ОПЫТЪ

сравнительной оцѣнки вліянія внѣшнихъ силъ на угонъ рельсовъ пути.

Преподавателя Томскаго Технологическаго Института
инженера **Л. Н. Любимова.**

Введеніе.

Вопросу объ угонѣ рельсовъ было неоднократно удѣлено должное вниманіе, какъ въ иностранной, такъ и въ нашей отечественной технической литературѣ. Цѣнныя изслѣдованія Коюара*), Энгерта и Шпитца**) на французскихъ и нѣмецкихъ желѣзныхъ дорогахъ съ одной стороны и обстоятельный докладъ инженера Лебедева на XV Совѣщательномъ съѣздѣ инженеровъ Службы Пути русскихъ желѣзныхъ дорогъ—съ другой,—во многихъ отношеніяхъ освѣтили это существенно важное больное мѣсто нашего желѣзнодорожнаго путеваго хозяйства.

Изъ разсмотрѣнія примѣняющихся, какъ на русскихъ, такъ и на иностранныхъ желѣзныхъ дорогахъ мѣропріятій противъ угона рельсовъ выясняется однако, что его *совершенное* уничтоженіе пока никакими средствами не достигнуто. Тѣмъ не менѣе, хотя бы только уменьшеніе величины угона до возможно ничтожныхъ размѣровъ,—безъусловно необходимо не только въ смыслѣ путеваго благоустройства, но и какъ обстоятельство, представляю-

---

*) Coüard. Revue générale des chemins de fer. Août. 1896.

**) „Ueber das Wandern von Schienen bei Eisenbahngleisen". Nach Vorträgen von H. Freiherr von Engerth und M. Spitz. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

щее несомнѣнно весьма существенное сокращеніе расходовъ по устраненію сего зла, достигающихъ подчасъ довольно внушительныхъ цифръ *). Во всѣхъ вышеуказанныхъ изслѣдованіяхъ не обращено, однако же вниманія на такую сторону вопроса, должное выясненіе которой могло бы, быть можетъ, облегчить изысканіе болѣе дѣйствительнаго приспособленія для борьбы съ угономъ. А именно: нигдѣ не произведено надлежащаго разбора: *какая же изъ всѣхъ внѣшнихъ силъ*, дѣйствующихъ на угонъ рельсовъ въ пути, *имѣетъ преобладающее значеніе?* Цѣль настоящаго изслѣдованія, по мѣрѣ возможности, пополнить этотъ существенный пробѣлъ.

§ 1. **Проявленіе угона.** Продольное перемѣщеніе рельсовъ вдоль оси пути или т. н. „угонъ" выражается двояко: или въ видѣ движенія рельсовъ вдоль оси по шпаламъ и подкладкамъ или же, какъ перемѣщеніе вмѣстѣ со шпалами. Угонъ, какъ извѣстно, ведетъ къ полному разстройству пути, вызываетъ необходимость усиленнаго ремонта и служитъ одною изъ основныхъ причинъ преждевременной порчи верхняго строенія. Такъ какъ перемѣщеніе рельсовъ происходитъ или одновременно въ обѣихъ ниткахъ колеи, болѣе или менѣе параллельно или же, наоборотъ, одна нитка опережаетъ другую, то въ связи съ характеромъ такого движенія находится и самый родъ тѣхъ поврежденій, которыя вызываются угономъ. Порча верхняго строенія въ зависимости отъ перваго рода угона заключается, главнымъ образомъ, въ тѣхъ изъянахъ, какіе причиняетъ чрезмѣрное увеличеніе или уменьшеніе стыковыхъ зазоровъ, какъ то: въ надломахъ и изломахъ рельсовъ по болтовымъ отверстіямъ, въ боковомъ искривленіи пути, поврежденіяхъ въ накладкахъ, болтахъ, костыляхъ и шурупахъ, а равно и въ разстройствѣ балласта и порчѣ шпалъ путемъ выворачиванія таковыхъ.

Втораго рода угонъ вызываетъ перекосъ стыковъ, а въ зависимости отъ этого и неодинаковую нагрузку шпалъ подъ обѣими нитками, влекущую за собою въ свою очередь неспокойный путь.

§ 2. **Величина наибольшаго годоваго угона.** Величина эта очевидно вполнѣ условна: обстоятельства, являющіяся основными дѣятелями въ дѣлѣ

*) До 150 р. съ версты, напримѣръ, на Московско-Ярославской желѣзной дорогѣ.

угона, могутъ на разныхъ дорогахъ, въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, давать такія разнообразныя сочетанія, что наибольшій угонъ можетъ быть отличный на каждой дорогѣ, не только для каждаго мѣста, но и для каждаго года.

Наибольшія величины годовыхъ продольныхъ перемѣщеній на иностранныхъ желѣзныхъ дорогахъ и 7 русскихъ указаны въ докладѣ инженера Лебедева на XV Съѣздѣ Инженеровъ Службы Пути *). Въ прилагаемой ниже таблицѣ показаны величины наибольшихъ годовыхъ угоновъ, которые пришлось намъ наблюдать лично на двухъ изъ самыхъ бойкихъ по движенію желѣзныхъ дорогъ Московскаго желѣзнодорожнаго узла: Курской и Нижегородской. Величины максимальныхъ угоновъ, какъ на той, такъ и на другой дорогахъ выражаются почти одинаково, а именно достигаютъ величины 0.143 сажени=305 м/м. для Курской **) и 0.14 сажени=229 м/м. ***) для Нижегородской ж. д. Сопоставленіе этихъ двухъ величинъ съ наибольшимъ угономъ заграничныхъ дорогъ и русскихъ, приведенныхъ въ вышеупомянутомъ докладѣ—показываетъ, что онѣ равны наибольшему угону на: *Прусскихъ* желѣзныхъ дорогахъ, на *Закавказской* и *Юго-Восточныхъ* и меньше угона на *Привислянскихъ* ж. д.†*). Къ сожалѣнію сравненіе это, конечно, весьма условно, такъ какъ могло бы съ большею степенью достовѣрности быть сдѣлано лишь по приведеніи всѣхъ годовыхъ угоновъ, такъ сказать, къ одному знаменателю, т. е. по расчетѣ ихъ въ зависимости, хотя бы, напримѣръ, отъ каждой тысячи проходящихъ поѣздовъ.

Заключеніе, которое можно сдѣлать изъ нижеприведенной таблицы, въ общемъ только подтверждаетъ выводы, сдѣланные ранѣе другими изслѣдователями и останавливаться на нихъ дольше было бы посему излишне.

---

*) Протоколы XV Съѣзда Инженеровъ Сл. Пути стр. 71—1898 г.

**) 167 верста Московскій путь.

***) 17 верста Нижегородскій путь.

†*) 420 м/м.

Таблица годоваго угона рельсовъ на Московско-Курской и Нижегородской ж. д. (путь на угловыхъ накладкахъ).

НАИМЕНОВАНІЕ ДОРОГИ.	Версты.	Профиль полотна.					КАЧЕСТВО БАЛЛАСТА.	Величина угона въ саженяхъ.		Величина угона въ m/m.		ПРИМѢЧАНІЕ.
		Прямая.	Кривая R.	Уклонъ.	Подъемъ.	Площадка.		Внутр. колея.	Наружн. колея.	Внутр. колея.	Наруж. колея.	
Московско-Курская .	167		400	0.008			Мелкозернистый . .	0.143	0.05	305	107	
„ „	176		500	0.008			„	0.027	0.012	58	26	
„ „	177		500	0.008			„	0.024	0.012	51	26	
„ „	178		500	0.008			„	0.027	0.015	58	32	
„ „	179	Прямая		0.008			„	0.006	0.012	13	26	
„ „	180		500	0.008			„	0.024	0.012	51	26	
„ „	181	Прямая		0.008			„	0.003	0.009	6	19	
„ „	182	Прямая			0.003		„	„	0.003	„	6	
„ „	183		500		0.002		„	0.006	0.012	13	26	
„ „	184	Прямая			0.001		„	„	0.006	„	13	
„ „	185		300			Площадка	„	0.03	0.012	64	26	
„ „	186		450			Площадка.	„	0.024	0.009	51	19	
„ „	215		500	0 008			Среднезернистый . .	0.021	0.012	45	26	
„ „	224		400	0.007			„	0.024	0 012	51	26	
„ „	241*)		400			Площадка.	„	0.015	0.018	32	38	*) Подходъ къ станціи съ 0.008 уклона на тормозахъ.
„ „	243		500	0.008			„	0.024	0.014	51	30	
„ „	244		500	0.008			„	0 0225	0.012	48	26	
„ „	247		500	0.008			„	0.0225	0.012	48	26	
Московско-Нижегород.	2		500		0.004		Среднезернистый . .	0.018	0.006	38	13	
„ „	3	Прямая		0.006			„	0.006	0.009	13	19	
„ „	4		1000		0.006		Крупнозернистый . .	0.012	0.009	26	19	
„ „	17**)		500	0.004			Мелкозернист. илистый	0.14	0.03	299	64	**) Подходъ на тормазахъ къ дачной платформѣ.
„ „	23	Прямая		0.005			„ „	0.006	0.009	13	19	
„ „	34		1000	0.007			„ „	0.0165	0.012	35	26	
„ „	45		2000	0.002			„ „	0.012	0.009	26	19	(+) Двухъ годичный угонъ при забитыхъ свайкахъ = 0.03 саж.
„ „	58	Прямая		0.006			Среднезернистый . .	„	(+)	„	„	
„ „	58	Прямая			0.006		„	„	(+ +)	„	„	(++) Двухъ год. угонъ безъ сваекъ = 0.02 саж.

§ 3. Опредѣленіе силы сопротивленія верхняго строенія угону. Сила продольнаго сдвига рельсъ, какъ сказано было выше (§ 1), можетъ проявляться двояко: а) она передвигаетъ одни только рельсы вдоль ихъ оси или б) сдвигаетъ все верхнее строеніе, считая и шпалы.

Если обозначить вѣсъ верхняго строенія на протяженіи одного звена рельсовой колеи черезъ P_o; черезъ L_o — вѣсъ паровоза и черезъ F_o — коэффиціентъ тренія—то треніе соотвѣтствующее такому вѣсу можетъ быть выражено черезъ:

$$W_o = (P_o + L_o)\ F_o \quad . \ . \ . \ . \ . \quad (I)$$

Вѣсъ верхняго строенія на протяженіи одного звена обѣихъ нитокъ 28 футоваго рельса при вѣсѣ сего послѣдняго въ $24^1/_3$ фунтовъ въ погонномъ футѣ, слагается изъ:

$$\text{Вѣса 2 рельсъ} = \frac{2 \times 28 \times 24.33}{40} = 34.06 \text{ пуда.}$$

$$\text{„ 8 угловыхъ накладокъ} = \frac{22 \times 8}{40} = 4.40 \text{ »}$$

$$\text{„ 24 подкладокъ} = \frac{6.35 \times 24}{40} = 3.82 \text{ »}$$

$$\text{„ 8 болтовъ} = \frac{1.6 \times 8}{40} = 0.32 \text{ »}$$

Итого . . . . . 42.60 пуда.

Вѣсъ этотъ увеличивается вѣсомъ подвижнаго состава.

Въ предположеніи расположенія надъ звеномъ наиболѣе тяжелой части перваго, т. е. паровоза въ 60 тоннъ и при коэффиціентѣ $F_o = 0.25$ — формула (I) принимаетъ видъ:

$$W_o = (42.60 + 60 \times 61.05) \times 0.25 \text{ пудовъ} = (42.60 + 60 \times 61.05) \times$$
$$\times 16.38 \times 0.25 \text{ килограммовъ} = \underline{\underline{15174.43}} \text{ килограммовъ} \quad . \ . \ . \ . \quad (A)$$

Въ случаѣ рельсовъ, лежащихъ непосредственно на шпалахъ, безъ подкладокъ,—коэффиціентъ тренія рельса о шпалу будетъ иной. Если означить его черезъ F, то формула (I) приметъ видъ:

$$W'_o = (P'_o + L_o)\ F \quad . \ . \ . \ . \quad (II)$$

P'_o — опредѣлится по предъидущему какъ:

$$42.60 - 3.82 = 38.78 \text{ пудовъ}$$

$$W'_o = (38.78 + 60 \times 61.05) \times 16.38 \times 0.50 = \underline{\underline{30317.58}} \quad . \ . \ . \quad (Б)$$

При выводѣ выраженій (А) и (Б) пренебрежено было удерживающею силою костылей. Опытъ показываетъ, что, если принять во вниманіе, какъ сію послѣднюю, такъ и вообще все сопротивленіе представляемое скрѣпленіемъ—то величины W_o и W'_o можно считать *) процентовъ до 50 выше, т. е. принять

$$W_o = \text{до } \underline{\underline{22000}} \text{ килограммовъ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (В)$$

$$W'_o = \text{до } \underline{\underline{45000}} \text{ килограммовъ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (Г)$$

б) Во второмъ случаѣ, т. е. когда сила угона дѣйствуетъ на сдвигъ всего верхняго строенія, считая и шпалы—треніе, противодѣйствующее этому сдвигу будетъ или:

$$W''_o = (P_o + L_o + nG) \times F_o \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (III)$$

или:

$$W'''_o = (P'_o + L_o + nG) \times F \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IV)$$

гдѣ G—вѣсъ одной шпалы, а n—число таковыхъ подъ однимъ звеномъ колеи.—Пусть по предъидущему $P_o = 42.60$ пуда: $P'_o = 38.78$ пуда; $G = 3$ (вѣсъ сосновой шпалы сѣченія 5×3 вершка, длиною 1.25 сажени): тогда:

$$W''_o = (42.60 + 60 \times 61.05 + 12 \times 3) \times 16.38 \times 0.25 = \underline{\underline{15321.85}} \text{ килогр. (Д)}$$

$$W'''_o = (38.78 + 60 \times 61.05 + 12 \times 3) \times 16.38 \times 0.50 = \underline{\underline{30612.42}} \text{ килогр. (Е)}$$

Сюда присоединяется еще и противодѣйствіе балласта, заключеннаго въ ящикахъ между шпалъ, вызванное сдвигомъ таковыхъ. Если обозначить сопротивленіе балласта отъ сдвига одной шпалы (на единицу длины таковой) чрезъ E,—то при длинѣ шпалы $= l$ и числѣ шпалъ $= n$, получится для случая рельсовъ лежащихъ на подкладкахъ нижеслѣдующее выраженіе:

$$W''''_o = (P_o + L + nG) F_o + nlE \quad . \quad . \quad . \quad (V)$$

А для случая рельсовъ, лежащихъ непосредственно на шпалахъ:

$$W'''''_o = (P'_o + L + nG) F + nlE \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (VI)$$

Такъ какъ $E = {}^1/_2 h^2 \triangle tg^2 (45^0 + \varphi/_2)$**), гдѣ $\triangle$— вѣсъ кубической единицы балласта; h — высота шпалы; φ — уголъ тренія, то при условіи: высоты шпалы $= 3$ вершкамъ $= 0.0625$ сажени; длины $= 1.25$ сажени; $\triangle$—вѣсѣ одной кубической сажени балласта $= 1000$ пудовъ и $\varphi - 37^\circ$

---

*) Протоколы XV Съѣзда Инженеровъ Службы Пути. стр. 69.

**) Heusinger von Waldegg. Kalender für Eisenbahn—Techniker. 1898 г. стр. 1.

$$nlE = nl\frac{h^2}{2}\triangle tg^2\left(45^\circ + \frac{\varphi}{2}\right) = 12 \times 1.25 \times \frac{0.0625^2}{2} \times 1000 \times tg^2 63^\circ 30' =$$

$$= 12 \times 1.25 \times \frac{0.0625^2}{2} \times 1000 \times 16{,}38 \times 4 \text{ килограммовъ} = \underline{\underline{1919.53}} \text{ килогр.}$$

И, слѣдовательно: $W''''_0 = 15321.85 + 1919.53 = \underline{\underline{17241.38}}$ килограм. . . (Ж)

$$W'''''_0 = 30612.42 + 1919.53 = \underline{\underline{32531.96}} \text{ килограм. . . (З)}$$

Формулы (I) — (VI) позволяютъ такимъ образомъ подсчитать силу сопротивленія угону для каждаго частнаго случая, а въ примѣненіи къ случаю одного звена 28′ рельса даютъ, какъ видно изъ выраженій (А) (Б) (В) (Г) (Д) (Е) (Ж) и (З) — силы противодѣйствія угону, изъ коихъ максимальною является по предъидущему сила:

$$W'_0 = \underline{\underline{45000}} \text{ килограммовъ.}$$

§ 4. **Основные дѣятели въ явленіи угона рельсовъ.** Направленіе продольнаго перемѣщенія рельсовъ на дорогахъ съ двупутнымъ движеніемъ совпадаетъ вообще, какъ извѣстно, съ направленіемъ движенія поѣздовъ; на дорогахъ въ одинъ путь, направленіе это почти всегда въ сторону господствующаго движенія. Такимъ образомъ угонъ рельсовъ прежде всего находится въ прямой зависимости отъ тѣхъ обстоятельствъ, коими сопровождается *движеніе* поѣздовъ при слѣдованіи ихъ по рельсовой колеѣ. Такими обстоятельствами являются:

а) сила сопротивленія движенію поѣзда.

б) ударъ колесъ подвижнаго состава.

в) сила тренія при тормаженіи.

г) конструкція паровозовъ, дающая себя чувствовать почти исключительно въ неравномѣрности угона обѣихъ нитокъ одной и той же колеи.

Засимъ на угонъ рельсовъ дѣйствуетъ, хотя и въ гораздо меньшей степени, совокупность различныхъ мѣстныхъ условій, какъ то: вліяніе балласта, конструкціи верхняго строенія пути, климата и т. п., разсмотрѣніе коихъ не входитъ въ составъ настоящаго изслѣдованія, какъ уже достаточно обстоятельно разобранныхъ въ свое время въ трудахъ, какъ русскихъ, такъ и иностранныхъ инженеровъ.

§ 5. **Угонъ рельсовъ отъ сопротивленія движенію поѣзда.** Треніе между колесами подвижнаго состава и рельсами, обусловливающее собою движеніе поѣзда, порождаетъ силу, стремящуюся, какъ говорено выше, уго-

нять стыки по направленію движенія. Величина этой силы можетъ быть выражена формулою вида:

$$\Phi = F_o P \quad . \; . \; . \; . \quad (VII)$$

гдѣ Ф сила угона; F_o = коэффиціентъ тренія между бандажомъ и рельсомъ, а P — вѣсъ поѣзда. Коэффиціентъ F_o по опытамъ Гальтона можно считать въ среднемъ равнымъ 0.25*).

Если принять далѣе вѣсъ паровоза съ тендеромъ, равнымъ 100 тоннамъ**)—то для случая движенія одного этого паровоза сила угона выразится черезъ:

$$\Phi = 0.25 \times 100 \times 1000 = 25000 \text{ килограммовъ} \quad . \; . \quad (И)$$

Такъ какъ такое выраженіе силы угона было бы только приблизительно вѣрно, въ виду того обстоятельства, что формула (VII) выведена отвлекаясь совершенно отъ скорости движенія, профиля пути и вліянія прочей части поѣзда,—то для болѣе точнаго опредѣленія силы угона отъ сопротивленія поѣзда движенію, лучше всего примѣнить формулу профессора Петрова***).

Имѣемъ для товарнаго поѣзда:

$$W = (4.3 + 0.15v + 0.001v^2)\,L + 1.2\,Q + 0.9nv + 0.03\,(1 + 0.04\,n)\,v^2 +$$
$$+ \left(\pm i + 21\,\frac{4l + l^2}{R - 45} + 0.2 - 0.015\,T\right)(L + Q) \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (VIII).$$

Здѣсь W — полное сопротивленіе всего поѣзда, выраженное въ килограммахъ

L — вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ тоннахъ.

n — число вагоновъ.

l — разстояніе между осями, неизмѣняющими относительнаго положенія въ вагонѣ, выраженное въ метрахъ.

$\pm$i — число тысячныхъ въ подъемѣ или спускѣ****); при этомъ знакъ (+) относится къ подъемамъ, а (—) къ скатамъ.

R — радіусъ закругленія пути въ метрахъ.

T — температура атмосферы въ градусахъ Цельсія.

v — скорость всего поѣзда въ километрахъ въ часъ.

---

*) Коэффиціентъ этотъ измѣняется въ предѣлахъ 0.14—0.33.

**) Циркуляръ Департамента жел. дорогъ отъ 15 января 1896 г. № 753.

Вѣсъ паровоза 60 тоннъ. Длина между буферами 9.3 m. Вѣсъ тендера 37.50 тоннъ. Длина 6 8 m.

***) „Сопротивленіе поѣзда на желѣзной дорогѣ“ ст. 332

****) т. е., напримѣръ, при уклонѣ=0.008; i = 8.

Пусть по предъидущему $L = 100$ тоннъ; $v = 40$ километровъ; $n = 30$; $Q = 480$*) тоннъ; $i = 8$; $R = 800$ метровъ; $l = 3.8$; $T = 20°$ Ц. Тогда формула (VIII) приметъ видъ:

$$W = (4 + 0.15 \times 40 + 0.001 \times \overline{40}^2) \times 100 + 1.2 \times 480 + 0.9 \times 30 \times$$
$$\times 40 + 0.03(1 + 0.04 \times 30) \times \overline{40}^2 + (\mp 8 + 21 \times \frac{4 \times 3.8 + \overline{3.8}^2}{800 - 45} +$$
$$+ 0.2 - 0.015 \times 20)(100 + 480) = 1190 + 576 + 1080 + 1056 +$$
$$+ (\mp 8 + 0.824 + 0.2 - 0.3) \times 580 = -\underline{\underline{1268.48}} \text{ или } + \underline{\underline{8011.52}} \text{ килогр.}$$

Отсюда слѣдуетъ, что сила угона для обѣихъ нитокъ рельсовой колеи въ случаѣ уклона $= \underline{\underline{1268.48}}$ килограммовъ . . . . . (К)
А въ случаѣ движенія поѣзда на такой же подъемъ $= \underline{\underline{8011\ 52}}$ кил. . . (Л)
Сила эта дѣйствуетъ одновременно на протяженіи, собственно, *всего* поѣзда т. е. $16.1^m + 30 \times 7.6^m = 244.1^m = 114.48$ сажени или (при 28 футовыхъ рельсахъ)—на 29 стыковъ и, слѣдовательно, на каждый стыкъ приходится единовременно лишь часть таковой. Но въ виду того обстоятельства, что послѣдовательный проходъ колесъ всего поѣзда черезъ одинъ и тотъ же стыкъ совершается въ весьма короткій промежутокъ времени—вѣрнѣе принять, что на стыкъ дѣйствуетъ полная сила угона, вычисленная по (К) или (Л).

§ 6. **Угонъ рельсовъ отъ ударовъ колесъ подвижнаго состава при прогибѣ стыковъ.** Ударъ колесъ подвижнаго состава происходитъ, какъ извѣстно, главнымъ образомъ, отъ недостаточной жесткости соединенія въ рельсовыхъ стыкахъ: при прогибѣ стыка (См. ф. 1 на отдѣльной таблицѣ чертежей) колесо, понизивъ по движенію одну изъ стыковыхъ шпалъ, должно какъ бы восходить на подъемъ у послѣдующей стыковой шпалы:
при этомъ сила удара, который производитъ колесо на рельсы, должна неминуемо толкать эти послѣдніе впередъ. Это будетъ имѣть мѣсто особенно въ тѣхъ случаяхъ, когда прозоръ между смежными рельсами слишкомъ великъ: тогда при приближеніи колеса къ стыку (фиг. 2) конецъ противушерстнаго рельса будетъ находиться выше, чѣмъ пошерстнаго, образуя при этомъ уступъ, о который будетъ ударять край бандажа.

Величина силы удара очевидно пропорціональна, главнымъ образомъ, вѣсу подвижнаго состава и скорости его движенія.

Если разсматривать одинъ лишь паровозъ и считать его соединеніе съ тендеромъ и остальною частью поѣзда совершенно упругимъ и принять, по предъидущему, вѣсъ паровоза равнымъ L тоннъ; скорость движенія $= v$ ки-

*) Считая вѣсъ вагона при полномъ грузѣ въ 16 тоннъ.

лометровъ въ часъ; g = ускоренію силы тяжести—то силу удара о стыки обѣихъ колей можно выразить формулой:

$$T = \frac{Lv}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (IX)$$

При вѣсѣ паровоза, равномъ 60 тоннамъ = 60.000 килограммамъ; v = 40 километрамъ = 40.000 метрамъ въ часъ и g = 9.81 метрамъ въ секунду

$$T = \frac{60.000 \times 40.000}{9.81 \times 60 \times 60} = \underline{\underline{67957.87}} \text{ килограммовъ} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (H).$$

Очевидно, что на величину силы удара можетъ оказывать вліяніе масса и остальной части поѣзда.

§ 7. **Угонъ отъ ударовъ колесъ подвижнаго состава вслѣдствіе кантованія концовъ рельсовъ.** Отъ несовпаденія профилей рельсовъ въ стыкѣ благодаря поперечному наклоненію таковыхъ подъ нагрузкою колесъ является, какъ бы, скручиваніе пошерстнаго конца рельса. Какъ извѣстно, рельсы подъ давленіемъ колесъ наклоняются нѣсколько внутрь колеи, которая отъ этого съуживается. По наблюденіямъ на французскихъ желѣзныхъ дорогахъ *) оказывается, что такое наклоненіе составляетъ въ среднемъ отъ 1—2.5 $^m/_m$, причемъ наклонъ этотъ по концамъ рельса больше чѣмъ по срединѣ. т. е. происходитъ какъ бы „кантованіе" его конца. Такъ какъ накладки не обладаютъ достаточной жесткостью (даже при условіи самаго ихъ плотнаго прилеганія къ рельсовой шейкѣ), чтобы передать это скручивающее усиліе слѣдующему рельсу—то пошерстный конецъ въ стыкѣ (ф. 3) больше наклоняется, чѣмъ противошерстный, образуя такимъ образомъ уступъ, съ котораго соскакиваетъ колесо. Вслѣдствіе этого, особенно при большихъ скоростяхъ, колеса падаютъ на противошерстный конецъ рельса въ нѣкоторомъ разстояніи (отъ $1^1/_2$″—3″) отъ стыка (ф. 4), образуя выбоины въ головкахъ этихъ концовъ, удары о которые будутъ, очевидно, способствовать угону.

§ 8. **Угонъ рельсовъ отъ ударовъ колесъ подвижнаго состава объ уступы въ стыкахъ, являющіеся вслѣдствіе несовпаденія профилей рельсовъ.** На увеличеніе силы удара въ стыкахъ имѣетъ, безспорно, значеніе и неодинаковая высота смежныхъ концовъ рельсовъ, являющаяся послѣдствіемъ или небрежной прокатки новыхъ рельсовъ, или же вслѣдствіе укладки при единичной смѣнѣ старыхъ рельсовъ съ неодинаковою степенью износа. По послѣднимъ техническимъ условіямъ пріемки рельсовъ*) допускается разница въ высотѣ ихъ не свыше 0.5 $^m/_m$. Даже и такой сравни-

*) По наблюденіямъ Коюара на дорогѣ Paris—Lyon—Méditerranée.

*) „Временныя техническія условія на поставку стальныхъ рельсовъ" § 2—Вѣстн. М. П. С. № 1 1900 годъ.

тельно ничтожный уступъ всетаки оказываетъ ощутительное вліяніе: такъ при ударѣ колеса съ давленіемъ $\frac{15}{2} = 7.5$ тоннъ при паденіи съ такого уступа развивается живая сила въ $7.5 \times 1000 \times 0.0005 = \underline{\underline{3.75}}$ килограммометра.

§ 9. **Угонъ отъ ударовъ неправильно изношенныхъ бандажей.** Нерѣдко случается, что шины колесъ подвижнаго состава изнашиваются далеко не однообразно. Удары получаемые колесами при проходѣ черезъ стыки и въ особенности треніе объ рельсы слишкомъ сильно затормаженныхъ колесъ, весьма часто измѣняютъ поверхность катанія бандажей, придавая имъ иногда видъ значительно отступающій отъ формы правильнаго конуса, имѣющаго своею геометрическою осью—ось вращенія колесъ, а иногда производитъ въ нихъ даже настоящія выбоины.

Въ этомъ отношеніи дѣйствіе воздушныхъ тормазовъ, производящихъ давленіе на колеса цѣлаго поѣзда болѣе или менѣе равномѣрно, гораздо слабѣе, нежели дѣйствіе ручныхъ тормазовъ.

Во все время движенія катящагося колеса, пока прикосновеніе его къ рельсамъ происходитъ на правильныхъ частяхъ поверхности бандажа, центръ тяжести колеса будетъ описывать линію равноотстоящую отъ поверхности рельса и, посему, сила, прижимающая колесо къ рельсу, не произведетъ никакой работы. Но какъ только колесо коснется рельса выбитою частью бандажа—то послѣдуетъ ударъ—въ свою очередь образующій на поверхности рельсовъ цѣлый рядъ мелкихъ выбоинъ, благодаря которымъ въ дальнѣйшемъ подвижной составъ даже и съ правильными шинами будетъ ударяться объ эти выбоины и тѣмъ способствовать угону рельсовъ.

§ 10. **Угонъ отъ силы тормаженія.** При тормаженіи колесъ, катящихся по рельсамъ, какъ извѣстно, увеличивается оказываемое сими послѣдними сопротивленіе поступательному движенію. Это сопротивленіе R не можетъ превысить силы сцѣпленія FP (§ 5),—иначе произошло бы простое скольженіе колесъ подвижнаго состава по рельсамъ. Наивысшаго своего значенія сила R достигаетъ очевидно тогда, когда *тормазныя колодки нажаты до высшаго предѣла, при которомъ колеса еще катятся по рельсамъ* и при малѣйшемъ увеличеніи котораго начали бы скользить. Коэффиціентъ сцѣпленія колесъ съ рельсами измѣняется въ зависимости отъ состоянія поверхности рельсовъ, не зависитъ отъ скорости движенія и колеблется, какъ говорено было выше, въ предѣлахъ отъ 0.14—0.33, при чемъ въ среднемъ можетъ быть принятъ равнымъ для сухихъ рельсовъ въ 0.25.

Принимая это послѣднее значеніе коэффиціента F — нетрудно видѣть, что при N % тормазныхъ осей въ поѣздѣ наибольшее горизонтальное уси-

ліе передаваемое при тормаженіи цѣлаго поѣзда вѣсомъ P на рельсы можетъ достигать величины

$$R = 0.25 \times N \times P \quad . \; . \; .$$

или

$$R = 0.25 \times N [L + Q] \quad . \; . (X)$$

гдѣ, по предъидущему, L — вѣсъ паровоза съ тендеромъ, а Q — вѣсъ вагоновъ въ тоннахъ.

Для разсмотрѣннаго въ § 5 частнаго случая L = 100 тоннъ, Q = 480 тоннъ; n — число вагоновъ = 30.

Если принять во вниманіе, что по нашимъ министерскимъ постановленіямъ при скорости движенія въ 40 верстъ въ часъ и 0.008 уклонѣ наименьшее количество тормазныхъ осей должно быть 23 — то для даннаго случая $N = \frac{23}{2 \times n} = \underline{\underline{0.38}}$ и

$$R = 0.25 \times 0.38 \times (100 + 480) \times 1000 = 55100 \text{ килограммовъ} \quad . \; . (M)$$

Въ настоящее время, когда система непрерывныхъ тормазовъ получила уже столь обширное примѣненіе, что на нѣкоторыхъ дорогахъ въ курьерскихъ и скорыхъ поѣздахъ *всѣ* вагонныя оси уже снабжены тормазными колодками — сила тормаженія можетъ очевидно достигнуть, въ иныхъ случаяхъ, гораздо большихъ размѣровъ, чѣмъ указано выраженіемъ (M) и, слѣдовательно, еще сильнѣе способствовать угону.

§ 11. Сопоставленіе найденныхъ силъ угона.

Величина силы сопротивленія верхняго строенія угону.		Величина силы угона (въ килограммахъ).		
Условія, при которыхъ сопротивляется верхнее строеніе.	Сила сопротивленія въ килограммахъ.	Угонъ отъ сопротивленія движенію поѣзда.	Угонъ отъ ударовъ колесъ подвижнаго состава.	Угонъ отъ тормаженія.
I. Угоняются только рельсы.				
а) рельсы лежатъ на подкладкахъ	22000			
б) „ „ непосредственно на шпалахъ	45000			
II. Угоняется все верхнее строеніе.				
а) рельсы лежатъ на подкладкахъ	15321	1268	67958	55100
б) „ „ непосредственно на шпалахъ	30612	8011		
III. Угоняется все верхнее строеніе, но принимается въ разсчетъ и сопротивленіе балласта въ ящикахъ.				
а) рельсы лежатъ на подкладкахъ	19560			
б) „ „ непосредственно на шпалахъ	34850			

Изъ разсмотрѣнія настоящей таблицы нетрудно вывести нижеслѣдующія заключенія:

I. Сопротивленіе верхняго строенія при прочихъ благопріятныхъ условіяхъ *можетъ* оказаться достаточнымъ для надлежащаго противодѣйствія *угону* отъ *сопротивленія движенію поѣзда.*

II. Сопротивленіе верхняго строенія *не въ состояніи бороться съ горизонтальными силами, вызываемыми ударами колесъ подвижнаго состава и тормаженіемъ.*

III. *Наивысшимъ дѣятелемъ* въ угонѣ рельсъ является, при всѣхъ прочихъ равныхъ обстоятельствахъ, та же *горизонтальная сила, порождаемая ударами колесъ подвижнаго состава.*

IV. Съ увеличеніемъ числа тормазныхъ осей возможно, что сила угона отъ тормаженія не только сравняется съ силою угона отъ ударовъ колесъ подвижнаго состава, но даже превзойдетъ таковую.

Такимъ образомъ всѣ мѣры для борьбы съ угономъ, вызываемымъ вышеразсмотрѣнными въ § 4 первыми тремя причинами, должны, главнымъ образомъ, быть направлены прежде всего на устраненіе вліянія *силы ударовъ* колесъ подвижнаго состава путемъ:

а) Безусловнаго изъятія изъ обращенія колесъ съ выбитыми бандажами.

б) Возможнымъ усиленіемъ жесткости стыковъ путемъ улучшенія системъ накладокъ, качества балласта и различнаго рода приспособленіями, могущими, хотя бы косвенно, способствовать силѣ сопротивленія верхняго строенія.

в) Строгою сортировкою *передъ* укладкою *новыхъ* рельсъ.

г) Строгимъ выборомъ старыхъ рельсъ при единичной смѣнѣ.

д) Обращеніемъ должнаго вниманія на борьбу съ дѣйствіемъ тормаженія, а именно: 1) вмѣненіемъ въ обязанность машинистамъ и кондукторскимъ бригадамъ товарныхъ поѣздовъ, снабженныхъ ручными тормазами — возможно заблаговременнаго и равномѣрнаго тормаженія на уклонахъ, а не внезапнаго нажатія тормазовъ въ послѣднюю т. е. критическую минуту, когда, благодаря чрезмѣрно развившейся скорости, приходится тормазить *во всю;* 2)—безусловнымъ запрещеніемъ машинистамъ пассажирскихъ и особенно курьерскихъ поѣздовъ, снабженныхъ непрерывными тормазами — тормаженія чуть ли не въ послѣднюю минуту передъ самой остановкой поѣзда у станціи, передъ мѣстомъ пути, на которое выдано предупрежденіе о тихомъ ходѣ, передъ большими мостами и т. д.

§ 12. **Противуугонная накладка системы инженера Любимова*).** Накладка этой системы принадлежитъ къ числу однихъ изъ средствъ противъ угона, перечисленныхъ подъ рубрикою *б* въ предъидущемъ §. При-

*) Охранительное свидѣтельство № 10370.

способленіе это состоитъ (см. отдѣльный листъ чертежей ф. 5, 6, 7 и 8) изъ двухъ листовъ А и А^1 котельнаго желѣза толщиною $^2/_8$ дюйма, высотою 21 дюймъ и шириною 8,4 дюйма каждый. Къ листу А^1 помощью 6 заклепокъ діаметромъ въ $^1/_4$ дюйма приклепаны двѣ полосы котельнаго желѣза *а* и *а*^{1} (ф. 5 и 6), длиною 21 дюймъ, шириною $1^1/_2$ дюйма и толщиною $^2/_8$ дюйма. Полосы эти образуютъ пазъ, въ который можетъ быть вставленъ листъ А. Къ тѣмъ же листамъ А и А^1 приклепаны при помощи 5 заклепокъ полосы Б и Б^1 длиною по 21 дюйма, шириною 2 дюйма и толщиною $^1/_2$ дюйма, снабженныя на верхнихъ концахъ своихъ лапками изъ того же желѣза (2″ на $^1/_2$″). Лапки эти образуются перекручиваніемъ естественнаго продолженія тѣхъ же полосъ Б и Б^1 и составляютъ съ послѣдними, такимъ образомъ, одно цѣлое. Въ каждой изъ нихъ сдѣланы по два отверстія діаметромъ 1 дюймъ, сквозь которыя могутъ быть пропущены болты Д діаметромъ $^7/_8$ дюйма, длиною $5^1/_8$ дюйма.

Способъ употребленія противуугонной накладки описаннаго образца таковъ: въ мѣстахъ пути, гдѣ замѣчается угонъ рельсовъ,—приводятъ предварительно путь надлежащимъ образомъ въ нормальное состояніе; затѣмъ, смотря по силѣ существующаго въ данномъ мѣстѣ угона: или на каждомъ стыкѣ или черезъ одинъ стыкъ или же, наконецъ, черезъ два стыка—располагаютъ въ стыкахъ противуугонныя накладки описаннаго образца. Для сего разбалчиваютъ одну пару болтовъ Д въ фасонныхъ накладкахъ *бб* стыка (ф. 7) съ одной какой нибудь стороны стыка; опускаютъ въ балластъ обѣ половинки А и А^1 противуугонной накладки. Ударяя слегка кувалдой заставляютъ войти листъ А въ пазъ *аа*^{1} листа А^1 и прибалчиваютъ лапки вышеуказанными болтами Д къ фасоннымъ накладкамъ *бб*^{1}, а, слѣдовательно, и къ самому рельсу пути.

Въ случаѣ балластъ слишкомъ уплотнился и не допускаетъ непосредственной вставки половинокъ А и А^1 поступаютъ слѣдующимъ образомъ: въ ящикѣ между стыковыми шпалами вырываютъ небольшую ямку и вставляютъ въ нее листы А и А^1, поступая въ дальнѣйшемъ, какъ указано выше и наблюдая затѣмъ лишь, чтобы обратно засыпанный балластъ былъ бы плотно утрамбованъ.

Въ описанномъ видѣ приспособленіе это можетъ быть изготовлена всецѣло средствами самихъ желѣзныхъ дорогъ, какъ по несложности своей конструкціи, такъ и по постоянной наличности въ предѣлахъ любой желѣзной дороги тѣхъ матеріаловъ, изъ которыхъ изготовляется накладка указанной системы. Самая установка ея на мѣсто производится *въ стыкѣ* рельсовъ, а не гдѣ либо посрединѣ таковыхъ, т. е. другими словами, не дѣлается въ рельсахъ добавочныхъ дыръ, могущихъ ослабить ихъ сѣченіе и служить причиною

поломки таковыхъ. Накладка не препятствуетъ надлежащей подбивкѣ концовъ шпалъ.

Противуугонное приспособленіе это было испытано въ теченіе одного рабочаго весенняго, лѣтняго и осенняго періода при нижеслѣдующихъ условіяхъ: профиль пути: двухъ-верстный, сплошной уклонъ 0.004. Кривая P = 500. Движеніе двупутное. Размѣръ движенія свыше 30 поѣздовъ по каждому пути. Сильное тормаженіе пассажирскихъ поѣздовъ благодаря необходимости остановки у дачной платформы, находящейся на короткой площадкѣ при самомъ концѣ уклона. На описанной части пути до постановки противуугонныхъ накладокъ указанной системы, замѣчался сильный угонъ рельсъ ($0^c.14 = 299$ $^m/_m$). Путь былъ приведенъ въ полную исправность, стыки разогнаны по наугольнику; затѣмъ на части его были поставлены *черезъ стыкъ* накладки описанной системы. На сказанной части угонъ *совершенно* прекратился, тогда какъ въ прочихъ мѣстахъ версты угонъ возобновился. Изгиба лапокъ Б въ накладкахъ, а равно и поврежденія въ листахъ А послѣ шестимѣсячнаго лежанія въ пути не замѣчалось. Дѣйствіе накладки можетъ быть объяснено съ одной стороны нѣкоторымъ усиленіемъ жесткости самаго стыка,—съ другой же, какъ бы нѣкоторымъ усиленіемъ сопротивленія самаго балласта. Не предрѣшая возможности вполнѣ удачнаго дѣйствія той же накладки и на болѣе крутыхъ уклонахъ—ограничиваемся здѣсь лишь установленіемъ факта ея полезнаго дѣйствія при вышеописанныхъ условіяхъ.

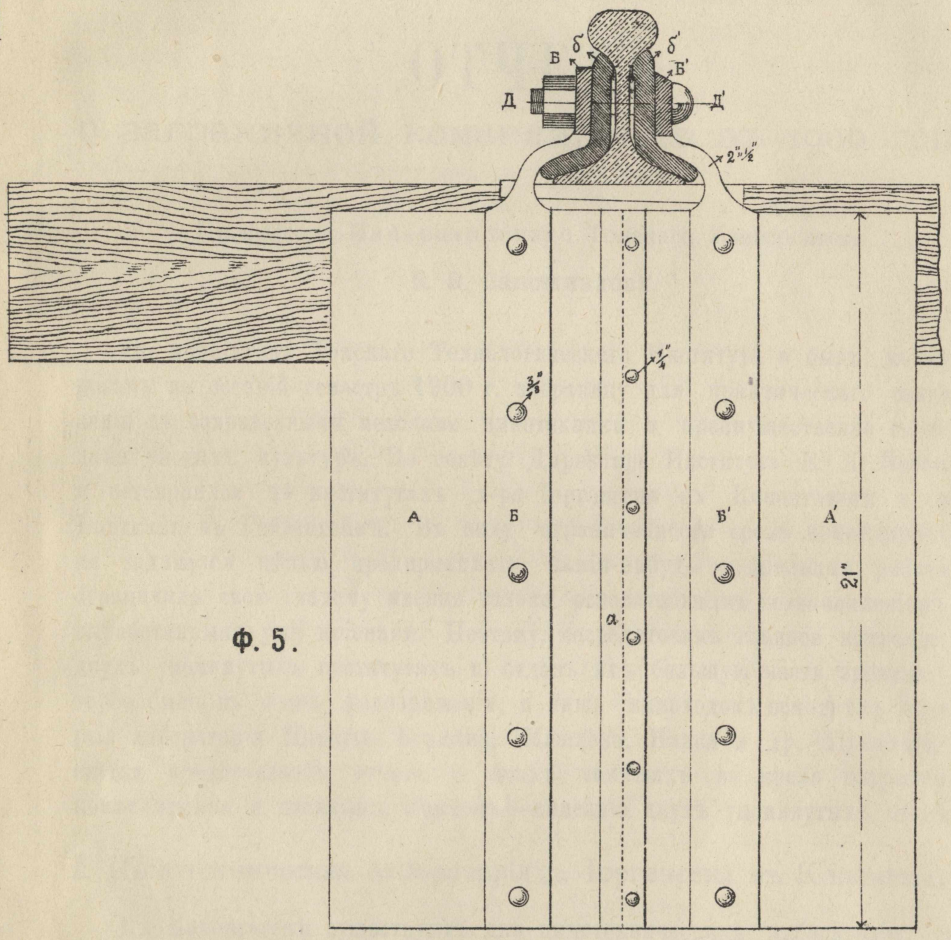
§ 13. **Вліяніе конструкціи паровозовъ на угонъ**. Вліяніе это, какъ было замѣчено уже вскользь (§ 4) выражается, главнымъ образомъ, въ неравномѣрности угона одной нитки колеи или т. н. *„опереженіи“* сравнительно съ другою. Разсмотрѣнію сего вопроса было посвящено въ иностранной (преимущественно нѣмецкой) литературѣ нѣсколько обстоятельныхъ статей,—причемъ авторы таковыхъ Borries*), Engerth и Spitz**) наблюдали, почти исключительно, опереженіе въ лѣвой ниткѣ, (считая по движенію) независимо оттого обращена ли она въ сторону бровки или же къ серединѣ пути и приписываютъ такое опереженіе конструкціи паровозовъ австро-венгерскихъ желѣзныхъ дорогъ, гдѣ кривошипъ праваго механизма насаженъ на 90° впередъ относительно положенія кривошипа лѣвой стороны, вслѣдствіе чего лѣвая сторона паровоза, какъ это между прочимъ и подтвердилось большимъ износомъ лѣвыхъ бандажей первыхъ колесъ—работала значительно сильнѣе правой.

---

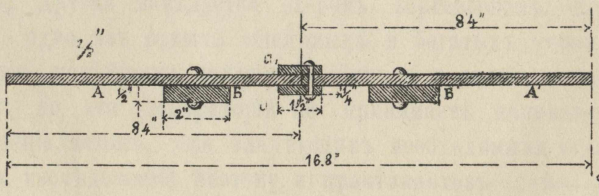
*) Organ fur die Fortschritte des Eisenbahnwesens. 1897 Heft. 12 „Ueber den Einfluss der Lokomotiven auf das Wandern der Schienen“. Von Borries.

**) 1897. Heft. 9 „Ueber das Wandern von Schienen bei Eisenbahngleisen“ Von H. Freiherr, von Engerth und Ingenieur M. Spitz.

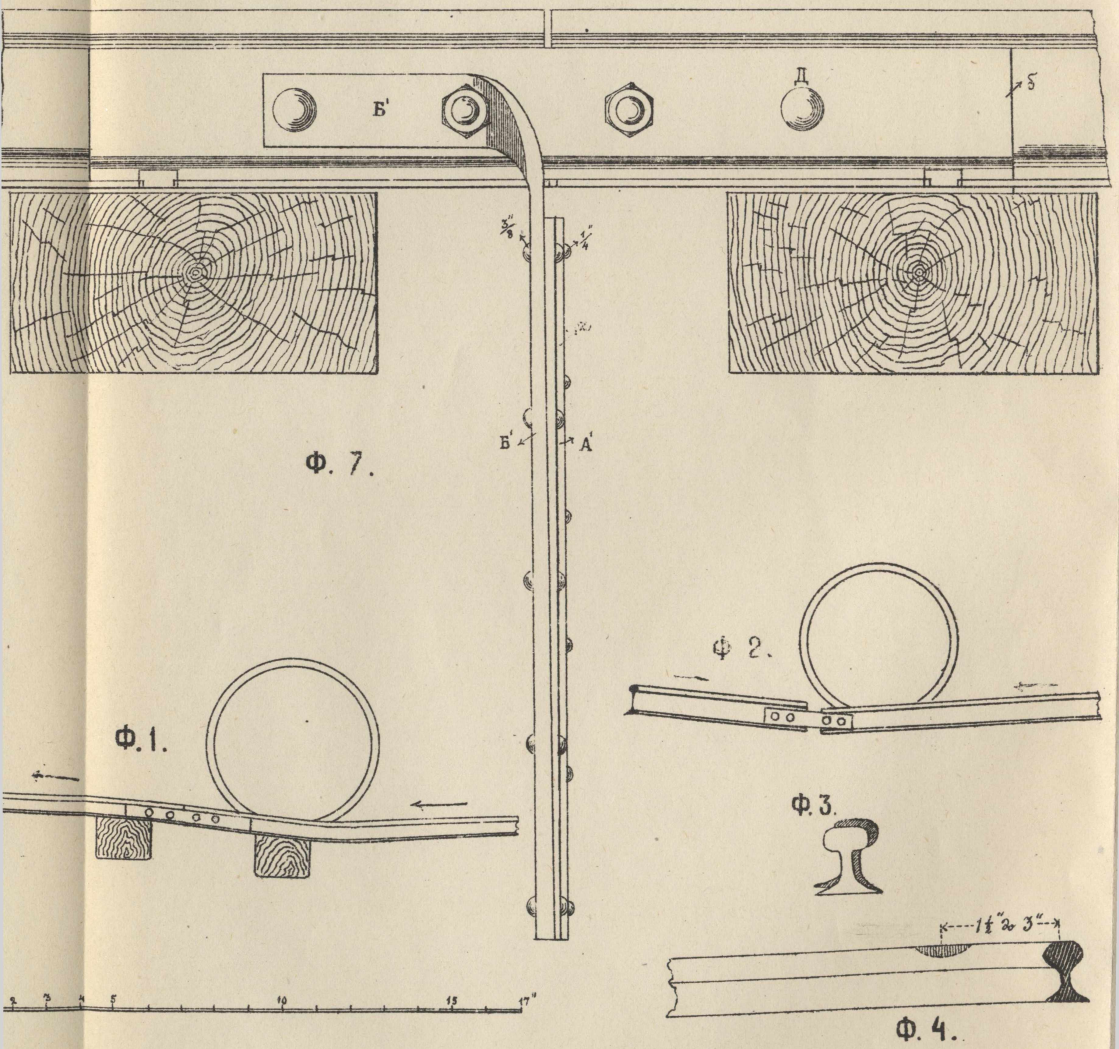
Съ своей стороны намъ лично пришлось наблюдать на Московско-Нижегородской желѣзной дорогѣ опереженіе *правой нитки* рельсовъ, вызываемое также конструктивнымъ недостаткомъ паровозовъ, обращающихся на этой дорогѣ, но нѣсколько инаго характера, чѣмъ только что описанный. Дѣло въ томъ, что до 1891 года неравномѣрнаго угона въ прямыхъ частяхъ Московскаго участка этой дороги не наблюдалось. Въ 1891 году на дорогу стали поступать новые паровозы *Серіи Е.* Коломенскаго завода системы Compaund. Спустя нѣкоторое время послѣ начала движенія сихъ послѣднихъ сталъ замѣчаться въ прямыхъ частяхъ пути угонъ, выражающійся въ обгонѣ правою ниткою колеи лѣвой нитки таковой. Такъ какъ наружная нитка во всѣхъ прямыхъ частяхъ на этой дорогѣ повышена по сравненію съ лѣвой—на 0.002—0.003^{c},—то такое опереженіе не могло найти себѣ возможнаго объясненія въ большей осадкѣ наружной нитки на бровкѣ полотна, какъ сравнительно болѣе слабомъ мѣстѣ пути. Тогда намъ пришло на мысль искать причину такого обгона въ конструкціи вышеозначенныхъ паровозовъ. Оказалось, что паровозы этой серіи имѣютъ, какъ почти всѣ паровозы Compaund лѣвый цилиндръ значительно большей величины, чѣмъ правый. Уравненіе же работы того и другого цилиндра достигается тѣмъ, что свѣжій паръ изъ котла поступаетъ только въ правый малый цилиндръ, а лѣвый большой—работаетъ уже мятымъ паромъ, причемъ паръ этотъ въ значительной степени теряетъ свое первоначальное давленіе, а именно съ давленія 11 атмосферъ падаетъ до $5^1/_2$ или даже 5 атмосферъ. Уравненіе работъ обѣихъ сторонъ паровоза при столь отличныхъ другъ отъ друга давленіяхъ достигается, какъ говорено выше, неодинаковыми размѣрами цилиндровъ, работающихъ свѣжимъ и мятымъ паромъ. Но дѣло въ томъ, что такое обстоятельство для вышеописанной серіи Е, какъ выяснено нами, безусловно вѣрно только при *предѣльномъ* давленіи въ котлѣ въ 11 атмосферъ. Зато какъ только давленіе свѣжаго пара, хотя бы *немного* только, ниже предѣльнаго (что случается на практикѣ весьма часто)—то уравненія работы правой и лѣвой стороны уже болѣе нѣтъ—и, какъ оказывается, на дѣлѣ работа свѣжаго пара въ правой сторонѣ паровоза значительно выше работы мятаго пара лѣвой. Этимъ и объясняется, какъ слѣдуетъ предположить, обгонъ именно правой нитки рельсовъ.



Ф. 5.



Ф. 6.



Лит. П.И. Макушина въ Томскѣ.