

**КЪ ВОПРОСУ
О ТОРМОЖЕНІИ ТРАМВАЙНЫХЪ ВАГОНОВЪ.**

Докладъ VII Всероссийскому Электротехническому Съезду
въ Москвѣ.

Ө. Ф. Нарушевичъ.

I. Основной законъ тормаженія.

Если предоставить поѣзду или вагону свободно катиться по горизонтальному пути, то скорость его, вслѣдствіе сопротивленій, которыя встрѣчаются на его пути, будетъ постепенно убывать до тѣхъ поръ, пока вагонъ не остановится. Это сопротивление свободно движущемуся вагону принято называть сопротивленіемъ движенію; ниже будемъ обозначать величину его въ кгр., отнесенную къ одной тоннѣ вѣса вагоновъ, черезъ W .

Если вагонъ въ тѣхъ же условіяхъ будетъ катиться подъ уклонъ и если при этомъ слагающія силы тяжести больше сопротивления движенію, то скорость его все время будетъ увеличиваться и остановки поѣзда или вагона не произойдетъ.

Отсюда слѣдуетъ, что для остановки поѣзда или вагона въ любомъ мѣстѣ или для регулированія скорости его движенія необходимы особыя приспособленія, которыя принято называть тормазами.

Если движущійся съ опредѣленной скоростью поѣздъ долженъ быть остановленъ въ данномъ мѣстѣ, тормазами должна быть вызвана такая работа силъ сцѣпленія, которая равна энергіи движущагося поѣзда въ моментъ тормаженія.

Затормазить вагонъ значитъ замедлить въ той или иной степени вращеніе колесъ вагона.

Уменьшеніе же скорости вращенія колесъ можетъ быть осуществлено различными способами; на примѣръ, можно насадить на ось полуската мѣдную шайбу, которая, вращаясь въ моментъ тормаженія въ магнитномъ потокѣ, замедляетъ вращеніе оси и тормазитъ вагонъ; или можно зажать колеса вагона между колодками и уменьшить такимъ образомъ скорость ихъ вращенія.

Отсюда задача управляющаго поѣздомъ состоитъ въ томъ, чтобы вызвать тормозящее усиліе вращенія колесъ; работу, необходимую для поглощенія энергіи движущагося вагона, совершаютъ силы тренія или сцѣпленія, которыя возникаютъ между рельсами и колесами мивслѣдствіе уменьшенія ихъ скорости вращенія.

Треніе, возникающее между колесами и колодками, условимся въ дальнѣйшемъ называть просто треніемъ, треніе же между колесами и рельсами—трениемъ каченія или сцѣпленіемъ.

Величина силы сцѣпленія зависитъ отъ тренія колодокъ о колеса. Чѣмъ въ большей степени замедляется вращеніе колесъ поступательно движущагося поѣзда, тѣмъ больше становится сцѣпленіе. Но первое вызывается тѣмъ или другимъ нажатіемъ колодокъ на колеса.

Такимъ образомъ сцѣпленіе есть функція тренія колодокъ о колеса: если треніе колодокъ равно нулю, сцѣпленіе колесъ съ рельсами является равнымъ сопротивленію свободно катящагося вагона. Но если

трєніє колодокъ настолько велико, что прекращается вращеніе колесъ, сцѣпленіе переходитъ въ трєніе скольженія колесъ по рельсамъ.

Эта зависимость между силами трєнія колодокъ и сцѣпленія колесъ съ рельсами при тормажєніи согласно теоретическихъ изслѣдованій D'Alemberts'a выражается дифференціальнымъ уравненіемъ.

Если силу трєнія колодокъ при тормажєніи обозначить черезъ B , а соотвѣтственную ей силу сцѣпленія—черезъ F , то, согласно изслѣдованіямъ профессоровъ Bartl'a, Franke'a и др.:

$$B = F \dots \dots \dots (1),$$

т. е. основной законъ тормажєнія состоитъ въ томъ, что при тормажєніи трєніе колодокъ о колеса равняется сцѣпленію колесъ съ рельсомъ. Для полученія каждаго килограмма силы сцѣпленія необходимо затратить одинъ килограммъ трєнія колодокъ.

Понятно, этотъ законъ вѣренъ до тѣхъ поръ, пока не наступаетъ скольженіе колесъ по рельсамъ.

Если бы коэффициентъ трєнія равнялся коэффициенту сцѣпленія, то этотъ законъ могъ бы быть выраженъ такъ:

нажатіе колодокъ должно равняться давленію колесъ на рельсы.

Но такъ какъ эти коэффициенты не равны, то это послѣднее равенство не имѣетъ мѣста, а существуетъ равенство силъ сцѣпленія и трєнія.

Опытныя и теоретическія изслѣдованія показали, что наибольшая величина силы сцѣпленія наступаетъ тогда, когда сцѣпленіе находится у предѣла скольженія. Это состояніе движенія, при которомъ каченіе переходитъ въ скольженіе, проф. Bartl называетъ предѣльнымъ каченіемъ.

Слѣдовательно, подъ словомъ предѣльное каченіе слѣдуетъ понимать такое движеніе, при которомъ скорость вращенія колесъ затормажєннаго вагона приближается къ нулю, но не достигаетъ его.

Разъ колеса находятся въ состояннн предѣльнаго каченія, силы сцѣпленія достигаютъ своего максимума. Если нажать колодки выше предѣльнаго каченія, наступаетъ скольженіе колесъ по рельсамъ, и эффектъ тормажєнія падаетъ, такъ какъ коэффициентъ скольженія меньше коэффициента сцѣпленія при предѣльномъ каченнн.

Какова величина сцѣпленія предѣльнаго каченія, до сихъ поръ съ точностью не опредѣлено.

Ниже приводимыя данныя и соображенія имѣютъ лишь цѣлью намѣтить тѣ предѣлы, около которыхъ лежатъ величины сцѣпленія.

II. Опредѣленіе величины тормажєнія.

Изъ вышесказаннаго явствуетъ, что при одномъ и томъ же вѣсѣ вагона можетъ быть получена въ извѣстныхъ предѣлахъ любая степень сцѣпленія вагона при тормажєніи. Если колеса вагона ничѣмъ не тормажєются или, другими словами, вращеніе ихъ ничѣмъ не замедляется, получается наименьшее сцѣпленіе, приходящееся на тонну вагона. Разъ вращеніе колесъ чѣмъ нибудь задерживается, то увеличивается и сцѣ-

плёніе, достигающее своей наибольшей величины при предѣльномъ каченіи, за которымъ уже слѣдуетъ скольженіе.

Катящееся треніе при тормаженіи, какъ сила дѣйствующая въ сторону, обратную движенію колесъ, можетъ быть измѣрено какъ произведеніе изъ массы и отрицательнаго ускоренія, которое испытываютъ движущіяся массы вслѣдствіе вліянія тормажаящихъ силъ. Отсюда величина замедленія движенія можетъ служить мѣрой величины сцѣпленія.

Пусть на горизонтальномъ прямомъ пути поѣздъ движется со скоростью v метровъ въ секунду, масса одной тонны котораго равна m ; энергія одной тонны такого поѣзда въ моментъ тормаженія равна $\frac{mv^2}{2}$ килограмметрамъ.

Если s означитъ путь поѣзда съ момента тормаженія до момента остановки черезъ S метр. и среднюю силу сцѣпленія, дѣйствующую во время тормаженія и отнесенную къ одной тоннѣ поѣзда, — черезъ F_2 kg , то работа силъ сцѣпленія выразится произведеніемъ F_2S килограмметровъ.

Такъ какъ поѣздъ съ момента тормаженія до остановки теряетъ всю запасенную въ немъ въ видѣ живой силы энергію, благодаря работѣ силъ сцѣпленія, то должно имѣть мѣсто равенство:

$$S F_2 = \frac{m v^2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

Если обозначимъ чрезъ p замедленіе въ метр. въ сек.², то получимъ, что сила $F_2 = m \cdot p \dots \dots \dots (2a)$

Подставляя выраженіе для F_2 изъ ур-ія (2a) въ уравненіе (2), получаемъ:

$$S p = \frac{v^2}{2} \text{ или } p = \frac{v^2}{2S} \dots \dots \dots (2b)$$

Если скорость, съ которой началось тормаженіе, выразить въ километрахъ въ часъ, то $v = \frac{V}{3,6}$ и

$$p = \frac{V^2}{26S} \dots \dots \dots (3)$$

По этой формулѣ легко можетъ быть вычислено замедленіе поѣзда, разъ будетъ извѣстна скорость, съ которой началось тормаженіе и будетъ измѣренъ путь тормаженія; а если извѣстно замедленіе, съ которымъ сила сцѣпленія останавливаетъ поѣздъ данной массы, то извѣстна и сама сила сцѣпленія по ур-ію (2a).

Замедленіе при тормаженіи на основаніи формулы (3) можетъ быть выражено и въ зависимости отъ времени, т. е. по формулѣ:

$$p = \frac{2S}{t^2} \dots \dots \dots (3a)$$

Слѣдуетъ однако оговориться, что опредѣляемое по этой общеизвѣстной формулѣ (3) замедленіе не полностью можетъ быть отнесено на счетъ работы силъ сцѣпленія; для опредѣленія чистаго коэффиціента сцѣпленія между рельсами и колесами слѣдовало бы вычесть работу про-

тиводѣйствія вѣтра и другихъ сопротивленій движенію. Но такъ какъ всѣ эти величины невелики въ сравненіи съ работою силъ сцѣпленія, вызываемыхъ тормажениемъ, въ особенности при небольшихъ скоростяхъ движенія трамвайныхъ вагоновъ, то эта формула вполне можетъ быть пригодна для практическихъ цѣлей.

Вообще говоря, движеніе при тормаженіи не равномерноразмѣненное, а болѣе сложное, и зависитъ отъ рода тормазы, дѣйствующаго во время тормаженія. Поэтому замедленіе и, слѣдовательно, сила сцѣпленія во время тормаженія является переменною величиною, и тормазной путь опредѣляется по болѣе сложной, чѣмъ для равномернаго движенія, формулѣ. Но, какъ увидимъ ниже, это сложное движеніе въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ быть сведено къ формулѣ (3) равномерноразмѣненного движенія, дающей весьма близкіе къ дѣйствительности результаты.

При этомъ подъ силой сцѣпленія F_s слѣдуетъ понимать среднее его значеніе за данный путь тормаженія для каждаго опыта.

Здѣсь еще слѣдуетъ отмѣтить, что при движеніи вагона кромѣ инерціи поступательнаго движенія имѣется еще инерція вращательныхъ массъ, напримѣръ, колесныхъ паръ и пр. Очевидно, что на остановку вращающихся съ опредѣленною скоростью массъ необходимо затратить нѣкоторую работу.

Въ прицѣпномъ вагонѣ вращающимися массами являются только колесные скаты, въ моторномъ же прибавляются: якоря моторовъ и зубчатая передача, что въ общей сложности замѣтно увеличиваетъ инерцію движущагося вагона.

Если инерцію вращающихся массъ привести къ инерціи поступательно движущагося вагона, то масса одной тонны движущагося вагона, вмѣсто $\frac{1000}{9,81} \approx 102$ единицъ, должна быть нѣсколько увеличена.

Зная въ каждомъ конкретномъ случаѣ размѣры, форму и вѣсъ вращающихся массъ, можно точно опредѣлить добавочную величину отъ вращающихся частей къ инерціи поступательно движущагося вагона. Въ дальнѣйшемъ будемъ принимать массу одной тонны поступательно движущагося прицѣпнаго вагона равной 108, а моторнаго вагона—118, т. е. въ первомъ случаѣ при расчетѣ масса увеличивается на 6% и во второмъ на 16%.

III. Опыты тормаженія, произведенные на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ.

Замедленіе тормаженія, какъ мы видѣли, есть мѣра сцѣпленія. Но такъ какъ величина замедленія движенія, вызываемаго тормажениемъ, при данной скорости обратно пропорціональна тормазному пути, то достаточно опредѣлить путь тормаженія, чтобы получить величину сцѣпленія. На этомъ основаніи при производствѣ опытовъ для опредѣленія коэффиціента сцѣпленія достаточно согласно уравне-

нія (3) производить измѣренія только длины пути тормажения и скорости, при которой начинается тормажение.

Съ цѣлью опредѣленія сцѣпленія между рельсами и колесами при обычныхъ тормаженияхъ были организованы магистральными желѣзными дорогами многочисленныя изслѣдованія.

Во всѣхъ этихъ опытахъ опредѣлялся путь, на которомъ происходила остановка затормаженаго поѣзда. Тормажение поѣзда производилось большей частью ручнымъ тормазомъ.

Въ особенности достойны вниманія опыты, произведенныя комиссией изъ представителей 14 желѣзныхъ дорогъ Германіи въ 1883 г.

Этими опытами Коммиссіи удалось установить наибольшую подходящую величину замедленія въ практикѣ магистральныя желѣзныя дороги, а именно остановка поѣзда достигалась ручными тормазами на протяженіи 600 метровъ. При этомъ было установлено, что время, тратившееся на приведеніе въ дѣйствіе тормазнаго механизма съ момента подачи сигнала до начала нажатія колодокъ, достигало 5 секундъ.

Слѣдовательно, если поѣздъ въ моментъ подачи сигнала къ тормажению имѣлъ скорость v метровъ въ секунду, то, согласно вышесказаннаго, путь, пройденный поѣздомъ въ незатормаженомъ видѣ, будетъ $5v$ метровъ, или если V дано въ киллометрахъ въ часъ—

$$\frac{5V}{3,6} = 1,4V$$

или кругло $1,5V$. На основаніи этого дѣйствительный путь тормажения, опредѣленный комиссией германскихъ желѣзнодорожныхъ инженеровъ, выразится $S = 600 - 1,5V$ и формула (3) принимаетъ видъ:

$$p = \frac{V^2}{26(600 - 1,5V)}$$

Эта формула даетъ слѣдующую таблицу пути тормажения и величины замедленія для германскихъ желѣзныхъ дорогъ.

Т а б л и ц а 1.

V км. въ часъ.	S въ метрахъ.	p въ метр. въ сек. ² .
30	555	0,07
40	540	0,12
50	525	0,19
60	510	0,28
70	495	0,40
80	480	0,53
90	465	0,70
100	450	0,89

Такимъ образомъ допускаемое Коммиссией Германскихъ желѣзнодорожныхъ инженеровъ при обычномъ тормажении замедленіе въ 0,89 метр. въ сек.² для скоростей 100 км. въ часъ представляетъ, какъ увидимъ изъ нижеслѣдующаго, значительно меньшую величину тѣхъ замедленій, которыя были получены при предѣльныхъ тормаженияхъ.

Немало было также произведено опытовъ на желѣзныхъ дорогахъ съ цѣлью опредѣленія наибольшаго замедленія, которое можетъ быть достигнуто при тормажениі желѣзнодорожныхъ поѣздовъ.

Такъ, на примѣръ, главный инженеръ правительственныхъ желѣзныхъ дорогъ въ Берлинѣ Вихертъ нашель, что поѣздъ, движущійся со скоростью въ 75 кил. въ часъ, можетъ быть остановленъ на протяженіи 285 метровъ.

Отсюда по формулѣ (3) замедленіе:

$$p = \frac{75^2}{26 \times 285} = 0,76 \text{ метр. въ сек.}^2.$$

Къ тому же результату привели и изслѣдованія австроненгерскихъ желѣзныхъ дорогъ, по мнѣнію которыхъ наибольшій путь тормажениі можетъ быть въ среднемъ выраженъ формулой: $S = \frac{V^2}{26}$, гдѣ V — скорость въ километрахъ въ часъ. Отсюда средняя величина $p = 0,77$ метр. въ сек.², т. е. приблизительно та же самая, что даетъ и Вихертъ.

Для опредѣленія эффекта дѣйствія воздушныхъ тормазовъ Кертинга въ 1885 г. швейцарскими дорогами былъ предпринятъ рядъ опытовъ на Готтардской желѣзной дорогѣ.

Эти опыты были произведены съ особой тщательностью, при чемъ было обращено вниманіе также на время полного затормаживанія вагона.

Результаты этихъ опытовъ приведены въ слѣдующей таблицѣ:

Т а б л и ц а II.

V въ км. въ часъ.	t сек.	S въ метр.	p въ метр. въ сек. ²
39,6	16,5	116	0,85
40,3	11	75	1,24
43	14	127	1,26
44	12	103	1,43
45,5	12	96	1,33
48,4	17	126	0,86
50,4	18	125	0,86
50,7	16	153	1,20
51,6	18	193	1,19
54,8	20	176	1,09
55,1	17	161	1,11
57,0	16,5	160	1,17
58,6	19	97	1,09
60,0	16	188	1,46
60,2	18	186	1,21
64,8	17	172	1,18

Наибольшее замедление по этимъ опытамъ получено въ 1,46 метра.

Не лишены интереса опыты были произведены въ 1901 году въ томъ же направленіи Управленіемъ военной дороги Берлинъ-Ютерборгъ съ воздушными тормозами.

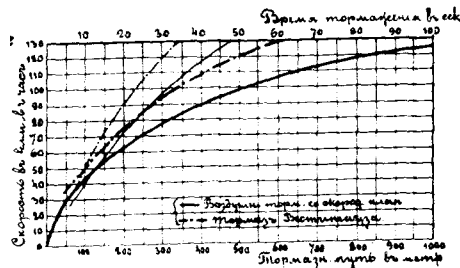
Результаты этихъ опытовъ приведены въ слѣдующей таблицѣ.

Т а б л и ц а Ш.

V км. въ часъ.	S метр.	ρ метр. въ сек. ²	Примѣчаніе.
24	31	0,74	Вѣтрено.
25	21	1,19	Сильный вѣтеръ.
25	31	0,81	Ясно.
39	96	0,64	,
41	61	1,10	Снѣжно.
46	91	0,93	Бурно.
48	153	0,70	Вѣтрено.
57	137	0,95	Бурно.
57	154	0,90	Ясно.
59	126	1,10	Снѣжно.
60	265	0,55	Вѣтрено.
64	119	1,37	Снѣжно.
69	166	1,15	,

Изъ этой таблицы видно, что наибольшее замедление при неблагоприятномъ состояніи погоды получено 1,37 метр. въ сек.²

На фиг. 1 изображена кривая среднихъ тормазныхъ путей пассажирскаго вагона магистральныхъ желѣзныхъ дорогъ на горизонтали при 100% тормазящихъ осей, полученныхъ тормажениемъ воздушнымъ тормазомъ съ скородѣйствующимъ клапаномъ при скоростяхъ движенія до 130 км. въ часъ. Пунктиромъ отмѣчена кривая тормазныхъ путей, полученная въ опытахъ Баварскихъ желѣзныхъ дорогъ съ тормазами Вестингауза.



Фиг. 1.

Изъ всѣхъ этихъ опытовъ, какъ и изъ многихъ другихъ, произведенныхъ въ разное время, слѣдуетъ, что наибольшее замедленіе при тормажениі желѣзнодорожныхъ поѣздовъ нигдѣ не превосходило 1,5 метровъ въ секунду. Эту величину, по мнѣнію проф. Гостковскаго *) и можно принять, какъ наибольшую для сцѣпленія желѣзнодорожныхъ поѣздовъ, т. е. замедленіе предѣльнаго каченія при тормажениі желѣзнодорожного поѣзда можетъ быть принято въ 1,5 метра въ секунду.

Если это предположеніе вѣрно, то всякое увеличеніе нажатія колодокъ дастъ замедленіе меньше 1,5 метровъ, т. е. вызоветъ скольженіе колесъ по рельсамъ, такъ какъ коэффициентъ тренія скольженія меньше коэффициента предѣльнаго каченія.

По Гостковскому коэффициентъ тренія скольженія въ среднемъ принимается около 0,15 или сила тренія, приходящаяся на одну тонну давленія на рельсы равняется 150 кгр.

Если принять массу одной тонны вагона равной 108, то получимъ $p = \frac{150}{108} = 1,39$, т. е. замедленіе меньше 1,5 метровъ.

Зная наибольшее замедленіе при тормажениі желѣзнодорожного поѣзда, легко опредѣлить наибольшее сцѣпленіе колесъ съ рельсами, т. е. сцѣпленіе предѣльнаго каченія.

Сцѣпленіе, которому отвѣчаетъ наибольшее замедленіе, определенное опытнымъ путемъ въ 1,5 м., получается равнымъ $F_2 = 108,5 = 162$ кгр. или кругло 160 кгр. на одну тонну вѣса поѣзда.

Затормазить поѣздъ съ такой силой, чтобы между колесами и рельсами возникло треніе, равное 160 кгр. на одну тонну вѣса поѣзда, значить, по мнѣнію Гостковскаго, затормазить поѣздъ полностью.

Если однако перейти къ электрической тягѣ, то, судя по произведеннымъ здѣсь многочисленнымъ опытамъ надъ тормажениемъ трамвайныхъ вагоновъ, предѣльный коэффициентъ сцѣпленія между колесами и рельсами получается значительно выше найденнаго для магистральныхъ желѣзныхъ дорогъ.

IV. Опыты тормажениія трамвайныхъ вагоновъ.

Для опредѣленія пригодности тормазовъ разныхъ системъ къ трамвайному движенію трамваями были произведены многочисленные опыты при разныхъ условіяхъ: сухихъ и мокрыхъ рельсахъ, съ посыпкой песка и безъ посыпки, причемъ тормажение производилось электрическое, замыканіемъ моторовъ на короткое, рельсовыми магнитными тормазами, воздушными и т. д.

Для примѣра въ нижеслѣдующихъ таблицахъ приведены данныя, полученныя изъ опытовъ нѣкоторыхъ трамваевъ и характеризующія ихъ условія тормажениія.

*) Gostkowski, prof. der Eisenbahnbetriebslehre an der k.k. Tech.Hochschule. Lemberg.

Данныя относительно выше приведенныхъ тормажений взяты изъ статьи Гостковскаго: «Eisenbahnbremsen».

Опыты Ганноверскаго трамвая.

При всѣхъ опытахъ путь былъ сухой; вѣсъ вагона, включая участниковъ испытанія, — 10,875 тоннъ; нормальная мощность мотора — 50 лош. силъ.

Т а б л и ц а IV.

Т а б л и ц а V.

Т а б л и ц а VI.

Воздушный тормазъ прямого дѣйствія.

Электрическій тормазъ короткаго замыканія.

Электрическій рельсовый тормазъ.

Скорость въ км. въ часъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замедленіе въ метрахъ въ секунду ² .	Катающее треніе или сѣпленіе въ кгр. на тонну вѣса вагона.
5.9	1.35	2.55	301
8.2	2.14	2.60	307
7.2	1.82	2.45	289
5.1	1.05	2.98	352
6.0	1.49	2.13	252
9.5	2.91	2.18	257
11.4	4.08	2.01	237
12.1	4.30	2.16	255
11.0	3.60	2.26	267
10.0	3.11	2.25	266
13.3	5.70	1.77	209
13.0	5.25	1.89	223
14.5	6.30	1.89	223
14.9	6.72	1.84	217
16.5	8.91	1.59	188
16.0	8.33	1.61	190
17.0	9.25	1.73	204
16.8	8.80	1.68	198
19.1	11.51	1.59	188
18.3	10.55	1.61	190
20.6	13.95	1.48	175
23.0	17.00	1.48	175
25.2	20.00	1.48	175
23.0	16.90	1.48	175
22.0	14.60	1.62	191
24.1	17.75	1.56	184
23.6	17.1	1.55	183
27.6	23.77	1.47	173.5
29.3	27.55	1.41	166.5
26.5	22.00	1.48	175
29.8	28.00	1.43	169
30.2	29.72	1.38	163
32.0	33.20	1.37	162
33.2	35.15	1.39	164
33.2	34.90	1.40	165
36.0	38.85	1.47	173.5
36.0	42.40	1.33	157

Скорость въ км. въ часъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замедленіе въ метрахъ въ секунду ² .	Катающее треніе или сѣпленіе въ кгр. на тонну вѣса вагона.
7.2	3.10	0.65	76.7
5.6	2.95	0.41	48.4
7.1	3.00	0.65	76.7
5.9	2.65	0.51	60.0
12.0	5.65	0.98	116
12.0	4.95	1.12	132
11.6	4.80	1.08	127.5
10.5	4.15	1.02	120.5
8.3	3.40	0.78	92
10.0	3.90	0.99	117
12.4	5.35	1.11	131
15.0	6.85	1.26	149
14.2	6.35	1.22	144
17.0	8.20	1.36	160.5
20.6	10.60	1.54	182
20.8	11.10	1.50	177
20.6	10.25	1.59	188
23.0	15.25	1.34	158
24.1	14.08	1.59	188
25.7	15.55	1.63	192.5
24.0	12.10	1.83	216
23.0	11.40	1.78	210
30.0	21.15	1.64	193.5
31.0	21.00	1.76	208
24.8	14.15	1.67	197
27.7	20.20	1.46	172
27.3	16.10	1.78	210
33.0	23.40	1.79	211
34.1	24.85	1.80	212
33.2	22.65	1.87	221
36.5	25.30	2.02	238

Скорость въ км. въ часъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замедленіе въ метрахъ въ секунду ² .	Катающее треніе или сѣпленіе въ кгр. на тонну вѣса вагона.
9.9	3.52	1.07	126
7.9	3.75	0.64	75.5
5.4	3.17	0.35	41.3
7.0	3.05	0.62	73
7.0	3.03	0.62	73
7.0	3.50	0.54	63.7
7.0	3.60	0.53	62.5
6.2	3.50	0.42	49.5
10.1	4.55	0.86	101.5
11.5	4.50	1.13	133
10.6	4.25	1.02	120.5
10.6	4.55	0.95	112
9.7	3.90	0.93	110
13.8	5.82	1.26	149
11.4	4.45	1.12	132
14.0	5.70	1.32	156
15.6	6.75	1.39	164
17.9	9.40	1.31	154.5
19.0	9.05	1.54	182
17.0	7.95	1.40	165
19.6	7.88	1.87	221
20.8	9.10	1.83	216
21.6	9.40	1.91	225
24.0	14.45	1.53	180.5
23.0	12.75	1.60	189
25.3	14.15	1.74	206
28.3	18.00	1.71	02
27.0	14.60	1.92	227
29.0	15.30	2.11	249
28.2	16.45	1.86	220
20.5	7.00	2.31	273
21.0	8.25	2.06	243
25.8	12.55	2.04	241
31.0	17.00	2.17	256
30.0	18.80	1.84	217
31.2	17.60	2.12	250
33.8	18.65	2.36	279
33.0	18.65	2.25	266
32.0	19.70	2.00	236
34.5	21.95	2.08	246
36.5	20.75	2.46	290

Примѣчаніе. При опредѣленіи замедленія въ таблицѣ IV время, проходящее отъ момента подачи сигнала къ тормажению до момента нажатія колодокъ на бандажи, принято равнымъ 0,5 секундъ.

Въ таблицяхъ V и VI тормазъ рассматриваются какъ дѣйствующие моментально.

Опыты Вѣнскаго трамвая.

Путь сухой и горизонтальный.

Т а б л и ц а VII.

Одинъ моторный вагонъ; вѣсъ вагона съ участниками испытанія—11.1 тонны; электрической тормазъ короткаго замыканія.

Скорость въ км. въ часъ.	Время тормажения въ секундахъ	Путь тормажения въ метрахъ.	Замеление въ метрахъ въ секунду ² .	Катающее трение или сѣпленіе въ кгр. на тонну вѣса вагона.	Родъ испытанія.	
8	3 ¹ / ₅	2.70	0.91	107.5	Группа опытовъ А. Быстрое тормажение. Отдѣльная ступени тормазъ проходятся рукояткой быстро, но съ остановками на нихъ. Безъ посыпки рельсъ пескомъ.	
15	2 ⁴ / ₅	5.30	1.63	192.5		
15	3 ² / ₅	7.10	1.22	144		
15	3 ³ / ₅	8.00	1.08	127.5		
15	2 ⁹ / ₁₀	6.20	1.39	164		
20	3 ⁴ / ₅	7.20	2.14	253		
20	4 ¹ / ₅	8.00	1.92	227		
20	4 ¹ / ₅	8.60	1.79	211		
20	3 ⁴ / ₅	7.65	2.01	237		
24	4 ¹ / ₅	9.10	2.44	288		
25	4 ⁴ / ₅	11.10	2.16	255		
25	4 ⁴ / ₅	12.30	1.95	230		
25	4 ⁴ / ₅	12.40	1.94	229		
8	2 ¹ / ₅	2.50	0.98	116		Группа опытовъ В. По данному сигналу къ тормажению сразу включается 6-й тормазной контактъ (короткое замыканіе безъ реостата). Безъ посыпки рельсъ пескомъ.
8	2	2.40	1.02	120.5		
15	4	8.00	1.08	127.5		
15	3	5.55	1.56	184		
15	3 ³ / ₅	6.10	1.42	167.5		
20	4	11.30	1.36	160.5		
20	4 ² / ₅	10.75	1.43	169		
20	5	12.50	1.23	145		
25	6 ⁴ / ₅	23.00	1.05	124		
25	6 ¹ / ₅	20.10	1.20	141.5		

Т а б л и ц а VIII.

Одинъ моторный и 1 прицепной вагонъ; вѣсъ поѣзда 11,03+3,7=14,73 тонны; электрической тормазъ короткаго замыканія и на прицепномъ соленоидный, включенный въ цѣль короткаго замыканія.

Скорость въ км. въ часъ.	Время тормажения въ секундахъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замеление въ метрахъ въ секунду ² .	Родъ испытанія.
8	3 ¹ / ₅	4.80	0.51	Группа опытовъ А. Быстрое тормажение. Отдѣльные ступени тормазъ проходятся рукояткой быстро, но съ остановками на нихъ. Безъ посыпки рельсъ пескомъ.
8	3 ¹ / ₅	4.20	0.59	
8	2 ⁴ / ₅	3.00	0.82	
15	3	6.40	1.35	
15	3 ² / ₅	7.30	1.18	
16	3 ³ / ₅	8.00	1.23	
15	3 ⁴ / ₅	7.30	1.18	
20	4 ¹ / ₅	10.60	1.45	
20	4 ¹ / ₅	11.70	1.32	
20	3 ² / ₅	8.90	1.73	
20	3 ³ / ₅	8.90	1.73	
23	5	13.90	1.46	
25	4 ¹ / ₅	11.70	2.06	
25	4 ⁴ / ₅	13.90	1.73	
6.50	1 ⁴ / ₅	2.70	0.60	
8	2 ¹ / ₅	2.60	0.95	
14.50	3	4.90	1.65	
15	3 ⁴ / ₅	5.70	1.52	
15	3 ³ / ₅	5.30	1.63	
15	3 ² / ₅	5.50	1.57	
20	4 ² / ₅	9.60	1.60	
20	4 ³ / ₅	8.90	1.73	
20	3 ⁴ / ₅	10.80	1.42	
25	5 ³ / ₅	17.90	1.34	
25	5 ² / ₅	16.50	1.46	
25	5 ¹ / ₅	16.80	1.43	

Опыты Большого Берлинского трамвая.

Т а б л и ц а IX.

Родъ моторнаго вагона.	Родъ прицѣпнаго вагона.	Вѣсъ въ тоннахъ.		Система тормоза	Состояніе рельсъ.	Тормозной пути въ метрахъ при скорости.		Замедленіе въ метрахъ въ секунду ² при скорости.	
		Моторнаго вагона.	Прицѣпнаго вагона.			16 клм. въ часъ.	25 клм. въ часъ.	16 клм. въ часъ.	25 клм. въ часъ.
2-хъ-осный.	—	8.5	—	Электромагнитный въ одновременной работѣ съ ручнымъ.	Сухіе и пыльные.	6—10	12—20	1.64—0.985	2.0—1.2
2-хъ-осный.	2-хъ-осный.	8.5	3.8			10—12.5	12—20	0.985—0.79	2.0—1.2
4-хъ-осный.	—	13.0	—	6—10		10—16	1.64—0.985	2.4—1.5	
4-хъ-осный.	2-хъ-осный.	13.0	3.8	7—10		12—16	1.41—0.985	2.0—1.5	
2-хъ-осный.	—	8.5	—	Воздушный тормазъ.		4—8	12—16	2.46—1.23	2.0—1.5
2-хъ-осный.	2-хъ-осный.	8.5	3.8			8—12	16—26	1.23—0.82	1.5—0.92
4-хъ-осный.	—	13.0	—			5—8	10—16	1.97—1.23	2.4—1.5
4-хъ-осный.	2-хъ-осный.	12.0	3.8			6—10	15—18	1.64—0.985	1.6—1.34

Примѣчаніе. При вычисленіи замедленій по тормазнымъ путямъ для воздушнаго тормоза потеря времени на приведеніе въ дѣйствіе тормоза не учитывалась, т. е. дѣйствіе его предполагалось моментальнымъ.

Опыты Франкфуртскаго-на-Майнѣ трамвая.

При всѣхъ опытахъ рельсы были сухіе и чистые, путь приблизительно горизонтальный.

Т а б л и ц а X.

Опыты 1—5 производились въ присутствіи представителя отъ Управленія казенныхъ жел.дор. съ поѣздомъ, состоящимъ изъ моторнаго вагона (9,0 тонны), прицепнаго закрытаго (4,9 тонны) и прицепнаго открытаго (2,3 тонны); вѣсъ всего поѣзда 16,2 тонны. Электрически тормазился моторный и закрытый прицепной вагоны и въ ручную только моторный. Моторный вагонъ былъ оборудованъ 2 моторами типа D 54 S Сименсъ Шукерта.

№№ опытовъ.	Скорость въ клм. въ часъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замедленіе въ метрахъ въ сек. ²	Катающее треніе или сдвѣженіе въ вѣр. на тонну вѣса вагона.	Примѣчанія.
1	21.0	7.7	2.20	—	
2	21.0	7.5	2.26	—	
3	21.0	6.7	2.53	—	
4	27.0	10.6	2.64	—	
5	19.5	8.8	1.66	—	
Опыты съ однимъ моторнымъ вагономъ.					
6	20.0	8.7	1.77	209	Работали только ручной тормазъ и песочницы. Ручной тормазъ, тормазъ короткаго замыканія и песочницы приводились въ дѣйствіе одновременно.
7	20.0	9.5	1.62	191	
8	20.0	6.0	2.56	302	
9	20.0	5.0	3.08	364	
10	20.0	6.0	2.56	302	
11	20.0	6.3	2.44	288	
12	20.0	3.6	4.27	503	
13	20.0	4.0	3.85	455	
14	20.0	4.0	3.85	455	
15	20.0	3.8	4.05	478	
16	20.0	4.0	3.85	455	
17	20.0	4.7	3.28	387	
18	20.0	3.2	4.81	567	
19	20.0	3.3	4.66	550	
20	20.0	2.8	5.50	650	
21	20.0	2.9	5.30	625	

Примѣчаніе. Въ вычисленіяхъ замедленій для ручнаго тормазы не учитывалось время, теряемое на доведеніе колодокъ до бандажей.

Опыты Туринскаго городского трамвая.

Путь сухой и горизонтальный.

Т а б л и ц а X I.

Вѣсъ моторнаго вагона 8,0 тоннъ. Оборудованъ 2 моторами, нормальной мощностью 15 лощ. силъ каждый.

Скорость въ км. въ часъ.	Ручной тормазъ.				Электрическій тормазъ кароткаго замыканія и песокъ.			
	Путь тормажения въ метрахъ.		Замедленіе въ метр. въ секунду ² .		Путь тормажения въ метрахъ.		Замедленіе въ метр. въ секунду ² .	
	Наимень- шій.	Наиболь- шій.	Наиболь- шее.	Наимень- шее.	Наимень- шій.	Наиболь- шій.	Наиболь- шее.	Наимень- шее.
12.1	4.20	5.00	1.34	1.13	—	—	—	—
12.3	3.60	5.50	1.62	1.06	2.55	—	2.28	—
12.9	3.30	5.50	1.94	1.16	2.30	—	2.78	—
12.9	4.55	6.20	1.41	1.03	2.60	—	2.46	—
13.5	4.80	6.40	1.46	1.09	1.70	3.00	4.12	2.34
13.6	4.00	7.50	1.78	0.95	2.50	2.80	2.85	2.54
13.8	4.00	7.80	1.83	0.94	1.65	3.10	4.44	2.36
14.1	5.40	7.40	1.41	1.03	2.65	3.40	2.88	2.25
14.3	5.35	7.00	1.47	1.12	2.05	4.00	3.84	1.96
14.7	6.10	9.00	1.36	0.93	2.35	3.70	3.54	2.24
15.0	6.35	8.20	1.36	1.05	2.10	3.50	4.12	2.47
15.3	5.25	8.10	1.71	1.11	2.60	3.90	3.46	2.31
15.8	6.20	8.45	1.55	1.14	2.90	3.25	3.31	2.96
16.1	6.75	9.90	1.48	1.01	2.50	3.60	3.98	2.77
16.7	8.40	—	1.28	—	3.50	3.90	3.06	2.75
17.1	8.45	—	1.33	—	4.45	5.10	2.53	2.20
17.6	8.80	—	1.35	—	3.95	—	3.02	—
18.0	—	—	—	—	6.00	—	2.08	—

Примѣчаніе. Въ вычисленіяхъ замедленій для ручнаго тормазы не учитывалось время, теряемое на доведеніе колодокъ до бандажей.

Опыты Копенгагенскаго трамвая.

Одинъ моторный вагонъ.

Т а б л и ц а XII.

Скорость въ клм. въ часъ.	Путь тормажения въ метрахъ.	Замедленіе въ метр. въ сек. ² .	Сила сѣвленія въ кгр. на тонну вѣса вагона.	Состояніе рельсовъ.	Система тормазы.	
20.4	9.5	1.68	198	Ж и р н ы е.	Тормазъ короткаго замыканія.	
21.0	10.6	1.60	189			
19.8	5.6	2.69	317		Тормазъ короткаго замыканія и рельсовый тормазъ.	
20.4	8.7	1.84	217			
20.4	6.0	2.67	315		Ручной тормазъ.	
19.5	16.0	0.915	108			
20.1	15.7	0.99	117		Тормазъ короткаго замыканія.	
19.3	10.3	1.39	164			
20.1	8.6	1.81	214		Сырые, медленно подсыхающіе.	Тормазъ короткаго замыканія и рельсовый тормазъ U. E. G.
19.8	5.5	2.74	323			
21.0	8.1	2.09	247	Тормазъ короткаго замыканія.		
19.6	8.2	1.80	212			
20.1	6.8	2.28	269	Тормазъ короткаго замыканія и рельсовый тормазъ U. E. G.		
20.4	12.7	1.26	149			
20.4	6.9	2.32	274	Тормазъ короткаго замыканія.		
19.8	10.6	1.42	167.5			
19.6	6.4	2.31	272	Тормазъ короткаго замыканія и рельсовый тормазъ U. E. G.		
19.6	5.3	2.79	329			
18.8	7.2	1.89	223	Тормазъ короткаго замыканія съ посыпкой рельсъ пескомъ.		

Примѣчаніе. Для ручнаго тормазы не принималось въ расчетъ время на доведеніе колодокъ до соприкасанія съ бандажами.

Прежде чѣмъ подробнѣе остановиться на разсмотрѣніи выше-приведенныхъ результатовъ тормажения, слѣдуетъ оговориться:

1) При вычисленіи тренія каченія масса одной тонны поступательно движущагося моторнаго вагона увеличена отъ вращающихся частей, какъ выше было упомянуто, на 16% и принята—118 един.

2) Выше было отмѣчено, что при опытахъ съ ручнымъ тормазомъ Коммиссіей изъ представителей 14 желѣзныхъ дорогъ въ Германіи время, тратившееся на приведеніе въ дѣйствіе въ ручную тормазныхъ механизмовъ поѣзда съ момента подачи сигнала до начала нажатія колодокъ, было опредѣлено равнымъ 5 секундамъ.

При вычисленіи замедленія и коэффиціента сцѣпленія изъ результатовъ опытовъ тормажения воздушнымъ тормазомъ слѣдуетъ также обратить вниманіе на то обстоятельство, что послѣ подачи сигнала колодки не моментально прижимаются къ бандажамъ, а теряется нѣкоторое время на выпускъ воздуха въ тормазной цилиндръ, перемѣщеніе поршня тормазного цилиндра и на преодоленіе пружинъ тормазного механизма и проч.

По изслѣдованіямъ московскаго трамвая это время для прямодѣйствующаго тормазса составляетъ въ зависимости отъ состоянія тормазной системы отъ 0,5 до 1,5 секундъ для моторнаго вагона.

Путь вагона въ теченіе указаннаго промежутка времени нельзя считать тормазнымъ, а потому онъ долженъ быть вычтенъ изъ опредѣленной при опытахъ общей длины пути тормажения.

Чтобы не преувеличить результатовъ тормажения воздушными тормазами, эта потеря времени при вычисленіяхъ замедленій изъ осторожности принята въ 0,5 секунды.

Если теперь обратиться къ результатамъ тормажений электрическаго и воздушнаго тормазовъ, а именно къ тѣмъ случаямъ, когда при тормажении песокъ не посыпался на рельсы (таблицы IV, V и VII), то увидимъ, что замедленіе вагоновъ получалось значительно больше, чѣмъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ (1,5 метр.).

Соотвѣтственно большія величины получаются и для силъ сцѣпленія, такъ, на примѣръ: 1) въ опытахъ Ганноверскихъ желѣзныхъ дорогъ сцѣпленіе достигало:

а) При пневматическомъ тормажении—352 кгр. на тонну вѣса вагона;

в) При электрическомъ тормажении замыканіемъ на короткое—238 кгр. на тонну и

2) Въ опытахъ вѣнскаго трамвая—при электрическомъ тормажении на короткое—288 кгр. на тонну.

Большій, чѣмъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ коэффиціентъ сцѣпленія, обнаруженный въ опытахъ съ тормажениемъ трамвайныхъ вагоновъ, можетъ быть объясненъ: 1) весьма вѣроятнымъ присутствіемъ на рельсахъ уличной пыли и песку, 2) различіемъ матеріаловъ бандажей, колодокъ и рельсовъ, употребляемыхъ въ же-

лѣзнодорожномъ и трамвайномъ дѣлѣ, 3) тормажениемъ одного вагона, а не цѣлаго поѣзда, 4) возможнымъ недостаточнымъ нажатіемъ колодокъ для полученія предѣльнаго коэффиціента сцѣпленія при опытахъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ, что могло имѣть мѣсто въ особенности при высшихъ скоростяхъ движенія и проч.

Косвеннымъ подтвержденіемъ послѣдняго обстоятельства могутъ служить опыты тормажения пневматическимъ и электрическимъ тормазми трамвайныхъ вагоновъ.

Такъ, если сравнить вышеприведенные результаты тормажения этими системами тормазовъ, то увидимъ, что при одинаковыхъ скоростяхъ движенія получаются разныя замедленія при тормажении. Въ электрическомъ тормазѣ замедленія при большихъ скоростяхъ движенія большія, чѣмъ при малыхъ; при тормажении же воздушнымъ тормазомъ наоборотъ: замедленія при малыхъ скоростяхъ движенія выше, чѣмъ при большихъ.

То и другое имѣетъ свое объясненіе въ свойствахъ каждой изъ упомянутыхъ системъ тормазовъ.

Какъ извѣстно, электрической тормазъ короткаго замыканія при большихъ скоростяхъ движенія вагона развиваетъ большой крутящій моментъ, дѣйствующій въ обратную вращенію колесъ сторону; по мѣрѣ же уменьшенія скорости, величина его уменьшается и замедляющая вращеніе колесъ сила тоже убываетъ, т. е. энергичное тормажение происходитъ при большихъ скоростяхъ, а при малыхъ—сила тормажения уменьшается.

Отсюда понятными являются малыя величины замедленія при тормажении замыканіемъ моторовъ на короткое при низкихъ скоростяхъ движенія вагона, т. е. въ этихъ случаяхъ затормаживающая сила недостаточна для того, чтобы вызвать высшую степень сцѣпленія, и потому замедленіе движенія получается меньшее, чѣмъ при большихъ скоростяхъ движенія.

Аналогичное явленіе имѣетъ мѣсто и въ процессѣ его дѣйствія во время каждаго тормажения: въ началѣ, когда скорость движенія велика, развивается большой, крутящій тормазной моментъ, вращеніе колесъ сильно замедляется и соотвѣтственно этому вызывается треніе каченія между колесами и рельсами; по мѣрѣ убыванія скорости движенія крутящій моментъ уменьшается, и сцѣпленіе падаетъ. Отсюда слѣдуетъ, что замедленіе, полученное изъ опытовъ съ такимъ тормазомъ, не есть предѣльное, а среднее между наибольшимъ въ началѣ тормажения и наименьшимъ въ концѣ его; слѣдовательно, коэффиціентъ сцѣпленія, опредѣляемый изъ опытовъ тормажения съ электрическимъ тормазомъ, слѣдуетъ считать не предѣльнымъ, а лишь среднимъ за данный путь тормажения для каждаго опыта.

Обратное явленіе при тормажении воздушнымъ тормазомъ находитъ себѣ объясненіе въ свойствахъ и этого тормазы. Какъ извѣстно, воздушный тормазъ строится съ постояннымъ нажатіемъ ко-

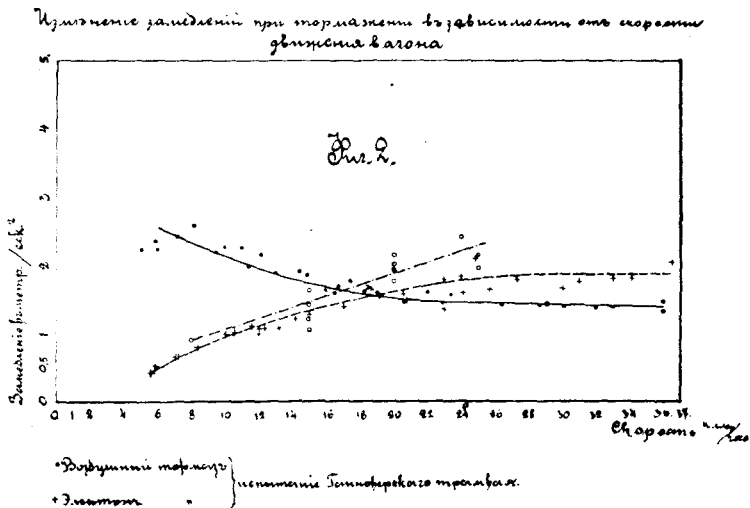
лодокъ, т. е. при тормажениі имъ нажатіе колодокъ остается неизмѣннымъ независимо отъ скорости движенія; но, какъ увидимъ ниже, коэффициентъ тренія между колодками и бандажами находится въ зависимости отъ скорости движенія, а именно: по мѣрѣ уменьшенія скорости относительнаго перемѣщенія колодокъ и бандажей увеличивается и коэффициентъ тренія, т. е. при одномъ и томъ же нажатіи колодокъ, при малыхъ скоростяхъ движенія, крутящій тормазной моментъ, направленный въ обратную вращенію колесъ сторону, получается большій, чѣмъ при большихъ скоростяхъ, чѣмъ и объясняется большее замедленіе при тормажениі воздушнымъ тормазомъ при малыхъ скоростяхъ движенія и уменьшеніе его при большихъ скоростяхъ.

Кромѣ того, нажатіе колодокъ воздушнымъ тормазомъ съ расчетной силой происходит не моментально, послѣ открытія впускныхъ отверстій для воздуха, а постепенно, до установленія одинаковаго давленія въ тормазномъ цилиндрѣ и запасномъ или главномъ резервуарахъ.

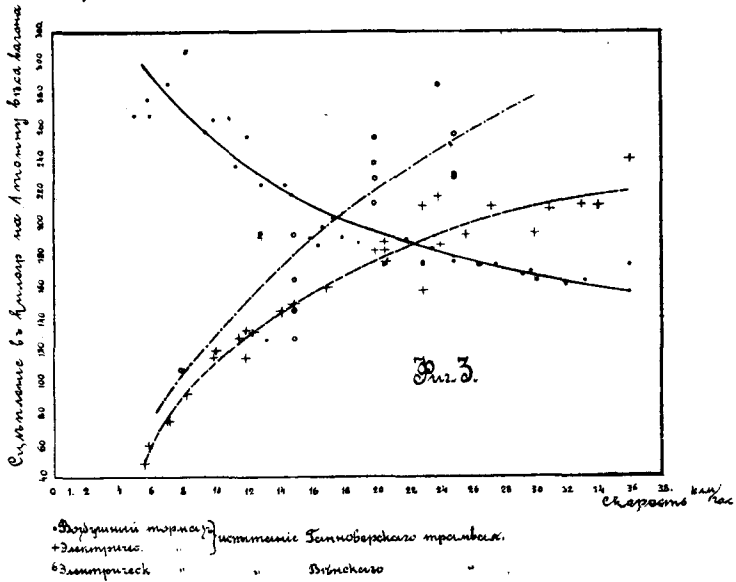
Такимъ образомъ изъ свойства воздушнаго тормазы вытекаетъ обратный электрическому процессъ дѣйствія во время тормажениа: въ началѣ тормажениа, когда скорость движенія велика, крутящій моментъ недостаточенъ и замедленіе получается небольшое, къ концу тормажениа, наоборотъ, крутящій тормазной моментъ возрастаетъ, вслѣдствіе увеличенія тренія отъ убыванія скорости между колодками и бандажами, а съ увеличеніемъ тормазнаго момента возрастаетъ замедленіе и сцѣпленіе.

Слѣдовательно, и при опытахъ тормажениа воздушнымъ тормазомъ вычисленный на основаніи формулы (3) коэффициентъ сцѣпленія слѣдуетъ понимать, какъ средний за каждый данный путь тормажениа.

Весьма интересной иллюстраціей измѣненій сцѣпленія во время тормажениа электрическимъ и воздушнымъ тормазами могутъ служить ниже приводимыя кривыя (фиг. 2) среднихъ замедленій за данный путь тормажениа при разныхъ скоростяхъ движенія или кривыя (фиг. 3) величинъ сцѣпленій въ зависимости отъ скорости, при которой началось тормажение.



Изменение силы сцепления при торможении
в зависимости от скорости движения вагона



Изъ вышеизложеннаго слѣдуетъ:

1) Небольшой коэффициентъ сцепленія при малыхъ скоростяхъ тормажения электрическимъ тормазомъ и большихъ скоростяхъ воздушнымъ можетъ быть отнесенъ на счетъ недостаточно энергичнаго тормажения въ этихъ случаяхъ указанными системами тормазовъ.

2) Обнаруженное въ этихъ опытахъ сцепленіе слѣдуетъ понимать, какъ среднее на найденномъ пути тормажение, а не предѣльное, за которымъ должно наступить треніе скольженія.

3) Предѣльное катящее треніе должно быть выше средняго, полученнаго въ выше приведенныхъ испытаніяхъ.

4) Для полученія большаго коэффициента сцепленія, или большаго эффекта тормажения, можетъ быть рекомендованъ слѣдующій способъ тормажения: тормажение вагона начинается сперва электрическимъ тормазомъ, какъ дѣйствующимъ болѣе энергично и быстро при высшихъ скоростяхъ, а вслѣдъ за тѣмъ ручнымъ (воздушнымъ), дѣйствіе котораго при уменьшеніи скорости возрастаетъ. Но при этомъ слѣдуетъ имѣти въ виду, чтобы, при быстромъ приведеніи въ дѣйствіе одновременно обоихъ тормазовъ, не получился тормазной моментъ, превосходящій моментъ силы сцепленія.

Вышеизложенное позволяетъ думать, что и въ опытахъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ полученный коэффициентъ сцепленія не есть предѣльный, за которымъ должно наступить уже скольженіе

Въ самомъ дѣлѣ, въ большинствѣ опытовъ тормажение производилось ручнымъ тормазомъ, а при такомъ способѣ тормажения весьма вѣроятна, во 1) ошибка въ опредѣленіи промежутка времени, которое тратится на приведение въ дѣйствіе тормазнаго механизма съ момента подачи сигнала къ тормажению до нажатія колодокъ, т. е. при опредѣленіи пути тормажения возможно принятіе за тормазной путь того разстоянія, которое поѣздъ проходитъ съ незажатыми колодками или частью только зажатыми на нѣкоторыхъ вагонахъ испытываемаго поѣзда. Что здѣсь возможны ошибки, можетъ служить подтвержденіемъ разногласіе изслѣдователей въ опредѣленіи указанного промежутка времени. Такъ, по мнѣнію нѣкоторыхъ, этотъ промежутокъ времени слѣдуетъ принять не въ 5 секундъ, а отъ 7¹/₂ до 10 секундъ и даже больше.

2) Нажатіе колодокъ съ полной силой происходитъ при тормаженіи въ ручную также не сразу, а постепенно, на подобіе воздушнаго тормаза, т. е. въ началѣ тормажения, когда скорость движенія велика и нажатіе колодокъ должно бы быть больше, въ дѣйствительности оно меньше, въ концѣ же тормажения получается обратное явленіе. При этомъ степень нажатія колодокъ, производимаго разными тормазильщиками, можетъ быть различна.

Такимъ образомъ изъ опытовъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ весьма трудно получить предѣльное замедленіе на измѣренномъ тормазномъ пути и рѣчь можетъ итти и здѣсь лишь о среднемъ значеніи замедленія на подобіе разсмотрѣнныхъ при тормаженіи трамвайныхъ вагоновъ.

Насколько увеличивается эффектъ тормажения комбинаціей двухъ системъ тормазовъ, какъ указано въ 4 положеніи (стр. 18), подтвержденіемъ могутъ служить опыты Франкфуртскаго трамвая (табл. X). Къ сожалѣнію, только изъ нихъ нельзя вывести сужденія о величинѣ сцепленія сухихъ бандажей съ сухими рельсами, такъ какъ эти опыты производились съ посыпкой рельсъ пескомъ.

Однако эти опыты съ наглядностью показали, что совмѣстнымъ дѣйствіемъ электрическаго тормаза и ручнаго, пуская въ ходъ сперва первый, въ виду быстрой его возбудимости и большого тормазнаго момента при большихъ скоростяхъ, а потомъ второй, эффектъ котораго повышается при уменьшеніи скорости движенія, и, посыпая при этомъ рельсы пескомъ, можно въ экстренныхъ случаяхъ достигнуть такихъ результатовъ тормажения вагоновъ, которые не оставляютъ желать лучшаго съ точки зрѣнія общественной безопасности.

Если принять предѣльное замедленіе, получаемое тормажениемъ одной только системой тормазовъ, т. е. электрической или воздушной, въ 2,5 метра или соотвѣтственную ему силу сцепленія около 300 кгр. на одну тонну давленія, то при совокупномъ дѣйствіи обѣихъ системъ тормазовъ, сопровождаемомъ посыпкой рельсъ пескомъ, это замедленіе увеличивается почти въ два раза, какъ, напримѣръ, въ послѣднихъ двухъ опытахъ Франкфуртскаго трамвая (табл. X), гдѣ оно доходитъ

до 5,3—5,5 метровъ въ секунду, что соотвѣтствуетъ сцѣпленію около 600—650 кгр. на одну тонну давления.

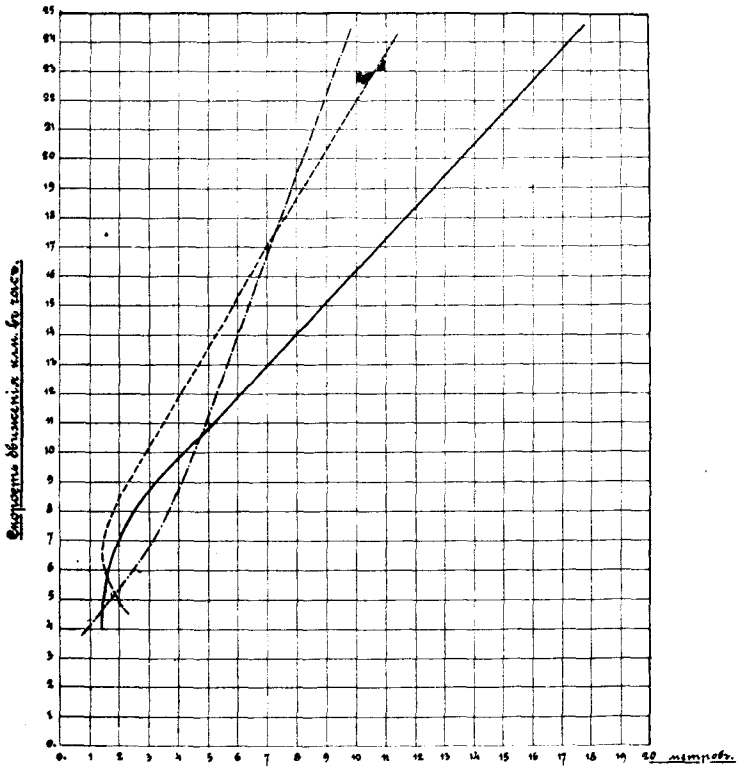
Въ опытахъ Туринскаго трамвая (табл. XI) коэффициентъ сцѣпленія при тормаженіи съ посыпкой рельсъ пескомъ былъ полученъ около 0,52.

Мюллеръ и Маттерсдорфъ въ своемъ «*Bahnmotoren für Gleichstrom*» указываютъ наибольшій коэффициентъ сцѣпленія, достигаемый посыпкой рельсъ пескомъ, равнымъ 0,60, т. е. близкій къ полученному Франкфуртскимъ трамваемъ.

Отсюда слѣдуетъ, что комбинація, въ экстренныхъ случаяхъ, электрическаго тормазса съ ручнымъ весьма цѣлесообразна, но въ такихъ случаяхъ, въ цѣляхъ осторожности, необходимо посыпать рельсы пескомъ, чтобы избѣгнуть скользянія колесъ по рельсамъ.

Выше приведенныя соображенія позволяютъ также думать, что соленоидный тормазсъ, въ основу котораго положена комбинація элек-

Діагр. А. Кривыя тормаженія варшавскаго трамвая.

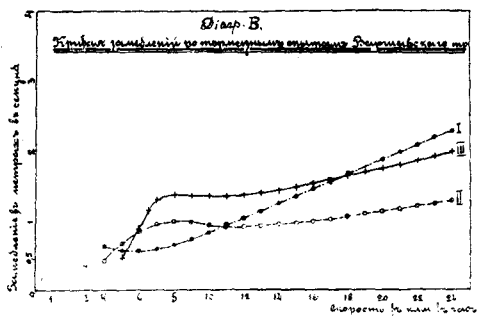


Полюсъ приведенна вогонимъ отъ требженнаго сигнала до евертменнаго удерженія.

- электрическое тормажение (потертый вагонъ самъ былъ въ 40 в. метр.)
 - .-.-.- " " " " (вагонный вагонъ въ вагонъ; былъ притормаживанъ 7,5 м)
 - ручное тормажение (вагонъ отпущенъ вперед)
- Примечаніе: Въ вагонѣ моторная вагонъ и притормаживанъ, чиняется моторная съ соленоиднымъ тормазомъ.

трического тормоза короткаго замыканія съ колодочнымъ, представляетъ удачное сочетаніе свойствъ обѣихъ системъ, такъ какъ хотя съ убываніемъ живой силы вагона уменьшается сила тока, посылаемаго въ электромагнитную цѣпь соленоида и сила нажатія электромагнита вслѣдствіе этого уменьшается, но за то при уменьшеніи скорости колесъ коэффициентъ тренія между колодками и бандажами, какъ увидимъ ниже, увеличивается, т. е. эффектъ дѣйствія въ это время колодочнаго тормоза повышается.

Насколько удовлетворительные результаты достигаются при сочетаніи тормоза короткаго замыканія съ соленоидомъ, дѣйствующимъ одновременно на колодки, могутъ служить ниже приводимыя кривыя тормажений, произведенныхъ Варшавскимъ трамваемъ. (Діагр. А и В).



Діагр. В.
Кривыя замедленія въ тормаженьяхъ системы Варшавскаго трамвая

I) вагонъ моторный 108т. электр. тормозъ, толчки, толчки и вслѣдствіи
II) вагонъ " " толчки ручной тормозъ
III) моторный и прицепный 108т + 78т = 186, элект. коротк. толчки и вслѣдствіи
толчки

Къ сожалѣнію только эти опыты производились съ посыпкой рельсъ пескомъ и потому по нимъ нельзя судить о коэффициентѣ сцепленія. Во всякомъ случаѣ результаты тормажений моторнаго вагона съ прицепнымъ показываютъ нѣкоторое вліяніе выше указанной комбинаціи тормозовъ, и тормазные пути при малыхъ скоростяхъ движенія получились весьма незначительные; замедленія же тормажений при малыхъ и большихъ скоростяхъ движенія варьируютъ въ меньшей степени, чѣмъ при тормажении каждой въ отдѣльности изъ этихъ системъ, что легко можно усмотрѣть, если сравнить кривую III діаграммы В съ кривыми тормажений электрическаго тормоза (фиг. 2).

Не лишеной интереса является вторая группа опытовъ (В), произведенная Вѣнскимъ трамваемъ надъ тормажениемъ вагоновъ тормозомъ короткаго замыканія (табл. VII).

Въ группѣ опытовъ А тормажение производилось быстрымъ выключеніемъ сопротивленій изъ тормазной сѣтки, но при этомъ тормазная рукоятка задерживалась на мгновеніе на каждомъ тормазномъ контактѣ.

Во второй группѣ опытовъ (В) тормазная рукоятка сразу ставилась на 6-й контактъ, т. е. изъ тормазной цѣпи моментально выключалось все сопротивление.

Изъ результатовъ этихъ опытовъ можно усмотрѣть, что мгновенное передвиженіе рукоятки на послѣдній контактъ при большихъ

скоростяхъ движенія при томъ соотношеніи мощностей моторовъ къ вѣсу вагоновъ, какое имѣлось въ опытахъ Вѣнскаго трамвая, не только не сокращаетъ путь тормаженія, но, наоборотъ, увеличиваетъ; такъ, напримѣръ, при скорости въ 25 клм. въ часъ путь тормаженія во второй группѣ опытовъ получился почти въ два раза длиннѣе, чѣмъ въ первой группѣ при той же скорости движенія; при скорости въ 20 клм. въ часъ путь тормаженія во второмъ случаѣ тоже длиннѣе, чѣмъ въ первомъ; но при скоростяхъ, не превосходящихъ 15 клм. въ часъ, моментальное выключеніе сопротивленій изъ моторной тормазной цѣпи даетъ уже почти одинаковый эффектъ тормаженія съ группой А.

Уменьшеніе замедленія при большихъ скоростяхъ движенія во второй группѣ опытовъ можно объяснить тѣмъ, что при моментальномъ выключеніи сопротивленій изъ моторной цѣпи создается настолько сильное сопротивленіе каченію колесныхъ паръ, что послѣднія перестаютъ на нѣкоторое время вращаться, и въ этотъ моментъ наступаетъ дѣйствіе силъ скольженія, которыя, какъ и подтверждаютъ эти опыты, меньше силъ сцѣпленія при каченіи колесъ по рельсамъ.

Тѣ же самыя явленія даютъ себя подмѣтить и въ опытахъ съ электрическимъ тормаженіемъ прицѣпныхъ вагоновъ (табл. VIII), только разница ихъ не такъ рельефна между опытами группъ А и В, такъ какъ эффектъ дѣйствія электрическаго тормазы, распространеннаго на два вагона, меньше, чѣмъ при одномъ моторномъ вагонѣ.

На основаніи этихъ опытовъ можно думать, что при большихъ скоростяхъ движенія, въ случаяхъ указаннаго соотношенія силъ моторовъ къ вѣсу вагоновъ, моментальная перестановка тормазной рукоятки на послѣдній контактъ увеличиваетъ опасность движенія, такъ какъ удлиняетъ тормазной путь.

Тормазные пути, полученные при дѣйствіи электромагнитнаго рельсоваго тормазы, не могутъ быть положены въ основу опредѣленія коэффициента сцѣпленія, такъ какъ ихъ дѣйствіе не полностью основано на сцѣпленіи, но опыты Копенгагенскаго, Глазговскаго и Ганноверскаго трамваевъ, равно какъ и изслѣдованія, произведенныя проф. Нейманомъ и друг., показываютъ, что эффектъ дѣйствія электромагнитнаго тормазы самый большой въ сравненіи съ другими системами тормазовъ при всевозможныхъ состояніяхъ путей.

На этомъ основаніи можно было бы признать самымъ лучшимъ тормазомъ для трамвайнаго движенія электромагнитный рельсовый, если бы не имѣли мѣсто другого рода существенные его недостатки, какъ, напримѣръ, сильное пониженіе эффекта дѣйствія отъ присутствія на рельсахъ пыли или песку со льдомъ или со снѣгомъ, поломки электромагнитныхъ бошмаковъ о выступающія части мостовой или рельсовыхъ путей, стрѣлокъ, крестовинъ и проч.

V. Другія данныя относительно коэффициентовъ тренія.

Производствомъ изслѣдованій надъ опредѣленіемъ коэффициента сцѣпленія занимался Boschet, который даетъ слѣдующую формулу для

полученія коэффициента сцепленія между рельсами и колесами и коэффициента тренія между колодками и бандажами, не различая выгодныхъ и невыгодныхъ условий:

$$f = \frac{\alpha - \beta}{1 + \gamma V} + \beta,$$

гдѣ для сцепленія между бандажами и рельсами онъ даетъ слѣдующія значенія этимъ коэффициентамъ:

$$\alpha = 0,30; \quad \beta = 0,15; \quad \gamma = 0,15.$$

Профессоръ Петровъ данныя для этихъ коэффициентовъ также признаетъ правильными.

Подставляя въ эту формулу разныя значенія скорости, получаемъ слѣдующую таблицу:

Т а б л и ц а XIII.

Скорость въ клм. въ часъ.	0	5	10	20	30	40	50
Коэффициентъ сцепленія между колесами и рельсами f_2	0.30	0.240	0.210	0.188	0.177	0.172	0.168

Для полноты сужденія объ явленіяхъ, происходящихъ во время тормаженія, ниже приводятся нѣкоторыя данныя, касающіяся скользшаго тренія между колесами и рельсами.

Такъ, Пуаре изъ своихъ опытовъ даетъ слѣдующую таблицу тренія скольженія желѣзныхъ бандажей по сухимъ желѣзнымъ рельсамъ:

Т а б л и ц а XIV.

Скорость въ клм. въ часъ.	15.56	26.28	31.68	51.48	72.00	79.20
Коэффициентъ тренія f_1'	0.209	0.206	0.171	0.145	0.130	0.112

Въ особенности интересны данныя для f_1' при стальныхъ бандажахъ по стальнымъ рельсамъ, полученныя Douglas-Golton'омъ изъ опытовъ, произведенныхъ имъ на желѣзной дорогѣ London—Brighton въ 1878 и 1879 гг.

Т а б л и ц а XV.

Относительная скорость въ англійскихъ футахъ въ секунду	f_t^1 — коэффициентъ скользя- щаго тренія между сталь- ными рельсами и бандажами.
Очень малая, начало движенія . .	0,242
10	0,088
20	0,072
40	0,070
50	0,065
60	0,057
70	0,040
80	0,038
88	0,027

Изъ этой таблицы видно, насколько быстро падаетъ коэффициентъ тренія скольженія съ увеличеніемъ относительной скорости движенія.

Принимая во вниманіе, что величины коэффиціента скользящаго тренія между колесами и рельсами получены Гальтономъ изъ опытовъ, тщательно имъ произведенныхъ, въ дальнѣйшемъ будемъ имѣть въ виду главнымъ образомъ его данныя.

Такъ какъ и въ трамвайномъ дѣлѣ основнымъ тормазомъ является преимущественно колодочный съ рычажной передачей отъ ручного шпинделя или тормазного цилиндра воздушной системы, то интереснымъ является рассмотреть этотъ тормазъ въ отношеніи примѣненія его къ трамвайному дѣлу.

VI. Трение между колодками и колесами.

Величина замедленія или степень тормаженія, какъ мы видѣли, зависитъ отъ уменьшенія скорости вращенія колесъ поступательно движушагося вагона, достигаемаго противодѣйствіемъ силъ тренія, возникающихъ на ободѣ колесъ при нажатіи на нихъ колодокъ. Поэтому интереснымъ является выяснить зависимость силъ тренія между колодками и колесами отъ скорости ихъ относительнаго перемѣшенія, а также и отъ другихъ причинъ.

Почти до конца 19-го столѣтія господствовалъ взглядъ, что сила тренія, приходящаяся на одну тонну нажатія колодокъ на колеса, величина постоянная и отъ скорости движенія не зависитъ. Но въ 1878—1879 году капитаномъ Дугласъ Гальтономъ были произведены весьма тщательные и богато поставленные опыты (774 испытанія) съ цѣлью опредѣленія величинъ тренія между колодками и колесами разныхъ скоростей.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены результаты этихъ опытовъ при тормаженіи чугунными колодками стальныхъ колесъ:

Т а б л и ц а XVI.

Скорость въ клм. въ часъ.	Трение въ килограммахъ на тонну давленія.		
	Максимальное.	Минимальное.	Среднее.
96.559	123	58	74
88.877	136	60	111
80.100	153	50	116
72.418	179	83	127
64.739	194	88	140
55.958	197	87	142
48.280	196	98	164
40.05	205	108	166
31.82	240	133	192
24.138	280	131	213
15.908	281	161	242
12.071	325	123	244
8.05	—	—	273
0	—	—	330

Впослѣдствіи цѣлый рядъ опытовъ надъ опредѣленіемъ коэффиціента тренія между колодками и колесами былъ произведенъ Verderber'омъ, директоромъ Венгерскихъ желѣзныхъ дорогъ. Эти опыты были также тщательно и богато обставлены и результаты ихъ вполне подтвердили данныя Гальтона.

Изъ болѣе позднихъ опытовъ заслуживаютъ особаго вниманія опыты Вихерта, произведенные въ Берлинскихъ главныхъ желѣзнодорожныхъ мастерскихъ, которые также имѣли цѣлью провѣрить данныя Гальтона и дополнить ихъ нѣкоторыми наблюденіями главнымъ образомъ надъ измѣненіемъ коэффиціента тренія между колодками и бандажами въ зависимости отъ состоянія трущихся поверхностей и отъ времени тормаженія. Результаты своихъ опытовъ Вихертъ облекъ въ эмпирическую формулу, причемъ онъ строго различаетъ благопріятныя и неблагопріятныя условія тормаженія. Благопріятными условіями онъ считаетъ сухія трущихся поверхности, неблагопріятными—мокрыя.

Для сухихъ поверхностей тренія онъ даетъ формулу:

$$f_1 = 0,45 \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,006 V} \dots \dots \dots (4c.)$$

и для мокрыхъ

$$f_1' = 0,25 \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,06 V}, \dots \dots \dots (4m.)$$

гдѣ V — скорость въ километрахъ въ часъ.

Исслѣдованія съ цѣлью опредѣленія коэффиціента тренія между колодками и бандажами производило также королевское желѣзнодорожное правленіе въ Берлинѣ.

Сопоставляя результаты ихъ изслѣдованій съ соответственными коэффициентами тренія, опредѣляемыми изъ формулы Вихерта, получимъ слѣдующую таблицу:

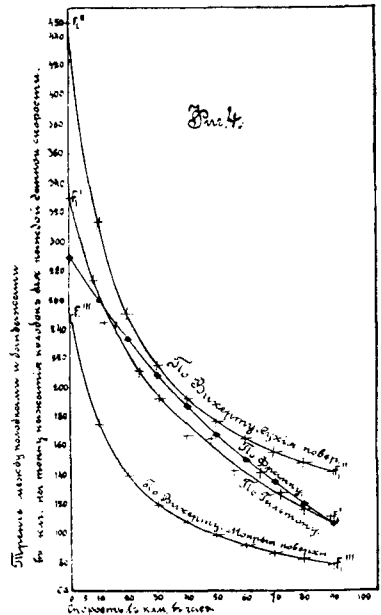
Т а б л и ц а XVII.

Скорость въ клм. въ часъ.	По опытамъ Вихерта.		По опытамъ Королевскаго Желѣзнодорожнаго Правленія.	
	Сухія поверхности f_1 .	Мокрая поверхность. f_1'	Сухія поверхности. f_1 .	Мокрая поверхность. f_1'
0	0.450	0.250	0.438	0.239
10	0.313	0.174	0.332	0.182
20	0.250	0.139	0.269	0.156
30	0.215	0.119	0.211	0.133
40	0.192	0.107	0.183	0.117
50	0.176	0.098	0.175	0.113
60	0.164	0.091	0.164	0.097
70	0.154	0.086	0.158	0.094
80	0.147	0.082	0.167	0.083
90	0.141	0.078	0.144	—

Какъ видно, данныя Гальтона близко подходятъ къ среднимъ значеніямъ формулы Вихерта и опытнымъ даннымъ королевскаго желѣзнодорожнаго правленія въ Берлинѣ.

Этимъ самымъ результаты этихъ изслѣдователей какъ бы взаимно подтверждаютъ правильность ихъ.

Для наглядности, силы тренія между колодками и бандажами въ зависимости отъ скоростей, по даннымъ Гальтона и Вихерта, изображены графически на фиг. 4.



Пользуясь результатами опытовъ Гальтона, профессора Franke изъ Лемберга и Fliegner изъ Цюриха выразили аналитически зависимость силъ треній отъ скорости движенія.

Такъ, если F_1' означаетъ величину силы тренія въ киллограммахъ на тонну нажатія колодокъ и v —скорость въ метрахъ въ секунду, то по формулѣ Franke'a эта зависимость выражается такъ:

$$F_1' = 290 \frac{v}{25} \dots \dots \dots (5)$$

и по Fliegner'у:

$$F_1' = \frac{4098}{12,46 + v} \dots \dots \dots (5')$$

Подставляя въ эти формулы разныя значенія скорости, получимъ соотвѣтственныя величины силъ тренія между колодками и бандажами.

Изъ выше приведенныхъ изслѣдованій видно, что коэффиценты тренія убываютъ по мѣрѣ увеличенія скорости; причемъ разница въ коэффицентахъ тренія получается довольно значительная. Такъ, на примѣръ, коэффицентъ тренія при скорости 10 км. въ часъ почти въ два раза больше коэффицента тренія при скорости 70 км. въ часъ. Слѣдовательно, если тормазить вагонъ или поѣздъ съ одинаковымъ замедленіемъ при большихъ и малыхъ скоростяхъ, нажатіе колодокъ на колеса должно мѣняться, а именно, съ уменьшеніемъ скорости движенія нажатіе колодокъ должно понижаться и наоборотъ.

Въ нѣкоторой степени этому условію удовлетворяетъ электрическій тормазъ короткаго замыканія или соленаидный, нажатіе колодокъ котораго увеличивается съ возрастаніемъ скорости и наоборотъ, но вообще говоря на практикѣ обычно примѣняются тормазы съ постояннымъ нажатіемъ колодокъ (воздушный тормазъ).

VII. Среднее значеніе силы тренія между колодками и бандажами.

Если затормазить такимъ тормазомъ вагонъ, движущійся съ опредѣленной скоростью, то по прошествіи нѣкотораго времени, онъ остановится. Скорость съ момента начала тормажения до полной остановки мѣняется отъ нѣкоторой начальной величины до нуля.

Каждой скорости въ каждый моментъ движенія соотвѣтствуетъ опредѣленная сила тренія; слѣдовательно, движеніе во время тормажения не будетъ равнозамедленнымъ, какъ это предполагалось по уравненіямъ (2) и (3), а болѣе сложнымъ, и тормазной путь, какъ увидимъ ниже, опредѣляется по болѣе сложному выраженію, чѣмъ это было принято выше.

Сила тренія во время движенія затормаженаго вагона является постоянной только на безконечно маломъ пути. Сумма этихъ безконечно малыхъ работъ силъ тренія равна работѣ нѣкоторой средней силы тренія на пути, который проходитъ затормаженный вагонъ до момента остановки. Такъ какъ длина тормазнаго пути легко можетъ быть опредѣлена опытнымъ путемъ и законъ зависимости

силъ тренія отъ скорости извѣстенъ, то не труднымъ является опредѣлить среднюю величину силы тренія колодокъ на данномъ пути тормажения.

Пользуемся сперва для этой цѣли формулой Franke'a.

Пусть обозначаетъ:

P —вѣсъ поѣзда или вагона въ тоннахъ,

k^1 —отношеніе нажатія колодокъ на бандажи къ давленію послѣднихъ на рельсы со включеніемъ потерь въ тормазномъ механизмѣ,

v — скорость при началѣ тормажения въ метрахъ въ секунду,

S —полный путь тормажения въ метрахъ и

F_1 —силу тренія въ клг., приходящуюся на тонну нажатія колодокъ.

При тормажении поѣзда на прямомъ горизонтальномъ пути на разстояніи ds имѣемъ слѣдующее уравненіе:

$$\frac{P \cdot q \cdot 1000}{2q} \left\{ v^2 - (v-dv)^2 \right\} = P \cdot F_1' \cdot k^1 \cdot dS \dots \dots \dots (6),$$

гдѣ q означаетъ увеличеніе инерціи поступательно движущагося поѣзда отъ вращающихся массъ вагона.

Изъ этого уравненія, пренебрегая dv^2 , какъ безконечно малой величиной второго порядка, получаемъ:

$$dS = \frac{1000 \cdot q \cdot v \cdot dv}{g \cdot k^1 \cdot F_1'} \dots \dots \dots (7).$$

При $F_1' = 290 e^{-\frac{v}{25}}$ формула (7) принимаетъ видъ:

$$dS = \frac{1000 \cdot q \cdot v \cdot dv \cdot e^{\frac{v}{25}}}{290 \cdot k^1 \cdot g}.$$

Интегрируя послѣднее выраженіе въ предѣлахъ отъ 0 до S и отъ 0 до v , имѣемъ:

$$S = 1000 q \cdot \int_0^v \frac{v \cdot dv \cdot e^{\frac{v}{25}}}{290 \cdot k^1 \cdot g} = A \int_0^v v \cdot e^{\frac{v}{25}} dv, \text{ гдѣ } A = \frac{1000 \cdot q}{290 \cdot k^1 \cdot g};$$

$$S = A \int_0^v v \cdot dv \cdot e^{\frac{v}{25}} = \int_0^v e^{\frac{v}{25}} (v-25) = \left[25 \cdot e^{\frac{v}{25}} (v-25) + 625 \right] A$$

Развертывая $e^{\frac{v}{25}}$ въ рядъ и взявъ первые три члена, получаемъ:

$$S = \left\{ \frac{(v-25)(1250+50v+v^2)}{50} + 625 \right\} A \text{ или}$$

$$S = \frac{1000 \cdot q (v^3+25v)}{50 \cdot 290 \cdot g \cdot k^1} = \frac{2 \cdot q (v^3+25v^2)}{29 \cdot k^1 \cdot g} \dots \dots \dots (8)$$

Уравненіе (8) и служитъ для опредѣленія тормазного пути въ предположеніи, что силы тренія между колесами и бандажами находятся въ зависимости отъ скорости по закону:

$$F_1' = 290 e^{-\frac{v}{25}}.$$

Среднюю силу трения, вызываемую одной тонной нажатия колодокъ на бандажи на всемъ пути тормажения, можемъ опредѣлить по формулѣ:

$$F_1 = \frac{1}{S} \int_0^S F_v' dS. \dots \dots \dots (9)$$

Подставляя въ уравненіе (9) значеніе dS изъ уравненія (7), имѣемъ: $F_1 = 1/S \int_0^v \frac{1000 \cdot q \cdot v \cdot dv}{g \cdot k^1} = \frac{1000 \cdot q \cdot v^2}{2 \cdot S \cdot g \cdot k^1} \dots \dots \dots (10)$

Подставляя въ формулу (10) значеніе S изъ уравненія (8), получаемъ:

$$F_1 = \frac{q \cdot v^2 \cdot 1000 \cdot 50 \cdot g \cdot k^1 \cdot 290}{2 \cdot g \cdot k^1 \cdot 1000 \cdot q \cdot (v^3 + 25 v^2)} = \frac{7250}{v + 25} \dots \dots \dots (11),$$

гдѣ v выражено въ метрахъ въ секунду.

Подставляя въ уравненіе (11) разныя значенія для v , получаемъ F_1 , среднюю величину переменныхъ во время тормажения силъ трения, приходящихся на одну тонну нажатія колодокъ, постоянную на всемъ пути тормажения при измѣненіи скорости отъ какой нибудь величины v до 0, т. е. F_1 означаетъ нѣкоторую фиктивную постоянную силу трения равномерно замедленнаго движенія при тормажении.

Значенія силъ F_1 въ зависимости отъ v , полученныя по формулѣ (11) приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Т а б л и ц а XVIII.

Скорость въ км. въ часъ.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Среднее значеніе силы тренія F_1	290	261	237	219	200	186	175	163	154	145

Если вагонъ, движущійся со скоростью, напримѣръ, 40 км. въ часъ, затормазить до полной остановки, то сила трения между колодками и бандажами по мѣрѣ уменьшенія скорости измѣнится отъ 166 кгр. до 330 кгр. Средняя величина этихъ силъ, мѣняющихся въ указанныхъ предѣлахъ, по формулѣ (11) опредѣляется въ 200 кгр.

Это равносильно тому, какъ если бы во все время тормажения измѣненія силъ трения не было, а дѣйствовала во время тормажения, до полной остановки вагона, постоянная сила, равная 200 кгр.

Средняя величина силъ трения на данномъ пути тормажения въ зависимости отъ состоянія трущихся поверхностей колодокъ и колесъ можетъ быть опредѣлена аналогично предыдущему, пользуясь формулой Вихерта.

Обозначимъ, какъ выше, чрезъ:

P —полный вѣсъ поѣзда въ тоннахъ;

k^1 —отношеніе тормазного вѣса къ полному вѣсу поѣзда;

V —скорость при началѣ тормаженія въ клм. въ часъ,

S —полный путь тормаженія въ метрахъ;

f_1 —коэффициентъ тренія между колодками и бандажамі при мокрыхъ поверхностяхъ, равный по формулѣ (4): $f_1 = m \frac{1+aV}{1+bV}$, гдѣ для

мокрыхъ поверхностей $m=0,25$, а для сухихъ— $m=0,45$; коэффициенты же, одинаковые для обоихъ случаевъ: $a=0,0112$, а $b=0,06$;

F_1 —сила тренія въ кгр., приходящаяся на 1 тонну нажатія колодокъ.

При тормаженіи поѣзда на прямомъ горизонтальномъ пути на разстояніи dS имѣемъ уравненіе:

$$1000 \cdot q \cdot \frac{P}{2g} \left\{ \frac{V^2}{3,6^2} - \left(\frac{V-dV}{3,6} \right)^2 \right\} = P \cdot F_1 \cdot k^1 \cdot dS \dots (6^1)$$

откуда $dS = \frac{1000 \cdot q \cdot V \cdot dV}{3,6^2 \cdot g \cdot k^1 \cdot F_1}$.

При $f_1 = m \cdot \frac{1+aV}{1+bV}$ (4 м.) формула (6¹) принимаетъ видъ:

$$ds = \frac{q}{3,6^2 \cdot g \cdot k^1 \cdot m} \cdot \frac{1+bV}{1+aV} \cdot V \cdot dV \dots (7^1).$$

Интегрируемъ послѣднюю формулу въ предѣлахъ отъ 0 до S и отъ 0 до V .

Полагаемъ $1+aV=y$.

Тогда: $V = \frac{y-1}{a}$; $a \cdot dV = dy$ и $dV = \frac{dy}{a}$.

При $V=V$ $y=1+aV$ и

при $V=0$ $y=1$.

Итакъ:

$$\begin{aligned} S &= \int_0^V \frac{q}{3,6^2 \cdot k^1 \cdot g \cdot m} \cdot \frac{1+bV}{1+aV} \cdot V \cdot dV = \\ &= \frac{q}{3,6^2 \cdot k^1 \cdot g \cdot m} \int_1^{1+aV} \frac{1 + \frac{b(y-1)}{a}}{y} \cdot \frac{y-1}{a} \cdot \frac{dy}{a} = \\ &= \frac{q}{3,6^2 \cdot k^1 \cdot g \cdot m} \cdot \int_1^{1+aV} \left(\frac{a-2b}{a^3} - \frac{a-b}{a^3 y} + \frac{by}{a^3} \right) dy = \\ &= \frac{q}{3,6^2 \cdot k^1 \cdot g \cdot m} \left[\frac{a-b}{a^2} \cdot V + \frac{bV^2}{2a} - \frac{a-b}{a^3} \ln(1+aV) \right] \dots (8^1). \end{aligned}$$

Послѣднее уравненіе даетъ величину тормазного пути въ случаѣ дѣйствія между колодками и бандажами силъ тренія въ зависимости отъ скорости въ моментъ начала тормаженія по формулѣ Вихерга (4 м.).

Средній коэффициентъ тренія на всемъ пути тормаженія опредѣляемъ по формулѣ:

$$F = 1/S \int_0^S F_1 \cdot dS = 1/S \int_0^S \frac{V \cdot dV}{3,6^2 \cdot g \cdot k^1} \cdot q \cdot 1000 \dots (9^1).$$

Подставляя послѣ интегрирования въ выраженіе (9¹) значеніе S изъ формулы (8¹) имѣемъ:

$$F \Rightarrow S \int_0^V \frac{1000 \cdot q \cdot V \cdot dV}{3,6^2 \cdot k^1 \cdot g} = \frac{1000 \cdot q \cdot V^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot k^1 \cdot g \cdot S}$$

или $F = \frac{1000 \cdot m}{2} \cdot \frac{V^2}{\frac{bV^2}{2a} - \frac{b-a}{a^2} V + \frac{b-a}{a^3} \ln(aV+1)}$. . . (10¹).

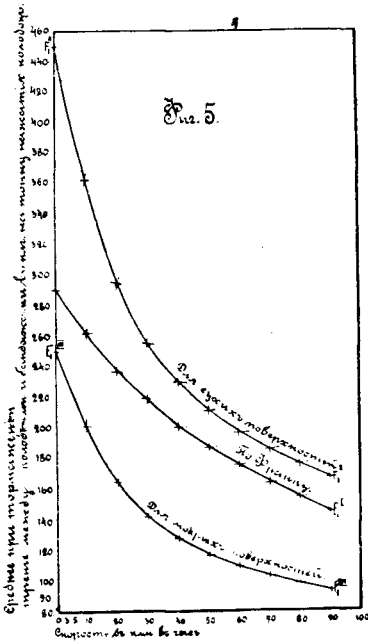
Подставляя въ формулу (10¹) вышеуказанныя значенія коэффициентовъ a и b въ предположеніи невыгодныхъ условий, т. е. мокрыхъ поверхностей, получаемъ такъ называемую Берлинскую формулу.

$$f_1 \text{ ср.} = 0,125 \frac{V^2}{\frac{0,06 V^2}{2 \cdot 0,0112} - \frac{0,06 - 0,0112}{0,0112^2} V + \frac{0,06 - 0,0112}{0,0112^3} \cdot \ln(1 + 0,0112 V)} \quad (11^1)$$

Подставляя въ формулу (11¹) различныя значенія V и соответственныя значенія m, получаемъ нижеслѣдующую таблицу XIX среднихъ значеній коэффициента тренія f₁ ср. на всемъ пути тормаженія.

Т а б л и ц а X I X.

Скорость при началѣ тормаженія въ клм. въ часъ.	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Средн. значен.коэф. тренія при мокр. поверхностяхъ	0.250	0.201	0.164	0.142	0.198	0.117	0.109	0.103	0.098	0.093
Средн. значен.коэф. тренія при сухихъ поверхностяхъ	0.450	0.362	0.295	0.256	0.230	0.211	0.196	0.185	0.176	0.167



И здѣсь среднія величины силъ тренія за весь путь тормаженія больше соответственныхъ величинъ тренія, обнаруженныхъ опытомъ при разныхъ скоростяхъ тормаженія.

Для наглядности среднія значенія силъ тренія, полученныя на основаніи вышеприведенныхъ формулъ (11 и 11¹) для разныхъ скоростей, изображены графически на фиг. 5.

Помимо зависимости коэффиціентовъ тренія отъ матеріаловъ колодокъ и бандажей и скоростей движенія, Гальтонъ въ своихъ опытахъ обнаружилъ также зависимость коэффиціента тренія отъ продолжительности тормаженія.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторые коэффициенты тренія въ зависимости отъ продолжительности тормажения, полученные изъ опытовъ Гальтона; при этомъ скорость движенія за все время тормажения оставалась постоянной.

Т а б л и ц а XX.

Скорость въ клм. въ часъ.	Въ началѣ опыта.	П о п р о ш е с т в і и:			
		5 секундъ.	10 секундъ.	15 секундъ.	20 секундъ.
20	0.182	0.15	0.133	0.116	0.090
27	0.171	0.130	0.119	0.081	0.072
37	0.152	0.096	0.083	0.069	—
47	0.132	0.080	0.070	—	—
60	0.072	0.063	0.058	—	—

VIII. Величина нажатія колодокъ.

Если рельсы и вращающіяся колеса вагона находятся въ такомъ состояннн, что позволяютъ получить безъ скольженія F килограммовъ сцѣпленія, то чтобы использовать при тормажении всю эту силу, или, иными словами, достигнуть полнаго тормажения, совмѣстное нажатіе всѣхъ колодокъ вагона должно быть таково, чтобы вызвать треніе ихъ на окружности колесъ, тоже равное F кгр. Если затормаженный вагонъ вѣситъ P тоннъ и сила сцѣпленія, приходящаяся на одну тонну вѣса, равна F_2 клгр., то вся сила сцѣпленія будетъ: $P \cdot F_2$ кгр.

Такой же величины сила должна быть возбуждена на окружности колесъ нажатіемъ колодокъ.

Если всѣ колодки нажимаютъ на колеса съ силой $D \cdot \mu$, гдѣ μ коэффициентъ полезнаго дѣйствія рычажной передачи къ колодкамъ, и сила тренія, приходящаяся на одну тонну нажатія колодокъ, равна F_1 кгр., то общее тормажное усиліе получается равнымъ $D \cdot \mu \cdot F_1$ кгр. Такъ какъ эти обѣ силы должны быть равны, то согласно урня (1) имѣемъ равенство:

$$P \cdot F_2 = D \cdot \mu \cdot F_1, \dots \dots \dots (12),$$

изъ котораго получаемъ:

$$\frac{D \cdot \mu}{P} = \frac{F_2}{F_1},$$

т. е. отношеніе нажатія колодокъ къ общему вѣсу вагона находится въ обратномъ отношеннн величинъ силъ сцѣпленія и тренія. Но такъ какъ выраженіе $\frac{D}{P}$ есть не что иное, какъ расчетное, приходящееся на одну тонну вѣса вагона, нажатіе колодокъ, то, обозначая его чрезъ k , получимъ соотношеніе:

$$\mu \cdot k = \frac{F_2}{F_1} \text{ или } k^1 = \frac{F_2}{F_1}, \dots \dots \dots (13)$$

гдѣ $k^1 = \mu \cdot k$.

Это равенство показываетъ, что величина нажатія колодокъ, необходимая для тормажения вагона и приходящаяся на одну тонну его вѣса, опредѣляется отношеніемъ удѣльной силы сцѣпленія къ силѣ тренія колодокъ.

Примемъ для примѣра среднюю величину силы сцѣпленія за весь путь тормажения равнымъ, какъ это опредѣляетъ проф. Gostkowski для магистральныхъ желѣзныхъ дорогъ, въ 160 кгр. на одну тонну давленія вагона на рельсы.

Если тормазить вагонъ, движущійся со скоростью, напримѣръ, 40 клм. въ часъ, то средняя сила тренія между колодками и бандажами, приходящаяся на одну тонну вѣса вагона, должна быть по табл. XVIII равна 200 килограммамъ.

Подставляя въ равенство (13) эти величины, получимъ:

$$k^1 = \frac{160}{200} = 0,8,$$

т. е. для полученія тормажения съ силой сцѣпленія въ 160 кгр. необходимо нажать колодки съ силой равной 0,8 тонны на каждую тонну вѣса вагона или нажатіе всѣхъ колодокъ должно составлять 80% отъ вѣса всего вагона. Такъ, напримѣръ, если вагонъ вѣситъ 15 тоннъ, то нажатіе всѣхъ колодокъ должно равняться $15 \times 0,8 = 12$ тоннамъ.

Если въ моментъ начала тормажения вагонъ имѣлъ скорость 20 км. въ часъ, то въ равенство (13) необходимо вставить согласно таблицы XVIII: $F_1 = 257$ кгр.

Чтобы и въ этомъ случаѣ получилось сцѣпленіе въ 160 кгр., нажатіе колодокъ на одну тонну вѣса вагона опредѣлится въ $\frac{160}{237} = 0,67$ тонны и для тормажения 15-ти-тоннаго вагона нажатіе всѣхъ колодокъ должно составлять $0,67 \cdot 15 \approx 10$ тоннъ.

Отсюда видимъ, что отношеніе нажатія колодокъ къ вѣсу вагона, при одной и той же степени тормажения, должно измѣняться въ зависимости отъ скорости, при которой начинается тормажение.

Пользуясь равенствомъ (11) для средней величины силы тренія и принимая $F_2 = 160$ кгр., получаемъ выраженіе:

$$k^1 = \frac{160(v+25)}{7250}, \dots \dots \dots (14),$$

вставляя въ которое разныя значенія скорости движенія вагона въ метрахъ въ секунду, при которыхъ начинается тормажение, опредѣлимъ соответственныя величины нажатій колодокъ.

Если принять среднюю величину сцѣпленія, равной 180 кгр., то формула (14) принимаетъ слѣдующій видъ:

$$k^1 = \frac{180(v+25)}{7250} \text{ и т. д.}$$

Вышеприведенныя равенства служатъ для опредѣленія степени нажатія колодокъ при среднихъ значеніяхъ коэффициента тренія колодокъ, опредѣленныхъ изъ формулы Franke'a.

Для получения при данной средней силѣ сцепленія процентнаго нажатія колодокъ для разныхъ скоростей движенія и при различномъ состоянїи трущихся поверхностей колодокъ и колесъ, нужно въ равенство (13) вмѣсто F_1 подставить соответственныя величины среднихъ силъ тренія, пользуясь таблицей XIX.

Ниже приводимая таблица даетъ величины процентныхъ нажатій, вычисленныхъ согласно выше приведеннаго для разныхъ скоростей движенія, при мокрыхъ и сухихъ поверхностяхъ колодокъ и бандажей и въ предположенїи разныхъ величинъ силъ сцепленія.

Т а б л и ц а XXI.

Скорость въ км. въ часъ.	Группа А. Процентное нажатіе колодокъ по формулѣ (14).							Группа В. Процентное нажатіе колодокъ, вычисленное при F_1 согласно табл. XIX для мокрыхъ поверхностей.						Группа С. Процентное нажатіе колодокъ вычисленное для F_1 согласно табл. XIX для сухихъ поверхностей.					
	При F_2 .							При F_2 .						При F_2 .					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
	180	160	150	140	120	100	180	160	150	140	120	100	180	160	150	140	120	100	
10	69	61	57	54	46	38	90	80	75	70	60	50	50	44	41	39	33	28	
20	76	67	63	59	51	42	110	98	91	85	73	61	61	54	51	47	41	34	
30	82	73	68	64	55	46	127	113	106	99	84	70	70	62	59	55	47	39	
40	90	80	75	70	60	50	141	125	117	109	94	78	78	70	65	61	52	43	
50	97	86	81	75	64	54	154	137	128	120	103	85	85	76	71	66	57	47	
60	103	91	86	80	69	57	165	147	138	128	110	92	92	82	76	71	61	51	
70	110	98	92	86	74	61	175	155	146	136	116	97	97	86	81	76	65	54	
80	117	104	97	91	78	65	184	163	153	143	122	102	102	91	85	80	68	57	
90	124	110	103	97	83	69	194	172	161	151	129	108	108	96	90	84	72	60	

Изъ этой таблицы видимъ: 1), что для данной силы сцепленія или даннаго эффекта тормаженія нажатіе колодокъ должно быть различно, смотря по тому, при какой скорости начинается тормаженіе; и чѣмъ выше эта скорость, тѣмъ больше должно быть нажатіе колодокъ для того, чтобы вызвать одно и то же замедленіе или сцепленіе.

Такъ, напримѣръ, при сцепленїи въ 150 кг. на одну тонну вѣса вагона (столбецъ 4) и при скорости 20 км. въ часъ, нажатіе колодокъ должно быть 63%, а при скорости 90 км. въ часъ эта сила нажатія должна быть уже въ 103% отъ вѣса вагона, т. е. почти на 70% больше, чѣмъ въ первомъ случаѣ.

2) Если состояніе путей, вслѣдствіе, напримѣръ, измѣненія погоды, мѣняется и сцепленіе съ 180 кг. падаетъ до 100 на одну тонну давленія вагона на рельсы, то, чтобы вызвать требуемое сцепленіе и

избѣжать скольженія, нажатіе колодокъ должно быть соотвѣтственно уменьшено; напримѣръ, для группы А при скорости 10 клм. въ часъ нажатіе уменьшается съ 69% до 38%, а при скорости 90 клм. въ часъ—съ 124% до 69%. То же самое приблизительно измѣненіе, или еще въ большей степени, получается въ группахъ В и С.

Если же оставить нажатіе постояннымъ, напримѣръ, какъ въ первомъ случаѣ 69% и во второмъ 124%, то, при измѣненіи состоянія рельсовъ, при которомъ сцепленія мѣняются въ указанныхъ предѣлахъ, послѣднее можетъ перейти изъ состоянія каченія въ скольженіе, при которомъ эффектъ тормаженія, какъ намъ извѣстно, значительно понижается.

3) При неблагоприятномъ состояніи трущихся поверхностей, т. е. при мокрыхъ поверхностяхъ колодокъ и бандажей, для достиженія того же тормаженія процентное нажатіе колодокъ должно быть выше, чѣмъ при сухихъ поверхностяхъ. Такъ, напримѣръ, коэффициентъ нажатія при мокрыхъ поверхностяхъ группы В при скорости 20 клм. въ часъ, для полученія сцепленія въ 100 кгр. на тонну, опредѣляется въ 0,61; для полученія же того же сцепленія при сухомъ состояніи трущихся поверхностей колодокъ и бандажей для той же скорости, получается уже только 0,34, т. е. почти въ два раза меньшій.

Изъ выше изложеннаго вытекаетъ, что нажатіе колодокъ должно быть переменное; оно должно мѣняться въ зависимости какъ отъ скорости движенія, такъ и отъ состоянія путей и трущихся поверхностей колодокъ и бандажей.

Поэтому, вообще говоря, желательно было бы имѣть такой тормазъ, которымъ можно было бы достигнуть разной степени нажатія колодокъ при разныхъ условіяхъ движенія, чтобы получить требуемый эффектъ тормаженія.

Съ точки зрѣнія конструктора не составляло бы большого труда устроить тормазъ съ переменнымъ нажатіемъ колодокъ, но съ точки зрѣнія управленія такой тормазъ представилъ бы много затрудненій: во-первыхъ, по большей сложности его конструкціи и, во-вторыхъ, по затруднительности опредѣленія всякій разъ всѣхъ тѣхъ обстоятельствъ движенія, которыя вліяютъ на измѣненіе тормазного усилія. Въ виду этого практическія соображенія привели къ заключенію о бѣльшей цѣлесообразности примѣненія тормазного устройства съ постоянной тормазной передачей для нажатія колодокъ при всѣхъ возможныхъ условіяхъ движенія.

Ясно, что такой тормазъ, съ постояннымъ нажатіемъ колодокъ, только при точно опредѣленныхъ условіяхъ, отвѣчающихъ данному нажатію колодокъ, можетъ дать требуемое тормаженіе, а, вообще говоря, въ однихъ случаяхъ онъ будетъ тормазить съ недостаточной силой, а въ другихъ съ превышающей желаемую. Въ виду этого возникаетъ весьма трудная задача выбора такого постоянного нажатія колодокъ

которое давало бы эффект тормажения, по возможности ближе подходящій къ теоретическому при предназначенныхъ условіяхъ движенія вагона. Само собою понятно, что только практика въ данномъ случаѣ можетъ дать руководящія указанія въ рѣшеніи этого вопроса.

Чтобы опредѣлить, при какомъ процентномъ нажатіи колодокъ цѣлесообразнѣ всего строить тормазную передачу желѣзнодорожныхъ вагоновъ, были произведены въ разныхъ странахъ многочисленныя опыты.

Этими опытами процентное нажатіе колодокъ для вагоновъ междугороднихъ желѣзныхъ дорогъ установлено отъ 70% до 100%. Такъ, напримѣръ, союзъ германскихъ желѣзнодорожныхъ инженеровъ устанавливаетъ слѣдующую норму:

а) для почтовыхъ и багажныхъ вагоновъ $k^1=75-85\%$ и

б) для товарныхъ $k^1=90-100\%$.

Различіе въ опредѣленіи выше указанныхъ величинъ нажатія колодокъ лежитъ частью въ различіи тѣхъ скоростей, при которыхъ производились опыты тормажения, но, повидимому, оно кроется частью и въ различіи матеріаловъ тормазныхъ колодокъ.

Что выборъ качества матеріала имѣетъ вліяніе на степень тормажения, показываютъ изслѣдованія американскихъ инженеровъ, которые для выясненія этого вопроса выдѣлили изъ своей среды цѣлую комиссію (Master Car Boilders Association), которая установила минимальную величину коэффициента тренія колодокъ для опредѣленной скорости.

Переходя къ опредѣленію коэффициента нажатія колодокъ трамвайныхъ вагоновъ, слѣдуетъ прежде всего обратить вниманіе на меньшую скорость городского движенія въ сравненіи съ междугороднимъ. Съ большимъ приближеніемъ къ дѣйствительности можно принять, что наибольшая скорость трамвайнаго движенія не превосходитъ 30 км. въ часъ и въ среднемъ она простирается отъ 15 до 20 км.

Послѣднія значительно низшія скорости движенія и должны приниматься въ соображеніе при выборѣ коэффициента нажатія колодокъ для трамвайныхъ вагоновъ.

Вторымъ главнѣйшимъ факторомъ, вліяющимъ на выборъ коэффициента нажатія колодокъ, является средняя величина допускаемаго при движеніи сцѣпленія. Такъ какъ отъ принимаемой въ основу расчета величины сцѣпленія, кромѣ того, зависитъ и вѣсъ вагона-двигателя или электровоза для предназначенныхъ условій движенія, то интереснымъ является остановиться на новѣйшихъ данныхъ, касающихся коэфф. сцѣпленія.

Для практическихъ цѣлей въ желѣзнодорожномъ дѣлѣ сцѣпленіе обыкновенно принимается равнымъ отъ 140 до 200 кгр. на тонну вѣса вагона.

Такъ какъ электрическіе моторы при движеніи и пускѣ въ ходъ отличаются большой равномерностью работы, чѣмъ паровыя машины паровозовъ, то съ введеніемъ электрической тяги на магистральныхъ жел. дорогахъ стали допускать высшіе придѣлы коэффицентивъ сцѣпленія.

Такъ, напр., первые тяжелые электровозы, предназначенные для передвиженія грузовъ, построенные на «Baltimore and Ohio Railway»

въ Америкѣ, въ состояніи были развитъ силу тяги въ 60.000 англ. фунтовъ при сцѣпномъ ихъ вѣсѣ въ 96 тоннъ, что соотвѣтствуетъ коэфф. сцѣпленія около 0,31 (см. отчетъ Kolonel M. Neft Интернац. Конгрессу въ 1900 году). Для «Pennsylvania electric locomotives for the New-York terminal service» коэфф. сцѣпленія допущенъ \approx 0,28. (См. Electric Railway Journal 6 XI 1909. S. 982). К. v. Kandó въ своей статьѣ «über Drehstrombahnen» (См. № 28, E.T.Z. 1910 г. ст. 705) говоритъ, что при всякой пробѣ электровозовъ коэфф. сцѣпленія въ дѣйствительности получается больше 0,20. При постройкѣ линіи Giovi, между Миланомъ и Генуей, коэфф. сцѣпленія былъ принятъ ниже 0,2, но на дѣлѣ оказалось возможнымъ вести эксплуатацію при сцѣпленіи, превосходящимъ указанное даже при неблагопріятномъ состояніи путей, что дало сбереженіе около 15 тоннъ груза, и т. д.

Выше приведенныя данныя касались главнымъ образомъ величины сцѣпленія при благопріятномъ состояніи рельсъ, т. е. сухихъ поверхностей. Но движеніе производится при разномъ состояніи погоды, поэтому интереснымъ является знать коэфф. сцѣпленія при благопріятныхъ условіяхъ движенія, т. е. при мокрыхъ или сальныхъ рельсахъ. Въ этомъ отношеніи интересныя данныя приводитъ E. P. Burch въ своемъ «Electric traction for railway trains» (Стр. 406).

Коэффициенты тренія между колесами и рельсами въ зависимости отъ состоянія ихъ поверхностей даются имъ слѣдующіе:

1) При наиболѣе благопріятныхъ условіяхъ	0,35	съ	посыпкой	пескомъ	0,40.
2) При чистыхъ сухихъ рельсахъ	0,28	»	»	»	0,30.
3) При очень мокрыхъ рельсахъ.	0,18	»	»	»	0,24.
4) При влажныхъ сальныхъ рельсахъ	0,15	»	»	»	0,25.
5) Покрытыхъ инеемъ или ледяной коркой	0,15	»	»	»	0,20.
6) Покрытыхъ сухимъ снѣгомъ .	0,11	»	»	»	0,15.

Для электрической тяги на магистральныхъ жел. дор. Burch считаетъ допустимымъ коэфф. сцѣпленія отъ 0,25 до 0,35, во всякомъ случаѣ въ основу желѣзнодорожнаго движенія можетъ быть рекомендованъ, по его мнѣнію, коэфф. сцѣпленія 0,22.

Если перейти къ трамвайному движенію, то имѣется основаніе предположить, что здѣсь состояніе рельсъ вообще бываетъ хуже, чѣмъ на магистральныхъ жел. дор. и указанныя въ пунктахъ 4, 5 и 6 состоянія рельсъ въ трамваяхъ встрѣчаются чаще, чѣмъ на магистральныхъ жел. дорогахъ, вслѣдствіе попаданія на рельсы уличной грязи, содержащей въ себѣ жиры и масла, а въ зимнее время вслѣдствіе покрытія рельсъ инеемъ или тонкой коркой льда съ примѣсью жировъ и вообще уличной грязи.

Принимая во вниманіе съ другой стороны большую опасность во время тормаженія скольженія вагоновъ по рельсамъ, было бы предусмотрительнѣе положить въ основу расчета тормазной передачи

среднія значенія коэфф. сцепленія и принять его равнымъ въ среднемъ 150—160 клг. на тонну вѣса вагона, т. е. согласно практики магистральныхъ желѣзныхъ дорогъ съ паровой тягой.

При выше допущенныхъ условіяхъ движенія трамвайныхъ вагоновъ, коэффициентъ нажатія тормазныхъ колодокъ для состоянія трущихся поверхностей группы А и для скорости отъ 15 до 20 клм. въ часъ опредѣляется по таблицѣ XXI около 60% отъ собственнаго вѣса вагона (столб. 4 и 5).

Изъ той же таблицы ясно, что k^1 , коэффициентъ нажатія колодокъ, слѣдуетъ брать меньшимъ 0,6 въ тѣхъ трамваяхъ, гдѣ скорость движенія, при которой обычно производится тормажение, меньше 20 клм. въ часъ, качество тормазныхъ колодокъ допускаетъ большій коэффициентъ тренія и состояніе путей таково, что сцепленіе между рельсами и колесами можетъ быть принято около или нѣсколько меньше 150 клг.

Коэффициентъ k^1 , наоборотъ, можетъ быть принять больше 0,6 тамъ, гдѣ обычная при началѣ тормажения скорость около или больше 20 клм. въ часъ, колодки изъ болѣе твердаго матеріала, съ меньшимъ коэффициентомъ тренія и состояніе путей допускаетъ болѣе высокое сцепленіе.

Но каковъ бы ни былъ коэффициентъ нажатія колодокъ, тормажение рѣдко получается соответствующимъ дѣйствительному сочетанію всѣхъ факторовъ, влияющихъ на тормажение, и только въ тѣхъ случаяхъ, когда сцепленіе совпадаетъ съ тормазнымъ усилиемъ при данной передачѣ, оно будетъ наивыгоднѣйшимъ, въ большинствѣ же случаевъ тормазное усиліе будетъ либо недостаточное, либо сильнѣе того, которое допускаетъ состояніе путей.

Въ особенности въ сильной степени измѣняетъ расчетное тормажение состояніе путей и трущихся поверхностей, находящихся въ зависимости между прочимъ отъ погоды и времени года.

Такъ, напримѣръ, коэффициентъ нажатія 0,60, опредѣленный при скорости около 20 клм. въ часъ для достиженія 150 клг. сцепленія, при мокрыхъ поверхностяхъ колодокъ и бандажей будетъ малъ и тормазной путь при этихъ условіяхъ получится значительно длиннѣе того, который получился бы при коэффициентѣ нажатія въ 91%, какъ это видно изъ таблицы XXI (столбецъ 10).

Но съ другой стороны тотъ же коэффициентъ нажатія при измѣненіи сцепленія отъ 150 клг. до 100 на тонну долженъ уменьшиться (для гр. А) до 42%, чтобы избѣжать скольженія вагона по рельсамъ, т. е. при передачѣ, рассчитанной на 60% нажатія колодокъ, вагонъ долженъ скользить, коль скоро коэффициентъ сцепленія будетъ ниже 150 клг., а коэффициентъ тренія колодокъ останется безъ измѣненій.

Скольженіе вагона по рельсамъ отсутствовало бы, если бы и коэффициентъ тренія колодокъ понизился въ томъ же отношеніи, что можетъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ дѣйствительности и имѣть мѣсто; напримѣръ, въ дождливую погоду уменьшается какъ коэффици-

ентъ сцѣпленія, такъ и коэффициентъ тренія колодокъ; но если пониженіе коэффициента тренія слѣдуетъ въ меньшей степени, чѣмъ коэффициента сцѣпленія, то получится неизбежное скольженіе вагона по рельсамъ. Последнее же обстоятельство кромѣ уменьшенія эффекта тормаженія вызываетъ образованіе лысокъ на ободахъ колесъ, вызывающее крайне неприятный стукъ и грохотъ во время движенія вагона и ненормальный износъ бандажей и рельсъ.

Подобнаго рода явленія могутъ имѣть мѣсто также въ зимнее время, когда рельсы покрываются инеемъ или тонкимъ слоемъ льда, заключающимъ въ себѣ жиръ отъ уличной грязи, и потому въ сильной степени понижающимъ сцѣпленіе. По указаніямъ Мюллера и Маттерсдорфа пониженіе коэффициента сцѣпленія можетъ доходить иной разъ до 60 клг. на тонну.

При этихъ условіяхъ и соотвѣтственно пониженное нажатіе колодокъ даетъ незначительный эффектъ тормаженія, а потому въ такихъ случаяхъ самымъ вѣрнымъ средствомъ повышенія эффекта тормаженія является искусственное увеличеніе сцѣпленія, т. е. посыпка рельсовъ пескомъ.

Насколько вліяетъ на эффектъ тормаженія правильная посыпка рельсовъ пескомъ, мы могли бы убѣдиться изъ опытовъ Франкфуртскаго, Туринскаго и др. трамваевъ (таблицы X и XI).

Поэтому на рациональность устройства песочницъ и ихъ содержаніе слѣдуетъ обратить особенное вниманіе, и тормазныя устройства моторныхъ вагоновъ должны всегда сопровождаться надлежащимъ устройствомъ песочницъ.

Слѣдовательно, если песочные приборы рационально устроены и содержатся всегда въ требуемой исправности и персоналъ вожатыхъ надлежаще обученъ пользованію ими, то и нажатіе колодокъ можетъ быть принято ближе къ высшимъ предѣламъ.

Но если на песочныя устройства мало обращено вниманія и на правильность функціонированія ихъ нельзя разсчитывать, то несообразованное со сцѣпленіемъ нажатіе колодокъ можетъ привести въ экстренныхъ тормаженіяхъ къ печальнымъ послѣдствіямъ, такъ какъ въ нѣкоторыхъ случаяхъ треніе каченія легко можетъ перейти въ скольженіе, а коэффициентъ скольженія, какъ мы видѣли изъ опытовъ Гальтона (таблица XV), меньше коэффициента тренія при каченіи и притомъ весьма быстро падаетъ съ увеличеніемъ скорости движенія, т. е. можетъ получиться обратное желаемому явленіе, — увеличеніе въ опасныхъ случаяхъ тормазнаго пути.

Остается теперь разсмотрѣть вышеустановленную степень нажатія колодокъ съ точки зрѣнія общественной безопасности, т. е. достигается ли при нажатіи колодокъ въ 60% отъ вѣса вагона требуемое въ трамвайнtimer дѣлѣ тормаженіе и нѣтъ ли обстоятельствъ, замѣтно отличающихъ тормаженіе трамвайнаго вагона отъ желѣзнодорожнаго.

Нѣкоторымъ мѣриломъ степени тормаженія трамвайныхъ ваго-

новъ можетъ служить положеніе, принятое на международномъ конгрессѣ въ Парижѣ: «три двадцать», т. е. вагонъ, движущійся на уклонѣ въ 20 тысячныхъ со скоростью 20 километровъ въ часъ, долженъ быть остановленъ на протяженіи 20 метровъ.

Посмотримъ, осуществляется ли это положеніе при нажатіи колодокъ, равномъ 60% отъ вѣса порожняго вагона.

Такъ какъ въ рассматриваемомъ случаѣ вагонъ движется подъ уклонъ, то силѣ сцѣпленія, развивающейся при тормаженіи, приходится совершить, кромѣ работы, идущей на уничтоженіе живой силы $\frac{Mv^2}{2}$,

еще работу, равную $1000 \cdot P \cdot S \cdot i$ киллограмметрамъ, гдѣ

i —уклонъ пути

P —вѣсъ вагона въ тоннахъ и

S —путь въ метрахъ, на протяженіи котораго останавливается затормаженный вагонъ.

Такъ какъ вагонъ тормазится до полной остановки, то должно имѣть мѣсто равенство:

$$Q \cdot S = \frac{Mv^2}{2} + i \cdot P \cdot S \cdot 1000. \quad (15)$$

Выражая Q чрезъ сцѣпленіе F_2 , имѣемъ: $Q = F_2 \cdot P$.

Такъ какъ по уравненію (13): $F_2 = k^1 \cdot F_1$, то $Q = k^1 \cdot F_1 \cdot P$, гдѣ F_1 по таблицѣ XIX для сухихъ поверхностей = 295 клг.

Такимъ образомъ получаемъ:

$$S \cdot 0,6 \cdot P \cdot 295 = \frac{1,16 \cdot P \cdot v^2 \cdot 1000}{2g} + i \cdot P \cdot S \cdot 1000,$$

откуда:

$$S = \frac{mv^2}{2(0,6 \cdot F_1 - 1000 \cdot i)}, \quad (16)$$

гдѣ m есть масса одной тонны вѣса вагона со включеніемъ вращающихся частей и равна

$$m = \frac{1000 \cdot 1,16}{9,81} = 118.$$

Подставляя вмѣсто v —5,55 метра въ секунду и

» i —0,02,

$$\text{имѣемъ: } S = \frac{118 \cdot 5,55^2}{(295 \cdot 0,6 - 20) \cdot 2} = 11,8 \text{ метровъ.}$$

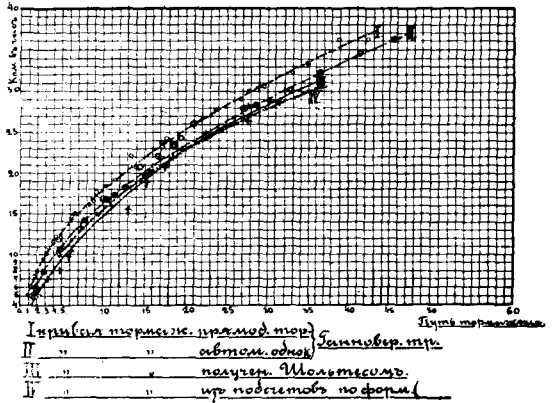
Если тормаженіе вагона производится воздушнымъ тормазомъ, то необходимо прибавить къ чистому пути тормаженія еще нѣкоторую длину пути, которую вагонъ проходитъ не заторможеннымъ, съ момента передвиженія тормазной рукоятки до начала нажатія колодокъ.

Допуская это время въ среднемъ равнымъ одной секундѣ, получаемъ полный путь тормаженія $11,8 + 5,55 = 17,35$ метровъ, т. е. выбранное нажатіе колодокъ, въ 60% вѣса вагона съ запасомъ удовлетворяетъ нормѣ, принятой Парижскимъ Конгрессомъ. Если для тѣхъ

же условий движения произвести подсчетъ тормазного пути, принимая согласно таблицы XVIII треніе равнымъ 237 клг. на тону нажатія, полученное по уравненію (11), то путь тормаженія опредѣляется въ $14,8 + 5,55 = 20,35$ мм., т. е. и въ этомъ случаѣ тормазной путь почти удовлетворяетъ нормѣ Парижскаго Конгресса.

Фиг. 6.

Если въ равенствѣ (16) i приравнять нулю и вмѣсто v вставить разныя скорости, то изъ него легко можно получить при разныхъ скоростяхъ движенія путь тормаженія на горизонтали. Прибавляя къ вычисленному такимъ образомъ частому пути тормаженія секундную скорость при началѣ тормаженія, получаемъ кривую тормазныхъ путей (фиг. 6), почти совпадающую съ кривыми тормаженія воздушнымъ тормазомъ, полученными опытнымъ путемъ инженеромъ Шерлингомъ Ганноверскихъ желѣзныхъ дорогъ и Шольтесомъ, директоромъ Нюенбергскаго трамвая.



Въ ниже приводимой таблицѣ сопоставлены вычисленные пути тормаженія съ тормазными путями заимствованными изъ диаграммъ: 1) инж. Шольтеса, директора Нюенбергскаго трамвая, составленной имъ на основаніи результатовъ тормажений, произведенныхъ нѣкоторыми заграничными трамваями и 2) Шерлинга, инж. Ганноверскихъ жел. дор., специально организовавшаго рядъ испытаній надъ разными системами тормазовъ:

Въ ниже приводимой таблицѣ сопоставлены вычисленные пути тормаженія съ тормазными путями заимствованными изъ диаграммъ: 1) инж. Шольтеса, директора Нюенбергскаго трамвая, составленной имъ на основаніи результатовъ тормажений, произведенныхъ нѣкоторыми заграничными трамваями и 2) Шерлинга, инж. Ганноверскихъ жел. дор., специально организовавшаго рядъ испытаній надъ разными системами тормазовъ:

Т а б л и ц а XXII.

Скорость въ клг. въ часѣ.	Тормазные пути по диагр. Шольтеса въ метрахъ.	Тормазные пути по диагр. Шерлинга.		Тормазные пути, полученные изъ подсчета по формулѣ $S = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot k \cdot F_1} + v$ (16)
		Прямод. тормазъ.	Авт. однок. тормазъ.	
1	2	3	4	5
10	5.5	3	4	4.88
15	10.2	7	8.5	9.4
20	16	13	15	15.85
25	24	20	23	24.4
30	34	28.5	32	35

Изъ вышеприведенныхъ примѣровъ видно, что коэффициентъ нажатія колодокъ, опредѣленный въ 0,6 отъ порожняго вѣса вагона, даетъ тормажение, близкое къ принятой практикой нормѣ.

IX. Зависимость тормажения отъ нагрузки вагона.

Вагоны бываютъ въ движеніи порожніе, нагруженные полностью и частью груженые. Вѣсъ одного и того же вагона во время тормажения можетъ быть различенъ въ зависимости отъ нагрузки его, между тѣмъ какъ основной вѣсъ вагона, принятый въ расчетъ тормазной передачи, остается неизмѣннымъ *).

Разница между вѣсомъ вагона, положеннымъ въ основу расчета тормазной передачи, и случайнымъ вѣсомъ его въ движеніи въ трамваяхъ можетъ достигнуть иной разъ довольно значительной величины. Слѣдствіемъ этого является то, что вагонъ рѣдко можетъ быть затормажень полностью; и только въ исключительныхъ случаяхъ, когда случайный вѣсъ вагона совпадаетъ съ расчетнымъ, имѣетъ мѣсто полное тормажение.

Выше указанное легко можетъ быть усмотрѣно изъ равенства (13):

$$k^1 = \frac{F_2}{F_1}, \text{ гдѣ } k^1 \text{—отношеніе силы нажатія колодокъ къ вѣсу самого вагона, т. е. } \frac{F_2}{F_1} = \frac{D\mu}{P}. \text{ Но если вагонъ несетъ нагрузку } R, \text{ то}$$

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{D \cdot \mu}{P+R} \text{ и } F_2 = \frac{\mu \cdot D \cdot F_1}{P+R}. \dots \dots \dots (17).$$

Изъ уравненія (17) видно, что при постоянныхъ F_1 и $D\mu$ сцѣпленіе или, что въ конечномъ итогѣ одно и то же, эффектъ тормажения обратно пропорціонально нагрузкѣ вагона, т. е. уменьшается, по мѣрѣ увеличенія R нагрузки вагона, и увеличивается съ уменьшеніемъ R .

Чтобы получить эффектъ тормажения груженаго вагона одинаковый съ порожнимъ, нужно имѣть въ обоихъ случаяхъ k^1 одинаковымъ,

т. е. должно существовать равенство: $\frac{D_1}{P+R} = \frac{D}{P}$; откуда

$$D_1 = \frac{P}{D}(P+R) = kP + kP = D + kR. \dots \dots (18),$$

т. е. для полученія эффекта тормажения груженаго вагона, одинаково съ эффектомъ тормажения порожняго, нажатіе колодокъ, опредѣленное для порожняго вагона, должно быть увеличено на нагрузку R , умноженную на коэффициентъ нажатія колодокъ, принятый при порожнемъ вѣсѣ вагона; и чѣмъ больше нагрузка R въ сравненіи съ собственнымъ вѣсомъ вагона, тѣмъ въ большей мѣрѣ отличается тормазное нажатіе D отъ требуемаго D_1 для полученія одинаковой въ обоихъ случаяхъ степени тормажения.

Если полезная нагрузка мѣняется отъ нуля до R , какъ это имѣеть

*) При расчетѣ тормазной передачи исходятъ обыкновенно изъ вѣса порожняго вагона.

мѣсто во время движенія трамвайныхъ вагоновъ, то это добавочное нажатіе въ среднемъ можно принять равнымъ $\frac{k^1 \cdot R}{2}$ и тогда

$$D_1 = D + \frac{k^1 \cdot R}{2} \dots \dots \dots (18')$$

Х. Тормаженіе моторнаго вагона съ прицѣпными.

Переходя къ вопросу о тормаженіи моторнаго съ прицѣпными вагонами, слѣдуетъ прежде всего припомнить основное требованіе тормаженія цѣлаго поѣзда, заключающееся въ томъ, чтобы составныя единицы поѣзда тормазились одинаково съ моторнымъ или, если ихъ тормаженіе нѣсколько и отличалось бы другъ отъ друга, то чтобы послѣдующіе вагоны, т. е. находящіеся въ хвостѣ поѣзда, нѣсколько натягивали сцепные приборы, дабы избѣгнуть толчковъ и ударовъ при набѣганіи заднихъ вагоновъ на передніе во время тормаженія поѣзда, и достигнуть плавнаго троганія съ мѣста при дальнѣйшемъ слѣдованіи поѣзда. Такого рода тормаженіе, кромѣ избѣжанія неприятныхъ во время тормаженія ударовъ и толчковъ, обусловливаетъ въ большей мѣрѣ цѣлость сцепныхъ приборовъ и обезпечивается такимъ образомъ безопасностью движенія.

Если обратиться къ величинамъ нагрузокъ, перевозимыхъ порознь моторнымъ и прицѣпными вагонами, и отношеніямъ ихъ къ собственному вѣсу вагоновъ, то увидимъ, что отношеніе вѣса нормальнаго числа пассажировъ къ собственному вѣсу прицѣпныхъ вагоновъ значительно больше, чѣмъ то же отношеніе для моторнаго вагона: въ то время какъ для послѣдняго оно въ среднемъ равно 30%, для прицѣпныхъ — простирается отъ 50% до 100% и даже больше. Кромѣ того, величина нагрузки во время движенія вагоновъ не постоянная: она все время мѣняется какъ на томъ, такъ и на другомъ вагонѣ, т. е. во время движенія получается различное соотношеніе полезныхъ нагрузокъ къ собственному вѣсу вагоновъ поѣзда. Понятно, что при такомъ перемѣнномъ сочетаніи нагрузокъ въ вагонахъ одного и того же поѣзда, и при томъ значительныхъ по отношенію къ собственному вѣсу вагоновъ, не можетъ быть и рѣчи объ идентичности тормаженія составныхъ единицъ трамвайнаго поѣзда *); и потому здѣсь можетъ итти вопросъ только о возможномъ приближеніи тормаженія того и другого вагоновъ.

Чтобы убѣдиться, насколько велика разница тормажений вагоновъ одного и того же поѣзда, рассмотримъ тормаженіе моторнаго съ прицѣпнымъ безъ нагрузки и съ нагрузкой.

Для примѣра остановимся на тормаженіи вагоновъ при томъ соотношеніи ихъ вѣсовъ, какое имѣется въ дѣйствительности въ

*) Говоря въ дальнѣйшемъ о тормаженіи трамвайныхъ поѣздовъ, имѣемъ въ виду преимущественно воздушный тормазъ.

эксплоатации нѣкоторыхъ трамвайныхъ предприятий Россіи, и опредѣлимъ для нихъ тормазные пути при скорости движенія 20 клм. въ часть на горизонтали.

Длину тормаженія на горизонтальномъ пути для скорости 20 км. въ часть опредѣляемъ по формулѣ (16¹): $S = \frac{m \cdot v^2}{2 \cdot 0,6 \cdot F_1} + v$; при чемъ m для порожняго моторнаго вагона принимаемъ=118 и для прицѣпного=108, а для груженыхъ соотвѣтственно увеличиваемъ пропорціо-нально добавочнымъ нагрузкамъ отъ пассажировъ, приходящимся на 1 тонну вѣса порожняго вагона.

Т а б л и ц а XXIII.

	Трамвай А.				Трамвай Б.			
	Моторный.		Прицѣпной.		Моторный.		Прицѣпной.	
	Порож- ный.	Груже- ный.	Порож- ный.	Груже- ный.	Порож- ный.	Груже- ный.	Порож- ный.	Груже- ный.
Вѣсъ въ тон- нахъ	7.5	10	3.5	6.02	8	10.8	2	4.4
Тормазн. путь въ метрахъ. . .	15.85	18.75	15.85	23.85	15.85	18.75	15.85	25.55

Изъ этой таблицы видимъ, что съ нагрузкой вагона замѣтно увеличивается и путь тормаженія, при чемъ удлиненіе пути прицѣп-ного вагона возрастаетъ въ большей степени, чѣмъ моторнаго.

Такъ, напримѣръ, при скорости 20 клм. въ часть удлиненіе пути тормаженія прицѣпного вагона отъ нагрузки въ одномъ случаѣ рав-няется 50%, а въ другомъ—60%, моторнаго же—только на 18% въ сравненіи съ ихъ тормазными путями въ порожнемъ видѣ.

Вслѣдствіе меньшаго эффекта тормаженія задняго вагона сравни-тельно съ переднимъ получается набѣганіе прицѣпного вагона на моторный, что вызываетъ толканіе моторнаго прицѣпнымъ вагономъ при тормаженіи и толчки при троганіи съ мѣста. Какъ слѣдствіе такого тормаженія, появляется и большая вѣроятность разрыва поѣзда, чѣмъ если бы при тормаженіи сиѣпные приборы были нѣсколько натянуты.

Правда, можно уменьшить, какъ увидимъ ниже, нажимающую на моторный вагонъ силу со стороны прицѣпного принятіемъ для него при расчетѣ тормазной передачи большаго коэффиціента нажатія колодокъ. Но повышеніе коэффиціента нажатія прицѣпного вагона въ сравненіи съ моторнымъ допустимо только въ небольшихъ размѣрахъ, такъ какъ значительное превышеніе нажатія колодокъ прицѣпного вагона противъ моторнаго можетъ вызвать частое скольженіе его при тормаженіи въ порожнемъ видѣ, что тоже нежелательно, такъ какъ это способствуетъ образованію лысокъ на ободахъ колесъ, вызываю-

шихъ непріятный стукъ во время движенія и сокращающихъ срокъ службы бандажей и рельсъ.

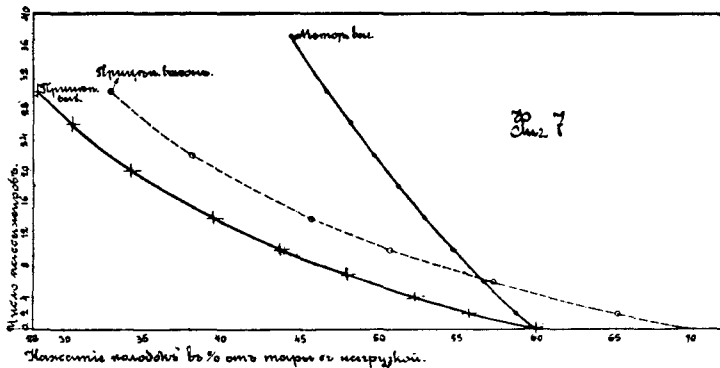
Изъ уравненія (13) имѣемъ: $F_2 = F_1 \cdot k^1$, гдѣ подѣ k^1 слѣдуетъ, вообще говоря, подразумѣвать отношеніе нажатія колодокъ къ вѣсу вагона съ грузомъ или давленію его на рельсы.

Если въ немъ будетъ измѣняться k^1 при одномъ и томъ же F_1 , то измѣнится въ томъ же отношеніи и F_2 .

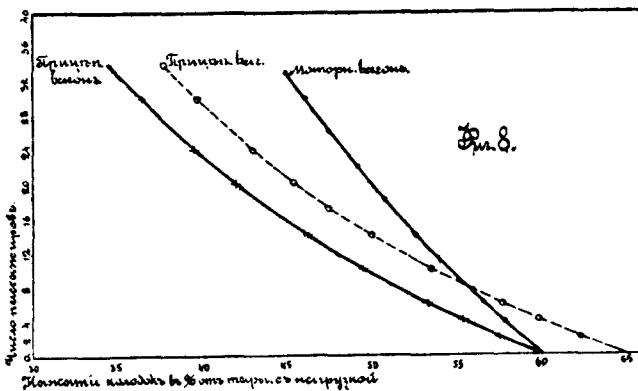
Такъ какъ нажатіе колодокъ въ каждомъ вагонѣ имѣетъ постоянную величину, заранѣе принятую при расчетѣ, а давленіе на рельсы мѣняется съ наполненіемъ вагона, то и выше упомянутое отношеніе k^1 будетъ тоже измѣняться вмѣстѣ съ нагрузкой. Такъ какъ въ этомъ

случаѣ $k^1 = \frac{D}{P + R}$, то, очевидно, съ увеличеніемъ нагрузки R коэффициентъ k^1 будетъ уменьшаться, а вмѣстѣ съ нимъ и F_2 , т. е. съ наполненіемъ вагона эффектъ тормаженія будетъ падать. Опредѣляя такимъ образомъ для каждой нагрузки значенія k^1 , мы тѣмъ самымъ при данномъ F_1 можемъ получить и степень тормаженія даннаго вагона при каждой нагрузкѣ R .

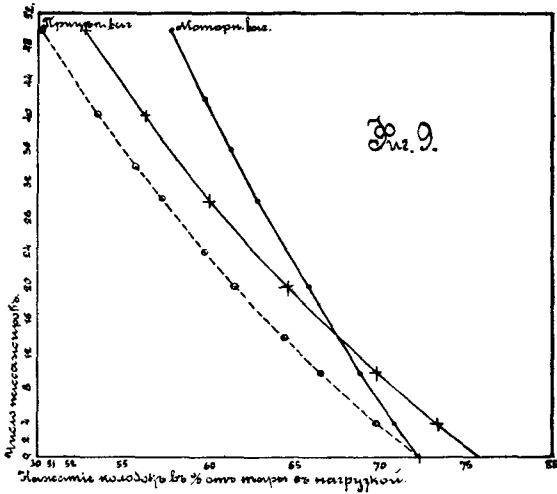
На фиг. 7, 8 и 9 графически изображены измѣненія коэффициента нажатія колодокъ k^1 въ зависимости отъ количества пассажировъ въ



моторномъ и прицепномъ вагонахъ трамваевъ А, В и Московскаго Городскаго Управленія. Изъ этихъ діаграммъ видимъ, что если тор-



мазная передача рассчитана съ коэффициентомъ нажатія колодокъ въ 0,6 для порожнихъ вагоновъ; моторнаго и прицѣпнаго, то по мѣрѣ наполненія обоихъ вагоновъ пассажирами въ одинаковомъ количествѣ,



совпаденія коэффициентовъ нажатій не происходитъ, причемъ чѣмъ больше нагружаются вагоны, тѣмъ больше расхожденіе этихъ коэффициентовъ и эта разница достигаетъ наибольшей величины при наполненіи прицѣпныхъ вагоновъ полностью, при каковой нагрузкѣ, напримѣръ, на фиг. 7 для прицѣпнаго вагона $k^1 \approx 28\%$ и для моторнаго — $k^1 \approx 45,5\%$.

Такъ какъ, съ другой стороны, сцепленіе вагоновъ при тормажениі пропорціонально нажатію колодокъ, то и тормазные пути обоихъ вагоновъ будутъ отличаться почти въ томъ же отношеніи (тормазной путь прицѣпнаго вагона, вслѣдствіе меньшей величины вращающихся массъ, нѣсколько меньше тормазного пути моторнаго вагона, при томъ же нажатіи колодокъ и другихъ равныхъ условіяхъ). Очевидно, что при всякомъ тормажениі воздушнымъ тормазомъ такихъ вагоновъ съ предположенной выше нагрузкой, получится толканіе моторнаго прицѣпнымъ вслѣдствіе набѣганія послѣдняго на первый, а при троганіи съ мѣста на горизонтальныхъ линіяхъ будутъ имѣть мѣсто удары и толчки.

Тождественное тормажение обоихъ вагоновъ можетъ получиться только при такомъ сочетаніи нагрузокъ, при которомъ получается одинаковое нажатіе колодокъ. Такъ, напримѣръ, судя по фиг. 7, при нагрузкѣ на прицѣпномъ вагонѣ не свыше 10 человѣкъ, могутъ еще получаться комбинаціи нагрузокъ на обоихъ вагонахъ, при которыхъ коэффициенты нажатія k^1 на томъ и другомъ вагонѣ будутъ одинаковые; но при нагрузкахъ на прицѣпномъ вагонѣ свыше 10 человѣкъ, коэффициенты k^1 для послѣдняго будутъ всегда меньше моторнаго, и тормажение обоихъ вагоновъ не можетъ получиться одинаковымъ. То же самое можно сказать и относительно вагоновъ съ измѣненіемъ

нажатія колодокъ по діаграммамъ фиг. 8 и 9, только здѣсь предѣлы для нагрузки прицѣпныхъ вагоновъ, при которыхъ возможны совпаденія коэффициентовъ k^1 нѣсколько повышаются; такъ, на примѣръ, по фиг. 8 этотъ предѣлъ простирается приблизительно до 16 человѣкъ, а по фиг. 9—до 30 человѣкъ.

Набѣганіе при тормаженіи прицѣпного вагона на моторный можно нѣсколько уменьшить, если кривую измѣненія нажатій прицѣпного сдвинуть назадъ, какъ это показано на фиг. 7 и 8 пунктиромъ, а на фиг. 9 сплошной кривой, или иными словами, если принять коэффициенты k^1 для порожняго прицѣпного вагона больше, чѣмъ для моторнаго; но и въ этомъ случаѣ, какъ это легко усмотрѣть изъ указанныхъ діаграммъ, получится при наполненіяхъ вагоновъ, близкихъ къ полному, набѣганіе прицѣпа на моторный. Повышать же, съ другой стороны, чрезмѣрно значеніе коэффициента k^1 для прицѣпного вагона сравнительно съ моторнымъ, какъ намъ извѣстно изъ предыдущаго, сопряжено съ неменьшими затрудненіями. Поэтому по необходимости приходится мириться съ несогласованностью тормаженія прицѣпныхъ съ моторными вагонами городскихъ трамваевъ.

По мѣрѣ уменьшенія отношенія полезной нагрузки къ собственному вѣсу вагона, и приближенія его къ тому же отношенію моторнаго, кривая измѣненій нажатій прицѣпного вагона повышается и приближается къ кривой моторнаго, т. е. разница въ тормаженіяхъ обоихъ вагоновъ уменьшается. Это можно легко усмотрѣть изъ фиг. 8, гдѣ отношеніе нагрузки прицѣпного вагона къ собственному вѣсу меньше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ (см. фиг. 7).

Эта разница въ расхожденіи кривыхъ нажатій по мѣрѣ увеличенія нагрузки вагоновъ еще меньше на діаграммѣ фиг. 9, вычерченной для коэффициентовъ нажатій моторнаго и прицѣпного вагоновъ Московскаго трамвая, въ томъ ихъ соотношеніи вѣсовъ, какъ эта передача на самомъ дѣлѣ осуществлена.

При вычисленіи нажатій для вагоновъ Московскаго трамвая коэффициентъ полезнаго дѣйствія тормазной передачи принять равнымъ 0,8. Если его считать равнымъ 0,7, какъ это было бы ближе къ дѣйствительности, то нажатіе колодокъ для порожняго моторнаго вагона получится—63% и для прицѣпного—66%.

Если обратиться къ практикѣ междугородныхъ желѣзныхъ дорогъ, то здѣсь вышеуказанныя обстоятельства не могутъ играть такого существеннаго значенія при тормаженіи пассажирскихъ поѣздовъ, такъ какъ полезная ихъ нагрузка не настолько велика, чтобы имѣть замѣтное вліяніе на тормаженіе.

Нельзя того же сказать про товарные вагоны, гдѣ перевозимый ими грузъ великъ по отношенію къ собственному вѣсу вагона, а потому при тормаженіи товарнаго поѣзда воздушнымъ тормазомъ выше отмѣченныя затрудненія могутъ встрѣтиться. Итакъ, резюмируя выше изложенное, можно придти къ слѣдующимъ выводамъ:

1) Эффектъ тормажения трамвайныхъ вагоновъ колодычными тормазами, приводимыми въ дѣйствіе сжатымъ воздухомъ, уменьшается по мѣрѣ увеличенія нагрузки, т. е. съ наполненіемъ вагона тормазной путь увеличивается; и чѣмъ больше отношеніе полезной нагрузки къ собственному вѣсу вагона, тѣмъ больше отклоняется тормажение отъ расчетнаго, т. е. наивыгоднѣйшаго.

2) Такъ какъ отношеніе полезной нагрузки прицѣпныхъ вагоновъ къ собственному вѣсу больше, чѣмъ тоже отношеніе для моторныхъ вагоновъ, то и тормазный путь прицѣпныхъ груженыхъ вагоновъ больше, чѣмъ моторныхъ.

3) Отсюда, какъ слѣдствіе, вытекаетъ, что при тормаженіи трамвайнаго поѣзда съ полной его нагрузкой получается въ большинствѣ случаевъ набѣганіе прицѣпнаго вагона на моторный, вызывающее толчки и удары при остановкахъ и троганіи поѣзда съ мѣста.

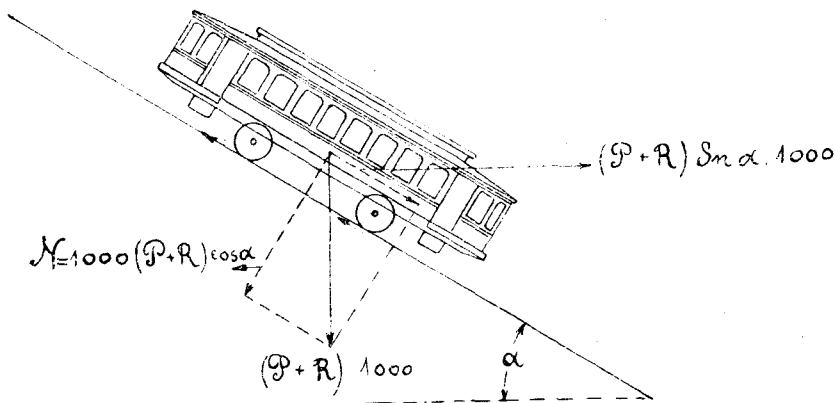
Послѣдніе же, дѣйствуя непосредственно на сцепные приборы, увеличиваютъ опасность движенія.

4) Для ослабленія выше указаннаго явленія, желательно конструировать тормазную передачу для прицѣпныхъ вагоновъ съ нѣсколько большимъ коэффициентомъ нажатія колодокъ, чѣмъ для моторныхъ.

XI. Автоматическое тормажение воздушными тормазами прицѣпныхъ вагоновъ городскихъ желѣзныхъ дорогъ, въ случаѣ разрыва поѣзда на подъемахъ.

Разсмотримъ автоматическое тормажение воздушнымъ тормазомъ прицѣпныхъ вагоновъ, въ случаѣ ихъ отрыва отъ моторныхъ въ условіяхъ трамвайнаго движенія.

Пусть P обозначаетъ вѣсъ порожняго вагона, R —полную нагрузку отъ пассажировъ, $N \cdot f_2$ силу сцепленія на подъемѣ



Фиг. 10.

Затормаженный на уклонѣ вагонъ можетъ быть въ покоѣ тогда, когда сила сцепленія между колесами и рельсами $N \cdot f_2$ равна или больше слагающей силы тяжести, дѣйствующей параллельно линіи движенія въ обратную силѣ цѣпленія сторону, т. е.

$$N \cdot f_2 \geq (P+R) \sin \alpha \cdot 1000 \quad (19)$$

гдѣ α —уголъ уклона къ горизонтали.

Изъ раньше приведенныхъ соображеній мы знаемъ, что сила сцепленія $N \cdot f_2$ находится въ зависимости отъ F_1 тренія между колодками и бандажами, согласно равенства:

$$N \cdot f_2 = F_1 \cdot k^1 \cdot P \quad (20)$$

Замѣняя въ неравенствѣ (19) $N \cdot f_2$ его выраженіемъ изъ уравненія (20), получаемъ: $1000 (P+R) \sin \alpha \leq P \cdot k^1 \cdot F_1$

$$\text{или } \sin \alpha \leq \frac{k^1 \cdot F_1}{(1 + \frac{R}{P})} \cdot 1000 \quad (21)$$

Разсмотримъ случаи равновѣсія вагона на уклонахъ при возможныхъ условіяхъ уличнаго движенія и опредѣлимъ уклоны, на которыхъ это равновѣсіе возможно.

Такъ какъ разрывъ поѣзда вѣроятнѣе при полной нагрузкѣ прицепныхъ вагоновъ, потому что, во-1-хъ, сцепные приборы тогда сильнѣе напряжены и, во-2-хъ, при тормаженіи груженыхъ вагоновъ, какъ мы видѣли, получаются толчки, увеличивающіе вѣроятность отрыва прицепа вагона, то будемъ разсматривать автоматическое тормаженіе вагоновъ съ нагрузкой.

Принимая во вниманіе, что трамвайные вагоны никакой нормировкѣ не подлежатъ и потому среди нихъ наблюдается большое многообразіе прицепныхъ вагоновъ какъ по ихъ емкости, такъ и по собственному вѣсу, разсмотримъ случаи тормаженія на уклонахъ, когда нагрузка прицепныхъ вагоновъ составляетъ 50%, 75% и 100% отъ собственного ихъ вѣса.

Уравненіе (21) показываетъ, что уклоны, на которыхъ вагонъ даннаго вѣса можетъ находиться въ покоѣ отъ дѣйствующихъ на него силъ при данномъ нажатіи колодокъ, зависятъ отъ коэффициента тренія между колодками и бандажами. Такъ какъ коэффициентъ тренія при мокрыхъ поверхностяхъ меньше, чѣмъ при сухихъ, то въ дальнѣйшемъ будемъ производить расчетъ въ предположеніи перваго состоянія поверхностей.

При этомъ слѣдуетъ отмѣтить, что послѣдніе случаи не являются исключительными, а встрѣчаются въ трамвайномъ движеніи такъ же часто, какъ и сухое состояніе трущихся поверхностей и потому предположенный къ разсмотрѣнію случай тормаженія нельзя отнести къ ненормальному.

Коэффициентъ нажатія колодокъ k^1 принимаемъ тоже нормальнымъ, т. е. равнымъ 0,6.

Допустимъ, что послѣ разрыва поѣзда на уклонѣ прицепной ва-

гонь до затормажения его автоматическимъ воздушнымъ тормазомъ не успѣлъ двинуться назадъ, подъ уклонъ.

Въ этомъ случаѣ величины коэффициентовъ трения между колодками и бандажами можно брать при скорости, равной нулю.

Для такого случая Вихертъ даетъ средній коэффициентъ трения 250 клг. на тонну нажатія колеса.

Итакъ на основаніи уравнения (21) имѣемъ:

$$\sin \alpha \leq \frac{0,6 \cdot 250}{\left(1 + \frac{R}{P}\right) \cdot 1000}.$$

1) Случай, когда нагрузка вагона составляетъ 75% его собственного вѣса, т. е.

$$\frac{R}{P} = 0,5; \sin \alpha_1 \leq \frac{150}{1500} = 0,100.$$

2) Случай, когда нагрузка вагона составляетъ 100% его собственного вѣса, т. е.

$$\frac{R}{P} = 0,75; \sin \alpha_2 \leq 0,086.$$

3) Случай, когда нагрузка вагона составляетъ 50% его собственного вѣса, т. е.

$$\frac{R}{P} = 1,00; \sin \alpha_3 \leq 0,075.$$

Въ выше приведенныхъ примѣрахъ коэффициентъ трения между колодками и бандажами былъ принятъ для мокрыхъ поверхностей средній, но онъ можетъ быть и нѣсколько ниже. Разсмотримъ тѣ же случаи, но при $F_1 = 225 \text{ kg}$ на тонну нажатія колодокъ.

$$1) \frac{R}{P} = 0,5; \sin \alpha_1 \leq 0,090.$$

$$2) \frac{R}{P} = 0,75; \sin \alpha_2 \leq 0,077.$$

$$3) \frac{R}{P} = 1,00; \sin \alpha_3 \leq 0,068.$$

Отсюда видимъ, что уклоны, на которыхъ затормаженные вагоны могутъ находиться въ состояніи покоя, уменьшаются, во-1-хъ, по мѣрѣ увеличенія нагрузки вагона и, во-2-хъ, по мѣрѣ уменьшенія коэффициента трения между колодками и бандажами.

Вышеприведенное относилось къ тому случаю, когда вагонъ, въ моментъ тормажения послѣ отрыва, не получилъ обратнаго движенія.

Но если допустить, что оторвавшійся прицепной вагонъ получилъ уже нѣкоторую скорость въ моментъ приведенія всего тормазного механизма въ дѣйствіе, картина мѣняется къ болѣе опасному положенію, такъ какъ къ силѣ тяжести, катящей вагонъ подъ уклонъ, прибавляется еще сила инерціи, дѣйствующая въ томъ же направленіи.

При этомъ понижается коэффициентъ трения между колесами и колодками, а, слѣдовательно и сила, удерживающая вагонъ на уклонѣ.

Что такого рода явленія въ дѣйствительности могутъ встрѣтиться, имѣются серьезныя основанія такъ думать; да къ тому и практика трамваяевъ подтверждаетъ это. Такъ, напримѣръ, данныя Московскаго трамвая показываютъ, что случаи обрыва поѣзда, при троганіи вагоновъ съ мѣста, т. е., когда прицепной вагонъ не получилъ еще скорости двигаться впередъ, нерѣдки.

Представимъ себѣ, что такой случай произошелъ на подъемѣ. Прицепной вагонъ при обрывѣ сцепныхъ приборовъ, не имѣя инерціи впередъ, тотчасъ же начинаетъ двигаться назадъ подѣ дѣйствіемъ силы тяжести. Но автоматическій воздушный тормазъ начинаетъ приходить въ дѣйствіе лишь тогда, когда расцепляются соединительныя рукава, т. е. послѣ того, когда оба вагона отодвинутся другъ отъ друга на нѣкоторое разстояніе, т. е. на длину спрямленія сцепныхъ рукавовъ. Сверхъ этого проходитъ нѣкоторое время, пока всѣ приборы воздушнаго тормазы придутъ въ дѣйствіе для затормаженія двигающагося назадъ вагона.

По изслѣдованіямъ Московскаго трамвая, время, необходимое на приведеніе въ дѣйствіе прямодѣйствующаго тормазы моторнаго вагона, составляетъ отъ 0,5 до 1,5 сек.

Но по тѣмъ же наблюденіямъ время на тормаженіе и отпускъ автоматическаго однокамернаго воздушнаго тормазы оказывается больше, чѣмъ прямодѣйствующаго. Эта разница настолько была замѣтна, что вожатые Московскаго трамвая, привыкшіе къ управленію вагоновъ прямодѣйствующимъ тормазомъ, при переходѣ на вагоны съ автоматическимъ тормазомъ нерѣдко включали моторы до отпуска тормазы, что вызывало порчу нѣкоторыхъ предметовъ электрическаго оборудованія. Объясненія этого явленія слѣдуетъ, повидимому, искать при всѣхъ равныхъ другихъ условіяхъ въ потерѣ времени на приведеніе въ дѣйствіе автоматическаго тройнаго клапана и въ замедленіи прохожденія воздуха чрезъ узкія впускныя его отверстія и проч.

Кромѣ того, величина этого промежутка времени зависитъ отъ многихъ другихъ причинъ, какъ, напримѣръ, отъ хода поршня тормазнаго цилиндра: при большемъ его ходѣ требуется больше времени на наполненіе воздухомъ большаго объема тормазнаго цилиндра; кромѣ того, при этомъ и больше тратится работы на большее растяженіе тормазныхъ пружинъ и на передвиженіе всей рычажной передачи на большое разстояніе. Отсюда слѣдуетъ, что время, потребное для приведенія въ дѣйствіе тормазной передачи, находясь въ зависимости отъ состоянія всей тормазной системы, можетъ быть различно и съ точностью не можетъ быть учтено напередъ.

Примемъ въ дальнѣйшемъ это время равнымъ одной и двумъ секундамъ и произведемъ расчеты тормаженія для обоихъ этихъ случаевъ.

Кромѣ того примемъ ускореніе моторнаго вагона на подъемѣ при троганіи съ мѣста равнымъ 0,1 метр. въ сек.².

Условимся, что прицепной вагонъ, получившій нѣкоторую ско-

рость послѣ обрыва на уклонѣ внизъ, долженъ быть остановленъ автоматическимъ тормазомъ на протяженіи 10 метровъ и постараемся опредѣлить, при какихъ уклонахъ это условіе можетъ быть выполнено.

Уравненіе тормаженія на уклонѣ приметъ слѣдующій видъ:

$$F_1 \cdot k^1 \cdot P \cdot S = \frac{M v^2}{2} + (P + R) \sin \alpha \cdot S \cdot 1000. \quad (22)$$

Полагая $M = \frac{P \cdot 1000}{g} \cdot 1,06 + \frac{R \cdot 1000}{g} = 108 \cdot P + 102 \cdot R,$

имѣемъ: $F_1 \cdot k^1 \cdot S = (54 + 51 \cdot \frac{R}{P}) v^2 + (1 + \frac{R}{P}) \sin \alpha \cdot 1000 S. \quad (22^1)$

Для большей точности результатовъ подсчета примемъ во вниманіе и работу сопротивленія движенію, которая для небольшихъ скоростей (не превосходящихъ 8 клм. въ часъ), по опытнымъ даннымъ Московскаго трамвая, можетъ быть принята около 5 клг. на 1 тонну вагона, т. е. $W = 5$ клг.

Тогда уравненіе (22) въ общемъ видѣ напишется такъ:

$$F_1 \cdot k^1 \cdot S = (54 + 51 \cdot \frac{R}{P}) v^2 + 1000 (1 + \frac{R}{P}) \sin \alpha \cdot S - W \cdot S. \quad (23)$$

Предполагая нормальные случаи движенія, т. е. $k^1 = 0,6$ и опредѣляя значенія F_1 изъ фиг. 5 для мокрыхъ поверхностей, легко можемъ опредѣлить $\sin \alpha$ или уклоны, на которыхъ оторвавшіеся прицепы могутъ быть затормажены на протяженіи 10 метровъ.

Въ предположеніи движенія вагона послѣ его отрыва отъ моторнаго равноускореннымъ, время послѣ разрыва, уходящее на удаленіе вагоновъ другъ отъ друга на разстояніе 0,75 м., т. е. на длину спрямленія рукавовъ примѣнительно къ вагонамъ Москов. трамвая, можетъ быть опредѣлено по формулѣ:

$$t = \sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}},$$

гдѣ $\Delta = 0,75$ м., $g \cdot \sin \alpha$ — ускореніе слагающей силы тяжести, а 0,1 м. — приблизительно среднее ускореніе моторнаго вагона на подъемѣ.

Скорость обратнаго скатыванія вагона v опредѣляется по формулѣ:

I случай $v_1 = \left(\sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 1 \right) \cdot g \cdot \sin \alpha. \quad (24)$

II > $v_2 = \left(\sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 2 \right) \cdot g \cdot \sin \alpha. \quad (24^1)$

Вставляя это выраженіе скорости v въ уравненіе (23), получаемъ для I случая:

$$F_1 \cdot k^1 \cdot S = (54 + 51 \cdot \frac{R}{P}) \left(g \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + g \cdot \sin \alpha \right)^2 + 1000 (1 + \frac{R}{P}) \sin \alpha \cdot S - W \cdot S. \quad (25)$$

или поставляя численные значения, имѣемъ:

$$6 \cdot F_1 = (54 + 51 \frac{R}{P}) \left(9,81 \cdot \sin \alpha \sqrt{\frac{1,5}{9,81 \cdot \sin \alpha + 0,1} + 9,81 \sin \alpha} \right)^2 + 1000 \left(1 + \frac{R}{P} \right) \sin \alpha - 50.$$

Итакъ на основаніи уравненія (25) имѣемъ:

I сл.

II сл.

1) Для случая $\frac{R}{P} = 0,5$; $\sin \alpha_1 \approx 0,074$; $\sin \alpha_1^1 \approx 0,063$.

2) „ „ $\frac{R}{P} = 0,75$; $\sin \alpha_2 \approx 0,065$; $\sin \alpha_2^1 \approx 0,058$.

3) „ „ $\frac{R}{P} = 1,00$; $\sin \alpha_3 \approx 0,058$; $\sin \alpha_3^1 \approx 0,051$.

Такимъ образомъ уклоны, на которыхъ прицѣпной вагонъ можетъ быть остановленъ автоматическимъ воздушнымъ тормазомъ послѣ отрыва отъ моторнаго на протяженіи 10 метровъ, при вышепредположенныхъ условіяхъ движенія, получаютъ значительно меньшіе, чѣмъ при статическомъ состояніи силы, дѣйствующихъ на затормажанный вагонъ. Отсюда слѣдуетъ, что приведеніе въ дѣйствіе автоматическаго тормазу прицѣпнаго вагона оторвавагося на подъемѣ, должно быть по возможности быстрое, чтобы вагонъ не могъ приобрести къ моменту тормаженія замѣтную скорость.

Въ приведенныхъ выше подсчетахъ коэффициентъ нажатія колодокъ k^1 , со включеніемъ всѣхъ потерь въ тормазной передачѣ, былъ принятъ равнымъ 0,6. Но въ практикѣ трамваевъ нерѣдко нажатіе колодокъ прицѣпныхъ вагоновъ примѣняется ниже; такъ, напримѣръ, при среднемъ коэффициентѣ полезнаго дѣйствія тормазной передачи 0,7, теоретическое нажатіе колодокъ нѣкоторыми трамваями принимается около 0,8.

Такимъ образомъ дѣйствительное нажатіе получается

$$k^1 = 0,7 \cdot 0,8 = 0,56.$$

Величину коэффициента полезнаго дѣйствія тормазной передачи, принятую равной 0,7, слѣдуетъ понимать, какъ среднюю.

На дѣлѣ же она можетъ колебаться въ ту и другую сторону и иной разъ въ значительныхъ предѣлахъ, въ зависимости отъ состоянія всей системы тормазу и положенія рычажной передачи.

1) Такъ, напримѣръ, при износѣ бандажей и колодокъ рычажная передача принимаетъ менѣе выгодное положеніе, чѣмъ при среднемъ положеніи ея; расчетное нажатіе при этомъ уменьшается вслѣдствіе относительнаго измѣненія плечъ рычажной передачи. Кроме того, при износѣ колодокъ, т. е. при большомъ зазорѣ между колод-

ками и бандажами, увеличивается потеря работы на большее растяжение оттяжных пружинъ тормазной передачи, на большее передвижение рычажной передачи и т. д.

По опытамъ, произведеннымъ на желѣзныхъ дорогахъ, и по даннымъ Московскаго трамвая этотъ коэффициентъ нерѣдко падаетъ до 0,5 и даже ниже.

Примемъ его для ниже приводимыхъ расчетовъ равнымъ 0,6.
2) Сверхъ того съ износомъ колодокъ увеличивается ходъ поршня тормазнаго цилиндра и понижается давленіе. Такъ, величины давленія въ тормазныхъ цилиндрахъ при различныхъ ходахъ поршня при нормальномъ давленіи въ воздухопроводѣ и при быстромъ тормажениі желѣзнодорожныхъ вагоновъ автоматическимъ однокамернымъ тормазомъ приведены въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Т а б л и ц а XXIV.

Ходъ поршня въ дюймахъ. . .	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Давленіе въ фунт. на квадр. дюймъ. . .	67.5	65.5	64	62.5	61	59	57.5	57	54.5	52	51

Изъ этой таблицы видимъ, что давленіе въ тормазномъ цилиндрѣ автоматическаго воздушнаго тормазы въ зависимости отъ хода поршня мѣняется въ значительныхъ предѣлахъ. Пропорціонально же давленію воздуха въ тормазномъ цилиндрѣ измѣняется и нажатіе колодокъ. Если предположить, что расчетъ тормазной передачи произведенъ при ходѣ поршня въ 6", то при увеличеніи хода до 12 дюймовъ, давленіе въ тормазномъ цилиндрѣ падаетъ приблизительно на 12%, а потому въ томъ же отношеніи измѣнится и нажатіе колодокъ. Такъ какъ къ концу дневнаго движенія колодки замѣтно изнашиваются и могутъ имѣть мѣсто, какъ увидимъ ниже, и другія явленія, вліяющія на удаленіе колодокъ отъ бандажей, то ходъ поршня тормазнаго цилиндра можетъ получиться близкій къ 12", и принимая во вниманіе съ другой стороны, что на регулировку тормазовъ прицѣпныхъ вагоновъ обращается меньше вниманія, чѣмъ моторныхъ, то всегда могутъ имѣть мѣсто въ эксплуатаціи указанные случаи состоянія тормазной системы, т. е. уменьшеніе нажатія колодокъ отъ увеличенія хода поршня. Поэтому при разсмотрѣннн вопроса объ автоматическомъ тормажениі необходимо это обстоятельство имѣть въ виду.

Допустимъ, что давленіе въ тормазномъ цилиндрѣ, съ увеличеніемъ хода поршня, падаетъ только на 10%.

Принимая выше указанные случаи состоянія тормазной передачи, дѣйствительный коэффициентъ нажатія колодокъ получается

$$0,6 \cdot 0,8 \cdot 0,9 = 0,43.$$

Уклоны равновѣсія затормаженныхъ вагоновъ, на которыхъ вагонъ до нажатія колодокъ не приобрѣлъ еще скорости двигаться назадъ при только что указанномъ нажатіи колодокъ понижаются въ сравненіи съ выше найденными, а именно:

I. $F_1=250$ kg.

- 1) при $\frac{R}{P}=0,50; \sin \alpha_1 \leq 0,072;$
- 2) $\frac{R}{P}=0,75; \sin \alpha_2 \leq 0,061;$
- 3) $\frac{R}{P}=1,00; \sin \alpha_3 \leq 0,054.$

II. $F_1=225$ kg.

- 1) при $\frac{R}{P}=0,50; \sin \alpha_1 \leq 0,060;$
- 2) $\frac{R}{P}=0,75; \sin \alpha_2 \leq 0,056;$
- 3) $\frac{R}{P}=1,00; \sin \alpha_3 \leq 0,048.$

Слѣдуетъ здѣсь отмѣтить, что, чтобы сдвинуть затормаженный вагонъ съ мѣста, необходимо приложить еще нѣкоторую добавочную силу на преодоленіе инерціи покоя и потому опредѣленные уклоны въ послѣднемъ случаѣ слѣдуетъ считать лишь приблизительными.

Если до начала тормаженія оторвавшійся прицепной вагонъ получилъ уже скорость двигаться назадъ, то уклоны, на которыхъ вагонъ можетъ быть затормажень на протяженіи 10 метровъ при выше указанныхъ предположеніяхъ, получаются еще меньше найденныхъ выше, а именно:

Т а б л и ц а XXV.

$\frac{R}{P}$	I случай.	II случай.
	$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 1 \right) \text{сек.}$	$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 2 \right) \text{сек.}$
	$\sin \alpha.$	$\sin \alpha_1.$
0.50	0.0565	0.0495
0.75	0.0495	0.0440
1.00	0.0440	0.0395

Такимъ образомъ наибольшій уклонъ, на которомъ прицепной вагонъ можетъ быть затормажень при указанномъ нажатіи колодокъ

на протяжении 10 метровъ воздушнымъ тормазомъ въ случаяхъ разрыва поѣзда, долженъ быть не больше слѣдующихъ величинъ:

И с л у ч а й.

$$1) \frac{R}{P} = 0,50; \sin\alpha \leq 0,0565;$$

$$2) \frac{R}{P} = 0,75; \sin\alpha \leq 0,0495;$$

$$3) \frac{R}{P} = 1,00; \sin\alpha \leq 0,0440;$$

И с л у ч а й.

$$1) \frac{R}{P} = 0,50; \sin\alpha \leq 0,0495;$$

$$2) \frac{R}{P} = 0,75; \sin\alpha \leq 0,0440;$$

$$3) \frac{R}{P} = 1,00; \sin\alpha \leq 0,0395.$$

Но къ выше приведенному слѣдуетъ прибавить, что въ послѣднихъ случаяхъ движенія были учтены далеко не все обстоятельства, могущія понизить тормажение прицепнаго вагона воздушнымъ тормазомъ при разрывѣ поѣзда.

1) Во многихъ случаяхъ весьма вѣроятно уменьшеніе давленія воздуха въ тормазномъ цилиндрѣ вслѣдствіе утечки воздуха изъ самого тормазнаго цилиндра чрезъ неплотности его поршня или золотника и поршня тройнаго клапана, запаснаго резервуара или соединительныхъ частей его съ цилиндромъ и т. д.

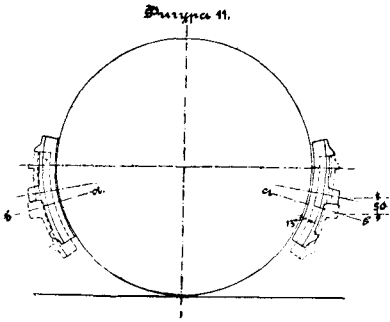
2) Возможно меньшее давленіе сжатого воздуха во всей тормазной системѣ вслѣдствіе ослабленія регуляторныхъ пружинъ или самоотвертыванія регулировочной гайки регулятора и т. д.

3) Коэффициентъ тренія между колодками и бандажами можетъ быть на самомъ дѣлѣ меньше средняго, принятаго въ расчетахъ. Кроме того, онъ зависитъ отъ качества матеріала колодокъ, а въ трамваяхъ колодки употребляются изъ болѣе крѣпкаго матеріала, чѣмъ на магистральныхъ желѣзныхъ дорогахъ, для каковыхъ выше приведенные коэффициенты были опредѣлены Гальтономъ.

4) При разсмотрѣніи столь серьезнаго вопроса, какъ остановка оторвавшихся вагоновъ на уклонахъ, встрѣчающихся въ трамваяхъ, необходимо считаться съ дѣйствительностью, т. е. съ тѣмъ, какого типа и какой конструкціи примѣняются прицепные вагоны въ эксплуатацияхъ трамваевъ.

Безъ большой погрѣшности можно сказать, что прицепные вагоны трамвайныхъ предпріятій въ Россіи, а также и за границей, употребляются самой простой конструкціи, т. е. подвѣска кузововъ производится на плоскихъ или витыхъ рессорахъ безъ посредства особыхъ телѣжекъ и колодки въ такихъ вагонахъ обычно прикрѣпляются непосредственно къ кузову.

Результатомъ такой конструкціи вагоновъ получается, что при наполненіи вагона пассажирами, кузовъ вмѣстѣ съ колодками отъ осадки рессоръ, какъ указано на фиг. 11, опускается книзу и положеніе и ходъ колодокъ при этомъ получаются болѣе невыгодные, чѣмъ при порожнемъ вагонѣ, т. е. ходъ тормазного цилиндра увеличивается и нажатіе колодокъ получается меньше расчетнаго.



Примѣчаніе. На эскизѣ колодки въ нижнемъ положеніи повернуты концентрично къ колесу на среднемъ разстояніи ихъ отъ бандажа, измѣренномъ по оси колодки *a—в.*

Такъ какъ съ другой стороны опасность разрыва поѣзда больше при наполненныхъ вагонахъ, чѣмъ при порожнихъ, то при разсмотрѣннй вопроса объ автоматическомъ тормаженіи оторвавшихся вагоновъ нельзя не принять во вниманіе и послѣднее обстоятельство.

5) Въ часы усиленнаго движенія многими трамваями допускается перегрузка вагона, а потому полезная нагрузка прицепнаго вагона на нѣкоторыхъ трамваяхъ можетъ достигнуть большей величины, чѣмъ это принято въ послѣднихъ примѣрахъ и т. д.

Такъ какъ трактуемый нами вопросъ касается общественной безопасности, то при разсмотрѣннй его въ связи съ вопросомъ о пригодности автоматическаго тормаженія существующими системами воздушныхъ тормазовъ, въ случаяхъ разрывовъ поѣздовъ въ условіяхъ трамвайнаго движенія, необходимо серьезно взвѣснить и выше указанная обстоятельства.

XII. Коэффициентъ нажатія колодокъ автоматическаго тормазна на случай отрыва прицепаго вагона на подъемѣ.

Въ приведенныхъ выше вычисленіяхъ уклоны, на которыхъ возможно удержаніе оторвавшихся прицепаго вагоновъ автоматическимъ воздушнымъ тормазомъ, опредѣлялись въ предположеніи эксплуатационнаго нажатія колодокъ.

Но чтобы получить полную увѣренность автоматическаго затормаживанія прицепаго вагоновъ на случай ихъ отрыва при возможныхъ условіяхъ трамвайнаго движенія, необходимо нажатіе колодокъ на этотъ случай соотвѣтственно повысить. Понятно, что для каждаго отдѣльнаго трамвая этотъ коэффициентъ нажатія колодокъ долженъ быть различенъ, такъ какъ онъ, какъ мы видѣли, зависитъ отъ мѣстныхъ

Для наглядности на фиг. 11 показано пунктиромъ положеніе колодокъ при осадкѣ кузова на 50 мм.; при этомъ среднее разстояніе колодокъ отъ бандажа увеличивается приблизительно на 13 мм., т. е. при коэффициентѣ гормазной передачи въ 6, ходъ поршня тормазного цилиндра увеличивается приблизительно на 3 дюйма.

Такъ какъ съ другой стороны опасность разрыва поѣзда больше при наполненныхъ вагонахъ, чѣмъ при порожнихъ, то при разсмотрѣннй вопроса объ автоматическомъ тормаженіи оторвавшихся вагоновъ нельзя не принять во вниманіе и послѣднее обстоятельство.

условій, т. е. отъ тары прицѣпныхъ вагоновъ, ихъ емкости, уклоновъ эксплуатационныхъ линій и проч.

Формулой для опредѣленія коэффициента нажатія колодокъ на случай разрыва поѣзда можетъ служить уравненіе (22) или (25) динамическаго состоянія вагона, при чемъ членъ его $\frac{Mv^2}{2}$ для каждой системы автоматическаго тормаза при данномъ вѣсѣ вагона различенъ, такъ какъ онъ зависитъ отъ скорости v , которую вагонъ приобретаетъ послѣ разрыва поѣзда до момента нажатія колодокъ, т. е. отъ быстроты приведенія въ дѣйствіе автоматическаго тормаза.

Путь, на которомъ разошедшійся прицѣпной вагонъ долженъ быть остановленъ, произвольный; и понятно, чѣмъ онъ меньше, тѣмъ больше обезпечивается безопасность движенія.

Примемъ его въ дальнѣйшемъ равнымъ 10 метрамъ, т. е. нажатіе колодокъ на случай обрыва поѣзда должно быть таково, чтобы оторвавшійся прицѣпной вагонъ на наибольшихъ уклонахъ, допускаемыхъ въ эксплуатациіи даннаго трамвая, былъ затормажень на протяженіи 10 метровъ.

Исходя изъ этихъ предположеній, опредѣляемъ, пользуясь уравненіемъ (25), требуемые коэффициенты нажатія колодокъ для соответственныхъ уклоновъ при указанныхъ условіяхъ движенія:

Т а б л и ц а XXVI.

I случай.				II случай.		
k^1 при $t = \left(\sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 1 \right)$ сек.				k^1 при $t = \left(\sqrt{\frac{2 \Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 2 \right)$ сек.		
$\sin \alpha$	$\frac{R}{P} = 0,5$.	$\frac{R}{P} = 0,75$.	$\frac{R}{P} = 1,00$.	$\frac{R}{P} = 0,5$.	$\frac{R}{P} = 0,75$.	$\frac{R}{P} = 1,00$.
1	2	3	4	5	6	7
0.10	0.85	1.02	1.17	1.15	1.34	1.53
0.08	0.653	0.767	0.881	0.834	0.975	1.117
0.06	0.46	0.542	0.62	0.56	0.66	0.75

Изъ полученныхъ результатовъ можно придти къ слѣдующему выводу.

Чтобы груженный вагонъ послѣ разрыва поѣзда автоматически затормазился воздушнымъ тормазомъ на протяженіи 10 метровъ и на высшихъ уклонахъ, допускаемыхъ въ эксплуатацияхъ трамваевъ, нажатіе колодокъ должно быть больше эксплуатационнаго, при чемъ, чѣмъ больше уклонъ, на которомъ предположенъ разрывъ поѣзда и чѣмъ больше отношеніе нагрузки къ собственному вѣсу вагона, тѣмъ больше должно быть и нажатіе колодокъ.

Если поставить условиемъ, чтобы вагонъ затормазился на протяженіи 10 метровъ и въ томъ случаѣ, когда ходъ поршня тормазного цилиндра близокъ къ 10" и коэффициентъ полезнаго дѣйствія тормазной передачи при этомъ понижается на 10%, то выше найденные коэффициенты нажатія колодокъ соответственно увеличатся, и значенія ихъ получатся согласно ниже приведенной таблицы:

Т а б л и ц а XXVII.

<i>sin a.</i>	I случай.			II случай.		
	$\frac{R}{P} = 0,5.$	$\frac{R}{P} = 0,75.$	$\frac{R}{P} = 1,00.$	$\frac{R}{P} = 0,5.$	$\frac{R}{P} = 0,75.$	$\frac{R}{P} = 1,00.$
0.10	1.05	1.26	1.44	1.41	1.65	1.89
0.08	0.805	0.95	1.09	1.03	1.20	1.39
0.06	0.57	0.67	0.77	0.70	0.81	0.93

Если же конструкція автоматической тормазной системы такова, что тормажение происходитъ одновременно съ удаленіемъ разорвавшихся частей поѣзда на разстояніе приблизительно 0,75 метровъ, то формула (25) приметъ слѣдующій видъ:

$$k^1 \cdot F_1 \cdot 10 = \left(54 + 51 \frac{R}{P} \right) \left(9,81 \sin a \sqrt{\frac{1,5}{9,81 \sin a + 0,1}} \right)^2 + 10000 \left(1 + \frac{R}{P} \right) \sin a - 50. \quad (26)$$

Откуда

$$k^1 = \frac{\left(54 + 51 \frac{R}{P} \right) \left(9,81 \sin a \sqrt{\frac{1,5}{9,81 \sin a + 0,1}} \right)^2 + 10000 \left(1 + \frac{R}{P} \right) \sin a - 50}{10 \cdot F_1}$$

Коэффициенты нажатія тормазной передачи, необходимые для того, чтобы груженный прицепной вагонъ остановился послѣ разрыва на протяженіи 10 метровъ на соответственныхъ уклонахъ, будутъ слѣдующіе:

Т а б л и ц а XXVIII.

<i>sin a.</i>	$\frac{R}{P} = 0,5.$	$\frac{R}{P} = 0,75.$	$\frac{R}{P} = 1,00.$
0.10	0.685	0.80	0.92
0.08	0.536	0.63	0.72
0.06	0.390	0.46	0.53

Последніе результаты показываютъ, что съ уменьшеніемъ послѣ разрыва живой силы вагона уменьшается и нажатіе колодокъ, потребное для остановки вагона на протяженіи 10 метровъ. При этомъ, однако, слѣдуетъ имѣть въ виду, что для полученія предположеннаго эффекта тормажения послѣ разрыва поѣзда и въ тѣхъ случаяхъ, когда коэффициентъ полезнаго дѣйствія тормазной передачи падаетъ, выше опредѣленныя нажатія колодокъ слѣдуетъ нѣсколько увеличить.

Не лишенымъ интереса является опредѣленіе коэффициента сцепленія, которое получается во время тормажения послѣ разрыва поѣзда при выше опредѣленныхъ нажатіяхъ колодокъ, по табл. XXVIII. Для этой цѣли рассмотримъ невыгодный случай автоматическаго тормажения на уклонѣ $\sin \alpha = 0,1$ и при

$$\frac{R}{P} = 0,1; \quad \frac{R}{P} = 0,75; \quad \frac{R}{P} = 0,5.$$

и для всѣхъ этихъ случаевъ когда $\frac{R}{P} = 0$

Сила сцепленія $F_2 = k^1 \cdot F_1$ для каждой данной нагрузки опредѣляется изъ уравненія (26). Итакъ для случая

$$\frac{R}{P} = 1,00 \text{ и } \sin \alpha = 0,1$$

имѣемъ:

$$k^1 \cdot F_1 = \frac{54 + 51}{10} \left(0,981 \sqrt{\frac{1 \cdot 5}{1,081}} \right)^2 + 200 - 5 \cdot 208 \text{ kg.}$$

Но на тонну нажатія колодокъ приходится въ данномъ случаѣ, кромѣ тонны собственнаго вѣса вагона, еще одна тонна нагрузки; и такимъ образомъ сила сцепленія $F_2 = 208$ клг. распределяется на двѣ тонны вѣса вагона, т. е. коэффициентъ сцепленія получается:

$$f_2 = \frac{208}{2000 \cdot \cos \alpha} = \frac{208}{1900} \approx 0,105$$

Итакъ въ случаѣ отрыва вагона на уклонѣ $= 0,1$, наполненнаго грузомъ, равнымъ собственному вѣсу его, коэффициентъ сцепленія при автоматическомъ тормажении оторвавшагося вагона получается равнымъ 0,105, т. е. нѣсколько превосходящимъ ($\sin \alpha = 0,1$) уклонъ, на которомъ былъ предположенъ разрывъ.

Если разрывъ произойдетъ, когда въ вагонѣ не будетъ ни одного пассажира, то коэффициентъ сцепленія получится:

$$f_2' = \frac{208}{1000 \cos \alpha} \approx 0,209$$

По мѣрѣ же увеличенія нагрузки коэффициентъ сцепленія будетъ падать и достигнетъ наименьшей своей величины (0,105) при нормальной нагрузкѣ вагона, для каковой и произведенъ расчетъ нажатія колодокъ.

Правда, коэффициентъ сцепленія 0,209 для катящаго тренія является близкимъ къ предѣльному, допускаемому въ эксплуатацияхъ

трамваевъ и величину его можно было бы нѣсколько понизить, мирясь съ большимъ тормазнымъ путемъ, въ случаѣ автоматическаго тормаженія груженаго вагона, но уменьшить его значеніе ниже 0,20 не представляется возможнымъ, такъ какъ съ такимъ нажатіемъ колодокъ оторвавшійся на уклонѣ $=0,1$ вагонъ съ грузомъ, равнымъ собственному его вѣсу уже не затормозится, что легко можно усмотрѣть изъ уравненія (20), а именно при $F_2' = 195$ клг. получимъ:

$$195 \cdot S = 106 \cdot 1,15^2 + 200 S - 5 \cdot S$$

или:
$$S = \frac{106 \cdot 1,15^2}{0} = \infty$$

2) При $\frac{R}{P} = 0,75$ аналогично предыдущему, получаемъ $F_2 = 182$ клг.

Коэффициентъ сцѣпленія для груженаго вагона:

$$f_2' = \frac{182}{1750 \cdot \text{cs}\alpha} \approx 0,105$$

Коэффициентъ сцѣпленія для порожняго вагона:

$$f_2'' = \frac{182}{1000 \cdot \text{cs}\alpha} \approx 0,182$$

3) Для случая $\frac{R}{P} = 0,5$ получаемъ: $F_2 = 156$ клг., а коэффициентъ

сцѣпленія для наполненнаго вагона:

$$f_2' = \frac{156}{1500 \cdot \text{cs}\alpha} \approx 0,104$$

Коэффициентъ сцѣпленія порожняго вагона:

$$f_2'' = \frac{156}{1000 \cdot \text{cs}\alpha} \approx 0,156$$

Изъ приведенныхъ результатовъ подсчета слѣдуетъ:

1) Во всѣхъ трехъ случаяхъ нормальнаго наполненія вагона, при автоматическомъ тормаженіи послѣ разрыва на уклонѣ 0,10, коэффициентъ сцѣпленія получается около 0,104—0,105, т. е. очень близкимъ къ величинѣ уклона. По мѣрѣ уменьшенія нагрузки, коэффициентъ сцѣпленія увеличивается и достигаетъ своей максимальной величины при порожнихъ вагонахъ, при чемъ, чѣмъ больше емкость вагона или отношеніе нагрузки къ собственному вѣсу вагона, тѣмъ болѣе получается во время тормаженія коэффициентъ сцѣпленія для порожнихъ вагоновъ.

Итакъ, выше приведенные соображенія и подсчеты приводятъ къ слѣдующимъ заключеніямъ объ автоматическомъ тормаженіи прицѣпныхъ вагоновъ на случай ихъ отрыва отъ моторныхъ при движеніи по подъемахъ городскихъ желѣзныхъ дорогъ:

1) Безопасное примѣненіе воздушнаго тормазы, какъ автоматически затормаживающаго оторвавшійся вагонъ на подъемахъ, встрѣчающихся на городскихъ желѣзныхъ дорогахъ, допустимо только на

небольшихъ уклонахъ; и чѣмъ больше отношеніе допускаемой полезной нагрузки къ собственному вѣсу вагона, тѣмъ меньше долженъ быть уклонъ, на которомъ можетъ быть допущенъ воздушный тормазъ, какъ автоматически затормаживающій на случай разрыва поѣзда.

2. Нажатіе колодокъ на случай разрыва поѣзда должно быть болѣе эксплуатаціоннаго, чтобы имѣть увѣренность, что оторвавшійся прицепной вагонъ можетъ быть надлежаще затормажень и на высшихъ уклонахъ, встрѣчающихся въ эксплуатаціяхъ гор. жел. дорогъ; и чѣмъ большіе въ эксплуатаціи даннаго трамвая имѣются уклоны и чѣмъ больше отношеніе полезной нагрузки къ собственному вѣсу прицепнаго вагона, тѣмъ больше должно отлаться нажатіе колодокъ, при тормаженіи на случай разрыва, отъ эксплуатаціоннаго.

ИСПРАВЛЕНИЯ.

Напечатано:

Слѣдуетъ читать:

Въ заголовкѣ доклада:
Къ вопросу о торможеніи

Къ вопросу о тормаженіи

Стр. 3.

Строка 8 сверху:
вагоновъ,
Строка 14 снизу:
тормозящее усиліе вращенія колесъ;
Строка 11 снизу:
уменьшенія ихъ скорости вращенія.

вагона,
усиліе, тормозящее вращеніе колесъ;
уменьшенія скорости вращенія послѣд-
нихъ.

Строка 5 и 4 снизу:
Но первое вызывается тѣмъ или дру-
гимъ нажатіемъ колодокъ на колеса. }

Всю фразу слѣдуетъ выпустить.

Стр. 4.

Строка 12 и 13 сверху:
необходимо затратить

необходимо приложить

Стр. 5.

Строка 3 снизу:
не полностью можетъ

полностью не можетъ

Стр. 6.

Строка 7 сверху:
, а болѣе сложное, и
Строка 11 сверху:
движенія, формулъ.
Строка 6 снизу:
Замедленіе тормажения,

, а болѣе сложное и
движенія формулъ.
Замедленіе движенія

Стр. 7.

Строка 5 снизу:
Такимъ образомъ допускаемое
Строка 3 снизу:
для скоростей
Строка 22 сверху:
 $F_2=108.5=$

Полученное
для скорости
 $F_2=108.1,5=$

Стр. 11 и 12.

Таблицы IV, V, VI и VII:
Катящее треніе или оцѣпленіе въ кгр.
на тонну вѣса вагона.

Сцѣпленіе въ кгр. на тонну вѣса вагона.

Стр. 13.

Таблица IX:
Родъ моторнаго вагона.
Родъ приципнаго вагона.
Состояніе рельсъ.
Тормазной путь въ метрахъ при скоро-
сти.
Замедленіе въ метрахъ въ секунду² при
скорости.

Типъ моторнаго вагона.
Типъ приципнаго вагона.
Состояніе рельсовъ.
Тормазной путь въ метрахъ при ско-
рости:
Замедленіе въ метрахъ въ секунду² при
скорости:

Стр. 14.

Таблица X:

Катящее трение или сцепление въ кгр. на тонну вѣса вагона. Сцепление въ кгр. на тонну вѣса вагона.

Стр. 16.

Таблица XII:

Сила сцепления въ кгр. на тонну вѣса вагона. Сцепление въ кгр. на тонну вѣса вагона.

Строка 7 снизу:

понимать, какъ

понимать какъ

Строка 4 снизу:
замедлений

замедлений

Стр. 20.

Строка 14 снизу.
3) Предѣльное катящее трение

3) Предѣльное сцепление

Строка 12 снизу:
большаго коэффициента сцепления, или
большаго

большаго коэффициента сцепления, или
большаго

Стр. 21.

Строка 17 сверху:
меньше,

меньше;

Строка 20 снизу:
(стр. 18),

(стр. 20),

Стр. 22.

Диаграмма А:

Дорога пройденная вагономъ отъ тревожнаго сигнала до совершеннаго задержанія.

Путь, пройденный вагономъ отъ подачи сигнала до полной остановки.

Стр. 23.

Строка 11 сверху:
служить ниже приводимыя кривыя

Служить кривыя

Строка 3 снизу:
Galton'омъ

Galton'омъ

Стр. 26.

Строка 4 и 3 снизу.
Колесами разныхъ скоростей.

колесами при разныхъ скоростяхъ.

Стр. 27.

Строка 5 снизу:

$$r_1 = 0,25 \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,05 V}$$

$$r_1' = 0,25 \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,06 V}$$

Стр. 30.

Строка 15 сверху:

$$\frac{P. q. 1000}{2 q}$$

$$\frac{P. q. 1000}{2 g}$$

Строка 8 внизу:

$$S = A \int_0^v v. d. v. e^{-\frac{v}{25}} = \int_0^v v. v. e^{-\frac{v}{25}} (v - 25) =$$

$$S = A \int_0^v v. dv. e^{-\frac{v}{25}} = A \int_0^v v. v. e^{-\frac{v}{25}} (v - 25) =$$

Строка 1 снизу:

$$F_1' = 290 e^{-\frac{v}{25}}$$

$$F_1' = 290 e^{-\frac{v}{25}}$$

Стр. 33.

Строка 11 сверху:
трения f_1 ср.

трения f_1 , ср.

Стр. 34.

Строка 12 снизу:
то согласно ур-я

То на основаніи ур-я

Строка 16 сверху:

Съ силой равной

съ силой, равной

Строка 17 сверху:

вѣса вагона или

вѣса вагона, или

Строка 14 снизу:

при одной и той же

для одной и той же

Строка 6 снизу;

сцѣпленія, равной

сцѣпленія равной

Стр. 37.

Строка 6 снизу:

тормазъ, съ постояннымъ нажатіемъ ко-
лодокъ,

тормазъ съ постояннымъ нажатіемъ ко-
лодокъ

Стр. 38.

Строка 11 снизу:

на новѣйшихъ данныхъ,

на нѣкоторыхъ новѣйшихъ данныхъ,

Стр. 39.

Строка 21 снизу:

При очень мокрыхъ

При совершенно мокрыхъ

Стр. 40.

Строка 1 сверху:

среднія значенія

нисшія значенія

Стр. 41.

Строка 20 сверху:

могли бы

могли

Строка 22 сверху:

раціональность устройства

раціональное устройство

Строка 13 снизу:

трение каченія

каченіе

Строка 11 снизу:

коэффициента тренія

коэффициента сцѣпленія

При каченіи и

При каченіи во время тормаженія и

Стр. 42.

Строка 11 сверху:

i —уклонъ пути

i —уклонъ пути,

Строка 9 снизу:

Передъ словами:

«Если тормаженіе вагона производится».

Пропущено слѣдующее:

«Если $i=0$, то ур - ніе (16) получаетъ видъ

$$S = \frac{m v^2}{2.k'.F_1} \dots \dots \dots (16')$$

Стр. 43.

Строка 2 сверху.

на тону

на тонну

Строка 6 и 7 сверху:

Если въ равенствѣ (16') i приравнять нулю и вмѣсто v

Если въ равенство (16') вмѣсто v

Строка 9 и 10 сверху:

то изъ него легко можно получить

то получимъ

Строка 25 сверху:

съ тормазными путями.

съ тормазными путями,

Таблица XXII:

$$S = \frac{m.v^2}{2.K'.F_1} + v \quad (16')$$

$$S = \frac{m.v^2}{2.k'.F_1} + v$$

Стр. 44.

Строка 18 и 17 снизу:
эффектъ тормажения обратно пропорціо-
нально нагрузкѣ вагона, т. е. умень-
шается

эффектъ тормажения уменьшается,

Строка 12 снизу:

$$D_1 = \frac{P}{D} (P + R) = KP + KR =$$

$$D_1 = \frac{P}{D} (P + R) = KP + KR =$$

Строка 2 сверху:

$$\frac{k'.R}{2}$$

Стр. 45.

$$\frac{k.R}{2}$$

Строка 3 сверху:

$$+\frac{k'.R}{2}$$

$$+\frac{k.R}{2}$$

Строка 8 снизу:

одинаковое нажатіе

Стр. 48.

одинаковый коэффициентъ нажатія

Строка 14 сверху:

чрезмѣрно значеніе коэффициента K'

Стр. 49.

чрезмѣрно коэффициентъ k'

Строка 10 снизу:

междугородныхъ

междугородныхъ

Строка 1 сверху:

колодочными

Стр. 50.

колодочными

Строка 9 сверху:

75%

Стр. 52.

50%

Строка 12 сверху:

100%

75%

Строка 15 сверху:

50%

100%

Строка 22 снизу:

вагона оторвавшагося

Стр. 55.

вагона, оторвавшагося

Таблица XXV:

$$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 1 \right) \text{ сек.}$$

Стр. 57

$$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 1 \right) \text{ сек.}$$

$$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 2 \right) \text{ сек.}$$

$$t = \left(\sqrt{\frac{2\Delta}{g \cdot \sin \alpha + 0,1}} + 2 \right) \text{ сек.}$$

Строка 14 сверху:

случаевъ когда

Стр. 62.

случаевъ, когда

Строка 15 сверху:

Сила сѣвления

1) Сила сѣвления

Строка 14 снизу:

очень близкимъ

Стр. 63.

очень близкій

Строка 13 снизу:

По мѣрѣ уменьшения

2) По мѣрѣ уменьшения

Строка 2 снизу:

отличаться

Стр. 64.

отличаться