный на черт. 34.

Отклоненія эти, хотя столь незначительныя, могутъ очевидно имѣть вліяніе на распредѣленіе нагрузки по отдѣльнымъ осямъ трехъ-оснаго паровоза или вагона, даже въ состояніи покоя. Во время движенія вліяніе этихъ неровностей должно обнаруживаться значительно сильнѣе, а потому

Рельсъ вѣсомъ 38 кгр. въ пог. м. длиною 12 м. на 16-ти шпалахъ. Типъ IV^a.



Черт. 34.—Продольный профиль головки рельсовъ, подвергавшихся наблюденію.

углубленіе рельса, замѣтное на черт. 34^a у шпалы 8, не могло не отразиться на осѣданіи таковой и слѣдующей за нею по направленію движенія шпалы 7, а равно на прогибѣ рельса въ этомъ мѣстѣ.

На основаніи этихъ соображеній, ограничивая наблюденія стрѣлы прогиба рельсовъ къ частямъ ихъ наиболѣе прямолинейнымъ и равномѣрно осѣдавшимъ на опорахъ, слѣдовало-бы придти къ заключенію, что таковая составляла для типовъ IV^a и V подѣ давленіемъ паровоза около 0,10 до 0,11 мм. вмѣсто опредѣленной по расчету въ 0,08 мм. на тонну давленія колеса т. е. на 25% до 40% болѣе послѣдней.

Однакоже опредѣленная выше теоретическая стрѣла прогиба отъ статической нагрузки выведена была въ предположеніи дѣйствія одного лишь сосредоточеннаго груза, въ случаѣ же дѣйствія системы грузовъ величина ея должна еще уменьшиться, а слѣдовательно опредѣленная на основаніи сравненія ея со стрѣлою прогиба по наблюденіямъ динамическая нагрузка увеличиться.

Согласно выводам инженера Холодецкого *) наибольшие моменты от системы трех грузов, действующих на многопролетную балку на упругих опорах, уменьшаются с уменьшением расстояния между грузами и, при величинъ его равной от 2-хъ до 3-хъ разъ взятому расстоянiю между опорами, а также при измененiи γ отъ 1 до 2, на 5% до 21% меньше наибольшаго момента для случая балки на четырехъ опорахъ, нагруженной однимъ лишь сосредоточеннымъ грузомъ.

По Асту **) соседство другаго равнаго груза въ разстоянiи равномъ утроенному разстоянiю между опорами, уменьшаетъ стрѣлу прогиба подь первымъ (въ случаѣ балки на 7-ми опорахъ и при $\gamma = 1$ до 2) на 9% до 20%.

Въ виду этихъ соображенiй среднее динамическое давленiе паровозныхъ колесъ, опредѣленное выше на основанiи стрѣлъ прогиба рельса равнымъ отъ 1,25 до 1,4 статическаго, должно быть увеличено примѣрно на 15% и получается тогда равнымъ 1,44 до 1,6 статическаго давленiя.

Результатъ этотъ находится повидимому въ противорѣчiи съ результатами наблюденiй надъ осѣданiемъ шпаль, не обнаружившими вовсе динамическаго увеличенiя давленiя паровозныхъ колесъ. Однакоже противорѣчiе это лишь кажущееся, ибо необходимо замѣтить, что моментъ наибольшаго осѣданiя шпаль вовсе не совпадаетъ съ моментомъ наибольшаго прогиба рельса и потому приращенiе давленiя, обнаруживающееся при нахожденiи колеса между шпалами, можетъ исчезать при вступленiи колеса на таковыя. Ежели-бы напр. увеличенiе стрѣлы прогиба рельса при динамической нагрузкѣ, какъ предполагаютъ нѣкоторые, являлось послѣдствиемъ центробѣжной силы, то очевидно причина эта не имѣла-бы мѣста надъ опорами, а лишь въ пролетахъ.

Приведенные выше результаты подтверждаются вообще наблюденiями, произведенными на другихъ дорогахъ.

По наблюденiямъ Гентшеля и Коюара осѣданiе шпаль съ увеличенiемъ скорости не увеличивается, а скорѣе уменьшается. Напротивъ того, прогибы рельса между шпалами по наблюденiямъ Коюара увеличиваются почти пропорционально скорости.

На основанiи наблюденiй Флямаша Астъ выводитъ, что осѣданiе шпаль подь паровозомъ было при этихъ наблюденiяхъ въ 1,1—1,6 больше получающагося по расчету. Такъ какъ однакоже коэффициентъ балласта, при которомъ производились означенныя наблюденiя, опредѣляемъ не былъ, то выводъ этотъ является лишь гипотетическимъ.

*) А. А. Холодецкий. Исслѣдованiе влiянiя вѣшнихъ силъ на верхнее строенiе желѣзнодорожнаго пути. Кiевъ 1897 г. стр. 56.

**) Comptes rendus du congrès intern. des ch. de fer. IV^e session. V. A. p. 398.

Такимъ образомъ разницы въ осѣданіи рельса между шпалами и надъ ними получены по наблюденіямъ въ 2,2 — 2,6 раза больше теоретическихъ, тѣмъ не менѣ абсолютная величина ихъ, принимая среднее давленіе колеса паровоза въ 6,7 тонны, не превосходитъ $0,044 \cdot 6,7 = 0,3$ мм.

Величина эта является ничтожною въ сравненіи съ другими причинами, производящими вертикальныя колебанія центра тяжести подвижнаго состава, а именно съ неточностью укладки пути, неодинаковымъ осѣданіемъ шпаль, неправильностями обточки или износа бандажей, игрою рессоръ и проч.

Слѣдуетъ отмѣтить еще одно явленіе, обнаруживаемое таблицею X, а именно, что осѣданіе шпаль и рельса надъ ними получается всегда больше, когда колесо находится по серединѣ между данною шпалою и предъидущею, чѣмъ между тою же шпалою и послѣдующею, по направленію движенія. Вѣроятно оно должно быть приписано особенностямъ динамическаго дѣйствія системы грузовъ и находится въ зависимости отъ продолжительности дѣйствія каждаго изъ сосредоточенныхъ грузовъ на осѣданіе шпалы.

12. Постоянная и случайная перегрузка и разгрузка паровозныхъ колесъ.

Ежели для каждой изъ осей трехъ-осныхъ паровозовъ вывести осѣданіе шпаль и рельса надъ ними на тонну давленія колеса, то осѣданіе это не для всѣхъ осей одинаково. Процентное отношеніе осѣданія подъ каждою изъ осей къ среднему осѣданію подъ тремя осями показано въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Т а б л и ц а X I.

Типъ верхняго строенія.	Осѣданіе подъ отдѣльными осями паровоза, въ процентахъ отъ средняго осѣданія на тонну давленія колеса.					
	Ш п а л ь.			Р е л ь с о в ь.		
	I	II	III	I	II	III
I	93	102	105	93	102	105
II	94	103	103	95	103	102
III	97	103	100	96	103	101
IV	94	104	102	93	104	103
IV ^a	94	107	99	94	105	101
V	95	105	100	95	105	100
	94,5	104,0	101,5	94,3	103,7	102

Неодинаковое для каждого из колесъ осѣданіе на тонну статическаго его давленія не происходитъ отъ положенія колеса съ краю или по серединѣ между двумя другими, ибо осѣданіе это получается для всѣхъ типовъ трехъ-осныхъ паровозовъ подъ переднимъ колесомъ значительно меньше, чѣмъ подъ заднимъ, хотя въ промежутокъ между паровозомъ и тендеромъ, въ особенности товарными (черт. 26, 27 и 28), путь почти совершенно возвращается въ первоначальное положеніе, а слѣдовательно тендерныя колеса не вліяютъ на осѣданіе пути подъ паровозомъ. Означенныя разницы въ осѣданіи не могутъ происходить тоже отъ неодинаковаго дѣйствія колесъ ведущихъ и поддерживающихъ, ибо онѣ замѣчались подъ товарными паровозами, въ которыхъ всѣ три оси ведущія, равно какъ и подъ пассажирскими съ двумя лишь задними ведущими осями. Въ виду вышеизложеннаго изъ таблицы XI, дающей столь близкія къ себѣ цифры для всѣхъ типовъ верхняго строенія, слѣдуетъ заключить, что неодинаковое динамическое дѣйствіе колесъ трехъ-осныхъ паровозовъ должно быть приписано самому движущему механизму и вызываемой имъ разгрузки переднихъ и перегрузки заднихъ осей.

Коюаръ на основаніи своихъ наблюденій заключаетъ, что первыя шпалы рельсоваго звена осѣдаютъ больше, чѣмъ послѣднія и что вслѣдствіе этого каждый рельсъ образуетъ какъ бы наклонную плоскость, по которой взбирается паровозъ.

Изъ наблюденій Варшавско-Вѣнской желѣзной дороги нельзя заключать о существованіи подобнаго рода явленія. Въ осѣданіи отдѣльных шпалъ замѣчаются болѣе или менѣе значительныя разницы, однакоже причина таковыхъ должна быть главнымъ образомъ приписана неравномѣрности ихъ подбивки, а равно случайнымъ неисправностямъ пути. Такъ напр. въ типѣ IV всѣ шпалы осѣдали почти одинаково, между тѣмъ въ типѣ IV *a*, отличавшемся лишь качествомъ балласта, среднія шпалы осѣдали болѣе крайнихъ, что по всему вѣроятію произошло лишь отъ нѣсколько болѣе сильной подбивки послѣднихъ.

Ежели однакоже представимъ себѣ движеніе паровоза по пути, отвѣчающему условіямъ верхняго строенія типа IV, т. е. съ одинаковою осѣдаемостью всѣхъ шпалъ и предположимъ, что нагрузка всѣхъ трехъ осей паровоза одинакова, то принимая во вниманіе результаты, приведенные въ таблицѣ XI, обнаруживающіе постоянную перегрузку заднихъ осей, слѣдуетъ придти къ заключенію, что паровозъ этотъ будетъ дѣйствительно двигаться какъ бы по наклонной плоскости. Тѣмъ не менѣе изъ наблюденій Варшавско-Вѣнской жел. дороги явствуетъ, что явленіе это должно быть приписано не конструкціи пути, а паровоза, и оно также само будетъ имѣть мѣсто въ случаѣ, ежели статическая нагрузка осей паровоза увеличивается отъ переднихъ колесъ къ заднимъ.

Однакоже отъ замѣченнаго большаго динамическаго дѣйствія заднихъ колесъ паровоза въ сравненіи съ передними получается разница въ ихъ давленіи не болѣе 10%. Между тѣмъ, какъ видно изъ приложенныхъ таблицъ, разницы въ осѣдаемости отдѣльныхъ шпаль колеблются отъ разныхъ случайныхъ причинъ, даже при вполнѣ исправномъ состояніи пути, въ значительно бѣльшихъ предѣлахъ. Равнымъ образомъ статическая нагрузка отдѣльныхъ осей паровоза разнится иногда на 50% и болѣе. Вслѣдствіе этого разницы въ осѣданіи пути, происшедшія отъ неодинаковаго динамическаго дѣйствія паровозныхъ колесъ, исчезаютъ среди болѣе крупныхъ неровностей въ пути слѣдованія паровоза и идеальный наклонъ рельсовъ къ задней части паровоза въ дѣйствительности не существуетъ.

Слѣдуетъ замѣтить, что обнаруженная наблюденіями Варшавско-Вѣнской жел. дороги разгрузка переднихъ колесъ трехъ-осныхъ паровозовъ свойственна не всѣмъ паровозамъ съ этимъ числомъ осей, ибо напр. въ наблюденіяхъ инж. Стецевича переднія колеса трехъ-осныхъ паровозовъ оказывались всегда перегруженными.

Наибольшія замѣченныя отклоненія въ осѣданіи рельсовъ надъ шпалами подъ отдѣльными колесами (на тонну давленія колеса), въ процентахъ отъ средняго осѣданія подъ всѣми колесами того же паровоза, показаны въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Т а б л и ц а XII.

Типъ верхняго строенія.	Наибольшее осѣданіе рельса подъ колесомъ паровоза.	
	Больше средняго %	Меньше средняго %
I	17	37
II	25	23
III	33	36
IV	23	26
IV ^a	19	25
V	18	20

Большія отклоненія въ осѣданіи подъ отдѣльными колесами замѣчались безразлично, какъ при большихъ, такъ и при малыхъ скоростяхъ. Въ одномъ и томъ же мѣстѣ пути разницы въ осѣданіи подъ отдѣльными колесами паровоза измѣнялись отъ одного поѣзда къ другому въ весьма широкихъ предѣлахъ. Въ виду этого, отклоненія эти должны быть приписаны не скорости движенія и не состоянію пути, а случайной перегрузкѣ колесъ отъ игры рессоръ.

13. Динамическое дѣйствіе тендерныхъ колесъ.

Всѣ предшествовавшія разсужденія относились исключительно къ деформациямъ подъ давленіемъ паровоза. Этотъ родъ нагрузки былъ предпочтительно разсматриваемъ не только въ виду абсолютно наибольшихъ величинъ производимыхъ ею деформаций, но также въ виду обстоятельства, что величина статической нагрузки колеса паровоза подвержена наименьшимъ измѣненіямъ.

Вѣсъ паровоза опредѣленнаго типа въ рабочемъ состояніи колеблется въ очень незначительныхъ предѣлахъ, преимущественно въ зависимости отъ уровня воды въ котлѣ, измѣненія котораго не превышаютъ обыкновенно 10—20 сантиметровъ. Напротивъ того, вѣсъ тендера и вагоновъ, а равно, при данномъ вѣсѣ ихъ, распредѣленіе нагрузки на отдѣльныя оси и даже колеса, подвержены весьма большимъ измѣненіямъ и точное опредѣленіе ихъ сопряжено съ большими затрудненіями, не говоря о томъ, что изъятіе тендера или вагоновъ изъ поѣздовъ для производства послѣдняго, въ виду условій эксплуатаціи, практически неосуществимо.

Для возможности однакоже судить о вліяніи тендерныхъ колесъ на величину деформаций опредѣленъ былъ въ 1898 г. приблизительный вѣсъ тендеровъ разныхъ типовъ въ томъ состояніи нагрузки, въ которомъ таковые проходили по наблюдательному участку. При этомъ оказалось, что вѣсъ этотъ составляетъ около 75% полного вѣса тендера въ рабочемъ состояніи.

Вычисленныя на этомъ основаніи величины средняго наибольшаго осѣданія шпаль подъ нагрузкою тендеровъ, въ сравненіи съ найденнымъ для паровозовъ, приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Т а б л и ц а XIII.

	Средня наибольшія осѣданія шпаль на тонну давленія колеса, для типовъ верхн. строенія:					
	I	II	III	IV	IV ^a	V
Подъ паровозомъ	0,468	0,287	0,232	0,237	0,316	0,384
Подъ тендеромъ	0,687	0,441	0,293	0,315	0,447	0,562
(Въ состояніи нагрузки, соответствующемъ $\frac{3}{4}$ полного вѣса тендера въ рабочемъ состояніи).						
Осѣданіе на тонну давленія колеса больше подъ тендеромъ, чѣмъ подъ паровозомъ, въ %	46	54	26	34	41	46

За исключеніемъ большой разницы въ дѣйствіи паровозныхъ и тендерныхъ колесъ въ типѣ II, которая должна быть приписана менѣе исправ-

ному состоянію пути, обнаружившемуся неравномернымъ осѣданіемъ шпаль этого типа (см. табл. II), слѣдуетъ вообще заключить изъ цифръ таблицы XIII, что увеличеніе динамическаго дѣйствія тендерныхъ колесъ въ сравненіи съ паровозными находится въ зависимости отъ жесткости пути, т. е. отъ коэффиціента балласта, длины шпаль и ихъ разстоянія, типа рельсовъ и проч., каковая жесткость характеризуется цифрами первой строки означенной таблицы.

Изъ той же таблицы оказывается, что увеличеніе осѣданія шпаль на тонну статической нагрузки, вызванное бѣльшимъ динамическимъ дѣйствіемъ тендерныхъ колесъ въ сравненіи съ паровозными, колеблется по наблюденіямъ въ предѣлахъ отъ 26 до 54%.

Слѣдуетъ замѣтить, что у тендеровъ, обращающихся по наблюдательному участку, всѣ оси были тормазныя.

Аналогичные результаты получаются изъ сравненія величинъ осѣданія и прогиба рельса для тендера и паровоза, помѣщенныхъ въ таблицѣ XIV.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ выражено въ процентахъ увеличеніе осѣданія и прогиба рельса на тонну статической нагрузки, полученное отъ бѣльшаго динамическаго дѣйствія тендерныхъ колесъ въ сравненіи съ паровозными.

Т а б л и ц а XIV.

	Среднее наибольшее осѣданіе рельса.		Стрѣла наибольшаго прогиба рельса между шпалами.
	Надъ шпалами.	Между шпалами.	
	Въ миллиметр. на тонну давленія колеса.		
Т и п ъ IV^a.			
Подъ паровозомъ	0,425	0,477	0,122
Подъ тендеромъ	0,662	0,710	0,157
Подъ тендеромъ больше, чѣмъ подъ паровозомъ, въ %	56	49	24
Т и п ъ V.			
Подъ паровозомъ.	0,385	0,440	0,086
Подъ тендеромъ	0,553	0,646	0,117
Подъ тендеромъ больше, чѣмъ подъ паровозомъ, въ %	44	47	36

Разница въ динамическомъ дѣйствіи тендерныхъ и паровозныхъ колесъ на осѣданіе рельса надъ шпалами и между ними колеблется почти въ тѣхъ же предѣлахъ, которые были опредѣлены изъ осѣданія шпаль, происшедшее же отъ той же причины увеличеніе стрѣлы прогиба рельса между шпалами не превосходитъ 36%.

Изъ вышеизложеннаго оказывается, что динамическое дѣйствіе тендерныхъ колесъ обнаруживается иначе, чѣмъ паровозныхъ, а именно увеличиваетъ не только осѣданіе рельса между шпалами, но и осѣданіе шпаль, а равно рельса надъ ними.

Явленіе это становится понятнымъ, ежели замѣтимъ, что динамическое дѣйствіе паровозныхъ и тендерныхъ колесъ происходитъ отъ совершенно разныхъ причинъ. Въ первомъ случаѣ оно вызывается повидимому исключительно лишь движеніемъ колеса по гибкому рельсу, во второмъ же—неправильностью формы колеса. Поэтому динамическое дѣйствіе паровознаго колеса является лишь тамъ, гдѣ рельсъ лишенъ опоры, удары же тендерныхъ колесъ обнаруживаются по всей длинѣ рельса.

Въ таблицахъ XIII и XIV динамическое давленіе тендерныхъ колесъ было выражено лишь въ зависимости отъ такого же давленія паровозныхъ колесъ, а потому, зная отношеніе динамическаго давленія къ статическому для паровоза, остается опредѣлить то же самое для тендера.

Какъ было доказано выше, динамическое давленіе колеса паровоза надъ шпалою такое же, какъ и статическое. Такъ какъ динамическое давленіе колесъ тендера надъ шпалами, судя по осѣданію послѣднихъ, а равно по осѣданію рельса надъ ними, около 1,5 раза больше, чѣмъ такое же давленіе колесъ паровоза (см. табл. XIII и XIV), то отношеніе это выражаетъ вмѣстѣ съ тѣмъ, на сколько динамическое дѣйствіе колесъ тендера увеличиваетъ статическое ихъ давленіе при положеніи надъ шпалами.

Динамическое дѣйствіе паровозныхъ колесъ увеличиваетъ стрѣлу прогиба рельса, въ сравненіи со статическимъ ихъ давленіемъ, въ типѣ верхняго строенія IVa на 1,60 и въ типѣ V—на 1,44.

Такъ какъ стрѣла прогиба рельса получается для этихъ типовъ подъ тендеромъ соотвѣтственно на 1,24 и 1,36 больше, чѣмъ подъ паровозомъ (см. табл. XIV), то слѣдовательно динамическое дѣйствіе тендерныхъ колесъ на изгибъ рельса въ сравненіи со статическимъ ихъ давленіемъ составляетъ отъ $1,6 \times 1,24 = 1,98$ до $1,44 \times 1,36 = 1,96$, т. е. круглымъ числомъ 2 раза больше.

Такъ какъ увеличеніе стрѣлы прогиба рельса подъ тендернымъ колесомъ должно быть приписано двоякаго рода причинамъ, а именно: тѣмъ же, которыя свойственны всякому колесу, движущемуся по упругой балкѣ и другимъ, составляющимъ особенность лишь тендерныхъ колесъ, и такъ какъ вліяніе одной лишь второй причины было опредѣлено надъ шпалами въ 50% отъ статическаго давленія, вліяніе же обѣихъ причинъ оказывается равнымъ 100% того же давленія, то первая изъ этихъ причинъ составляетъ 50% статическаго давленія колеса, т. е. столько же, сколько получено въ среднемъ и для колесъ паровоза.

Изъ вышеизложеннаго слѣдуетъ заключить, что для расчета давленія рельса на шпалы, осѣданія шпаль, давленія на балласть и т. п., среднее давленіе колеса должно быть принято равнымъ статическому для паровоза и полуторному статическому для тендера; для расчета же наибольшихъ моментовъ, дѣйствующихъ на рельсъ и стыковыя его скрѣпленія, среднее давленіе колеса должно быть принято равнымъ полуторному статическому для паровоза и удвоенному для тендера. Для того, чтобы динамическое дѣйствіе тендерныхъ колесъ не было больше паровозныхъ необходимо, чтобы наибольшее статическое давленіе T на колесо тендера удовлетворяло по отношенію къ статическому давленію G на колесо паровоза, слѣдующимъ условіямъ:

$$\left. \begin{aligned} 1,5 T &\leq G \\ 2 T &\leq 1,5 G \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (17)$$

Такъ какъ первое заключаетъ въ себѣ и второе, то можно вмѣсто нихъ написать:

$$T \leq \frac{2}{3} G \dots \dots \dots (18)$$

Вышеприведенныя среднія цифры динамическаго давленія колесъ получены изъ наблюденій надъ путемъ на прямой, уложеннымъ горизонтально и содержащимся въ полной исправности. Тѣмъ не менѣе разницы въ давленіи колесъ отъ ихъ перегрузки, какъ видно изъ таблицы XII, доходили до 37%.

Хотя съ измѣненіемъ условій укладки пути, напр. съ возвышеніемъ наружнаго рельса въ кривыхъ или при большой осѣдаемости его и неисправномъ содержаніи, динамическое давленіе колесъ оказалось бы по абсолютной величинѣ своей несомнѣнно больше, то однакоже относительное дѣйствіе паровозныхъ и тендерныхъ колесъ должно остаться неизмѣннымъ.

В. Деформаціи по горизонтальному направленію и вслѣдствіе вращенія рельса.

1. Боковыя колебанія головки рельса.

На разсмотрѣнныхъ уже нами діаграммахъ осѣданія шпаль и рельса надъ ними (черт. 29 и 30), а равно деформаций рельсовъ между шпалами (черт. 35 и 36), показаны подъ деформациями по вертикальному направленію, боковыя колебанія головки рельса, снятыя одновременно съ первыми по описанному выше способу.

Какъ видно изъ означенныхъ діаграммъ, боковыя колебанія головки рельса зависятъ въ значительно меньшей степени отъ давленія колеса,

же постоянное колебаніе рельса по обоимъ направленіямъ. Въ типѣ V наблюдались тѣ же явленія съ тою лишь разницею, что отклоненія головки въ наружу колеи были меньше и составляли въ среднемъ около 0,6 мм., отклоненія же во внутрь колеи случались такъ же часто, какъ и въ наружу, и доходили до 1,75 мм.

Съ цѣлью выяснитъ, на сколько описанныя деформаціи зависѣли отъ горизонтальнаго перемѣщенія или же скручиванія и вращенія рельса около продольной оси необходимо обратиться къ результатамъ наблюдений сихъ послѣднихъ.

Для упрощенія всѣ боковыя перемѣщенія рельса по направленію въ наружу колеи, т. е. вызывающія уширеніе ея, названы ниже положительными, по обратному же направленію—отрицательными.

2. Вращеніе рельса около продольной оси.

Какъ упомянуто было въ началѣ сего описанія, вращательныя движенія рельса были наблюдаемы при помощи особаго устройства зеркала, вертикальное разстояніе между которыми увеличивалось или уменьшалось въ зависимости отъ вращенія рельса въ наружу или во внутрь колеи. Въ виду незначительности и способа измѣренія сихъ деформаций, онѣ не могли быть изображены на прилагаемыхъ діаграммахъ и слѣдуетъ ограничиться приведеніемъ добытыхъ по наблюденіямъ цифровыхъ данныхъ.

Въ типѣ IV^a вращеніе рельса было наблюдаемо по направленію въ наружу и во внутрь колеи и доходило по каждому изъ этихъ направлений до 35', составляя въ среднемъ 4' по направленію въ наружу колеи. Предполагая, что ось этого вращенія расположена у подошвы основанія рельса, соотвѣтствующее наибольшее боковое отклоненіе головки рельса равно 1,4 мм. въ каждую сторону.

Вращеніе рельса происходило въ большинствѣ случаевъ въ наружу колеи. Въ $\frac{1}{3}$ наблюдений вращеніе совсѣмъ замѣчено не было.

Въ типѣ V вращеніе рельса происходило исключительно по направленію во внутрь колеи, составляя въ среднемъ 16' и доходило до 46', что соотвѣтствуетъ боковому отклоненію головки рельса на 1,5 мм.

Сопоставляя наблюденія надъ одновременными деформаціями, боковыми и вращательными, въ тѣхъ же мѣстахъ рельса, оказывается, что деформаціи эти по направленію своему сравнительно рѣдко соотвѣтствуютъ другъ другу. Въ виду этого наблюдавшееся иногда совпаденіе этихъ деформаций по направленію и по величинѣ соотвѣтствующаго имъ боковаго отклоненія головки рельса, слѣдуетъ считать случайнымъ, сами же деформаціи независящими другъ отъ друга.

Такимъ образомъ полученная по діаграммамъ абсолютная величина бокового отклоненія головки рельса является суммою двухъ перемѣщеній его по направленію перпендикулярному къ пути: одного вращательнаго и другаго поступательнаго, во внутрь или въ наружу колеи.

3. Скольженіе рельса на опорахъ.

Вычитая изъ общей величины бокового отклоненія головки рельса, ту часть его (положительную или отрицательную), которая должна была получиться вслѣдствіе вращеніе рельса, оказывается по наблюденіямъ, что осталная часть, выражающая величину горизонтальнаго перемѣщенія рельса перпендикулярно оси пути и параллельно положенію его въ состояніи покоя, или другими словами, величину бокового скольженія рельса на опорахъ, колебалась для типа IV^a въ предѣлахъ отъ + 1,2 мм. до — 0,4 мм. и составляла въ среднемъ + 0,2 мм. и что тѣ же колебанія для типа V происходили въ предѣлахъ отъ + 1,7 мм. до — 0,5 мм. и составляли въ среднемъ + 0,7.

4. Силы, производящія боковыя колебанія головки рельса.

Для надлежащаго выясненія вышеприведенныхъ результатовъ, полученныхъ по наблюденіямъ, необходимо обратиться къ разсмотрѣнію причинъ, которыми могли быть вызваны только что описанныя деформации

Положеніе рельса по отношенію къ дѣйствующимъ на него отъ подвижнаго состава вертикальнымъ и горизонтальнымъ усилямъ показываетъ, что боковое скольженіе рельса можетъ происходить лишь подъ влияніемъ сихъ послѣднихъ, между тѣмъ какъ вращеніе рельса около продольной оси можетъ быть одинаково вызвано какъ горизонтальными такъ и вертикальными силами.

Дѣйствительно, представимъ себѣ, что вертикальное давленіе колеса передается рельсу по какой-либо причинѣ въ одной изъ крайнихъ точекъ n' или n'' въ разстояніи a отъ оси симметріи рельса (черт. 37). Направленіе этого давленія пересѣкаетъ подошву основанія рельса въ разстояніи соотвѣтственно $a - \frac{1}{20}h$ и $a + \frac{1}{20}h$ отъ середины его подошвы, гдѣ h высота рельса.

Вслѣдствіе такого вѣцентреннаго приложенія силы P *) давленія рельса на шпалу, сжатіе ея, а въ случаѣ зазора между ними уменьшеніе его, происходятъ неравнобѣрно.

*) Собственно говоря, нормальной къ плоскости давленія составляющей силы P . Однакоже въ виду незначительности уклона этой плоскости обѣ силы могутъ быть приняты равными.

Обозначая через δ вдавливаніе рельса въ шпалу, при равномерномъ распредѣленіи давленія на его подошву, такое же вдавливаніе при вѣдцентренномъ приложеніи давленія колеса составляетъ по краямъ подошвы его, въ точкахъ m' и m'' :

1) Ежели колесо давить на рельсъ съ наружной стороны колеи

$$\delta' = \delta \left(1 \pm \frac{6 \left(a - \frac{1}{20} h \right)}{b} \right) (19)$$

2) Ежели колесо давить на рельсъ съ внутренней стороны колеи

$$\delta'' = \delta \left(1 \pm \frac{6 \left(a + \frac{1}{20} h \right)}{b} \right) (20)$$

Въ результатъ получается очевидно вращеніе рельса около точки, расположенной по срединѣ его подошвы.

Новый типъ рельса вѣсомъ 38 кгр. въ пог. метрѣ, введенный на Варшавско-Вѣнской жел. дорогѣ въ 1894 г. уложенъ по настоящее время на протяженіи около 160 верстъ главныхъ линій, на остальномъ же протяженіи около 600 верстъ (не считая боковыхъ вѣтвей), имѣются рельсы вѣсомъ 31,45 кгр. въ пог. метрѣ.

Ширина головокъ обоихъ типовъ различна и составляетъ для типа 38 кгр. въ м. 68 мм., а для типа 31,45 кгр. въ метрѣ лишь 56 мм.

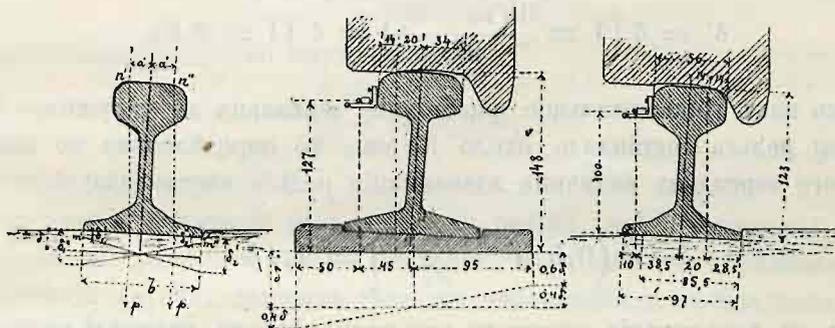
Такъ какъ длина путей, уложенныхъ рельсами новаго типа, составляетъ лишь незначительную часть общаго ихъ протяженія, то профиль износа бандажей зависитъ главнымъ образомъ отъ ширины поверхности катанія рельсовъ стараго типа, съ болѣе узкою головкою. Въ виду этого передача давленія колесъ рельсамъ новаго типа ближе къ наружному краю головки (черт. 38) является вполне понятною и подтверждается износомъ сихъ рельсовъ. Напротивъ того рельсы стараго типа, хотя бы колеса катились по срединѣ ихъ головокъ, должны производить на шпалы болѣе давленіе съ внутренняго, чѣмъ съ наружнаго края подошвы (черт. 39).

Вычислимъ уголъ вращенія рельса въ крайнихъ предположеніяхъ передачи давленія колеса рельсу новаго типа въ разстояніи 14 мм. отъ наружнаго края головки и рельсу стараго типа—въ томъ же разстояніи отъ внутренняго края головки. Подставляя въ формулу (19) $a = \frac{68}{2} - 14 = 20$; ширину подкладки къ рельсамъ типа 38 кгр. въ м., $b = 190$; и высоту рельса сложенную съ толщиною подкладки $h = 148$, получается величина вдавливанія въ шпалу по краямъ подкладки

$$\delta' = \delta \left(1 \pm \frac{6 (20 - 7,4)}{190} \right) = \delta (1 \pm 0,40),$$

т. е. что вдавливание по краямъ будетъ составлять 1,4 и 0,6 той величины его, которая получилась бы при равномерномъ распредѣленіи давленія на всю нижнюю поверхность подкладки.

Наибольшая разница между осѣданіемъ рельса и шпалы, соответствующая наибольшему углу вращения рельса въ наружу колеи, составляла по наблюдениямъ надъ типомъ IV^а 0,21 мм. на тонну давленія колеса. Однакоже величина эта опредѣлена была на основаніи показаній зеркала, прикрѣпленнаго къ головкѣ рельса въ горизонтальномъ разстояніи отъ наружнаго края подкладки, составлявшемъ около 50 мм.



Черт. 37

Черт. 38.

Черт. 39.

Внѣцентричное давленіе колеса на рельсъ.

Вслѣдствіе этого можно предполагать, что полученная разница между осѣданіемъ рельса и шпалы составляла: $0,6 + 0,8 \times \frac{190 - 50}{190} = 1,19$ той разницы, которая получилась бы при равномерномъ распредѣленіи давленія, т. е. что:

$$1,19\delta = 0,21G.$$

При среднемъ давленіи колеса $G = 6,7$ тонны

$$\delta = \frac{0,21 \cdot 6,7}{1,19} = 1,14 \text{ мм.}$$

Такимъ образомъ наклоненіе рельса въ наружу колеи вслѣдствіе внѣцентричнаго давленія колеса получается:

$$\frac{0,8 \times 1,14}{190} = 0,0048,$$

что соответствуетъ углу 17'.

Для опредѣленія величины вдавливанія для рельсовъ типа 31,45 кг. въ пог. метрѣ замѣтимъ, что наибольшая разница между осѣданіемъ рельса этого типа и шпалы, соответствовавшая наибольшему вращенію рельса въ наружу колеи, составляла по наблюдениямъ 0,07 мм. на тонну давленія колеса паровоза и слѣдуетъ полагать, что вращеніе это получено

было при крайнемъ положеніи колеса, подобномъ тому, которое только что допущено было для рельса 38 кгр. въ пог. метрѣ. Въ этомъ предположеніи, для полученія величины наибольшаго вдавливанія по краямъ подошвы рельса, необходимо подставить въ формулу (19)

$$a = \frac{56}{2} - 14 = 14,$$

$$b = 97 \quad \text{и} \quad h = 123,$$

и тогда получается:

$$\delta' = \delta \left(1 \pm \frac{6(14-6)}{97} \right) = \delta (1 \pm 0,5).$$

Такъ какъ горизонтальное разстояніе зеркала до наружнаго края подошвы рельса составляло около 10 мм., то опредѣленная по показанію этого зеркала величина вдавливанія рельса составляла:

$$\delta \left(0,5 + \frac{97+10}{97} \right) = 1,4 \delta$$

среднее же вдавливаніе въ шпалу при равномерномъ распредѣленіи давленія и при давленіи колеса въ 6,7 тонны:

$$\delta = \frac{0,07 \times 6,7}{1,4} = 0,34 \text{ мм.}$$

Однакоже для рельсовъ типа 31,45 кгр. въ пог. метрѣ обнаружено было наблюденіями исключительно лишь вращеніе ихъ во внутрь колеи, а потому для опредѣленія наибольшаго угла вращенія подъ дѣйствіемъ вертикальной нагрузки предположимъ, что таковая приложена въ разстояніи 14 мм. отъ внутренняго края головки. Подставляя въ формулу (20) $a = \frac{56}{2} - 14 = 14$; ширину подошвы рельса $b = 97$ и высоту его $h = 123$, получается:

$$\delta'' = \delta \left(1 \pm \frac{6(14+6)}{97} \right) = \delta (1 \pm 1,24),$$

изъ чего слѣдуетъ, что въ этомъ предположеніи наступило бы поднятіе наружняго края рельса, а слѣдовательно и уменьшеніе площади, принимающей давленіе рельса. Какъ извѣстно, ширина означенной площади равна въ этомъ случаѣ утроенному разстоянію дѣйствующей силы отъ ближайшаго края подошвы давящей фигуры, т. е. $\left(\frac{97}{2} - 20 \right) 3 = 85,5$ мм., величина же наибольшаго вдавливанія у внутренняго края подошвы — удвоенной величинѣ средняго вдавливанія.

Результатъ этотъ является весьма вѣроятнымъ, ибо, какъ показываетъ

таблица X, зеркальце, находившееся въ горизонтальномъ разстояніи 10 мм. отъ наружнаго края подошвы рельса, во многихъ случаяхъ не обнаруживало вовсе вдавливанія рельса въ шпалу.

Величина вдавливанія рельса этого типа при равномерномъ распредѣленіи давленія на всю ширину подошвы опредѣлена была выше равною 0,34 мм., а потому, принимая во вниманіе уменьшеніе давящей поверхности, величина наибольшаго вдавливанія у внутренняго края подошвы рельса получается:

$$2 \cdot 0,34 \cdot \frac{97}{85,5} = 0,77$$

или наклоненіе рельса во внутрь колеи

$$\frac{0,77}{85,5} = 0,009,$$

что соотвѣтствуетъ углу 31'.

Наибольшія величины угла вращения рельса, непосредственно полученные по наблюденіямъ, близко подходят къ только что опредѣленнымъ на основаніи другихъ данныхъ тѣхъ же наблюденій и въ предположеніи дѣйствія одной лишь вертикальной нагрузки. Такимъ образомъ замѣченное вращеніе рельса во внутрь колеи при одновременномъ боковомъ сдвигѣ того же рельса по противоположному паправленію не составляетъ противорѣчія.

Что касается оказавшагося по нѣкоторымъ наблюденіямъ незначительнаго (до 0,5 мм.) сдвига рельса по направленію во внутрь колеи, то таковой можетъ быть приписанъ развѣ дѣйствию изношенныхъ бандажей, какъ бы обхватывающихъ головку рельса и увлекающихъ его при боковыхъ качаніяхъ подвижнаго состава.

Полученныя по наблюденіямъ величины боковаго скольженія рельса оказываются вообще незначительными, что должно быть приписано прочности прикрѣпленія рельса костылями забитыми въ новыя дубовыя шпалы. Тѣмъ не менѣе само существованіе означеннаго скольженія свидѣтельствуетъ о томъ, что даже въ прямой горизонтальныя усилія, которымъ подверженъ рельсъ, достигаютъ значительнаго предѣла. Ежели обозначить черезъ f_1 коэффициентъ тренія бандажа по рельсу и черезъ f_2 коэффициентъ тренія рельса по опорѣ, то въ предположеніи, что нагрузка оси $2G$ распредѣляется поровну на оба колеса, сопротивленіе силы тренія боковому давленію колеса выразится:

$$R = (f_1 + f_2) G \dots \dots \dots (21)$$

Принимая для сухихъ рельсовъ $f_1 = 0,25$ и для верхняго строенія безъ подкладокъ $f_2 = 0,50$, получается, что для того, чтобы произвести

горизонтальный сдвиг рельса, какъ это имѣло мѣсто въ данномъ случаѣ, боковое давленіе колеса должно быть больше 0,75 G .

Разгрузка отдѣльныхъ колесъ не превосходила при наблюденіяхъ 37% (см. таб. XII) и при томъ горизонтальное отклоненіе головки рельса по опредѣленному направленію продолжалось обыкновенно подъ нѣсколькими колесами, вслѣдствіе чего оно не можетъ быть приписано вліянію разгрузки отдѣльныхъ колесъ. Принятія величины коэффициентовъ тренія могутъ быть нѣсколько больше дѣйствительныхъ. Во всякомъ случаѣ казалось бы однакоже, что для преодоленія силы тренія боковое давленіе колеса должно было превзойти 0,6 G .

Величина эта соотвѣтствуетъ результатамъ наблюденій Вебера и Велера, хотя въ послѣднее время горизонтальныя усилія, дѣйствующія на путь, оцѣнивались приблизительно на половину ниже *).

5. Вліяніе вращенія рельса на величину его деформаций по вертикальному направленію.

Обнаруженное вращеніе рельса заставляетъ остановиться на вопросѣ, насколько таковое могло вліять на величину деформаций рельса по вертикальному направленію, опредѣленную по наблюденіямъ.

Вертикальная и горизонтальная проекціи радіуса вращенія зеркала составляли для рельса вѣсомъ 38 кгр. въ пог. метрѣ (черт. 38) соотвѣственно 127 мм. и 45 мм., а для рельса вѣсомъ 31,45 кгр. въ пог. метрѣ (черт. 39) 100 и 38,5 мм.; а потому радіусъ ρ вращенія зеркала и уголъ α , образуемый означеннымъ радіусомъ съ горизонтомъ, равны соотвѣственно:

$$\rho_1 = \sqrt{127^2 + 45^2} = 134,7 \text{ мм.}$$

$$\alpha_1 = \text{arc tg. } \frac{127}{45} = 70^\circ 29'$$

$$\rho_2 = \sqrt{100^2 + 38,5^2} = 107 \text{ мм.}$$

$$\alpha_2 = \text{arc. tg } \frac{100}{38,5} = 68^\circ 58'$$

Наибольшій уголъ вращенія рельса перваго изъ этихъ типовъ составлялъ 35', а втораго 46', слѣдовательно вертикальная проекція, соотвѣтствующая означенной деформации, получается:

*) Dr. Zimmermann. Berechnung des Oberbaues. Handbuch der Ingenieurwissenschaften 1897 г., томъ V, часть II стр. 60.

Для рельсовъ 38 кгр. въ пог. метрѣ:

$$134,7 (\sin 71^{\circ}4' - \sin 70^{\circ}29') = 0,46 \text{ мм.}$$

и для рельсовъ 31,45 кгр. въ пог. метрѣ:

$$107 (\sin 69^{\circ}44' - \sin 68^{\circ}58') = 0,50 \text{ мм.}$$

что составляетъ около 17% наибольшаго осѣданія рельса.

Однакоже уголъ вращенія рельса составлялъ въ среднемъ для рельса 38 кгр. въ м. лишь 4' въ наружу колеи и для рельса 31,45 кгр. въ м. лишь 16' во внутрь колеи, а потому показанныя къ таб. I *среднія* величины осѣданія рельса могутъ измѣниться для типа IVa не болѣе какъ на 0,01 мм. и для типа V не болѣе какъ на 0,03 мм., каковая поправка можетъ имѣть значеніе лишь по отношенію къ типу V, указывая на одну изъ причинъ обнаруженной въ этомъ типѣ незначительности разницы между осѣданіемъ рельса и шпалы. Что касается стрѣлы прогиба рельса между опорами, то таковая составляетъ разницу между показаніями зеркалецъ, одновременно участвовавшихъ во вращеніи рельса, а потому послѣднее не могло оказать на величину ея никакого вліянія.

V. Деформациі верхняго строенія въ стыкахъ.

Приведенные выше результаты наблюденій относятся лишь къ непрерывной части рельсовой колеи.

Деформациі въ стыкѣ, въ виду ихъ характерныхъ особенностей, требуютъ особаго разсмотрѣнія.

Какъ доказалъ Астъ *) и какъ подтвердили наблюденія Варшавско-Вѣнской жел. дороги, въ средней части рельсоваго звена, гдѣ непрерывный рельсъ опирается на равноотстоящихъ другъ отъ друга шпалахъ, колесо катится, вслѣдствіе одинаковаго осѣданія рельса надъ шпалою и въ пролетѣ, а равно непрерывности кривизны изгиба рельса, приблизительно по прямой линіи, параллельной уровню рельсовъ въ состояніи покоя.

Для того чтобы переходъ колеса черезъ стыкъ совершался въ тѣхъ же условіяхъ, необходимо, чтобы накладки передавали полностью моментъ отъ одного конца рельса другому, ибо тогда только кривая изгиба рельсовой колеи въ стыкѣ будетъ непрерывною, а также, чтобы осѣданіе рельсовъ въ стыкѣ было такое же, какъ и на остальномъ протяженіи рельсоваго звена.

*) См. Compte rendu du congrès intern. des ch. de fer. IV-e Session (Saint-Pétersbourg, 1892). V A.