625.1
Ц29

К. Ю. ЦЕГЛИНСКІЙ.

Профессоръ Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища Вѣдомства Путей Сообщенія.

КУРСЪ ЖЕЛѢЗНЫХЪ ДОРОГЪ.

ТОМЪ I.

Выпускъ I.

Общія свѣдѣнія о желѣзныхъ дорогахъ. Подвижной составъ и условія прохожденія его по рельсовой колеѣ. Проектированіе желѣзнодорожной линіи.

Типо-литографія Т-ва Владиміръ Чичеринъ въ Москвѣ. Марьина роща, с. д.
1913.

Из книг Савьи Андреевича Булгак 2246
625.1
Ц—29.
+9365 03 312
П/К.

К. Ю. ЦЕГЛИНСКІЙ.

Профессоръ Императорскаго Московскаго Инженернаго Училища Вѣдомства Путей Сообщенія.

КУРСЪ ЖЕЛѢЗНЫХЪ ДОРОГЪ.

ТОМЪ I.

Выпускъ I.

Общія свѣдѣнія о желѣзныхъ дорогахъ. Подвижной составъ и условія прохожденія его по рельсовой колеѣ. Проектированіе желѣзнодорожной линіи.

ПРОВЕРЕНО 1967
ГИИТ
БИБЛИОТЕКА
№ 9365
+
46

Типо-литографія Т-ва **Владиміръ Чичеринъ въ Москвѣ**. Марьина роща, с. д.
1913.

Выпуская печатное изданіе моего Курса желѣзныхъ дорогъ, я имѣлъ главнымъ образомъ въ виду облегчить трудъ лицамъ, изучающимъ эту отрасль техники, а въ частности Студентамъ Московскаго Инженернаго Училища, гдѣ я преподаю упомянутый предметъ. Руководство составлено примѣнительно къ той программѣ, по которой ведется въ Инженерномъ Училищѣ преподаваніе Курса желѣзныхъ дорогъ съ добавленіемъ лишь и пополненіемъ нѣкоторыхъ отдѣловъ, имѣя въ виду предстоящее расширеніе и преобразованіе Инженернаго Училища. Соотвѣтственно съ намѣченною цѣлью, въ настоящемъ изложеніи обращено главное вниманіе на тѣ основныя начала, надлежащее усвоеніе коихъ необходимо для правильнаго рѣшенія вопросовъ, входящихъ въ составъ Курса желѣзныхъ дорогъ; что же касается практическихъ примѣровъ и данныхъ, то таковые приведены лишь въ количествѣ необходимомъ для лучшаго выясненія соотвѣтственныхъ вопросовъ, а также для руководства молодымъ инженерамъ на первыхъ порахъ практической ихъ дѣятельности.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ОТДѢЛЪ I.

Общія свѣдѣнія о желѣзныхъ дорогахъ. Подвижной составъ и условія прохожденія его по рельсовой колеѣ.

ГЛАВА I.

Историческій очеркъ развитія и значеніе желѣзныхъ дорогъ. Классификація желѣзныхъ дорогъ.

Стр.

1. Первые рельсовые пути 1
2. Примѣненіе паровозной тяги 4
3. Распространеніе и улучшеніе желѣзныхъ дорогъ 6
4. Примѣненіе электрической тяги для желѣзнодорожнаго движенія 11
5. Значеніе желѣзныхъ дорогъ 14
6. Классификація желѣзныхъ дорогъ 21

ГЛАВА II.

Общія свѣдѣнія о подвижномъ составѣ.

7. Типы подвижного состава 26
8. Колеса и оси 39
9. Рамы и приспособленія для передачи давленія на оси 43
10. Тяговые и ударные приборы 53
11. Тормаза 56

ГЛАВА III.

Взаимодѣйствія между рельсами и колесами подвижного состава.

12. Движеніе вагоновъ и паровозовъ въ прямыхъ частяхъ пути 64
13. Расположеніе и перемѣщенія экипажа въ кривыхъ частяхъ пути 68
14. Реакціи рельсовъ въ кривыхъ 77
15. Вліяніе силъ тяги, центробѣжной и центростремительной на условія криволинейнаго движенія 91

ГЛАВА IV.

Сопротивленіе поѣздовъ движенію и сила тяги паровоза.

Стр.

16. Сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути 101
17. Дополнительное сопротивленіе при движеніи по кривымъ 105
18. Дополнительныя сопротивленія отъ подъема и ускоренія 110
19. Сила тяги и мощность паровоза 112
20. Расчетъ состава и скорости движенія поѣзда 117
21. Тормаженіе 120

ГЛАВА V.

Мѣры, принимаемыя съ цѣлью облегчить движеніе поѣздовъ въ кривыхъ частяхъ пути.

22. Мѣры, принимаемыя при конструкціи подвижного состава 128
23. Переходныя кривыя 130
24. Уширеніе колеи въ кривыхъ 145
25. Возвышеніе наружнаго рельса въ кривыхъ 149
Литература 153

ОТДѢЛЪ II.

Проектированіе желѣзнодорожной линіи.

ГЛАВА VI.

Коммерческія и техническія изысканія.

26. Размѣры движенія и выгодность сооруженія желѣзной дороги 155
27. Направленіе желѣзнодорожной линіи въ зависимости отъ коммерческ. соображеній 160
28. Производство техническихъ изысканій. Рекогносцировки и подробныя изысканія 165
29. Особыя условія и требованія, вліяющія на проектировку желѣзнодорожной линіи. Проведеніе дороги черезъ горные хребты; пересѣченіе рѣкъ, рельсовыхъ путей и шоссейныхъ дорогъ; расположеніе станцій 172
30. Составленіе плана и продольнаго профиля проектируемой линіи 181

ГЛАВА VII.

Техническія условія проектированія желѣзныхъ дорогъ.

31. Выборъ уклоновъ и кривыхъ. Предѣльный, фиктивный и расчетный подъемъ. Безвредные и вредные уклоны. Потерянный уклонъ 184
32. Виртуальный профиль. Эквивалентный подъемъ 191
33. Техническія условія проектированія магистральныхъ линій 196
34. Техническія условія проектированія подъѣздныхъ путей 200

ГЛАВА VIII.

Расчетъ отверстій искусственныхъ сооруженій.

35. Опредѣленіе скорости теченія и расхода воды 202
36. Мосты малыхъ отверстій 210

Стр.

37. Каменныя трубы 213
38. Чугунныя трубы 216
39. Мосты большихъ отверстій 219

ГЛАВА IX.

Виртуальная длина. Пропускная и провозная способность дороги.

40. Виртуальная длина 224
41. Опредѣленіе разстояній между станціями по пропускной способности дороги . . 230
42. Разстояніе между пунктами водоснабженія 240
43. Расположеніе паровозныхъ депо 243
44. Опредѣленіе количества подвижного состава по провозной способности дороги . 245

ГЛАВА X.

Расходы по сооруженію и эксплоатаціи желѣзной дороги.

45. Составъ проекта и расцѣночной вѣдомости по сооруженію дороги 247
46. Эксплоатаціонная смѣта, измѣрители эксплоатаціонныхъ расходовъ и коэффиціентъ эксплоатаціи 249
47. Распредѣленіе эксплоатаціонныхъ расходовъ въ связи съ профилемъ пути и размѣрами движенія 251
48. Зависимость эксплоатаціонныхъ расходовъ отъ профиля и плана линіи 254
49. Сравненіе варіантовъ 256
Литература 258

ОТДѢЛЪ I.

Общія свѣдѣнія о желѣзныхъ дорогахъ. Подвижной составъ и условія прохожденія его по рельсовой колеѣ.

ГЛАВА I.

Историческій очеркъ развитія и значеніе желѣзныхъ дорогъ. Классификація желѣзныхъ дорогъ.

1. **Первые рельсовые пути.** Идея усовершенствовать пути сообщенія, устраивая для колесъ повозокъ особыя направляющія, по которымъ они могли бы катиться съ меньшимъ, чѣмъ по обыкновеннымъ дорогамъ, треніемъ, а слѣдовательно и съ меньшимъ сопротивленіемъ движенію, явилась въ Англіи еще въ 17-омъ столѣтіи. Правда, придуманный тогда новый типъ дороги лишь только послѣ постепеннаго развитія въ теченіе 200 лѣтъ, принялъ тотъ видъ, съ которымъ связано имя Stephenson'a и современное понятіе о желѣзной дорогѣ, но тѣмъ не менѣе опыты эти слѣдуетъ считать первой страницей въ исторіи желѣзнодорожнаго дѣла.

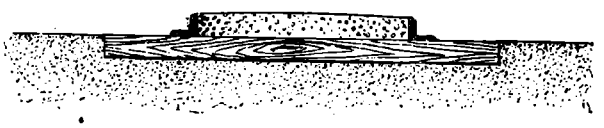
Стремленіе улучшить пути въ отношеніи сопротивленія движенію, какъ вообще большинство техническихъ изобрѣтеній, возникло подъ вліяніемъ экономическихъ соображеній; практическіе результаты впервые были достигнуты въ 1630 году при устройствѣ дороги въ угольныхъ копяхъ Newcastle—upon—Tyne, съ цѣлью удешевить доставку угля отъ мѣста добычи до мѣста погрузки на корабли. Проложенный для этого путь, по проекту Beaumont, состоялъ изъ двухъ деревянныхъ брусьевъ, прикрѣпленныхъ къ деревяннымъ поперечинамъ, расположеннымъ съ промежутками въ 2 фута. По этому пути двигались помощью лошадиной тяги обыкновенныя повозки, примѣняемыя въ то время для перевозки угля; въ связи съ послѣднимъ обстоятельствомъ была выбрана ширина колеи въ 5 футовъ, а промежутки между брусьями засыпались щебнемъ и гравіемъ. По такому пути лошадь могла везти въ четыре раза больше груза, чѣмъ по обыкновеннымъ дорогамъ того времени.

Такъ какъ брусья быстро изнашивались, то для защиты стали пришивать сверху къ нимъ сначала деревянныя доски, а потомъ желѣзныя полосы, что въ свою очередь привело къ замѣнѣ у подводъ деревянныхъ колесъ чугунными. Однако эти желѣзныя полосы оказались непрактичными: особенную трудность представляло прикрѣпленіе къ брусьямъ, ибо, вслѣдствіе сравнительно незначительной толщины полосъ, концы ихъ имѣли стремленіе подниматься, что даже снискало имъ прозваніе змѣиныхъ головъ.

Первый путь, гдѣ деревянные брусья были замѣнены чугунными рельсами съ закраинами для направленія колесъ, былъ уложенъ Reynolds'омъ для потребностей желѣзодѣлательнаго завода Colebrookdale въ 1767 году (чер. 1). Рельсъ имѣлъ форму угольника съ горизонтальною полкою въ 4″ и вертикальною—въ 3″; длина его была 3 фута, а прикрѣпленіе къ деревяннымъ поперечинамъ достигалось помощью костылей, проходящихъ черезъ отверстія, имѣвшіяся по концамъ рельса въ горизонтальной полкѣ; вертикальная полка служила направляющей для движенія колесъ. Впослѣдствіи, въ виду частой поломки рельсовъ, для усиленія послѣднихъ была прибавлена вторая вертикальная полка, обращенная внизъ и сходящая на нѣтъ по концамъ рельсовъ; кромѣ того, для уменьшенія давленія колесъ, большія подводы были замѣнены нѣсколькими меньшими, сцѣпленными вмѣстѣ.

Путь съ реборчатыми рельсами давалъ возможность прохожденія обыкновеннымъ повозкамъ, но существенный недостатокъ его состоялъ въ трудности держать въ чистотѣ плоскость катанія колесъ; попадающіе на нее камни часто бывали причиною сильныхъ толчковъ, вредно дѣйствовавшихъ какъ на путь, такъ и на повозки. Поэтому весьма существеннымъ улучше-

Чер. 1.



1 : 50 Путь Reynolds'a

ніемъ было перенесеніе направляющей движеніе реборды отъ рельса къ колесу. По этому принципу впервые построилъ путь William Jessop для копей въ Loughborough въ 1789 году; вмѣстѣ съ симъ было положено начало особому желѣзнодорожному подвижному составу.

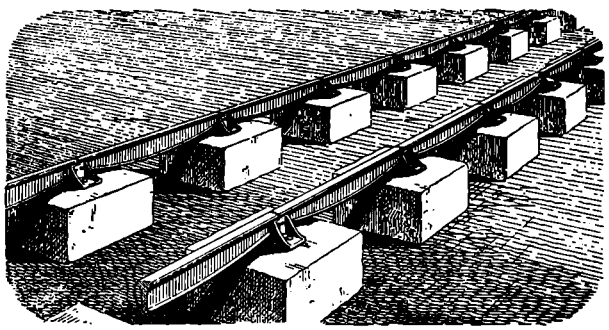
Чугунные рельсы Jessop'a, длиною 3 фута, имѣли эллиптическое очертаніе нижней грани, такъ что высота рельса посрединѣ была больше, чѣмъ по краямъ; ширина головки, принятая первоначально въ $1\frac{1}{4}$″, была вскорѣ доведена до $1\frac{3}{4}$″ съ цѣлью уменьшить изнашиваніе колесъ; рельсы опирались на деревянныя поперечины въ стыкахъ, а для закрѣпленія по концамъ рельсовъ были сдѣланы приливы, сквозь отверстія коихъ проходили костыли, прикрѣпляющіе рельсы къ поперечинамъ.

Частое отламываніе приливовъ, вслѣдствіе чего рельсъ дѣлался совсѣмъ негоднымъ, дало поводъ къ новому значительному улучшенію пути; опора была отдѣлена отъ рельса и устроена въ видѣ самостоятельной подушки; закрѣпленіе рельсовъ достигалось желѣзными штифтами, проходящими черезъ соотвѣтственныя отверстія въ рельсахъ и подушкахъ, которыя, въ свою очередь, укрѣплялись неподвижно на деревянныхъ поперечинахъ или отдѣльныхъ камняхъ; въ послѣднемъ случаѣ поперечной связи между обоими рельсами пути не было. (Чер. 2).

По этому типу много дорогъ построилъ Outram въ концѣ 18-го и въ началѣ 19-го столѣтія; онѣ были извѣстны подъ названіемъ outram-way, или сокращенно tramway, откуда и происходитъ современное слово трамвай.

Однако всѣ старанія упрочить чугунный рельсъ, приданіемъ ему надлежащей формы, остались безъ успѣха; частыя поломки заставили обратиться къ желѣзу, что, вслѣдствіе несовершенства способовъ обработки, какіе были извѣстны въ то время, представляло значительныя затрудненія; къ тому же присоединилось опасеніе, что срокъ службы желѣзныхъ рель-

Чер. 2.



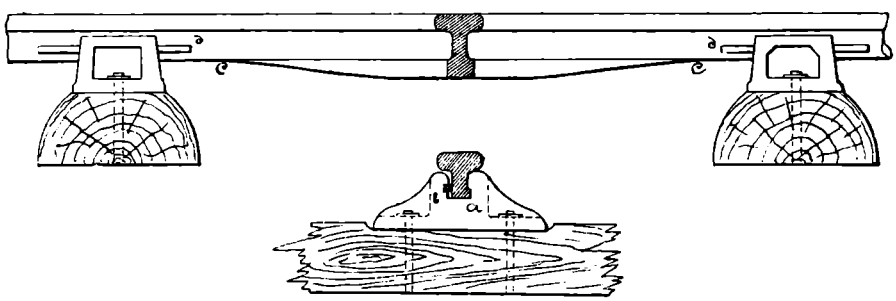
Путь Jessop'a

совъ, какъ сильно подверженныхъ ржавчинѣ, будетъ очень непродолжительнымъ.

Послѣ многихъ неудачныхъ опытовъ, произведенныхъ на нѣсколькихъ заводахъ, Birkinshaw, инженеру желѣзодѣлательнаго завода Bedlington, удалось съ успѣхомъ прокатать желѣзные рельсы въ 1820 году.

Желѣзный рельсъ Birkinshaw, длиною 15 футовъ, опирался помощью подушекъ на деревянныя поперечины, уложенныя въ разстояніи 3 футовъ между осями. Рельсъ состоялъ изъ головки и шейки, которая въ нижней части имѣла утолщеніе (чер. 3); съ одной стороны утолщеніе проходило

Чер. 3.



1:10 Рельсъ Birkinshaw.

сквозь всю длину рельса, для чего въ подушкахъ были сдѣланы соотвѣтственные желобки *a*; съ другой же стороны утолщенія кончались у *c c*, не доходя до подушекъ; рельсъ закрѣплялся помощью желѣзныхъ клиньевъ *d*, для которыхъ въ подушкахъ имѣлись соотвѣтственные желобки *b*; при забивкѣ клиньевъ утолщеніе рельса входило въ желобки *a* подушекъ, чѣмъ достигалось надлежащее закрѣпленіе.

Рельсъ Birkinshaw представлялъ значительный прогрессъ въ желѣзнодорожномъ дѣлѣ, былъ принятъ G. Stephenson'омъ въ его обширной строительной практикѣ и послужилъ вообще типомъ, на основаніи котораго развилось современное верхнее строеніе желѣзныхъ дорогъ, въ особенности же верхнее строеніе съ двухголовымъ рельсомъ.

Къ концу 18-го столѣтія въ Англіи было устроено значительное количество рельсовыхъ путей на заводахъ, угольныхъ копяхъ и т. п.; пути эти были частнаго пользованія и служили лишь для передвиженія грузовъ, которое производилось помощью лошадиной тяги. Успѣхъ частныхъ дорогъ побудилъ фирму Homfray устроить рельсовый путь общаго пользованія отъ Cardiff'a до Merthyr-Tydfil; первая эта конно-желѣзная дорога общаго пользованія была построена въ 1794 году.

Съ усовершенствованіемъ верхняго строенія довѣріе къ рельсовымъ путямъ стало замѣтно увеличиваться, такъ что въ 1825 году оказалось уже возможнымъ открытіе довольно значительной дороги общаго пользованія, а именно Stockton-Darlington, протяженіемъ 41 клм.; путь былъ уложенъ рельсами Birkinshaw.

Верхнее строеніе съ рельсами Birkinshaw отличалось, сравнительно съ потребностями конно-желѣзныхъ дорогъ, большимъ совершенствомъ; оно допускало значительно большія скорости, чѣмъ тѣ, которыя могли быть достигнуты помощью лошадиной тяги; поэтому дальнѣйшій прогрессъ въ области желѣзнодорожнаго дѣла долженъ былъ состоять въ усовершенствованіи системы тяги и отъ удачнаго рѣшенія этого вопроса зависѣлъ успѣхъ желѣзныхъ дорогъ.

2. Примѣненіе паровозной тяги. Послѣ того, какъ изобрѣтенія Watt'a дали столь блестящіе результаты въ области примѣненія постоянныхъ паровыхъ машинъ, явились попытки устроить самодвижущіяся паровыя машины.

Изобрѣтатели сначала старались конструировать экипажи, самодвижущіеся при помощи пара по обыкновеннымъ дорогамъ, но ихъ опыты не увѣнчались успѣхомъ; затѣмъ эта идея была примѣнена къ рельсовымъ путямъ, и результаты сразу оказались благопріятными.

Первый паровозъ построилъ Trevithick въ 1804 году и при опытахъ на дорогѣ Merthyr-Tydfil паровозъ этотъ, къ большому удивленію современниковъ, втащилъ на подъемъ поѣздъ, груженный углемъ.

Усовершенствованіе паровозной тяги на первыхъ порахъ подвигалось медленно, благодаря неправильному мнѣнію, распространенному между техниками того времени, что сцѣпленіе между колесами и рельсами отъ силы тренія недостаточно для сообщенія паровозу поступательнаго движенія. Поэтому Trevithick придѣлалъ у своего паровоза къ колесамъ, внѣ поверхности ихъ касанія съ рельсами, нагели, которые зацѣпляли за деревянныя поперечины рельсоваго пути. Другіе конструкторы снабжали свои паровозы зубчатыми колесами, зацѣпляющими при движеніи паровоза за зубчатую штангу, прикрѣпленную къ верхнему строенію пути.

Лишь только въ 1813 году Blackett, послѣ многочисленныхъ опытовъ на рельсовыхъ путяхъ угольныхъ копей Wylam, пришелъ къ убѣжденію, что сцѣпленіе отъ силы тренія между колесами и рельсами достаточно для

сообщенія паровозу поступательнаго движенія и построилъ первый паровозъ по этому принципу.

Около того же времени усовершенствованіемъ паровоза занялся George Stephenson, блестяще разрѣшилъ встрѣтившіяся затрудненія, чѣмъ снискалъ себѣ безсмертную славу. Къ концу первой четверти XIX столѣтія настолько были разработаны Stephenson'омъ конструктивныя детали паровоза, что у послѣдняго явились шансы на широкое распространеніе. Поэтому въ 1829 году G. Stephenson при помощи Pearse'a открылъ спеціальный заводъ для изготовленія паровозовъ въ Newcastle; заводомъ этимъ управлялъ сынъ его Robert, занимающій также, подобно своему отцу, весьма видное мѣсто среди піонеровъ желѣзнодорожнаго дѣла. На заводѣ въ Newcastle былъ построенъ въ 1825 г. паровозъ для дороги Stockton—Darlington, оказавшійся вполнѣ удовлетворительнымъ. Такимъ образомъ Stockton—Darlington была первой желѣзной дорогой общаго пользованія съ паровозною тягою.

Однако новая эра въ исторіи желѣзныхъ дорогъ и изумительно быстрое ихъ развитіе начинается лишь съ открытія дороги Liverpool—Manchester; это была первая значительная дорога общаго пользованія, и успѣхъ ея сдѣлалъ рельсовый путь предметомъ государственной важности.

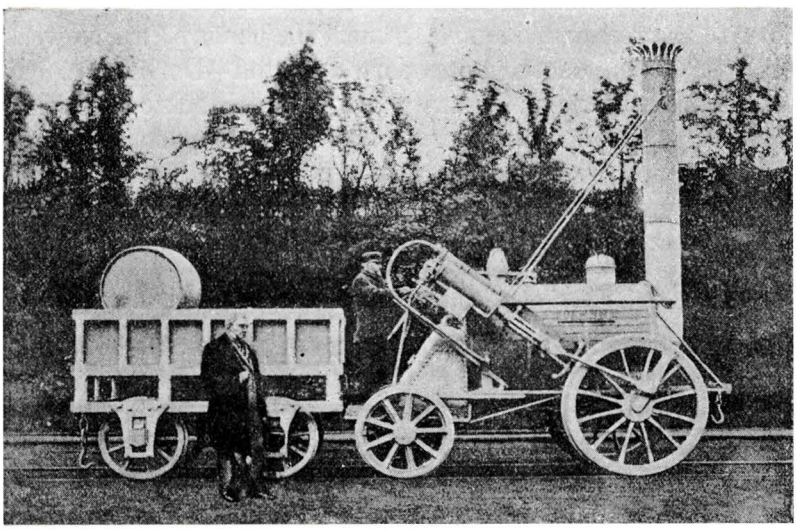
Вопросъ о соединеніи Ливерпуля съ Манчестеромъ, помощью желѣзной дороги, былъ поднятъ ливерпульскимъ купечествомъ въ 1820 году, ибо къ этому времени торговыя операціи между указанными городами настолько развились, что каналы и шоссейныя дороги не были въ состояніи управиться съ перевозкою товаровъ. Составленіе проекта было поручено G. Stephenson'y и въ 1825 году проектъ былъ внесенъ на утвержденіе парламента. Получить концессію на устройство желѣзной дороги, соединяющей два крупнѣйшіе промышленные и торговые центры, какими являлись Ливерпуль и Манчестеръ, было, само собою, не легкою задачею, такъ какъ желѣзная дорога затрагивала интересы многихъ весьма вліятельныхъ лицъ изъ лендъ-лордовъ, владѣльцевъ каналовъ и т. п.; къ тому же концессія испрашивалась на устройство дороги съ паровозною тягою, къ которой общественное мнѣніе относилось съ недовѣріемъ, не только для передвиженія грузовъ, какъ на дорогѣ Stockton—Darlington, но и для перевозки пассажировъ. Противники дороги открыли противъ проекта ожесточенную кампанію: утверждали, что отъ дыма погибнутъ птицы, коровы отъ испуга перестанутъ давать молоко, искры будутъ причиною опустошительныхъ пожаровъ, лошади совсѣмъ исчезнуть и т. п.; въ результатѣ проектъ не прошелъ, но настойчивое ливерпульское купечество добилось внесенія опять на слѣдующій годъ въ парламентъ нѣсколько измѣненнаго проэкта, который и былъ утвержденъ, впрочемъ, лишь только 47 голосами противъ 41. Постройка дороги, протяженіе коей достигало 67 клм., была поручена G. Stephenson'y.

Типъ паровоза для дороги Liverpool—Manchester рѣшено было выбрать путемъ конкурса, условія коего были слѣдующія: паровозъ долженъ вѣсить не болѣе 6 тон., давленіе на ось не должно превосходить $2^1/_4$ тон., на горизонтальной прямой онъ долженъ при давленіи пара 3,5 атм. везти грузъ въ 20 тон., со скоростью 16 клм. въ часъ.

На конкурсъ, состоявшійся 1 октября 1829 года у Rainhill, было пред-

ставлено 5 паровозовъ. Stephenson къ этому времени сдѣлалъ значительныя улучшенія въ конструкціи своихъ паровозовъ, а именно—передачу силы отъ поршня къ ведущему колесу устроилъ помощью *шатуна, вмѣсто* примѣнявшихся ранѣе цѣпей, усилилъ тягу выпускомъ мятаго пара въ дымовую трубу и примѣнилъ къ паровозамъ трубчатый котелъ, изобрѣтенный французомъ Seguin. На конкурсѣ первый призъ получилъ паровозъ „Rocket" (чер. 4), построенный G. Stephenson'омъ и его сыномъ Robert'омъ

Чер. 4.



Паровозъ „Rocket" Стефенсона.

на заводѣ въ Newcastle. „Rocket" не только удовлетворилъ всѣмъ условіямъ конкурса, но и обнаружилъ при пробныхъ поѣздкахъ многія весьма цѣнныя качества; между прочимъ, онъ оказался въ состояніи везти вагонъ съ 30 пассажирами со скоростью 48 клм. въ часъ.

Блестящій успѣхъ, достигнутый Stephenson'омъ на конкурсѣ Rainhill, окончательно разсѣялъ сомнѣнія въ цѣлесообразности паровозной тяги и далъ могучій толчокъ развитію желѣзнодорожнаго дѣла.

3. Распространеніе и улучшеніе желѣзныхъ дорогъ. Желѣзная дорога Liverpool—Manchester была открыта для общаго пользованія въ 1830 году и съ перваго же года эксплоатаціи успѣхъ предпріятія и доходъ акціонеровъ превзошли самыя смѣлыя ожиданія. Въ первомъ же году послѣ открытія дороги пассажирское движеніе оказалось въ 10 разъ больше, а товарное почти вдвое больше, чѣмъ было принято при составленіи проекта.

Довѣріе къ новому способу сообщенія укрѣпилось весьма быстро; началась желѣзнодорожная горячка; охотники къ наживѣ бросились проектировать желѣзныя дороги по всевозможнымъ направленіямъ; между прочимъ, тогда еще былъ составленъ проектъ желѣзной дороги подъ Ламаншемъ, который до сихъ поръ ждетъ своей очереди.

Успѣхъ желѣзныхъ дорогъ въ Англіи обратилъ вскорѣ на себя вниманіе предпріимчивыхъ людей и въ другихъ странахъ, но тамъ идея

рельсоваго пути была настолько новой, что при устройствѣ желѣзныхъ дорогъ пришлось на первыхъ порахъ позаимствовать цѣликомъ выработанный въ Англіи типъ.

Въ Америку первые паровозы, купленные на заводѣ Stephenson'a, были привезены въ 1829 году Allen'омъ, котораго и слѣдуетъ считать піонеромъ желѣзнодорожнаго дѣла въ Соединенныхъ Штатахъ Сѣверной Америки. Въ 1830 году была построена первая желѣзная дорога съ паровозною тягою между Charlestown и Augusta въ южной Каролинѣ.

Во Франціи первые опыты надъ движеніемъ поѣздовъ при помощи паровозовъ были произведены въ 1832 году на дорогѣ St. Etienne — Lyon; паровозы были пріобрѣтены въ Англіи у Stephenson'a.

Въ Австріи ярымъ поборникомъ желѣзныхъ дорогъ былъ профессоръ Вѣнскаго Политехническаго Института Gerstner, имя котораго связано также съ постройкой первой желѣзной дороги въ Россіи. Въ 1838 году былъ открытъ первый участокъ Сѣверной Австрійской желѣзной дороги Императора Фердинанда (Kaiser Ferdinands Nordbahn); это была первая большая желѣзная дорога на европейскомъ континентѣ.

Въ Германіи первая желѣзная дорога съ паровозною тягою, а именно Nürnberg—Fürth, была построена въ 1835 году.

Вопросъ о постройкѣ желѣзныхъ дорогъ въ Россіи возбужденъ былъ въ 1835 году Герстнеромъ, упомянутымъ выше профессоромъ Вѣнскаго Политехническаго Института. Совершивъ путешествіе по Россіи для обозрѣнія уральскихъ горныхъ заводовъ, Герстнеръ вошелъ съ ходатайствомъ о выдачѣ ему концессіи на постройку въ теченіе 20 лѣтъ желѣзныхъ дорогъ въ Россіи. Въ первую очередь были имъ поставлены линіи Петербургъ—Москва—Нижній-Новгородъ—Казань, а равно и соединеніе сей магистрали съ Одессою. Дѣло было передано на разсмотрѣніе особаго комитета, который отнесся очень скептически какъ къ возможности осуществленія столь грандіознаго проекта, такъ и къ пользѣ вообще желѣзныхъ дорогъ для Россіи. Тогда Герстнеръ вошелъ съ новымъ ходатайствомъ о разрѣшеніи ему построить желѣзную дорогу лишь только отъ Петербурга до Царскаго Села, надѣясь, что успѣхъ предпріятія долженъ разсѣять всякія сомнѣнія. Концессія была дана Герстнеру въ 1836 году, и 30 октября 1837 года состоялось открытіе первой въ Россіи желѣзной дороги—Царскосельской.

Не смотря на сооруженіе Царскосельской жел. дороги, вопросъ о проведеніи другихъ болѣе значительныхъ рельсовыхъ путей двигался пока очень медленно; разочарованный Герстнеръ покинулъ Россію и отправился въ Америку, надѣясь найти тамъ болѣе широкое поле для своей дѣятельности по сооруженію жел. дорогъ.

Вторая въ хронологическомъ порядкѣ и первая значительная жел. дорога, построенная въ предѣлахъ Россійской Имперіи—это Варшавско—Вѣнская. Концессія на сооруженіе ея была выдана въ 1839 году акціонерному обществу, во главѣ котораго стоялъ варшавскій банкиръ баронъ Штейнкеллеръ. Первоначальный проектъ былъ составленъ съ расчетомъ на лошадиную тягу, но постройка была начата въ предположеніи паровозной тяги; вслѣдствіе этого возросли значительно расходы, необходимые

для сооруженія дороги, и предприниматели, не будучи въ состояніи придти къ соглашенію съ правительствомъ относительно увеличенія капитала, отказались отъ предпріятія въ 1842 году. Дорога была закончена средствами казны въ 1848 г.

Вопросъ о постройкѣ другихъ желѣзныхъ дорогъ, изъ коихъ на первой очереди была, конечно, дорога между Петербургомъ и Москвою, замедлился между прочимъ неувѣренностью, возможна ли будетъ эксплоатація желѣзныхъ дорогъ при суровыхъ климатическихъ условіяхъ Россіи. Дабы выяснить это дѣло, были командированы въ 1839 году инженеры Крафтъ и Мельниковъ для осмотра желѣзныхъ дорогъ въ Сѣверной Америкѣ, которая по климатическимъ условіямъ имѣетъ много общаго съ Россіей. Крафтъ и Мельниковъ вернулись изъ командировки въ 1840 году; свѣдѣнія, привезенныя ими, подтвердили вполнѣ возможность эксплоатировать съ успѣхомъ рельсовые пути въ Россіи.

Въ 1842 году была учреждена строительная комиссія для сооруженія С.-Петербургско-Московской жел. дороги; производство изысканій и составленіе смѣты было поручено инженерамъ Крафту и Мельникову, по предложенію коихъ былъ еще приглашенъ американскій инженеръ Вистлеръ. По мѣрѣ окончанія работъ дорога открывалась участками; открытіе же для правильнаго движенія всей Николаевской жел. дор. состоялось 1 ноября 1851 года. Дальнѣйшая постройка желѣзныхъ дорогъ въ Россіи была пріостановлена временно, благодаря севастопольской войнѣ; послѣ окончанія послѣдней началось быстрое развитіе русской желѣзнодорожной сѣти.

Съ увеличеніемъ протяженія желѣзныхъ дорогъ, явилась возможность изслѣдовать всесторонне и болѣе подробно вопросъ о надлежащей формѣ рельса. Далѣе, все большія и большія требованія, предъявляемыя къ желѣзнодорожному движенію какъ въ отношеніи его скорости, такъ и силы тяги паровозовъ, заставили все болѣе и болѣе увеличивать вѣсъ послѣднихъ, вмѣстѣ съ чѣмъ должно было, конечно, совершенствоваться и верхнее строеніе пути.

Рельсъ Birkinshaw, примѣненный, какъ было упомянуто выше, на дорогѣ Liverpool-Manchester, хотя и представлялъ въ свое время значительный шагъ впередъ въ развитіи верхняго строенія, имѣлъ все же нѣкоторые существенные недостатки. Опытъ показалъ, что поломка рельсовъ происходила главнымъ образомъ у опоръ, откуда было выведено заключеніе о нецѣлесообразности эллиптическаго очертанія рельса; далѣе весьма неудобной оказалась на практикѣ необходимость устраивать опоры въ опредѣленныхъ точкахъ рельса и поворачивать подушки при перекантовкѣ рельса, въ случаѣ износа одной стороны.

Для устраненія этихъ неудобствъ, Locke спроектировалъ въ 1837 году двухголовый симметричный рельсъ. Рельсъ имѣлъ одинаковые размѣры по всей длинѣ и состоялъ изъ шейки и двухъ головокъ одинаковыхъ размѣровъ; этимъ имѣлось въ виду продлить срокъ службы рельсовъ, оборачивая рельсъ нижнею головкою вверхъ послѣ износа верхней головки; однако расчетъ этотъ не оправдался на практикѣ, ибо чугунныя подушки врѣзывались въ нижнюю головку, которая такимъ образомъ не могла представлять достаточно ровной поверхности для катанія колесъ; пришлось отказаться

отъ этой заманчивой идеи, вмѣстѣ съ чѣмъ размѣры нижней головки были уменьшены и такимъ образомъ получился рельсъ двухголовый, несимметричный, принятый въ основу верхняго строенія желѣзныхъ дорогъ въ Англіи, а отчасти также и во Франціи.

Въ другихъ странахъ, въ томъ числѣ также и въ Россіи, принятъ типъ рельса съ широкой подошвой, называемый виньолевскимъ. Типъ этотъ былъ предложенъ Stevens'омъ въ 1832 г. въ Америкѣ, гдѣ для желѣзныхъ дорогъ, проходящихъ по малозаселеннымъ мѣстамъ, интересно было имѣть дешевое верхнее строеніе, требующее возможно меньше металла и дающее возможность быстрой укладки; этимъ условіямъ удовлетворяетъ рельсъ съ широкою подошвою, который можно прикрѣплять непосредственно къ поперечинамъ безъ промежуточныхъ чугунныхъ опоръ. Новый рельсъ сталъ извѣстенъ въ Англіи въ 1836 году, благодаря Vignoles'у—откуда названіе рельса—перешелъ въ континентальную Европу и распространился въ ней очень быстро.

Благодаря способу закрѣпленія двухголоваго рельса, устройство стыка рельсовъ было сопряжено съ затрудненіями, пока стыкъ располагали надъ опорою, какъ это было принято при постройкѣ первыхъ желѣзныхъ дорогъ. Съ самаго начала стыкъ совсѣмъ не перекрывался, но, когда опытъ выяснилъ необходимость перекрытія, пришлось имѣть особыя стыковыя подушки, для возможности помѣстить накладки. Для устраненія этого неудобства Adams ввелъ въ 1847 году стыкъ на вѣсу, преимущества коего оказались настолько существенными, что его стали примѣнять не только для двухголоваго, но и для виньолевскаго рельса.

Параллельно съ улучшеніемъ рельса развивалось сознаніе о необходимости придать пути извѣстную степень элластичности. На первыхъ дорогахъ Stephenson'а путь устраивался предпочтительно на отдѣльныхъ каменныхъ опорахъ; деревянныя поперечины на слоѣ балласта казались въ то время не вполнѣ надежнымъ основаніемъ для рельсоваго пути и примѣнялись съ нѣкоторою осмотрительностью. На первыхъ порахъ неудобства жесткаго пути не обнаружились съ достаточною ясностью, но съ увеличеніемъ вѣса паровозовъ и возрастаніемъ скорости движенія поломка и изнашиваніе верхняго строенія и подвижного состава дошли до такихъ размѣровъ, что заставили обратить на этотъ вопросъ серьезное вниманіе. Внушительное назиданіе дала, между прочимъ, постройка линіи Manchester-Leeds въ 1839 году; часть линіи проложена въ скалистыхъ выемкахъ и строители, желая имѣть прочное основаніе для рельсовъ, обдѣлали скалу подъ соотвѣтственный профиль и прикрѣпили къ ней подрельсныя подушки непосредственно, безъ всякой промежуточной передачи, но ихъ старанія не увѣнчались успѣхомъ; поломка рельсовъ, подушекъ и порча подвижного состава были такъ велики, что, не болѣе какъ черезъ три недѣли послѣ открытія движенія, рѣшено было подложить подъ рельсы деревянныя поперечины и поднять путь на балластъ.

Не менѣе быстрыми шагами, сравнительно съ верхнимъ строеніемъ пути, двигалось впередъ усовершенствованіе паровозовъ, послѣ того какъ G. Stephenson основалъ ихъ конструкцію на правильныхъ началахъ. Слѣдующіе послѣ Rocket'а паровозы, построенные для той же Манчестерской дороги, являлись одинъ за другимъ все съ новыми существенными улучше-

ніями. Значительныя трудности представляло еще парораспредѣленіе, пока G. Stephenson не разрѣшилъ этотъ вопросъ въ 1842 году своей знаменитой кулиссою.

Первыя желѣзныя дороги были проведены въ равнинныхъ мѣстностяхъ, почему могли быть запроектированы съ пологими уклонами и кривыми большихъ, сравнительно, радіусовъ. Наоборотъ, при постройкѣ дорогъ черезъ горные хребты пришлось, ради уменьшенія работъ, допустить крутые уклоны и кривыя; къ новымъ условіямъ необходимо было приспособить верхнее строеніе пути и паровозы; конструкція послѣднихъ въ особенности требовала серіозной переработки, ибо они должны были развивать значительно большую, чѣмъ на равнинныхъ дорогахъ, силу тяги и вписываться притомъ въ крутыя кривыя.

Первая магистральная желѣзная дорога черезъ горный хребетъ, а именно Штирійскія Альпы, была построена въ Австріи для соединенія Вѣны съ Тріестомъ. Дорога пересѣкаетъ Альпы у прохода Semmering, откуда она получила названіе Semmeringbahn. Постройка дороги на тѣхъ участкахъ, гдѣ удалось спроектировать профиль при не очень трудныхъ техническихъ условіяхъ, была начата въ 1841 году, между тѣмъ какъ проектъ перевала черезъ хребетъ находился еще въ періодѣ разработки, встрѣтивъ, при развитіи желѣзнодорожной техники того времени, значительныя затрудненія. Хотя большинство авторитетныхъ техниковъ совѣтовало пересѣчь хребетъ канатной или зубчатой желѣзной дорогой, все же, по настоянію строителя дороги (Karl von Ghega), рѣшено было построить на всемъ протяженіи желѣзную дорогу обыкновеннаго типа.

Постройка перевальнаго участка началась въ 1848 году, при чемъ былъ допущенъ уклонъ въ 0,025. Однако оставалось еще не исполненнымъ самое трудное дѣло, а именно запроектированіе паровоза, который могъ бы развить достаточную силу тяги для передвиженія поѣзда по столь крутому подъему. Для всесторонняго обслѣдованія вопроса рѣшено было прибѣгнуть къ тому же способу, который далъ столь прекрасные результаты при постройкѣ Манчестерской дороги, а именно былъ назначенъ конкурсъ. Условія конкурса были установлены слѣдующія: паровозъ долженъ на подъемѣ 0,025 и въ кривой радіуса 284 м. везти поѣздъ вѣсомъ 50 тоннъ (не считая тендера), со скоростью 14 клм. въ часъ. Изъ четырехъ представленныхъ въ 1851 году на конкурсъ паровозовъ, первый призъ получилъ паровозъ „Bavaria“, построенный заводомъ Maffei въ Мюнхенѣ. Сравненіе условій послѣдняго конкурса съ условіями конкурса при Rainhill показываетъ наглядно, сколь большой прогрессъ сдѣлало желѣзнодорожное дѣло за этотъ небольшой, сравнительно, періодъ, который раздѣляетъ время сооруженія желѣзныхъ дорогъ Манчестерской и Земмерингъ.

Сооруженіе желѣзной дороги Земмерингъ, открытой для общаго пользованія въ 1854 году, послужило поводомъ къ существенному улучшенію паровозовъ, такъ какъ явилась потребность въ новыхъ типахъ, могущихъ дать значительно большую, сравнительно съ прежними паровозами, силу тяги. Далѣе дорога эта, доказавъ возможность проложить рельсовые пути черезъ считавшіеся ранѣе недоступными для сей цѣли горные хребты, дала сильный толчекъ развитію желѣзнодорожнаго дѣла. Дѣйствительно, вскорѣ

послѣдовало сооруженіе другихъ Альпійскихъ магистральныхъ линій, какъ-то: Brenner, Mont-Cenis, St.-Gotthard и др., а также желѣзныхъ дорогъ въ Америкѣ черезъ Скалистыя горы и Анды.

Все большія и большія требованія, предъявляемыя къ паровозамъ, какъ въ отношеніи силы тяги, такъ и скорости движенія, повлекли за собою значительное увеличеніе общаго вѣса паровоза и давленія на отдѣльныя его оси. Между тѣмъ, какъ прототипъ паровозовъ, стефенсоновскій „Rocket" вѣсилъ всего 4,5 тонны; вѣсъ современныхъ паровозовъ достигаетъ 200 тоннъ, а давленіе на ось—28 тоннъ. Верхнее строеніе пути нуждалось, конечно, также въ надлежащемъ усиленіи. Манчестерская желѣзная дорога была уложена рельсами вѣсомъ 17 клгр. въ пог. метрѣ, между тѣмъ какъ вѣсъ современныхъ рельсовъ достигаетъ 52 клгр. въ пог. метрѣ.

Желѣзныя дороги, которыя еще 50 лѣтъ тому назадъ съ трудомъ выдерживали борьбу съ разнаго рода предразсудками, играютъ теперь столь существенную роль въ экономической жизни общества, что невозможно даже представить себѣ современнаго культурнаго государства безъ широко раскинутой сѣти желѣзнодорожныхъ сообщеній, представляющихъ собою первое условіе народнаго благосостоянія.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ № 1 показано протяженіе желѣзныхъ дорогъ по частямъ свѣта и нѣкоторымъ отдѣльнымъ государствамъ въ 1910 г. Какъ видно изъ таблицы, длина желѣзныхъ дорогъ всего земного шара достигаетъ 1030000 клм.; желѣзными дорогами можно бы опоясать земной шаръ по экватору 26 разъ и общая длина ихъ превосходитъ, примѣрно, въ три раза среднее разстояніе отъ земли до луны. Въ той же таблицѣ № 1 указано протяженіе желѣзныхъ дорогъ по отношенію къ пространству и народонаселенію странъ свѣта и отдѣльныхъ государствъ. За послѣднее десятилѣтіе протяженіе желѣзныхъ дорогъ на всемъ земномъ шарѣ увеличивалось въ среднемъ ежегодно на 3%.

Сооруженіе желѣзныхъ дорогъ поглотило колоссальныя суммы и въ настоящее время въ культурныхъ государствахъ желѣзныя дороги представляютъ одну изъ самыхъ видныхъ статей народнаго богатства.

Сумма капиталовъ, затраченныхъ по 1910 годъ на постройку желѣзныхъ дорогъ всего земного шара, равна около 110 миліардовъ рублей.

Въ таблицѣ № 2 показаны для нѣкоторыхъ государствъ общія затраты, произведенныя для устройства желѣзныхъ дорогъ, а также выведенная на этомъ основаніи средняя ихъ стоимость съ версты длины (по состоянію желѣзнодорожной сѣти въ 1908 году).

Какъ видно изъ таблицы, средняя стоимость сооруженія желѣзныхъ дорогъ на единицу длины колеблется для различныхъ государствъ въ довольно широкихъ предѣлахъ, что обусловливается, какъ неодинаковою въ различныхъ случаяхъ цѣнностью отчуждаемой подъ желѣзную дорогу земли и тѣми или другими техническими затрудненіями при устройствѣ желѣзнодорожнаго полотна, такъ равно болѣе или менѣе богатымъ оборудованіемъ желѣзныхъ дорогъ подвижнымъ составомъ и разными путевыми и станціонными обустройствами.

4. Примѣненіе электрической тяги для желѣзнодорожнаго движенія. Паровозная тяга поѣздовъ страдаетъ нѣкоторыми недостатками, особенно ощу-

Таблица № 1.

Протяженіе желѣзныхъ дорогъ въ 1910 году.

Наименованіе странъ.	Пространство въ кв. клм.	Населеніе въ милліонахъ.	Общее протяженіе жел. дорогъ въ клм.	Протяженіе жел. дорогъ въ клм.	
				На 100 кв. клм.	На 10.000 жителей.
Европа	9.800.000	437	334.000	3,4	7,6
Америка	38.700.000	170	526 000	1,4	30,9
Азія	44.000.000	920	102.000	0,2	1,1
Африка	30.000.000	140	37.000	0,1	2,6
Австралія	8.000.000	6	31.000	0,4	51,7
Итого . .	—	—	1.030.000	—	—
Великобританія	314.000	45,47	37.600	12,0	8,3
Франція	536.400	39,25	49.400	9,2	12,6
Германія	540.800	64,55	61.100	11,3	9,3
Австро-Венгрія	676.500	51,02	44.400	6,6	8,7
Италія	286.600	34,27	17.000	5,9	4,9
Испанія	496.900	18,62	15.000	3 0	8,1
Швейцарія	41.400	3,56	4.700	11,4	13,2
Бельгія	29.500	7,39	8.510	28,8	11,4
Швеція	447.900	5,48	14.000	3,1	25,6
Норвегія	322.300	2,35	3.100	1,0	13,2
Россійская Имперія . . .	22.155.000	161,00	70.500	0,3	4,4
Европейская Россія . .	5.900.000	142,63	59.600	1,0	4,2
Съв. Амер. Соед. Штаты.	9.305.300	89,00	388.200	4.2	43,6
Канада	8.768.000	6,50	39.800	0,5	61,2
Мексика	2.016.000	14,55	24.600	1,2	16,9
Бразилія	8.361.400	21,28	21.400	0,3	10,0
Аргентина	2.885.600	4,90	28.600	1.0	58,5
Британская Индія . . .	5.068.300	295,21	51.600	1,0	1,7
Японія (вкл. Корею) . .	636.000	63,14	9.800	1,5	1,6

Таблица № 2.

Затраты на сооруженіе жел. дорогъ по 1908 г.

НАИМЕНОВАНІЕ СТРАНЪ.	Протяженіе жел. дор. въ верстахъ	Общія затраты на сооруженіе въ милліонахъ руб.	Затраты на версту въ тысяч. руб.
Великобританія	35.016	12.398	354
Франція	45·100	8.253	183
Германія	53.596	7.916	148
Австро-Венгрія	39.486	4.561	116
Россія (Европейская)	49.882	5.744	115
Сѣв. Амер. Соед. Штаты	349.393	32.529	93

тительными въ извѣстныхъ спеціальныхъ случаяхъ желѣзнодорожнаго движенія. По этому съ развитіемъ электро-техники во второй половинѣ прошлаго столѣтія долженъ былъ естественно возникнуть вопросъ о примѣненіи этого новаго рода энергіи для желѣзнодорожнаго движенія.

Первый опытъ электрической тяги относится къ 1879 году; это была электрическая дорога, устроенная Сименсомъ на промышленной выставкѣ въ Берлинѣ; поѣздъ состоялъ изъ маленькаго электровоза съ прицѣпленными къ нему вагонетками и все обустройство имѣло лишь опытно-демонстративный характеръ.

Первое практическое примѣненіе электрической тяги въ значительныхъ размѣрахъ было сдѣлано въ Америкѣ Sprague'омъ въ 1888 году при устройствѣ въ Richmond'ѣ электрическихъ трамваевъ. Съ этого времени усовершенствованіе электрической тяги двинулось впередъ столь быстрыми шагами, что теперь въ области городскихъ и пригородныхъ желѣзныхъ дорогъ, а также горныхъ желѣзныхъ дорогъ, электрическая тяга поѣздовъ уже вытѣснила или вытѣсняетъ паровозную тягу, а въ послѣднее время электрическая тяга дѣлаетъ большіе успѣхи въ примѣненіи для передвиженія дальнихъ поѣздовъ на магистральныхъ линіяхъ желѣзныхъ дорогъ.

Главнѣйшія преимущества электрической тяги поѣздовъ, которыя позволили ей въ короткій сравнительно промежутокъ времени получить значительное распространеніе на желѣзныхъ дорогахъ, сводятся въ основныхъ чертахъ къ слѣдующему:

Вѣсъ электровоза меньше вѣса паровоза той-же мощности; кромѣ того, при паровозной тягѣ имѣется въ составѣ поѣзда безполезный вѣсъ тендера; поэтому, при одномъ и томъ-же полезномъ вѣсѣ поѣзда, общій вѣсъ поѣзда при электрической тягѣ значительно меньше, чѣмъ при паровозной тягѣ.

Электрическая тяга приспособляется очень удобно для движенія густо слѣдующихъ другъ за другомъ поѣздовъ мѣняющагося состава, то есть для поѣздовъ городского и пригороднаго движенія; составляя такіе поѣзда частью изъ моторныхъ, частью изъ прицѣпныхъ къ нимъ вагоновъ, можно пускать болѣе длинные или короткіе поѣзда, смотря по интенсивности движенія въ данное время дня или года, сохраняя при этомъ неизмѣннымъ требуемое соотношеніе между вѣсомъ поѣзда и силою моторовъ; подобный экономичный способъ эксплоатаціи пригороднаго движенія невозможенъ, конечно, при паровозной тягѣ; въ послѣднемъ случаѣ вѣсъ паровоза съ тендеромъ представляетъ очень большой процентъ отъ полезнаго вѣса состава короткаго поѣзда.

Отсутствіе дыма при электрической тягѣ имѣетъ весьма существенное значеніе для движенія поѣздовъ въ тонеляхъ и въ предѣлахъ городовъ.

Коэффиціентъ сцѣпленія колесъ съ рельсами при элекрической тягѣ больше, чѣмъ при паровозной тягѣ.

Конструированіе электровозовъ для горныхъ желѣзныхъ дорогъ, гдѣ требуется значительная сила тяги и большое сцѣпленіе съ рельсами, а наличіе крутыхъ кривыхъ заставляетъ ограничить по возможности длину жесткой базы, не встрѣчаетъ затрудненій, ибо электровозъ можетъ быть устроенъ въ видѣ двухъ независимыхъ частей, имѣющихъ особые электромоторы и независимыя системы спаренныхъ осей; подобная же конструкція для паровоза менѣе удобна въ виду затрудненій съ проведеніемъ пара.

Электровозъ, механизмъ коего состоитъ изъ массъ, вращающихся съ почти равномѣрною скоростью, менѣе разстраиваетъ путь, сравнительно съ паровозомъ, ходъ коего подверженъ различнымъ пертурбаціямъ; послѣднія возникаютъ благодаря особенностямъ конструкціи и условіямъ работы частей движущаго механизма паровоза, состоящихъ не только изъ вращающихся массъ, но также изъ массъ, имѣющихъ поступательное впередъ и назадъ движеніе. Поэтому при электрической тягѣ могутъ быть допущены большія скорости движенія поѣздовъ, чѣмъ при паровозной тягѣ.

При электрической тягѣ могутъ быть примѣнены въ центральныхъ силовыхъ станціяхъ для генерированія энергіи весьма совершенныя машины, почему движущая сила при электрической тягѣ, принимая даже потери при передачѣ въ проводахъ, обходится дешевле, сравнительно съ паровозною тягою; особенно же выгодною является электрическая тяга поѣздовъ, если для генерированія электрической энергіи можетъ быть использована водяная сила.

Благодаря перечисленнымъ выше преимуществамъ электрической тяги, примѣненіе ея для желѣзнодорожнаго движенія, при достаточной степени его интенсивности, является во многихъ случаяхъ выгоднымъ, несмотря на большія единовременныя затраты, которыя необходимо сдѣлать для приспособленія желѣзной дороги къ электрической тягѣ.

5. Значеніе желѣзныхъ дорогъ. Желѣзныя дороги произвели глубокій переворотъ въ соціальной и экономической жизни народовъ; съ вліяніемъ желѣзныхъ дорогъ въ этомъ отношеніи можно развѣ лишь сравнить то вліяніе, какое оказало въ свое время изобрѣтеніе компаса и послѣдовав-

шія затѣмъ великія открытія въ XV и въ XVI столѣтіяхъ неизвѣстныхъ ранѣе странъ.

Изслѣдованіе вліянія желѣзныхъ дорогъ, представляющее одинъ изъ вопросовъ политической экономіи, выходитъ конечно за предѣлы настоящаго курса, почему ниже приведены лишь самыя общія соображенія для нѣкотораго освѣщенія желѣзнодорожнаго дѣла съ этой точки зрѣнія.

До проведенія желѣзныхъ дорогъ отдѣльныя государства и даже отдѣльные раіоны въ государствахъ жили обособленной экономической жизнью, будучи принуждены производить сами для удовлетворенія своихъ потребностей всѣ предметы первой необходимости. Желѣзныя дороги, позволяющія перевозить громоздкіе предметы на дальнія разстоянія, совершенно измѣнили этотъ невыгодный способъ веденія народнаго хозяйства: теперь каждый раіонъ можетъ производить тѣ товары, производство коихъ по мѣстнымъ условіямъ является наиболѣе выгоднымъ, получая въ обмѣнъ за нихъ другіе необходимые предметы; при такой спеціализаціи производства, значительно понижается стоимость товаровъ, благодаря чему увеличивается народное благосостояніе.

Многіе предметы, находящіеся въ изобиліи въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ и не имѣвшіе прежде цѣны за невозможностью перевозки, послѣ проведенія желѣзныхъ дорогъ поступили на общій рынокъ, увеличивъ собою сумму народнаго богатства.

Какъ результатъ дешевой желѣзнодорожной перевозки, явилось благотворное, въ экономическомъ отношеніи, уравненіе цѣнъ товаровъ, то есть увеличеніе ихъ стоимости въ мѣстахъ производства и уменьшеніе стоимости въ мѣстахъ потребленія. Подобное уравненіе цѣнъ имѣетъ особенно важное значеніе въ случаѣ неурожаевъ; въ прежнее время, при несовершенныхъ путяхъ сообщенія, въ мѣстностяхъ, постигнутыхъ неурожаемъ, часто цѣны на хлѣбъ доходили до неимовѣрно высокихъ предѣловъ, между тѣмъ какъ одновременно въ другихъ раіонахъ съ хорошимъ урожаемъ хлѣбъ можно было купить за безцѣнокъ; въ настоящее время въ странахъ съ развитою желѣзнодорожною сѣтью подобныя явленія, да вообще и голодъ, немыслимы.

Желѣзная дорога является лучшимъ піонеромъ культуры въ дикихъ странахъ. Переселенцы, осѣвшіе въ сосѣдствѣ вновь выстроенной желѣзной дороги, могутъ сбывать съ удобствомъ продукты добывающей промышленности эксплоатируемой ими страны и получать взамѣнъ другіе необходимые для нихъ предметы. Сѣверо-Американскіе Соединенные Штаты своимъ изумительно быстрымъ развитіемъ во второй половинѣ прошлаго столѣтія обязаны, главнымъ образомъ, желѣзнымъ дорогамъ; штаты дальняго запада, соединенные многочисленными желѣзными дорогами съ Атлантическимъ океаномъ, очутились въ условіяхъ весьма благопріятствующихъ европейской колонизаціи; благодаря дешевизнѣ провоза, хлѣбопашество стало весьма выгоднымъ занятіемъ и вскорѣ достигло такихъ размѣровъ, что американскій хлѣбъ не только могъ удовлетворять потребностямъ собственнаго народонаселенія, очень быстро растущаго вслѣдствіе усиленной иммиграціи, но явился на европейскихъ рынкахъ; благодаря этой конкурренціи, цѣны на многіе предметы первой необходимости въ Европѣ значи-

тельно понизились, благосостояніе народныхъ массъ, въ особенности же городского и фабричнаго пролетаріата, улучшилось.

Въ соціальномъ отношеніи благотворное вліяніе желѣзныхъ дорогъ состоитъ въ томъ, что онѣ, поднимая благосостояніе низшихъ классовъ и давая возможность даже и бѣднымъ совершать дальнія путешествія, сглаживаютъ классовыя различія между отдѣльными слоями общества; рабочій *не можетъ теперь очутиться въ столь безвыходномъ положеніи, какъ это* бывало прежде, когда онъ былъ привязанъ къ извѣстной мѣстности, такъ какъ онъ имѣетъ теперь возможность искать заработка тамъ, гдѣ его условія окажутся болѣе выгодными.

Желѣзныя дороги, измѣнивъ кореннымъ образомъ экономическія условія народнаго хозяйства, оказали громадное вліяніе, какъ на добывающую и обрабатывающую промышленность, такъ равно и на торговлю. Въ сельскомъ хозяйствѣ вліяніе это обусловливается двумя факторами, а именно: скоростью и дешевизною желѣзнодорожныхъ перевозокъ. Благодаря быстротѣ перевозки, раіонъ сбыта скоропортящихся грузовъ значительно увеличился; до проведенія желѣзныхъ дорогъ молочные продукты, овощи мясо, плоды доставлялись въ большіе города изъ ближайшихъ окрестностей, теперь же область снабженія расширилась на сотни верстъ къ большой конечно выгодѣ для земледѣлія. Вслѣдствіе дешевизны желѣзнодорожныхъ перевозокъ, явилась возможность распахивать подъ хлѣбныя посѣвы малонаселенныя степи и снабжать зерномъ по низкой цѣнѣ болѣе культурные раіоны; подъ вліяніемъ конкурренціи хлѣбопашество въ послѣднихъ раіонахъ перестало быть выгоднымъ, какъ вслѣдствіе дороговизны земли, такъ и болѣе высокой стоимости производства, почему земледѣліе должно было переходить тамъ къ другимъ болѣе интенсивнымъ видамъ хозяйства. Такъ, напримѣръ, въ Россіи съ проведеніемъ желѣзныхъ дорогъ на востокѣ, площадь хлѣбныхъ посѣвовъ въ восточныхъ губерніяхъ, Уфимской, Оренбургской и др., сильно увеличилась, между тѣмъ какъ въ центральныхъ губерніяхъ замѣчается сокращеніе площади хлѣбныхъ посѣвовъ. Подобныя-же явленія имѣютъ мѣсто въ Сѣверо-Американскихъ Соед. Штататахъ; въ западныхъ штатахъ площадь хлѣбныхъ посѣвовъ растетъ очень быстро, между тѣмъ какъ въ старыхъ восточныхъ штатахъ замѣчается сокращеніе площади посѣвовъ.

Добыча каменнаго угля въ широкихъ размѣрахъ стала возможна лишь только съ устройствомъ желѣзнодорожной сѣти; до проведенія желѣзныхъ дорогъ разработка угольныхъ копей велась только до предѣла, необходимаго для удовлетворенія небольшой мѣстной потребности, потому что столь дешевый товаръ не могъ нести расходовъ по гужевой перевозкѣ; лишь только при дешевомъ желѣзнодорожномъ тарифѣ угольныя копи пріобрѣли обширный раіонъ сбыта, необходимый для интенсивной ихъ эксплоатаціи; развитіе каменноугольной промышленности Донецкаго бассейна въ Россіи представляетъ прекрасный примѣръ вліянія желѣзныхъ дорогъ на эту отрасль народнаго хозяйства.

Преуспѣваніе желѣзо-дѣлательной промышленности также тѣсно связано съ проведеніемъ желѣзныхъ дорогъ не только потому, что лишь такимъ образомъ можетъ быть обезпеченъ рынокъ сбыта и облегчена доставка

машинъ и другихъ необходимыхъ для заводовъ предметовъ, но и по самимъ условіямъ выдѣлки желѣза; дѣйствительно, мѣсторожденія желѣзной руды и каменнаго угля, необходимыхъ для выплавки чугуна, рѣдко находятся вблизи другъ друга, а гужевая перевозка столь громоздкихъ грузовъ легла бы слишкомъ тяжелымъ бременемъ; только послѣ соединенія желѣзными дорогами мѣсторожденій каменнаго угля и желѣзной руды Донецкаго и Днѣпровскаго раіоновъ, желѣзодѣлательная промышленность юга Россіи достигла значительныхъ размѣровъ.

Наконецъ небывалый прогрессъ въ торговыхъ сношеніяхъ послѣдняго времени обусловливается развитіемъ желѣзнодорожной сѣти, не только вслѣдствіе громаднаго оживленія въ обмѣнѣ товарами при дешевыхъ желѣзнодорожныхъ тарифахъ, но еще и потому, что при срочности и опредѣленной, точно извѣстной стоимости желѣзнодорожной перевозки, торговля встала на прочныхъ основаніяхъ.

Желѣзныя дороги, возникшія первоначально подъ вліяніемъ однихъ лишь коммерческихъ соображеній, въ настоящее время имѣютъ столь большое стратегическое значеніе, что постройка многихъ желѣзнодорожныхъ линій была вызвана только потребностями стратегическаго характера. Возможность быстро собрать, благодаря желѣзнымъ дорогамъ, многочисленныя арміи въ надлежащихъ пунктахъ и снабжать ихъ безъ затрудненій продовольственными и военными припасами, имѣетъ конечно первостепенное значеніе для военныхъ операцій. Пораженіе Франціи въ войнѣ 1871 года въ значительной степени зависѣло отъ неудовлетворительности въ то время желѣзнодорожной ея сѣти въ стратегическомъ отношеніи; между тѣмъ какъ прусскія войска подвозились къ границѣ по 9 желѣзнодорожнымъ линіямъ, французы имѣли для той-же цѣли лишь только 3 линіи.

Значеніе желѣзныхъ дорогъ основано на тѣхъ преимуществахъ, которыми обладаютъ рельсовые пути въ сравненіи съ другими путями сообщенія; главнѣйшія изъ нихъ перечислены ниже.

а) *Дешевизна желѣзнодорожныхъ перевозокъ.* Сопротивленіе движенію по рельсовому пути во много разъ менѣе, чѣмъ по обыкновеннымъ дорогамъ; для рельсоваго пути на площадкѣ и прямой, коэффиціентъ сопротивленія движенію равенъ около 0,003, между тѣмъ какъ для шоссе въ хорошемъ состояніи, коэффиціентъ сопротивленія при тѣхъ же условіяхъ достигаетъ 0,03; естественно и стоимость перевозки по желѣзнымъ дорогамъ значительно менѣе той же стоимости для обыкновенныхъ дорогъ.

Средняя стоимость перевозки на лошадяхъ по обыкновеннымъ дорогамъ въ Россіи можетъ быть принята *) въ 0,16 коп. съ пудо-версты для грузовъ и 2,3 коп. съ версты на одного пассажира.

Согласно статистическаго сборника Министерства Путей Сообщенія, перевезено въ 1908 году по сѣти желѣзныхъ дорогъ общаго значенія Европейской Россіи**) (кромѣ Финляндіи) 151.947.000 пассажировъ, при общемъ ихъ пробѣгѣ 15.720.000.000 пассажиро-верстъ и 12.037.270.000 пудовъ груза, при общемъ пробѣгѣ 2.697.140.000.000 пудо-верстъ; средняя стои-

*) Бліохъ. Вліяніе желѣзныхъ дорогъ на экономическое состояніе Россіи т. I. стр. 110.

**) При эксплоатаціонной средней годовой длинѣ 40 [illegible] верстъ.

[illegible] отдѣла
Инв. № 4

мость провоза (для пассажировъ и грузоотправителей), считая провозную плату и дополнительные сборы, опредѣлилась въ 0,91 коп. на одну пассажиро-версту для пассажирскаго движенія по общему тарифу и 0,021 коп. на одну пудо-версту по товарному движенію малой скорости. Если бы всѣ перевозки за 1908 годъ пришлось совершить по обыкновеннымъ дорогамъ, то онѣ обошлись бы населенію почти на 4 миліарда рублей дороже стоимости желѣзнодорожной перевозки, т. е. около $^2/_3$ суммы всѣхъ затратъ, произведенныхъ на устройство желѣзныхъ дорогъ по 1908 годъ.

Конечно нельзя изъ этого вывести заключенія, что ежегодный барышъ отъ удешевленія перевозки для населенія Россіи, благодаря сооруженію рельсовой сѣти, достигаетъ столь громадной суммы, ибо, если-бы не было желѣзныхъ дорогъ, то экономическія условія народнаго хозяйства были-бы иными; тѣмъ не менѣе выше приведенный расчетъ характеризуетъ ту громадную пользу, какую приносятъ желѣзныя дороги для народнаго благосостоянія, вслѣдствіе дешевизны совершаемыхъ ими перевозокъ.

Что касается внутреннихъ водяныхъ путей сообщенія, то стоимость перевозки по нимъ вообще ниже, чѣмъ по желѣзнымъ дорогамъ; но сказанное относится лишь къ судоходнымъ рѣкамъ, по которымъ навигація могла быть установлена безъ большихъ первоначальныхъ затратъ по обустройству или значительныхъ ежегодныхъ расходовъ по содержанію воднаго пути въ надлежащемъ видѣ; наоборотъ съ искусственными водяными путями сообщенія—каналами—желѣзныя дороги могутъ съ успѣхомъ выдержать конкуренцію даже и въ отношеніи стоимости перевозки.

b) *Скорость и срочность желѣзнодорожнаго сообщенія.* Быстрота желѣзнодорожнаго движенія, а также его правильность и срочность, позволяющія заранѣе точно разсчитать моментъ прибытія къ мѣсту назначенія, представляютъ громадное удобство для пассажировъ; значительная экономія времени, являющаяся благодаря быстротѣ желѣзнодорожнаго движенія, имѣетъ для дѣловыхъ людей первостепенное значеніе. До проведенія желѣзныхъ дорогъ, дилижансы для пассажирскаго сообщенія въ Англіи, гдѣ дѣло это было поставлено лучше, чѣмъ въ другихъ странахъ, двигались со скоростью километровъ 15 въ часъ, между тѣмъ теперь экспрессы въ западной Европѣ и Америкѣ ходятъ со среднею коммерческою скоростью (включая остановки) около 90 киломстровъ въ часъ, при наибольшей скорости движенія на перегонахъ до 120 километровъ въ часъ. Но и эта скорость теперь уже перестаетъ удовлетворять и имѣются попытки увеличить ее, помощью примѣненія электрической тяги для движенія поѣздовъ на желѣзныхъ дорогахъ; такъ въ 1903 году въ Германіи на линіи Marienfeld—Zossen были произведены опыты съ электрическою тягою въ значительныхъ размѣрахъ, причемъ была достигнута скорость движенія 200 километровъ въ часъ.

Равнымъ образомъ и для товарнаго движенія скорость и срочность перевозки имѣетъ немаловажное значеніе. Для скоропортящихся грузовъ быстрота доставки играетъ конечно рѣшающую роль; но и на торговлю другими товарами, не подверженными быстрой порчѣ, скорость и срочность желѣзнодорожнаго сообщенія оказала весьма благопріятное вліяніе, давая возможность ускорить оборотъ капиталовъ и уменьшить затраты на запасъ товаровъ въ складахъ.

c) *Безопасность желѣзнодорожнаго движенія.* Несмотря на большую скорость движенія поѣздовъ, желѣзнодорожное сообщеніе, благодаря многочисленнымъ усовершенствованіямъ и предосторожностямъ, отличается высокою степенью безопасности. Статистика показываетъ, что относительное число несчастныхъ случаевъ значительно больше при сообщеніи по обыкновеннымъ дорогамъ, чѣмъ въ желѣзодорожномъ движеніи; уличное движеніе въ многолюдныхъ столицахъ, какъ Лондонъ и др., поглощаетъ значительно болѣе жертвъ, чѣмъ по всѣмъ желѣзнымъ дорогамъ страны. Въ теченіе 1900 года одинъ несчастный случай съ пассажирами, происшедшій не по ихъ винѣ или неосторожности, въ связи съ движеніемъ поѣздовъ, приходился во Франціи на 45, въ Германіи на 44, а въ Россіи на 43 милліона пассажиро-километровъ; цифры эти показываютъ, сколь высокой степени безопасности достигло желѣзнодорожное движеніе, благодаря техническимъ усовершенствованіямъ.

d) *Постоянство желѣзнодорожныхъ тарифовъ и приспособленность желѣзныхъ дорогъ къ массовымъ перевозкамъ.* Важное преимущество желѣзнодорожнаго движенія состоитъ въ опредѣленности и постоянствѣ тарифовъ, неподверженныхъ частымъ перемѣнамъ и не находящихся подъ вліяніемъ большаго или меньшаго спроса на перевозочныя средства. Съ усиленіемъ движенія желѣзнодорожные тарифы имѣютъ тенденцію понижаться, между тѣмъ какъ стоимость перевозки водою или гужемъ по обыкновеннымъ дорогамъ увеличивается съ усиленіемъ спроса на перевозочныя средства. Желѣзнодорожные тарифы не зависятъ отъ времени года, между тѣмъ какъ стоимость гужевой перевозки обусловливается состояніемъ дорогъ и спросомъ на упряжный скотъ для полевыхъ работъ въ зависимости отъ времени года; по внутреннимъ водянымъ путямъ фрахты лѣтомъ и осенью обыкновенно выше, чѣмъ весною, вслѣдствіе убыли воды и невозможности поэтому грузить столько же, какъ весною; кромѣ того осенью фрахты на замерзающихъ рѣкахъ сильно подымаются, ввиду опасности зимовать не дома. Колебанія фрахтовъ, затрудняющія вѣрный расчетъ, тормазятъ конечно развитіе торговли, которая лишь при желѣзнодорожномъ сообщеніи можетъ быть поставлена на прочныхъ основаніяхъ.

Весьма важное преимущество желѣзныхъ дорогъ, сравнительно съ обыкновенными дорогами, состоитъ въ ихъ приспособленности къ массовымъ перевозкамъ; кромѣ того на желѣзной дорогѣ легко совершается переходъ отъ слабаго движенія къ интенсивному или наоборотъ, и можно быстро увеличить, въ случаѣ надобности, провозную способность данной дороги соотвѣтственнымъ переводомъ подвижного состава съ другихъ линій; очевидно, что подобныя измѣненія въ интенсивности движенія на обыкновенныхъ дорогахъ были-бы или совсѣмъ невозможны, или же крайне невыгодны въ экономическомъ отношеніи.

До проведенія желѣзныхъ дорогъ передвиженіе пассажировъ и товаровъ было сравнительно незначительнымъ и лишь при громадной емкости желѣзнодорожныхъ орудій перевозки, оно могло достигнуть нынѣшнихъ колоссальныхъ размѣровъ; извѣстное представленіе о количествѣ совершаемыхъ теперь на желѣзныхъ дорогахъ перевозокъ даетъ таблица № 3, заключающая данныя изъ отчетовъ объ эксплоатаціи желѣзныхъ дорогъ въ нѣкоторыхъ государствахъ за 1908 годъ.

Таблица № 3.

Результаты эксплоатаціи желѣзныхъ дорогъ за 1908 годъ.

НАИМЕНОВАНІЕ ПЕРЕВОЗОКЪ.	Франція.	Германія.	Австро Венгрія	Европейская Россія (безъ Финляндіи)	Сѣв. Америк. Соед. Штаты.	Великобританія.
Перевезено пассажировъ милліоновъ	479	1.336	258	152	890	1278
Общій ихъ пробѣгъ милліоновъ пассажиро-верстъ .	14.849	29.392	9.546	15.720	43.610	—
Средній пробѣгъ одного пассажира въ верстахъ .	31	22	37	103	49	—
На 1 версту сѣти ж. д. приход. тысячей пас. верст	395	548	242	315	125	—
На одного жителя приход. пассажиро верстъ . . .	381	490	195	137	507	—
Перевезено грузовъ малой скорости миліон. пуд. .	9.820	29.187	11.874	11.909	84.90	30.493
Общій пробѣгъ груз. мал. скор. миліард. пуд. вер.	1.199	2819	1229	2656	18.250	—
Средній пробѣгъ одного пуда мал. скор. въ верст.	122	96	102	223	215	—
На 1 версту сѣти ж. д. прих. миліон. пуд.-верст. .	31,8	53,0	31,7	53 ,3	52,2	—
На одного жителя приход. пуд.—верстъ	30.744	46.983	25.082	23.095	212209	—

Желѣзныя дороги, несмотря на недолгій сравнительно періодъ своего развитія, заняли первое мѣсто среди комуникаціонныхъ артерій, оставивъ далеко позади себя другіе пути сообщенія. Обыкновенныя дороги теперь служатъ лишь для подвоза къ станціямъ желѣзныхъ дорогъ и только при перевозкѣ на небольшія разстоянія, когда стоимость нагрузки и выгрузки товаровъ представляетъ значительную сумму въ сравненіи со стоимостью самой перевозки, обыкновенныя дороги могутъ конкурировать съ рельсовыми путями. Внутренніе водяные пути сообщенія имѣютъ преимущество передъ жел. дорогами въ отношеніи дешевизны перевозки, но за то сообщеніе по нимъ совершается медленно и подвержено разнымъ случайностямъ и перерывамъ; поэтому водяныя сообщенія пригодны вообще лишь для перевозки малоцѣнныхъ предметовъ, для коихъ скорость доставки не играетъ существенной роли; кромѣ того, сказанное выше касательно стоимости перевозки относится лишь къ судоходнымъ рѣкамъ, наоборотъ сообщенія по каналамъ, вслѣдствіе значительной стоимости сооруженія и содержанія, обходится дороже желѣзнодорожнаго сообщенія; поэтому устройство каналовъ можетъ быть экономически выгоднымъ лишь въ томъ случаѣ, когда они соединяютъ длинныя судоходныя рѣки. Насколько успѣшно конкурируютъ желѣзныя дороги съ судоходными рѣками видно изъ того обстоятельства, что по обоимъ берегамъ рѣкъ Рейна и Гудзона, обладающихъ исключительно выгодными условіями навигаціи, проведены желѣзныя

дороги, отличающіяся очень интенсивнымъ движеніемъ. Во Франціи, не смотря на обширную ея сѣть судоходныхъ рѣкъ и каналовъ, сыздавна поддерживаемыхъ въ образцовомъ порядкѣ и поглотившихъ колоссальныя суммы на всякаго рода гидротехническія сооруженія, внутренніе водяные пути сообщенія теряютъ значеніе даже и въ отношеніи грузового движенія. Россія въ отношеніи водяныхъ путей сообщенія находится въ неблагопріятныхъ условіяхъ, такъ какъ рѣки ея замерзаютъ на продолжительное время, а главная рѣка Волга впадаетъ въ закрытое море.

6. Классификація желѣзныхъ дорогъ. Подъ желѣзною дорогою, въ обширномъ значеніи этого слова, слѣдуетъ понимать всякій путь, снабженный рельсовою колеею для поддержанія и направленія колесъ двигающихся по немъ повозокъ; такъ какъ развитіе и значеніе желѣзныхъ дорогъ тѣсно связано съ примѣненіемъ паровозной или вообще механической тяги, то въ настоящемъ изложеніи подъ желѣзными дорогами подразумѣваются лишь тѣ рельсовые пути, движеніе по коимъ производится помощью того или другого вида механической тяги; кромѣ того приведенныя здѣсь разсужденія не относятся также и къ трамваямъ, т. е. рельсовымъ путямъ, не имѣющимъ своего особаго земляного полотна, а проложеннымъ по городскимъ улицамъ или обыкновеннымъ дорогамъ и доступныхъ вслѣдствіе этого для экипажной ѣзды по всему своему протяженію—за исключеніемъ лишь тѣхъ случаевъ, когда это будетъ оговорено особо.

Подраздѣленіе жел. дорогъ на отдѣльныя категоріи можетъ быть сдѣлано въ юридическомъ или же техническомъ отношеніи.

Отдѣльныя жел. дороги, смотря по ихъ значенію, могутъ сильно отличаться другъ отъ друга особенностями эксплоатаціи; такъ, напримѣръ, условія работы магистральной линіи, соединяющей столичные города, совсѣмъ другіе, чѣмъ въ случаѣ вѣтви, обслуживающей заводъ или каменный каріеръ; очевидно и требованія, предъявляемыя къ желѣзнымъ дорогамъ, должны быть въ разныхъ случаяхъ различны; отсюда необходимость дѣленія желѣзныхъ дорогъ въ юридическомъ отношеніи. Смотря по тому, назначена-ли жел. дорога служить средствомъ перевозки для всѣхъ, кто пожелаетъ за извѣстную плату воспользоваться ея услугами, или только для отдѣльныхъ лицъ и промышленныхъ предпріятій, она относится къ категоріи дорогъ 1) *общаго пользованія*, или же 2) *частнаго пользованія*; въ первомъ случаѣ жел. дорога обязана поддерживать срочное сообщеніе и удовлетворять всѣ предъявляемыя къ ней требованія по перевозкѣ за опредѣленную плату, во второмъ случаѣ подобныхъ обязательствъ она не несетъ.

Далѣе, смотря по важности обслуживаемаго данной дорогою сообщенія и интенсивности движенія, она должна быть болѣе или менѣе сильно оборудована и способъ ея технической эксплоатаціи долженъ отличаться большею или меньшею степенью совершенства; отсюда необходимость дѣлить желѣзныя дороги въ юридическомъ отношеніи на категоріи, сообразно съ важностью и характеромъ обслуживаемаго ими сообщенія. Такъ въ Германіи желѣзныя дороги раздѣляются на: 1) магистральныя линіи первостепеннаго значенія (Hauptbahnen), соединяющія крупные торговые или промышленные центры и отличающіяся интенсивнымъ транзитнымъ движеніемъ, 2) линіи второстепеннаго значенія (Nebenbahnen), слу-

жащія преимущественно для мѣстнаго, отчасти также и для транзитнаго движенія, въ незначительныхъ сравнительно размѣрахъ, но допускающія во всякомъ случаѣ проходъ подвижного состава магистральныхъ линій первостепеннаго значенія и 3) подъѣздные пути (Kleinbahnen), предназначенные для удовлетворенія нуждъ одного лишь мѣстнаго сообщенія. Подобное же дѣленіе желѣзныхъ дорогъ принято въ Австро-Венгріи. Во Франціи введено дѣленіе желѣзныхъ дорогъ на: 1) линіи общаго значенія (Chemins de fer d'intérêt général) и 2) линіи мѣстнаго значенія (chemins de fer d'intérêt local). Въ Англіи различаются магистральныя линіи и подъѣздные пути (light railways). Въ Россіи установлено дѣленіе на: 1) желѣзныя дороги *общаго значенія* и 2) жел. дороги *мѣстнаго значенія (подъѣздные пути)*.

Смотря потому является-ли желѣзная дорога государственной собственностью или принадлежитъ частной компаніи, желѣзныя дороги раздѣляются на *казенныя* и *частныя*.

Въ техническомъ отношеніи желѣзныя дороги могутъ быть подраздѣлены на многочисленныя категоріи сообразно съ особенностями ихъ устройства и эксплоатаціи; ниже перечислены главнѣйшія изъ этихъ особенностей, обусловливающихъ упомянутое подраздѣленіе.

а) *Ширина колей.* Дабы вагоны могли переходить съ одной желѣзной дороги на другую, рельсовымъ путямъ должна быть придана однообразная ширина; поэтому дороги, служащія для транзитнаго движенія, устраиваются, во избѣжаніе перегрузки товаровъ и пересадки пассажировъ, съ однообразной шириной колеи, т. е. съ такъ называемой нормальной колеей. Ширина колеи измѣряется между внутренними, по отношенію къ оси пути, боковыми гранями рельсовыхъ головокъ.

На дорогахъ Западной Европы и Сѣверной Америки нормальная ширина колеи равна $4'8\frac{1}{2}''$ (1435 mm.) [1]); ширина эта установилась при слѣдующихъ обстоятельствахъ: первый путь съ металическими рельсами Reynolds'a (§ 1) былъ уложенъ при разстояніи въ 5′ между наружными гранями вертикальныхъ направляющихъ полокъ уголковъ, сообразно съ обыкновенными размѣрами англійскихъ повозокъ этого времени; Iessop своему пути, приспособленному уже для движенія спеціальныхъ повозокъ съ ребордами у колесъ, придалъ ту же ширину, т. е. 5′ между наружными гранями рельсовъ, а такъ какъ рельсъ Iessop'a имѣлъ головку шириною $1\frac{3}{4}''$, то слѣдовательно ширина колеи внутри получилась равною $5'-1\frac{3}{4}'' \times 2 = 4'8\frac{1}{2}''$; эта ширина колеи внутри была принята и другими инженерами и окончательно введена Stephenson'омъ, ибо при колесахъ съ внутренними ребордами существенную роль стало играть разстояніе между внутренними, а не наружными гранями рельсовъ; та же ширина колеи была принята и въ другихъ странахъ, которыя вслѣдъ за примѣромъ Англіи приступили къ устройству желѣзнодорожной сѣти, ибо идея рельсоваго пути была тамъ настолько новой, что пришлось на первыхъ порахъ копировать англійскіе образцы вплоть до ширины колеи. Въ Россіи, по стратегическимъ соображеніямъ, была установлена отличающаяся отъ западно-европейскихъ, нормальная колея въ 5 футовъ (1524 mm.=0,714 саж.).

---

[1]) Стефенсоновская колея.

Во многихъ странахъ съ обособленными рельсовыми сѣтями установлены особыя нормальныя колеи; такъ, напримѣръ, въ Ирландіи—5′3″(1600mm), на Пиренейскомъ полуостровѣ, а также въ Индіи—5′6″(1676 mm.), въ Японіи—3′6″ (1067 mm.).

Примѣненіе нормальной (широкой) колеи для дорогъ, не имѣющихъ характера транзитныхъ путей и со слабымъ вообще движеніемъ, не всегда раціонально; въ этомъ случаѣ, ради уменьшенія расходовъ на сооруженіе дороги, можетъ оказаться болѣе выгоднымъ проложить рельсовый путь съ болѣе узкою колеей; сбереженія, благодаря уменьшенію первоначальныхъ затратъ, могутъ покрывать съ барышемъ расходы по перегрузкѣ товаровъ. Въ послѣднее время, послѣ сооруженія главнѣйшихъ магистральныхъ линій, начинаетъ развиваться постройка подъѣздныхъ узкоколейныхъ путей, соединяющихъ съ общею рельсовою сѣтью тѣ мѣстности, которыя не настолько развиты въ экономическомъ отношеніи, чтобы проведеніе желѣзной дороги широкой колеи могло окупиться.

Ширины колеи на узкоколейныхъ дорогахъ въ разныхъ государствахъ и даже на отдѣльныхъ дорогахъ въ одномъ и томъ же государствѣ различны; вопросъ этотъ, при исключеніи обмѣна вагонами, не имѣетъ существеннаго значенія; такъ во Франціи принята ширина колеи въ 1000 mm. въ Германіи и Австро-Венгріи—1000 mm. и 750 mm., а въ послѣднее время начинаетъ входить въ употребленіе колея въ 600 mm.; въ Россіи для узкоколейныхъ дорогъ чаще всего примѣняется ширина колеи въ 0,351 саж. (750 mm.), 0,469 саж. (1000 mm.) и 0,5 саж. (1067 mm.), а минимальная ширина установлена въ 600 mm.

b) *Число путей.* Желѣзнодорожная линія можетъ быть 1) *однопутной*, 2) *двухпутной* и 3) *многопутной*. Пропускная способность однопутной линіи ограничена довольно узкими предѣлами, ибо скрещеніе поѣздовъ противоположныхъ направленій движенія можетъ происходить лишь на станціяхъ; опоздавшій поѣздъ одного направленія тормазитъ движеніе поѣзда противоположнаго направленія, а разъ прохожденіе поѣздовъ уклоняется отъ установленнаго расписанія, неизбѣжно являются замѣшательства въ движеніи, сильно уменьшающія пропускную способность дороги. Поэтому дороги съ интенсивнымъ движеніемъ должны быть двухпутными; для движенія поѣздовъ каждаго направленія назначается особый путь; въ Англіи, Франціи, Австро-Венгріи поѣзда двигаются по лѣвому пути, считая по направленію движенія, въ Германіи и въ Россіи (за немногими исключеніями) установлено правопутное движеніе; такъ какъ машинистъ стоитъ обыкновенно съ правой стороны паровоза, то лѣвопутное движеніе, дающее ему возможность лучше слѣдить за полотномъ дороги, имѣетъ повидимому преимущества.

Пропускная способность двухпутной линіи можетъ быть доведена до весьма значительныхъ размѣровъ при условіи, что скорости движенія разнаго рода поѣздовъ не очень разнятся между собою; въ противномъ случаѣ является необходимость въ частыхъ обгонахъ медленныхъ поѣздовъ скорыми, что оказываетъ, конечно, неблагопріятное вліяніе на пропускную способность дороги. Поэтому дороги съ очень сильнымъ движеніемъ устраиваются четырехпутными; два пути предназначаются для движенія скорыхъ

поѣздовъ и два—для медленныхъ; много примѣровъ четырехпутныхъ линій имѣется въ Англіи. Существуютъ наконецъ желѣзнодорожныя линіи съ числомъ путей болѣе четырехъ, но это чаще всего бываетъ лишь на незначительномъ протяженіи, вблизи большихъ городовъ, когда сходятся вмѣстѣ отдѣльныя линіи, направляясь къ общей станціи.

c) *Топографическія условія мѣстности.* Въ зависимости отъ топографическихъ условій пересѣкаемой желѣзными дорогами мѣстности и вытекающихъ отсюда особенностей ихъ устройства и эксплоатаціи, могутъ быть выдѣлены:

1) *Равнинныя дороги*, проложенныя въ ровной мѣстности, преимущественно по долинамъ большихъ рѣкъ и отличающіяся пологими склонами (обыкновенно не болѣе 0,005) и большими радіусами кривыхъ (не менѣе 1000 мтр.); благодаря незначительному сравнительно сопротивленію движенію на подобныхъ дорогахъ, пропускная ихъ способность большая, а условія эксплоатаціи очень выгодны.

2) *Дороги въ холмистой мѣстности* со склонами достигающими 0,01 и минимальнымъ радіусомъ кривыхъ 500 мтр.; къ этой категоріи можетъ быть причислено большинство дорогъ, пересѣкающихъ поперекъ водораздѣлы между рѣками.

3) *Дороги черезъ горные хребты*, представляющія больше всего техническихъ затрудненій при проведеніи; дороги эти обыкновенно принадлежатъ къ магистральнымъ линіямъ первостепеннаго значенія, какъ, напримѣръ, линіи черезъ Альпы въ Европѣ и Скалистыя горы и Кордильеры въ Америкѣ, почему должны обладать значительною пропускною способностью; между тѣмъ топографическія условія заставляютъ прибѣгать къ крутымъ склонамъ (0,025 а иногда и выше) и къ кривымъ малыхъ радіусовъ (до 180 мтр.); вершины хребтовъ обыкновенно приходится пересѣкать длинными тонелями.

4) *Горныя дороги*, представляющія отдѣльныя короткія линіи, ведущія на горныя вершины; на многихъ горныхъ дорогахъ примѣнены очень крутые склоны (дорога на Везувій имѣетъ склонъ 0,63), почему обыкновенно употребляемая на желѣзныхъ дорогахъ система тяги для нихъ не примѣнима и онѣ эксплоатируются по особымъ системамъ тяги (*зубчатыя* и *канатныя* дороги); большинство горныхъ дорогъ устроено для удобства туристовъ.

d) *Способъ расположенія и устройство полотна.* Желѣзнодорожное полотно устраивается обыкновенно земляным въ насыпи или выемкѣ возможно близко къ естественной поверхности земли и лишь въ отдѣльныхъ мѣстахъ желѣзная дорога проводится по мостамъ и віадукамъ, при пересѣченіи рѣкъ или другихъ дорогъ, и въ тонеляхъ черезъ горные хребты. Однако подобное расположеніе полотна дороги, отвѣчающее требованіямъ дешевизны сооруженія, представляетъ существенныя неудобства для городскихъ дорогъ большой скорости, ибо при сколь нибудь оживленномъ уличномъ и желѣзнодорожномъ сообщеніи, движеніе было бы сопряжено съ большою опастностью, не говоря уже о томъ, что оба эти сообщенія служили-бы другъ другу тормазомъ. Поэтому *городскія* жел. дороги устраиваются *надземными* или *подземными*; въ первомъ случаѣ путь устраивается на віадукахъ

металлическихъ или каменныхъ, а во вторыхъ—прокладывается въ тонеляхъ. Примѣромъ надземныхъ дорогъ на металлическихъ віадукахъ могутъ служить городскія дороги Нью-Іорка, Чикаго и Ливерпуля; на каменныхъ віадукахъ устроены городскія дороги въ Берлинѣ и въ Вѣнѣ. Обширная сѣть подземныхъ городскихъ дорогъ проложена въ Лондонѣ и въ Парижѣ.

Наконецъ необходимо еще упомянуть о, такъ пазываемыхъ, *висячихъ* дорогахъ, принадлежащихъ къ категоріи однорельсовыхъ дорогъ; по этой системѣ вагоны движутся подвѣшенными къ натянутому канату или къ жесткимъ фермамъ, которыя поддерживаются соотвѣтственными опорами, находящимися въ извѣстныхъ промежуткахъ; висячія дороги даютъ возможность легко справиться съ затрудненіями, вытекающими изъ трудныхъ топографическихъ условій мѣстности.

е) *Система тяги.* По системѣ тяги поѣздовъ подраздѣленіе желѣзныхъ дорогъ можетъ быть сдѣлано въ двоякомъ отношеніи: 1) по способу сообщенія поѣзду поступательнаго движенія, независимо отъ рода производящей это движеніе энергіи; 2) по роду энергіи, примѣняемой для тяги поѣздовъ. Обыкновенно поступательное движеніе сообщается поѣзду, благодаря сцѣпленію гладкихъ колесъ съ рельсами вслѣдствіе силы тренія; лишь для дорогъ съ очень крутыми подъемами являющаяся такимъ образомъ сила тяги недостаточна, чтобы привести поѣздъ въ движеніе и тогда необходимо прибѣгать къ устройству дорогъ особаго типа, какъ-то: зубчатыхъ или канатныхъ; максимальные подъемы существующихъ желѣзныхъ дорогъ съ обыкновенною системою тяги, по принципу силы тренія, доходятъ до 0,115 (дорога Le Havre-Saint Marie во Франціи). На зубчатыхъ дорогахъ поступательное движеніе поѣзду сообщается зацѣпленіемъ за зубчатую штангу, прикрѣпленную между рельсами къ желѣзнодорожному полотну, зубчатыми же колесами, составляющими одно цѣлое съ локомотивомъ и приводимыми въ движеніе его машиною. На канатныхъ дорогахъ движеніе вагоновъ совершается, благодаря натяженію каната дѣйствіемъ постоянной машины, или же вагонъ поднимается вверхъ подъ дѣйствіемъ лишь силы тяжести спускающагося внизъ вагона, снабженнаго балластомъ (обыкновенно водянымъ). Что же касается рода движущей энергіи, то на желѣзныхъ дорогахъ для этой цѣли примѣняются паръ и электричество. Въ огромномъ большинствѣ случаевъ, эксплоатація желѣзныхъ дорогъ производится помощью паровозовъ, однако въ послѣднее время, по указаннымъ уже выше причинамъ, электрическая тяга поѣздовъ находитъ все болѣе и болѣе обширное примѣненіе на желѣзныхъ дорогахъ.

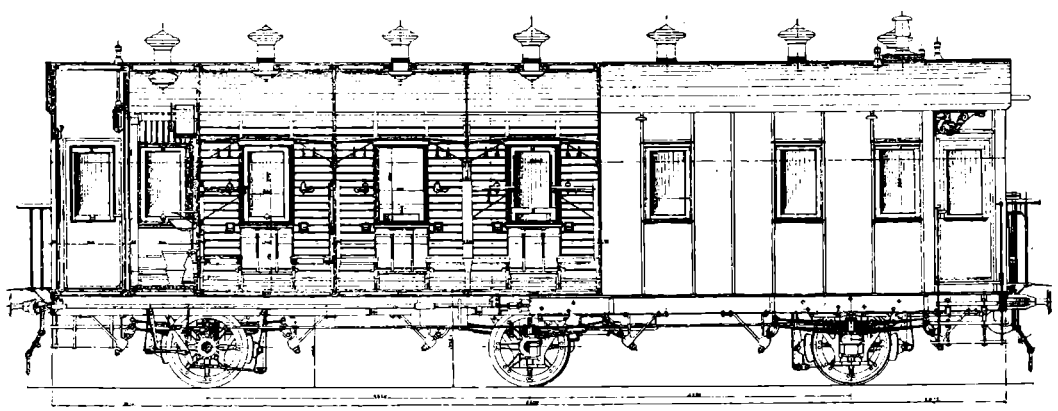
ГЛАВА II.

Общія свѣдѣнія о подвижномъ составѣ.

7. **Типы подвижного состава.** Для правильнаго рѣшенія многихъ вопросовъ при проектированіи направленія желѣзнодорожной линіи, а также и верхняго ея строенія, необходимо знакомство съ нѣкоторыми конструктивными особенностями желѣзнодорожнаго подвижного состава; детальное описаніе устройства подвижного состава выходитъ, конечно, за предѣлы настоящаго курса, составляя, въ особенности по отношенію къ паровозамъ, особый спеціальный предметъ изученія; поэтому ниже приведены по возможности лишь тѣ свѣдѣнія, кои необходимы для уясненія другихъ отдѣловъ настоящаго курса, составляющихъ его спеціальность; къ числу такихъ свѣдѣній относятся преимущественно данныя объ устройствѣ ходовыхъ частей подвижного состава.

Подвижной составъ, смотря потому служитъ ли онъ для помѣщенія

Чер. 5.



1:100 Трехосный пасс. вагонъ III кл. Русскихъ каз. дор. (Таб. 4. № 4).

перевозимыхъ предметовъ или же для развитія движущей энергіи, можетъ быть раздѣленъ на вагоны и локомотивы.

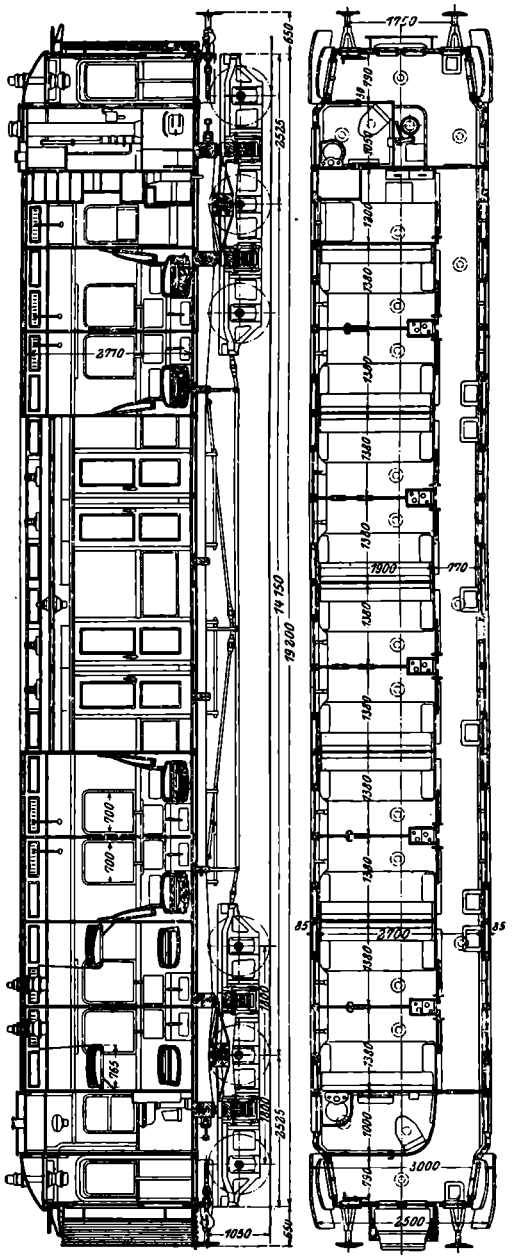
I. *Вагоны* по своему назначенію могутъ быть раздѣлены на пассажирскіе и товарные.

а) Пассажирскіе вагоны характеризуются преимущественно, въ особенности же по отношенію къ устройству ходовыхъ частей, количествомъ поддерживающихъ вагонъ колесныхъ скатовъ.

Двухосные пассажирскіе вагоны, вслѣдствіе неспокойнаго ихъ хода, теперь уже рѣдко примѣняются. Трехосные пассажирскіе вагоны (чер. 5) представляютъ типъ довольно распространенный въ Европѣ; неудобство этого типа въ отношеніи условій его движенія, состоитъ въ значительной длинѣ жесткой базы, достигающей 9 м., вслѣдствіе чего прохожденіе вагона по крутымъ кривымъ и по стрѣлочнымъ переводамъ неудобно. Въ послѣднее

время пассажирскіе вагоны устраиваются преимущественно на отдѣльныхъ, самостоятельно вращающихся телѣжкахъ (чер. 6); будучи очень длинными и тяжелыми, вагоны эти отличаются весьма спокойнымъ ходомъ, а между тѣмъ, благодаря незначительной длинѣ жесткой базы, вписываются легко въ крутыя кривыя; телѣжки дѣлаются двухосными или же трехосными, въ случаѣ очень тяжелыхъ вагоновъ.

Чер. 6.



1:125. Шестиосный пасс. вагонъ I кл. Прусскихъ каз. дор. (Таб. 4. № 13).

Въ таблицѣ № 4 приведены для нѣкоторыхъ типовъ пассажирскихъ вагоновъ главнѣйшія характеризующія ихъ данныя. Все большія и большія требованія комфорта при путешествіяхъ заставляютъ увеличивать вѣсъ пассажирскихъ вагоновъ, который для нѣкоторыхъ типовъ достигаетъ теперь уже 3 тон. на каждое пассажирское мѣсто, вслѣдствіе чего полезный пробѣгъ груза составляетъ незначительный лишь процентъ отъ пробѣга мертвой вагонной тары.

b) Товарные вагоны могутъ быть раздѣлены на обыкновенные, служащіе для перевозки всякаго рода грузовъ, съ подраздѣленіемъ въ свою очередь на открытые и крытые, и на спеціальные вагоны, имѣющіе особую конструкцію или же извѣстныя приспособленія и предназначенные для перевозки лишь нѣкоторыхъ опредѣленныхъ категорій грузовъ. Что же касается числа поддерживающихъ вагонъ осей, то въ Европѣ преимущественно распространены двухосные товарные вагоны (чер. 7), незначительной сравнительно подъемной силы, между тѣмъ какъ въ Америкѣ примѣняются товарные вагоны на телѣжкахъ большой подъемной силы (чер. 8).

Незначительные сравнительно размѣры товарныхъ вагоновъ на европейскихъ желѣзныхъ дорогахъ стоятъ отчасти въ связи съ довольно распространеннымъ, особенно на дорогахъ западной Европы, способомъ станціонныхъ маневровъ, помощью легкихъ

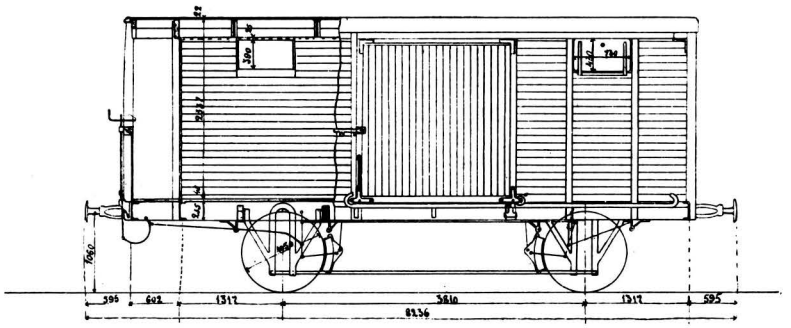
Таблица № 4.

Типы пассажирскихъ вагоновъ.

№	Наименованіе вагоновъ.	Число осей.	Длина базы.		Полная длина вагона м.	Вѣсъ (въ порожн. состоян.)	
			Жесткой м.	Полная м.		Всего вагона тон.	На одно пассажирск. мѣсто клгр.
1	III класса Прусскихъ казен. дорогъ	2	4 60	4,60	9,70	12,6	287
2	I класса жел. дор. d'Orléans (Франція) . . .	2	7,00	7,00	13,24	14,0	667
3	III класса Прусскихъ казен. дорогъ.	3	6,50	6,50	11,80	15,5	310
4	III класса Русскихъ казен. дорогъ	3	8 50	8,50	14,65	23,0	573
5	I/II класса Kaiser - Ferdinands Nordbahn (Австрія)	3	9,00	9,00	14,24	21,0	583
6	I класса жел. дор. Paris-Lyon-Mediterranée (Франція)	3	7,20	7,20	11,80	16,1	644
7	III класса Баденскихъ каз. дор.	2×2	2,50	13,90	17,16	30,0	406
8	I/II класса Прусскихъ каз. дор.	2×2	2,50	14,50	18,29	31,0	775
9	I класса Русскихъ каз. дор. (спальн.). . . .	2×2	2,03	14,53	19.21	36,8	2045
10	I класса (столовая) London and North-Western R. (Англія)	2×3	3,50	16,30	20,00	53,0	1650
11	I класса (салонъ) Wagner-Company (Сѣв. Амер. Соед. Штаты)	2×3	3,20	20,30	23,80	40,9	1573
12	I клас. (спальн.) Pulmann-Company (Сѣв. Амер. Соед. Штаты)	2×3	3,20	19,67	23,17	51,0	2550
13	I клас. (спальн.) Прус. казен. дорогъ . . .	2×3	3,60	17,75	20,50	50,9	2545

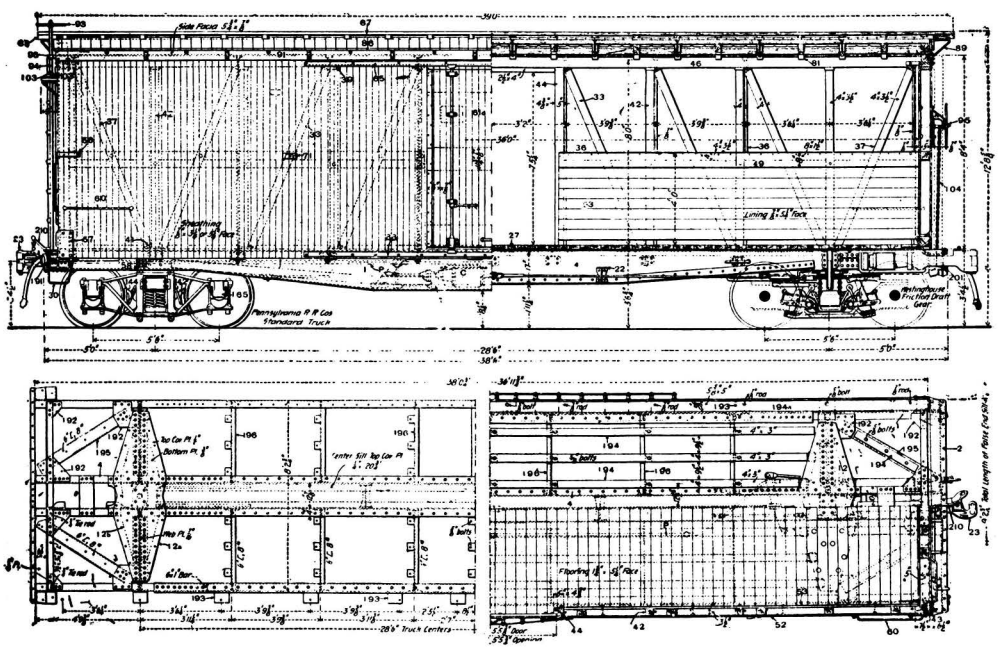
поворотныхъ круговъ; лишь въ послѣднее время начинаютъ входить въ употребленіе въ Европѣ вагоны значительной подъемной силы, преимущественно для нѣкоторыхъ спеціальныхъ категорій массовыхъ грузовъ, напримѣръ, для каменнаго угля. (чер. 9).

Чер. 7.



1:100. Нормальный крыт. товарн. вагонъ Русскихъ каз. дор. (Табл. 5. № 8).

Чер. 8.



1:100. Крытый товарн. вагонъ Pennsylvania R. R. (Табл. 5. № 9).

Открытые товарные вагоны даютъ возможность удобно производить нагрузку и выгрузку, въ особенности если для сего устроены механическія приспособленія; на дорогахъ западной Европы открытыхъ вагоновъ имѣется значительно болѣе, чѣмъ крытыхъ, и при короткихъ, сравнительно, разстояніяхъ перевозки тщательное прикрытіе отъ непогоды для большинства товаровъ не является необходимымъ; въ Россіи въ этомъ отношеніи условія

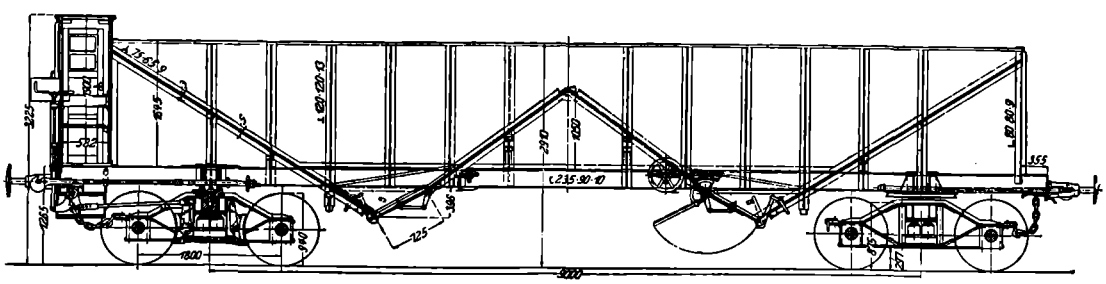
совершенно другія, почему русскія желѣзныя дороги эксплоатируются преимущественно крытымъ подвижнымъ составомъ, тѣмъ болѣе, что условія мобилизаціоннаго движенія требуютъ значительнаго количества крытыхъ товарныхъ вагоновъ.

Для перевозки нѣкоторыхъ категорій грузовъ устраиваются спеціальные вагоны особой конструкціи или съ особыми приспособленіями, какъ-то: вагоны цистерны, для перевозки наливомъ нефти, керосина и т. п., вагоны ледники, для перевозки мяса, масла и т. п., вагоны для сыпучихъ веществъ съ приспособленіями для болѣе легкой ихъ выгрузки (чер. 9) и другіе; на сѣверо-американскихъ жел. дорогахъ примѣняются спеціальные вагоны для балластировки пути съ устройствами, позволяющими быстро и удобно разгружать балластъ.

Въ табл. № 5 приведены для нѣкоторыхъ типовъ товарныхъ вагоновъ главнѣйшія характеризующія ихъ данныя.

II. *Паровозы* въ зависимости отъ способа помѣщенія запасовъ воды и топлива раздѣляются на паровозы съ тендеромъ, если для помѣщенія воды

Чер. 9.



1:100. **Угольный** вагонъ Баварскихъ каз. дор. (Таб. 5. № 5).

и топлива служитъ особая, прицѣпленная къ паровозу повозка—тендеръ и на танкъ—паровозы, имѣющіе нераздѣльно съ собою связанныя помѣщенія для воды и топлива; танкъ—паровозы примѣняются, если не считать подъѣздныхъ путей, лишь при особыхъ условіяхъ движенія, между тѣмъ какъ паровозы съ тендерами являются обыкновеннымъ типомъ локомотивовъ для желѣзнодорожной службы.

Сообразно съ условіями той работы, для которой предназначаются данные паровозы, ихъ можно подраздѣлить на: а) пассажирскіе паровозы, б) товаро-пассажирскіе паровозы, б) товарные паровозы и г) паровозы спеціальнаго назначенія, какъ-то: для маневровъ, для пригороднаго движенія, для подъѣздныхъ путей и проч.

Пассажирскіе, въ особенности же курьерскіе паровозы, предназначенные для большихъ скоростей движенія (до 120 клм. въ часъ), имѣютъ движущія колеса (у спаренныхъ осей) *) значительнаго діаметра (около 2 м.), дабы скорость вращенія движущихъ колесъ и связанныхъ съ ними частей механизма не получилась чрезмѣрно большою; ввиду ограниченнаго вѣса

*) Оси связанныя съ поршнями цилиндровъ, коихъ колеса (движущія) приводятъ въ движеніе паровозъ.

Таблица № 5.

Типы товарныхъ вагоновъ.

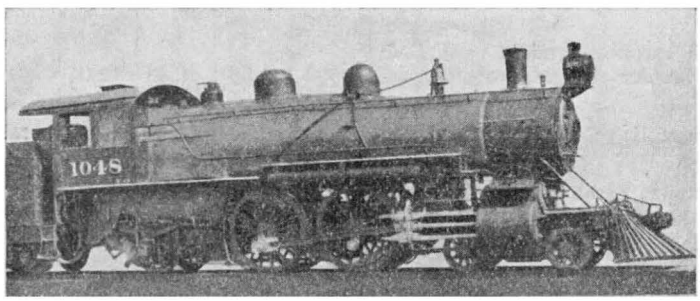
№	Наименованіе вагоновъ.	Число осей.	Длина базы.		Полная длина вагона м.	Подъемная сила вагона тон.	Вѣсъ (въ порожн. состоян.)	
			Жесткой м.	Полная м.			Всего вагона тон.	На 1 тон. подъемн. силы клгр.
1	Открытый угольн. ваг. Прусск. каз. дор.	2	3,60	3,60	8,00	20	8,4	420
2	Открытый ваг. Австрійск. каз. дор. .	2	4,90	4,90	10,12	15	8,3	553
3	Открытый ваг. (платф.) Русск. каз. дор.	2	5,50	5,50	10,40	16,4	—	—
4	Открытый ваг. (платф.) Прусск. каз. дор.	2×3	3,00	11,00	14,30	45	25,7	572
5	Открытый (угольн.) ваг. Баварск. каз. дор.	2×2	1,80	10,80	13,80	38	17,9	471
6	Открытый вагонъ (gondola car) С. & Е. І. Сѣв. Ам. Соед. Штатовъ. . .	2×2	1,58	9,45	12,04	36	14,8	411
7	Крытый ваг. Прус. каз. дор.	2	4,50	4,50	9,30 [1] / 9,60	15	8,7 / 9,6	580 / 640
8	Крытый норм. вагонъ Русск. дор. . .	2	3,81	3,81	7 63 / 8,24	16,4	6,6 / 7,6	403 / 464
9	Крытый ваг. (box car) Pennsylvania R. R. (С. А. С. Ш.).	2×2	1,68	10,36	12,50	45,4	20	440
10	Ваг. ледникъ для молоч. прод. Pennsylvania R. R. (С. А. С. Ш.).	2×2	1,53	9,65	11,44	27,2	18,7	684
11	Четырехосный крытый вагонъ Московско-Казанск. ж. д.	4	5,54	8,30	12,84	29,5	14,2	482
12	Вагонъ-цистерна (tank car) U. T. L. (С. А. С. Ш.)	2×2	1,58	9,75	11,18	31,7	17,2	543
13	Крытый ваг. Екатер. ж. дор.	2×2	1,78	—	15,36	36,9	19,0	515
14	Балласт. вагонъ (Goodwindump car) С. А. С. Ш.	2×2	1,68	8,88	11,66	36	—	—
15	Ваг. для сыпучихъ вещ (hopper car) сист. Vanderbilt (С. А. С. Ш.) . .	2×2	1,53	7,67	10,21	45,4	16,7	368
16	Открытый ваг. для перев. угля (сист. Арбеля) Екатер. жел. дор.	2×2	1,78	—	15,26	36,9	17,0	460

[1]) Цифры, написанныя въ видѣ дроби, относятся: верхняя къ нетормазному, а нижняя къ тормазному вагону.

пассажирскихъ поѣздовъ, величина силы тяги и сцѣпляющаго вѣса (часть вѣса паровоза, приходящаяся на спаренныя оси) не имѣетъ для пассажирскихъ паровозовъ первенствующаго значенія, но поверхность нагрѣва котла должна быть сравнительно значительной, вслѣдствіе большого расхода пара при большихъ скоростяхъ движенія поѣзда.

Въ Германіи скорость паровозовъ ограничивается условіемъ, чтобы число оборотовъ движущихъ осей не превосходило 360 въ минуту *). По дѣйствующимъ въ Россіи правиламъ технической эксплоатаціи желѣзныхъ дорогъ, открытыхъ для общаго пользованія, число оборотовъ въ минуту движущихъ осей паровоза не должно превышать 260 для пассажирскихъ паровозовъ и 225 для товарныхъ паровозовъ; однако для нѣкоторыхъ типовъ паровозовъ допущены большія предѣльныя скорости; такъ для пятиоснаго товарнаго паровоза, типа казенныхъ дорогъ (таб. 6 № 16), допущено 261 оборотовъ движущихъ осей въ минуту, что соотвѣтствуетъ скорости 60 верстъ въ часъ, а для пятиоснаго пассажирскаго паровоза Путиловскаго завода (Таб. 6 № 6) допущено 327 оборотовъ движущихъ осей въ минуту, что соотвѣтствуетъ скорости 100 верстъ въ часъ.

Чер. 10.



Пасс. паровозъ Chicago Rock Island and Pacific R. R. (Табл. 6. № 2).

Очень распространенный прежде типъ пассажирскаго паровоза, а именно паровозъ съ двумя спаренными осями и передней поддерживающей двухосной телѣжкою (типъ 2—2—0) **), примѣняется теперь преимущественно лишь для передвиженія пассажирскихъ поѣздовъ небольшого, сравнительно, вѣса на дорогахъ съ легкимъ профилемъ. Другой типъ паровоза съ двумя спаренными осями, а именно типъ (2—2—1), изображенъ на чер. 10 (двѣ передніе вольныя оси, соединенныя въ телѣжку, двѣ спаренныя оси и одна задняя вольная ось—бѣгунокъ); типъ этотъ (*Atlantic*) отличается спокойнымъ ходомъ, вмѣстѣ съ тѣмъ имѣется просторъ для размѣщенія котла. Вслѣд-

*) Допускаемое число оборотовъ зависитъ отъ расположенія цилиндровъ, а также количества и расположенія вольныхъ и спаренныхъ осей; наибольшее число оборотовъ, 360 въ минуту, допускается для паровозовъ съ двумя внутренними или двумя внутренними и двумя наружными цилиндрами, переднею телѣжкою и не болѣе, какъ съ тремя спаренными осями.

**) Типы паровозовъ различаются по количеству и роду осей; въ принятомъ условномъ обозначеніи первая цифра показываетъ количество вольныхъ переднихъ осей, вторая цифра—количество спаренныхъ осей, а третья цифра—количество вольныхъ заднихъ осей паровоза.

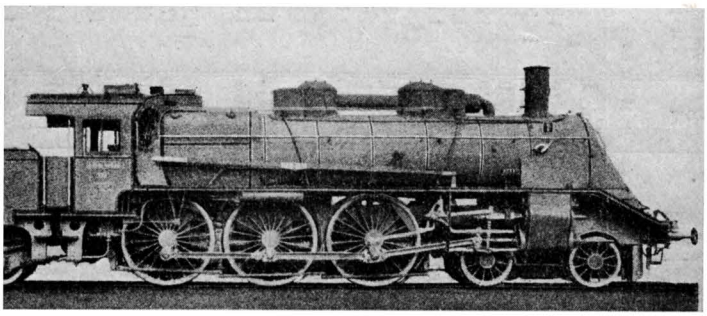
Таблица № 6. Типы паровозовъ.

№№	Наименованіе паровозовъ.	Число и расположеніе спаренныхъ и поддерживающихъ осей.	Діаметръ движущихъ колесъ.	Длина базы.		Паровые цилиндры.			Давленіе пара манометрич.	Поверхность нагрѣва.	Вѣсъ служебный.	
				Жесткой.	Полная.	Число и діаметръ		Ходъ поршня.			Полный.	Сцѣпляющій.
						Высокаго давленія.	Низкаго давленія.					
			м.	м.	м.	м.м.	м.м.	м.м.	атм.	м.²	тон.	тон.
			D			d	d_1	h	p	H	Q_1	Q
	Пассажирскіе паровозы.											
1	Прусскихъ казен. дор.	2—2—0	2,10		8,00	2×550	—	630	12	177	60,6	34,2
2	Chicago. Rock Island and Pacifi R.R (С. А. С. Ш.)	2—2—1	1,85	2,08	9,22	2×381	2×635	660	15,5	298	90,5	47,9
3	Great Western Railway (Англія)	2—2—1	2,04		8,46	4×362	—	660	15,8	199	75,7	40,2
4	Самсонскихъ казен. дор.	2—3—0	1,88		8,50	4×430	—	630	12	187	74,0	48,0
5	Русскихъ казен. дор. (Колом. зав.)	2—3—0	1,70	4,12	7,93	2×575	—	650	12	204	72,9	45,7
6	Рязанск.-Уральск. дор. (Путил. зав.)	2—3—0	1,73	3,90	8,55	2×370	2×580	650	14	182	71,2	45,2
7	Итальянскихъ казен. дор.	1—3—1	1,85			2×360	2×590	650	16,5	243	70,7	45,6
8	Русскихъ дор. (Сормов. зав.)	1—3—1	1,83	4,00	8,90	2×550	—	700	13	251	75,0	46,5
9	Баденскихъ каз. дор.	2—3—1	1.80	3,88	11,23	2×425	2×650	670	16	260	85,0	48,0
10	Бельгійскихъ каз. дор.	2—3—1	1,98	4,10	11.42	4×500	—	660	14	30	102,0	57,0
11	Pennsylvania R.R. (С. А. С. Ш.)	2—3—1	2,03		10,73	2×607	—	660	14,8	411	122,1	78,7
	Товаро пассажирскіе паровозы.											
12	Итальянскихъ казен. дор.	0—3—0	1,50	3,60	3,60	1×460	1×700	640	14	141	45,7	45,7
13	Австрійскихъ дорогъ	1—3—0	1,54		6,20	2×520	—	650	13	185	53,6	42,0
	Товарные паровозы.											
14	Русскихъ казен. дор.	0—4—0	1,20	3,89	3,89	1×500	1×730	650	11,5	153	52,9	52,9
15	Gotthardbahn (Швейцарія)	1—4—0	1,35		7,52	2×395	2×635	640	15	254	76,4	
16	Русскихъ каз. дор.	1—4—0	1,30	4,60	7,80	1×510	1×765	700	14	206	76,5	64,0
17	Завода Maffei въ Мюнхенѣ	0—5—0	1,27	3,20	6,00	2×425	2×650	610/640	16	253	77,5	77,5
18	Бельгійскихъ каз. дор.	1—5—0	1,45	3,70	10,11	4×500	—	660	14	301	104,0	87,8
19	Московско-Казан. дор.	0—3—0 + 0—3—0	1,22	2,80	8,27	2×510	2×710	650	12	214	89,0	89,0
20	Southern Pacific R.R. (С. А. С. Ш).	1—4—0 + 0—4—1	1,45	4,57	17,25	2×660	2×1016	762	14	656	193,0	179,0

Примѣчаніе. Паровозы подъ №№ 1, 4, 5, 8, 9, 10, 13, 15, 17, 18, 19, 20 снабжены перегрѣвателями пара, поверхность нагрѣва коихъ включена въ указанную въ таблицѣ общую поверхность нагрѣва котла.

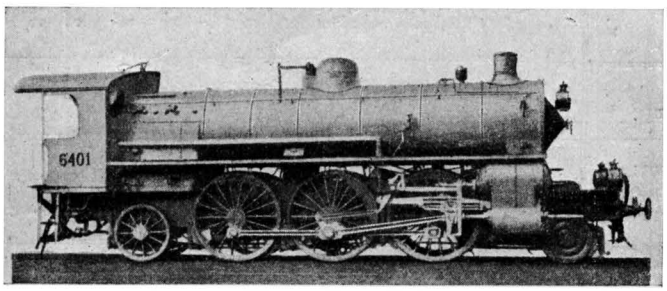
ствіе увеличенія вѣса и скорости движенія пассажирскихъ поѣздовъ, оказалось необходимымъ сконструировать для нихъ болѣе мощные пассажирскіе паровозы, а именно съ тремя спаренными осями; на чер. 11 показанъ одинъ изъ типовъ упомянутыхъ паровозовъ, а именно типъ 2—3—0 (три спа-

Чер. 11.



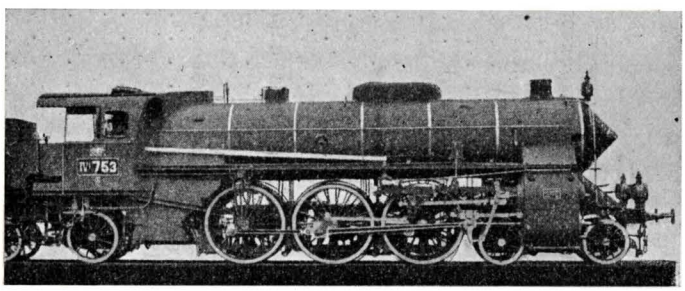
Пасс. паровозъ Саксонскихъ каз. дор. (Табл. 6. № 4).

Чер. 12.



Пасс. паровозъ Италіанскихъ каз. дор. (Табл. 6. № 7).

Черт. 13.



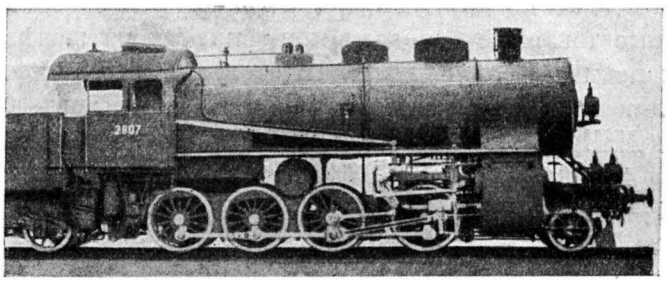
Пасс. паровозъ Баденскихъ каз. дор. (Табл. 6. № 9).

ренныя оси и передняя направляющая телѣжка). Другой типъ пассажирскаго паровоза съ тремя спаренными осями, а именно паровозъ 1—3—1 (типъ *Prairie*), изображенъ на чер. 12. Наконецъ, въ послѣднее время получилъ широкое распространеніе пассажирскій паровозъ съ тремя спаренными

осями типа 2—3—1 (типъ *Pacific*, передняя направляющая телѣжка, три спаренныя оси и задній бѣгунокъ); типъ этотъ, изображенный на чер. 13, отличается спокойнымъ ходомъ и большою мощностью.

Товаро-пассажирскіе паровозы служатъ для перемѣщенія пассажирскихъ поѣздовъ небольшой, сравнительно, скорости и легкихъ (въ отношеніи сопротивленія движенію) товарныхъ поѣздовъ; представителями этого типа паровозовъ служатъ: трехосный паровозъ со всѣми спаренными осямъ

Чер. 14.

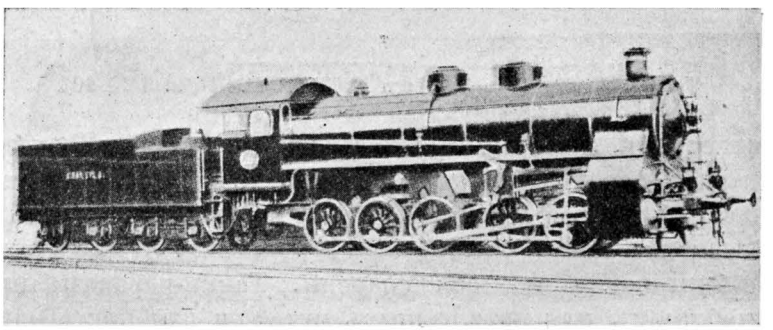


Товарный паровозъ Gotthardbahn. (Табл. 6. № 15).

(0—3—0) и четырехосный паровозъ съ тремя спаренными осями и переднимъ бѣгункомъ (1—3—0); болѣе всего распространенъ послѣдній типъ.

Товарные паровозы предназначаются для передвиженія тяжелыхъ (въ отношеніи сопротивленія движенію) товарныхъ составовъ, при чемъ развивать большой скорости не требуется; поэтому у товарныхъ паровозовъ діа-

Чер. 15.



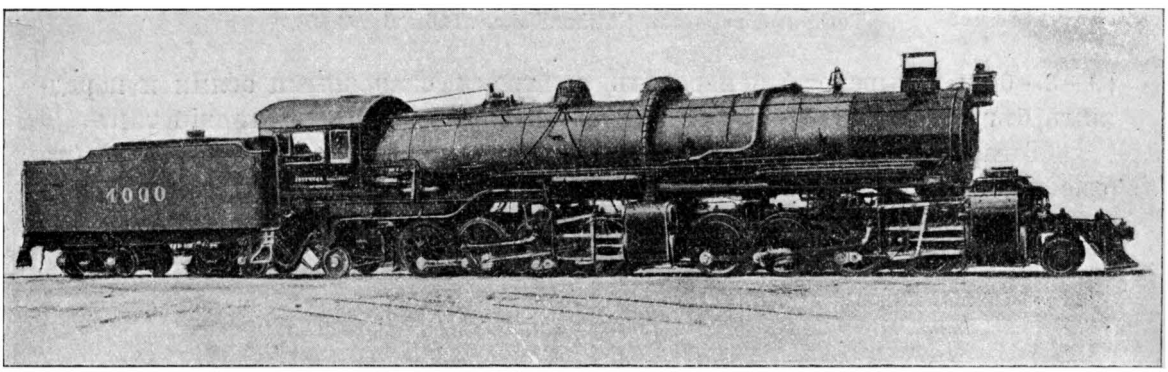
Товарный паровозъ завода Maffei въ Мюнхенѣ. (Табл. 6. № 17).

метръ движущихъ колесъ значительно меньше, по сравненію съ курьерскими паровозами. Для возможности преодолѣть большое сопротивленіе движенію, товарный паровозъ долженъ имѣть значительную силу тяги и сцѣпленіе съ рельсами, для чего вѣсъ паровоза долженъ быть значительнымъ, а часть его, приходящаяся на спаренныя оси, должна быть возможно большей.

Очень распространенный прежде типъ четырехоснаго товарнаго паровоза со всѣми спаренными осями вытѣсняется теперь пятиосными паровозомъ съ четырьмя спаренными осями (чер. 14, типъ 1—4—0 *Consolidation*).

Еще болѣе мощными типами товарныхъ паровозовъ являются: пятиосный паровозъ со всѣми спаренными осями (чер. 15, типъ 0—5—0) и шестиосный паровозъ съ пятью спаренными осями (типъ 1—5—0). Для работы при особо тяжелыхъ условіяхъ, примѣняются товарные паровозы съ шестью или восьмью спаренными осями, связанными по три или по четыре въ двухъ отдѣльныхъ телѣжкахъ (по системѣ *Mallet*'а); оси каждой изъ упомянутыхъ телѣжекъ приводятся въ движеніе отдѣльными паровыми цилиндрами; при такой конструкціи паровозъ можетъ быть спроектированъ очень большимъ и сильнымъ, а между тѣмъ, благодаря незначительной длинѣ жесткой базы, прохожденіе его даже по крутымъ кривымъ не представляетъ затрудненій. Особенно мощные товарные паровозы примѣняются на желѣзныхъ дорогахъ сѣверо-американскихъ Соединенныхъ Штатовъ; на чер. 16 изображенъ одинъ изъ самыхъ тяжелыхъ и мощныхъ товарныхъ паровозовъ Сѣверной Америки (системы Mallet'а); десятиосный паровозъ имѣетъ 8 движущихъ осей, спаренныхъ по 4 въ группѣ и два бѣгунка по одному спереди и сзади паровоза (типъ 1—4—0+0—4—1).

Чер. 16.



Товарный паровозъ Southern Pacific R. R. (Табл. 6 № 20).

Для маневровъ примѣняются обыкновенно танкъ-паровозы, которые могутъ итти одинаково удобно какъ переднимъ, такъ и заднимъ ходомъ и, благодаря дополнительной нагрузкѣ отъ запасовъ воды и топлива, обладаютъ значительною силою сцѣпленія съ рельсами; у маневровыхъ танкъ-паровозовъ обыкновенно всѣ оси спарены. Танкъ-паровозы примѣняются также съ удобствомъ для подъѣздныхъ путей и для пригороднаго движенія, благодаря тому, что они не нуждаются въ поворотѣ на оконечныхъ станціяхъ, вслѣдствіе чего сокращаются маневры и улучшается оборотъ подвижного состава. На чер. 17 показанъ танкъ-паровозъ венгерскихъ казенныхъ дорогъ, примѣняемый для эксплоатаціи подъѣздныхъ путей.

Въ таблицѣ № 6 приведены для нѣкоторыхъ паровозовъ главнѣйшіе характеризующіе ихъ размѣры; какъ видно изъ таблицы, давленіе на ось у современныхъ (американскихъ) паровозовъ достигаетъ 27 тон. (№ 11), а общій вѣсъ 200 тон. (№ 20).

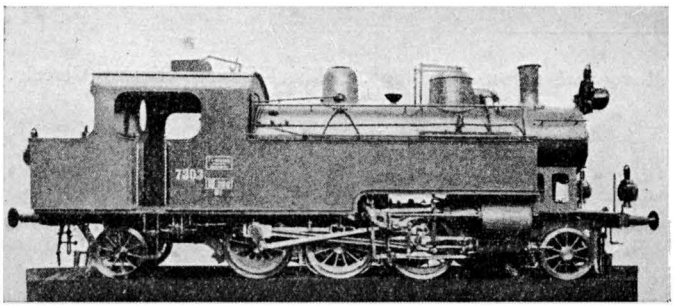
III. Электровозы примѣняются на желѣзныхъ дорогахъ съ электрической тягою для приведенія въ движеніе дальнихъ пассажирскихъ и товар-

ныхъ поѣздовъ; поѣзда же пригороднаго сообщенія составляются, по приведеннымъ выше мотивамъ, изъ моторныхъ вагоновъ и прицѣпныхъ къ нимъ обыкновенныхъ вагоновъ.

Электровозы и моторные вагоны, въ зависимости отъ способа собиранія тока съ рабочаго провода, могутъ быть либо съ верхнимъ контактомъ, если рабочій токъ распредѣляется помощью воздушныхъ проводовъ, либо съ нижнимъ контактомъ, если рабочій токъ распредѣляется помощью, такъ называемаго, третьяго рельса, уложеннаго параллельно путевымъ рельсамъ, нѣсколько выше послѣднихъ. Въ зависимости отъ рода рабочаго тока электровозы и моторные вагоны могутъ быть постояннаго тока, перемѣннаго трехфазнаго и перемѣннаго однофазнаго тока.

У моторныхъ вагоновъ, кузовъ коихъ приспосабливается подъ помѣщеніе для пассажировъ, электромоторы должны помѣщаться ниже пола вагона; обыкновенно электромоторъ подвѣшивается съ одной стороны на рессорахъ къ рамѣ вагона или вагонной телѣжки, а съ другой стороны опирается на движущую ось вагона помощью подшипниковъ; на оси мотора

Чер. 17.



Танкъ-паровозъ Венгерскихъ каз. дор. для подъѣздныхъ путей.

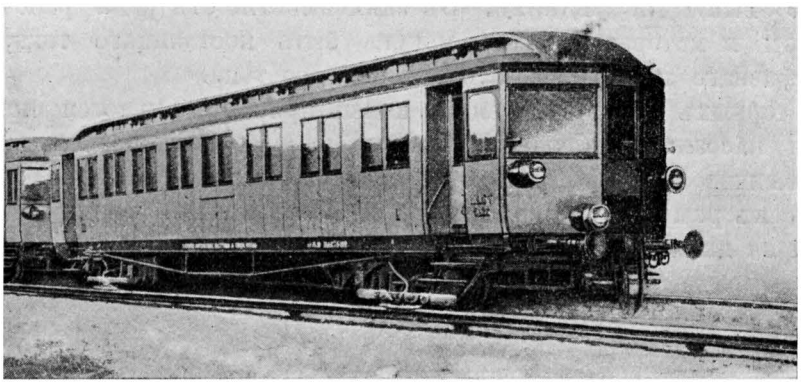
имѣется шестерня, приводящая во вращеніе зубчатое колесо, надѣтое на движущую ось вагона.

На чер. 18 показанъ моторный вагонъ постояннаго тока съ нижнимъ контактомъ жел. дор. Milano—Varese—Porto Ceresio въ Италіи; вагонъ четырехосный (на двухъ телѣжкахъ) снабженъ четырьмя электромоторами, которые помѣщены внутри телѣжекъ и подвѣшены соотвѣтственно съ одной стороны къ оси вагона, а съ другой къ поперечной балкѣ телѣжки; для собиранія тока съ третьяго рельса, каждый вагонъ снабженъ 4 чугунными ползунами, по 2 съ каждой стороны, по концамъ вагона; ползунъ подвѣшенъ къ вагону упруго въ вертикальномъ направленіи и прижимается къ рельсу собственнымъ вѣсомъ.

Электровозы по своему устройству значительно отличаются отъ моторныхъ вагоновъ; такъ какъ кузовъ электровоза можетъ быть использованъ для помѣщенія электромоторовъ, то вмѣсто многихъ сравнительно слабыхъ, можно примѣнять меньшее количество болѣе мощныхъ двигателей, что выгоднѣе въ отношеніи содержанія (электровозъ обыкновенно снабжается двумя моторами); передача движенія отъ моторовъ движущимъ осямъ электровоза

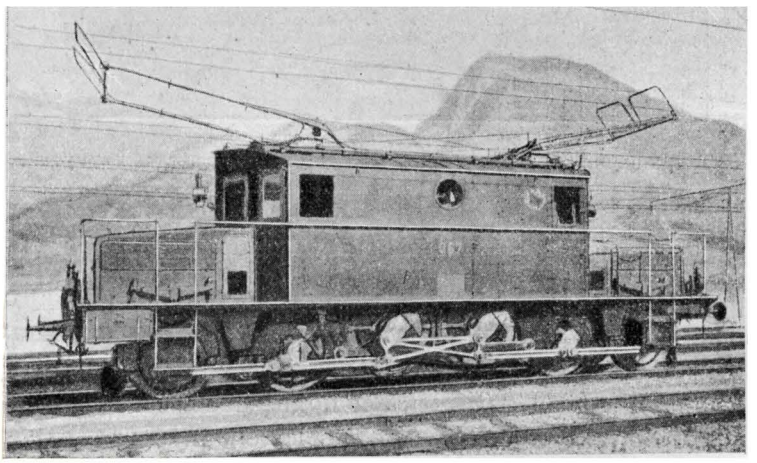
устраивается помощью кривошиповъ, шатуновъ и спарниковъ, имѣющихъ конструкцію, аналогичную соотвѣтственнымъ частямъ паровоза; указанное расположеніе моторовъ удобно еще и въ томъ отношеніи, что они, находясь внутри кузова электровоза, легко доступны для исправленія и осмотра даже во время движенія, а вмѣстѣ съ тѣмъ центръ тяжести электровоза достаточно высокъ, что выгодно въ отношеніи дѣйствія его на рельсовый путь.

Чер. 18.



Моторный вагонъ жел. дор. Milano—Varese—Porto—Ceresio.

Чер. 19.



Электровозъ Симплонской жел. дор.

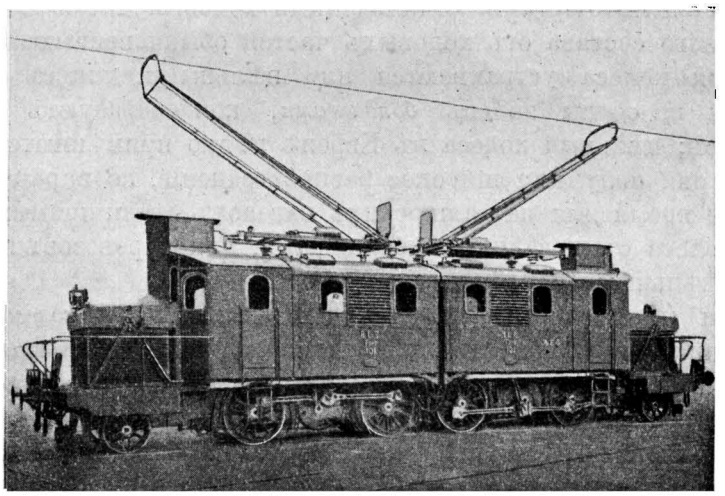
Что касается числа и расположенія движущихъ и вольныхъ осей и величины діаметра движущихъ колесъ, то для электровозовъ имѣютъ силу соображенія, приведенныя выше при описаніи паровозовъ.

На чер. 19 изображенъ электровозъ перемѣннаго трехфазнаго тока съ верхнимъ контактомъ, обслуживающій движеніе поѣздовъ черезъ Симплонскій тонель; электровозъ, вѣсомъ 68 тон., имѣетъ 4 оси и 2 мотора, расположенные между двумя средними осями; всѣ оси электровоза движущія

и соединены системою кривошиповъ, шатуновъ и спарниковъ между собою и съ моторами; наибольшая сила тяги этого электровоза, который примѣняется для передвиженія какъ пассажирскихъ, такъ и товарныхъ поѣздовъ, достигаетъ 12 тон.

Чер. 20 изображаетъ электровозъ перемѣннаго однофазнаго тока съ верхнимъ контактомъ Лечбергской жел. дор. въ Швейцаріи; электровозъ общимъ вѣсомъ 93 тон., изъ чего 68 тон. приходится на движущія оси, состоитъ изъ двухъ симметричныхъ частей, каждая изъ коихъ имѣетъ двѣ движущія и одну направляющую ось; рамы обѣихъ частей электровоза, соединены между собою по способу, практикуемому для соединенія тендера съ паровозомъ, а кузова ихъ соединены гибкою гармоніей; благодаря описанному устройству, электровозъ легко вписывается въ крутыя кривыя; въ

Чер. 20.



Электровозъ Лечбергской жел. дор.

каждой части электровоза установленъ, въ промежуткѣ между движущими осями и выше послѣднихъ, моторъ, приводящій въ движеніе означенныя оси помощью системы кривошиповъ, шатуновъ и спарниковъ, при посредствѣ промежуточнаго вала; наибольшая сила тяги этого электровоза 13,5 тоннъ.

Электровозы имѣютъ симметричную, относительно поперечной ихъ оси, конструкцію, почему могутъ одинаково удобно двигаться въ обоихъ направленіяхъ, не нуждаясь въ поворотѣ на кругахъ.

8. Колеса и оси. Колеса желѣзнодорожнаго подвижного состава насаживаются наглухо на оси, которыя такимъ образомъ при движеніи состава вращаются вмѣстѣ съ колесами. Хотя глухая насадка колёсъ ухудшаетъ условія движенія въ кривыхъ, о чемъ болѣе подробно сказано ниже, однако она повсемѣстно принята при устройствѣ желѣзнодорожнаго подвижного состава, ибо въ этомъ случаѣ конструкція подшипника у оси получается много проще, чѣмъ это быть-бы могло при свободно-вращающихся около оси колесахъ; кромѣ того при свободной насадкѣ колесъ могъ-бы легко

произойти сходъ подвижного состава послѣ нѣкоторой разработки колесныхъ втулокъ, ибо въ такомъ случаѣ колеса при движеніи могли бы занимать различныя наклонныя къ осямъ положенія.

Для направленія подвижного состава и предупрежденія схода съ рельсовъ при движеніи, колеса снабжаются *ребордами* или *гребнями*, устраиваемыми съ внутренней стороны колеса. Тотъ же принципъ движенія желѣзнодорожнаго состава по опредѣленнымъ направляющимъ (рельсамъ), для чего колесныя оси должны постоянно занимать положеніе нормальное къ продольной оси рельсовой колеи, требуетъ неизмѣняемости положенія осей, по отношенію къ рамѣ подвижного состава (или къ рамѣ телѣжки), которая обезпечиваетъ надлежащее ихъ расположеніе въ рельсовой колеѣ; поэтому колесныя оси, поддерживающія одну и ту же раму, должны при движеніи оставаться постоянно параллельными другъ другу.

Глухая насадка колесъ, направляющія реборды и параллелизмъ осей являются главными чертами, отличающими ходовыя части желѣзнодорожнаго подвижного состава отъ ходовыхъ частей обыкновенныхъ повозокъ.

Вагонныя колеса устраиваются или цѣльными, или съ отдѣльными, насаженными на ободы колесъ *бандажами*, кои образуютъ поверхность катанія колесъ; цѣльныя колеса въ Европѣ рѣдко примѣняются; наоборотъ въ Америкѣ они получили широкое распространеніе, но впрочемъ и тамъ въ послѣднее время для пассажирскихъ вагоновъ стали примѣнять преимущественно колеса съ отдѣльными бандажами; для паровозовъ примѣняются колеса съ отдѣльными бандажами.

Бандажи (шины) выдѣлываются изъ стали, а для *колесныхъ центровъ* (ступицы, спицы и ободы) можетъ быть примѣнена не только сталь, но и желѣзо, чугунъ, смотря по ихъ назначенію, размѣрамъ и формѣ.

Ступица колеса соединяется съ его ободомъ помощью спицъ. Вагонныя колеса иногда дѣлаются сплошными (дисковые колеса); заполненіе колеса въ такомъ случаѣ можетъ быть сдѣлано не только изъ металла, но также изъ дерева или бумажной массы (сплошной дискъ деревянный или бумажной массы между ступицею колеса и бандажомъ).

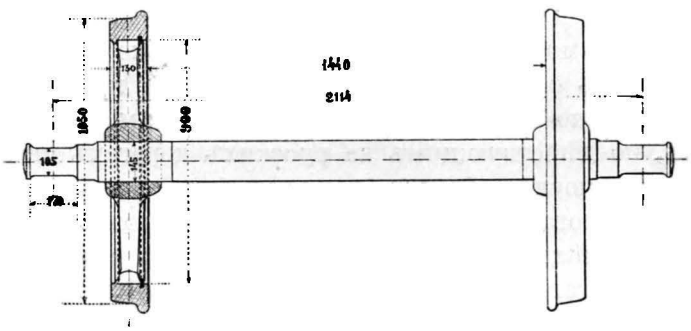
Колеса насаживаются на оси подъ гидравлическимъ давленіемъ, для чего ступица растачивается слегка конусомъ.

Бандажи передъ насаживаніемъ на колеса разогрѣваются, укорачиваясь затѣмъ при охлажденіи, они сильно натягиваютъ ободы; кромѣ того бандажи еще прикрѣпляются къ колеснымъ ободамъ описанными ниже способами.

На чертежѣ 21 показана колесная пара нормальнаго товарнаго вагона русскихъ жел. дорогъ; разстояніе въ свѣту между бандажами колесъ пары назначено 1440 м.м., при чемъ предѣлы неточности насадки колесъ ограничены 3 м.м. въ ту или другую сторону; такимъ образомъ максимальное разстояніе между бандажами можетъ достигать 1443 м.м., а минимальное 1437 м.м.; ширина бандажа 130 м.м. На чертежѣ указанъ способъ непрерывнаго прикрѣпленія бандажа къ ободу колеса (германскій способъ); по этому способу для удержанія бандажа имѣются: съ одной стороны соотвѣтственная выточка въ бандажѣ, а съ другой—стальное загнутое кольцо, загнанное въ выемку бандажа и обхватывающее край обода колеса. Закрѣ-

пленіе это предупреждаетъ, очевидно, отдѣленіе бандажа отъ колеса, если бы даже онъ лопнулъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ. По другому способу закрѣпленія (Манзеля), бандажъ удерживается на ободѣ двумя фасонными желѣзными кольцами, стянутыми между собою помощью болтовъ или заклепокъ. Ось выступаетъ въ наружную сторону за предѣлы колесъ и заканчивается обточенными, по нѣсколько меньшему діаметру, частями (ограниченными заплечиками), такъ называемыми *осевыми шейками*, послѣднія при помощи *подшипниковъ*, *буксъ* и *рессоръ* поддерживаютъ *вагонную раму*; такое расположеніе точекъ опоры снаружи колесъ придаетъ рамѣ устойчивость и дѣлаетъ буксы легко доступными для осмотра и смазки.

Чер. 21.

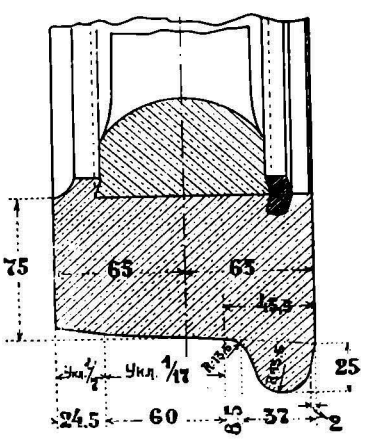


1:28. Колесная пара норм. товар. вагона Русскихъ дор.

На чертежѣ 22 показалъ бандажъ нормальнаго товарнаго вагона русск. жел. дорогъ.

Гребни бандажей данной колесной пары не могутъ одновременно касаться обоихъ рельсовъ колеи; для возможности движенія долженъ оставаться нѣкоторый свободный зазоръ; величина этого зазора зависитъ отъ толщины гребня въ мѣстѣ соприкасанья его съ рельсовой головкой; положеніе этой точки соприкасанія различно для разныхъ рельсовъ, смотря по ихъ очертанію головки, вмѣстѣ съ чѣмъ измѣняется также упомянутая величина зазора. Для рельсовъ русскихъ жел. дорогъ и указаннаго на чертежѣ 22 нормальнаго вагоннаго бандажа можно принять, съ совершенно незначительными въ отдѣльныхъ случаяхъ погрѣшностями, толщину гребня въ мѣстѣ касанія его съ рельсовою головкою въ 33 м.м., считая эту толщину между внутреннею вертикальною гранью бандажа и вертикальною касательною плоскостью къ рельсовой головкѣ; слѣдовательно, при ширинѣ колеи на прямой 1524 м.м., нормальная величина полнаго зазора между гребнями и рельсами составляетъ на русскихъ жел. дор. 1524—1440—

Чер. 22.



1:4. Бандажъ норм. товар. вагона Русскихъ дор.

—2×33=18 м./м,; минимальная же величина зазора при широкой насадкѣ колесъ равна 1524—1443—2×33=15 м.м. Для дорогъ германскаго желѣзнодорожнаго союза широкой колеи (1435 м.м.) наименьшій зазоръ на прямыхъ назначенъ въ 10 м.м.; на французскихъ желѣзныхъ дорогахъ, гдѣ ширина колеи установлена не въ свѣту, а между осями рельсовъ (1500 м.м.), зазоръ на прямой больше, а именно въ связи съ шириною рельсовой головки колеблется въ предѣлахъ 21 м.м.—26 м.м.

Свѣсъ гребня бандажа (чер. 22) въ плоскости внутренней его грани, считая отъ продолженной конической поверности катанья, равенъ 25 м/м., а слѣдовательно свѣсъ гребня ниже верха рельса, при возможныхъ положеніяхъ бандажа на рельсѣ, достигаетъ 30 м.м.

Бандажи при движеніи изнашиваются, теряя вмѣстѣ съ тѣмъ правильное свое очертаніе; для возстановленія прежней формы ихъ обтачиваютъ; дабы такую обточку можно было повторить нѣсколько разъ и такимъ образомъ продлить срокъ службы бандажа, послѣднему придана, какъ видно изъ чер. 22., довольно значительная толщина (75 м.м. въ серединѣ сѣченія), при чемъ, по дѣйствующимъ на русскихъ дорогахъ постановленіямъ, толщина бандажа послѣ обточки должна быть не менѣе 30 м.м. для пассажирскихъ вагоновъ и 25 м.м. для товарныхъ вагоновъ. Обточка бандажа должна быть непремѣнно произведена, когда износъ его достигнетъ извѣстныхъ предѣловъ, установленныхъ техническимъ соглашеніемъ объ обмѣнѣ товарными вагонами между желѣзными дорогами; для русскихъ жел. дор. наибольшій, равномѣрный износъ поверхности катанья (прокатъ) ограниченъ 5 м.м., при чемъ допускается мѣстный износъ (выбоины) нѣсколько болѣе, а именно 7 м.м., износъ-же гребня—до толщины 22 м.м. (на разстояніи 18 м.м. отъ края). [2]). При указанныхъ нормахъ, наибольшій зазоръ въ колеѣ на прямой можетъ достигать 1524—1437—2×22=43 м.м., а свѣсъ гребня отъ верха рельса 30+7=37 м.м.

Поверхность катанія бандажа русскаго нормальнаго товарнаго вагона представляетъ коническую поверхность съ наклономъ образующихъ въ $^1/_{17}$, а наружный край бандажа скошенъ по болѣе крутому конусу. Примѣненіемъ коническихъ бандажей имѣлось въ виду заставить колесные скаты двигаться въ положеніи симметричномъ по отношенію къ оси колеи, а главное облегчить прохожденіе по кривымъ; однако болѣе подробное изученіе сего вопроса, о чемъ сказано ниже, приводитъ къ заключенію, что коничность бандажей не улучшаетъ, а скорѣе ухудшаетъ условія движенія желѣзнодорожнаго состава.

На западноевропейскихъ жел. дорогахъ примѣняются коническіе бандажи съ уклономъ около $^1/_{20}$, между тѣмъ какъ въ Америкѣ поверхности катанія бандажей (чер. 23) дѣлаются почти цилиндрическими. Для пассажирскихъ вагоновъ примѣняются такіе же колесныя пары, какъ и для товарныхъ вагоновъ, лишь толщина осей у пассажирскихъ вагоновъ нѣсколько больше.

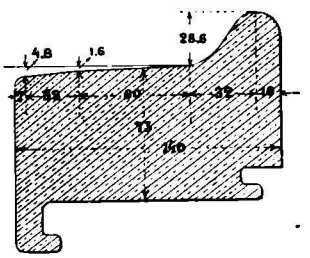
---

[1]) Т.-е. пренебрегая нѣкоторою незначительною величиною, представляющей разстояніе отъ вертикальной касательной плоскости къ рельсовой головкѣ, до точки касанья гребня съ рельсовою головкою.

[2]) Такъ называемые острые гребни.

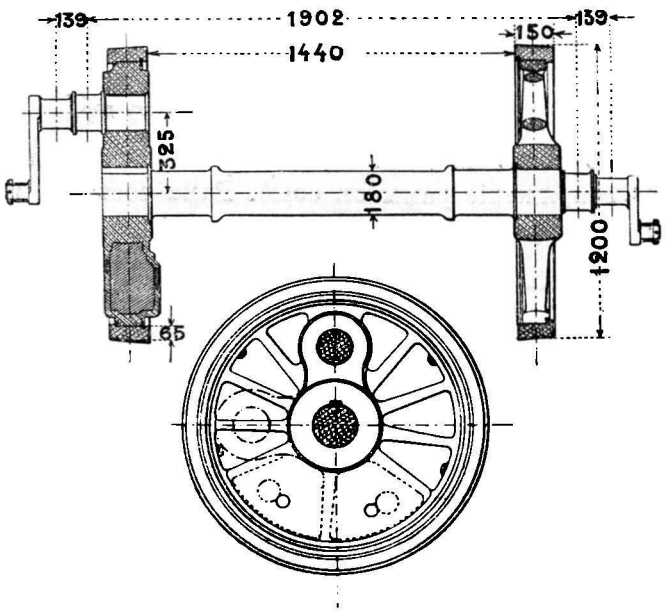
Форма паровозныхъ осей зависитъ отъ расположенія движущихъ механизмовъ и рамы; послѣдняя, смотря по ея положенію относительно колесъ, можетъ быть внутренняя или внѣшняя, т. е. осевыя шейки могутъ быть расположены внутри или снаружи колесъ. На чертежѣ 24 показанъ ведущій [1]) колесный скатъ нормальнаго товарнаго паровоза русскихъ жел. дорогъ (о $^4/_4$ спар. осяхъ), имѣющаго наружные цилиндры и внутреннія рамы; при внутреннихъ цилиндрахъ ведущая ось должна быть колѣнчатой. Для облегченія прохожденія по кривымъ у среднихъ скатовъ паровозовъ, со многими спаренными осями, бандажи часто дѣляются съ болѣе тонкими гребнями или совсѣмъ безъ гребней, (чер. 24); для той-же цѣли гребни колесъ у средней оси трехосныхъ пассажирскихъ вагоновъ дѣлаются иногда тоньше, чѣмъ у остальныхъ осей. Движущія колеса паровоза снабжаются противовѣсами для ослабленія вліянія

Чер. 23.



1:4 Бандажъ типа Master car builders Association (С. А. С. Ш.).

Черт. 24.



1:30. Ведущій скатъ товарн. паровоза (0—4—0) Русскихъ дор.

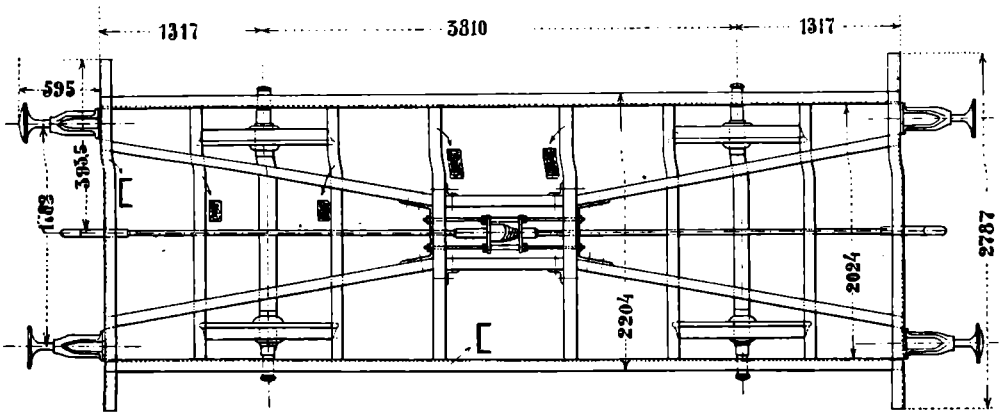
силы инерціи движущихся массъ машины паровоза. На чер. 24 показанъ противовѣсъ въ видѣ заполненія нѣкоторой части колеса между спицами у обода; кривошипы колесъ ведущаго ската расположены подъ взаимнымъ угломъ 90°.

9. Рамы и приспособленія для передачи давленія на оси. Кузовъ вагона поддерживается рамой, передающей давленіе или прямо на осевыя шейки

[1]) Соединенный непосредственно съ ведущимъ шатуномъ

при посредствѣ рессоръ, буксъ и подшипниковъ (двухосные и трехосные вагоны), или же на отдѣльныя телѣжки; кромѣ того рамы должны воспринимать усилія, передаваемыя имъ тяговыми и ударными приборами, а въ вагонахъ, не имѣющихъ отдѣльныхъ телѣжекъ, вагонныя рамы должны удерживать оси въ надлежащемъ положеніи. Пассажирскіе вагоны не всегда имѣютъ самостоятельно сконструированную раму; роль послѣдней часто играетъ самъ вагонный кузовъ, полъ и стѣны коего, въ такомъ случаѣ, соотвѣтственно усилены.

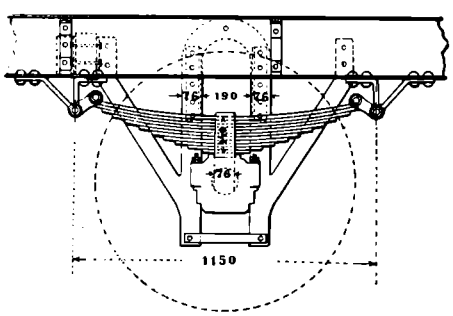
Чер. 25.



1 : 60 Рама норм. товарн. вагона Русскихъ дор.

На чертежѣ 25 показана рама нормальнаго русскаго товарнаго вагона, а на чертежѣ 26 сопряженіе рамы съ осью. Рама состоитъ изъ двухъ продольныхъ желѣзныхъ брусьевъ (*швелеровъ*), корытообразнаго сѣченія и изъ двухъ желѣзныхъ *буферныхъ* брусьевъ, одинаковаго со швелерами сѣченія; швелера росперты деревянными дубовыми брусками; кромѣ того, вся система связана діагональными дубовыми брусками, проходящими надъ поперечными брусками и отчасти врѣзанными въ послѣдніе. Швелера связаны при помощи подвѣсокъ съ рессорами (подвѣсныя рессоры), которыя упираются непосредственно въ буксы, причемъ обхватывающій рессору хомутъ входитъ въ соотвѣтственное углубленіе буксы; назначеніе рессоръ состоитъ въ томъ, чтобы онѣ, участвуя въ передачѣ между ходовыми частями и надрессорнымъ строеніемъ силъ, происходящихъ отъ толчковъ при неровности пути и отъ неправильностей въ подвижномъ составѣ, умѣряли ихъ дѣйствіе какъ на подвижной составъ, такъ и на верхнее строеніе пути. Для удержанія осей въ надлежащемъ положеніи къ швелерамъ прикрѣплены *буксовыя лапы*, проходящія въ пазы буксъ, которыя въ свою очередь удерживаются на осевыхъ шейкахъ заплечиками.

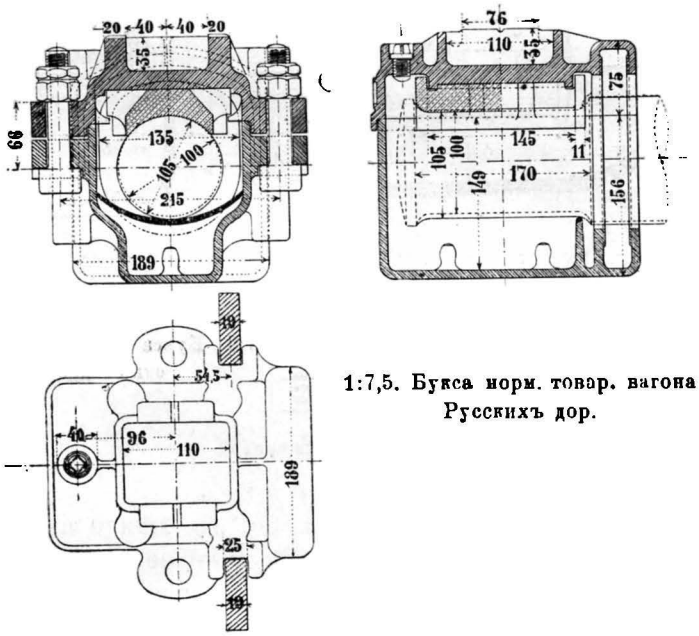
Чер. 26.



1 : 30. Сопряженіе рамы съ осью норм. товарн. вагона Русскихъ дор.

На чер. 27 изображена букса нормальнаго товарнаго вагона. Букса состоитъ изъ двухъ частей, соединенныхъ двумя болтами; по ослабленіи гаекъ болтъ можетъ быть повернутъ длинной стороной головки вдоль оси, послѣ чего головка болта можетъ пройти сквозь соотвѣтственное отверстіе въ нижней части буксы, а послѣдняя можетъ отдѣлиться отъ верхней части. Букса опирается на осевую шейку помощью подшипника изъ бронзы, обхватывающаго верхнюю часть шейки; форма подшипника съ соотвѣтственными приливами обезпечиваетъ правильное его положеніе въ буксѣ. Смазка черезъ отверстіе, закрываемое пробкою, въ верхней части буксы поступаетъ въ нижнюю часть буксы, причемъ шейка смазывается помощью подбивки или щетокъ, для удержанія коихъ на мѣстѣ имѣются въ днищѣ

Чер. 27.



1:7,5. Букса норм. товар. вагона Русскихъ дор.

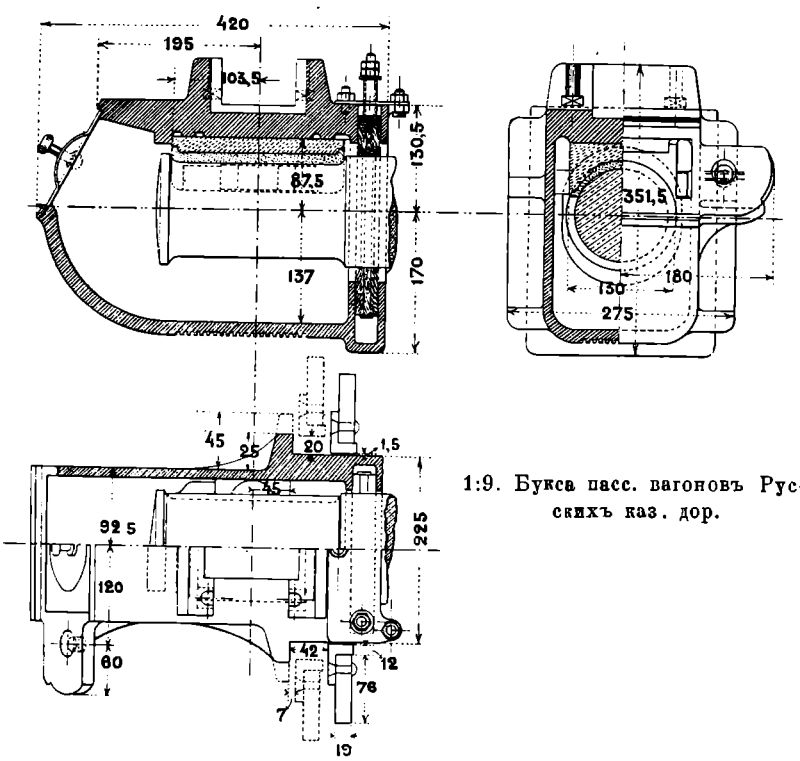
буксы надлежащіе приливы. Плотный затворъ буксы съ задней стороны (со стороны колеса) достигается помощью шайбы, помѣщающейся въ соотвѣтственныхъ пазахъ.

Для пассажирскихъ вагоновъ примѣняются цѣльныя буксы (чер. 28), представляющія удобство болѣе легкаго доступа къ осевой шейкѣ.

Какъ видно изъ чертежей, размѣры буксовой лапы и буксы въ пазахъ у товарнаго вагона таковы, что игра осей какъ въ продольномъ, такъ и въ поперечномъ направленіи можетъ происходить лишь въ самыхъ ничтожныхъ предѣлахъ, то-есть оси при движеніи остаются параллельными, сохраняя неизмѣнное, относительно другъ къ другу, положеніе. Однако такое устройство представляло-бы существенныя неудобства для очень длинныхъ трехосныхъ вагоновъ; дѣйствительно, при проходѣ по крутымъ кривымъ средняя ось трехоснаго вагона, сконструированнаго безъ возможности продольнаго перемѣщенія осей относительно рамы, перпендикулярно продольной оси

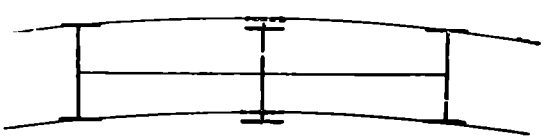
вагона, а слѣдовательно и другъ къ другу, могла-бы выпереть внутренній рельсъ кривой (чер. 29). Для устраненія этого, у пассажирскихъ вагоновъ буксы имѣютъ лишь съ одной стороны реборды для удержанія буксовыхъ лапъ; взаимное расположеніе этихъ ребордъ и буксовыхъ лапъ средней оси вагона таково, что ось эта можетъ имѣть необходимую продольную игру; въ такомъ случаѣ, при прохожденіи вагона по кривой, средняя ось его займетъ относительно крайнихъ осей положеніе, показанное на чер. 29

Чер. 28.



1:9. Букса пасс. вагоновъ Русскихъ каз. дор.

Чер. 29.



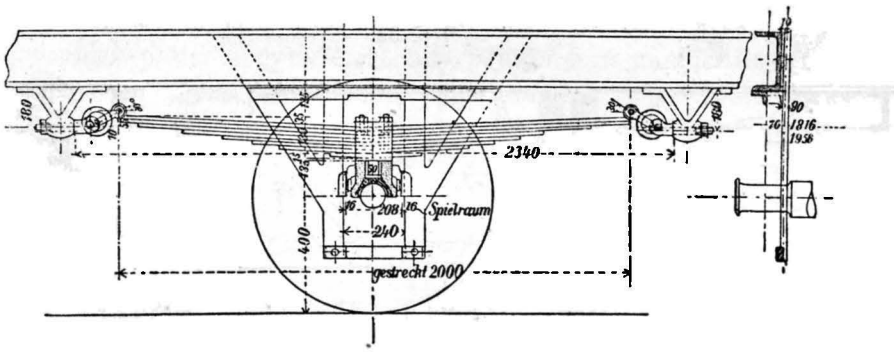
пунктиромъ, при которомъ выпираніе внутренняго рельса произойти не можетъ.

Такъ, напримѣръ, у трехоснаго вагона съ длинной жесткой базой, показаннаго въ таблицѣ № 4 подъ № 4, средняя ось, въ отношеніи расположенія буксовыхъ ребордъ и лапъ, можетъ имѣть продольную игру въ 40 мм. въ каждую сторону (считая отъ средняго положенія оси), а крайнія оси — 5 мм. въ каждую сторону; такимъ образомъ, общее, относительно къ крайнимъ осямъ, продольное перемѣщеніе средней оси можетъ достигать для этого вагона 45 мм.

Кромѣ продольнаго, осямъ длинныхъ вагоновъ дается возможность и поперечнаго перемѣщенія, дабы онѣ могли принимать въ кривыхъ радіальное положеніе, ибо въ такомъ случаѣ сопротивленіе движенію значительно уменьшается. Радіально устанавливающіяся оси или, такъ называемыя, *подвижныя оси*, раздѣляются на двѣ категоріи: 1) свободныя подвижныя оси, имѣющія такое устройство, что каждая отдѣльная ось вагона можетъ устанавливаться независимо отъ сосѣднихъ и 2) связанныя подвижныя оси, соединенныя между собою системою рычаговъ и шарнировъ такимъ образомъ, что каждая ось можетъ устанавливаться лишь совмѣстно съ другими, одновременно и симметрично относительно середины вагонной базы. Чаще всего примѣняются свободныя подвижныя оси.

На чертежѣ 30 показано устройство свободной подвижной оси для пассажирскихъ вагоновъ прусскихъ казенныхъ дорогъ. Отверстіе въ буксо-

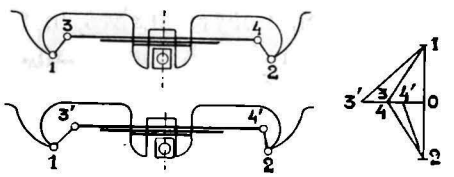
Чер. 30.



1:30. Свободная подвижная ось Прусскихъ каз. дор.

вой лапѣ и толщина буксы въ пазахъ такова, что имѣется зазоръ, допускающій необходимое поперечное перемѣщеніе оси для возможности занять ей радіальное положеніе; соединеніе рессоры со швелеромъ достигается помощью качающихся подвѣсокъ, допускающихъ перемѣщеніе рессоры, а вмѣстѣ съ ней и оси. При среднемъ расположеніи оси подвѣски у обоихъ концовъ рессоры наклонены въ разныя стороны подъ равными углами къ горизонту; при установкѣ оси радіально въ кривой, концы ея дѣлаютъ передвиженія въ противоположныя стороны, а подвѣски рессоры принимаютъ наклонныя, подъ неодинаковыми углами къ горизонту, положенія (чер. 31). Ось, устанавливаясь въ радіальномъ положеніи, принимаетъ направленіе не перпендикулярное къ продольнимъ швелерамъ вагонной рамы, а нѣсколько наклонное; для возможности такого положенія оси, необходимо чтобы соединеніе рессоры съ буксой допускало относительное ихъ вращеніе около вертикальной оси, или подшипникъ могъ-бы вращаться въ буксѣ, или, наконецъ, рессорныя подвѣски допускали поперечное перемѣ-

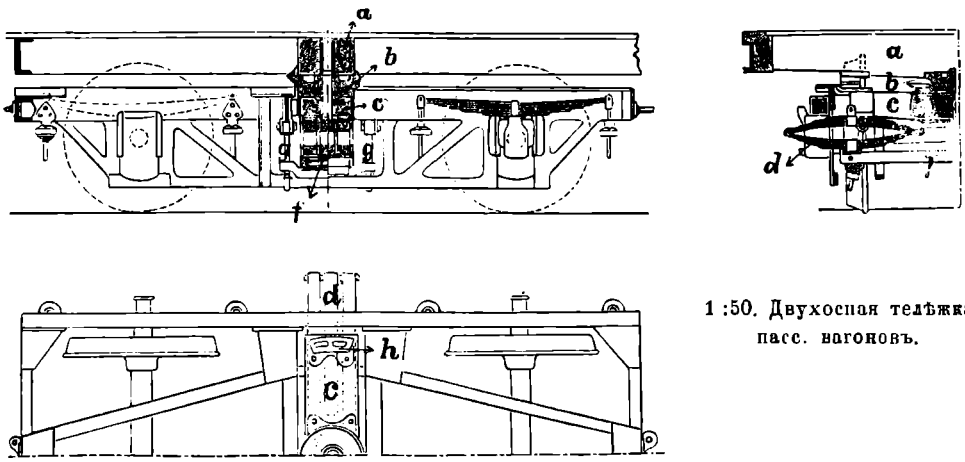
Чер. 31.



щеніе концовъ рессоры; указанное на чертежѣ 30 устройство подвѣсокъ дѣлаетъ возможнымъ означенное перемѣщеніе рессоры.

Установка подвижныхъ осей въ радіальное положеніе можетъ произойти подъ вліяніемъ силъ, являющихся при вписываніи желѣзнодорожнаго экипажа въ кривую, что станетъ понятно ниже, при болѣе подробномъ разсмотрѣніи сего вопроса. Послѣ выхода экипажа на прямую, оси должны вернуться въ свое среднее положеніе, то-есть принять направленіе, перпендикулярное къ продольнымъ швелерамъ рамы. Это возвращеніе оси въ среднее положеніе происходитъ подъ вліяніемъ горизонтальныхъ силъ, являющихся въ мѣстахъ соединенія концовъ рессоры съ наклонными подвѣсками, передающими на рессору давленіе рамы; какъ видно изъ чертежа 31, при среднемъ положеніи оси, а слѣдовательно одинаковомъ къ горизонту наклонѣ подвѣсокъ, эти горизонтальныя силы равны и взаимно противоположны, въ противномъ же случаѣ онѣ даютъ равнодѣйствующую (3′—4′), которая приводитъ ось въ среднее положеніе.

Чер. 32.



1 :50. Двухосная телѣжка пасс. вагоновъ.

На четрежѣ 28 показано сплошными линіями положеніе буксовой лапы средней оси, а пунктиромъ положеніе буксовыхъ лапъ крайнихъ осей трехоснаго вагона (при среднемъ положеніи осей); какъ видно по четрежу, взаимное расположеніе буксовыхъ лапъ и буксы таково, что средняя и крайняя оси могутъ имѣть продольное перемѣщеніе въ указанныхъ выше предѣлахъ, а кромѣ того крайнія оси могутъ совершать поперечныя перемѣщенія, необходимыя для возможности стать въ радіальное положеніе.

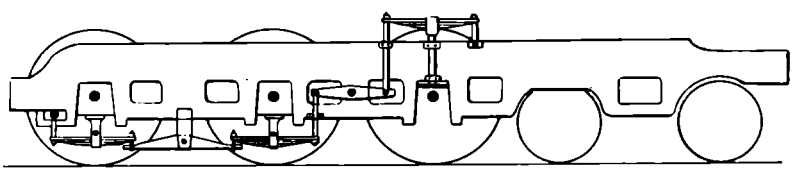
Длинные пассажирскіе вагоны, а также и товарные вагоны въ Америкѣ, устраиваются преимущественно на отдѣльныхъ телѣжкахъ, скрѣпленныхъ съ вагоннымъ кузовомъ такимъ образомъ, что каждая телѣжка можетъ вращаться самостоятельно около вертикальной оси; вслѣдствіе незначительной длины жесткой базы экипажа, вагоны эти легко вписываются даже въ очень крутыя кривыя.

На чертежѣ 32 показана схематически двухосная телѣжка, примѣняемая обыкновенно для пассажирскихъ вагоновъ европейскихъ желѣзныхъ дорогъ. Рама вагоннаго кузова опирается на телѣжку помощью прочнаго

поперечнаго бруса *a*; опора, допускающая вращеніе около вертикальной оси, устроена въ видѣ цапфы *b*, состоящей изъ верхняго и нижняго пятниковъ, соединенныхъ шкворнемъ; верхній пятникъ соединенъ съ поперечнымъ брусомъ вагонной рамы, а нижній пятникъ укрѣпленъ на люлькѣ (качающейся рамѣ) телѣжки; люлька эта состоитъ изъ верхняго бруса *c*, поддерживающаго пятникъ и передающаго давленіе при посредствѣ двойныхъ рессоръ *d* на нижній брусъ *f*; послѣдній подвѣшенъ помощью стержней *g* и шарнировъ къ поперечнымъ балкамъ рамы телѣжки; балки эти скрѣплены съ продольными балками рамы телѣжки, опирающимися помощью рессоръ на буксы колесныхъ скатовъ; для ограниченія поперечныхъ качаній вагоннаго кузова, брусья *a*—вагонной рамы и *c*—телѣжки снабжены скользунами *h*, между коими при прямомъ положеніи вагона имѣется нѣкоторый зазоръ; иногда скользуны устраиваются взаимно-опирающимися помощью шариковъ; боковыя качанія бруса *c* ограничиваются особыми пружинными буферами. Въ случаѣ очень тяжелыхъ вагоновъ, примѣняются трехосныя телѣжки.

Паровозныя рамы могутъ быть внутреннія или наружныя (по отношенію къ колесамъ); преимущественно примѣняются внутреннія рамы. Рама состоитъ изъ продольныхъ балокъ (чер. 33), кои скрѣпляются между со-

Чер. 33.



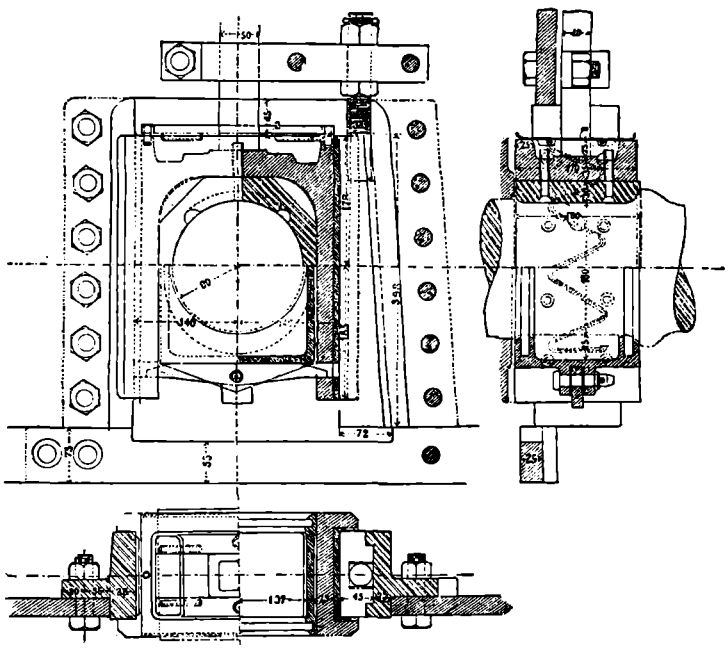
бою въ нѣсколькихъ мѣстахъ поперечными связями, придающими рамѣ необходимую жесткость. На рамѣ укрѣпляются цилиндры и котелъ паровоза, при чемъ послѣдній скрѣпляется неизмѣнно съ рамою лишь спереди, а средняя и задняя части его лежатъ на рамѣ такимъ образомъ, чтобы котелъ могъ удлиняться и укорачиваться. Рама передаетъ давленіе колеснымъ скатамъ помощью рессоръ, которыя могутъ быть расположены какъ выше, такъ и ниже осевыхъ шеекъ; рама можетъ быть подвѣшена непосредственно къ концамъ рессоръ или передавать на нихъ давленіе помощью рычаговъ *(балансировъ)*; послѣдніе соединяютъ смежныя рессоры, а точки ихъ вращенія укрѣплены въ рамѣ; балансиры устанавливаютъ опредѣленныя, постоянныя отношенія между нагрузками рессоръ.

Буксы у паровозовъ имѣютъ нѣсколько другое устройство, чѣмъ у вагоновъ, ибо паровозныя оси должны проходить сквозь буксы; только поддерживающіе скаты паровозовъ съ наружными рамами могутъ имѣть буксы такого же устройства, какъ у вагоновъ. Буксы помѣщаются въ вырѣзахъ рамы, обдѣланныхъ особыми накладками тавроваго сѣченія *(челюсти)*, прикрѣпленными къ рамѣ помощью болтовъ (чер. 34) Спаренныя оси передаютъ на раму значительныя боковыя усилія, направленныя то въ одну, то въ другую сторону, почему буксы, во избѣжаніе расшатыванія, должны быть укрѣплены въ челюстяхъ безъ возможности горизантальныхъ

перемѣщеній; наоборотъ, въ вертикальномъ направленіи буксы должны имѣть возможность перемѣщаться въ челюстяхъ при игрѣ рессоръ. Для уничтоженія бокового зазора, послѣ нѣкотораго износа, одна изъ челюстей дѣлается наклонною, а укрѣпленіе буксы достигается клиномъ, устанавливаемымъ въ надлежащемъ положеніи помощью болта.

Букса состоитъ изъ верхней части, имѣющей подковообразную форму, и нижней части, вдвигаемой въ верхнюю; на чертежѣ 34 показано укрѣпленіе нижней части буксы въ верхней ея части помощью линейки и болтика, проходящаго сквозь линейку и приливъ нижней части буксы; форма линейки такова, что, вынувъ болтикъ, можно вынуть также и линейку, послѣ чего нижняя часть буксы становится свободной.

Чер. 34.



1:10. Паровозная букса спаренныхъ осей.

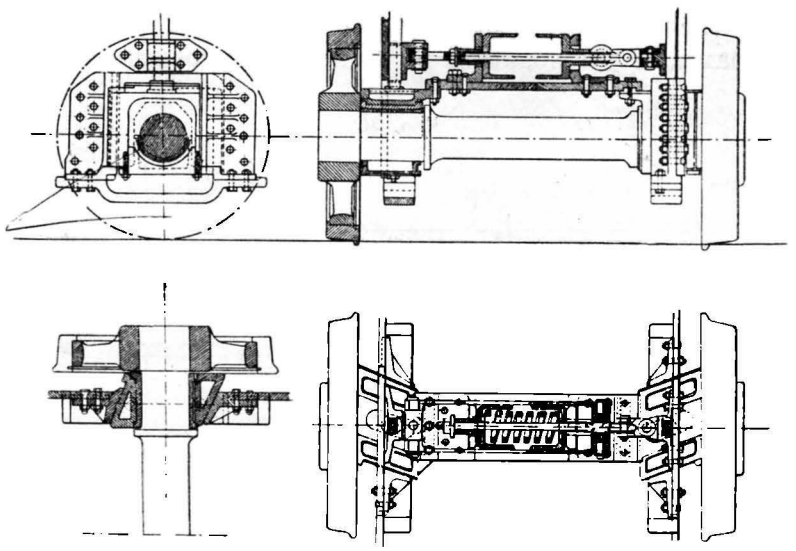
Подшипникъ не долженъ имѣть въ буксѣ никакихъ перемѣщеній, почему онъ тщательно пригоняется и плотно вставляется въ верхнюю часть буксы; такъ какъ спаренныя оси должны передавать не только вертикальныя, но и горизантальныя усилія, то подшипникъ обхватываетъ всю верхнюю половину шейки, а не часть ея, какъ это имѣетъ мѣсто у вагонныхъ осей. Смазка къ осевой шейкѣ подводится сверху изъ углубленій въ верхней части буксы черезъ каналы въ подшипникѣ, а также снизу помощью подбивки или щетокъ въ нижней части буксы. .

Давленіе рессоры на буксу передается отъ хомута помощью упорки на верхнюю часть буксы, если рессора расположена надъ буксою, или же помощью стержня, соединеннаго шарнирно съ хомутомъ и обхватывающаго валикъ, укрѣпленный въ вертикальныхъ стѣнкахъ верхней части буксы, если рессора помѣщена подъ буксою; валикъ этотъ поддерживаетъ также

и нижнюю часть буксы. Рессорныя подвѣски снабжаются винтовой нарѣзкой на одномъ концѣ для подвинчиванія гаекъ, дабы имѣть возможность измѣнять напряженіе отдѣльныхъ рессоръ и регулировать такимъ образомъ нагрузку на оси.

Спаренныя оси паровоза представляютъ вполнѣ жесткую базу, *) неимѣя тѣхъ относительныхъ перемѣщеній, какія могутъ быть предоставлены вагоннымъ осямъ, вслѣдствіе затрудненій, являющихся въ такомъ случаѣ при устройствѣ движущаго механизма; поэтому, для предупрежденія выпиранія внутренняго рельса въ крутыхъ кривыхъ, бандажи среднихъ осей паровозовъ, со многими спаренными осями, дѣлаются съ болѣе тонкими гребнями или совсѣмъ безъ оныхъ. Наоборотъ, поддерживающимъ осямъ паровоза для облегченія прохожденія по кривымъ дается возможность относительныхъ къ его рамѣ передвиженій. Поддерживающія оси устраиваются

Чер. 35.



1.30 Радіально устанавливающійся бѣгунокъ.

или въ видѣ отдѣльныхъ бѣгунковъ, буксы коихъ помѣщаются въ главной рамѣ паровоза, или въ видѣ телѣжекъ, поддерживающихъ главную раму паровоза, но имѣющихъ свои особыя рамы для направленія колесныхъ скатовъ.

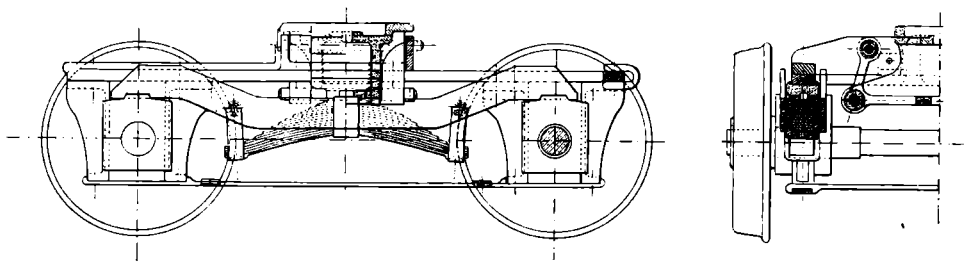
Буксы бѣгунка устраиваются такимъ образомъ, чтобы онъ могъ имѣть какъ продольное, такъ и поперечное, относительно рамы паровоза, перемѣщеніе, вслѣдствіе чего паровозъ въ кривой не распираетъ рельсовъ, а бѣгунокъ можетъ занять радіальное положеніе; чертежъ 35 даетъ представленіе объ устройствѣ буксы радіально устанавливающагося бѣгунка. Возвратъ бѣгунка въ среднее положеніе послѣ выхода на прямую происходитъ обыкновенно подъ давленіемъ спиральной пружины.

*) Несчитая нѣкоторыхъ, сравнительно рѣдко встрѣчающихся, конструкцій съ продольноперемѣщающимися или радіально устанавливающимися взаимно спаренными осями.

Паровозныя телѣжки бываютъ одноосными или двухосными; ось вращенія телѣжки укрѣпляется въ главной паровозной рамѣ, причемъ для двухосныхъ телѣжекъ она обыкновенно помѣщается между колесными скатами телѣжки, а для одноосныхъ — позади телѣжки (система (Bissel'a). Двухосная телѣжка, съ осью вращенья между ея скатами, можетъ быть устроена или только поворотною около вертикальной оси, положеніе которой остается неизмѣннымъ какъ относительно рамы паровоза, такъ и рамы телѣжки, или та же телѣжка можетъ имѣть кромѣ вращательнаго и боковое движеніе, благодаря тому, что ея рама перемѣщается относительно оси вращенія; въ крутой кривой продольная ось длиннаго паровоза, въ мѣстѣ расположенія поворотнаго шкворня телѣжки, можетъ отстоять на значительное, сравнительно, разстояніе отъ средины рельсовой колеи, почему необходимо въ такомъ случаѣ устраивать телѣжку съ боковымъ перемѣщеніемъ.

Чертежъ 36 изображаетъ эскизно паровозную двухосную телѣжку, съ боковымъ перемѣщеніемъ, американскаго типа; рама телѣжки поддерживается рессорами, подвѣшенными къ балкамъ, опирающимся на буксы ко-

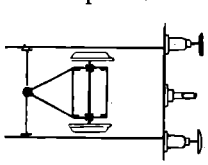
Чер. 36.



1.30. Паровозная Американская телѣжка.

лесныхъ скатовъ; подпятникъ пяты вращенія устроенъ въ видѣ люльки, а именно подвѣшенъ на наклонныхъ подвѣскахъ къ поперечнымъ брусьямъ рамы телѣжки; верхній пятникъ укрѣпленъ въ паровозной рамѣ. Очевидно, телѣжка имѣетъ возможность перемѣщаться въ боковомъ направленіи относительно оси вращенія, причемъ наклонъ люлечныхъ подвѣсокъ становится неодинаковымъ: являющаяся вслѣдствіе этого горизонтальная сила приводитъ телѣжку въ среднее положеніе, послѣ выхода ея на прямую Для возврата телѣжки въ среднее положеніе примѣняются также боковыя рессоры.

Чер. 37.

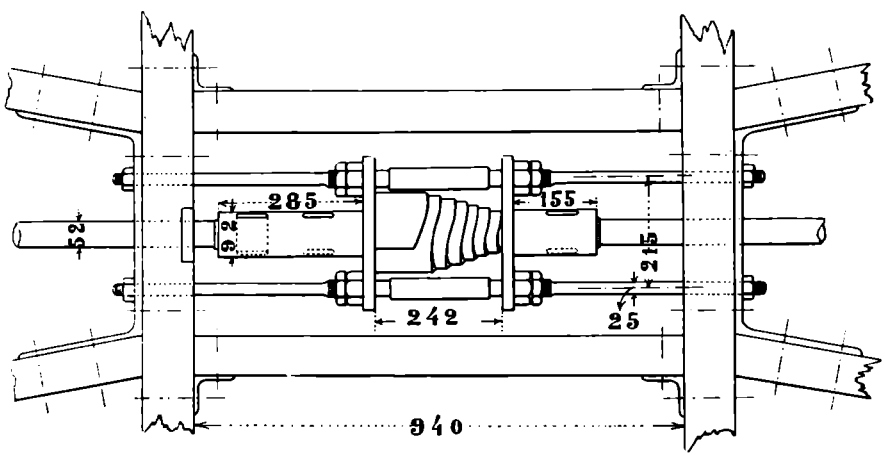


Въ одноосныхъ телѣжкахъ ось вращенія обыкновенно укрѣпляется позади телѣжки (система Bissel'a), въ главной рамѣ паровоза (чер. 37) и соединяется возжею съ рамкою колеснаго ската телѣжки, которая поддерживаетъ въ свою очередь раму паровоза. Дабы телѣжка возвращалась на прямой въ среднее положеніе, опора телѣжки, поддерживающая главную раму, устраивается въ видѣ люльки или клиновыхъ поверхностей, или же, наконецъ, возвратъ телѣжки происходитъ подъ давленіемъ пружинъ.

10. Тяговые и ударные приборы. На европейскихъ желѣзныхъ дорогахъ для соединенія вагоновъ въ поѣздѣ примѣняются тяговые приборы съ винтовыми стяжками; ударные же приборы состоятъ изъ двухъ съ каждой стороны вагона буферовъ; въ Америкѣ, наоборотъ, примѣняется несквозная упряжь съ автоматическими сцѣпками, служащими одновременно также и ударными приборами.

Тяговой приборъ европейскаго типа состоитъ изъ стержня, проходящаго сквозь всю вагонную раму (чер. 25) и снабженнаго по концамъ крюками и винтовыми стяжками. Сопряженіе стержня съ вагонною рамою показано на чертежѣ 38 (для норм. русск. товарнаго вагона); на стержнѣ укрѣплены чеками муфты, упирающіяся при посредствѣ шайбъ въ спиральную пружину; шайбы же помощью пружины, гаекъ и болтовъ могутъ передавать давленіе на вагонную раму; какъ видно изъ чертежа, сопряженіе тягового стержня съ рамою обладаетъ, благодаря участію пружины, извѣстной эластичностью.

Чер. 38.



1:15. Укрѣпленіе тягового стержня норм. товарн. вагона Русскихъ дор.

Сцѣпка вагоновъ достигается помощью скобъ, накладываемыхъ на тяговые крюки, и стяжного винта, который вращается въ гайкахъ, укрѣпленныхъ въ скобахъ; нарѣзка винта на одной половинѣ имѣетъ направленіе, противоположное нарѣзкѣ другой его половины, вслѣдствіе чего при вращеніи винта происходитъ натяженіе стяжки.

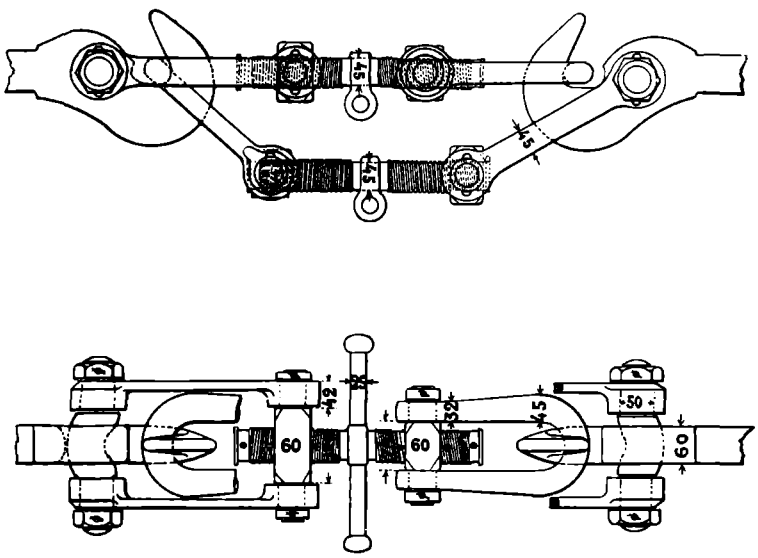
Для предупрежденія разрыва поѣзда при поврежденіи стяжки между вагонами устраивается еще второе дополнительное соединеніе. Для этой цѣли примѣнялись прежде запасныя цѣпи, по двѣ съ каждой стороны вагона, соединяемыя между собою крюками. Однако опытъ показалъ, что запасныя цѣпи часто не удовлетворяютъ своему назначенію, ибо отъ большихъ мгновенныхъ натяженій, какія являются при поломкѣ стяжки, запасныя цѣпи рвутся, или же происходитъ поврежденіе буфернаго бруса, къ которому прикрѣпляются запасныя цѣпи. Поэтому въ послѣднее время стяжки устраиваются такимъ образомъ, чтобы на тяговые крюки можно было нало-

жить обѣ скобы соединяемыхъ вагоновъ (стяжка Uhlenhuth'a); на чер. 39 показано устройство *объединенной стяжки* для паровозовъ, тендеровъ и вагоновъ русск. жел. дор., сконструированной по указанному принципу.

При описанномъ выше устройствѣ тяговыхъ приборовъ вагоны поѣзда являются какъ-бы нанизанными на цѣпь, приводимую въ движеніе паровозомъ, а на раму каждаго даннаго вагона передается лишь усиліе, являющееся отъ собственнаго его сопротивленія движенію; очевидно, упомянутые приборы могутъ передавать лишь растягивающія усилія.

Сжимающія усилія при толканіи поѣзда паровозомъ, а также силы при ударахъ вагоновъ другъ о друга воспринимаются вагонными рамами

Чер. 39.



1:15. Объединенная стяжка для паровозовъ, тендеровъ и вагоновъ Русскихъ дор.

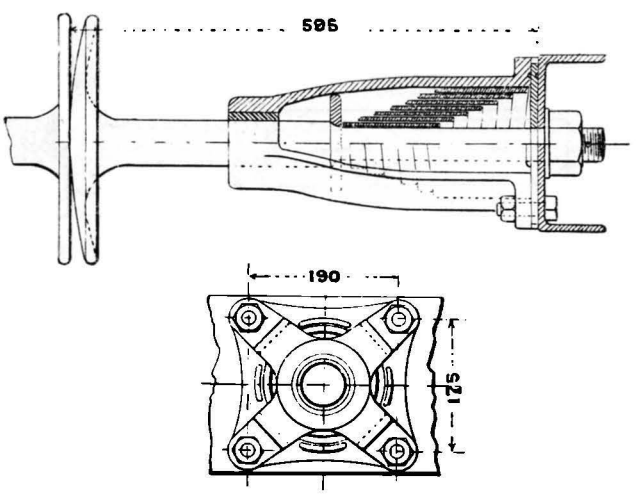
при посредствѣ *буферовъ*. Устройство буфера показано на чертежѣ 40; буферный стаканъ прикрѣпленъ четырьмя болтами къ буферному брусу вагонной рамы; давленіе на брусъ передается отъ буферной тарелки помощью стержня и спиральной пружины; дабы силы, передаваемыя буферами, не могли составлять значительныхъ угловъ съ продольною осью вагона, одна изъ тарелокъ взаимно упирающихся буферовъ дѣлается выпуклой, а другая плоскою; для того, чтобы всегда выпуклые и плоскіе буфера имѣли правильное взаимное расположеніе, у всѣхъ вагоновъ буфера съ правой стороны (если смотрѣть изъ внутри вагона) дѣлаются съ выпуклыми, а съ лѣвой стороны съ плоскими тарелками.

Описанному выше способу соединенія вагоновъ между собою присущи нѣкоторые существенные недостатки, а именно: для наложенія стяжекъ на крючья или для снятія ихъ сцѣпщики должны заходить въ пространство между буферами, что требуетъ много времени, сопряжено съ опасностью и является причиною очень многихъ несчастныхъ случаевъ; съ примѣненіемъ въ послѣднее время очень сильныхъ паровозовъ и тяжелыхъ составовъ, стяжки оказываются недостаточно прочными, а увеличеніе поперечныхъ

размѣровъ частей стяжекъ затруднило бы обращеніе съ ними; сквозная поѣздная упряжь, образованная соединенными тяговыми приборами, отличается слишкомъ большою упругостью на сжатіе, обладая очень малою упругостью на растяженіе—обстоятельство, являющееся часто причиною разрывовъ тяговыхъ приборовъ (при тормаженіи, троганіи въ подъемъ, переходѣ съ уклона на подъемъ).

Значительно совершеннѣе *автоматическія сцѣпки*, примѣняемыя на американскихъ жел. дорогахъ; сцѣпной приборъ конструированъ такимъ образомъ, что можетъ передавать какъ растягивающія, такъ и сжимающія усилія, т.-е. служить одновременно и тяговымъ и ударнымъ приборомъ, вслѣдствіе чего въ особыхъ боковыхъ буферахъ надобности не имѣется, отсутствіе же означенныхъ буферовъ выгодно въ отношеніи прохода поѣзда по кривымъ; соединеніе вагоновъ происходитъ автоматически при нажатіи одного вагона другимъ, а разъединеніе вагоновъ можетъ быть произведено

Чер. 40.



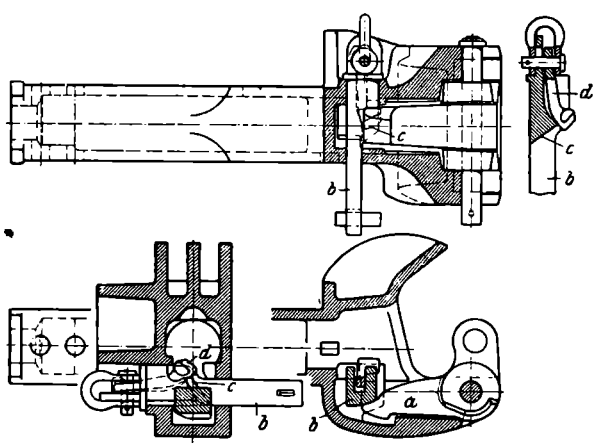
1:10. Буферъ Русскихъ дор.

простымъ поворотомъ рычага, доступнаго для лица, находящагося внѣ рельсовой колеи.

Сцѣпной приборъ состоитъ изъ стержня съ крюкообразной головкою (чер. 41); стержень расположенъ по продольной оси вагона и скрѣпленъ съ вагонною рамою такимъ образомъ, что можетъ передавать какъ сжимающія его, такъ и растягивающія усилія и при томъ въ обоихъ случаяхъ при посредствѣ пружины. Головка снабжена колѣнчатымъ рычагомъ, вращающимся около вертикальной оси; короткое плечо рычага, занимающее при сцѣпленныхъ вагонахъ положеніе перпендикулярное къ продольной оси вагона, представляетъ крюкъ, захватывающій за такой же крюкъ другого сцѣпного прибора, а длинное плечо *a*—языкъ служитъ для закрѣпленія крюка; въ несцѣпленномъ положеніи рычагъ вращается свободно около оси и языкъ выступаетъ изъ головки наружу; при нажатіи вагоновъ крюкъ одного сцѣпного прибора ударяетъ въ языкъ другого, колѣнчатый рычагъ поворачивается, крюки захватываютъ другъ за друга, а языки становятся въ

положеніе, параллельное продольной оси вагона, при которомъ вращеніе колѣнчатыхъ рычаговъ невозможно, т.-е. вагоны являются сцѣпленными. Закрѣпленіе языка можетъ быть достигнуто различными способами; на чертежѣ показанъ болѣе всего распространенный способъ закрѣпленія помощью вертикальной защелки *b*; языкъ при движеніи упирается своимъ концомъ въ наклонно срѣзанное ребро *c* защелки, подымаетъ ее и становится въ надлежащее положеніе, послѣ чего защелка, не будучи болѣе поддерживаемой, падаетъ и закрѣпляетъ языкъ. Дабы расцѣпить вагоны подымаютъ защелку помощью рычага, находящагося сбоку у вагона, послѣ чего колѣнчатый рычагъ сцѣпки является свободнымъ. Для того чтобы отъ сотрясеній при движеніи поѣзда защелка не могла бы приподняться, она снабжена державкой *d*, упирающейся въ соотвѣтственный выступъ внутренней поверхности сцѣпной головки; отъ натяженія же цѣпочки для поднятія защелки, при расцѣпкѣ вагоновъ, сначала только приподымается державка, послѣ чего поднятіе защелки становится возможнымъ.

Чер. 41.



1:12. Американская автоматическая сцѣпка.

Европейскія жел. дороги нынѣ приступаютъ также къ оборудованію подвижного состава автоматическими сцѣпками; вопросъ этотъ нѣсколько осложняется тѣмъ обстоятельствомъ, что въ теченіе переходнаго періода необходимо имѣть возможность сцѣплять вагоны, снабженные новыми автоматическими сцѣпками съ вагонами, имѣющими сцѣпки стараго образца.

11. **Тормаза.** Для безопасности желѣзнодорожнаго движенія, необходимо имѣть на поѣздѣ приспособленія, которыя давали бы возможность остановить, въ случаѣ надобности, поѣздъ въ любомъ мѣстѣ, а равно также уменьшить скорость его движенія; приспособленія эти—тормаза—должны быть тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ выше скорость движенія поѣзда и круче уклоны продольнаго профиля пути.

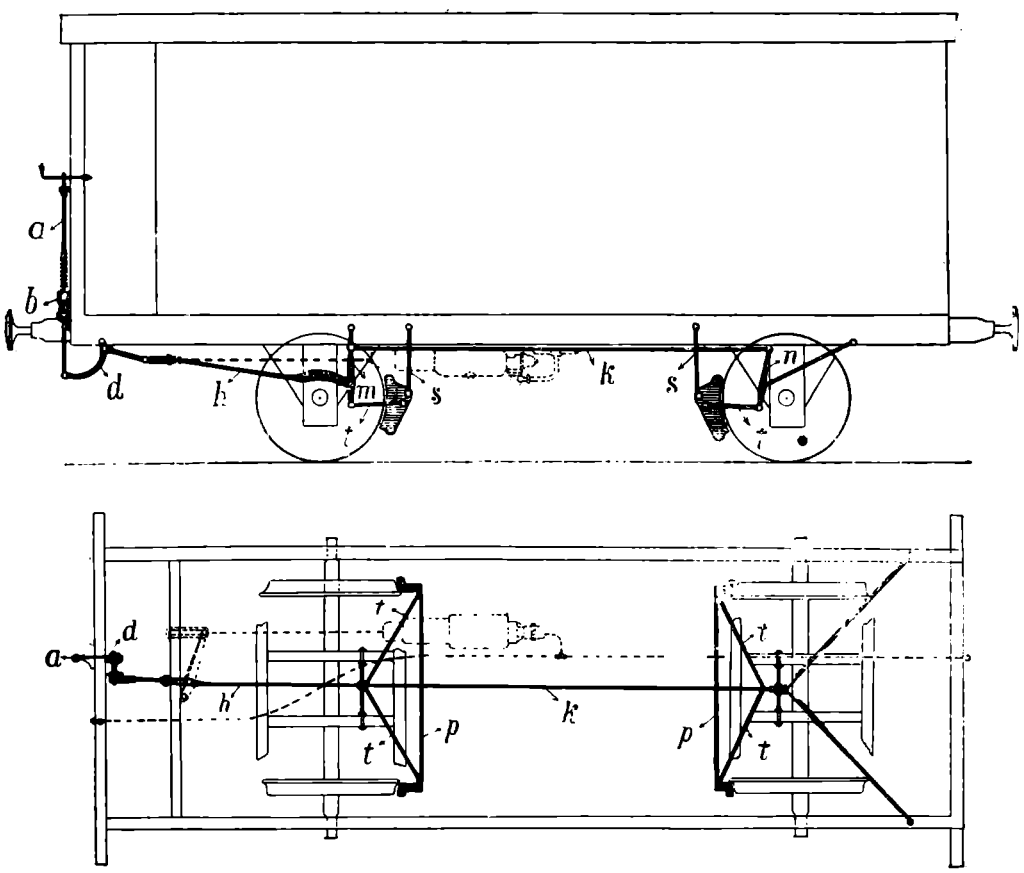
Тормаженіе достигается нажатіемъ *тормазныхъ колодокъ* на бандажи колесъ; живая сила движущагося поѣзда поглощается при этомъ работою тренія бандажей заторможенныхъ колесъ о рельсы.

Тормаза бываютъ *ручные* и *механическіе*; въ случаѣ ручныхъ тормазовъ нажатіе тормазныхъ колодокъ достигается мускульнымъ усиліемъ человѣка;

въ примѣняемыхъ нынѣ системахъ механическихъ тормазовъ, нажатіе колодокъ происходитъ давленіемъ воздуха.

На чер. 42 изображено схематически устройство ручного тормаза нормальнаго русскаго товарнаго вагона. У тормазной площадки вагона укрѣпленъ винтовой стержень *a*, приводимый во вращеніе помощью рукоятки; при вращеніи стержня движется по винтовой его нарѣзкѣ обойма *b*, которая, помощью тягъ съ шарнирными соединеніями, приводитъ во вращеніе колѣнчатый рычагъ *d*; послѣдній приводитъ въ движеніе, помощью тяги *h*

Чер. 42.



Тормазъ норм. товарн. вагона Русскихъ дор.

рычагъ второго рода *m*, подвѣшенный въ вертикальной плоскости къ рамѣ вагона на продольной его оси, который въ свою очередь, помощью тяги *k*, приводитъ въ движеніе рычагъ перваго рода *n*, также укрѣпленный въ вертикальной плоскости на продольной оси вагона. Тормазныя, чугунныя колодки укрѣплены на валу *p* и подвѣшены шарнирно помощью тягъ *s* къ рамѣ вагона; концы валовъ *p* соединены помошью діагональныхъ тягъ *t* съ упомянутыми выше рычагами перваго и второго рода. Вращая рукоятку винтоваго стержня въ ту или другую сторону, можно очевидно прижать тормазныя колодки къ бандажамъ колесъ или удалить отъ нихъ таковыя.

Описанный тормазъ принадлежитъ къ разряду *односторонних тормазовъ*; недостатки ихъ состоятъ въ томъ, что единичное давленіе на тормазную колодку значительно и что напряженіе въ осевой шейкѣ и въ подшипникѣ при тормаженіи повышается; недостатки эти устранены въ *двухсторонних тормазах*, въ которыхъ колесо тормазится съ двухъ сторонъ тормазными колодками.

Ручные тормаза представляютъ весьма несовершенное средство тормаженія; къ совершеннымъ тормазнымъ приспособленіямъ предъявляются нынѣ слѣдующія требованія:

1) *Непрерывность* дѣйствія тормазовъ, т. е. возможность съ одного мѣста приводить въ дѣйствіе тормаза всего поѣзда.

2) *Быстрота* дѣйствія и одинаковая сила нажатія всѣхъ тормазовъ поѣзда.

3) *Автоматичность* дѣйствія тормазовъ при всякихъ въ нихъ неисправностяхъ или разрывѣ поѣзда.

Лишь при условіи, что всѣ вагоны поѣзда будутъ затормажены одновременно и съ одинаковою силою, остановка поѣзда произойдетъ безъ толчковъ и натяженій сцѣпныхъ приборовъ, могущихъ быть причиною разрыва поѣзда. Очевидно, ручные тормаза не могутъ удовлетворить перечисленнымъ выше условіямъ, почему они примѣняютя лишь для товарныхъ поѣздовъ, развивающихъ небольшую, сравнительно, скорость движенія.

Указаннымъ выше требованіямъ, предъявляемымъ къ совершеннымъ тормазнымъ приборамъ, удовлетворяютъ механическіе тормаза, дѣйствующіе давленіемъ воздуха; смотря по величинѣ нормальнаго давленія въ главномъ воздухопроводѣ, тормаза эти раздѣляются на тормаза *сжатаго воздуха* и тормаза *разрѣженнаго воздуха*.

Наибольшее распространеніе на желѣзныхъ дорогахъ получили тормаза сжатаго воздуха Вестингауза (Westinghouse). На чертежѣ 43 изображены въ разрѣзѣ приборы *непрерывнаго, автоматическаго, скородѣйствующаго* тормаза Вестингауза, устанавливаемые у вагоновъ (подъ вагонными рамами.)

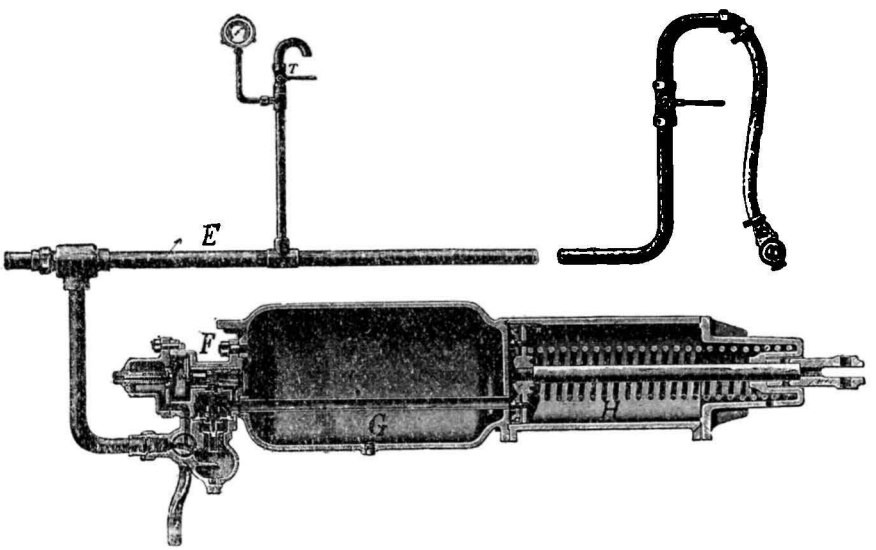
Въ *главномъ сквозномъ воздухопроводѣ E*, состоящемъ изъ желѣзныхъ подъ вагонами трубъ и гибкихъ между вагонами соединеній, поддерживается давленіе воздуха около 5 атмосферъ помощью воздушнаго насоса, находящагося на паровозѣ. Главный воздухопроводъ соединяется помощью отвѣтвленія и *тройного клапана F* со *вспомогательнымъ резервуаромъ G*, содержащимъ запасъ сжатаго воздуха, необходимаго для тормаженія даннаго вагона; тормазной цилиндръ *H* помощью трубочки, проходящей сквозъ вспомогательный резервуаръ и тройного клапана соединяется либо съ наружною атмосферою, либо со вспомогательнымъ резервуаромъ, а въ извѣстныхъ случаяхъ также и непосредственно съ главнымъ воздухопроводомъ; тормазной цилиндръ заключаетъ поршень, соединенный рычажной передачею съ тормазными колодками. Если въ главномъ воздухопроводѣ поддерживается высокое давленіе, то тройной клапанъ устанавливаетъ соединеніе тормазного цилиндра съ наружною атмосферою и тормазныя колодки не нажаты; въ случаѣ пониженія давленія въ главномъ воздухопроводѣ, тройной клапанъ устанавливаетъ соединеніе тормазного цилиндра со вспомогательнымъ резервуаромъ, сжатый воздухъ проникаетъ въ тор-

мазной цилиндръ, передвигаетъ поршень, что вызываетъ нажатіе колодокъ на колеса; при оттормаживаніи, которое достигается повышеніемъ давленія въ главнотъ резервуарѣ до нормальной величины, сжатый воздухъ выходитъ изъ тормазного цилиндра въ наружную атмосферу, а пружина, которая была сжата при тормаженіи, отталкиваетъ поршень въ первоначальное положеніе, а вмѣстѣ съ нимъ удаляются отъ колесъ тормазныя колодки.

На чер. 42 показано пунктиромъ расположеніе частей тормаза Вестингауза, спроектированное въ предположеніи снабженія товарныхъ вагоновъ означенными тормазами.

Описанное выше затормаживаніе и оттормаживаніе производится автоматическимъ тройнымъ клапаномъ въ зависимости отъ давленія воздуха въ главномъ трубопроводѣ.

Чер. 43.



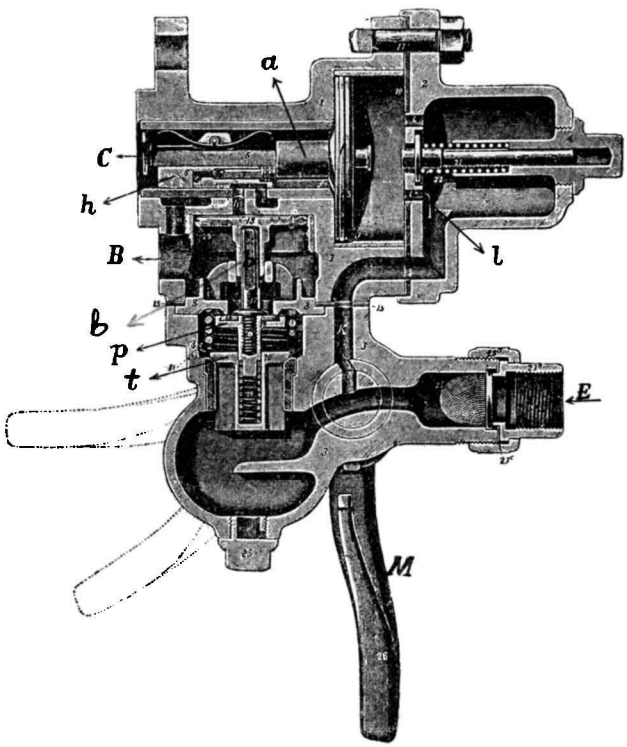
1:14. Тормазъ Вестингауза; приборы у вагоновъ.

На чертежѣ 44 изображенъ скородѣйствующій тройной клапанъ Вестингауза. Клапанъ соединяется черезъ отверстіе *E* съ главнымъ воздухопроводомъ, черезъ отверстіе *C* со вспомогательнымъ резервуаромъ, а черезъ отверстіе *B* съ тормазнымъ цилиндромъ при посредствѣ трубочки, проходящей сквозь вспомогательный резервуаръ.

Приборъ имѣетъ два поршня: горизонтальный *a* и вертикальный *b*: при обыкновенномъ (постепенномъ) тормаженіи дѣйствуетъ только главный горизонтальный поршень, устанавливая соединеніе вспомогательнаго резервуара съ тормазнымъ цилиндромъ, при быстротѣ же пониженія давленія воздуха въ главномъ воздухопроводѣ дѣйствуютъ оба поршня, въ результатѣ чего въ тормазной цилиндръ устремляется сжатый воздухъ не только изъ вспомогательнаго резервуара, но также и изъ главнаго воздухопровода, вслѣдствіе чего тормаза дѣйствуютъ энергично и тормаженіе происходитъ очень быстро по всему протяженію поѣзда.

При нормальномъ высокомъ давленіи воздуха въ главномъ воздухопроводѣ поршни занимаютъ указанное на чертежѣ положеніе; воздухъ изъ главнаго воздухопровода проходитъ по направленію *E—K—l*, переводитъ порошень *a* въ крайнѣе лѣвое положеніе (показанное на чер.), который въ свою очередь приводитъ золотникъ *h* въ такое положеніе, при которомъ отверстіе *B* клапана, а слѣдовательно и тормазной цилиндръ, сообщается съ наружною атмосферою; воздухъ изъ главнаго воздухопровода проходитъ черезъ щель, показанную въ нижней лѣвой части цилиндра, мимо диска поршня *a* по направленію *C* во вспомогательный резервуаръ; такимъ образомъ во вспомогательномъ резервуарѣ устанавливается такое-же давленіе

Чер. 44.



1:3,5. Скородѣйствующій тройной клапанъ Вестингауза.

воздуха, какъ и въ главномъ воздухопроводѣ, а въ тормазномъ цилиндрѣ давленіе воздуха равно атмосферному, при которомъ тормаза бездѣйствуютъ.

При незначительномъ пониженіи давленія въ главномъ воздухопроводѣ поршень *a* подъ давленіемъ воздуха вспомогательнаго резервуара передвинется нѣсколько вправо, увлекая за собою золотникъ *h*; при этомъ дискъ поршня, перекрывая шель, служащую для соединенія главнаго воздухопровода со вспомогательнымъ цилиндромъ, разобщаетъ таковые, а золотникъ устанавливаетъ соединеніе между вспомогательнымъ резервуаромъ и тормазными цилиндрами, закрывая вмѣстѣ съ тѣмъ проходъ, служащій для

соединенія тормазного цилиндра съ наружною атмосферою; сжатый воздухъ устремляется изъ вспомогательнаго резервуара въ тормазной цилиндръ, вслѣдствіе чего тормаза приходятъ въ дѣйствіе.

Если-же необходимо быстрое и сильное тормаженіе, то производятъ быстрое и значительное пониженіе давленія въ главномъ воздухопроводѣ; въ этомъ случаѣ поршень *a* и золотникъ *h* приходятъ въ крайнее свое правое положеніе, причемъ открывается доступъ сжатому воздуху изъ вспомогательнаго резервуара не только въ тормазной цилиндръ, но и къ вертикальному поршню *b* (*ускорителю*); подъ давленіемъ воздуха поршень этотъ опускается и открываетъ клапанъ *p*, а воздухъ изъ главнаго воздухопровода поднимаетъ клапанъ *t* и устремляется въ тормазной цилиндръ; какъ только давленіе въ тормазномъ цилиндрѣ сдѣлается равнымъ давленію въ главномъ воздухопроводѣ, клапанъ *t* закроется подъ давленіемъ пружины и не допуститъ перехода воздуха обратно изъ тормазного цилиндра въ главный резервуаръ. Описанное дѣйствіе ускорителя имѣетъ слѣдствіемъ, благодаря проходу воздуха изъ главнаго воздухопровода въ тормазные цилиндры, во первыхъ—большое тормазное усиліе, а во вторыхъ—быстрое пониженіе давленія по всему воздухопроводу, а слѣдовательно, быстрое и одновременное тормаженіе всѣхъ тормазныхъ вагоновъ поѣзда, даже очень большой длины.

Для оттормаженія поѣзда необходимо повысить давленіе воздуха въ главномъ воздухопроводѣ до нормальной величины, вслѣдствіе чего горизонтальный поршень *a* передвинется въ крайнее свое лѣвое положеніе и всѣ части тройного клапана примутъ указанное на чертежѣ положеніе, соотвѣтствующее оттормаженнымъ колодкамъ.

Помощью крана *M*, находящагося въ нижней части тройного клапана, можетъ быть выключенъ изъ дѣйствія или весь тройной клапанъ, а слѣдовательно и тормаза даннаго вагона, или же только ускоритель.

Затормаживаніе поѣзда можетъ быть произведено не только машинистомъ поѣзда, помощью имѣющагося въ будкѣ паровоза крана для управленія тормазами, но также изъ любого вагона, открывая соотвѣтственный кранъ, помѣщенный внутри вагона. (Кранъ *T*, на чертежѣ 43).

На чертежѣ 45 показана схема расположенія приборовъ для тормазовъ Вестингауза на паровозѣ.

Для сжиманія воздуха устанавливается на паровозѣ *воздушный насосъ* двойного дѣйствія съ паровымъ цилиндромъ *A* и воздушнымъ цилиндромъ *B*; насосъ этотъ накачиваетъ воздухъ *въ главный резервуаръ C*, укрѣпляемый обыкновенно подъ площадкою паровоза или надъ паровымъ котломъ и являющійся главнымъ хранилищемъ запаса сжатаго воздуха, необходимаго для дѣйствія тормазовъ. Насосъ питается паромъ, поступающимъ по трубѣ *D*, имѣющей запорный кранъ въ будкѣ машиниста; на этой трубѣ установленъ регуляторъ насоса *H*, помощью коего дѣйствіе насоса регулируется автоматически; регуляторъ соединенъ трубкою съ главнымъ резервуаромъ и снабженъ поршневымъ клапаномъ; если давленіе воздуха въ резервуарѣ достигаетъ высшаго предѣльнаго размѣра, поршневой клапанъ опускается подъ давленіемъ воздуха и закрываетъ отверстіе для прохода пара, вслѣдствіе чего воздушный насосъ останавливается; наоборотъ, когда давленіе

воздуха падаетъ ниже предѣльной величины, паръ своимъ давленіемъ поднимаетъ клапанъ регулятора и нососъ возобновляетъ свою работу; такимъ образомъ давленіе воздуха въ главномъ резервуарѣ автоматически поддерживается въ опредѣленныхъ предѣлахъ.

Для управленія тормазами служитъ *кранъ машиниста* K, въ тѣлѣ коего имѣются каналы, соединенные соотвѣтственно съ главнымъ резервуаромъ C, со вспомогательнымъ резервуаромъ N, съ главнымъ воздухопроводомъ E, съ отвѣтвленіемъ означеннаго воздухопровода, на коемъ установленъ золотниковый питательный клапанъ P и, наконецъ, съ наружною атмосферою; поворачивающаяся помощью ручки верхняя часть крана, представляющая золотникъ съ серіей отверстій и вырѣзовъ, устанавливаетъ требуемыя со-

Чер. 45.

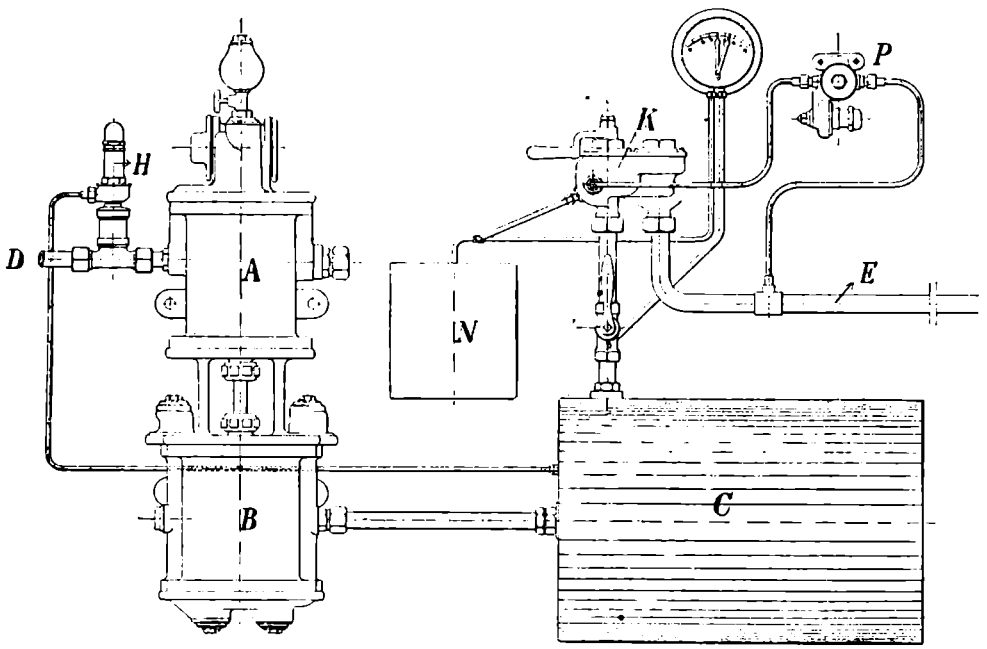


Схема приборовъ на паровозѣ для тормазовъ Вестингауза

единенія между перечисленными выше частями тормазныхъ приборовъ, а въ случаѣ надобности также и съ наружною атмосферою. Рукоятка крана машиниста, поворачиваясь слѣва направо, можетъ занимать слѣдующія пять положеній: 1) Положеніе оттормаживанія и наполненія главнаго воздухопровода; въ этомъ случаѣ главный резервуаръ соединенъ со вспомогательнымъ резервуаромъ, а также непосредственно съ главнымъ воздухопроводомъ. 2) Положеніе „поѣздное“, при которомъ главный резервуаръ соединенъ съ главнымъ воздухопроводомъ не непосредственно, а черезъ отвѣтвленіе съ золотниковымъ питательнымъ клапаномъ P; этотъ клапанъ имѣетъ систему пружинныхъ поршней, регулированныхъ такимъ образомъ, что давленіе въ главномъ воздухопроводѣ поддерживается на уровнѣ атмосферы на $1^1/_2$ ниже давленія главнаго резервуара; такое же давленіе устанавливается во

вспомогательномъ резервуарѣ N, излишекъ давленія въ $1^1/_2$ атмосферы въ главномъ резервуарѣ надъ давленіемъ въ главномъ воздухопроводѣ обезпечиваетъ быстрое возстановленіе давленія при оттормаживаніи. 3) Положеніе перекрыши, соотвѣтствующее закрытію соединительныхъ каналовъ между частями тормазныхъ приборовъ. 4) Положеніе постепеннаго тормаженія; при этомъ положеніи рукоятки открывается выходъ въ наружную атмосферу изъ особой камеры, имѣющейся въ тѣлѣ крана и соединенной со вспомогательнымъ резервуаромъ; давленіе воздуха въ камерѣ постепенно понижается, а вмѣстѣ съ тѣмъ приподнимается клапанъ, открывающій выходъ воздуху изъ главнаго воздухопровода въ наружную атмосферу. 5) Положеніе быстраго тормаженія, при которомъ устанавливается непосредственное сообщеніе главнаго воздухопровода съ наружною атмосферою.

Изъ описаннаго выше устройства тормазовъ Вестингауза ясно, что въ случаѣ разрыва поѣзда, тормаза приходятъ автоматически въ дѣйствіе и поѣздъ останавливается.

Изъ системъ тормазовъ разрѣженнаго воздуха получили довольно обширное распространеніе автоматическіе, скородѣйствующіе тормаза Гарди (Hardy). По этой системѣ въ главномъ сквозномъ воздухопроводѣ поддерживается нормально давленіе ниже атмосфернаго; главный воздухопроводъ соединенъ отростками съ тормазными вертикальными цилиндрами и въ нихъ нормально воздухъ разрѣженъ съ обѣихъ сторонъ поршня, причемъ поршень занимаетъ нижнее свое положеніе, а тормазныя колодки не нажаты; если повысить давленіе въ главномъ воздухопроводѣ, соединивъ его съ наружною атмосферою, то повышенное давленіе, дѣйствуя на нижнюю поверхность поршня, передвигаетъ его вверхъ, вслѣдствіе чего колодки прижимаются къ бандажамъ колесъ; при пониженіи давленія въ главномъ воздухопроводѣ поршни опускаются и происходитъ оттормаживаніе поѣзда. Разрѣженіе воздуха въ главномъ воздухопроводѣ производится помощью парового эжектора, находящагося на паровозѣ; эжекторъ состоитъ изъ конической насадки, внутрь коей входитъ конецъ трубы главнаго воздухопровода; паръ проходя по насадкѣ, увлекаетъ съ собой воздухъ и производитъ такимъ образомъ разрѣженіе въ главномъ воздухопроводѣ.

ГЛАВА III.

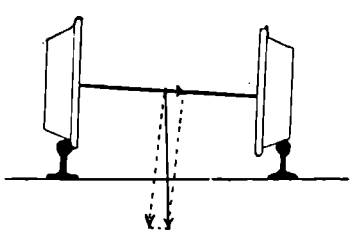
Взаимодѣйствія между рельсами и колесами подвижного состава.

12. Движеніе вагоновъ и паровозовъ въ прямыхъ частяхъ пути. Желѣзнодорожный путь состоитъ изъ прямыхъ частей и изъ кривыхъ, описанныхъ по дугѣ круга; прямыя касаются къ круговымъ кривымъ или же сопряжены съ ними особыми переходными кривыми, о чемъ будетъ сказано ниже.

Въ прямой части рельсоваго пути вагонъ могъ бы двигаться безъ боковыхъ сдвиговъ и колебаній, если бы онъ постоянно занималъ вполнѣ правильное въ рельсовой колеѣ расположеніе, т. е. если-бы продольная ось вагона совпадала съ продольною осью пути, а окружности соприкасанія колесъ съ рельсами имѣли радіусы одной и той-же величины. При такихъ условіяхъ внѣшнія силы, дѣйствующія на вагонъ, какъ-то: сила тяги, приложенная къ тяговому крюку по продольной оси вагона, и силы тренія колесъ съ рельсами, равныя между собою и расположенныя симметрично относительно продольной оси вагона, не могли-бы образовать пары силъ, стремящейся повернуть вагонъ въ поперечномъ (горизонтальномъ) направленіи.

Однако, вслѣдствіе толчковъ отъ неровностей пути, давленія вѣтра и проч., вагонъ подверженъ боковымъ перемѣщеніямъ, причемъ колеса его выходятъ изъ симметричнаго, относительно продольной оси пути, положенія; въ такомъ случаѣ вслѣдствіе коничности бандажей ось вагона принимаетъ наклонное къ горизонту положеніе (чер. 46), благодаря чему является параллельная плоскости пути составляющая силы тяжести, стремящаяся привести ось въ прежнее ея положеніе; вмѣстѣ съ тѣмъ колеса, соприкасаясь съ рельсами по кругамъ разныхъ діаметровъ и будучи наглухо насажены на ось, должны при оборотахъ послѣдней кромѣ катанія, также и скользить (колесо, прикасающееся къ рельсу по кругу большаго діаметра, должно соскользнуть назадъ, въ отношеніи направленія движенія, на полную величину разности окружностей катанія при одномъ оборотѣ оси, или колесо съ меньшимъ діаметромъ катанія должно соскользнуть впередъ, или же, наконецъ, одно изъ колесъ должно частью соскользнуть впередъ, а другое назадъ); отъ скольженія колесъ являются силы тренія, дающія пару съ моментомъ, стремящимся повернуть ось въ горизонтальной плоскости. Въ виду изложеннаго, вагонъ, выйдя изъ симметричнаго, относительно путевыхъ рельсовъ, положенія, не можетъ находиться въ устойчивомъ

Чер. 46.



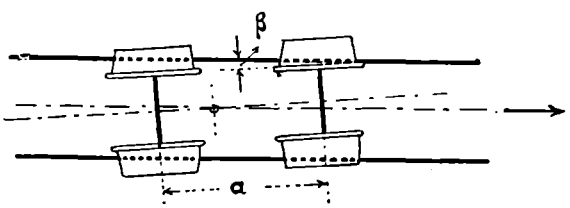
равновѣсіи, а стремится, перемѣщаясь поперекъ пути, занять опять симметричное въ рельсовой колеѣ положеніе; при такомъ перемѣщеніи вагонъ, подъ вліяніемъ указанныхъ выше силъ, а также инерціи, передвигается поперекъ пути далѣе линіи симметріи, послѣ чего опять передвигается обратно и такъ далѣе; такимъ образомъ центръ тяжести вагона движется въ горизонтальной плоскости не по прямой, а по волнообразной линіи.

Изъ сказаннаго выше слѣдуетъ, что коничность бандажей оказываетъ неблагопріятное вліяніе на плавность движенія вагоновъ; теоретическія эти разсужденія подтверждаются также опытами, которые показали, что вагоны съ цилиндрическими бандажами отличаются болѣе спокойнымъ ходомъ сравнительно съ вагонами, имѣющими коническіе бандажи.

Если сцѣпные приборы въ поѣздѣ туго подтянуты, то ходъ вагоновъ болѣе покойный, такъ какъ натяженіе стяжекъ нѣсколько удерживаетъ вагонъ отъ боковыхъ колебаній; волнообразное движеніе особенно замѣтно у послѣдняго вагона поѣзда.

Движеніе паровоза также можетъ принять *извилистое* направленіе по тѣмъ же причинамъ, которыя были указаны выше при разсмотрѣніи условій движенія вагоновъ. Однако извилистое движеніе паровоза, неудерживаемаго спереди подобно вагонамъ сцѣпными приборами, представляетъ большую опасность для движенія, чѣмъ волнообразное движеніе вагоновъ. Переднее, напримѣръ, лѣвое колесо паровоза набѣгаетъ на рельсъ ребордою бандажа подъ нѣкоторымъ угломъ β (чер. 47); отъ давленія рельса на реборду паровозъ приводится во вращательное движеніе вправо, набѣгаетъ правымъ колесомъ на рельсъ и такъ далѣе. Извилистое движеніе паровоза представляетъ опасность, такъ какъ оно сопровождается наползаніемъ реборды бандажей на рельсы и разстройствомъ пути отъ боковыхъ ударовъ; чѣмъ больше уголъ набѣга β, тѣмъ сильнѣе разрушительное дѣйствіе извилистаго движенія; очевидно уголъ β уменьшается съ увеличеніемъ длины a базы паровоза и съ уменьшеніемъ величины свободнаго зазора между рельсами и ребордами бандажей.

Чер. 47.



Независимо отъ описанныхъ выше общихъ съ вагонами неправильностей, поступательное движеніе паровоза сопряжено съ другими пертурбаціями, зависящими отъ конструкціи и условій работы движущаго механизма. Части движущаго механизма паровоза, кромѣ общаго съ паровозомъ движенія, имѣютъ еще относительныя перемѣщенія, сравнительно со строеніемъ паровоза, которыя являются причиною возмущеній въ общемъ движеніи послѣдняго.

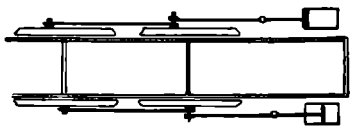
Сила давленія пара передается отъ поршней цилиндровъ двужущимъ осямъ паровоза при посредствѣ шатуновъ, кривошиповъ и спарниковъ; способъ расположенія паровыхъ цилиндровъ вліяетъ въ значительной степени на условія движенія паровозовъ.

По способу работы пара въ паровыхъ цилиндрахъ, паровозы могутъ

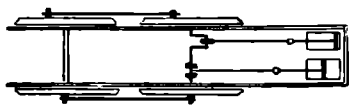
быть съ *однократнымъ расширеніемъ* пара, если паръ, поступившій изъ котла въ цилиндръ и отработавшій въ послѣднемъ, выпускается въ атмосферу, и съ *двукратнымъ расширеніемъ* (*compound*), если паръ, отработавшій въ первомъ (маломъ) цилиндрѣ (*высокаго давленія*), поступаетъ затѣмъ во второй большой цилиндръ (*низкаго давленія*), и, совершивъ въ немъ работу, выходитъ затѣмъ въ атмосферу.

Паровозы съ однократнымъ расширеніемъ пара строятся съ двумя или съ четырьмя цилиндрами. Въ двухцилиндровыхъ паровозахъ цилиндры могутъ быть расположены снаружи паровозной рамы (чер. 48) или внутри паровозной рамы (чер. 49); кривошипы цилиндровъ расположены подъ взаимнымъ угломъ 90°, а слѣдовательно, когда кривошипъ, связанный съ однимъ изъ поршней, проходитъ черезъ мертвую точку, кривошипъ другого поршня находится въ положеніи наиболѣе выгодномъ въ отношеніи величины вра-

Чер. 48.



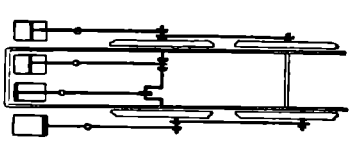
Чер. 49.



щающаго ось момента. При внутреннемъ расположеніи цилиндровъ требуется примѣненіе колѣнчатой оси, изготовленіе коей затруднительно, кромѣ того осмотръ цилиндровъ неудобенъ, но за то ходъ паровоза получается болѣе покойнымъ, о чемъ будетъ сказано ниже. Четырехцилиндровые паровозы однократнаго расширенія имѣютъ два наружныхъ и два внутреннихъ цилиндра.

Паровозы съ двукратнымъ расширеніемъ пара строятся съ двумя или четырьмя цилиндрами, иногда также съ тремя цилиндрами. Двухцилиндровые паровозы двукратнаго расширенія имѣютъ одинъ цилиндръ высокаго и одинъ цилиндръ низкаго давленія; цилиндры располагаются снаружи рамы и имѣютъ кривошипы подъ взаимнымъ угломъ 90°. Четырехцилиндровые паровозы двукратнаго расширенія имѣютъ два цилиндра высокаго и два цилиндра низкаго давленія. Паровозъ можетъ быть сконструированъ съ двумя лишь шатунами, при чемъ каждая изъ двухъ группъ цилиндровъ, состоящая изъ одного цилиндра высокаго и одного цилиндра низкаго давленія, дѣйствуетъ на одинъ общій шатунъ; поршни обоихъ цилиндровъ одной группы должны, очевидно, одновременно занимать одноименныя мертвыя положенія; кривошипы двухъ группъ цилиндровъ располагаются подъ взаимнымъ угломъ 90°; цилиндры одной и той же группы могутъ быть расположены одинъ подъ другимъ (типъ Воклена) или же одинъ впереди другого съ совпаденіемъ продольныхъ осей цилиндровъ (типъ tandem). При другой конструкціи, схематически показанной на чертежѣ 50, цилиндры низкаго давленія расположены снаружи рамы и дѣйствуютъ помощью наружныхъ кривошиповъ, а цилиндры высокаго давленія, расположенные внутри рамы, дѣйствуютъ на колѣнчатую ось; кривошипы цилиндровъ каждой группы (высокаго и низкаго давленія) расположены подъ угломъ 180°, а кривошипы обѣихъ группъ подъ угломъ 90°.

Чер 50.



Въ движущемъ механизмѣ паровоза имѣются части, совершающія поступательныя впередъ и назадъ движенія (поршни, штоки), вращательныя движенія (кривошипы, спарники) и сложныя, отчасти поступательныя, отчасти вращательныя движенія, какъ-то шатунъ, одинъ конецъ коего связанъ со штокомъ, а другой съ кривошипомъ.

При движеніи паровоза части его механизма перемѣщаются то впередъ, то назадъ; однако такое относительное перемѣщеніе означенныхъ частей не можетъ оказать вліянія на положеніе центра тяжести паровоза, который можетъ перемѣститься лишь подъ вліяніемъ внѣшнихъ силъ; поэтому, при поступательныхъ взадъ и впередъ передвиженіяхъ частей механизма, строеніе паровоза должно также дѣлать передвиженія, но въ обратномъ направленіи; явленіе это, называемое *подергиваніемъ*, усиливаетъ износъ тяговыхъ приборовъ и расшатываетъ соединенія въ строеніи паровоза.

Силы инерціи частей механизма, движущихся съ одной и съ другой стороны паровоза, образуютъ пару съ моментомъ, вращающимъ паровозъ около вертикальной оси; происходящее по этой причинѣ, такъ называемое, *виляніе* паровоза можетъ усилить указанную выше извилистость его движенія; виляніе сильнѣе проявляется въ паровозахъ съ наружными цилиндрами, чѣмъ въ паровозахъ съ внутренними цилиндрами, ибо въ первомъ случаѣ плечо у пары силъ вращающихъ паровозъ больше.

Вращающіяся части движущаго механизма, связаныя съ колесами паровоза и имѣющія центръ тяжести, несовпадающій съ осью вращенія, даютъ центробѣжную силу, которая увеличиваетъ давленіе колеса въ моменты, когда указанныя массы проходятъ черезъ нижнее свое положеніе, и уменьшаетъ означенное давленіе въ моменты прохода массъ черезъ верхнее ихъ положеніе; такимъ образомъ происходитъ періодическая перегрузка и разгрузка колесъ у спаренныхъ осей паровоза; кромѣ того увеличеніе или уменьшеніе давленій колесъ паровоза происходитъ отъ соотвѣтствующихъ составляющихъ силъ, передаваемыхъ кривошипу шатуномъ, при наклонныхъ положеніяхъ послѣдняго; величина этихъ составляющихъ измѣняется, очевидно, съ измѣненіемъ угла наклона шатуна и измѣненіемъ величины силы, передаваемой шатуномъ кривошипу.

Перегрузка колесъ паровоза отъ указанныхъ причинъ должна быть принята во вниманіе при расчетѣ напряженій въ верхнемъ строеніи пути; значительная разгрузка колесъ паровоза можетъ быть причиною схода его съ рельсовъ; особенную опасность представляетъ разгрузка колеса передняго ската; поэтому у быстроходныхъ паровозовъ передній скатъ никогда не спаривается, а устраивается въ видѣ вольной оси, поддерживающей и направляющей паровозъ, но не участвующей въ развитіи силы тяги.

При наклонныхъ положеніяхъ шатуна, салазки передаютъ черезъ параллели строенію паровоза вертикальныя силы, направленныя то вверхъ, то внизъ; силы эти вызываютъ качанія паровоза, а именно: вращеніе около поперечной горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести надрессорнаго строенія (*галлопированіе*), вращеніе около продольной горизонтальной оси (*боковую качку*) и вертикальныя движенія надрессорнаго строенія (*подпрыгиваніе*); ввиду незначительности упомянутыхъ вертикальныхъ силъ, вызываемыя ими возмущенія въ движеніи паровоза не имѣютъ практическаго значенія.

Для устраненія указанныхъ выше возмущеній въ ходѣ паровоза отъ относительныхъ перемѣщеній массъ движущаго механизма, устраиваются у колесъ паровоза противовѣсы такихъ размѣровъ и такимъ образомъ расположенные, чтобы вліяніе ихъ парализовало упомянутыя вредныя вліянія движущихъ массъ механизма.

Если паровозъ сконструированъ такимъ образомъ, что въ немъ не существуетъ находу ни вилянія, ни подергиванія, то говорятъ—что въ паровозѣ достигнуто *горизонтальное равновѣсіе*; если-же при движеніи паровоза давленіе колесъ на рельсъ не мѣняется отъ дѣйствія массъ, имѣющихъ относительныя къ строенію поровоза перемѣщенія, то говорятъ—что въ паровозѣ достигнуто *вертикальное равновѣсіе*.

Расчетъ показываетъ, что, при двухцилиндровыхъ паровозахъ, горизонтальное равновѣсіе требуетъ значительно бо́льшихъ противовѣсовъ, чѣмъ вертикальное равновѣсіе; по этому на практикѣ приходится брать противовѣсы бо́льше, чѣмъ это необходимо для вертикальнаго равновѣсія и меньше, чѣмъ требуется для горизонтальнаго равновѣсія, т. е. получаются, такъ называемые, вертикальный избытокъ и горизонтальный недостатокъ; такимъ образомъ не представляется возможнымъ достичь горизонтальнаго и вертикальнаго равновѣсія и необходимо считаться съ тѣмъ, что, и въ хорошо спроектированныхъ паровозахъ, разгрузка и перегрузка колесъ у спаренныхъ скатовъ подъ вліяніемъ вертикальнаго избытка можетъ достигать 50%, т. е. динамическое давленіе колеса можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ 0,5 до 1,5 статической его нагрузки.

Въ значительно лучшихъ условіяхъ, относительно уровновѣшиванія массъ движущаго механизма, находятся четырехцилиндровые паровозы при условіи, что поршень каждаго изъ цилиндровъ дѣйствуетъ на отдѣльный шатунъ; если расположить кривошипы въ каждой группѣ подъ угломъ 180°, какъ это показано на чертежѣ 50, то можно достичь взаимнаго уравновѣшиванія поступательно движущихся массъ механизма; но достичь полнаго вертикальнаго равновѣсія, и въ этомъ случаѣ, не представляется возможнымъ, вслѣдствіе измѣненій въ величинѣ силъ, передаваемыхъ кривошипамъ шатунами.

Аналитическій расчетъ противовѣсовъ выходитъ за предѣлы настоящаго курса; что-же касается неправильностей, являющихся при движеніи вагоновъ и паровозовъ на прямыхъ участкахъ пути, то вслѣдствіе случайности и неопредѣленности большинства факторовъ, обусловливающихъ упомянутыя неправильности, подробное изслѣдованіе не имѣло-бы практическаго значенія.

13. Расположеніе и перемѣщенія желѣзнодорожнаго экипажа въ кривыхъ частяхъ пути. Движеніе поѣздовъ въ кривыхъ частяхъ рельсоваго пути отличается нѣкоторыми особенностями, аналитическое изслѣдованіе коихъ даетъ возможность уяснить себя характерныя явленія, сопровождающія вписываніе подвижного состава въ кривыя.

При движеніи въ кривыхъ, въ связи съ конструктивными особенностями желѣзнодорожнаго подвижного состава, являются дополнительныя скольженія, обусловливаемыя происходящими въ этомъ случаѣ перемѣщеніями колесъ; а именно, постоянное поворачиваніе экипажа съ параллель-

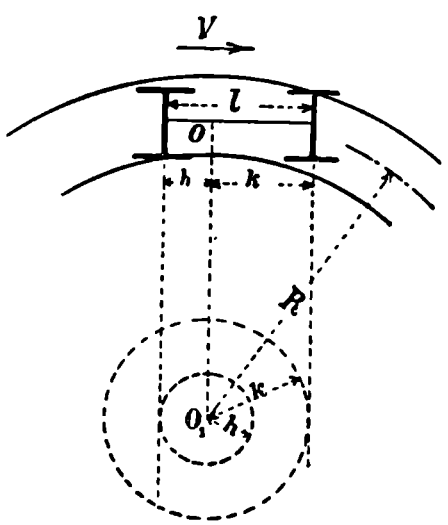
ными осями, вписывающагося въ кривую, сопровождается скольженіемъ бандажей по рельсамъ въ направленіи, параллельномъ осямъ скатовъ; въ направленіи же параллельномъ продольной оси экипажа происходитъ скольженіе потому, что радіусы круговъ катанія обоихъ колесъ даннаго ската не пропорціональны вообще проходимымъ колесами путямъ, то-есть радіусамъ наружной и внутренней рельсовыхъ нитокъ кривой.

Величина и направленіе силъ, дѣйствующихъ на рельсы, а также сопротивленій движенію, кои являются при проходѣ желѣзнодорожнаго экипажа по кривой, зависятъ отъ величины и направленія совершаемыхъ экипажемъ перемѣщеній. Для опредѣленія послѣднихъ необходимо прежде всего выяснить, какое относительное положеніе къ кривой занимаетъ вписывающійся въ нее экипажъ.

На положеніе въ кривой отдѣльнаго вагона, находящагося въ составѣ поѣзда, оказываютъ вліяніе, кромѣ взаимодѣйствій между его колесами и рельсами пути, также центробѣжная сила, благодаря криволинейному движенію, центростремительная сила, вслѣдствіе возвышенія [1]) наружнаго рельса кривой, и силы тяги, приложенныя какъ спереди, такъ и сзади даннаго вагона.

Для упрощенія вопроса предположимъ сначала, что на движущійся въ кривой экипажъ, силы тяги не оказываютъ вліянія [2]), и что центробѣжная сила уравновѣшивается центростремительной силой, то-есть возвышеніе наружнаго рельса точно отвѣчаетъ скорости движенія экипажа, а слѣдовательно равнодѣйствующая силъ тяжести, центробѣжной и центростремительной, нормальна къ плоскости пути. Въ полученные, при такихъ условіяхъ движенія, результаты могутъ быть затѣмъ введены поправки, соотвѣтствующія вліянію не принятыхъ во вниманіе силъ.

Черт. 51



Пусть двухосный желѣзнодорожный экипажъ съ неподвижными параллельными осями, расположенными въ разстояніи l другъ отъ друга, движется равномѣрно со скоростью V по кривой радіуса R (чер. 51).

Экипажъ, вписываясь въ кривую, вращается съ угловою скоростью $\omega = \frac{V}{R}$ около оси O_1, проходящей черезъ центръ кривой и нормальной къ плоскости пути. Разложимъ это вращательное движеніе на поступательное движеніе, параллельно продольной оси вагона, и на вращательное движеніе около оси O, параллельной оси O_1 и проходящей черезъ точку O— основаніе перпендикуляра, опущеннаго изъ центра кривой на проекцію (на плоскости пути) продольной оси вагона.

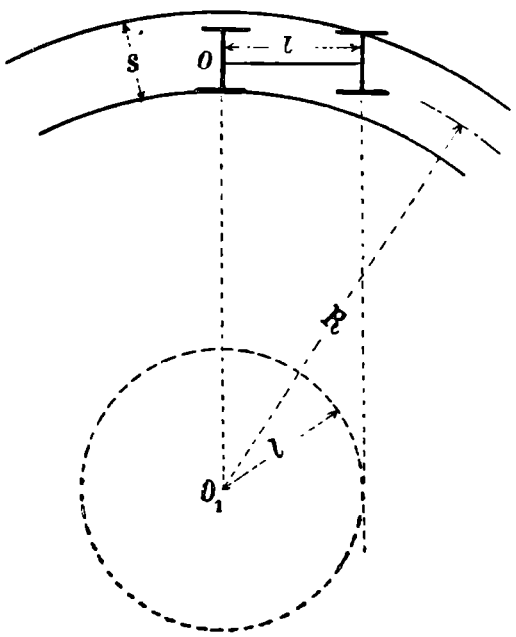
[1]) Въ прямыхъ частяхъ пути оба рельса колеи располагаются въ одномъ уровнѣ, въ кривыхъ наружный рельсъ располагается выше внутренняго рельса, о чемъ сказано подробно ниже.

[2]) Напримѣръ при движеніи поѣзда подъ уклонъ.

Угловая скорость вращенія около оси O равна $\omega = \frac{V}{R}$, а скорость поступательнаго движенія равна $\omega \; OO_1 = \omega R = V$.

Согласно сдѣланному выше предположенію, вращеніе экипажа происходитъ лишь подъ вліяніемъ взаимодѣйствія между его колесами и рельсами; разсматривая направленіе могущихъ при этомъ возникнуть силъ, мы видимъ, что ось передняго ската должна перемѣщаться въ направленіи перпендикулярномъ къ продольной оси вагона во внутрь кривой, ось же задняго ската можетъ перемѣщаться и внаружу кривой, и внутрь ея, или не имѣть вовсе поперечнаго перемѣщенія; въ послѣднемъ случаѣ ось эта должна имѣть радіальное направленіе, т.-е. продолженіе ея должно проходить черезъ центръ кривой (чер. 52).

Чер. 52.



Слѣдовательно, центръ O вращенія экипажа можетъ находиться между переднею и заднею его осями, или совпадать съ заднею осью, или находиться позади ея.

Положеніе центра O зависитъ отъ относительныхъ величинъ: радіуса (R) кривой, разстоянія (l) между осями вагона (длины жесткой базы вагона), ширины колеи и разстоянія между наружными, прикасающимися къ рельсамъ, боковыми гранями бандажныхъ гребней.

Какъ видно по чер. 52, задняя ось вагона можетъ принять радіальное положеніе лишь при условіи, что полный свободный зазоръ (e) [1]) между рельсомъ и гребнемъ бандажа въ свѣту удовлетворяетъ условію:

$$e \geqq \frac{l^2}{2R + s - e};$$

или, принимая во вниманіе, что $s - e$ незначительно по сравненію съ $2R$, условію:

$$e \geqq \frac{l^2}{2R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Способъ опредѣленія центра вращенія вписывающагося въ кривую экипажа помощью аналитическаго расчета будетъ поясненъ ниже; расчетъ этотъ, а также опыты надъ моделями подвижного состава показываютъ, что

---

[1]) Двойная величина наибольшаго, возможнаго, поперечнаго перемѣщенія оси изъ средняго ея положенія при условіи, что поверхности катанія бандажей касаются верха рельсовыхъ головокъ.

двухосный экипажъ стремится занять въ кривой такое положеніе, при которомъ задняя его ось принимаетъ радіальное направленіе.

Если при вступленіи вагона въ кривую задній его скатъ окажется позади перпендикуляра, опущеннаго изъ центра кривой на продольную ось вагона, то при дальнѣйшемъ движеніи вагона гребень внутренняго колеса задняго ската будетъ приближаться къ внутреннему рельсу, пока не упрется въ него (чер. 51), или же пока задній скатъ не приметъ радіальнаго положенія (чер. 52); если же задній скатъ вагона очутился бы впереди сказаннаго перпендикуляра, то внутренній его гребень удалялся бы отъ внутренняго рельса, пока при соотвѣтственныхъ поворотахъ вагона задняя его ось не приняла бы радіальнаго положенія. Итакъ, задняя ось двухоснаго вагона принимаетъ при движеніи въ кривой радіальное положеніе, разъ удовлетворено условіе (1); въ противномъ же случаѣ продолженіе задней оси вагона проходитъ позади центра кривой (чер. 51) и повороты вагона происходятъ около точки O, лежащей между обоими осями.

Разъ вагонъ занялъ положеніе въ кривой, отвѣчающее его размѣрамъ радіусу кривой и ширинѣ колеи, то при дальнѣйшемъ движеніи вагона относительное (къ самому вагону) положеніе центра его вращенія O остается неизмѣннымъ, а оси вагона находятся всегда на одномъ и томъ же разстояніи отъ центра кривой, то-есть продолженія ихъ всегда касательны къ окружностямъ круговъ, описанныхъ изъ центра кривой радіусами k и h чер. 51), если k и h означаютъ соотвѣтственныя разстоянія центра O вращенія вагона отъ передней и задней его осей [1]). Значенія k и h могутъ быть опредѣлены изъ уравненій (чер. 51):

$$\frac{k^2}{2R} = e + \frac{h^2}{2R} \qquad k + h = l,$$

откуда

$$k = \frac{l}{2} + \frac{eR}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$h = \frac{l}{2} - \frac{eR}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

При

$$e \geq \frac{l^2}{2R} \qquad \begin{matrix} h = o \\ k = l \end{matrix}$$

Движеніе желѣзнодорожнаго экипажа по кривой безъ дополнительнаго скольженія было бы возможно лишь при условіи, что всѣ оси занимаютъ радіальное положеніе и вершины конусовъ, опредѣляемыхъ кругами катанія обоихъ колесъ данной оси по рельсамъ, совпадаютъ съ центромъ кривой. Вершина конуса катанія передней оси, хотя и не совпадаетъ съ центромъ кривой, но находится всегда вмѣстѣ съ послѣднимъ по одну и ту же сто-

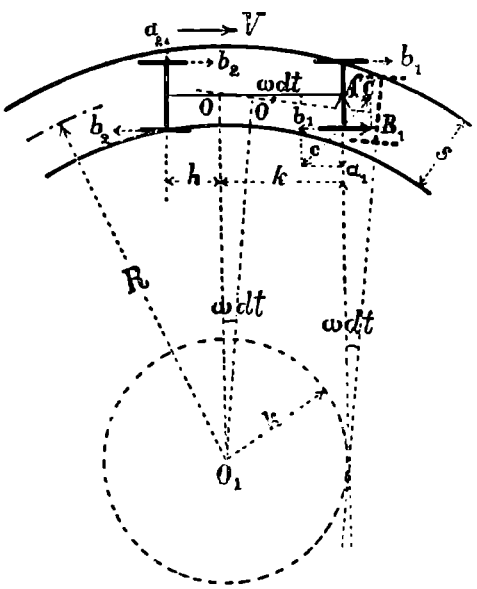
[1]) Указанное выше правило о радіальномъ расположеніи задней оси двухоснаго вагона при $e > \frac{l^2}{2R}$, хотя и даетъ очень незначительныя погрѣшности, но математически не вполнѣ точно; въ упомянутомъ случаѣ центръ вращенія вагона можетъ лежать какъ сзади, такъ и спереди задней оси, а равно и совпадать съ нею; точное положеніе центра вращенія можетъ быть найдено при помощи расчета реакцій рельсовъ вращенію, о чемъ будетъ сказано ниже.

рону кривой. Вершина конуса катанія задней оси, при расположеніи вагона по чертежу 51, должна всегда лежать по другую сторону кривой, относительно ея центра; при расположеніи же вагона по чертежу 52, сказанная вершина, въ зависимости отъ значеній величинъ R, l и e, можетъ лежать съ центромъ по одну и ту же сторону кривой, или по другую ея сторону, или же находиться въ безконечномъ разстояніи, то-есть конусъ катанія можетъ обратиться въ цилиндръ. Такимъ образомъ передняя ось не можетъ занимать радіальнаго положенія, но зато вершина конуса ея катанія располагается вообще болѣе правильно, чѣмъ та же вершина задней оси, хотя послѣдняя можетъ занимать радіальное положеніе.

Выяснивъ положеніе, занимаемое вписывающимся въ кривую двухоснымъ экипажемъ, мы можемъ опредѣлить передвиженія, совершаемыя при этомъ колесами по рельсамъ, а слѣдовательно расчитать величину и направленіе являющихся въ этомъ случаѣ скольженій и обусловливаемыхъ ими силъ.

Пусть двухосный экипажъ съ давленіемъ P (нормально плоскости пути) на каждое колесо движется со скоростью V по кривой радіуса R (чер. 53).

Чер. 53

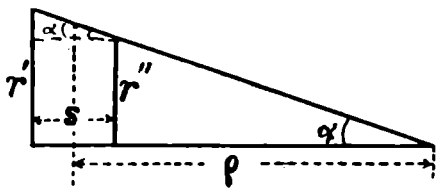


Движеніе это можетъ быть разложено, какъ было показано выше, на вращательное движеніе съ угловою скоростью $\omega = \frac{V}{R}$ около мгновенныхъ осей O, O^1 и т. д. и поступательное движеніе со скоростью V. Въ теченіе элемента времени dt вагонъ, повернувшись около мгновенной оси O на уголъ ωdt и подвинувшись поступательно въ направленіи своей продольной оси на величину Vdt, перемѣстится въ положеніе, показанное на чертежѣ пунктиромъ, при чемъ колеса вагона отчасти будутъ катиться, а отчасти скользить. Опредѣлимъ протяженіе сказаннаго скольженія въ направленіи продольной оси вагона и въ направленіи прикасающейся къ рельсу образующей у конической поверхности бандажа. Перемѣщенія колесъ какъ передней, такъ и задней оси, параллельно образующимъ поверхности бандажей, происходятъ полностью скольженіемъ; протяженія сказаннаго скольженія равны: для колесъ передней оси $\frac{k\omega dt}{\cos\alpha}$, а для задней оси $\frac{h\omega dt}{\cos\alpha}$, гдѣ α – обозначаетъ уголъ наклона образующихъ конической поверхности бандажа къ оси ската; слѣдовательно, называя соотвѣтственно a_1 и a_2 скорости скольженія колесъ въ направленіи упомянутыхъ образующихъ (скорости поперечнаго скольженія) для передней и задней осей, получимъ:

$$a_1 = \frac{k\omega dt}{dt\cos\alpha} = \frac{kV}{R\cos\alpha} \qquad a_2 = \frac{h\omega dt}{dt\cos\alpha} = \frac{hV}{R\cos\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Перемѣщеніе колесъ параллельно продольной оси вагона происходитъ частью катаніемъ, частью же скольженіемъ; опредѣлимъ протяженіе скольженія. Разность путей, пройденныхъ по рельсамъ наружнымъ и внутреннимъ колесами (чер. 53), равна $s\omega\,dt = s\frac{V}{R}dt$ (гдѣ подъ s слѣдуетъ подразумѣвать разстояніе между продольными осями рельсовъ). Если r' и r'' радіусы круговъ касанія къ рельсамъ наружнаго и внутренняго колесъ данной оси, то скольженія сихъ колесъ, параллельно продольной оси вагона при поступательной скорости V послѣдняго (въ направленіи касательной), не было бы лишь въ томъ случаѣ, когда сказанная ось двигалась бы съ угловою скоростью $\frac{V}{\rho}$ по кривой радіуса ρ равнаго (чер. 54):

Чер. 54.



$$\rho = \frac{r'+r''}{2}\cdot ctg\alpha = \frac{r'+r''}{r'-r''}\cdot\frac{s}{2}; \quad \rho = \frac{r'+r''}{r'-r''}\cdot\frac{s}{2}.$$

Разность путей, пройденныхъ по рельсамъ наружнымъ и внутреннимъ колесами за время dt, равнялась бы въ такомъ случаѣ $s\frac{V}{\rho}dt$, а слѣдовательно общее протяженіе скольженія обоихъ колесъ равно: $sdt\left(\frac{V}{R}-\frac{V}{\rho}\right)$. Такъ какъ, согласно предположенію, оба колеса нагружены одинаково, то можно допустить, что каждое изъ нихъ соскользнетъ на одинаковое протяженіе въ противоположномъ другъ другу направленіи, а слѣдовательно скорость b скольженія колесъ, параллельно продольной оси вагона (скорость продольнаго скольженія), выразится:

$$b = \frac{sV}{2}\left(\frac{1}{R}-\frac{1}{\rho}\right).$$

Обозначая m—разстояніе въ свѣту между гребнемъ наружнаго колеса и наружнымъ рельсомъ и r—радіусъ круга касанія бандажа съ рельсомъ, соотвѣтствующій среднему его положенію $\left(\text{при } m=\frac{e}{2}\right)$, находимъ:

$$r'' = r-\left(\frac{e}{2}-m\right)tg\alpha \quad r' = r+\mu+\left(\frac{e}{2}-m\right)tg\alpha.$$

[гдѣ μ—нѣкоторая поправка, зависящая отъ расположенія экипажа: $\mu=0$, если оба колеса данной оси касаются верхнихъ частей рельсовыхъ головокъ по поверхностямъ катанія бандажей, $\mu \gtrless 0$, если одно изъ колесъ касается верхняго бокового закругленія рельсовой головки выкружкой бандажнаго гребня; когда послѣднее условіе имѣетъ мѣсто для наружнаго колеса, $\mu > 0$ (передняя ось), въ противномъ случаѣ, $\mu < 0$ (задняя ось)], откуда (μ незначительно въ сравненіи съ r):

$$\rho = \frac{rs}{\mu+(e-2m)tg\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Подставляя это значеніе ρ въ выраженіе для скорости продольнаго скольженія, получимъ:

$$b_1 = \frac{V}{2}\left(\frac{s}{R} - \frac{(e - 2m_1)tg\alpha + \mu_1}{r_1}\right) \text{ для передней оси и}$$

$$b_2 = \frac{V}{2}\left(\frac{s}{R} - \frac{(e - 2m_2)tg\alpha - \mu_2}{r_2}\right) \text{ для задней оси.}$$

Въ зависимости отъ относительныхъ значеній величинъ, входящихъ въ формулы для опредѣленія скоростей b_1 и b_2, послѣднія могутъ быть какъ положительными, такъ и отрицательными, то-есть имѣть показанное на чертежѣ 53 направленіе или же обратное направленіе.

При $2m > e$, что возможно для задней оси, $\rho < 0$, то-есть вершина конуса катанія лежитъ по другую сторону кривой, относительно ея центра; тогда второй членъ формулы, опредѣляющей скорость продольнаго скольженія, является въ результатѣ съ положительнымъ знакомъ, а величина этой скорости можетъ оказаться сравнительно значительной.

Для передней оси $m_1 = 0$ и скорость продольнаго скольженія ея колесъ:

$$b_1 = \frac{V}{2}\left(\frac{s}{R} - \frac{e\,tg\,\alpha + \mu_1}{r}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Для задней оси величина m можетъ измѣняться въ предѣлахъ $\frac{l^2}{2R}$ и e; скорость продольнаго скольженія ея колесъ, полагая, что бандажи у обѣихъ осей обточены по одинаковымъ радіусамъ и съ одинаковымъ наклономъ, выразится:

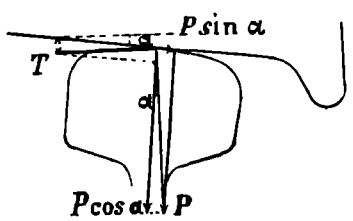
$$b_2 = \frac{V}{2}\left(\frac{s}{R} - \frac{(e - 2m)tg\alpha - \mu_2}{r}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Составляющія скорости a и b поперечнаго и продольнаго скольженія даютъ равнодѣйствующую скорость c, опредѣляющую величину и направленіе дѣйствительнаго скольженія колесъ (чер. 53):

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}.$$

Сила C, противодѣйствующая этому скольженію, равна $C = fP\cos\alpha$ (чер. 55), гдѣ f—коэффиціентъ скользящаго тренія; направленіе же ея прямо противоположно скорости скольженія c.

Чер. 55.



Разлагая эту силу на составляющія: A— параллельно касательной къ рельсу образующей конической поверхности бандажа и B— параллельно продольной оси вагона, получимъ силы, противодѣйствующія поперечному и продольному скольженію (чер. 53):

$$A = fP\cos\alpha\frac{a}{\sqrt{a^2+b^2}} \qquad B = fP\cos\alpha\frac{b}{\sqrt{a^2+b^2}}.$$

Подставляя въ эти равенства значенія a и b по формуламъ (4)—(7), получимъ:

Для передней оси:

$$A_1 = fP_1 \cos\alpha \frac{\frac{k}{\cos\alpha}}{\sqrt{\left(\frac{k}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R(e\,tg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]^2}} \quad \ldots \quad (8)$$

$$B_1 = fP_1 \cos\alpha \frac{s - \frac{R(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}}{2\sqrt{\left(\frac{k}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]^2}} \quad \ldots \quad (9)$$

Для задней оси:

$$A_2 = fP_2 \cos\alpha \frac{\left(\frac{h}{\cos\alpha}\right)}{\sqrt{\left(\frac{h}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R\,|\,(e-2m)\,tg\,\alpha - \mu_2|}{r}\right]^2}} \quad \ldots \quad (10)$$

$$B_2 = fP_2 \cos\alpha \frac{s - \frac{R\,[\,(e-2m)\,tg\,\alpha - \mu_2]}{r}}{2\sqrt{\left(\frac{h}{\cos\alpha}\right)^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R\,[\,(e-2m)\,tg\,\alpha - \mu_2|}{r}\right]^2}} \quad (11)$$

Въ случаѣ когда задняя ось занимаетъ радіальное положеніе, въ послѣднихъ формулахъ слѣдуетъ положить:

$$h = o, \quad k = l, \quad m = \frac{l^2}{2R}$$

Рѣшеніе вопроса о расположеніи въ кривой трехоснаго или четырехоснаго экипажа теоретическимъ путемъ является болѣе сложной задачей, чѣмъ въ случаѣ двухоснаго экипажа; тѣмъ не мѣнѣе, данныя для опредѣленія центра вращенія экипажа могутъ быть получены расчетомъ реакціи рельсовъ указанному вращенію, о чемъ будетъ сказано ниже.

Можно сдѣлать заключеніе a priori, что съ увеличеніемъ количества осей у экипажа, при одинаковыхъ остальныхъ условіяхъ, центръ его вращенія приближается къ передней оси. Дѣйствительно, вращающая экипажъ реакція наружнаго рельса у наружнаго колеса передняго ската, направленная во внутрь кривой, должна уравновѣшиваться реакціей внутренняго колеса передняго ската, направленной внаружу кривой, а также соотвѣтственными реакціями рельсовъ у колесъ остальныхъ осей экипажа; въ случаѣ двухоснаго экипажа, для уравновѣшенія реакціи у наружнаго колеса передняго ската, необходимо, говоря вообще, имѣть, кромѣ реакціи внутренняго колеса передняго ската, также и одинаково направленныя съ послѣдней реакціи рельсовъ у колесъ задняго ската, для чего скатъ этотъ долженъ имѣть вообще поперечное скольженіе во внутрь кривой, а центръ вращенія вагона находиться позади задняго ската; въ извѣстныхъ случаяхъ, для упомянутаго выше равновѣсія силъ, поперечныя реакціи рельсовъ у колесъ

задняго ската двухоснаго вагона должны быть направлены во внутрь кривой, при центрѣ вращенія вагона впереди задняго ската, а могутъ быть также равными нулю, при радіальномъ расположеніи задняго ската; во всякомъ случаѣ разстояніе центра вращенія двухоснаго экипажа отъ задняго ската незначительно и при практическихъ расчетахъ можно положить, что задняя его ось принимаетъ радіальное положеніе разъ $e \geqq \frac{l^2}{2R}$ и обусловленная этимъ предположеніемъ погрѣшность не имѣетъ существеннаго значенія.

При вписываніи въ кривую трехоснаго экипажа съ параллельными осями, для уравновѣшенія реакціи рельса у наружнаго колеса передняго ската являются въ числѣ другихъ также и реакціи поперечному скольженію колесъ средняго ската; реакціи эти, вмѣстѣ съ реакціей у внутренняго колеса передняго ската, вообще болѣе реакціи рельса у наружнаго колеса передняго ската, почему для равновѣсія у колесъ задняго ската должны явиться реакціи, направленныя одинаково съ реакціей рельса у наружнаго колеса передняго ската, то-есть во внутрь кривой, а слѣдовательно центръ вращенія экипажа долженъ находиться впереди задняго ската.

При дальнѣйшемъ увеличеніи числа осей у экипажа должна увеличиваться, для равновѣсія силъ, относительная величина реакціи колесъ *задняго ската, то-есть центръ вращенія экипажа* долженъ удаляться отъ задняго ската и приближаться къ переднему скату.

И такъ, если $e \geqq \frac{l^2}{2R}$, центръ вращенія трехоснаго экипажа не совпадаетъ все же съ заднею осью, а находится на нѣкоторомъ разстояніи впереди ея, различномъ при томъ для кривыхъ различныхъ радіусовъ; однако упомянутое разстояніе столь незначительно, что задняя ось экипажа, при выполненіи указаннаго выше условія, можетъ быть предположена радіальной и обусловленныя этимъ предположеніемъ погрѣшности не имѣютъ сколь нибудь существеннаго значенія. Если же $e < \frac{l^2}{2R}$, то центръ вращенія трехоснаго экипажа долженъ, понятно, находиться впереди задней оси въ разстояніи, геометрически обусловленномъ соотношеніями указанныхъ величинъ.

Разъ выяснено положеніе трехоснаго экипажа, вписывающагося въ *кривую, то отдѣльныя его перемѣщенія* и противодѣйствующія имъ силы могутъ быть опредѣлены тѣмъ же способомъ, который былъ примѣненъ выше для двухоснаго экипажа.

Центръ вращенія четырехоснаго экипажа съ параллельными неподвижными осями, напримѣръ, товарнаго четырехоснаго паровоза, долженъ находиться, на основаніи высказанныхъ выше соображеній, впереди задней оси и въ большемъ отъ нея разстояніи, по сравненію съ трехоснымъ экипажемъ, при одинаковыхъ остальныхъ условіяхъ. Точное положеніе центра вращенія экипажа по отношенію къ его осямъ, различное для кривыхъ различныхъ радіусовъ, можетъ быть найдено расчетомъ реакцій рельсовъ вращенію экипажа, о чемъ сказано ниже. При встрѣчающихся на практикѣ размѣрахъ четырехосныхъ паровозовъ, центръ ихъ вращенія можно считать

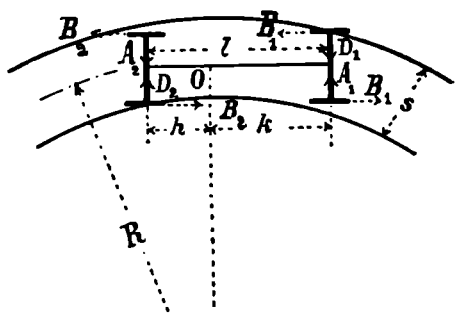
лежащимъ по серединѣ между осями задней пары скатовъ, если, конечно, геометрическія соотношенія базы экипажа радіуса кривой и полной ширины колеи позволяютъ, что обыкновенно и бываетъ на практикѣ; погрѣшность, являющаяся отъ указаннаго допущенія, имѣетъ ничтожное вліяніе на окончательные результаты расчета данныхъ, необходимыхъ какъ для практическихъ, такъ и теоретическихъ соображеній относительно прохода экипажей по кривой.

14. Реакціи рельсовъ въ кривыхъ. Для выясненія взаимодѣйствій между рельсами и колесами подвижного состава, при проходѣ поѣздовъ по кривымъ участкамъ пути, необходимо опрѣдѣлить реакціи, вызываемыя въ рельсахъ вписывающимся въ кривую подвижнымъ составомъ.

Разсмотримъ случай движенія въ кривой двухоснаго экипажа (чер. 56)

Въ мѣстахъ соприкасанія съ рельсами колесъ передняго ската, дѣйствуютъ параллельныя продольной оси вагона реакціи рельсовъ, величиною B_1 (9), образующія пару силъ съ моментомъ B_1 s; подобнымъ же образомъ у колесъ задняго ската дѣйствуютъ реакціи рельсовъ, величиною B_2 (11), образующія пару силъ съ моментомъ B_2 s.

Чер. 56.



Силы B дѣйствуютъ въ плоскости пути и алгебраическая ихъ сумма $\Sigma B = 0$, ибо согласно предположенію разсматривается движеніе одиночнаго экипажа безъ прицѣпленнаго къ нему состава, то-есть въ развитіи экипажемъ силы тяги для передвиженія состава надобности не имѣется.

Внутреннее колесо передняго ската скользитъ въ поперечномъ направленіи съ опредѣленною выше скоростью a_1 (4), а такъ какъ касаніе колеса съ рельсомъ происходитъ въ конической части поверхности бандажа съ постояннымъ угломъ (α) наклона ея образующихъ къ оси ската, то и направленіе сказаннаго перемѣщенія колеса составляетъ постоянный уголъ какъ съ осью ската (a), такъ и съ нормальной къ ней, согласно сдѣланному выше предположенію, силою тяжести экипажа. Поэтому параллельная подошвѣ рельса реакція внутренняго рельса отъ поперечнаго перемѣщенія внутренняго колеса передней оси можетъ быть принята равной, по величинѣ и направленію, силѣ A_1, опредѣляемой формулой (8); сила же, сопротивляющаяся перемѣщенію внутренняго колеса передняго ската, равна (чер. 55) $A_1 + P \sin \alpha$. На томъ же основаніи реакція наружнаго колеса задней оси можетъ быть принята равной силѣ A_2 (10), а сопротивленіе перемѣщенію сказаннаго колеса равнымъ $A_2 \pm P \sin \alpha$.

Указанное опредѣленіе реакціи было бы вполнѣ точно, если бы сила, передвигающая колесо въ поперечномъ направленіи, была параллельна касательной къ рельсу образующей конической поверхности бандажа; но такъ какъ подобныя силы дѣйствуютъ въ направленіи оси ската, а слѣдовательно составляютъ съ упомянутой образующей уголъ α, то является вслѣдствіе этого дополнительное нормальное давленіе, увеличивающее силу тренія; давленіе это, какъ видно изъ чертежа 55, равно $T \sin \alpha$; слѣдовательно,

для точнаго расчета указанной реакціи, слѣдовало бы въ формулахъ (8)—(11) вставить вмѣсто $P\cos\alpha$, величину $P\cos\alpha + T\sin\alpha$; но, вслѣдствіе незначительности угла α, можно пренебречь этой поправкой и упомянутыя реакціи расчитывать непосредственно по формуламъ (8)—(11).

Такимъ образомъ при движеніи двухоснаго экипажа по кривой, расположеннаго по чертежу 56, внутренній и наружный рельсы опрокидываются внаружу колеи, первый внутреннимъ колесомъ передняго ската съ силою A_1, а второй наружнымъ колесомъ задняго ската съ силою A_2, при чемъ предположено, съ весьма незначительною, очевидно, погрѣшностью, что направленіе силъ A_1 и A_2 нормально къ продольной оси рельса, а направленіе силъ B_1 и B_2 параллельно той же оси.

Что же касается боковыхъ давленій на рельсы отъ наружнаго колеса передней оси и внутренняго колеса задней оси, то таковыя не могутъ быть расчитаны по формуламъ (8)—(10), ибо направленіе поперечнаго скольженія колеса не составляетъ въ этомъ случаѣ постояннаго угла съ осью колеснаго ската. Дѣйствительно, гребни указанныхъ колесъ набѣгаютъ *) на рельсы и, благодаря кольцевидной поверхности, служащей переходомъ отъ конической поверхности катанія бандажа къ его гребню, всползаютъ по боковому закругленію верхней части рельсовой головки, пока уголъ, составляемый плоскостью опоры колеса на рельсѣ съ плоскостью пути, не достигнетъ величины достаточной для того, чтобы соотвѣтственная составляющая силы тяжести заставила колесо опуститься опять внизъ, преодолѣвая сопротивленія скольженію колесъ по рельсамъ и производя такимъ образомъ вращеніе экипажа.

Отъ величины этого угла (скольженія), обуславливаемаго въ свою очередь сопротивленіемъ вращенію экипажа, зависятъ реакціи рельсовъ: наружнаго рельса у наружнаго колеса передней оси и внутренняго рельса у внутренняго колеса задней оси.

Результатомъ упомянутаго скольженія, принимающаго особенно значительные размѣры у наружнаго колеса передней оси, является сильный износъ боковой поверхности головки у наружнаго рельса кривыхъ.

Выяснимъ положеніе, занимаемое на рельсѣ наружнымъ колесомъ передней оси, и опредѣлимъ направленіе поперечнаго его скольженія.

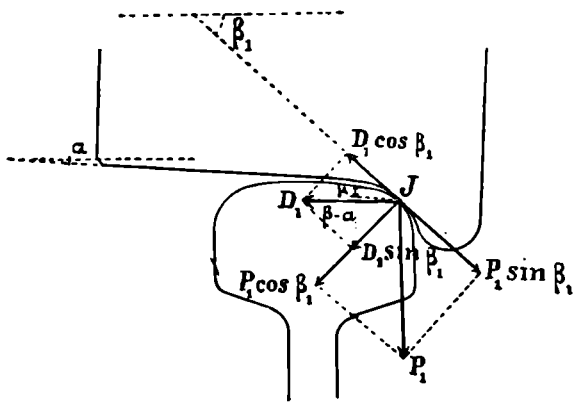
Пусть колесо опирается на боковую закругленную часть рельсовой головки выкружкой, служащей переходомъ отъ гребня бандажа къ поверхности его катанія (чер. 57) въ точкѣ J, гдѣ общая касательная, представляющая направленіе поперечнаго скольженія, составляетъ уголъ β_1 съ осью колеснаго ската.

Такъ какъ передняя ось не можетъ занимать радіальнаго положенія, а находится впереди перпендикуляра, опущеннаго изъ центра кривой на продольную ось вагона и составляетъ съ нормалью къ наружному рельсу кривой нѣкоторый уголъ γ_1 (чер. 58), то точка касанія J бандажа не лежитъ въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось ската, а нѣсколько впереди ея.

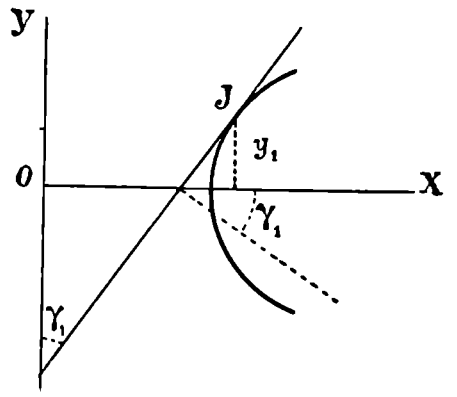
*) Гребень наружнаго колеса передняго ската всегда набѣгаетъ на наружный рельсъ, а гребень внутренняго колеса задняго ската набѣгаетъ на внутренній рельсъ лишь въ томъ случаѣ, когда экипажъ не можетъ занимать въ кривой своего нормальнаго положенія.

При разсмотрѣніи вопросовъ о соприкасаніи бандажа съ рельсомъ въ данной точкѣ кольцевидной поверхности выкружки его гребня, мы можемъ замѣнить послѣднюю конической поверхностью, ось коей совпадаетъ съ осью ската, и одно изъ круговыхъ сѣченій содержитъ данную точку J

Чер. 57.

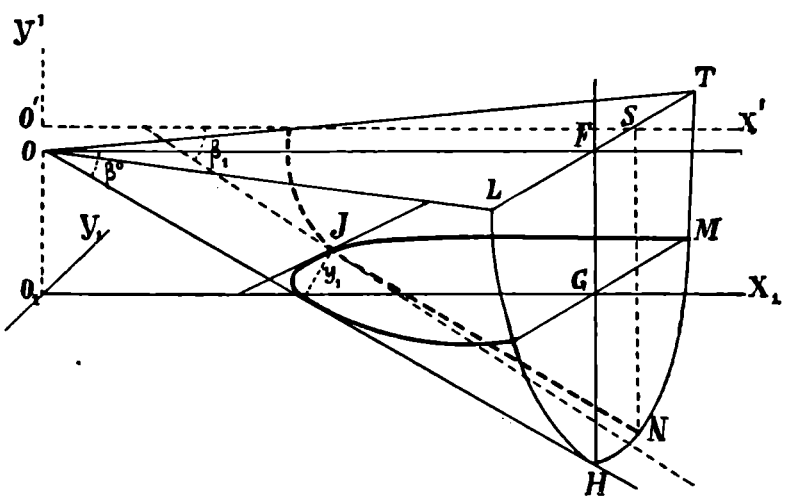


Чер. 58.



(чер. 59). Касательная въ точкѣ J къ кривой (гиперболѣ), образуемой пересѣченіемъ конической поверхности вертикальной плоскостью JSN, параллельной оси ската, проведенной черезъ упомянутую точку, составляетъ съ осью ската указанный выше уголъ β_1; образующія же конической поверхности составляютъ съ ея осью (осью ската) уголъ β_0, величина коего нѣсколько меньше величины угла β_1.

Чер. 59.



Въ сѣченіи конической поверхности плоскостью JGM, параллельной плоскости пути (а слѣдовательно и оси поверхности), получится гипербола. Разстояніе плоскости JGM отъ оси ската равно $FG=r$ (радіусу колеса). Координаты (xy) любой точки M гиперболы, относительно указанной на чертежѣ 59 прямоугольной системы координатныхъ осей $O_1X_1Y_1$, удовлетворяютъ условію:

$$GM^2 = GH\ (2\,FH - GH),\ \text{гдѣ:}$$
$$GM = y\quad FH = x\,tg\,\beta_0\quad GH = x\,tg\,\beta_0 - r,$$

а слѣдовательно уравненіе гиперболы имѣетъ видъ:

$$y^2 = x^2\,tg^2\,\beta_0 - r^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

Положеніе точки J опредѣлится изъ условія, что касательная къ кривой въ этой точкѣ составляетъ съ осью Y-овъ уголъ γ_1, величина коего выражается равенствомъ (чер. 53)

$$\text{Sin}\ \gamma_1 = \frac{k}{R + \frac{s}{2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Обозначая x_1 и y_1 координаты точки J, получимъ:

$$tg\,(90 - \gamma_1) = \left(\frac{dy}{dx}\right)_1 = \frac{x_1}{y_1}\,tg^2\beta_0.$$

Слѣдовательно, координаты точки J удовлетворяютъ уравненіямъ:

$$y_1^2 = x_1^2\ tg^2\,\beta_0 - r^2$$
$$y_1 = x_1\ tg^2\,\beta_0\,tg\,\gamma_1,$$

рѣшеніемъ коихъ получимъ:

$$x_1 = \frac{r}{tg\,\beta_0\,\sqrt{1 - tg^2\,\beta_0\,tg^2\,\gamma_1}} \qquad y_1 = \frac{r\,tg\,\beta_0\,tg\,\gamma_1}{\sqrt{1 - tg^2\,\beta_0\,tg^2\,\gamma_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (14)$$

Принимая же во вниманіе, что $tg^2\,\beta_0\,tg^2\,\gamma_1$ незначительно по сравненію съ единицею:

$$x_1 = r\,ctg\,\beta_0 \qquad y_1 = r\,tg\,\beta_0\,tg\,\gamma_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (15)$$

Въ послѣднемъ выраженіи r представляетъ радіусъ колеса, уголъ γ_1— опредѣляется формулой (13), уголъ же β_0 можетъ быть выраженъ въ функціи угла β_1, расчетъ коего будетъ приведенъ ниже.

Для опредѣленія зависимости между углами β_1 и β_0, разсмотримъ гиперболическую кривую, получаемую пересѣченіемъ конической поверхности, упомянутой выше, вертикальною плоскостью JSN. Координаты (xy) любой точки N кривой, относительно показанной на чертежѣ 59 прямоугольной системы координатныхъ осей $O^1X^1Y^1$, удовлетворяютъ условію:

$$SN^2 = LS \times ST,\ \text{гдѣ}$$
$$SN = y,\ LS = LF + FS = FH + FS = x\,tg\,\beta_0 + y_1$$
$$ST = FT - FS = FH - FS = x\,tg\,\beta_0 - y_1.$$

А слѣдовательно, уравненіе кривой имѣетъ видъ:

$$y^2 = x^2\,tg^2\,\beta_0 - y_1^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (16)$$

гдѣ величина a y_1 опредѣляется формулою (14).

Положеніе точки J на кривой опредѣляется условіемъ, что касательная въ этой точкѣ составляетъ съ осью X-овъ уголъ β_1.

Обозначая x^1 и y^1 координаты точки J, получимъ:

$$-tg\beta = \left(\frac{dy}{dx}\right)^1 = \frac{x^1}{y^1} tg^2 \beta_0$$

Но такъ какъ: $y^1 = -r$, а $x^1 = x_1 = \frac{r}{tg\beta_0 \sqrt{1 - tg^2\beta_0 tg^2\gamma_1}}$, то

$$tg\beta_1 = \frac{tg\beta_0}{\sqrt{1 - tg^2\beta_0 tg^2\gamma_1}} \qquad tg\beta_0 = \frac{tg\beta_1}{\sqrt{1 + tg^2\beta_1 tg^2\gamma_1}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (17)$$

Давленіе P_1 наружнаго колеса передняго ската (чер. 57), дѣйствующее въ точкѣ J, можетъ быть разложено на двѣ силы, лежащія въ вертикальной плоскости параллельной оси ската, а именно: на силу $P_1 \cos\beta_1$, нормальную къ касательной въ точкѣ J къ конической поверхности въ указанной плоскости, и силу $P_1 \sin\beta_1$, направленную по упомянутой касательной.

Скольженіе наружнаго колеса передняго ската происходитъ такимъ образомъ подъ давленіемъ силы $P_1 \cos\beta_1$, а скольженіе внутренняго колеса подъ давленіемъ $P_1 \cos\alpha$; такъ какъ уголъ β_1 не равенъ углу α, а на величину нормальнаго давленія наружнаго колеса передняго ската, кромѣ силы P, оказываетъ также вліяніе и радіальное давленіе, о чемъ сказано ниже, то вообще скольженіе колесъ происходитъ подъ различными давленіями; поэтому сдѣланное выше предположеніе, что въ продольномъ направленіи оба колеса ската скользятъ съ одинаковою скоростью въ противоположномъ направленіи, не всегда вполнѣ точно; изъ двухъ колесъ ската сравнительная скорость продольнаго скольженія будетъ больше у того, гдѣ скольженіе происходитъ подъ меньшимъ давленіемъ, алгебраическая же сумма реакцій продольному скольженію колесъ экипажа, при предположенныхъ условіяхъ его движенія, должна быть все-таки равна нулю.

Въ дѣйствительности относительная нагрузка колесъ ската зависитъ отъ многихъ причинъ, какъ-то: центробѣжной и центростремительной силъ, вліянія рессоръ и т. п., оказывающихъ вліяніе на скорости продольнаго скольженія отдѣльныхъ колесъ ската; однако, дабы не осложнять слишкомъ вопроса, мы будемъ предполагать при дальнѣйшихъ разсужденіяхъ, что оба колеса ската скользятъ въ продольномъ направленіи съ одинаковою скоростью, тѣмъ болѣе, что допущеніе это не можетъ имѣть сколь-нибудь ощутительнаго вліянія на окончательные результаты.

Скорость поперечнаго скольженія передняго ската въ направленіи его оси равна $\frac{kV}{R}$, а слѣдовательно, скорость поперечнаго скольженія наружнаго колеса передняго ската, въ направленіи касательной къ поверхности соприкасанія, составляющей съ осью ската уголъ β_1, равна $\frac{kV}{R\cos\beta_1}$; скорость продольнаго скольженія наружнаго колеса передняго ската, одинаковая, согласно предположенію, съ такою же скоростью внутренняго колеса, равна:

$$\frac{V}{2}\left(\frac{s}{R} - \frac{e tg\alpha + \mu_1}{r}\right).$$

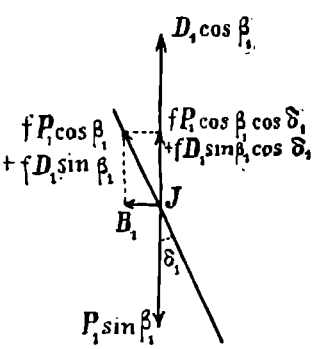
а слѣдовательно, направленіе дѣйствительнаго перемѣщенія колеса скольженіемъ составляетъ съ направленіемъ поперечнаго его скольженія (касательной къ конической поверхности соприкасанія въ вертикальной плоскости, параллельной оси ската) уголъ δ_1, опредѣляемый выраженіемъ:

$$tg\,\delta_1 = \frac{\left[s - \frac{R\,(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]\cos\beta_1}{2k} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

Величина μ_1 опредѣляется, въ зависимости отъ радіуса u закругленія верхней боковой части рельсовой головки и угловъ α и β_1, выраженіемъ (чер. 57):

$$\mu_1 = u\,[1 - \cos(\beta_1 - \alpha)] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19).$$

Чер. 60.



На основаніи вышесказаннаго, мы можемъ опредѣлить величину и направленіе силъ, дѣйствующихъ, при движеніи экипажа, на рельсъ въ точкѣ J и расположенныхъ въ плоскости скольженія колеса. Въ направленіи поперечнаго скольженія, то-есть въ вертикальной плоскости параллельной оси ската дѣйствуетъ сила $P_1\sin\beta_1$ (чер. 60), въ направленіи же противоположномъ дѣйствительному скольженію колеса дѣйствуетъ сила $fP_1\cos\beta_1$; разлагая послѣднюю на двѣ составляющія, одну въ направленіи силы $P_1\sin\beta_1$, а другую въ перпендикулярномъ къ ней направленіи, получимъ для первой составляющей величину $fP_1\cos\beta_1\cos\delta_1$, гдѣ $\cos\delta_1$, на основаніи (18), выражается:

$$\cos\delta_1 = \frac{k}{\sqrt{k^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R\,(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]^2\cos^2\beta_1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

здѣсь k — опредѣляется формулой (2), а μ — формулой (19).

Сила $P_1\sin\beta_1 - fP_1\cos\beta_1\cos\delta_1$, подъ вліяніемъ коей наружное колесо передняго ската опускается внизъ, а экипажъ поворачивается, уравновѣшивается сопротивленіемъ вращенію послѣдняго; сопротивленіе это выразимъ въ видѣ силы D_1, приложенной къ наружному рельсу въ точкѣ J касанія наружнаго колеса передняго ската и направленной параллельно оси ската; сила эта—такъ-называемое радіальное давленіе [1]), выражаетъ сопротивленіе поперечному перемѣщенію наружнаго колеса передняго ската и, обусловливаемую этимъ сопротивленіемъ, соотвѣтственную составляющую реакціи наружнаго рельса.

Величина силы D_1 можетъ быть опредѣлена изъ условія мгновеннаго равновѣсія дѣйствующихъ на экипажъ силъ, приравнявъ нулю сумму моментовъ указанныхъ силъ, относительно оси перпендикулярной къ плоскости

[1]) Выраженіе не вполнѣ точное, ибо передняя ось не можетъ занимать радіальнаго положенія въ кривой.

пути и проходящей черезъ точку касанія съ рельсомъ внутренняго колеса задней оси (чер. 56). Принявъ во вниманіе, что реакціи поперечному скольженію колесъ задняго ската, какъ проходящія черезъ ось моментовъ, даютъ моментъ равный нулю, а силы, нормальныя къ плоскости пути, какъ направленныя параллельно оси моментовъ, даютъ моментъ также равный нулю, получимъ упомянутое условіе равновѣсія силъ въ видѣ:

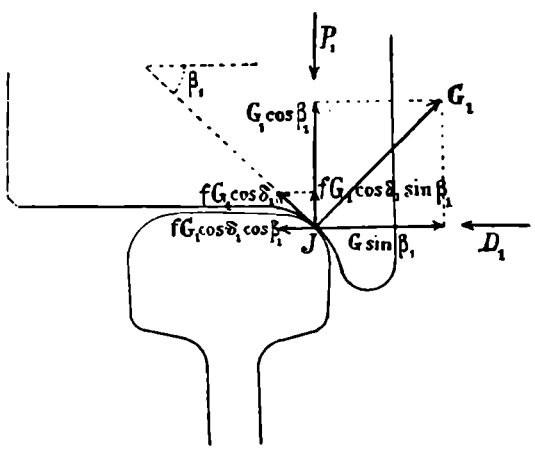
$$D_1 l - B_1 s - A_1 l \cos\alpha - P_1 \cos\alpha\, l \sin\alpha - B_2 s = 0,$$

откуда величина радіальнаго давленія:

$$D_1 = \frac{(A_1 + P_1 \sin\alpha)\ l\cos\alpha + (B_1 + B_2)s}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21).$$

Зная величину радіальнаго давленія, не трудно опредѣлить и уголъ β_1 наклона плоскости скольженія наружнаго колеса къ оси ската и нормальную реакцію G_1 рельса.

Чер. 61.



Дѣйствію силъ: P_1 (давленіе колеса), направленной перпендикулярно къ оси ската и D_1 (радіальное давленіе), направленной параллельно оси ската, рельсъ оказываетъ нормальную реакцію величиною G_1, подъ вліяніемъ коей является сила тренія fG_1 въ направленіи, противоположномъ перемѣщенію колеса, а слѣдовательно—сила $fG_1 \cos\delta_1$ въ вертикальной плоскости параллельной оси ската и проходящей черезъ точку J (чер. 61). Раскладывая силы G_1 и $fG_1 \cos\delta_1$ на составляющія параллельныя и перпендикулярныя оси ската, получимъ слѣдующія условія равновѣсія ихъ съ силами P_1 и D_1:

$$G_1 \sin\beta_1 - fG_1 \cos\delta_1 \cos\beta_1 = D_1$$
$$G_1 \cos\beta_1 + fG_1 \cos\delta_1 \sin\beta_1 = P_1$$

Рѣшая эти уравненія относительно неизвѣстныхъ β_1 и G_1, получимъ искомыя выраженія:

$$tg\,\beta_1 = \frac{D_1 + fP_1 \cos\delta_1}{P_1 - fD_1 \cos\delta_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22).$$

$$G_1 = \sqrt{\frac{P_1^2 + D_1^2}{1 + f^2\cos^2\delta_1}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

Для sinus'a же и cosinus'a угла β_1 получимъ выраженія:

$$\sin\beta_1 = \frac{D_1 + fP_1 \cos\delta_1}{\sqrt{(P_1^2 + D_1^2)\ (1 + f^2\cos^2\delta_1)}}.$$

$$\cos\beta_1 = \frac{P_1 - fD_1 \cos\delta_1}{\sqrt{(P_1^2 + D_1^2)\ (1 + f^2\cos^2\delta_1)}}. \quad \ldots\ldots \quad (24).$$

Тѣ же точно результаты мы получили бы, раскладывая радіальное давленіе D_1 на двѣ составляющія, а именно на нормальную къ касательной въ точкѣ J и на параллельную этой касательной, какъ это показано на чертежѣ (57), и приравнивая нулю алгебраическую сумму силъ, дѣйствующихъ въ направленіи поперечнаго перемѣщенія колеса, то-есть упомянутой касательной; силы эти показаны на чертежѣ 60, при чемъ принята, понятно, во вниманіе сила тренія, являющаяся отъ дѣйствія радіальнаго давленія.

Подставляя въ равенство (21) значенія A_1 B_1 и B_2 по формулѣ (8) (9) и (11), получимъ величину радіальнаго давленія въ функціи давленія колесъ и размѣровъ экипажа.

Принимая во вниманіе, что $\cos\alpha$, благодаря незначительности угла α, можетъ быть принятъ равнымъ единицѣ, а m_2, для указаннаго на чертежѣ 56 положенія экипажа, равно e и, пренебрегая пока составляющей $P \sin\alpha$ [1]), получимъ, послѣ необходимыхъ подстановокъ, выраженіе для силы D_1:

$$D_1 = fP_1 \frac{k + \frac{s}{2l}\left[s - \frac{R\,(e/g\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]}{\sqrt{k^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R\,(e/g\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]^2}} + fP_2 \frac{\frac{s}{2l}\left[s + \frac{R\,(e/g\,\alpha + \mu_2)}{r}\right]}{\sqrt{k^2 + \frac{1}{4}\left[s + \frac{R(e/g\,\alpha + \mu_2)}{r}\right]^2}} \quad \ldots\ldots (25),$$

гдѣ P_1 и P_2 представляютъ давленія колесъ передней и задней оси.

Величина силы D_2 — давленіе на внутренній рельсъ внутренняго колеса задней оси параллельно оси ската (чер. 56), можетъ быть опредѣлена тѣмъ же способомъ, который былъ примѣненъ выше для вычисленія радіальнаго давленія.

Приравнявъ нулю сумму моментовъ дѣйствующихъ на экипажъ силъ, относительно оси перпендикулярной къ плоскости пути и проходящей черезъ точку касанія съ рельсомъ наружнаго колеса передняго ската, получимъ равенство:

$$D_2 l - B_2 s - B_1 s - (A_2 + P_2 \sin\alpha)\, l \cos\alpha = 0,$$

откуда:

$$D_2 = \frac{(A_2 + P_2 \sin\alpha)\, l \cos\alpha + (B_1 + B_2)\, s}{l} \quad \ldots (26).$$

Подставляя въ это равенство значенія A_2 B_1 и B_2 по формуламъ (9), (10) и (11) и принимая во вниманіе, что величина угла α незначительна, а $m_2 = e$, получимъ послѣ небходимыхъ приведеній выраженіе:

---

[1]) Составляющая эта, зависящая отъ коничности бандажей, незначительна.

$$D_2 = fP_2 - \frac{h + \frac{s}{2l}\left[s + \frac{R(etg\,\alpha + \mu_2)}{r}\right]}{\sqrt{h^2 + \frac{1}{4}\left[s + \frac{R(etg\,\alpha + \mu_2)}{r}\right]^2}} + fP_1 \frac{\frac{s}{2l}\left[s - \frac{R(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]}{\sqrt{h^2 + \frac{1}{4}\left[s - \frac{R(etg\,\alpha + \mu_1)}{r}\right]^2}} \quad \ldots\ldots (27).$$

Тотъ же результатъ мы получили бы, приравнявъ нулю проекцію всѣхъ дѣйствующихъ силъ на ось, перпендикулярную къ продольной оси экипажа и лежащую въ плоскости пути; полагая опять $\cos\alpha = 1$, получимъ (черт. 56):

$$D_2 = D_1 - A_1 + A_2;$$

подставивъ въ это равенство значенія D_1 A_1 и A_2, получимъ для D_2 выраженіе, тождественное съ формулой (27).

Элементы, опредѣляющіе положеніе внутренняго колеса задней оси и соотвѣтственную реакцію рельса, могутъ быть расчитаны на основаніи тѣхъ же соображеній, которыми мы пользовались выше, при опредѣленіи подобныхъ же элементовъ для наружнаго колеса передней оси.

Необходимыя для расчета формулы имѣютъ слѣдующій видъ:

$$\sin\gamma_2 = \frac{h}{R - \frac{s}{2}} \quad \ldots\ldots (28).$$

$$x_2 = r\,ctg\,\beta_2 \quad y_2 = r\,tg\,\beta_2\,tg\,\gamma_2 \quad \ldots\ldots (29).$$

(уголъ β_0, какъ мало отличающійся отъ угла β, замѣненъ послѣднимъ)

$$\cos\delta_2 = \frac{h}{\sqrt{h^2 + \frac{1}{4}\left[s + \frac{R(etg\,\alpha + \mu_2)}{r}\right]^2 \cos^2\beta}}$$

$$\mu_2 = u\,[1 - \cos(\beta_2 - \alpha)]. \quad \ldots\ldots (30).$$

$$tg\,\beta_2 = \frac{D_2 + fP_2\cos\delta_2}{P_2 - fD_2\cos\delta_2} \qquad G_2 = \sqrt{\frac{P_2^2 + D_2^2}{1 + f^2\cos^2\delta_2}} \quad \ldots\ldots (31).$$

Изъ величинъ, опредѣляющихъ $tg\,\beta$, нѣкоторыя, а именно: D и δ, зависятъ въ свою очередь отъ угла β; для вычисленія послѣдняго угла можно сначала опредѣлить приблизительную его величину, положивъ въ выраженіи для $\cos\delta$, приблизительно $\cos\beta = 1$, а въ выраженіи для D,— $\mu = 0$, а затѣмъ, опредѣливъ дѣйствительныя значенія $\cos\delta$ и D, расчитать точную величину β.

По приведеннымъ выше формуламъ могутъ быть расчитаны элементы, опредѣляющіе положеніе двухоснаго вагона въ кривыхъ различныхъ радіусовъ, а также скорости скольженія колесъ и реакціи рельсовъ, являющіяся при его движеніи.

Произведя расчеты для русскаго нормальнаго товарнаго вагона при коничности бандажей въ $^1/_{20}$, мы увидимъ, что скорость b_1 продольнаго скольженія колесъ передняго ската, опредѣляемая формулою (6), уже для радіуса въ 400 м. отрицательна, то-есть дѣйствительное направленіе продольнаго скольженія обратно направленію, показанному на чертежѣ 53; слѣдовательно, относительное увеличеніе радіуса круга катанія у наружнаго колеса передняго ската, при принятыхъ въ основаніе расчета коничности бандажа въ $^1/_{20}$, а также и возвышеніи колеса отъ наползанія на рельсъ бандажнаго гребня, оказывается слишкомъ значительнымъ даже для кривыхъ малыхъ радіусовъ.

Въ формулѣ (11), выражающей силу B_2—реакцію рельса продольному скольженію колесъ задняго ската—второй членъ числителя можетъ быть отрицательнымъ, равнымъ нулю или положительнымъ; первый случай имѣетъ мѣсто пока $2m > e$ (μ_2 — представляетъ очень незначительную величину, не оказывающую замѣтнаго вліянія) и тогда $\rho < O$, то-есть вершина конуса катанія колеснаго ската лежитъ по другую сторону кривой, по сравненію съ ея центромъ; второй случай имѣетъ мѣсто при $2m = e$ и тогда $\rho = \infty$, то-есть конусъ катанія обращается въ цилиндръ; наконецъ, при $2m < e$ упомянутый второй членъ числителя положителенъ, при чемъ $\rho > O$, то-есть вершина конуса катанія лежитъ по одну и ту же сторону кривой, по сравненію съ ея центромъ; въ этомъ случаѣ при $R = \rho = \frac{rs}{(e - 2m)\ tg\ \alpha}$, вершина конуса катанія совпадаетъ съ центромъ кривой и скорость продольнаго скольженія колесъ задняго ската b_2 (7) и соотвѣтственная реакція B_2 рельса обращаются въ нуль; послѣднее возможно лишь при радіальномъ положеніи задней оси, то-есть когда $m = \frac{l^2}{2R}$, слѣдовательно, задній скатъ не скользитъ въ продольномъ направленіи при условіи:

$$Re = l^2 + \frac{rs}{tg\ \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

Полагая свободный зазоръ e въ кривыхъ, не имѣющихъ уширенія, равнымъ 10 м.м., найдемъ, что задняя ось двухоснаго нормальнаго вагона не имѣетъ продольнаго скольженія въ кривой радіуса $R = 3050$ м.

Сила A_1 (8) — реакція рельса поперечному скольженію внутренняго колеса передней оси—представляетъ всегда положительную величину, отличную отъ нуля, то-есть направленіе поперечнаго скольженія колесъ передняго ската всегда совпадаетъ съ направленіемъ, указаннымъ на чертежѣ 53. Реакція A_2 (10) рельса поперечному скольженію колесъ задняго ската обращается въ нуль при $h = O$, то-есть при радіальномъ положеніи задней оси; въ этомъ случаѣ формула (11) даетъ для силы B_2 выраженіе $B_2 = \pm fP$, гдѣ отрицательный знакъ относится къ тому случаю, когда вершина конуса катанія лежитъ между кривой и ея центромъ, что выражается условіями:

$$e > 2m \text{ и } R > \rho$$

или:

$$Re > l^2 + \frac{rs}{tg\ \alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (33)$$

При этомъ условіи скорость b_2 продольнаго скольженія колесъ задняго ската, какъ видно изъ выраженія (7), отрицательна, то-есть направленіе упомянутаго скольженія обратно направленію, показанному на чертежѣ 53.

При радіальномъ положеніи задней оси ($h=0$) въ формулѣ (25), выражающей силу D_1, второй членъ обращается въ $\pm fP_2\frac{s}{l}$, а въ формулѣ (27), выражающей силу D_2, въ ту же величину обращается первый членъ.

Равновѣсіе между силами D_1 и D_2, вращающими вагонъ, и реакціями A_1 и A_2 поперечному скольженію выражается условіемъ:

$$A_2 - D_2 - A_1 + D_1 = 0. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (34).$$

Если центръ вращенія вагона не лежитъ въ промежуткѣ между заднею и переднею осями, то внутреннее колесо задняго ската не набѣгаетъ на внутренній рельсъ и для выполненія указаннаго выше условія равновѣсія, необходимо, чтобы въ мѣстахъ касанія съ рельсами колесъ задняго ската явились бы реакціи A_2, опредѣляемыя выраженіемъ:

$$A_2 = \frac{A_1 - D_1}{2}$$

При $D_1 > A_1$ $A_2 < 0$, то-есть реакція A_2 имѣетъ направленіе противоположное направленію, указанному на чертежѣ 56, задняя ось имѣетъ поперечное скольженіе въ направленіи вогнутости кривой, а слѣдовательно центръ вращенія вагона находится позади задней оси; при $D_1 < A_1$, что возможно если $B_2 < 0$, колеса задней оси скользятъ въ сторону выпуклости кривой, а слѣдовательно, центръ вращенія вагона находится между обѣими осями; въ частномъ случаѣ при $A_1 = D_1$ $A_2 = 0$, то-есть задняя ось не скользитъ въ поперечномъ направленіи, а занимаетъ радіальное положеніе; равнымъ образомъ задняя ось занимаетъ радіальное положеніе при $b_2 = 0$, что выражается условіемъ (32), ибо въ этомъ случаѣ колеса задняго ската не скользятъ вовсе.

Такимъ образомъ, сдѣланное выше предположеніе, что при $e > \frac{l^2}{2R}$ центръ вращенія двухоснаго экипажа совпадаетъ съ заднею осью, то-есть послѣдняя занимаетъ радіальное положеніе, какъ было уже обращено вниманіе, не вполнѣ точно; въ этомъ случаѣ, въ зависимости отъ указанныхъ выше условій, центръ вращенія экипажа можетъ лежать какъ сзади, такъ и спереди задняго ската, а равно и совпадать съ послѣднимъ.

Опредѣлить точное положеніе центра вращенія экипажа можно бы слѣдующимъ путемъ: принявъ разстояніе отъ указаннаго центра до одной изъ осей экипажа, напримѣръ задней, за неизвѣстное, выразить въ его функціи силы A, B и D, послѣ чего уравненіе для опредѣленія искомаго неизвѣстнаго можетъ быть получено, приравнявъ нулю алгебраическую сумму проекцій указанныхъ силъ на ось, перпендикулярную въ продольной оси экипажа (34).

Радіальное давленіе для нормальнаго товарнаго вагона составляетъ $D_1 = 1.41\ fP$ при $R = 200$ м. и $D_1 = 1.24\ fP$ при $R = 1000$ м.

Уголъ β_1 наклона плоскости опоры наружнаго колеса передняго ската къ плоскости пути составляетъ, для встрѣчающихся чаще всего на практикѣ кривыхъ, около 32°, при $f = 0{,}25$.

Указанныя выше формулы для расчета нормальной реакціи рельса и другихъ элементовъ, опредѣляющихъ положеніе набѣгающаго на рельсъ колеса, выведены въ предположеніи, что колесо опирается на рельсъ въ одной лишь точкѣ J (чер. 61) подъ перемѣннымъ угломъ β наклона плоскости опоры къ плоскости пути. Подобное положеніе колеса возможно лишь при условіи, что радіусъ кольцевидной поверхности, служащей переходомъ отъ гребня бандажа къ поверхности катанія, въ поперечномъ ея сѣченіи, больше радіуса закругленія верхней боковой части рельсовой головки, какъ это обыкновенно бываетъ при не изношенныхъ бандажахъ. Если же, наоборотъ, послѣдній радіусъ болѣе перваго, что возможно при изношенныхъ бандажахъ, то колесо, независимо отъ точки J опоры гребня въ верхнюю боковую часть рельсовой головки подъ постояннымъ угломъ наклона плоскости опоры къ плоскости пути, будетъ касаться непосредственно поверхностью катанія бандажа верха рельсовой головки.

Расчетъ элементовъ, опредѣляющихъ положеніе въ кривой трехоснаго или четырехоснаго экипажа, а также скоростей скольженія колесъ и реакцій рельсовъ, можетъ быть произведенъ по тому же методу, который былъ изложенъ выше для двухоснаго вагона. Расчетъ этотъ показываетъ, что, въ случаѣ русскаго нормальнаго четырехоснаго товарнаго паровоза, радіальное давленіе составляетъ $D_1 = 3{,}39\, f\, P$ при $R = 200$ м. и $D_1 = 2{,}90\, f\, P$ при $R = 1000$ м., а уголъ β_1 наклона плоскости опоры наружнаго колеса передняго ската къ плоскости пути равенъ $\beta_1 = 54°$ при $R = 200$ м. и $\beta_1 = 48°$ при $R = 1000$ м.; нормальная же реакція рельса у наружнаго колеса передняго ската составляетъ $G_1 = 1{,}27\, P$ при $R = 200$ м. и $G_1 = 1{,}21\, P$ при $R = 1000$ м. (для $f = 0{,}25$).

На положеніе центра вращенія экипажа оказываютъ также вліяніе относительныя величины нагрузки отдѣльныхъ осей, которыя, при всѣхъ вышеприведенныхъ разсужденіяхъ, принимались одинаковыми; съ уменьшеніемъ относительной нагрузки задняго ската, центръ вращенія экипажа будетъ приближаться къ передней оси и, наоборотъ, при уменьшеніи относительной нагрузки передняго и среднихъ скатовъ, центръ вращенія будетъ удаляться отъ передней оси.

Радіальное давленіе и зависящій отъ него уголъ наклона плоскости соприкасанія бандажа съ рельсомъ для четырехоснаго паровоза значительно больше, чѣмъ для двухоснаго вагона, что понятно, ибо вращенію экипажа противодѣйствуетъ въ первомъ случаѣ скольженіе большаго количества колесъ.

Радіальное давленіе можетъ быть принято пропорціональнымъ величинѣ $n-1$, гдѣ n—число колесъ экипажа; радіальное давленіе уменьшается съ увеличеніемъ радіуса кривой и увеличеніемъ базы экипажа.

При встрѣчающихся на практикѣ размѣрахъ подвижного состава, радіусахъ кривыхъ и свободныхъ зазорахъ для нормальной колеи, приближенное, но безъ существенной погрѣшности, значеніе радіальнаго давленія можетъ быть расчитано по формулѣ:

$$D = (n-1)\left(0{,}59 - \frac{R+200l}{10000}\right) fP \quad \ldots\ldots (35).$$

гдѣ n—число колесъ у даннаго экипажа, l—его база, R—радіусъ кривой въ метрахъ, P—нагрузка на колесо.

Если, благодаря значительной длинѣ базы, экипажъ не можетъ занять въ кривой соотвѣтствующаго ему нормальнаго положенія, то радіальное давленіе, для не очень пологихъ кривыхъ, почти не мѣняется съ измѣненіемъ радіуса, а величину его лучше расчитывать по формулѣ:

$$D = (n-1)\left(0{,}52 - \frac{l}{50}\right) fP \ldots\ldots\ldots\ldots (36).$$

Нормальная реакція G_1 наружнаго рельса у передняго ската опредѣляется формулою (23); кромѣ того, отъ тренія при движеніи является по касательной къ рельсу въ вертикальной плоскости параллельной оси ската реакція $fG_1 \cos\delta$, а слѣдовательно равнодѣйствующая реакція рельса въ указанной плоскости равна:

$$N_1 = G_1\sqrt{1+f^2\cos^2\delta} = \sqrt{P^2+D_1^2} \quad \ldots\ldots\ldots (37).$$

а уголъ θ, составляемый ею съ нормалью къ поверхности рельса въ точкѣ касанія съ бандажемъ, опредѣляется изъ выраженія:

$$tg\,\theta = f\cos\delta \ldots\ldots\ldots (38).$$

Принимая во вниманіе, что $\cos\delta$ мало разнится отъ единицы, уголъ θ можетъ быть принятъ равнымъ углу тренія. Слѣдовательно, равнодѣйствующая реакція наружнаго рельса у наружнаго колеса передняго ската составляетъ съ осью рельса уголъ: $\gamma_1 = \beta - \alpha - \theta$.

Подобнымъ же образомъ опредѣлится равнодѣйствующая реакція внутренняго рельса у внутренняго колеса задней оси въ случаѣ, если таковое набѣгаетъ гребнемъ на упомянутый рельсъ.

Точка приложенія реакціи можетъ быть найдена изъ условія, что нормаль въ ней, къ ограничивающей рельсъ поверхности, составляетъ съ вертикалью уголъ β.

Силою, равною реакціи N и противоположно съ ней направленною, рельсъ опрокидывается всегда внаружу колеи, какъ въ случаѣ ея дѣйствія на наружный, такъ и на внутренній рельсъ кривой.

Въ тѣхъ случаяхъ, когда колеса не набѣгаютъ гребнями на рельсы, равнодѣйствующая реакція M рельса, въ вертикальной плоскости параллельной оси ската, изъ составляющихъ реакцій нормальной отъ давленія колеса и касательной отъ силы тренія, опредѣляется выраженіемъ:

$$M = \sqrt{A^2 + P^2\cos^2\alpha} \ldots\ldots\ldots\ldots (39).$$

и составляетъ съ осью рельса уголъ $arctg\,\frac{A}{P\cos\alpha}$, при чемъ рельсъ силою, равною и противоположно направленною реакціи M, можетъ опрокидываться

какъ внутрь, такъ и внаружу колеи, смотря по направленію скольженія колеса; точка приложенія силы M совпадаетъ съ серединою рельсовой головки. Принимая во вниманіе, что $\cos \alpha$ мало отличается отъ единицы, а сила A можетъ достигать величины fP, найдемъ, что упомянутая реакція можетъ достигать величины:

$$M_0 = P\sqrt{1+f^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (40)$$

составляя съ осью рельса уголъ, равный углу тренія.

Резюмируя приведенныя выше соображенія, мы приходимъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

Всякій желѣзнодорожный экипажъ, двигаясь въ кривой, стремится занять соотвѣтственное нормальное для него положеніе.

Если геометрическія соотношенія между длиною базы экипажа, радіусомъ кривой и свободнымъ зазоромъ въ колеѣ позволяютъ, то экипажъ становится въ нормальное свое положеніе, при чемъ на рельсъ набѣгаетъ гребень одного лишь наружнаго колеса передняго ската, въ противномъ же случаѣ набѣгаетъ на рельсъ также и гребень внутренняго колеса задняго ската.

Центръ вращенія экипажа, двигающагося по кривой, занимаетъ неизмѣнное, по отношенію къ осямъ послѣдняго, положеніе.

Нормальное положеніе центра вращенія зависитъ отъ количества колесныхъ скатовъ экипажа и относительной ихъ нагрузки, а также и отъ радіуса кривой; съ увеличеніемъ количества скатовъ, центръ вращенія приближается къ оси передняго ската экипажа, такое же вліяніе на нормальное положеніе центра вращенія оказываетъ увеличеніе радіуса кривой.

Если центробѣжная и центростремительная силы взаимно уравновѣшиваются, то, для двигающихся въ одиночку по кривой двухосныхъ экипажей, нормально центръ вращенія находится нѣсколько позади задняго ската, а для трехосныхъ нѣсколько впереди задняго ската; для четырехосныхъ экипажей впереди задняго ската.

При встрѣчающихся на практикѣ размѣрахъ подвижного состава, радіусахъ кривыхъ и свободныхъ зазорахъ нормальной колеи, можно принять, совершая незначительную лишь погрѣшность, нормальное положеніе центра вращенія совпадающимъ для двухосныхъ и трехосныхъ экипажей съ осью задняго ската, а для четырехосныхъ съ серединою промежутка между осями задней пары скатовъ.

Вслѣдствіе сопротивленія вращенію экипажа, наружное колесо передняго ската давитъ на наружный рельсъ въ боковомъ направленіи внаружу колеи; величина этого радіальнаго давленія, параллельно оси ската, пропорціональна числу колесъ экипажа, уменьшенному на единицу, и убываетъ съ увеличеніемъ радіуса кривой и длины базы экипажа.

Подобное же давленіе оказываетъ на внутренній рельсъ внутреннее колесо задняго ската, въ случаѣ если экипажъ не въ состояніи занять въ кривой своего нормальнаго положенія.

Благодаря радіальному давленію, наружное колесо передняго ската всползаетъ гребнемъ по цилиндрической поверхности, ограничивающей верх-

нюю боковую часть рельсовой головки, если только радіусъ кольцевидной поверхности, въ мѣстѣ перехода отъ гребня къ поверхности катанія бандажа, болѣе радіуса упомянутой цилиндрической поверхности; всползаніе это продолжается до тѣхъ поръ, пока уголъ наклона плоскости касанія гребня съ рельсомъ къ плоскости пути не достигнетъ величины необходимой для того, чтобы соотвѣтствующая составляющая силы тяжести оказалась достаточной для преодолѣнія сопротивленій вращенію экипажа; уголъ указаннаго наклона возрастаетъ съ увеличеніемъ радіальнаго давленія. Если радіусъ указанной кольцевидной поверхности бандажнаго гребня менѣе радіуса цилиндрической поверхности верхней боковой части рельсовой головки, то колесо не можетъ всползать гребнемъ по рельсу и въ этомъ случаѣ реакція рельса отъ непосредственнаго упора въ него бандажнаго гребня преодолѣваетъ сопротивленіе вращенію экипажа. Подобныя же взаимодѣйствія имѣютъ мѣсто между внутреннимъ колесомъ задняго ската и рельсомъ, если таковое набѣгаетъ гребнемъ на рельсъ.

Точка касанія гребня наружнаго колеса передняго ската съ рельсомъ находится не въ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось ската, а въ нѣкоторомъ разстояніи впереди ея; разстояніе это пропорціонально радіусу колеса, тангенсу угла наклона плоскости касанія гребня съ рельсомъ къ плоскости пути и тангенсу угла, составляемаго осью передняго ската съ нормалью къ наружной рельсовой ниткѣ. Тоже самое относится къ набѣгающему на рельсъ внутреннему колесу задняго ската.

15. Вліяніе силъ тяги, цѣнтробѣжной и центростремительной на условія криволинейнаго движенія. Если желѣзнодорожный экипажъ движется по кривой, находясь въ составѣ поѣзда, то на его положеніе и реакціи, вызываемыя въ рельсахъ его передвиженіемъ, оказываютъ вліяніе силы, являющіяся отъ дѣйствія смежныхъ сцѣпленныхъ съ нимъ другихъ экипажей.

Разсмотримъ вліяніе этихъ силъ на n—ый вагонъ, считая съ хвоста состава, движущійся по кривой радіуса R въ поѣздѣ переднимъ ходомъ съ поступательною скоростью V (чер. 62). Пусть d—разстояніе между рабочими поверхностями тяговыхъ крюковъ вагона, а p—длина винтовой стяжки вагоновъ.

Если считать, что сила тяги, необходимая для передвиженія поѣзда, распредѣляется равномѣрно по вагонамъ и z—величина ея, соотвѣтствующая одному вагону, то на передній крюкъ разсматриваемаго вагона дѣйствуетъ сила тяги nz, а на задній крюкъ сила тяги $(n-1)\,z$.

Силы эти, дѣйствующія вдоль вагонныхъ стяжекъ, составляютъ съ продольною осью вагона соотвѣтственно углы λ и ν. Раскладывая указанныя силы въ направленіи продольной оси вагона и въ направленіи къ ней перпендикулярномъ, получимъ составляющія $nz\cos\lambda$, $(n-1)\,z\cos\nu$ и $nz\sin\lambda$, $(n-1)\,z\sin\nu$; совпадающія съ направленіемъ продольной оси вагона силы сообщаютъ послѣднему поступательное движеніе, силы же, перпендикулярныя къ упомянутой оси, вращая вагонъ, оказываютъ, очевидно, вліяніе на радіальное его давленіе.

---

[1]) Часть дополнительнаго сопротивленія въ кривой, преодолѣваемая параллельной продольной оси вагона составляющей силы тяги.

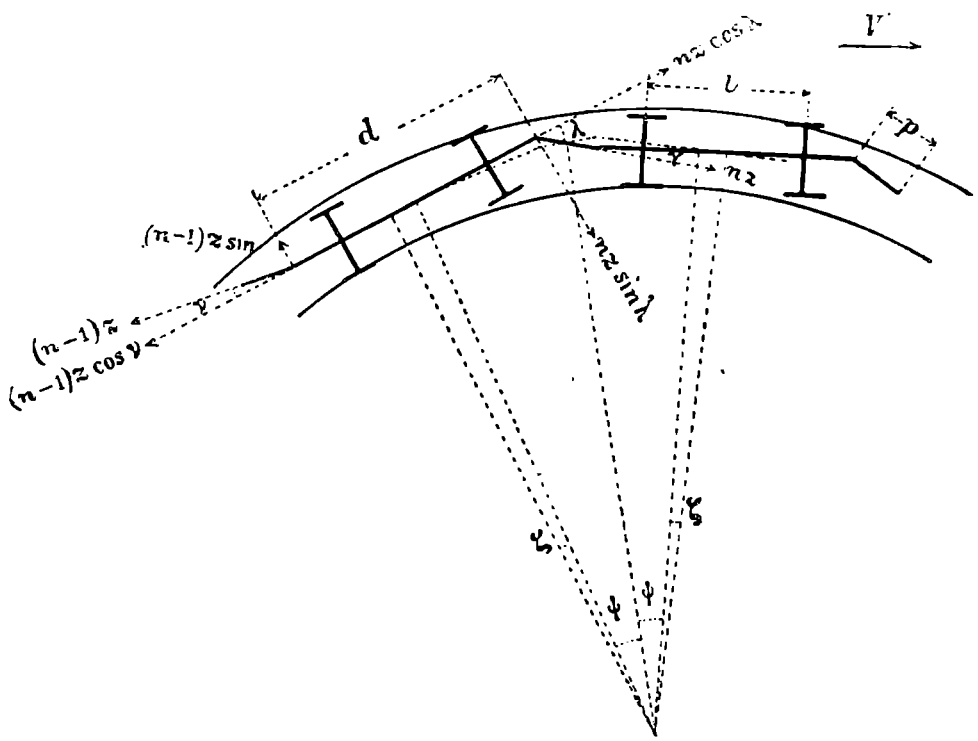
Называя W_1 W_2 [1]) W_3 соотвѣтственныя сопротивленія движенію на прямой площадкѣ, въ кривой и на склонѣ, можно написать равенство:

$$nz\cos\lambda-(n-1)z\cos\nu=W_1+W_2+W_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (41)$$

Обозначая же E измѣненіе радіальнаго давленія отъ вліянія силы тяги, находимъ:

$$E=nz\sin\lambda\frac{d+l}{2l}+(n-1)z\sin\nu\frac{d-l}{2l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (42)$$

Чер. 62.



Величины угловъ λ и ν могутъ быть найдены на основаніи слѣдующихъ соображеній; пусть m_2—разстояніе въ свѣту между наружнымъ рельсомъ и гребнемъ наружнаго колеса задняго ската; если бы гребни наружныхъ колесъ какъ передняго ската, такъ и задняго ската, отстояли на одинаковую величину $\left(\frac{m_2}{2}\right)$ отъ наружнаго рельса, то центръ вращенія вагона находился бы тогда по серединѣ разстоянія между осями колесныхъ его скатовъ, а винтовая стяжка составляла бы съ продольными осями обоихъ соединяемыхъ ею вагоновъ равные углы ψ, опредѣляемые выраженіемъ:

$tg\,\psi = \dfrac{\frac{d}{2} + \frac{p}{2\cos\psi}}{R}$; или, такъ какъ величина угла ψ незначительна:

$$tg\,\psi = \frac{d+p}{2R}$$

Изъ указаннаго выше положенія въ дѣйствительное, вагонъ можетъ быть проведенъ поворотомъ около середины продольной его оси на уголъ ζ, опредѣляемый выраженіемъ:

$$tg\,\zeta = \frac{\left(\frac{m_2}{2}\right)}{\left(\frac{1}{2}\right)} = \frac{m_2}{l},$$

благодаря чему винтовая стяжка повернется на уголъ ξ, выражаемый равенствомъ:

$$tg\,\xi = \frac{\frac{d}{2}tg\,\zeta}{\left(\frac{p}{2}\right)} = \frac{dm_2}{pl},$$

а слѣдовательно величины искомыхъ угловъ λ и ν равны:

$$\lambda = \psi + \zeta + \xi \qquad \nu = \zeta + \xi - \psi$$

Принимая же во вниманіе, что по незначительности угловъ ψ, ζ и ξ, тангенсы ихъ мало отличаются отъ дугъ, находимъ:

$$\lambda = \frac{m_2}{l}\left(1 + \frac{d}{p}\right) + \frac{d+p}{2R} \qquad \ldots \qquad (43)$$

$$\nu = \frac{m_2}{l}\left(1 + \frac{d}{p}\right) - \frac{d+p}{2R} \qquad \ldots \qquad (44)$$

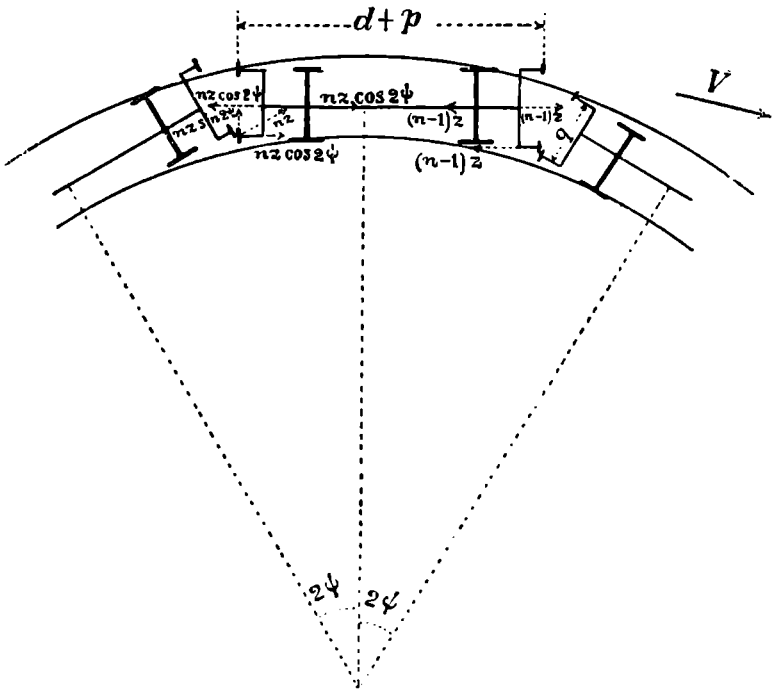
Величина угла ν, опредѣляемая формулою (44), при встрѣчающихся на практикѣ условіяхъ положительна, а слѣдовательно сила $(n-1)\,\varepsilon$ имѣетъ въ дѣйствительности указанное на чертежѣ (62) направленіе, т.-е. составляетъ острый уголъ съ перпендикуляромъ къ продольной оси вагона, направленнымъ наружу кривой; такимъ образомъ, при переднемъ ходѣ поѣзда силы тяги, приложенныя какъ къ переднему, такъ и къ заднему тяговому крюку вагона, вращаютъ вагонъ въ одинаковомъ направленіи съ реакціей рельса у наружнаго колеса передняго ската, а слѣдовательно радіальное давленіе, благодаря ихъ вліянію, уменьшается на величину E, опредѣляемую формулою (42).

При заднемъ ходѣ поѣзда, указанныя силы дѣйствуютъ въ иномъ направленіи, оказывая равнымъ образомъ вліяніе на радіальное давленіе.

При переднемъ ходѣ поѣзда продольныя оси смежныхъ вагоновъ наклонены другъ къ другу подъ угломъ $\lambda - \nu = 2\,\psi$, а силы тяги, дѣйствующія на передній и задній тяговые крюки, составляютъ уголъ $\pi - 2\,\psi$.

При заднемъ ходѣ поѣзда, вагоны толкаютъ другъ друга внутренними буферами и, принимая разстояніе между наружными поверхностями буферовъ равнымъ $d+p$, находимъ уголъ наклона продольныхъ осей вагоновъ равнымъ тоже 2ψ (чер. 63), а уголъ наклона силъ тягъ: $(n-1)z$, дѣйствующей на передній и nz—на задній внутренніе буфера вагона, $\pi-2\psi$. Силы эти можно замѣнить, какъ показано на чер. 63, силами $(n-1)z$ и $nz\cos 2\psi$, дѣйствующими вдоль продольной оси вагона и сообщающими ему поступательное движеніе, парами силъ, вращающими вагонъ съ моментами $\frac{(n-1)zq}{2}$ и $\frac{nz\cos 2\psi\, q}{2}$, гдѣ q разстояніе между буферами, и силою $nz\sin 2\psi$, также вращающей вагонъ.

Чер. 63.



Подъ вліяніемъ этихъ силъ радіальное давленіе уменьшается на величину E', опредѣляемую формулою (для n—го вагона, считая отъ хвоста поѣзда, который въ данномъ случаѣ находится по движенію впереди его головы):

$$E' = \frac{(n-1)zq}{2l} - \frac{nz\cos 2\psi\, q}{2l} + \frac{nz\sin 2\psi\,(d+p-l)}{2l} \quad . \quad (45)$$

При встрѣчающихся на практикѣ условіяхъ, величина E' положительна для малыхъ R и большихъ n, въ противномъ же случаѣ она отрицательна, т.-е. радіальное давленіе увеличивается отъ дѣйствія силъ тяги.

Подставляя въ формулу (42) величины λ и ν по формуламъ (43) и (44) и принимая по незначительности угловъ λ и ν синусы ихъ равными дугамъ, получимъ:

$$E = z\frac{d+p}{4}\left[\frac{l(2n-1)+d}{Rl} + 2m_2\frac{d(2n-1)+l}{l^2 p}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

Величина m_2, при нерадіальномъ положеніи задняго ската, равна e, въ противномъ же случаѣ $\frac{l^2}{2R}$ и тогда

$$E = z\frac{d+p}{4R}\left[\frac{(2n-1)l+d}{l} + \frac{(2n-1)d+l}{p}\right]. \quad . \quad .(47)$$

Въ формулѣ (45) можно принять $\cos 2\varphi = 1$ $\sin 2\varphi = \frac{d+p}{R}$; сдѣлавъ соотвѣтственныя подстановки, находимъ:

$$E' = \frac{z}{2l}\left[n\,(d+p-l)\frac{d+p}{R} - q\right]. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad .(48)$$

Какъ видно изъ послѣдней формулы, уменьшеніе радіальнаго давленія при заднемъ ходѣ поѣзда будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе разстояніе между буферами; самымъ выгоднымъ въ этомъ отношеніи былъ бы составъ съ центральными буферами и въ послѣднемъ случаѣ величина E' была бы всегда положительной.

Подобнымъ же образомъ можно бы выяснить вліяніе силъ тяги на боковое давленіе внутренняго колеса задняго ската на внутренній рельсъ, въ случаѣ набѣга сказаннаго колеса; однако, вопросъ этотъ, неимѣющій столь важнаго значенія, какъ радіальное давленіе у наружнаго колеса передняго ската, ближе разсматривать не будемъ.

Формула, выражающая радіальное давленіе, была выше выведена въ предположеніи, что давленіе вагона нормально къ оси ската; условіе это было бы выполнено, если бы не было центробѣжной силы, а оси колесныхъ скатовъ занимали бы горизонтальное положеніе. Разсмотримъ теперь, какое вліяніе оказываетъ на радіальное давленіе центробѣжная сила, равно какъ и центростремительная сила, благодаря возвышенію наружнаго рельса кривой, а также и коничность бандажей.

Центробѣжная сила F увеличиваетъ радіальное давленіе наружнаго колеса передняго ската; величина этой силы, соотвѣтственно приходящемуся на передній скатъ двухоснаго вагона грузу $2P$, равна:

$$F = \frac{2P}{g}\,\frac{V^2}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (49)$$

гдѣ g—ускореніе силы тяжести.

Давленіе внутренняго колеса задняго ската на внутренній рельсъ уменшается отъ вліянія центробѣжной силы на ту же величину F.

Реакція наружнаго рельса у наружнаго колеса передняго ската была опредѣлена выше въ предположеніи, что ось ската горизонтальна (нормальна къ направленію силы тяжести). При возвышеніи наружнаго рельса кривой надъ внутреннимъ ея рельсомъ на величину h и коничности бандажа α, ось ската составляетъ съ горизонтомъ уголъ χ, опредѣляемый выраженіемъ $tg\,\chi = \frac{h+e\,tg\,\alpha}{s}$, почему необходимо принять во вниманіе силу $P\sin\chi$, направленную параллельно оси ската во внутрь кривой и уменьшающую, очевидно, радіальное

давленіе. Такъ какъ $etg\,\alpha$ незначительно по сравненію съ h, а уголъ χ малъ, то величину этой центростремительной силы можно принять равною $P\frac{h}{s}$.

Касательная къ рельсу образующая конической поверхности бандажа у внутренняго рельса передняго ската составляетъ съ горизонтомъ уголъ $\alpha-\chi$, вслѣдствіе чего, кромѣ нормальнаго на рельсъ давленія, является сила $Psin\,(\alpha-\chi)$, направленная параллельно сказанной образующей внаружу кривой. Соотвѣтственное увеличеніе радіальнаго давленія равно, очевидно, $Psin\,(\alpha-\chi)cos\,\alpha$.

Такъ какъ $cos\,\alpha$ можетъ быть принятъ равнымъ единицѣ, а $sin\,(\alpha-\chi)$ равнымъ $sin\,\alpha - sin\,\chi$, то упомянутое увеличеніе составляетъ $Psin\,\alpha - P\frac{h}{s}$.

Такимъ образомъ, благодаря возвышенію наружнаго рельса радіальное давленіе уменьшается на величину

$$H = 2P\frac{h}{s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (50)$$

а отъ коничности бандажей возрастаетъ на величину:

$$J = Psin\,\alpha. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (51)$$

Давленіе внутренняго колеса задняго ската на внутренній рельсъ увеличивается какъ отъ возвышенія наружнаго рельса, такъ и отъ коничности бандажей въ указанныхъ выше размѣрахъ.

Такъ какъ центробѣжная и центростремительная силы дѣйствуютъ въ уровнѣ центра тяжести вагона, а слѣдовательно на нѣкоторой высотѣ w надъ уровнемъ рельсовыхъ головокъ, то образуемый ими вращательный моментъ $(H-F)\,w$ уравновѣшивается парою вертикальныхъ силъ, проходящихъ черезъ точки касанія колесъ съ рельсами, плечо коихъ можно считать равнымъ s, вслѣдствіе чего происходитъ разгрузка наружнаго и перегрузка внутренняго колеса ската на величину K, равную:

$$K = \frac{(H-F)\,w}{s} = 2\,Pw\left(\frac{h}{s^2} - \frac{V^2}{g\,R\,s}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (52)$$

Въ зависимости отъ относительныхъ значеній h и V, величина K можетъ быть какъ положительной, такъ и отрицательной; при малыхъ скоростяхъ K можетъ достигать значительныхъ размѣровъ, и обстоятельство это необходимо принимать во вниманіе, при назначеніи возвышенія для наружнаго рельса кривой.

Расчетъ по приведеннымъ выше формуламъ показываетъ, что при переднемъ ходѣ поѣзда вліяніе силъ тяги, уменьшающее радіальное давленіе, значительно для переднихъ вагоновъ длинныхъ составовъ, двигающихся по крутымъ кривымъ. Въ случаѣ очень длинныхъ составовъ, крутыхъ кривыхъ и значительныхъ подъемовъ, радіальное давленіе можетъ оказаться равнымъ нулю, для переднихъ вагоновъ, то-есть вращеніе вагона можетъ происходить безъ бокового давленія на наружный рельсъ кривой. Уклонъ вліяетъ на радіальное давленіе въ сторону увеличенія послѣдняго; на укл-

нахъ настолько крутыхъ, что движеніе поѣзда происходитъ безъ участія силы тяги паровоза, сцѣпка вагоновъ не оказываетъ болѣе вліянія на радіальное давленіе. Такимъ образомъ, въ отношеніи радіальнаго давленія и зависящей отъ такового возможности схода въ кривой, въ самомъ выгодномъ положеніи находятся передніе вагоны длинныхъ составовъ, двигающихся по крутымъ подъемамъ.

Сила тяги, оказывая вліяніе на силы, дѣйствующія вдоль вагонныхъ скатовъ, вліяетъ также и на положеніе центра вращенія вагона, а именно приближаетъ его къ переднему скату вагона.

При заднемъ ходѣ поѣзда радіальное давленіе, въ зависимости отъ радіуса кривой и положенія вагона въ составѣ поѣзда, можетъ увеличиться отъ вліянія силы тяги, а слѣдовательно, въ отношеніи радіальнаго давленія задній ходъ поѣзда менѣе благопріятенъ по сравненію съ переднимъ ходомъ; какъ въ томъ, такъ и въ другомъ случаѣ вагоны, наиболѣе удаленные отъ паровоза, находятся въ самомъ невыгодномъ положеніи.

Увеличеніе радіальнаго давленія отъ центробѣжной силы, при умѣренныхъ скоростяхъ движенія, нельзя считать существеннымъ, но при большой скорости оно достигаетъ довольно значительныхъ размѣровъ.

Центробѣжная сила, соотвѣтствующая заднему скату, дѣйствуетъ параллѣльно его оси и стремится перемѣстить его внаружу кривой, а слѣдовательно, подъ ея вліяніемъ центръ вращенія вагона приближается къ переднему скату.

Центростремительная сила перемѣщаетъ задній скатъ вовнутрь кривой, а слѣдовательно, подъ ея вліяніемъ центръ вращенія вагона удаляется отъ передняго его ската; отъ указаннаго дѣйствія центростремительной силы увеличивается уголъ (γ_1) набѣга реборды наружнаго колеса передняго ската на наружный рельсъ, а вмѣстѣ съ нимъ и сопротивленіе движенію; обстоятельство это необходимо имѣть въ виду при выборѣ возвышенія для наружнаго рельса въ кривыхъ.

Разсмотримъ теперь вліяніе поѣзднаго состава на силы, являющіяся при вписываніи въ кривую паровоза.

Если паровозъ развиваетъ силу тяги Z для приведенія въ движеніе состава, то между указанной силой и реакціями продольнаго скольженія B должна существовать зависимость $Z = \Sigma B$. Такъ, въ случаѣ четырехоснаго паровоза (чер. 64), получимъ равенство:

$$Z = B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B'_1 + B'_2 + B'_3 + B'_4.$$

Дабы это равенство могло быть удовлетворено, скорости b продольнаго скольженія колесъ паровоза должны имѣть опредѣленныя значенія.

Скорости поперечнаго скольженія колесъ отдѣльныхъ осей паровоза равны соотвѣственно: $\frac{kV}{R}$, $\frac{iV}{R}$, $\frac{gV}{R}$, $\frac{hV}{R}$;

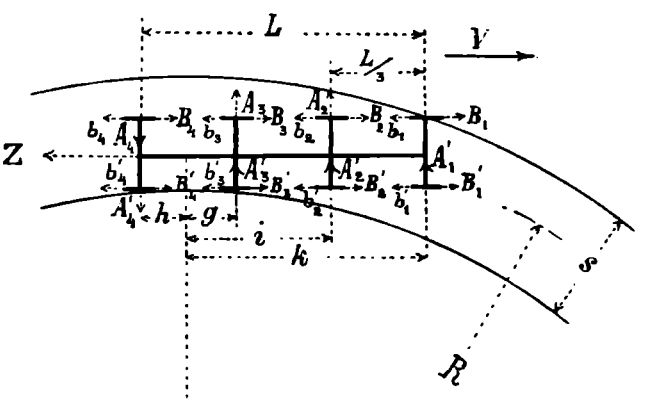
выражая реакціи продольному скольженію B въ функціи скоростей попереч-

наго и продольнаго скольженія, давленія на колесо P и коэффиціента тренія f, получимъ уравненіе:

$$Z = fP\left[\frac{b_1}{\sqrt{(b_1)^2+\left(\frac{kV}{R}\right)^2}}+\frac{b'_1}{\sqrt{(b'_1)^2+\left(\frac{kV}{R}\right)^2}}+\frac{b_2}{\sqrt{(b_2)^2+\left(\frac{iV}{R}\right)^2}}+\right.$$
$$+\frac{b'_2}{\sqrt{(b'_2)^2+\left(\frac{iV}{R}\right)^2}}+\frac{b_3}{\sqrt{(b_3)^2+\left(\frac{gV}{R}\right)^2}}+\frac{b'_3}{\sqrt{(b'_3)^2+\left(\frac{gV}{R}\right)^2}}+$$
$$\left.+\frac{b_4}{\sqrt{(b_4)^2+\left(\frac{hV}{R}\right)^2}}+\frac{b'_4}{\sqrt{(b'_4)^2+\left(\frac{hV}{R}\right)^2}}\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (53).$$

Уравненіе 53 заключаетъ восемь неизвѣстныхъ скоростей b продольнаго скольженія, почему для рѣшенія вопроса необходимо найти еще семь независимыхъ соотношеній между ними.

Чер. 64.



Вслѣдствіе глухой насадки колесъ на оси имѣемъ слѣдующія соотношенія между скоростями продольнаго скольженія колесъ у отдѣльныхъ осей.

$$b_1' - b_1 = V\left(\frac{s}{R} - \frac{e\,tg\,\alpha + \mu_1}{r}\right)$$

$$b_2' - b_2 = V\left(\frac{s}{R} - \frac{(e-2m_2)\,tg\,\alpha}{r}\right)$$

$$b_3' - b_3 = V\left(\frac{s}{R} - \frac{(e-2m_3)\,tg\,\alpha}{r}\right)$$

$$b_4' - b_4 = V\left(\frac{s}{R} - \frac{(e-2m_4)\,tg\,\alpha}{r}\right) \quad . \quad (54$$

Принимая же во вниманіе, что оси паровоза спарены, находимъ:

$$b_1 - b_2 = V\frac{r + \frac{e}{2}tg\alpha + \mu_1}{r} - V\frac{r + \left(\frac{e}{2} - m_2\right) tg\,\alpha}{r}$$

$$b_2 - b_3 = V\frac{r + \left(\frac{e}{2} - m_2\right) tg\,\alpha}{r} - V\frac{r + \left(\frac{e}{2} - m_3\right) tg\,\alpha}{r}$$

$$b_3 - b_4 = V\frac{r + \left(\frac{e}{2} - m_3\right) tg\,\alpha}{r} - V\frac{r + \left(\frac{e}{2} - m_4\right) tg\,\alpha}{r} \quad . \quad . \quad . \quad (55).$$

Пользуясь уравненіями (53)—(55), можно опредѣлить для любой силы тяги скорости продольнаго скольженія колесъ паровоза въ кривой, а слѣдовательно расчитать реакціи рельсовъ поперечному и продольному скольженію, а также и радіальное давленіе.

Для бандажей, бывшихъ нѣкоторое время въ обращеніи, можно пренебречь вліяніемъ коничности и тогда:

$$b_1 = b_2 = b_3 = b_4 = b$$

$$b'_1 = b'_2 = b'_3 = b'_4 = b + \frac{Vs}{R}$$

Радіальное давленіе D_1 наружнаго колеса передняго ската на наружный рельсъ, принимая во вниманіе вліяніе силы тяги, выразится формулою (чер. 64):

$$D_1 = A'_1 + \frac{2}{3}\left(A_2 + A'_2\right) + \frac{1}{3}\left(A_3 + A'_3\right) -$$

$$- \frac{s}{L}\left(B_1 + B_2 + B_3 + B_4\right) + Z\frac{s}{2L} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (56)$$

Съ увеличеніемъ силы тяги возрастаютъ, конечно, скорости продольнаго скольженія, равно какъ и реакціи рельсовъ продольному скольженію колесъ, реакціи же поперечному скольженію, наоборотъ, уменьшаются; для той же силы тяги скорости скольженія уменьшаются съ увеличеніемъ радіуса кривой.

Не всѣ колеса паровоза участвуютъ въ одинаковой мѣрѣ въ образованіи силы тяги въ кривой; въ этомъ отношеніи доля колесъ передней оси, имѣющихъ самое большое поперечное скольженіе, наименьшая. Поэтому, если не всѣ оси паровоза спарены, то бѣгущей осью выгоднѣе всего выбирать переднюю ось. Движеніе паровоза направляется главнымъ образомъ переднею осью, почему важно, чтобы она представляла достаточное сопротивленіе боковымъ перемѣщеніямъ; реакція поперечному скольженію будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе реакція продольному скольженію, а слѣдовательно, передняя ось исполняетъ свое назначеніе направляющей оси успѣшнѣе всего въ томъ случаѣ, если она бѣгущая, а не движущая.

Для полученія данной силы тяги необходимы тѣмъ большія скорости скольженія, чѣмъ менѣе коэффиціентъ сцѣпленія колесъ съ рельсами.

Максимальной своей силы тяги, обусловленной давленіемъ на движущія оси и коэффиціентомъ сцѣпленія, паровозъ въ кривой произвести не можетъ; для этого скорость продольнаго скольженія колесъ должна бы равняться безконечности.

Съ увеличеніемъ силы тяги радіальное давленіе уменьшается, а центръ вращенія паровоза приближается къ переднему скату.

Въ отношеніи радіальнаго давленія въ наивыгоднѣйшемъ положеніи находится паровозъ, ведущій тяжелый составъ по крутому подъему. Бокового, опрокидывающаго наружный рельсъ, давленія болѣе всего слѣдуетъ опасаться при проходѣ отдѣльнаго паровоза, а также при движеніи поѣзда подъ уклонъ безъ участія силы тяги паровоза.

ГЛАВА IV.

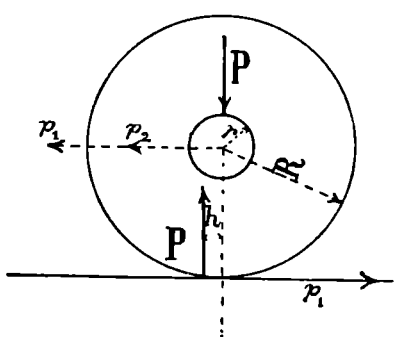
Сопротивленіе поѣздовъ движенію и сила тяги паровоза.

16. Сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути. Вопросъ о сопротивленіи движенію поѣздовъ имѣетъ громадное значеніе въ желѣзнодорожной техникѣ, ибо отъ величины означеннаго сопротивленія зависятъ въ значительной степени размѣры эксплоатаціонныхъ расходовъ желѣзной дороги. Поэтому весьма важно выяснить факторы, вліяющіе на сопротивленіе движенію, дабы можно было принять для уменьшенія его величины надлежащія мѣры какъ при конструкціи подвижного состава, такъ и при устройствѣ верхняго строенія пути.

Въ зависимости отъ условій, въ которыхъ находится рельсовый путь и происходитъ движеніе поѣзда, можно различать: а) основное сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути и б) дополнительныя сопротивленія движенію отъ кривой, отъ подъема и отъ ускоренія.

Сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути вызывается слѣдующими причинами: треніемъ осевыхъ шеекъ въ подшипникахъ, треніемъ при катаніи колесъ по рельсамъ, ударами колесъ вслѣдствіе неровностей пути (стыковъ) и сопротивленіемъ воздуха; кромѣ того, въ случаѣ движенія паровоза является еще сопротивленіе отъ треній въ движущемъ и парораспредѣлительномъ механизмахъ.

Чер. 65.



Сопротивленіе отъ тренія осевыхъ шеекъ въ подшипникахъ можетъ быть опредѣлено нижеслѣдующимъ расчетомъ: обозначая R (чер. 65) — радіусъ колеса по кругу катанія, r — радіусъ осевой шейки, f — коэффиціентъ тренія между шейкой и подшипникомъ, P—нагрузку на колесо, p_1 — силу необходимую для преодолѣнія тренія шейки въ подшипникѣ, приложенную къ оси колеса, а также такую же силу, являющуюся на окружности катанія колеса, вслѣдствіе реакціи рельса, можно написать слѣдующую зависимость между перечисленными величинами:

$$p_1 R = f P r$$

откуда

$$p_1 = fP\frac{r}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (57).$$

Для стальныхъ осевыхъ шеекъ и бронзовыхъ подшипниковъ, залитыхъ оловяннымъ сплавомъ (бабитомъ), можно принимать $f = 0{,}01$; для вагонныхъ скатовъ можно считать $\frac{r}{R} = 0{,}1$; слѣдовательно, сопротивленіе отъ тренія осевыхъ шеекъ въ подшипникахъ можно считать для вагоновъ равнымъ:

$$p_1 = 0{,}001\,P$$

При катаніи колесъ по рельсамъ, реакція рельса P, направленная кверху, находится впереди оси на нѣкоторомъ разстояніи h (чер. 65), называемомъ плечомъ катящаго тренія; величина выражается формулою:

$$h = k\sqrt{R},$$

гдѣ k зависитъ отъ сѣченія рельса и бандажа, а также и матеріала, изъ коего они изготовлены. Называя p_2 силу, которую необходимо приложить къ оси колеса для преодолѣнія катящаго тренія, находимъ:

$$p_2 R = hP = kP\sqrt{R},$$

откуда

$$p_2 = \frac{hP}{R} = \frac{kP}{\sqrt{R}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (58).$$

На основаніи опытовъ можно положить для вагонныхъ колесъ діаметромъ 1 метръ $h = 0{,}5$ миллиметра, а слѣдовательно сопротивленіе отъ катящаго тренія для вагоновъ можно считать равнымъ:

$$p_2 = \frac{0{,}5P}{500} = 0{,}001P$$

Удары въ стыкахъ рельсовъ, вслѣдствіе неровностей пути, причиняютъ потери живой силы движущагося поѣзда, возстановленіе коихъ происходитъ за счетъ работы паровоза; являющееся по указаннымъ причинамъ сопротивленіе движенію, не поддающееся теоретическому расчету, увеличивается съ увеличеніемъ скорости движенія.

Сопротивленіе движенію воздуха происходитъ главнымъ образомъ отъ давленія воздуха на лобовую поверхность паровоза или электровоза, перпендикулярную къ направленію движенія и также на поверхности вагоновъ, не закрытыя локомотивомъ; кромѣ того, является еще сопротивленіе отъ тренія воздуха о боковыя поверхности подвижного состава.

На основаніи послѣднихъ опытовъ давленіе воздуха въ килограммахъ на 1 кв. метръ поверхности, перпендикулярной къ направленію движенія при безвѣтренной погодѣ, можетъ быть выражено формулою:

$$p = 0{,}0052\,V^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (59)$$

гдѣ V—скорость движенія поѣзда километровъ въ часъ; при встрѣчномъ вѣтрѣ слѣдуетъ увеличить соотвѣтственно скорость V.

Значительное вліяніе на величину сопротивленія воздуха оказываетъ наружное очертаніе локомотива; въ этомъ отношеніи электровозы находятся

въ лучшихъ условіяхъ сравнительно съ паровозами, ибо первымъ легче придать выгодную, съ точки зрѣнія сопротивленія воздуха, форму. Значительное сопротивленіе движенію является также при боковомъ вѣтрѣ, прижимающемъ къ рельсамъ реборды колесъ подвижного состава.

Сопротивленіе отъ треній въ движущемъ и пораспредѣлительномъ механизмахъ паровоза зависитъ отъ ихъ конструкціи и передаваемыхъ ими силъ.

Какъ видно изъ вышесказаннаго, сопротивленія движенію отъ тренія въ осевыхъ подшипникахъ, отъ катанія колесъ по рельсамъ и отъ ударовъ пропорціональны вѣсу поѣзда и не зависятъ (первыя два) отъ скорости движенія; наоборотъ, сопротивленіе воздуха не зависитъ отъ вѣса поѣзда, а лишь отъ наружныхъ размѣровъ подвижного состава и скорости движенія.

Сопротивленіе движенію поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути не можетъ быть расчитано теоретически съ достаточною для практики точностью; сопротивленіе это расчитывается по эмпирическимъ формуламъ, выведеннымъ на основаніи результатовъ, опытовъ, измѣреній и наблюденій надъ движеніемъ поѣздовъ.

Формулы, выражающія сопротивленіе движенію, имѣютъ видъ:

$$W = a + bv + cv^2$$

гдѣ v—скорость движенія, a, b, c—коэффиціенты, соотвѣтствующіе данному подвижному составу (о способѣ опредѣленія означенныхъ коэффиціентовъ будетъ сказано ниже). Коэффиціенты въ указанной формулѣ будутъ, конечно особые для паровозовъ и особые для вагоновъ и различные притомъ для отдѣльныхъ типовъ паровозовъ (пассажирскихъ, товарныхъ и пр.) и отдѣльныхъ типовъ вагоновъ (пассажирскихъ, крытыхъ товарныхъ, открытыхъ товарныхъ и пр.) Для того, чтобы получить правильные для даннаго случая результаты, необходимо пользоваться формулами и коэффиціентами, опредѣленными изъ опытовъ съ соотвѣтственнымъ подвижнымъ составомъ и при условіяхъ движенія близкихъ къ данному случаю.

Для предварительныхъ расчетовъ можно пользоваться болѣе общими формулами, изъ коихъ можетъ быть рекомендована формула Франка (Frank), имѣющая слѣдующій видъ:

$$W = a\,P_1 + 2{,}5\,P_2 + 0{,}01\,(F_1 + F_2)\,V^2$$

гдѣ W — сопротивленіе движенію въ килограммахъ, P_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ тоннахъ, P_2—вѣсъ вагоновъ въ тоннахъ, a — коэффиціентъ сопротивленія паровоза съ тендеромъ отъ треній, F_1 — лобовая поверхность паровоза въ кв. метрахъ, F_2 — сумма подверженныхъ вѣтру поверхностей вагоновъ въ кв. метрахъ, V — скорость движенія поѣзда километровъ въ часъ. Величину a можно считать въ предѣлахъ отъ 3,9 клгр. (товарные паровозы), до 3,2 клгр. (пассажирскіе паровозы); F_1 составляетъ 7 кв. м. для пассажирскихъ, 8 кв. м. для товарныхъ паровозовъ; для расчета F_2 принимаютъ 1,7 кв. м. для перваго за паровозомъ багажнаго или крытаго товарнаго вагона, 0,5 кв. м. для каждаго слѣдующаго

пассажирскаго или крытаго товарнаго вагона; если же крытый вагонъ находится въ поѣздѣ сзади открытаго, то слѣдуетъ брать для него 1 кв. м.

Обыкновенно сопротивленіе движенію выражается въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда (удѣльное сопротивленіе); въ такомъ случаѣ формула Франка приметъ слѣдующій видъ:

$$W_1 = \frac{1}{P_1 + P_2}\left[a\,P_1 + 2{,}5\,P_2 + 0{,}01\,(F_1 + F_2)\,V^2\right] \quad . \quad . \quad . \quad (60).$$

Для приблизительныхъ расчетовъ можно пользоваться формулою Клярка (Clark), имѣющей слѣдующій видъ:

$$W_1 = 2{,}4 + 0{,}001\,V^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (61).$$

гдѣ W_1 — сопротивленіе движенію въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, а V — скорость его движенія километровъ въ часъ. Очевидно формула Клярка не можетъ дать точныхъ результатовъ, ибо она выведена въ предположеніи, что полное сопротивленіе движенію поѣзда пропорціонально его вѣсу; тѣмъ не менѣе можно съ удобствомъ пользоваться этою формулою для предварительныхъ расчетовъ при не очень большихъ скоростяхъ движенія.

Въ Россіи примѣняется также для расчета сопротивленія движенію формула профессора Петрова слѣдующаго вида:

$$W_1 = \frac{1}{P_1 + P_2}\left[P_1\,(a + 0{,}15\,V + 0{,}001\,V^2) + 1{,}2\,P_2 + bn\,V + 0{,}03\right.$$

$$\left.(1 + 0{,}01\,n)\,V^2 + (0{,}2 - 0{,}15\,t)\,(P_1 + P_2)\right] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (62).$$

гдѣ W_1 — удѣльное сопротивленіе движенію поѣзда въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, P_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ тоннахъ, P_2 — вѣсъ вагоновъ въ тоннахъ, n — число вагоновъ, V — скорость движенія километровъ въ часъ, t температура атмосферы по Цельсію, a—коэффиціентъ, относящійся къ сопротивленію паровоза и равный 2,3 для пассажирскихъ и 4,3 для товарныхъ паровозовъ, b — коэффиціентъ, относящійся къ сопротивленію вагоновъ и равный 0,6 для пассажирскихъ поѣздовъ, 0,7 для товаро-пассажирскихъ поѣздовъ и 0,9 для товарныхъ поѣздовъ. Въ послѣдней формулѣ принято во вниманіе вліяніе температуры на величину сопротивленія движенію (вліяніе на состояніе смазки въ буксахъ и пр.).

Съ увеличеніемъ скорости сопротивленіе движенію сильно возрастаетъ, такъ какъ въ формулѣ для расчета сопротивленія скорость входитъ во второй степени.

Расчитаемъ, для примѣра, удѣльное сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути товарнаго поѣзда въ составѣ 50 крытыхъ вагоновъ, полнымъ вѣсомъ каждый вагонъ 20 тон., при паровозѣ типа 1—4—0 русскихъ каз. дор. полнымъ вѣсомъ 76,5 тон. (Табл. 6 № 16) и четырехосномъ тендерѣ, служебнымъ вѣсомъ 52 тон., при скорости движенія 30 километровъ въ часъ.

$$P_1 = 76{,}5 + 52 = 128{,}5 \text{ тон} \quad P_2 = 50 \times 20 = 1000 \text{ тон.}$$

По формулѣ Франка получимъ:

$$W_1 = \frac{1}{1128{,}5}\left[3{,}9 \times 128{,}5 + 2{,}5 \times 1000 + 0{,}01\,(3 + 1{,}7 + 49 \times 0{,}5)\,30^2\right] =$$

2,93 клгр. на тонну вѣса поѣзда.

По формулѣ Клярка получимъ:

$W_1 = 2{,}4 + 0{,}001 \times 30^2 = 3{,}3$ клгр. на тонну вѣса поѣзда.

По формулѣ Петрова, принимая температуру воздуха + 10° С.:

$$W_1 = \frac{1}{1128{,}5}\left[128{,}5\,(4{,}3 + 0{,}15 \times 30 + 0{,}001 \times 30^2) + 1{,}2 \times 1000 + 0{,}9 \times 50 \times 30 + 0{,}03\,(1 + 0{,}04 \times 50)\,30^2 + (0{,}2 - 0{,}015 \times 10)\,1128{,}5\right] =$$

$= 3{,}49$ клгр. на тонну вѣса поѣзда.

Опредѣлимъ удѣльное сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути курьерскаго поѣзда въ составѣ 8 вагоновъ вѣсомъ 40 тон. каждый, при паровозѣ типа 2—3—0 русскихъ каз. дорогъ, полнымъ вѣсомъ 72,9 тон. (табл. 6 № 5) и трехосномъ тендерѣ, служебнымъ вѣсомъ 41 тон. и при скорости движенія 100 километровъ въ часъ.

$$P_1 = 72{,}9 + 41 = 113{,}9 \text{ тон.} \quad P_2 = 40 \times 8 = 320 \text{ тон.}$$

По формулѣ Франка получимъ:

$$W_1 = \frac{1}{433{,}9}\left[3{,}2 \times 113{,}9 + 2{,}5 \times 320 + 0{,}01\,(7 + 1{,}7 + 7 \times 0{,}5)\,100^2\right] = 5{,}5 \ \frac{\text{клгр.}}{\text{тон.}}$$

По формулѣ Клярка получимъ:

$$W_1 = 2{,}4 + 0{,}001 \times 100^2 = 12{,}4 \ \frac{\text{клгр.}}{\text{тон.}}$$

По формулѣ Петрова, принимая t° воздуха 10° С.:

$$W_1 = \frac{1}{433{,}9}\left[113{,}9\,(2{,}3 + 0{,}15 \times 100 + 0{,}001 \times 100^2) + 1{,}2 \times 320 + 0{,}6 \times 8 \times 100 + 0{,}03\,(1 + 0{,}04 \times 8)\,100^2 + (0{,}2 - 0{,}015 \times 10)\,433{,}9\right] = 10{,}4 \ \frac{\text{клгр.}}{\text{тон}}$$

Формулы Клярка и Петрова можно примѣнять лишь при малыхъ и среднихъ скоростяхъ движенія; для большихъ скоростей движенія формулы эти даютъ преувеличенные результаты.

17. **Дополнительное сопротивленіе при движеніи по кривымъ.** Дополнительное сопротивленіе движенію въ кривыхъ обусловливается слѣдующими причинами: 1) треніемъ о боковую поверхность рельсовой головки гребней колесъ, набѣгающихъ на рельсы (наружнаго колеса передняго ската о наружный рельсъ и внутренняго колеса задняго ската, если таковое набѣгаетъ гребнемъ на внутренній рельсъ); 2) треніемъ бандажей о рельсы, благодаря продольному скольженію колесъ при несоотвѣтствіи радіусовъ круговъ ихъ катанія радіусамъ наружной и внутренней рельсовыхъ нитокъ кривой; 3) дополнительнымъ давленіемъ осевыхъ шеекъ на подшипники, происходящимъ благодаря продольному скольженію колесъ, слѣдствіемъ чего является увеличеніе силы тренія въ указанномъ мѣстѣ.

Дополнительное сопротивленіе движенію въ кривой зависитъ отъ радіуса кривой, длины жесткой базы экипажа, ширины колеи, радіуса колеса, формы бандажа, центробѣжной и центростремительной силъ, а также устройства осей (подвижныя оси); кромѣ того, сопротивленіе въ кривыхъ зависитъ въ сильной степени отъ состоянія атмосферы, что вполнѣ понятно въ виду значительной роли, какую играетъ въ данномъ случаѣ коэффиціентъ тренія.

Для опредѣленія практическимъ путемъ дополнительнаго сопротивленія движенію въ кривыхъ, были произведены обширные опыты, на основаніи коихъ выведены эмпирическія формулы для расчета величины означеннаго сопротивленія.

На основаніи опытовъ, произведенныхъ на баварскихъ жел. дорогахъ, Рекль (Röckl) вывелъ формулу слѣдующаго вида:

$$W_2 = \frac{650}{R-55} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (63)$$

гдѣ W_2 — сопротивленіе въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, а R — радіусъ кривой въ метрахъ. Вліяніе длины жесткой базы на сопротивленіе въ кривой осталось не выясненнымъ въ опытахъ Рекля, ибо опыты эти производились надъ экипажами, мало разнящимися между собою въ отношеніи длины базы (около 4 м.); равнымъ образомъ не удалось выяснить вліяніе на сопротивленіе въ кривой другихъ перечисленныхъ выше факторовъ.

Для кривой радіуса 300 саж. = 640 м. дополнительное сопротивленіе по формулѣ Рекля равно $W_2 = \frac{620}{640-55} = 1{,}11$ килограммовъ на тонну вѣса поѣзда.

Гофманъ (Hoffmann), на основаніи опытовъ произведенныхъ на саксонскихъ жел. дор., вывелъ слѣдующую формулу для расчета дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ:

$$W_2 = 21 - \frac{4l + l^2}{R-45} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (64)$$

гдѣ l — длина жесткой базы въ метрахъ, W_2 и R имѣютъ указанныя выше значенія.

Упомянутые выше опыты показали, между прочимъ, что дополнительное сопротивленіе въ кривыхъ значительно уменьшается съ примѣненіемъ подвижныхъ осей.

Данныя практическихъ опытовъ, производимыхъ надъ подвижнымъ составомъ при тѣхъ, примѣрно, условіяхъ, въ какихъ онъ несетъ службу на желѣзныхъ дорогахъ, представляютъ, конечно, весьма цѣнный матеріалъ для расчета дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ; но при опытахъ невозможно выяснить вліяніе многихъ факторовъ на сопротивленіе движенію, тѣмъ болѣе, что нѣкоторые изъ нихъ дѣйствуютъ въ противоположныя стороны; поэтому ниже приведенъ теоретическій расчетъ дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ, который можетъ дать цѣнныя указанія при рѣшеніи вопросовъ объ устройствѣ пути въ кривыхъ, а также конструкціи нѣкоторыхъ частей подвижного состава.

Наружное колесо передняго ската съ давленіемъ P имѣетъ точку опоры на рельсѣ, отстоящую отъ вертикальной плоскости, проходящей черезъ ось ската на величину y_1, равную (15) $y_1 = r\,tg\,\beta_1\,tg\,\gamma_1$ [1]), благодаря чему является моментъ, сопротивляющійся вращенію колеса, равный $Pr\,tg\,\beta_1\,tg\,\gamma_1$. Необходимая для преодолѣнія сила тяги, плечо коей r, выразится $P\,tg\,\beta_1\,tg\,\gamma_1$, а коэффиціентъ сопротивленія W_1', при числѣ n колесъ экипажа и нагрузкѣ P на каждое изъ нихъ:

$$W_1' = \frac{P\,tg\,\beta_1\,tg\,\gamma_1}{nP} = \frac{tg\,\beta_1\,tg\,\gamma_1}{n}.$$

Подставляя значенія β_1 (22) и γ_1 (13) получимъ:

$$W_1' = \frac{D_1 + fP\cos\delta_1}{P - fD_1\cos\delta_1}\,\frac{k}{nR} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (65).$$

Подобнымъ же образомъ найдемъ для внутренняго колеса задняго ската:

$$W'_{\frac{n}{2}} = \frac{D_2 + fP\cos\delta_2}{P - fD_2\cos\delta_2}\,\frac{h}{nR} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (66).$$

При сопротивленіи B_i продольному скольженію даннаго колеса и скорости b_i его скольженія, работа являющейся при этомъ силы тренія равна $B_i\,b_i$; коэффиціентъ сопротивленія, если скорость движенія экипажа V, выразится $W_i'' = \frac{B_i\,b_i}{nPV}$; суммируя коэффиціенты для отдѣльныхъ колесъ, получимъ коэффиціентъ W'' сопротивленія отъ продольнаго скольженія колесъ:

$$W'' = \Sigma\frac{B_i\,b_i}{nPV} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (67).$$

Если для даннаго ската сопротивленія продольному скольженію колесъ равны B_i и B'_i, то при разстояніи s — между кругами катанія колесъ и S — между серединами осевыхъ шеекъ явится, благодаря вращающему моменту силъ скользящаго тренія, дополнительное на шейки давленіе:

$\frac{(B'_i - B_i)s}{2S}$; полное же давленіе на шейку окажется равнымъ:

$$\sqrt{P^2 + \frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4S^2}} = P\sqrt{1 + \frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4P^2 S^2}}.$$

При коэффиціентѣ тренія шейки въ подшипникѣ f_1 и діаметрѣ шейки d, дополнительная сила тренія равна, очевидно:

$$f_1 P\left(\sqrt{1 + \frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4P^2 S^2}} - 1\right),$$

---

[1]) Уголъ β_0, какъ мало отличающійся отъ угла β_1, замѣненъ послѣднимъ.

а необходимая для ея преодолѣнія сила тяги:

$$\frac{f_1 P d}{2r}\left(\sqrt{1+\frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4P^2S^2}} - 1\right).$$

Коэффиціентъ W_i''' являющагося по указанной причинѣ сопротивленія выражается:

$$W_i''' = \frac{f_1 d}{2nr}\left(\sqrt{1+\frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4P^2S^2}} - 1\right);$$

суммируя коэффиціенты для отдѣльныхъ осей, получимъ коэффиціентъ W''' сопротивленія, благодаря увеличенію давленія на осевыя шейки:

$$W''' = \Sigma \frac{f_1 d}{2nr}\left(\sqrt{1+\frac{(B'_i - B_i)^2 s^2}{4P^2S^2}} - 1\right) \ldots\ldots (68).$$

Полный коэффиціентъ дополнительнаго сопротивленія въ кривой равенъ:

$$W_2 = W' + W'' + W'''.$$

Для двухоснаго вагона, гдѣ $B_i = -B'_i$, а скорости продольнаго скольженія обоихъ колесъ ската равны по величинѣ, получимъ:

$$W_2 = \frac{D_1 + fP\cos\delta_1}{P - fD_1\cos\delta_1}\frac{k}{4R} + \frac{D_2 + fP\cos\delta_2}{P - fD_2\cos\delta_2}\frac{h}{4R} + \frac{B_1 b_1}{2PV} + \frac{B_2 b_2}{2PV} +$$

$$+ \frac{f_1 d}{8r}\left(\sqrt{1+\frac{B_1^2 s^2}{P^2 S^2}} - 1\right) + \frac{f_1 d}{8r}\left(\sqrt{1+\frac{B_2^2 s^2}{P^2 S^2}} - 1\right) \ldots\ldots (69).$$

При радіальномъ расположеніи вагона $h = 0$ и второй членъ формулы (69) обращается въ нуль.

Формула (69) можетъ служить для опредѣленія дополнительнаго сопротивленія въ кривой въ томъ случаѣ, когда сила тяги не оказываетъ вліянія на движеніе вагона, напримѣръ, при движеніи поѣзда подъ уклонъ; при натянутыхъ сцѣпныхъ приборахъ отъ вліянія силы тяги радіальное давленіе уменьшается, какъ то было указано выше, и въ этомъ случаѣ поворачиваніе вагона, при вписываніи его въ кривую, происходитъ не исключительно подъ вліяніемъ радіальнаго давленія, а отчасти непосредственнымъ дѣйствіемъ натяженія вагонныхъ стяжекъ, составляющихъ нѣкоторый уголъ съ продольною осью вагона; при крутыхъ кривыхъ и подъемахъ радіальное давленіе можетъ оказаться равнымъ нулю и въ этомъ случаѣ поворачиваніе вагона происходитъ исключительно дѣйствіемъ натяженія вагонныхъ стяжекъ; конечно, упомянутое дѣйствіе вагонныхъ стяжекъ происходитъ за счетъ расхода нѣкоторой силы тяги, каковую необходимо присчитать къ дополнительному сопротивленію отъ кривой.

Эта часть w сопротивленія можетъ быть опредѣлена слѣдующимъ образомъ. Силы тяги, дѣйствующія вдоль вагонныхъ стяжекъ, равны у n аго вагона (черт. 62), nz — для передней и $(n-1)z$ — для задней стяжки;

для передвиженія вагона расходуется сила тяги z, при чемъ составляющая параллельная продольной оси вагона равна $nz\cos\lambda - (n-1)z\cos\nu$; эта составляющая сила расходуется на преодолѣніе сопротивленія отъ подъема, прямой площадки и части сопротивленія отъ кривой, а именно, отъ продольнаго скольженія колесъ и той части поперечнаго скольженія, которая соотвѣтствуетъ вращенію вагона вліяніемъ радіальнаго давленія; остальная часть поперечнаго скольженія преодолѣвается натяженіемъ вагонныхъ стяжекъ и соотвѣтствующее ему дополнительное сопротивленіе равно:

$$w = \frac{1}{4P}\left(z - nz\cos\lambda + (n-1)z\cos\nu\right) = \frac{z}{4P}\left(1 - n\cos\lambda + (n-1)\cos\nu\right) \quad . \quad . \quad . \quad (70)$$

а все дополнительное сопротивленіе въ кривой выразится:

$$W_2 = W' + W'' + W''' + w.$$

По этимъ формуламъ можетъ быть расчитано дополнительное сопротивленію движенію въ кривыхъ для разныхъ радіусовъ кривыхъ и длинъ жесткой базы вагоновъ при различныхъ скоростяхъ движенія, возвышеніяхъ наружнаго рельса, натянутыхъ и ненатянутыхъ сцѣпныхъ приборахъ и проч., изъ сравненія полученныхъ, такимъ образомъ, результатовъ можетъ быть выяснено вліяніе перечисленныхъ факторовъ на дополнительное сопротивленіе въ кривыхъ.

Данныя подобныхъ расчетовъ показываютъ, что сопротивленія, опредѣленныя по эмпирическимъ формуламъ, выведеннымъ на основаніи опытовъ, подходятъ довольно близко къ сопротивленіямъ, расчитаннымъ теоретическимъ путемъ (при равновѣсіи между центробѣжной и центростремительной силами); дополнительныя сопротивленія въ кривыхъ приблизительно обратно пропорціональны радіусамъ послѣднихъ; такъ для нормальнаго товарнаго вагона указанное сопротивленіе при ненатянутыхъ стяжкахъ и равновѣсіи между центробѣжной и центростремительной силами можетъ быть опредѣлено по формулѣ:

$$W_2 = \frac{750}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (71).$$

гдѣ W_2 — сопротивленіе въ килограмахъ на тонну вѣса вагона, а R — радіусъ кривой въ метрахъ.

Отъ центробѣжной силы сопротивленіе движенію увеличивается; при предѣльной скорости движенія [1]) и полномъ отсутствіи возвышенія у наружнаго рельса кривой, увеличеніе сопротивленія достигаетъ примѣрно 20%, сравнительно со случаемъ равновѣсія между центробѣжной и центростремительной силами. Однако необходимо замѣтить, что результаты эти получаются въ предположеніи нормальнаго расположенія вагона въ кривой, несмотря на вліяніе центробѣжной силы, не уравновѣшиваемой вовсе центростремительной силой; если же было бы принято во вниманіе перемѣщеніе задняго ската вагона впаружу кривой подъ вліяніемъ центробѣжной силы, а слѣдовательно и соотвѣтственное уменьшеніе угла, составляемаго

[1]) Опредѣленной по формулѣ $V = 3\sqrt{R}$.

плоскостью наружнаго колеса передняго ската съ наружнымъ рельсомъ, то увеличеніе сопротивленія при указанныхъ условіяхъ, если бы имѣло мѣсто, оказалось бы несущественнымъ.

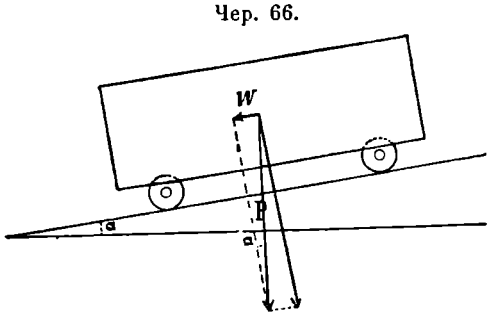
Сопротивленіе вагона, двигающагося въ составѣ поѣзда, при натянутыхъ сцѣпныхъ приборахъ, нѣсколько меньше по сравненію съ свободнымъ его движеніемъ; упомянутое уменьшеніе сопротивленія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ больше натяженіе сцѣпныхъ приборовъ, то-есть чѣмъ дальше находится вагонъ отъ хвоста поѣзда и чѣмъ круче подъемъ, по которому движется поѣздъ; для крутыхъ кривыхъ, когда вагонная стяжка составляетъ съ продольною осью вагона большой сравнительно уголъ, уменьшеніе сопротивленія является ощутительнымъ; въ пологихъ кривыхъ вліяніе силы тяги на дополнительное сопротивленіе движенію отъ кривой незначительно. Нѣкоторое уменьшеніе дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ отъ вліянія силы тяги вполнѣ понятно, ибо въ этомъ случаѣ вращеніе вагона при участіи въ извѣстной степени непосредственнаго натяженія сцѣпныхъ приборовъ, дѣйствующихъ на большее, сравнительно съ радіальнымъ давленіемъ, плечо, происходитъ при болѣе благопріятныхъ условіяхъ.

Расчетъ показываетъ, что сопротивленіе, обусловливаемое взаимодѣйствіемъ между гребнемъ наружнаго колеса передняго ската и наружнымъ рельсомъ (W'), составляетъ около 80% отъ полнаго дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ.

Изъ сказаннаго видно, сколь важно для облегченія движенія въ кривыхъ придать гребню надлежащее очертаніе въ связи съ профилемъ рельсовой головки.

Съ увеличеніемъ длины жесткой базы экипажа дополнительное сопротивленіе въ кривыхъ возрастаетъ въ пропорціи нѣсколько меньшей, чѣмъ отношеніе длинъ базъ сравниваемыхъ экипажей. Дѣйствительно 20% полнаго дополнительнаго сопротивленія въ кривыхъ является результатомъ, какъ было указано выше, продольнаго скольженія колесъ; эта часть сопротивленія почти не зависитъ отъ длины жесткой базы; остальныя 80% можно считать пропорціональными длинѣ базы, ибо въ выраженіи $tg\beta\, tg\gamma$, опредѣляющемъ эту часть сопротивленія, $tg\beta$ весьма мало измѣняется съ измѣненіемъ длины базы, а $tg\gamma$ пропорціоналенъ сказанной длинѣ (при радіальномъ расположеніи задняго ската).

Чер. 66.



18. **Дополнительныя сопротивленія отъ подъема и ускоренія.** При движеніи поѣзда, вѣса P, по наклонному пути, составляющему уголъ α съ горизонтомъ (чер. 66), является дополнительное сопротивленіе, равное проекціи силы тяжести на плоскость пути; сопротивленіе это равно очевидно:

$$W = \pm P \sin\alpha,$$

при чемъ отрицательный знакъ относится къ случаю движенія поѣзда внизъ

подъ уклонъ, ибо тогда упомянутая составляющая сила тяжести является не сопротивленіемъ движенію, а движущей поѣздъ силою.

Такъ какъ углы наклона плоскости рельсоваго пути къ горизонту, встрѣчающіеся на практикѣ, не большіе, то можно положить:

$$Sin\,\alpha = tg\alpha = i,$$ гдѣ i — уклонъ пути;

слѣдовательно:

$$W = \pm P tg\alpha = \pm Pi,$$ а удѣльное сопротивленіе:

$$W_3 = \frac{W}{P} = \pm i \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7$$

Если сопротивленіе выражать въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, то оно будетъ равно, очевидно, числу тысячныхъ долей подъема; такъ, напримѣръ, сопротивленіе отъ подъема $i = 0{,}005$ равно 5 килограммамъ на тонну вѣса поѣзда.

Если поѣздъ движется не съ равномѣрною, а съ увеличивающеюся скоростью, то является дополнительное сопротивленіе, соотвѣтствующее энергіи, которую необходимо затратить для увеличенія живой силы; въ случаѣ движенія съ уменьшающеюся скоростью, сопротивленіе это должно быть, очевидно, принято при расчетахъ со знакомъ минусъ.

Величина сопротивленія отъ ускоренія равна, очевидно, произведенію изъ движущейся массы на ускореніе, при чемъ въ данномъ случаѣ необходимо ввести еще нѣкоторый коэффиціентъ ввиду того, что независимо отъ поступательнаго движенія всей массы поѣзда, имѣются еще массы съ вращательнымъ движеніемъ (колесные скаты); коэффиціентъ этотъ можно принять для желѣзнодорожнаго подвижного состава равнымъ 1,08. Слѣдовательно, сопротивленіе отъ ускоренія выразится формулою:

$$W = \pm 1{,}08\ Mp = \pm 1{,}08\ \frac{P}{g}\,p,$$

гдѣ P—вѣсъ поѣзда, p—ускореніе движенія, а g—ускореніе силы тяжести.

Удѣльное сопротивленіе отъ ускоренія, выраженное въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, равно:

$$W_4 = \pm \frac{1000\ W}{P} = \pm 1080\ \frac{p}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (73).$$

Такъ, напримѣръ, для поѣзда, движущагося съ ускореніемъ 0,05 $\frac{\text{м.}}{\text{сек.}^2}$ дополнительное сопротивленіе равно:

$$W_4 = \frac{1080 \times 0{,}05}{9{,}81} = 5{,}5 \text{ кгр.}$$

на тонну вѣса поѣзда.

Полное сопротивленіе поѣзда, движущагося съ неравномѣрною скоростью по кривому и наклонному пути, равно очевидно:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + W_4,$$

гдѣ величины $W_1 - W_4$ опредѣляются по приведеннымъ выше формуламъ.

Расчитаемъ, для примѣра, удѣльное сопротивленіе движенію пассажирскаго поѣзда, идущаго по подъему 0,004 и въ кривой радіуса 300 саж. со скоростью 20 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ и ускореніемъ 0,1 $\frac{\text{м.}}{\text{сек.}^2}$.

Пользуясь формулами Клярка и Рекля, получимъ:

$$W = 2,4 + 0,001 \times 20^2 + \frac{650}{640-55} + 4 + 1080 \times \frac{0,1}{9,81} =$$

$$= 2,8 + 1,11 + 4 + 11,01 = 18,92 \frac{\text{клгр.}}{\text{тон.}}$$

19. Сила тяги и мощность паровоза. Сила, приводящая въ движеніе паровозъ, возникаетъ благодаря работѣ пара въ паровыхъ цилиндрахъ; сила давленія пара на поршень парового цилиндра передается помощью штока и шатуна кривошипу, который вращаетъ движущія колеса паровоза и сообщаетъ ему поступательное движеніе, благодаря реакціи рельсовъ скольженію, то есть такъ называемому сцѣпленію колесъ съ рельсами. Поэтому слѣдуетъ отличать *силу тяги* паровоза по *работѣ пара* въ паровыхъ цилиндрахъ и по *сцѣпленію колесъ* съ рельсами.

Обозначая d—діаметръ цилиндра, h—ходъ поршня, D—діаметръ движущихъ колесъ, p_i — среднее рабочее давленіе пара въ цилиндрѣ за весь ходъ поршня, Z_i—силу тяги, отнесенную къ кругу катанія колеса, и приравнивая работу пара въ цилиндрѣ за два хода поршня работѣ силы тяги за полный оборотъ колеса [1]), находимъ:

$$\pi D Z_i = \frac{\pi d^2}{4} p_i 2 h;$$

откуда

$$Z_i = \frac{d^2 h}{2 D} p_i$$ — гдѣ Z_i получится въ килограммахъ,

если d, h и D будетъ выражено въ сантиметрахъ, а давленіе p_i въ атмосферахъ (килограммахъ на кв. сантиметръ).

Среднее давленіе пара въ цилиндрѣ p_i можетъ быть расчитано по индикаторной діаграммѣ, почему Z_i называется *индикаторной силою тяги.*

Для двухцилиндровыхъ паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ пара получимъ, очевидно:

$$Z_i = \frac{d^2 h}{D} p_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (74),$$

а для четырехцилиндровыхъ:

$$Z_i = 2 \frac{d^2 h}{D} p_i \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (75)$$

Для двухцилиндровыхъ паровозовъ компаудъ получимъ, если d p_i—

[1]) Не принимая пока въ расчетъ сопротивленій движущаго и парораспредѣлительнаго механизмовъ паровоза.

—d_1 p_i' діаметры и среднія рабочія давленія пара въ цилиндрахъ высокаго и низнаго давленія (маломъ и большомъ):

$$Z_i = \frac{h}{2D}\left[\ p_i d^2 + p_i' d_1^2\ \right]$$

Такъ какъ діаметры цилиндровъ высокаго и низкаго давленія и среднія рабочія давленія въ нихъ пара назначаются такимъ образомъ, чтобы работы, получаемыя въ маломъ и большомъ цилиндрахъ за время оборота колесъ, были по возможности равны между собою, то можно расчитывать индикаторную силу тяги паровозовъ компаундъ по формуламъ (74) и (75), подставляя вмѣсто d и p_i діаметръ и среднее рабочіе давленіе пара въ цилиндрѣ высокаго давленіе. При трогании съ мѣста паровозовъ компаудъ производится впускъ пара въ большой цилиндръ (цилиндръ низкаго давленія), непосредственно изъ котла помощью, такъ называемаго, прибора отправленія [1]). Сила тяги паровозовъ компаундъ часто расчитывается по большому цилиндру изъ слѣдующихъ формулъ:
для двухцилиндровыхъ паровозовъ:

$$Z_i = \frac{d_1^2 h}{2D} p_i \quad . \quad . \quad . \quad (76),$$

а для четырехцилиндровыхъ паровозовъ:

$$Z_i = \frac{d_1^2 h}{D} p_i^1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (77),$$

гдѣ d_1 — діаметръ цилиндра низкаго давленія.

Среднее рабочее давленіе пара въ цилиндрѣ меньше манометрическаго давленія пара въ котлѣ, вслѣдствіе потерь давленія паромъ при движеніи по узкимъ проходамъ на протяженіи отъ котла до цилиндра, вслѣдствіе расширенія пара въ цилиндрѣ послѣ отсѣчки и вслѣдствіе противудавленія на нерабочую сторону поршня; точная величина средняго рабочаго давленія пара, мѣняющаяся въ зависимости отъ степени наполненія паромъ цилиндра и количества оборотовъ движущихъ колесъ, можетъ быть расчитана по индикаторной діаграммѣ для даннаго паровоза и опредѣленныхъ условій его работы

Для предварительнаго расчета наибольшихъ величинъ средней индикаторной силы тяги, можно принимать среднее рабочее давленіе пара въ цилиндрахъ p_i равнымъ нѣкоторой части манометрическаго давленія пара въ котлѣ, а именно: у паровозовъ однократнаго расширенія $p_i = 0{,}55\ p$ для пассажирскихъ, $p_i = 0{,}60\ p$ для товарныхъ паровозовъ; у паровозовъ двукратнаго расширенія $p_i^1 = 0{,}45\ p$ для пассажирскихъ, $p_i = 0{,}50\ p$ для товарныхъ паровозовъ [2]); для паровозовъ съ перегрѣвомъ пара указанныя

[1]) Приборы отправленія паровозовъ компаундъ часто конструируются такимъ образомъ, что паровозъ можетъ работать какъ съ двукратнымъ, такъ и съ однократнымъ расширеніемъ пара (выпускомъ пара изъ малаго цилиндра въ атмосферу).

[2]) Для паровозовъ компаундъ $p^i = 0{,}50\ p$ — $0{,}33\ p$ въ зависимости отъ отношеній объемовъ цилиндровъ.

отношенія могутъ быть увеличены до $p_2^1 = 0{,}75\ p$ для однократнаго расширенія и до $p_2^1 = 0{,}55\ p$ для двукратнаго расширенія.

Изъ формулъ 74—77 видно, что сила тяги прямо пропорціональна объему цилиндра и давленію пара и обратно-пропорціональна діаметру движущихъ колесъ паровоза; поэтому, дабы получить паровозъ съ большою силою тяги, необходимо проектировать его съ колесами малаго діаметра (товарные паровозы).

Часть индикаторной силы тяги тратится на преодолѣніе внутреннихъ сопротивленій паровоза (сопротивленій паровоза, какъ паровой машины), какъ-то: сопротивленій движенію поршней, треній въ сочлененіяхъ шатуновъ, эксцентриковъ, золотниковъ и проч., а также сопротивленія движенію спаренныхъ осей паровоза отъ тренія въ подшипникахъ. Если вычтемъ перечисленныя сопротивленія (отнесенныя къ кругу катанія колесъ) изъ индикаторной силы тяги паровоза, то получимъ *касательную силу тяги* Z_t или силу тяги на ободѣ движущихъ колесъ; касательная сила тяги расходуется на преодолѣніе сопротивленій движенію вагоновъ, тендера, а также сопротивленій движенію паровоза, какъ экипажа.

Величина внутреннихъ сопротивленій паровоза зависитъ отъ его конструкціи, числа спаренныхъ осей, величины развиваемой силы тяги и проч. Отношеніе касательной и индикаторной силъ тяги, то-есть коэффиціентъ полезнаго дѣйствія механизма паровоза [1]) можно считать равнымъ отъ 0,80 до 0,95, т.-е. $Z_t = 0{,}80\ Z_i$ до $0{,}95\ Z_i$ . . . . . (78).

Сила тяги Z_u, расходуемая на передвиженіе вагоновъ, называется силой тяги на крюкѣ тендера или *полезною силою тяги*; полезная сила тяги получится послѣ вычета изъ индикаторной силы тяги полнаго сопротивленія паровоза и тендера. Полезная сила тяги можетъ быть опредѣлена съ точностью помощью динамометра, помѣщаемаго между тендеромъ и вагонами; отношеніе между полезной и индикаторной силами тяги (коэффиціентъ полезнаго дѣйствія всего паровоза) зависитъ, кромѣ другихъ причинъ, также отъ профиля пути, скорости и ускоренія движенія, ибо факторы эти оказываютъ большое вліяніе на сопротивленіе движенію паровоза и тендера, съ увеличеніемъ коего уменьшается коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровоза.

Величина касательной силы тяги, расчитанная по формулѣ (78), представляетъ среднюю величину силы за полный оборотъ колесъ паровоза; въ отдѣльные же моменты величина означенной силы можетъ быть больше или меньше въ зависимости отъ положенія кривошиповъ и шатуновъ. Если Z_t средняя, а Z_m максимальная величина касательной силы тяги въ теченіе одного оборота колеса, то для двухцилиндровыхъ паровозовъ съ кривошипами, составляющими уголъ 90^0,

$$\frac{Z_m}{Z_t} = \frac{\pi}{4}\left[\sqrt{2} + \frac{r}{l}\right],$$ гдѣ r длина кривошипа, а l — шатуна; при $\frac{r}{l} = 0{,}2$.

$$Z_m = 1{,}25\ Z_t \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (79).$$

[1]) Коэффиціентъ этотъ опредѣляется помощью опытовъ съ паровозами на испытательныхъ станціяхъ.

Поступательное движеніе паровоза возможно, благодаря силѣ тренія между рельсами и колесами, то есть сцѣпленію колесъ съ рельсами, которое предупреждаетъ вращеніе спаренныхъ колесъ паровоза на одномъ мѣстѣ (боксованіе колесъ). Упомянутая сила тренія, зависящая отъ нагрузки спаренныхъ осей (Q) и коэффиціента тренія (f) между рельсами и колесами, равная fQ, называется силою тяги по сцѣпленію. Дабы не было боксованія колесъ, необходимо, очевидно, чтобы наибольшая касательная сила тяги не превосходила силы тяги по сцѣпленію, слѣдовательно:

$$Z_m \leq fQ \text{ или } Z_t \leq \frac{fQ}{1{,}25}.$$

Коэффиціентъ тренія между колесами и рельсами зависитъ отъ степени влажности рельсъ и отъ скорости скользящаго движенія бандажей по рельсу; при сухихъ рельсахъ и очень малыхъ скоростяхъ, т.-е. при начинающемся скольженіи, коэффиціентъ тренія $f = 0{,}24$; съ увеличеніемъ скорости скольженія коэффиціентъ тренія быстро уменьшается; для влажныхъ рельсовъ коэффиціентъ этотъ меньше, чѣмъ для сухихъ рельсовъ. Если даже принять коэффиціентъ тренія 0,24, то, и въ такомъ случаѣ, сцѣпляющій вѣсъ долженъ быть не менѣе величины, опредѣляемой уравненіемъ:

$$Z_t = \frac{0{,}24}{1{,}25} Q = 0{,}19\, Q.$$

Но такъ какъ необходимо считаться на практикѣ съ влажностью рельсовъ, то обыкновенно сцѣпляющій вѣсъ паровоза опредѣляется изъ уравненія:

$$Q \geqq \frac{Z_t}{0{,}16} = 6{,}25\, Z_t \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (80).$$

Работа, производимая паромъ въ цилиндрахъ паровоза, расходуется на преодолѣніе всѣхъ сопротивленій движенію какъ паровоза съ тендеромъ, такъ и вагоновъ; если назовемъ N_i мощность паровоза въ паровыхъ лошадяхъ, соотвѣтствующую работѣ пара въ паровыхъ цилиндрахъ, то работа эта въ теченіе одной секунды равна 75 N_i килограммометрамъ. Съ другой стороны, если d—діаметръ цилиндра, p_i—среднее рабочее давленіе пара въ цилиндрѣ, а v_p — средняя скорость движенія поршня метровъ въ секунду, то для двухцилиндроваго, напримѣръ, паровоза однократнаго расширенія, работа пара въ паровыхъ цилиндрахъ въ теченіе одной секунды будетъ равна:

$2 \frac{\pi d^2}{4} p_i\ v_p$ килограммометровъ; очевидно:

$$75\ N_i = 2 \frac{\pi d^2}{4} p_i\ v_p,$$

обозначая h—ходъ поршня, D-діаметръ движущихъ колесъ, v—скорость движенія поѣзда метровъ въ секунду и имѣя въ виду, что, за время полнаго оборота движущихъ колесъ, поршень цилиндра дѣлаетъ два хода, получимъ:

$$\frac{\pi D}{v} = \frac{2h}{v_p} \text{ откуда } v_p = \frac{2h}{\pi D} v,$$

подставляя, находимъ:

$$75\ N_i = \frac{d^2\ h}{D}\ p_i\ v = Z_i\ v;$$

обозначая скорость движенія поѣзда V километровъ въ часъ, находимъ:

$$v = \frac{1000\ V}{60 \times 60} = \frac{V}{3{,}6},$$

подставляя, получаемъ:

$$N_i = \frac{Z_i\ V}{75 \times 3{,}6} = \frac{Z_i\ V}{270}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (81),$$

мощность паровоза, опредѣляемая формулою (81), называется *индикаторною мощностью*.

Мощность паровоза N_l, отвѣчающая касательной силѣ тяги, называется *мощностью на ободѣ движущихъ колесъ*, а мощность N_u, отвѣчающая полезной силѣ тяги, называется *полезною мощностью* паровоза (мощностью на крюкѣ тендера).

Мощность паровоза зависитъ отъ размѣровъ котла; если поверхность нагрѣва котла не достаточна, то не хватитъ пара для того, чтобы паровозъ могъ произвести намѣченную работу, хотя бы таковая была возможна въ зависимости отъ размѣровъ другихъ частей паровоза. Количество паровыхъ лошадей индикаторной мощности, которое можно получить съ одного кв. метра поверхности нагрѣва котла $\left[\frac{N_i}{H}\right]$ (удѣльная мощность), зависитъ отъ многихъ условій, какъ-то: отъ рода топлива, размѣровъ колосниковой рѣшотки, давленія пара, скорости движенія, а также отъ того, работаетъ ли паровозъ съ однократнымъ или двукратнымъ расширеніемъ пара и съ насыщеннымъ или перегрѣтымъ паромъ; отношеніе $\frac{N_i}{H}$ увеличивается съ увеличеніемъ числа оборотовъ [1]) движущихъ колесъ, достигая наибольшей величины при числѣ оборотовъ 3, 5 до 4, 5 въ секунду, но уменьшается при дальнѣйшемъ увеличеніи скорости движенія; удѣльная мощность больше для паровозовъ компаундъ, чѣмъ для паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ пара и увеличивается отъ перегрѣва пара.

Число индикаторныхъ паровыхъ лошадей, получаемыхъ съ одного кв. метра поверхности нагрѣва, можетъ быть принято для паровозовъ, работающихъ насыщеннымъ паромъ (въ зависимости отъ числа оборотовъ колесъ):

для пассажирскихъ паровозовъ:

однократнаго расширенія 3,5—6
компаундъ . . . . . 4—7

для товарныхъ паровозовъ:

однократнаго расширенія 3—4,5
компаундъ . . . . . 3,5—5;

[1]) Съ увеличеніемъ числа оборотовъ движущихъ колесъ, усиливается тяга въ паровозной топкѣ отъ болѣе частыхъ выпусковъ мятаго пара въ дымовую трубу.

причемъ низшія изъ указанныхъ цифръ относятся къ числу оборотовъ движущихъ колесъ около одного въ секунду, а высшія около 3 въ секунду для товарныхъ и 4 для пассажирскихъ паровозовъ. Для паровозовъ, снабженныхъ перегрѣвателями пара, удѣльная мощность больше процентовъ на 25 сравнительно съ паровозами, работающими насыщеннымъ паромъ (при температурѣ перегрѣтаго пара около 300° С).

Изъ формулы (81) видно, что паровозъ можетъ дать большую силу тяги лишь при небольшихъ, сравнительно, скоростяхъ; съ увеличеніемъ скорости движенія, далѣе нѣкотораго предѣла, сила тяги паровоза быстро уменьшается.

Расчитаемъ, для примѣра, силу тяги товарнаго паровоза русскихъ казенныхъ дорогъ, типа 1—4—0 (Таб. 6 № 16).

Индикаторная сила тяги:

$$Z_i = 0{,}50\,\frac{(76{,}5)^2\times 70\times 14}{2\times 130} = 11030 \text{ клгр.}$$

Касательная сила тяги:

$$Z_t = 0{,}9\times 11030 = 9927 \text{ клгр.}$$

Необходимый сцѣпляющій вѣсъ паровоза:

$$Q \geq 6{,}25\times 9927 = 62043 \text{ клгр.}$$

Индикаторная мощность паровоза по поверхности нагрѣва котла можетъ достигать величины

$$N_i = 206\times 5 = 1030 HP.$$

20. **Расчетъ состава и скорости движенія поѣзда.** Расчетъ величины состава и скорости движенія поѣзда производится на практикѣ чаще всего на основаніи данныхъ, добытыхъ изъ опытныхъ поѣздокъ съ тѣми паровозами, для которыхъ требуется установить указанныя величины. Для предварительнаго расчета можно пользоваться формулами, выражающими зависимость между полнымъ сопротивленіемъ движенію поѣзда, индикаторною силою тяги, мощностью паровоза и скоростью движенія

$$Z_i = W_1 + W_2 + W_3 + W_4 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (82)$$

$$V = \frac{270\ N_i}{Z_i} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (83)$$

Составъ поѣзда опредѣляется обыкновенно изъ условія, чтобы поѣздъ, двигаясь съ равномѣрною скоростью по наибольшему для даннаго участка дороги подъему и въ кривой наименьшаго радіуса, могъ использовать предѣльную силу тяги паровоза; для выполненія этого требованія, скорость движенія должна удовлетворять уравненію (83); опредѣливъ скорость движенія изъ означеннаго уравненія, подставляемъ ее въ выраженія сопротивленій движенію, входящія въ уравненіе (82), послѣ чего въ послѣднемъ уравненіи останется лишь одно неизвѣстное, а именно вѣсъ состава поѣзда.

Положимъ для примѣра, что требуется опредѣлить предѣльный составъ товарнаго поѣзда съ паровозомъ русскихъ казенныхъ дорогъ типа 1—4—0 (Таб. 6 № 16), полнымъ вѣсомъ 76,5 тоннъ и четырехоснымъ тендеромъ, вѣсомъ 52 тонны, при условіи движенія съ равномѣрной скоростью по подъему 0,008 и въ кривой $R = 300$ саж. Индикаторная сила тяги указаннаго паровоза равна 11030 клгр., согласно приведенному выше расчету.

Скорость движенія, при которой можно бы использовать предѣльную силу тяги паровоза, получится пересѣченіемъ кривой, выражающей зависимость индикаторной мощности паровоза отъ скорости движенія (числа оборотовъ ведущихъ колесъ) съ прямою, выражающей зависимость означенной мощности отъ скорости V движенія поѣзда по формулѣ (83); полагая, что указанный выше паровозъ можетъ дать съ одного кв. метра поверхности нагрѣва $3{,}5HP$ при одномъ оборотѣ колесъ въ секунду, что соотвѣтствуетъ скорости движенія поѣзда $14{,}7\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ и $5HP$ при 3 оборотахъ въ секунду $(44\frac{\text{клм.}}{\text{час.}})$ и принимая, для простоты расчета, прямолинейную зависимость между мощностью и числомъ оборотовъ колесъ, найдемъ при $V = 18\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$

$$N_i = 3{,}6 \times 206 = 742HP,$$

а изъ уравненія (83) находимъ тоже:

$$V = \frac{270 \times 742}{11030} = \backsim 18\,\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$$

Расчитавъ скорость движенія поѣзда, не трудно опредѣлить составъ его изъ уравненія (82), въ которомъ, вслѣдствіе равномѣрной скорости движенія, $W_4 = 0$. Ввиду незначительной скорости движенія, можно воспользоваться формулою Клярка для расчета сопротивленія на прямомъ и горизонтальномъ пути. Обозначая число вагоновъ состава X, полнымъ вѣсомъ каждый 20 тон., можемъ написать нижеслѣдующее уравненіе, имѣя ввиду, что вѣсъ паровоза съ тендеромъ равенъ $76{,}5 + 52 = 128{,}5$ тон.

$$11030 = \left[\, 2{,}4 + 0{,}001 \times 18^2 + \frac{650}{640 - 55} + 8 \right] \left[\, 128{,}5 + 20X \,\right],$$

откуда $X = 40$ вагонамъ.

Зная составъ поѣзда, можно расчитать скорость его движенія на любомъ участкѣ пути; для этого выражаемъ Z_i по формулѣ (82) въ функціи отъ скорости V движенія поѣзда и сообразно съ техническими условіями профиля и плана даннаго участка (величины склона и радіуса кривой), а равно также выражаемъ N_i въ функціи отъ V, сообразно съ паропроизводительностью котла; подставляя указанныя величины Z_i и N_i въ формулу (83), получимъ уравненіе съ однимъ лишь неизвѣстнымъ V. Если выразить N_i въ функціи V затруднительно, то можно произвести расчетъ послѣдовательными приближеніями.

Опредѣлимъ, напримѣръ, наибольшую равномѣрную скорость движенія, съ которою поѣздъ указаннаго выше состава можетъ идти въ прямой по

подъему 0,005. Полный вѣсъ поѣзда $= 76{,}5 + 52 + 20 \times 40 = 928{,}5$ тон. При скорости движенія 31 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ находимъ полное сопротивленіе движенію поѣзда, а слѣдовательно и равную ему силу тяги:

$$Z_i = [2{,}4 + 0{,}001 \times 31^2 + 5]928{,}5 = 7762 \text{ клгр.}$$

При той же скорости движенія находимъ мощность паровоза:

$$N_i = 4{,}33 \times 206 = 892 \ HP,$$

а изъ уравненія (83) находимъ тоже:

$$V = \frac{270 \times 892}{7762} = \backsim 31 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$$

Расчетъ состава поѣзда былъ произведенъ выше, на основаніи силы тяги по работѣ пара въ паровыхъ цилиндрахъ, въ предположеніи, что касательная сила тяги по работѣ пара меньше силы тяги по сцѣпляющему вѣсу паровоза; въ противномъ случаѣ пришлось бы сдѣлать расчетъ величины состава поѣзда на основаніи силы тяги по сцѣпляющему вѣса паровоза.

Количество пара, а слѣдовательно и воды, расходуемыхъ паровозомъ, можетъ быть расчитано по индикаторной силѣ тяги, необходимой для передвиженія поѣзда по данному участку, опредѣляя среднее давленіе пара въ цилиндрахъ и зависящую отъ него степень наполненія цилиндровъ. Для предварительнаго расчета можно опредѣлить расходъ пара по работѣ паровоза, считая въ часъ, на одну паровую лошадь индикаторной работы паровоза, отъ 10 до 12 килограммовъ для паровозовъ однократнаго расширенія и отъ 8, 5 до 10 килограммовъ для паровозовъ компаундъ, работающихъ насыщеннымъ паромъ; низшіе предѣлы относятся къ среднимъ скоростямъ движенія $\left(50 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}\right)$, а высшіе предѣлы къ большимъ скоростямъ движенія $\left(85 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}\right)$; для паровозовъ, снабженныхъ перегрѣвателями, расходъ пара процентовъ на 20 менѣе (при t^0 перегрѣтаго пара около 300^0 С.).

Расходъ воды въ тендерѣ слѣдуетъ считать процентовъ на 20 болѣе расхода пара въ цилиндрахъ, вслѣдствіе потерь воды въ тендерѣ и потерь пара въ паровомъ котлѣ.

Расходъ топлива зависитъ въ значительной степени отъ его качества; одинъ килограммъ каменнаго угля Донецкаго бассейна, теплотворною способностью 7000 калорій, даетъ 6 килограммовъ насыщеннаго пара; одинъ килограммъ нефти (мазута), теплотворною способностью 11000 калорій, даетъ 10 килограммовъ насыщеннаго пара.

Въ случаѣ паровозовъ, работающихъ перегрѣтымъ паромъ, необходимо расходовать топливо также на перегрѣвъ пара; тѣмъ не менѣе, благодаря меньшему расходу послѣдняго, экономія топлива для паровозовъ съ перегрѣтымъ паромъ составляетъ около 15% сравнительно съ паровозами, работающими насыщеннымъ паромъ.

Изъ изложеннаго выше ясно, что мы можемъ написать уравненіе движенія поѣзда въ видѣ $Z = W$, гдѣ Z—сила тяги, а W—полное сопротивленіе движенію, включая сопротивленіе отъ ускоренія движенія. Уравненіемъ этимъ мы можемъ воспользоваться для расчета коэффиціентовъ въ формулахъ, опредѣляющихъ сопротивленіе движенію. При движеніи поѣзда по прямому пути, уравненіе движенія можетъ быть написано въ слѣдующемъ видѣ:

$$Z = \left(a + bv + cv^2 \pm i \pm 1{,}08\ \frac{p}{g}\right) P,$$

гдѣ P—вѣсъ поѣзда, v—скорость, а p—ускореніе движенія, g—ускореніе силы тяжести, i—уклонъ пути, Z—сила тяги, a, b, c—подлежащіе опредѣленію постоянные коэффиціенты въ формулѣ, выражающей сопротивленіе на прямомъ и горизонтальномъ пути. Для даннаго частнаго случая движенія поѣзда, величины P, i, v, p извѣстны, а слѣдовательно, если мы сумѣемъ опредѣлить силу тяги, то получимъ уравненіе для расчета коэффиціентовъ a, b, c съ тремя неизвѣстными; составляя три такихъ уравненія для трехъ различныхъ случаевъ движенія, получимъ необходимыя зависимости для расчета упомянутыхъ постоянныхъ коэффиціентовъ. Если движеніе происходитъ съ равномѣрною скоростью, то уравненіе движенія принимаетъ болѣе простой видъ:

$$Z = (a + bv + cv^2 \pm i)\, P.$$

Такимъ образомъ расчетъ коэффиціентовъ въ формулахъ, выражающихъ сопротивленіе движенію, сводится къ опредѣленію силы тяги для данныхъ условій движенія поѣзда. Для расчета коэффиціентовъ въ формулахъ, выражающихъ сопротивленіе движенію вагоновъ, можно опредѣлить силу тяги помощью динамометра; для опредѣленія же коэффиціентовъ, относящихся къ движенію паровоза и тендера, можно исходить изъ индикаторной силы тяги, расчитанной по индикаторной діаграммѣ, уменьшивъ таковую на сопротивленіе вагоновъ, опредѣленное помощью динамометра.

Можно также опредѣлить коэффиціенты, производя наблюденія надъ движеніемъ поѣздовъ по наклонному пути при закрытомъ регуляторѣ паровоза, когда $Z = o$; но въ этомъ случаѣ необходимо ввести поправку на дополнительное сопротивленіе машины паровоза отъ дѣйствія пара на парораспредѣлительные и движущіе механизмы.

Коэффиціенты въ формулахъ, выражающихъ дополнительное сопротивленіе отъ кривыхъ, могутъ быть опредѣлены изъ сравненія результатовъ наблюденій надъ движеніемъ поѣздовъ въ прямыхъ и кривыхъ частяхъ пути.

21. **Тормаженіе.** При движеніи поѣзда развивается живая сила, пропорціональная массѣ поѣзда и квадрату скорости движенія; подъ дѣйствіемъ означенной живой силы поѣздъ можетъ пройти значительное разстояніе, несмотря на то, что у паровоза закрытъ регуляторъ, особенно же если движеніе поѣзда происходитъ по наклонному внизъ пути; для своевременной остановки поѣзда необходимо произвести работу, поглощающую живую силу движущейся массы; работа эта производится силою тренія при тормаженіи.

Тормаженіе достигается нажатіемъ чугунныхъ тормазныхъ колодокъ на бандажи колесъ, вслѣдствіе чего затрудняется вращеніе колесъ и увеличивается сила тренія между рельсами и колесами; работа означенной силы тренія поглощаетъ работу силъ, движущихъ поѣздъ, вслѣдствіе чего движеніе поѣзда прекращается.

Величина силы тренія между рельсами и колесами зависитъ отъ силы нажатія тормазныхъ колодокъ; если колодки совсѣмъ не прижаты къ колесамъ, то сила тренія между рельсами и колесами соотвѣтствуетъ тренію при катаніи, если же колодки нажаты настолько, что колеса не вращаются вовсе, то сила тренія между рельсами и колесами соотвѣтствуетъ скользящему тренію. Съ увеличеніемъ нажатія тормазныхъ колодокъ увеличивается сила тренія между рельсами и колесами; однако означенная сила достигаетъ своей максимальной величины не съ наступленіемъ скольженія колесъ, а когда колеса еще продолжаютъ вращаться и скорость ихъ вращенія приближается къ нулю; съ наступленіемъ же скольженія колесъ сила тренія уменьшается. Сила тренія между колесомъ и рельсомъ равна произведенію изъ давленія колеса на коэффиціентъ тренія; въ моментъ, когда скорость вращенія затормаженнаго колеса приближается къ нулю, означенный коэффиціентъ тренія можно считать равнымъ 0,16 [1]) (коэффиціентъ тренія стали по стали); съ началомъ скольженія колесъ коэффиціентъ тренія становится меньше и величина его уменьшается съ увеличеніемъ скорости скольженія.

Если назовемъ P—силу нажатія тормазной колодки на колесо, f_1—коэффиціентъ тренія между колодкою и колесомъ, Q—давленіе колеса на рельсъ, f_2—коэффиціентъ тренія между колесомъ и рельсомъ, T– силу тренія между тормазною колодкою и колесомъ, а S—силу тренія между рельсомъ и колесомъ, то получимъ, очевидно:

$$T = f_1 P \qquad S = f_2 Q.$$

Если пренебречь вліяніемъ вращающихся массъ, при чемъ для условій желѣзнодорожнаго подвижного состава сдѣлаемъ очень незначительную погрѣшность, то можемъ положить: $T = S$, т.-е., при тормаженіи сила тренія между колесами и рельсами равна силѣ тренія между тормазными колодками и колесами. Однако отсюда не слѣдуетъ, что давленіе колодокъ на колеса равно давленію колесъ на рельсы, ибо коэффиціенты тренія въ томъ и другомъ случаѣ различны; изъ сказаннаго выше слѣдуетъ:

$$f_1 P = f_2 Q, \text{ откуда } P = \frac{f_2}{f_1} Q;$$

такъ какъ вообще $f_1 > f_2$, то $P < Q$.

Коэффиціентъ тренія f_2 между колесами и рельсами достигаетъ наибольшей величины, а именно около 0,16 въ моментъ, когда скорость вращенія колесъ приближается къ нулю, какъ это было сказано выше. Коэффиціентъ тренія f_1 между тормазными колодками и колесами также зависитъ отъ скорости скольженія колесъ по колодкамъ, а слѣдовательно отъ

[1]) Принимая во вниманіе влажность рельсовъ.

скорости движенія поѣзда. Обширные опыты, съ цѣлью опредѣлить коэффиціентъ тренія чугунныхъ тормазныхъ колодокъ по стальнымъ бандажамъ колесъ, были произведены въ Англіи Galton'омъ; опыты эти показали, что коэффиціентъ тренія между колодками и колесами уменьшается съ увеличеніемъ скорости скольженія. Результаты опытовъ Galton'a выражаются довольно точно слѣдующей формулою (Franke):

$$f_1 = 0{,}29e^{-\left(\frac{V}{90}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (84)$$

гдѣ e—основаніе натуральныхъ логарифмовъ (2,718), V—скорость движенія поѣзда километровъ въ часъ (при катаніи колесъ); при $V = o$ $f_1 = 0{,}29$, при $V = 90 \frac{\text{кил.}}{\text{час.}}$ $f_1 = 0{,}10$.

При тормаженіи сила тренія между колесами и рельсами равна, согласно изложенному выше, силѣ тренія между колодками и колесами; слѣдовательно, работу тормаженія можно расчитать по послѣдней силѣ, равной, въ свою очередь, произведенію изъ давленія тормазныхъ колодокъ на коэффиціентъ тренія. Однако коэффиціентъ тренія, зависящій отъ скорости движенія, измѣняется въ теченіе періода тормаженія; поэтому при расчетѣ необходимо взять нѣкоторый средній коэффиціентъ тренія, удовлетворяющій условію, чтобы опредѣленная по этому среднему коэффиціенту работа тренія на протяженіи всего участка равнялась суммѣ элементарныхъ работъ тренія на безконечно малыхъ участкахъ, расчитанныхъ по коэффиціентамъ тренія, отвѣчающимъ скорости движенія по отдѣльнымъ участкамъ.

Положимъ, поѣздъ былъ остановленъ тормаженіемъ, начавшимся при скорости движенія поѣзда $V = V_0$; отложимъ на оси абсциссъ величины V отъ $V = 0$, до $V = V_0$, а по оси ординатъ коэффиціенты тренія, опредѣляемые формулою (84); площадь, заключенная между полученною такимъ образомъ кривою, осями координатъ и ординатою, соотвѣтствующею $V = V_0$, равна, очевидно:

$$0{,}29\int_0^{V_0} e^{-\left(\frac{V}{90}\right)} dV,$$

а средній коэффиціентъ тренія:

$$f_0 = \frac{0{,}29}{V_0}\int_0^{V_0} e^{-\left(\frac{V}{90}\right)} dV = \frac{0{,}29}{V_0} \times 90\left[1 - e^{-\left(\frac{V_0}{90}\right)}\right]$$

Раскладывая $e^{-\left(\frac{V_0}{90}\right)}$ въ рядъ и ограничиваясь тремя членами получимъ:

$$e^{-\left(\frac{V_0}{90}\right)} = 1 - \frac{V_0}{90} + \frac{V_0^2}{90^2 \times 2},$$

а слѣдовательно:

$$f_0 = 0{,}0016\ (180 - V_0) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (85).$$

Если, напримѣръ, тормаженіе началось при скорости движенія поѣзда $V_0 = 60 \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, то средняя величина коэффиціента тренія между колодками и колесами за время отъ начала тормаженія, до остановки поѣзда составитъ: $f_0 = 0{,}0016 \times 120 = 0{,}192$.

Наибольшая сила тормаженія получается тогда, когда скорость вращенія колесъ приближается къ нулю; въ этомъ случаѣ коэффиціентъ тренія между рельсами и колесами $f_2 = 0{,}16$; для того, чтобы вызвать упомянутое полное затормаживаніе, необходимо нажать тормазныя колодки съ такою силою, чтобы сила тренія между колодками и колесами равнялась бы $0{,}16Q$, если Q—вѣсъ затормаживаемаго экипажа; какъ меньшее, такъ и большее нажатіе тормазныхъ колодокъ, вызывающее меньшую или большую силу тренія между колодками и колесами, сравнительно съ указанною величиною, будетъ имѣть слѣдствіемъ уменьшеніе эффекта тормаженія. Коэффиціентъ тренія между колодками и колесами зависитъ отъ скорости движенія поѣзда; поэтому для достиженія полнаго затормаживанія, сила нажатія тормазныхъ колодокъ должна измѣняться въ зависимости отъ скорости движенія.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что наилучшей системою тормазовъ была бы такая система, при которой затормаженныя колеса катились бы, а вмѣстѣ съ тѣмъ были бы готовы въ каждый моментъ начать скольженіе; для этого сила нажатія тормазныхъ колодокъ должна бы уменьшаться съ уменьшеніемъ скорости движенія, ибо коэффиціентъ тренія увеличивается съ уменьшеніемъ сказанной скорости.

Въ существующихъ системахъ тормазовъ нажатіе тормазныхъ колодокъ вообще не измѣняется съ измѣненіемъ скорости движенія; для расчета нажатія тормазныхъ колодокъ, соотвѣтствующаго полному затормаживанію, можно исходить изъ средней величины коэффиціента тренія между колодками и колесами. Если Q — вѣсъ экипажа, P_0 — сила нажатія тормазныхъ колодокъ, V_0 — начальная скорость тормаженія, то условіе полнаго затормаживанія можно написать въ видѣ:

$$0{,}16\, Q = f_0\, P_0 = 0{,}0016\, (180 - V_0)\, P_0,$$

откуда

$$P_0 = \frac{100\, Q}{180 - V_0}.$$

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что сила нажатія тормазныхъ колодокъ должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше допускаемая скорость движенія поѣзда; поэтому означенная сила должна быть больше для пассажирскихъ, чѣмъ для товарныхъ поѣздовъ.

Положимъ, что нормальный крытый товарный вагонъ русскихъ жел. дор., тара коего 7,6 тон., вѣситъ въ груженомъ состояніи 15 тон.; спрашивается, какая должна быть сила нажатія тормазныхъ колодокъ для полнаго затормаживанія при начальной скорости движенія 40 $\frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$

По формулѣ (86) получимъ:

$$P_o = \frac{100 \times 15}{180 - 40} = 10 \text{ тон.}, \text{ что составитъ } \frac{100 \times 10}{15} = 67\% \text{ отъ вѣса}$$

груженнаго и $\frac{100 \times 10}{7{,}6} = 132\%$ отъ вѣса порожняго вагона; нажатіе тормозной колодки на каждое колесо вагона должно быть равно $\frac{10}{4} = 2{,}5$ тон.

На практикѣ сила нажатія тормазныхъ колодокъ у ручныхъ тормазовъ товарныхъ вагоновъ обыкновенно достигаетъ 90% вѣса порожняго вагона; у автоматическихъ тормазовъ нажатіе колодокъ достигаетъ для пассажирскихъ вагоновъ 90% вѣса порожняго вагона, для тендеровъ 80% вѣса тендера при половинномъ объемѣ запаса воды и топлива, а для паровозовъ 60% отъ давленія тормазныхъ осей. Вѣсъ груженнаго пассажирскаго вагона немногимъ превосходитъ вѣсъ порожняго вагона, поэтому, при указанныхъ нормахъ нажатія колодокъ, возможно полное затормаживаніе пассажирскаго вагона даже при большихъ скоростяхъ движенія; полное же затормаживаніе сильно нагруженнаго товарнаго вагона, снабженнаго ручнымъ тормазомъ, затруднительно.

Изъ изложеннаго понятно, что при тормаженіи вагона не всегда можно достичь того тормазного эффекта, который отвѣчалъ бы вѣсу вагона, ибо для этого нажатіе тормазныхъ колодокъ можетъ оказаться недостаточнымъ; если P — сила нажатія тормазныхъ колодокъ, то въ расчетъ полнаго тормаженія можетъ быть введенъ вѣсъ вагона не болѣе $\frac{f_o P}{0{,}16}$. При приблизительныхъ расчетахъ тормазныхъ усилій, исходятъ часто не изъ силы нажатія тормазныхъ колодокъ, а изъ вѣса затормаженныхъ вагоновъ; однако, въ такомъ случаѣ необходимо вводить въ расчетъ не дѣйствительный вѣсъ вагона, а тормазной его вѣсъ. Тормазнымъ вѣсомъ вагона называется такой вѣсъ, который при полномъ тормаженіи даетъ такой же тормазной эффектъ, какъ и данный, не полно затормаженный вагонъ. Если Q — дѣйствительный полный, а G — тормазной вѣсъ вагона, то очевидно:

$$G = Q \text{ если } Q < \frac{f_o P}{0{,}16}$$

$$G = \frac{f_o P}{0{,}16} \text{ если } Q > \frac{f_o P}{0{,}16};$$

первый случай имѣетъ мѣсто для порожнихъ и слабо нагруженныхъ товарныхъ вагоновъ, второй случай—для сильно нагруженныхъ товарныхъ вагоновъ.

Опредѣлимъ разстояніе, на протяженіи коего можетъ быть остановленъ поѣздъ при данныхъ средствахъ тормаженія, скорости движенія и профилѣ пути.

Если скорость движенія поѣзда въ моментъ начала тормаженія $v_o \frac{\text{м.}}{\text{сек.}}$, то живая сила поѣзда, подлежащая поглощенію работою тормаженія, равна:

$1,08\ \frac{Qv_0^2}{2g}$ гдѣ Q — вѣсъ поѣзда, g — ускореніе силы тяжести, а 1,08 коэффиціентъ, выражающій вліяніе вращающихся массъ; обозначая скорость движенія поѣзда $V_0\ \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, получимъ $v_0 = \frac{V_0}{3,6}$, а живая сила движущагося поѣзда опредѣлится выраженіемъ (въ килограммометрахъ):

$$1000 \times 1,08\ \frac{QV_0^2}{2 \times 9,81 \times 3,6^2} = 4,2\ QV_0^2 \quad . \quad . \quad . \quad (86)$$

гдѣ Q — вѣсъ поѣзда въ тоннахъ.

Часть живой силы движущагося поѣзда расходуется на преодолѣніе сопротивленій движенію. Сопротивленіе при движеніи на прямомъ и горизонтальномъ пути выражается въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда формулою (Клярка:)
$W_1 = 2,4 + 0,001 V^2$; средняя величина сопротивленія, при движеніи со скоростью отъ $V = V_0$ до $V = 0$, опредѣлится выраженіемъ:

$$W_0 = \frac{1}{V_0} \int_0^{V_0} (2,4 + 0,001\ V^2)\ dV = 2,4 + 0,00033\ V_0^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (87).$$

Средняя величина S силы тренія между рельсами и колесами при тормаженіи равна, согласно изложенному выше:
$S = f_0\ P = 1,6\ (180 - V_0)\ P$, гдѣ S выражено въ килограммахъ, а P въ тоннахъ.

Пусть поѣздъ общимъ вѣсомъ Q тоннъ движется по кривой радіуса R м. и склону i со скоростью $V_0\ \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$, требуется опредѣлить разстояніе l м., на протяженіи коего можно остановить поѣздъ, если сила нажатія тормазныхъ колодокъ P тоннъ. Приравнивая живую силу движущагося поѣзда работѣ сопротивляющихся движенію силъ, получимъ:

$$4,2\ Q\ V_0^2 = \left[1,6\ (180 - V_0)\ P + (2,4 + 0,00033\ V_0^2 + \frac{650}{R - 55} \pm i)\ Q\right] l$$

$$l = \frac{4,2\ Q\ V_0^2}{1,6\ (180 - V_0)\ P + (2,4 + 0,00033\ V_0^2 + \frac{650}{R - 55} \pm i)\ Q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (88)$$

Расчитаемъ, для примѣра, разстояніе, на протяженіи коего можетъ быть остановленъ товарный поѣздъ, идущій со скоростью $40\ \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$ по прямому пути, проложенному по уклону 0,008, въ составѣ 40 груженыхъ, крытыхъ вагоновъ, вѣсомъ по 20 тон. каждый, четырехостнаго тендера, полнымъ вѣсомъ 52 тон. и пятиоснаго паровоза, вѣсомъ 76,5 тон., если тормазится тендеръ и 6 вагоновъ, при чемъ сила нажатія тормазныхъ колодокъ тендера составляетъ 80% отъ его вѣса съ половиннымъ запасомъ воды и топлива, т.-е. $0,8 \times 42 = \backsim 34$ тон., а сила нажатія колодокъ вагона составляетъ 90% отъ тары вагона, т.-е. $0,9 \times 7,6 = \backsim 7$ тон.

Для даннаго случая имѣемъ: $Q = 40 \times 20 + 52 + 76{,}5 = \sim 930$ тон.

$$P = 34 + 6 \times 7 = 76 \text{ тон.}$$

$$l = \frac{4.2 \times 930 \times 40^2}{1{,}6\ (180-40)\ 76 + (2{,}4 + 0{,}00033 \times 40^2 - 8)\ 930} = 509 \text{ м.}$$

При выводѣ формулы (88) было предположено, что вѣсъ затормаженнаго вагона достаточенъ для возможности использовать всю силу давленія тормазныхъ колодокъ; въ противномъ случаѣ необходимо ввести въ величину P надлежащую поправку.

Длина тормаженія, опредѣляемая по формулѣ (88), представляетъ протяженіе, проходимое поѣздомъ съ момента начала тормаженія, до остановки поѣзда; однако, при ручныхъ тормазахъ, существенное значеніе имѣетъ еще промежутокъ времени, протекающій съ момента подачи сигнала остановки поѣзда, до начала тормаженія, въ теченіе коего поѣздъ идетъ полнымъ ходомъ. Въ Германіи промежутокъ этотъ считаютъ равнымъ около 5 секундъ, причемъ разстояніе, проходимое за это время поѣздомъ, составляетъ въ метрахъ 1,5 V, если V—скорость поѣзда километровъ въ часъ; для климатическихъ условій Россіи разстояніе это надо считать вдвое больше.

Если назовемъ L разстояніе, проходимое поѣздомъ отъ момента подачи сигнала, до остановки поѣзда, то оно опредѣлится выраженіемъ:

$L = l + 3\ V$, гдѣ l — по формулѣ (88).

Для приведеннаго выше частнаго случая, получимъ:

$L = 509 + 3 \times 40 = 629$ м.

Количество обслуживаемыхъ тормазовъ въ поѣздѣ назначается въ зависимости отъ наибольшей допускаемой скорости движенія и профиля пути такимъ образомъ, чтобы поѣздъ могъ быть остановленъ на заданномъ протяженіи.

Въ Германіи требуется, чтобы поѣздъ могъ быть остановленъ на протяженіи не болѣе 650 м., считая отъ момента подачи сигнала, до остановки поѣзда.

По дѣйствующимъ въ Россіи правиламъ технической эксплоатаціи на желѣзныхъ дорогахъ, открытыхъ для общаго пользованія, количество обслуживаемыхъ тормазовъ въ поѣздѣ опредѣляется въ зависимости отъ наибольшаго уклона дороги и наибольшей допускаемой скорости движенія поѣзда по нормамъ, указаннымъ въ таблицѣ № 7; тормазныя оси тендера въ расчетъ не вводятся, а если паровозъ снабженъ тормазомъ, то для уклоновъ 0,005 и свыше, каждая тормазная ось паровоза считается за одну тормазную груженную ось вагона; три порожнихъ тормазныхъ вагона могутъ быть засчитаны за два груженныхъ; поѣзда, наибольшая скорость коихъ превосходитъ 55 верстъ въ часъ, должны быть снабжены непрерывными тормазами, приводимыми въ дѣйствіе съ паровоза.

Таблица № 7.

Число груженыхъ тормазныхъ вагонныхъ осей въ процентномъ отношеніи отъ общаго числа груженыхъ вагонныхъ осей всего поѣзда.

Скорость движен я верстъ въ часъ. / Наибольшій уклонъ въ тысячныхъ.	до 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
до 2	6	6	9	13	18	24	29	34	39	44
5	6	9	12	16	21	27	32	37	42	47
6	7	10	13	17	22	28	33	38	43	48
8	9	12	15	19	24	30	35	40	45	50
10	11	14	17	21	26	32	37	42	47	52
12	13	16	19	23	28	34	40	46	52	60
15	16	19	22	26	30	36	43	50	56	65

ГЛАВА V.

Мѣры, принимаемыя съ цѣлью облегчить движеніе поѣздовъ въ кривыхъ частяхъ пути.

22. **Мѣры, принимаемыя при конструкціи подвижного состава.** Возрастаніе вѣса и длины базъ подвижного состава, а также скорости движенія поѣздовъ, проявляющіяся съ особенною, за послѣднее время, силою, заставило обратить надлежащее вниманіе какъ на конструкцію подвижного состава, такъ и на устройство рельсовой колеи, съ цѣлью улучшить, по возможности, условія движенія поѣздовъ въ кривыхъ частяхъ пути.

Однимъ изъ средствъ, помощью котораго старались облегчить вписываніе экипажа въ кривую, является коничность бандажей; предполагали, что ось, съ наглухо насаженными колесами, имѣющими коническіе бандажи, будетъ двигаться въ кривой безъ продольнаго скольженія колесъ, ибо она займетъ положеніе, при которомъ радіусы круговъ катанія будутъ пропорціональны радіусамъ наружной и внутренней рельсовыхъ нитокъ колеи. Однако болѣе подробное разсмотрѣніе особенностей вписыванія желѣзнодорожнаго, подвижного состава въ кривыя (§§ 13—15) показываетъ, что отъ коничности бандажей условія движенія поѣздовъ въ кривыхъ не улучшаются, а скорѣе ухудшаются.

Дѣйствительно, при коничныхъ бандажахъ задній скатъ экипажа въ большинствѣ случаевъ устанавливается въ кривой такимъ образомъ, что радіусъ круга катанія у внутренняго колеса будетъ больше того же радіуса у наружнаго колеса, т.-е. на дѣлѣ получается какъ разъ обратное тому, къ чему стремились; что же касается колесъ передняго ската, то радіусъ круга катанія наружнаго колеса возрастаетъ отъ набѣга его гребня на рельсъ на столь значительную, относительно, величину, что наружное колесо передняго ската скользитъ въ сторону, обратную общему направленію движенія экипажа уже въ кривыхъ весьма крутыхъ радіусовъ и слѣдовательно, отъ коничности бандажей увеличивается скорость продольнаго скольженія колесъ передняго ската; поэтому, въ отношеніи движенія въ кривыхъ, цилиндрическіе бандажи предпочтительнѣе передъ коническими.

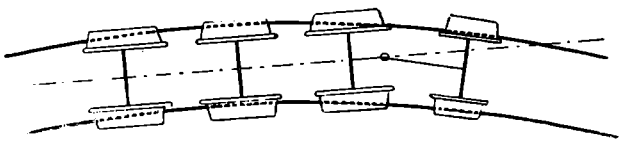
Существенное улучшеніе въ условіяхъ прохожденія вагоновъ по кривымъ частямъ пути достигнуто примѣненіемъ подвижныхъ осей, конструкція коихъ и передвиженія, при вписываніи вагона въ кривую, описаны были выше (§ 9); отъ примѣненія подвижныхъ осей достигается значительное уменьшеніе дополнительнаго сопротивленія движенію въ кривыхъ.

У трехосныхъ вагоновъ съ длинною жесткою базою средней оси дается возможность значительнаго перемѣщенія по направленію, перпендикулярному къ продольной оси вагона, во избѣжаніе выпиранія внутренняго рельса кривой; по той же причинѣ, у паровозовъ со многими спаренными осями бандажи среднихъ осей дѣлаются съ болѣе тонкими гребнями или совсѣмъ безъ оныхъ.

Особенное вниманіе обращено въ послѣднее время на условія вписыванія въ кривыя быстроходныхъ паровозовъ. Выше, при разсмотрѣніи пертубаціи въ движеніи паровоза, причиняемыхъ неуравновѣшенными массами его механизма (§ 12), было обращено вниманіе на возможность значительной разгрузки движущихъ колесъ паровоза; подобная разгрузка могла бы быть причиною схода паровоза съ рельсъ, если бы случилась у наружнаго колеса передней оси при движеніи въ кривой; поэтому передняя ось у быстроходныхъ паровозовъ всегда дѣлается вольною, а не спаренною; кромѣ того, передняя ось паровоза должна въ кривой принимать, по возможности радіальное положеніе, для облегченія поворотовъ паровоза около вертикальной оси при криволинейномъ его движеніи.

Если у паровоза имѣется одна передняя вольная ось, то она устраивается въ видѣ радіально устанавливающагося бѣгунка (Adams), въ видѣ одноосной телѣжки (Bissel), или же соединяется въ телѣжку съ передней спаренною осью (Krauss-Helmholtz).

Чер. 67.

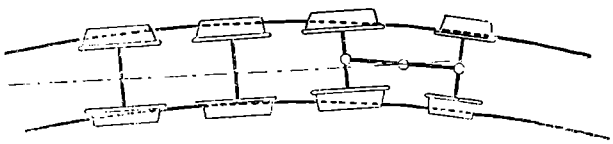


Радіально устанавливающійся бѣгунокъ, по системѣ Adams'a, имѣетъ буксы съ клиновидными поверхностями, укрѣпленныя въ главной рамѣ паровоза (чер. 35), благодаря чему онъ можетъ принимать въ кривой радіальное положеніе, при чемъ перемѣщенія его происходятъ такимъ образомъ, какъ будто бѣгунокъ вращается около связанной съ нимъ вертикальной оси, лежащей позади бѣгунка на продольной оси паровоза (чер. 67); возвратъ бѣгунка въ среднее положеніе происходитъ подъ дѣйствіемъ пружины или подъ давленіемъ рамы паровоза, взбирающейся на наклонную плоскость при боковыхъ перемѣщеніяхъ бѣгунка.

Одноосная телѣжка по системѣ Bissel'a состоитъ изъ рамки, заключающей вольную ось и соединенной помощью возжи со шкворнемъ, укрѣпленнымъ въ главной рамѣ паровоза; перемѣщенія вольной оси при проходѣ паровоза по кривой происходятъ также, какъ въ указанномъ выше случаѣ радіальнаго бѣгунка (чер. 67); передача давленія отъ главной рамы паровоза на рамку вольной оси устраивается, обыкновенно, помощью втулки, укрѣпленной въ главной рамѣ и упирающейся въ пятникъ люльки, укрѣпленной въ рамкѣ телѣжки; при боковыхъ перемѣщеніяхъ телѣжки, подвѣски люльки принимаютъ такое положеніе, при которомъ углы ихъ наклона къ вертикали неодинаковы, вслѣдствіе чего является сила, стремящаяся привести телѣжку въ среднее ея положеніе.

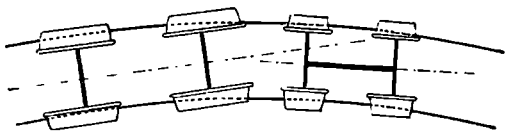
Тележка по системѣ Krauss-Helmholtz состоитъ изъ вольной оси, вращающейся около шкворня, укрѣпленнаго въ главной рамѣ паровоза; вожжа вольнаго ската продолжена далѣе оси вращенія и захватываетъ за слѣдующій скатъ (передній спаренный), которому дана возможность боковыхъ перемѣщеній (чер. 68); паровозы съ телѣжками Krauss-Helmholtz оказались на практикѣ весьма удобными для движенія по кривымъ малыхъ радіусовъ.

Чер. 68.



Пассажирскіе паровозы въ послѣднее время очень часто устраиваются съ двумя передними вольными скатами, соединенными въ общую телѣжку, называемою американскою телѣжкою, такъ какъ конструкція эта была впервые примѣнена въ Америкѣ (чер. 69). Телѣжка, устройство коей было уже описано выше (§ 9), имѣетъ ось вращенія, расположенную по серединѣ между скатами; ось эта обыкновенно устраивается въ видѣ люльки, поддерживающей главную раму паровоза, вслѣдствіе чего возможны боковыя перемѣщенія телѣжки при движеніи паровоза по кривой, а также обезпечено возвращеніе телѣжки въ среднее ея положеніе послѣ вступленія паровоза на прямую.

Чер. 69.



Для товарныхъ паровозовъ, со многими спаренными осями, предназначенныхъ для движенія на дорогахъ съ крутыми кривыми, приходится принимать особыя мѣры, съ цѣлью предупредить выпираніе внутренняго рельса кривой. Одной изъ лучшихъ системъ для указанныхъ паровозовъ является система Mallet-Rimrott (чер. 16). По этой системѣ паровозъ имѣетъ главную раму, поддерживающую котелъ и опирающуюся съ одной стороны непосредственно на заднія движущія оси, а съ другой стороны на вспомогательную раму, заключающую переднія движущія оси; вспомогательная рама, съ поддерживающими ее передними движущими скатами, можетъ вращаться около вертикальной оси, укрѣпленной въ главной рамѣ паровоза; каждая система движущихъ осей (передняя и задняя) имѣетъ самостоятельные паровые цилиндры и особый механизмъ движенія.

23. **Переходныя кривыя.** Кривыя желѣзнодорожнаго пути должны имѣть очертаніе, отвѣчающее требованіямъ плавнаго движенія поѣздовъ какъ въ предѣлахъ кривой, такъ и въ мѣстѣ соприкасанія съ нею прилегающаго участка прямого пути; кромѣ того, практическія требованія устройства и содержанія пути заставляютъ, при выборѣ очертанія желѣзнодорожныхъ кривыхъ, обращать серьезнѣйшее вниманіе на вопросъ о простотѣ разбивки

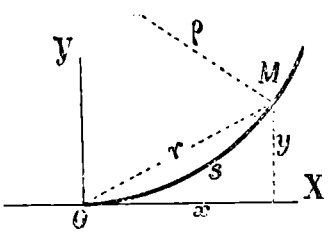
кривой въ планѣ, а также легкости расчета относительнаго возвышенія наружнаго рельса и уширенія колеи въ любой ея точкѣ, о чемъ сказано ниже.

Для плавности движенія состава въ кривой необходимо, чтобы радіусъ ея кривизны измѣнялся постепенно, а слѣдовательно, въ точкѣ касанія прямой съ кривой радіусъ кривизны послѣдней долженъ равняться безконечности и далѣе онъ долженъ уменьшаться постепенно до требуемаго предѣла; расчетъ относительнаго повышенія наружнаго рельса и уширенія колеи, зависящихъ отъ радіуса кривизны, не представитъ затрудненій, если возможно будетъ для любой точки кривой выразить ея радіусъ кривизны въ простой зависимости отъ какихъ-нибудь элементовъ, опредѣляющихъ положеніе указанной точки, напримѣръ, въ зависимости отъ разстоянія данной точки до другой постоянной точки, измѣряемаго по дугѣ кривой, или по хордѣ, или, наконецъ, по одной изъ координатныхъ осей.

Указаннымъ выше условіямъ не могутъ, очевидно, удовлетворять алгебраическія линіи 2-го порядка, почему рѣшенія вопроса слѣдуетъ искать въ примѣненіи трансцендентныхъ кривыхъ или же алгебраическихъ кривыхъ порядка выше 2-го.

Простѣйшая зависимость между радіусомъ кривизны данной точки и элементами, опредѣляющими ея положеніе на кривой, при условіи удовлетворенія поставленнымъ выше требованіямъ, выразится въ видѣ обратной пропорціональности радіуса кривизны къ разстоянію, отсчитываемому отъ данной точки по дугѣ, хордѣ или координатной оси до другой постоянной точки, совпадающей съ точкою касанія прямолинейнаго и криволинейнаго участковъ.

Чер. 70.



Пусть O—точка касанія кривой съ прямолинейнымъ участкомъ, совпадающимъ съ направленіемъ оси X-овъ, ρ — радіусъ кривизны въ любой точкѣ M кривой (чер. 70), тогда, очевидно, каждая изъ линій, выражаемыхъ уравненіями:

$$\rho = \frac{C}{x}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (89) \qquad \rho = \frac{C}{r}. \quad . \quad . \quad (90) \qquad \rho = \frac{C}{s}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (91).$$

гдѣ C—постоянная величина—будетъ удовлетворять поставленнымъ выше условіямъ для желѣзнодорожныхъ кривыхъ (x—абсцисса точки M, r—длина хорды OM, s—длина дуги OM, O—начало прямоугольной координатной системы).

Дифференціальное уравненіе кривой (89) имѣетъ, очевидно, видъ:

$$\frac{\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{3/2}}{\frac{d^2y}{dx^2}} = \frac{C}{x} \quad \text{или} \quad \frac{d^2y}{dx}\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{-3/2} = \frac{x\,dx}{C}$$

Интегрируя и замѣчая, что при $x=0$, также $\frac{dy}{dx}=0$, находимъ:

$\frac{dy}{dx}\left[1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2\right]^{-1/2}=\frac{x^2}{2C}$, рѣшая относительно $\frac{dy}{dx}$, получимъ:

$$\frac{dy}{dx}=\frac{x^2}{2C}\left(1-\frac{x^4}{4C^2}\right)^{-1/2}$$

Интегрируя и принимая во вниманіе, что при $x=0$, также $y=0$, находимъ:

$$y=\int\frac{x^2}{2C}\left(1-\frac{x^4}{4C^2}\right)^{-1/2}dx$$

Выразивъ двучленную ирраціональность подъ интегральнымъ знакомъ помощью безконечнаго ряда и, выполнивъ интегрированіе, получимъ:

$$y=\frac{x^3}{6C}\left(1+\frac{3x^4}{2.7.4C^2}+\frac{3.3x^8}{2.4.11(4C^2)^2}+\right)$$

Рядъ этотъ будетъ сходящимся, если $\frac{x^4}{4C^2}<1$.

Для незначительныхъ, сравнительно съ C, величинъ x, можно ограничиться первымъ членомъ ряда, и тогда искомое уравненіе кривой приметъ видъ уравненія кубической параболы $y=\frac{x^3}{6C}$ . . (92)

Изъ сказаннаго выше слѣдуетъ, что кубическая парабола удовлетворяетъ въ достаточно точной степени условію обратной пропорціональности радіуса кривизны абсциссамъ, для сравнительно незначительныхъ лишь только величинъ послѣднихъ. При $x=0$ радіусъ кривизны кубической параболы равенъ безконечности; съ увеличеніемъ x радіусъ кривизны уменьшается, но до извѣстнаго лишь только предѣла, послѣ чего начинаетъ опять возрастать вмѣстѣ съ абсциссою до безконечности. Поэтому предѣлы примѣненія кубической параболы для желѣзнодорожныхъ кривыхъ ограничены.

Кривая, удовлетворяющая условію (90), представляетъ лемнискату Бернулли; не вдаваясь въ подробности изслѣдованія свойствъ лемнискаты, не получившей примѣненія при трассировкѣ желѣзнодорожныхъ кривыхъ, выведемъ уравненіе и опредѣлимъ свойства кривой, удовлетворяющей формулѣ (91), то-есть условію обратной пропорціональности радіуса кривизны къ длинѣ дуги кривой.

Отнесемъ кривую къ прямоугольной системѣ координатъ съ началомъ O въ точкѣ касанія съ кривою прямолинейнаго участка, совпадающаго съ направленіемъ оси X-овъ (чер. 71); примемъ за независимую перемѣнную уголъ φ, составляемый касательною къ кривой въ данной точкѣ съ осью X-овъ и выразимъ въ функціи отъ φ элементы, опредѣляющіе кривую.

Зависимость между радіусомъ кривизны любой точки M кривой—длиною ея дуги s и угломъ φ опредѣляется формулою:

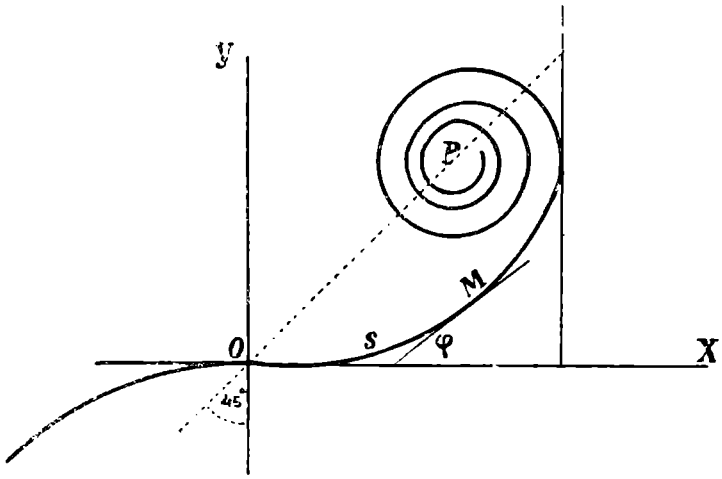
$$\rho = \frac{ds}{d\varphi}; \text{ по условію: } \rho = \frac{C}{s}, \text{ откуда:}$$

$$sds = Cd\varphi$$

Интегрируя и замѣчая, что при $\varphi = 0$, также и $s = 0$, получимъ искомое уравненіе кривой въ видѣ:

$$s^2 = 2\,C\varphi \text{ или } s = \sqrt{2C\varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (93)$$

Чер. 71.



Для опредѣленія прямоугольныхъ координатъ кривой, воспользуемся проекціями дифференціала дуги на координатныя оси:

$$dx = ds\cos\varphi = \frac{\sqrt{2C}\cos\varphi}{2\sqrt{\varphi}}\,d\varphi$$

$$dy = ds\,\sin\varphi = \frac{\sqrt{2C}\sin\varphi}{2\sqrt{\varphi}}\,d\varphi$$

Интегрируя и замѣчая, что при $\varphi = 0$, также $x = 0$ и $y = 0$, получимъ.

$$x = \frac{\sqrt{2C}}{2}\int_0^{\varphi}\frac{\cos\varphi}{\sqrt{\varphi}}\,d\varphi, \quad y = \frac{\sqrt{2C}}{2}\int_0^{\varphi}\frac{\sin\varphi}{\sqrt{\varphi}}\,d\varphi \quad . \quad . \quad . \quad (94)$$

Если бы возможно было выразить указанные интегралы въ конечномъ видѣ, то, исключивъ изъ полученныхъ такимъ образомъ двухъ уравненій произвольную перемѣнную φ, мы получили бы уравненіе кривой въ прямоугольныхъ координатахъ.

Дабы получить формулы для вычисленія координатъ x и y, разложимъ *cosinus* и *sinus* по формулѣ Маклорена, послѣ чего интегрированіе станетъ возможнымъ и прямоугольныя координаты выразятся черезъ произвольную перемѣнную φ помощью безконечныхъ рядовъ, расположенныхъ по степеніяхъ φ.

$$x = \frac{\sqrt{2C}}{2}\int_0^{\varphi}\left(\varphi^{-\frac{1}{2}} - \frac{\varphi^{3/2}}{2!} + \frac{\varphi^{7/2}}{4!} - \frac{\varphi^{11/2}}{6!} \cdots\cdots\cdots\cdots\right)d\varphi$$

$$y = \frac{\sqrt{2C}}{2}\int_0^{\varphi}\left(\varphi^{\frac{1}{2}} - \frac{\varphi^{5/2}}{3!} - \frac{\varphi^{9/2}}{5!} - \frac{\varphi^{13/2}}{7!} \cdots\cdots\cdots\cdots\right)d\varphi$$

$$x = \sqrt{2C}\,\sqrt{\varphi}\left(1 - \frac{\varphi^2}{5.2!} + \frac{\varphi^4}{9.4!} - \frac{\varphi^6}{13.6!} \cdots + \frac{\varphi^{4n}}{(8n+1)\,4n!} - \right.$$
$$\left. - \frac{\varphi^{(4n+2)}}{(8n+5)\,(4n+2)!} \cdots\cdots\right) \cdots\cdots\cdots \quad (95)$$

$$y = \sqrt{2C}\,\varphi\,\sqrt{\varphi}\left(\frac{1}{3} - \frac{\varphi^2}{7.3!} + \frac{\varphi^4}{11.5!} - \frac{\varphi^6}{15.7!} \cdots + \frac{\varphi^{4n}}{(8n+3)\,(4n+1)!} - \right.$$
$$\left. - \frac{\varphi^{(4n+2)}}{(8n+7)\,(4n+3)!} \cdots\right) \cdots\cdots \quad (96)$$

Ряды (95) и (96)—сходящіеся для тѣхъ значеній угла φ, которыя могутъ встрѣтиться на практикѣ, и сходимость ихъ весьма быстрая, такъ что ряды эти вполнѣ удобны для практическихъ расчетовъ.

На основаніи свойства кривой (91) и уравненій (93)—(96), возможно выяснить очертаніе кривой.

Въ центрѣ кривой O (началѣ координатъ), гдѣ $\varphi=0$, кривая касательна къ оси X-овъ и радіусъ ея кривизны равный

$$\rho = \frac{C}{s} = \sqrt{\frac{C}{2\varphi}} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (97)$$

обращается въ безконечность.

Съ увеличеніемъ угла φ радіусъ кривизны уменьшается, а прямоугольныя координаты x и y возрастаютъ. Для $\varphi = \frac{\pi}{2}$, то-есть для точки кривой, въ коей касательная параллельна оси ординатъ, абсцисса кривой достигаетъ наибольшаго значенія; при дальнѣйшемъ увеличеніи угла φ отъ $\frac{\pi}{2}$ до π, абсцисса убываетъ, а ордината возрастаетъ, достигая наибольшаго значенія для $\varphi=\pi$, то-есть для точки кривой, въ коей касательная параллельна оси абсциссъ; при дальнѣйшемъ увеличеніи φ отъ π до $\frac{3\pi}{2}$, обѣ координаты уменьшаются, послѣ чего абсцисса возрастаетъ, а ордината продолжаетъ убывать, пока кривая не сдѣлаетъ полнаго оборота, то-есть уголъ φ достигнетъ величины 2π; при слѣдующихъ оборотахъ кривой поря-

докъ измѣненія координатъ, очевидно, такой же, какъ и при первомъ оборотѣ, при чемъ, благодаря непрерывному уменьшенію радіуса кривизны пропорціонально увеличенію длины дуги кривой, каждое изъ колецъ послѣдующихъ оборотовъ кривой помѣщается, очевидно, внутри колецъ предыдущихъ оборотовъ, т.-е. кривая имѣетъ видъ спирали, дѣлающей безконечное число оборотовъ около нѣкоторой точки P и достигающей ея при $\varphi = \infty$.

Спираль эту, въ отличіе отъ другихъ спиралей, можно назвать радіоидальной, какъ принадлежащую къ числу радіоидъ, то-есть кривыхъ, радіусъ кривизны коихъ измѣняется въ отношеніи, обратномъ разстояніямъ.

Такъ какъ въ спирали радіусъ кривизны постепенно уменьшается отъ безконечности до нуля, то примѣненіе ея для желѣзнодорожныхъ кривыхъ не ограничено тѣми соображеніями, которыя были указаны выше, касательно кубической параболы.

Постоянная C въ уравненіи (93) спирали можетъ быть опредѣлена изъ условія, что при $\varphi = \alpha$ $\rho = R$, или при $\varphi = \alpha$ $s = l$ или, наконецъ, при $s = l$ $\rho = R$; производя необходимыя подстановки, находимъ:

$$\varphi = \alpha \quad \rho = R; \quad s = \frac{C}{R} = \sqrt{2C\alpha} \quad C = 2R^2\alpha \quad s = 2R\sqrt{\alpha\varphi}. \tag{98}$$

$$\varphi = \alpha \quad s = l; \quad l = \sqrt{2C\alpha} \quad C = \frac{l^2}{2\alpha} \quad s = l\sqrt{\frac{\varphi}{\alpha}}. \tag{99}$$

$$s = l \quad \rho = R; \quad l = \frac{C}{R} \quad C = lR \quad s = \sqrt{2lR}\sqrt{\varphi}. \tag{100}$$

Попробуемъ теперь сдѣлать примѣненіе родіоидальной спирали для общаго случая соединенія кривою двухъ прямолинейныхъ желѣзнодорожныхъ участковъ.

Пусть двѣ прямыя OK и KO', составляющія между собою уголъ α (чер. 72), требуется соединить кривою такимъ образомъ, чтобы въ точкахъ касанія (O и O') кривой съ прямыми радіусъ кривизны ея равнялся бы безконечности, а минимальный радіусъ кривизны равнялся бы заданной величинѣ R. Требуемую кривую составимъ изъ двухъ одинаковыхъ и симметрично расположенныхъ вѣтвей OM и $O'M$, радіусы кривизны коихъ въ точкахъ O и O' равны безконечности, а въ точкѣ M—заданной величинѣ R. Точка M лежитъ, очевидно, на биссектрисѣ внутренняго угла между прямыми, а касательная къ ней (общая для обѣихъ вѣтвей) перпендикулярна къ биссектрисѣ, а съ прямыми составляетъ одинаковые углы, каждый изъ коихъ равенъ $\frac{\alpha}{2}$. Составленная такимъ образомъ кривая вполнѣ удовлетворяетъ условію плавнаго измѣненія радіуса кривизны, который сначала уменьшается отъ безконечности въ точкѣ касанія съ первою прямою до R, а затѣмъ опять увеличивается, достигая безконечности (въ точкѣ касанія кривой со второю прямою).

Выведемъ выраженія, необходимыя для расчета сопряженія прямыхъ помощью спирали.

Согласно условію при $\varphi = \frac{\alpha}{2}$ $\rho = R$, слѣдовательно, на основаніи (98) параметръ спирали и уравненіе ея:

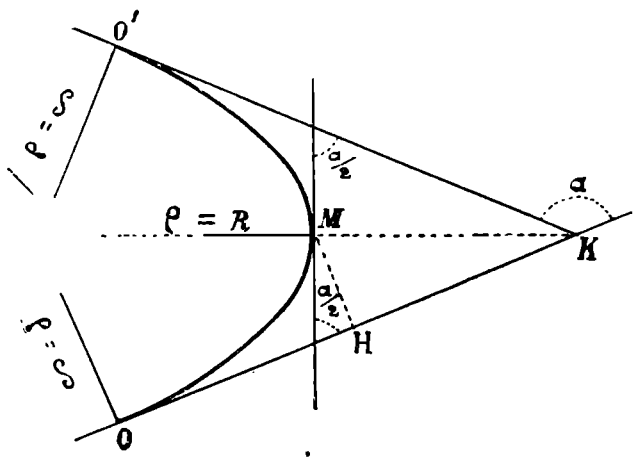
$$C = R^2\alpha \quad s = R\sqrt{2\alpha\varphi}.$$

Принявъ прямую OK за ось X—овъ (чер. 72), можемъ опредѣлить координаты любой точки кривой OM по формуламъ (95 и 96), которыя для даннаго случая представятся въ видѣ:

$$x = R\sqrt{2\alpha}\sqrt{\varphi}\left(1 - \frac{\varphi^2}{5.2!} + \frac{\varphi^4}{9.4!} \cdots\right)$$

$$y = R\sqrt{2\alpha}\,\varphi\sqrt{\varphi}\left(\frac{1}{3} - \frac{\varphi^2}{7.3!} + \frac{\varphi^4}{11.5!} \cdots\right)$$

Чер. 72.



Точно также можно расчитать координаты кривой MO' по отношенію къ оси $O'K$. Координаты x_0 и y_0 вершины M опредѣлятся изъ тѣхъ же формулъ при $\varphi = \frac{\alpha}{2}$.

Разстояніе точки O, касанія спирали съ прямою, отъ вершины угла K, равно:

$$OK = OH + HK = x_0 + y_0 \operatorname{tg}\frac{\alpha}{2},$$

а разстояніе отъ вершины угла K до точки M (вершины кривой),

$$KM = y_0 \sec\frac{\alpha}{2}.$$

Длина сопрягающей спирали $OMO' = 2s = \frac{2C}{R} = 2R\alpha$.

Тотъ законъ послѣдовательнаго измѣненія радіуса кривизны, которымъ обладаетъ радіоидальная спираль, а именно, измѣненіе въ отношеніи обратно-пропорціональномъ длинѣ дуги, то-есть длинѣ пройденнаго пути, лучше всего удовлетворяетъ условію плавности движенія состава; далѣе, опредѣленіе на практикѣ радіуса кривизны въ любой точкѣ спирали, для расчета возвышенія наружнаго рельса или уширенія колеи, весьма просто, ибо для этого нужно лишь знать разстояніе разсматриваемой точки отъ начала кривой, измѣренное по дугѣ кривой, то-есть по рельсовому пути, которое можно, напримѣръ, сосчитать по количеству рельсовыхъ звеньевъ; при опредѣленіи возвышенія наружнаго рельса не нужно даже производить и этихъ расчетовъ для промежуточныхъ точекъ кривой, ибо сказанное возвышеніе, какъ обратно-пропорціональное радіусу кривизны, измѣняется, очевидно, на протяженіи спиральной кривой по закону прямой линіи; такъ, напримѣръ, въ случаѣ сопряженія по чертежу 72, достаточно расчитать возвышеніе наружнаго рельса лишь только для точки M и затѣмъ свести его на нѣтъ въ обѣ стороны равномѣрно на протяженіи MO и MO'.

Непосредственныя сопряженія прямыхъ помощью кривыхъ высшихъ порядковъ, напримѣръ, въ родѣ сопряженія по чертежу 72, не нашли себѣ пока примѣненія въ желѣзнодорожной практикѣ, несмотря на ихъ теоретическія достоинства. Для этой цѣли получила, по практическимъ соображеніямъ, повсемѣстное примѣненіе круговая кривая. Дѣйствительно, разбивка на мѣстѣ круговой кривой очень проста, то-есть можетъ быть произведена лицами, обладающими самыми незначительными техническими познаніями; кромѣ того, разбивка эта можетъ быть произведена различными пріемами, такъ что для каждаго случая можетъ быть выбранъ тотъ или другой способъ разбивки, отвѣчающій мѣстнымъ условіямъ и дающій возможность обойти мѣстныя препятствія. Далѣе, такъ какъ кривизна круговой кривой постоянна, то величина возвышенія наружнаго рельса и уширенія колеи остается постоянной на всемъ ея протяженіи, благодаря чему значительно упрощается содержаніе пути въ кривыхъ. Наконецъ, длина кругового сопряженія вдвое короче сопряженія спиралью при той же максимальной кривизнѣ—преимущество, имѣющее иногда весьма существенное практическое значеніе.

Однако, сопряженіе прямыхъ помощью круговой кривой, при всѣхъ перечисленныхъ практическихъ преимуществахъ, представляетъ все же существенныя неудобства въ прилегающихъ къ прямымъ частяхъ. Такъ какъ въ точкѣ касанія круговой кривой съ прямою, радіусъ кривизны переходитъ сразу отъ безконечности до конечной и притомъ, сравнительно, небольшой величины, то при проходѣ подвижного состава въ указанномъ мѣстѣ является боковой толчокъ, который становится тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе скорость движенія и менѣе радіусъ кривой; толчки эти очень непріятны пассажирамъ, вредно дѣйствуютъ на подвижной составъ и верхнее строеніе пути и могутъ быть причиною схода поѣзда, тѣмъ болѣе, что они постоянно сбиваютъ правильное направленіе пути въ мѣстахъ соприкасанія прямыхъ съ круговыми кривыми. Далѣе, такъ какъ возвышеніе наружнаго рельса и уширеніе колеи, зависящія отъ радіуса кривизны, должны быть постоянны на всемъ протяженіи круговой кривой, а слѣдовательно—до-

стигать полной величины уже въ самомъ ея началѣ, то таковыя приходится сводить на нѣтъ на прилегающихъ къ кривой прямыхъ участкахъ пути, то-есть придавать послѣднимъ устройство, не соотвѣтствующее ихъ направленію въ планѣ.

Дабы избѣжать указанныхъ неудобствъ, а сохранить вмѣстѣ съ тѣмъ, по возможности, практическія преимущества круговыхъ кривыхъ, устраиваются сложныя сопряженія между прямыми, состоящія въ средней части изъ круговыхъ кривой, а въ прилегающихъ къ прямымъ частяхъ изъ кривыхъ высшихъ порядковъ, такъ-называемыхъ переходныхъ кривыхъ.

Переходная кривая выбирается такимъ образомъ, чтобы касаніе ея какъ съ прямой, такъ и съ круговой кривой было 2-го порядка, то-есть радіусъ кривизны переходной кривой былъ бы равенъ безконечности въ точкѣ ея касанія съ прямой и радіусу круговой кривой въ точкѣ ея касанія съ послѣдней.

Возвышеніе наружнаго рельса начинается въ точкѣ касанія переходной кривой съ прямою и достигаетъ полной величины въ точкѣ ея касанія съ круговой кривой.

Для устройства переходныхъ кривыхъ примѣняется очень часто кубическая парабола.

Однако, радіоидальная спираль, преимущества коей для непосредственнаго сопряженія прямыхъ были указаны выше, можетъ служить съ большимъ удобствомъ для начертанія переходныхъ кривыхъ.

Пусть между прямыми OK и $O'K$ (чер. 73) устраивается сложное сопряженіе, состоящее изъ круговой кривой MM' и переходныхъ кривыхъ OM и $O'M'$. Найдемъ элементы, необходимые для трассировки сопряженія на мѣстѣ.

Примѣнимъ для переходныхъ кривыхъ спираль, уравненіе коей: $s = \sqrt{2C\varphi}$. Для выясненія вопроса достаточно разсмотрѣть сопрягающую кривую на протяженіи OMT, ибо вторая половина кривой $TM'O'$ вполнѣ симметрична съ первою, относительно биссектрисы AK.

Отнесемъ сопрягающія кривыя къ прямоугольной координатной системѣ YOX. Спираль OM имѣетъ съ прямою OK касаніе 2-го порядка въ точкѣ O, и пусть M — точка ея касанія 2-го же порядка съ круговою кривою.

Уравненіе круговой кривой для выбранной системы координатъ:

$$y = f_1\ (x\ p\ q\ R),$$

гдѣ p и q координаты центра круга, а R — его радіусъ.

Уравненіе же спирали для той же системы:

$$y = f_2\ (x\ C).$$

Уравненіе круга содержитъ три произвольныхъ параметра, а уравненіе спирали одинъ параметръ; такимъ образомъ для удовлетворенія поставленному выше условію, мы можемъ распоряжаться выборомъ четырехъ произвольныхъ постоянныхъ, да, кромѣ того, еще и координатами точки касанія.

Пусть x_0 и y_0 — координаты точки M; изъ условія касанія 2-го порядка имѣемъ:

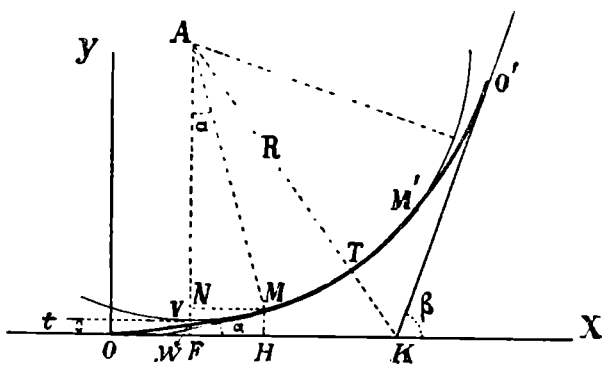
$$f_1(x_0) = f_2(x_0);\ \frac{df_1(x_0)}{dx} = \frac{df_2(x_0)}{dx};\ \frac{d^2f_1(x_0)}{dx^2} = \frac{d^2f_2(x_0)}{dx^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (101)$$

Такимъ образомъ три уравненія связываютъ пять неизвѣстныхъ величинъ ($x_0\ p\ q\ R\ C$), почему двѣ изъ послѣднихъ можемъ выбирать произвольно.

Параметръ C спирали придется опредѣлить для данной дороги въ зависимости отъ скорости движенія и другихъ соображеній, о чемъ ниже будетъ сказано подробнѣе; радіусъ R круговой кривой назначается при проектированіи линіи въ зависимости отъ мѣстныхъ условій; слѣдовательно, указанныя выше три уравненія (101) послужатъ для опредѣленія координатъ центра круга и точки его касанія съ переходной кривой.

Построенная указаннымъ способомъ переходная кривая имѣетъ какъ съ прямою, такъ и съ круговою кривою касаніе четнаго порядка, а слѣдовательно пересѣкаетъ ихъ въ точкахъ касанія что понятно, впрочемъ, изъ разсмотрѣнія формы спирали и ея свойствъ.

Чер. 73.



Примѣненіе уравненій (101) для практическихъ расчетовъ неудобно, вслѣдствіе ихъ сложности, необходимые же элементы могутъ быть опредѣлены помощью другихъ, болѣе простыхъ формулъ. Дѣйствительно, координаты точки касанія M могутъ быть расчитаны по формуламъ (95) и (96), разъ будетъ извѣстенъ уголъ α (чер. 73), составляемый касательной къ кривой въ этой точкѣ съ осью X-овъ. Величина этого угла опредѣлится изъ того условія, что радіусъ кривизны спирали въ точкѣ M долженъ равняться радіусу R круговой кривой. Слѣдовательно, на основаніи (91) и (93):

$$R = \frac{C}{s} = \frac{C}{\sqrt{2C\alpha}},\ \text{откуда}\ \alpha = \frac{C}{2R^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (102)$$

а кооордннаты x_0 и y_0 точки касанія M:

$$x_0 = \frac{C}{R}\left[1 - \frac{1}{5.2!}\left(\frac{C}{2R^2}\right)^2 + \frac{1}{9.4!}\left(\frac{C}{2R^2}\right)^4 \cdot \quad . \quad .\right] \quad . \quad . \quad . \quad (103)$$

$$y_0 = \frac{C^2}{2R^3}\left[\frac{1}{3} - \frac{1}{7.3!}\left(\frac{C}{2R^2}\right)^2 + \frac{1}{11.5!}\left(\frac{C}{2R^2}\right)^4 \quad \right] \quad . \quad . \quad . \quad (104)$$

Координаты p и q точки A (центра круговой кривой) могутъ быть расчитаны по формуламъ:

$$p = OF = x_0 - NM = x_0 - R \sin\left(\frac{C}{2R^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (105)$$

$$q = AF = y_0 + AN = y_0 + R \cos\left(\frac{C}{2R^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots \quad (106)$$

Разстояніе вершины К угла прямыхъ отъ точекъ ихъ касанія съ переходными кривыми:

$$OK = OF + FK = p + q\ tg\frac{\beta}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (107)$$

гдѣ β — уголъ поворота прямыхъ.

Координаты промежуточныхъ точекъ спирали могутъ быть расчитаны по формуламъ (95) и (96), задаваясь различными значеніями угла φ въ предѣлахъ отъ 0 до $\frac{C}{2R^2}$.

Кратчайшее разстояніе t (чер. 73) отъ прямой OK до окружности сопрягающаго круга, равно:

$$t = q - R = y_0 - 2R \sin^2\left(\frac{C}{4R^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

Такимъ образомъ, дабы возможно было устроить соединеніе круговой кривой даннаго радіуса съ прямою помощью спирали, съ касаніемъ 2-го порядка, кратчайшее разстояніе между окружностью сказаннаго круга и прямой должно въ точности равняться величинѣ t, опредѣляемой уравненіемъ (108). Полная длина сложнаго сопряженія

$$OM\ TM'\ O' = 2\frac{C}{R} + R\left(\beta - \frac{C}{R^2}\right)$$

Хотя формулы (103)—(106) не отличаются сложностью, но, ради удобства выкладокъ, выведемъ, для расчета элементовъ переходной спиральной кривой, другія болѣе простыя формулы, сдѣлавъ для этого нѣкоторыя допущенія.

Длина переходной кривой OM (чер. 73) равна: $OM = \frac{C}{R}$; длина же дуги круговой кривой MV равна $MV = R\alpha = \frac{C}{2R}$; откуда $OM = 2MV$; а такъ какъ разница между длинами дугъ MV и MW, очевидно, весьма незначительна, то мы сдѣлаемъ очень малую погрѣшность, допустивъ, что переходная кривая OM дѣлится пополамъ въ точкѣ W.

Проекція на ось X-овъ дуги MW спирали равна $MN = R \sin\alpha$; а слѣдовательно, обозначая x_1 и x_0 абсциссы точекъ W и M спирали, можемъ положить съ весьма большою степенью точности:

$$p = x_1 = R \sin\alpha = R \sin\frac{C}{2R^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (109)$$

$$x_0 = 2R \sin\alpha = 2R \sin\frac{C}{2R^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (110)$$

Для возможности опредѣлить въ простыхъ выраженіяхъ ординаты спирали, найдемъ зависимость между угломъ ω, составляемымъ радіусомъ векторомъ (при полюсѣ въ точкѣ o чер. 73) съ осью X-овъ и угломъ φ.

Очевидно, $tg\ \omega = \frac{y}{x}$; откуда

$$\omega = \operatorname{arctg} \frac{y}{x} = \frac{y}{x} - \frac{1}{3}\left(\frac{y}{x}\right)^3 + \frac{1}{5}\left(\frac{y}{x}\right)^5 . \quad . \quad . ;$$

подставляя въ этотъ рядъ вмѣсто x и y ихъ значенія изъ формулъ (95) и (96) и располагая его по степенямъ φ, получимъ:

$$\omega = \frac{\varphi}{3}\left(1 - \frac{\varphi^2}{118} - \frac{\varphi^4}{4857} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot\right)$$

Принявъ $\omega = \frac{\varphi}{3}$, мы сдѣлаемъ погрѣшность, совершенно неощутительную для практическихъ требованій (погрѣшность эта составляетъ $\frac{1'}{2}$ для $\varphi = 22^0$, при обыкновенныхъ же условіяхъ переходныхъ кривыхъ. когда $7^0 - 9^0$ можно считать предѣломъ для φ, сказанная погрѣшность не превосходитъ 1").

Обозначая y_1 и y_0 ординаты точекъ W и M спирали, имѣемъ:

$$y_1 = x_1\ tg\ \omega_1 = R \sin \frac{C}{2R^2}\, tg \frac{C}{24R^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (111)$$

$$y_0 = x_0\ tg\ \omega_0 = 2R \sin \frac{C}{2R^2}\, tg \frac{C}{6R^2} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \quad (112)$$

Формулы (102)—(108) даютъ возможность расчитать безъ затрудненій элементы, необходимые для разбивки сопряженія прямыхъ со вставкою переходныхъ кривыхъ, при сооруженіи новыхъ желѣзнодорожныхъ линій.

Но на практикѣ очень часто является необходимость въ устройствѣ переходныхъ кривыхъ на существующихъ линіяхъ, гдѣ сопряженія прямыхъ были запроектированы непосредственно дугами круга. Въ этомъ случаѣ вопросъ осложняется тѣмъ обстоятельствомъ, что круговыя кривыя касаются непосредственно прямыхъ, то-есть величина t (108) равна нулю.

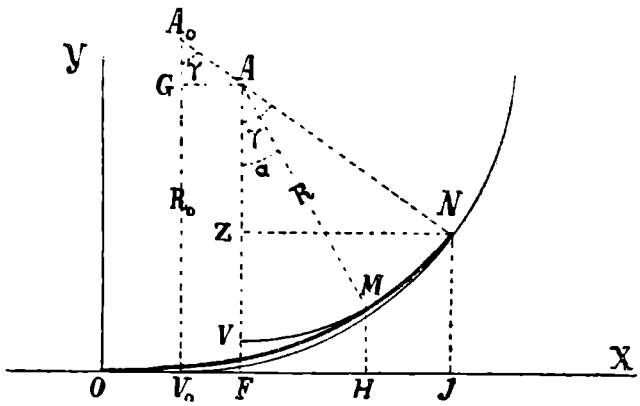
Лучшій въ практическомъ отношеніи способъ устройства переходныхъ кривыхъ въ тѣхъ случаяхъ, когда желѣзнодорожное полотно устроено при непосредственномъ касаніи круговыхъ кривыхъ съ прямолинейными участками, состоитъ въ веденіи въ переходную кривую промежуточнаго круга съ нѣсколько меньшимъ радіусомъ, то-есть въ уменьшеніи радіуса круговой кривой на нѣкоторомъ протяженіи у ея концовъ, такимъ образомъ, чтобы касательная къ круговой кривой, параллельная сопрягаемому прямолинейному участку, отстояла отъ послѣдняго на требуемую величину t, опредѣляемую формулою (108).

Пусть круговая кривая радіуса R_0 имѣетъ непосредственное касаніе съ прямою OX въ точкѣ V_0 (чер. 74), а центръ въ точкѣ A_0.

Введемъ промежуточный кругъ радіуса R съ центромъ въ точкѣ A; пусть N—точка касанія обѣихъ круговыхъ линій, а γ—уголъ, составляемый общей для нихъ въ этой точкѣ касательной съ прямою OX. Величины R и γ могутъ быть выбраны такимъ образомъ, что разстояніе VF будетъ равно величинѣ t, опредѣляемой формулой (108), а слѣдовательно, возможно будетъ сдѣлать сопряженіе прямой OX съ промежуточнымъ кругомъ помощью спирали OM, гдѣ O и M—точки касанія (2-го порядка) спирали съ прямой OX и промежуточнымъ кругомъ. Такимъ образомъ, переходная кривая составится изъ спирали OM и круговой кривой MN, и хотя въ точкѣ N имѣетъ мѣсто касаніе перваго порядка, но обстоятельство это не представляетъ практическаго неудобства, такъ какъ радіусъ R можетъ быть выбранъ лишь немногимъ меньше радіуса R_0.

Опредѣлимъ элементы, необходимые для разбивки переходной кривой.

Чер. 74.



Координаты точки M касанія спирали и центра A промежуточнаго круга опредѣлятся по формуламъ (103)—(106). Уголъ γ опредѣлится изъ выраженія:

$$Cos\,\gamma = \frac{A_0G}{A_0A} = \frac{A_0V_0 - AV - VF}{A_0A} = \frac{R_0 - R - t}{R_0 - R} = 1 - \frac{t}{R_0 - R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (113)$$

гдѣ вмѣсто t должно быть подставлено его значеніе изъ формулы (108).

Координаты p_0 и q_0 центра круга A_0 и координаты x_n и y_n точки N касанія круговыхъ кривыхъ могутъ быть опредѣлены по формуламъ:

$$p_0 = OV_0 = OF - GA = p - (R_0 - R)\,sin\,\gamma \quad . \quad . \quad (114)$$

$$q_0 = A_0V_0 = AF + A_0G = q + (R_0 - R)\,cos\,\gamma \quad . \quad . \quad (115)$$

$$x_n = OJ = OF + ZN = p + R\,sin\,\gamma \quad . \quad . \quad . \quad (116)$$

$$y_n = NJ = AF - AZ = q - R\,cos\,\gamma \quad . \quad . \quad . \quad (117)$$

гдѣ p, q, γ выражаются формулами (105), (106) и (113).

Всѣ элементы, опредѣляющіе переходную кривую, выражаются въ функціи отъ радіуса R промежуточнаго круга; величина его, ограниченная лишь условіемъ $R < R_0$, можетъ быть назначена по нашему усмотрѣнію. Чѣмъ больше R, тѣмъ совершеннѣе, конечно, переходная кривая, но за то тѣмъ больше уголъ γ, а вмѣстѣ съ нимъ и длина $V_0N = R_0\,\gamma$ части кривого пути, переустраиваемаго для возможности сдѣлать сопряженіе съ прямой помощью переходной кривой. Величина R должна быть назначена, принимая во вниманіе оба указанныя обстоятельства. Практическія требованія выполняются вообще хорошо при $R = 0{,}95\,R_0$; конечно, въ отдѣльныхъ случаяхъ можетъ оказаться полезнымъ уменьшить нѣсколько это отношеніе $\left(\frac{R}{R_0}\right)$, съ цѣлью сократить длину переустраиваемаго кривого пути, для избѣжанія, напримѣръ, слишкомъ крупныхъ работъ, или же увеличить его для улучшенія переходной кривой, если переустройство пути можетъ быть исполнено безъ значительныхъ затратъ.

Хотя опредѣленіе элементовъ радіоидальной спирали по формуламъ (103)—(108), а тѣмъ болѣе по формуламъ (109)–(112), не является слишкомъ сложнымъ, однако, ради облегченія практическихъ расчетовъ, формулы эти могутъ быть еще упрощены для примѣненія въ тѣхъ случаяхъ, когда величина $\frac{C}{2R^2}$ незначительна, какъ это чаще всего бываетъ на практикѣ.

Замѣняя въ упомянутыхъ формулахъ *sinus* и *tangens* соотвѣтственными дугами, получимъ:

$$x_0 = \frac{C}{R} \qquad y_0 = \frac{C^2}{6R^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (118)$$

$$x_1 = \frac{C}{2R} \qquad y_1 = \frac{C^2}{48R^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (119)$$

$$p = \frac{C}{2R} \qquad q = t + R = R + \frac{C^2}{24R^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (120)$$

$$t = \frac{C^2}{24R^3} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (121)$$

Формулы (118) и (119) показываютъ, между прочимъ, что при сопряженіи помощью переходной кривой, замѣняемыя послѣднею части прямой и круговой кривой приблизительно равны между собою, то-есть половина протяженія переходной кривой приходится на прямую, а половина на круговую кривую.

Формулы, выражающія элементы переходной кривой, зависятъ отъ радіуса круговой кривой и отъ постояннаго параметра C спирали. Послѣдній долженъ быть выбранъ сообразно съ мѣстными условіями желѣзнодорожной линіи на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Длина s переходной кривой $\left[s = \frac{C}{R}\right]$ тѣмъ больше, чѣмъ больше

C и чѣмъ меньше R; пусть L—длина минимальной, принятой на дорогѣ прямой вставки между обратными кривыми и пусть, послѣ устройства переходныхъ кривыхъ между концами ихъ, должна оставаться прямая линія не менѣе l, тогда очевидно:

$$L-2\frac{C}{2R}\geq l, \text{ откуда } C\leq (L-l)\,R,$$

гдѣ R—минимальный, допускаемый на дорогѣ радіусъ.

Длину l слѣдуетъ назначать не менѣе длины самаго длиннаго изъ обращающихся на дорогѣ вагоновъ.

Съ другой стороны, на протяженіи переходной кривой возвышеніе наружнаго рельса достигаетъ полной своей величины или сходитъ на нѣтъ постепеннымъ склономъ i, слѣдовательно, переходная кривая должна быть достаточно длинна, дабы склонъ этотъ не оказался слишкомъ крутымъ; склонъ i во всякомъ случаѣ не долженъ превосходить 0,003 ($i\leq 0{,}003$); дѣйствительно, при длинѣ базы трехоснаго вагона въ 8,5 м. и указанномъ склонѣ, одна изъ вершинъ четыреугольника, опредѣляемаго точками касанія колесъ вагона съ рельсами, можетъ быть ниже плоскости, проходящей черезъ три остальныя вершины на: $8500\times 0{,}003=25{,}5$ м.м., то-есть на величину равную минимальной высотѣ закраины бандажа, а слѣдовательно, низъ закраины уже, при сказанномъ уклонѣ, можетъ очутиться вровень съ верхомъ головки рельса. Конечно, вліяніе вагонныхъ рессоръ уменьшаетъ въ значительной степени вѣроятность подобнаго явленія, тѣмъ не менѣе неминуемая въ этомъ случаѣ разгрузка колеса увеличиваетъ возможность схода вагона.

Если h—наибольшее примѣняемое на дорогѣ возвышеніе наружнаго рельса, то должно быть:

$$\frac{C}{R}\geq\frac{h}{i} \qquad C\geq\frac{Rh}{i},$$

гдѣ R—соотвѣтствующій возвышенію h радіусъ закругленія.

Параметръ С—долженъ быть выбранъ сообразно съ обоими указанными неравенствами. Конечно, если отдѣльные участки данной линіи отличаются различными мѣстными условіями (скорость движенія, предѣльная крутизна кривыхъ, длина прямыхъ вставокъ), то для каждаго изъ нихъ можетъ быть выбрана особая величина параметра С.

Для магистральныхъ линій, гдѣ скорость движенія значительна, а кривыя описаны сравнительно пологими радіусами, можно считать подходящимъ параметръ С=5000 (саж.)^2.

Дѣйствительно, если опредѣлять возвышеніе h по формулѣ $h=\frac{3\,V^2}{1000\,R}$ (см. ниже § 25), то указанный параметръ удовлетворяетъ практическимъ требованіямъ вплоть до скорости V, опредѣляемой уравненіемъ:

$$5000=\frac{3\,V^2}{1000\times i}=\frac{3\,V^2}{1000.0{,}003}=V^2, \text{ откуда } V=71\ \frac{\text{вер.}}{\text{час.}}$$

Если же возвышеніе опредѣлять по формулѣ $h=0{,}7\frac{V}{R}$ (въ метрическихъ мѣрахъ), то соотвѣтствующая предѣльная скорость опредѣлится изъ выраженія:

$$5000=\frac{0{,}7\ V}{(2{,}1)^2\ 0{,}003}\text{, откуда } V=95\ \frac{\text{клм.}}{\text{час.}}$$

Минимальная длина L прямой вставки, полагая $l=10^{\text{саж.}}$, равна:

$$5000=(L-10)\ R\text{, откуда } L^{\text{саж.}}=\frac{5000}{R}+10$$

Для линій, на которыхъ не предвидится обращенія курьерскихъ поѣздовъ, параметръ C можетъ быть принятъ $C=3000$ (саж.)^2, коему, согласно указаннаго выше расчета, соотвѣтствуетъ предѣльная скорость $V=\sqrt{3000}=55\frac{\text{вер.}}{\text{час.}}$ и минимальная прямая вставка $L^{\text{саж.}}=\frac{3000}{R}+10$ и, наконецъ, для подъѣздныхъ путей можно бы принять $C=1000$ (саж.)^2, полагая, что предѣльная скорость не превосходить на подобныхъ путяхъ величины $V=\sqrt{1000}=32\frac{\text{вер.}}{\text{час.}}$; минимальная прямая вставка можетъ быть вычислена въ этомъ случаѣ по формулѣ $L^{\text{саж.}}=\frac{1000}{R}+5$, гдѣ длина l принята равною $5^{\text{саж.}}$, имѣя въ виду, что на подъѣздныхъ путяхъ не обращается очень длинный подвижной составъ.

24. Уширеніе колеи въ кривыхъ. Въ прямыхъ частяхъ пути ширина колеи, считая таковую между внутренними гранями рельсовыхъ головокъ, должна имѣть всегда одну и ту же опредѣленную величину; такъ въ Россіи нормальная ширина колеи составляетъ $5'=1524$ м.м. (для ширококолейныхъ дорогъ); въ Западной Европѣ и Сѣверной Америкѣ нормальная ширина колеи равна $4'\ 8\frac{1}{2}''=1435$ м.м. Въ кривыхъ частяхъ пути, для улучшенія условій движенія поѣздовъ, ширина колеи дѣлается нѣсколько болѣше, сравнительно съ шириною колеи на прямой, т.-е. дѣлается уширеніе колеи, величина коего зависитъ отъ величины радіуса кривой.

Необходимая величина уширенія колеи въ кривой находится, конечно, въ тѣсной связи съ тѣмъ зазоромъ между боковыми гранями рельсовыхъ головокъ и гребнями бандажей, который имѣется уже въ прямой при нормальной ширинѣ колеи.

Для дорогъ Германскаго желѣзнодорожнаго Союза широкой колеи (1435 м.м.) наименьшій зазоръ на прямыхъ назначенъ въ 10 м.м.; для русскихъ ширококолейныхъ дорогъ наименьшій зазоръ въ колеѣ на прямой составляетъ 15 м.м. (§ 8).

При теоретическихъ выводахъ формулы для расчета уширенія, принималось обыкновенно во вниманіе одно изъ слѣдующихъ условій: 1) возможность вписыванія экипажа въ кривую въ зависимости отъ расположенія осей и длины его базы, 2) возможность такого расположенія въ кривой для отдѣльнаго ската, при которомъ радіусы круговъ катанія его колесъ,

въ связи съ коничностью бандажей, отвѣчали бы радіусамъ наружной и внутренней рельсовыхъ нитокъ кривой.

Въ отношеніи вписыванія въ кривую самымъ невыгоднымъ является трехосный вагонъ. Если бы вагонные скаты не могли перемѣщаться въ поперечномъ направленіи (перпендикулярно къ продольной оси вагона) и бандажи средняго ската имѣли бы гребни одинаковой толщины съ гребнями крайнихъ скатовъ, то, во избѣжаніе распиранія рельсовъ, полный зазоръ e въ кривой между внутренними гранями рельсовыхъ головокъ и наружными, прикасающимися къ нимъ гранями гребней, долженъ бы быть не менѣе опредѣляемаго формулою:

$e = \frac{\left(\frac{l}{2} + y\right)^2}{2R + s - e}$, гдѣ l — разстояніе между осями крайнихъ вагонныхъ скатовъ, y — опредѣляется выраженіемъ (15), R — радіусъ кривой, а s — ширина колеи; или, принимая во вниманіе незначительность y по сравненію съ $\frac{l}{2}$ и незначительность $s - e$ по сравненію съ $2R$, формулою

$$e = \frac{l^2}{8R}.$$

Длина базы пассажирскихъ трехосныхъ вагоновъ на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ доходитъ до 8,5 м.; полный зазоръ между гребнями и рельсами на прямой, т.-е., при нормальной ширинѣ колеи, составляетъ не менѣе 15 м.м.; называя t — разстояніе, на которое прикасающаяся къ рельсу точка гребня у бандажа средняго ската можетъ отстоять отъ линіи, соединяющей подобныя же точки гребней у крайнихъ скатовъ, благодаря поперечному перемѣщенію скатовъ и меньшей толщинѣ гребня средняго ската, сравнительно съ гребнями крайнихъ скатовъ, найдемъ необходимую величину E уширенія въ кривой, для возможности вписыванія трехоснаго вагона, равною:

$$E = \frac{9}{R} - 0{,}015 - t$$

Величина t въ связи съ конструкціей ходовыхъ частей трехосныхъ вагоновъ такова, что уже при $R = 200$ м. и даже меньше, опредѣляемое указанною выше формулою уширеніе является отрицательнымъ. Такимъ образомъ, условіе возможности трехосному вагону вписаться въ кривую не можетъ служить основаніемъ для расчета уширенія колеи.

Величина e зазора въ кривой радіуса R, дающая возможность скату съ бандажами средняго радіуса r и коничности $tg\,\alpha$ установиться въ кривой такимъ образомъ, чтобы радіусы круговъ катанія его колесъ по наружному и внутреннему рельсамъ соотвѣтствовали бы радіусамъ кривизны сказанныхъ рельсовъ, то-есть скатъ двигался бы безъ продольнаго скольженія, опредѣляется изъ соотношенія:

$$\frac{2R + s}{2R - s} = \frac{2r + e\,tg\,\alpha}{2r - e\,tg\,\alpha},$$

рѣшая кое, находимъ:

$$e = \frac{rs}{R\,tg\,\alpha}.$$

Для данныхъ германскихъ желѣзныхъ дорогъ выраженіе это принимаетъ видъ:

$$e = \frac{11339}{R} \quad \ldots\ldots\ldots\

но также и треніе гребня внутренняго колеса задняго ската. Но зато въ этомъ случаѣ уголъ, составляемый плоскостью наружнаго колеса передняго ската съ рельсомъ, менѣе, чѣмъ въ случаѣ нормальнаго положенія экипажа въ кривой, а вліяніе этого угла столь рѣшающее, что, несмотря на треніе объ рельсъ гребня у внутренняго колеса задняго ската, общее дополнительное сопротивленіе оказывается въ первомъ случаѣ все же нѣсколько меньше, чѣмъ во второмъ случаѣ.

Съ увеличеніемъ свободнаго зазора далѣе предѣла, необходимаго для того, чтобы экипажъ могъ занять свое нормальное положеніе въ кривой, сопротивленіе мало измѣняется, пока задняя ось находится въ радіальномъ положеніи, то-есть пока выполнено условіе $m_2 = \frac{l^2}{2R}$ (§ 13); но если почему либо экипажъ движется съ прижатымъ къ внутреннему рельсу гребнемъ задняго ската, то-есть $m_2 = e$, уголъ, составляемый плоскостью наружнаго колеса передняго ската съ рельсомъ, увеличивается, а вмѣстѣ съ нимъ возрастаетъ также сопротивленіе движенію и тѣмъ сильнѣе, конечно, чѣмъ болѣе уширеніе колеи.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что, въ отношеніи дополнительнаго сопротивленія въ кривой и износа рельсовъ, самой выгодной будетъ ширина колеи, которая какъ разъ отвѣчаетъ предѣлу, необходимому для возможности нормальнаго расположенія экипажа въ кривой, ибо при меньшей ширинѣ колеи является износъ боковой части головки у внутренняго рельса, не оправдываемый сколь-нибудь существеннымъ уменьшеніемъ сопротивленія движенію, а при большей ширинѣ колеи сопротивленіе, въ лучшемъ случаѣ, почти не измѣнится, между тѣмъ какъ весьма часто можетъ оказаться такое наличіе условій, при которыхъ дополнительное сопротивленіе въ кривой значительно увеличится.

Что касается длины базы, которая должна служить основаніемъ для расчета уширенія колеи, то необходимо, конечно, принять во вниманіе чаще всего встрѣчающійся экипажъ.

Для русскихъ желѣзныхъ дорогъ такимъ экипажемъ является, конечно, товарный вагонъ. Длина базы нормальнаго двухоснаго товарнаго вагона равна 3,81 м. Округляя эту величину до 4 м., полный зазоръ въ кривой, согласно вышесказанному, опредѣлится изъ выраженія $e = \frac{l^2}{2R} = \frac{8}{R}$. При такомъ зазорѣ, нормальное положеніе въ кривой будутъ въ состояніи принимать не только товарные вагоны, но также большинство паровозовъ, тендеры и телѣжки пассажирскихъ вагоновъ; лишь только при проходѣ трехосныхъ пассажирскихъ вагоновъ и длинныхъ товарныхъ платформъ будетъ имѣть мѣсто набѣгъ задняго ската гребнемъ на внутренній рельсъ кривой.

Такъ какъ свободный зазоръ на прямой, какъ было указано выше, можно считать не меньше 15 м.м., то уширеніе колеи, выраженное въ миллиметрахъ, опредѣлится по формулѣ:

$$E = \frac{8000}{R} - 15 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (123)$$

гдѣ R — радіусъ кривой въ метрахъ.

При R, равномъ 250 саж. (533,4 м.), уширеніе, опредѣляемое указанной формулой, обращается въ нуль, а слѣдовательно, въ кривыхъ радіуса 250 саж. и выше уширенія дѣлать не требуется. Максимальную величину уширенія въ связи съ шириною бандажа и радіусомъ верхняго бокового закругленія рельсовой головки слѣдовало бы ограничить 20—25 миллиметрами.

На желѣзныхъ дорогахъ примѣняются обыкновенно для расчета уширенія колеи разнаго рода эмпирическія формулы.

Такъ, напримѣръ, на дорогахъ германскаго желѣзнодорожнаго союза, гдѣ наименьшій зазоръ въ колеѣ на прямыхъ составляетъ 10 м.м., уширеніе колеи часто расчитывается по формулѣ:

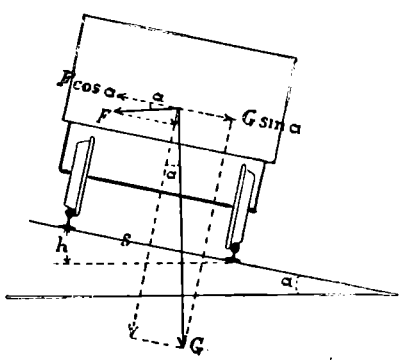
$$E = \frac{(1000 - R)^2}{30000} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (124)$$

гдѣ E—уширеніе въ миллиметрахъ, а R—радіусъ кривой въ метрахъ; при чемъ уширеніе не должно превосходить величины 30 м.м.

25. **Возвышеніе наружнаго рельса въ кривыхъ.** Въ прямыхъ частяхъ пути оба рельса колеи укладываются въ одномъ и томъ же уровнѣ; вертикальная линія, проведенная изъ центра тяжести подвижного состава, пересѣкаетъ плоскость пути въ точкѣ, находящейся на равныхъ отъ рельсовъ разстояніяхъ, почему оба рельса нагружены одинаково.

При криволинейномъ движеніи на экипажъ дѣйствуетъ, кромѣ силы тяжести, еще центробѣжная сила, имѣющая горизонтальное направленіе; если бы въ кривой оба рельса колеи находились на одномъ уровнѣ, то равнодѣйствующая сила тяжести и центробѣжной силы пересѣкала бы плоскость пути въ точкѣ, лежащей не въ одинаковомъ отъ рельсовъ разстояніи, а ближе къ наружному рельсу, вслѣдствіе чего означенный рельсъ оказался бы перегруженнымъ. Дабы парализовать указанное вліяніе центробѣжной силы, наружный рельсъ колеи укладывается въ кривыхъ выше внутренняго ея рельса.

Чер. 75.



Если G—вѣсъ экипажа (чер. 75), F—центробѣжная сила, s—ширина колеи, h—возвышеніе наружнаго рельса, α—уголъ наклона плоскости пути къ горизонту, получимъ при условіи, что равнодѣйствующая силъ тяжести и центробѣжной пересѣкаетъ плоскость пути въ точкѣ, лежащей на равныхъ отъ рельсовъ разстояніяхъ:

$$F\ Cos\,\alpha = G\ Sin\,\alpha$$

$$\frac{F}{G} = \frac{Sin\,\alpha}{Cos\,\alpha} = tg\ \alpha = \frac{h}{s},$$

а такъ какъ $F = \frac{m v^2}{R} = \frac{G v^2}{g R}$, то $h = \frac{s v^2}{g R}$ . . . . . (125),

гдѣ v—скорость движенія поѣзда, g—ускореніе силы тяжести, R—радіусъ кривой.

Если выразить h — въ тысячныхъ доляхъ сажени, V — въ верстахъ въ часъ, R — въ саженяхъ, получимъ для дорогъ русской нормальной колеи:

$$h = 1000 \frac{0{,}714 \times 5^2 V^2}{4{,}6 R 36^2} = \frac{3 V^2}{R} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (126).$$

Въ примѣненіи этой формулы не встрѣчается затрудненій, если скорости движенія на данной дорогѣ разнаго рода поѣздовъ мало разнятся между собою. Но если рядомъ съ весьма скорыми, курьерскими поѣздами обращаются также и медленные, тяжелые, товарные поѣзда, то является вопросъ, какая величина скорости должна быть принята при расчетѣ.

На большинствѣ желѣзныхъ дорогъ, особенно въ прежнее время, принималась при расчетѣ наибольшая допускаемая скорость, ибо предполагали, что уравновѣсить центробѣжную силу, путемъ возвышенія наружнаго рельса кривой, необходимо, ради безопасности движенія.

Однако, неудобства чрезмѣрнаго возвышенія, которое получалось такимъ способѣ расчета, особенно для болѣе крутыхъ кривыхъ, весьма скоро оказались на практикѣ. Внутренній рельсъ кривыхъ изнашивался чрезмѣрно по поверхности катанія бандажей, ибо при проходѣ медленныхъ и тяжелыхъ товарныхъ поѣздовъ, представляющихъ доминирующую часть желѣзнодорожнаго движенія, онъ выдерживалъ большее давленіе сравнительно съ наружнымъ рельсомъ; притомъ боковая часть его головки изнашивалась отъ тренія ребордъ у заднихъ скатовъ, которыя приходили въ соприкосновеніе съ внутреннимъ рельсомъ подъ вліяніемъ центростремительной силы. Кромѣ того, значительное возвышеніе производило непріятное ощущеніе на пассажировъ.

Такимъ образомъ, практическія требованія заставили ввести нѣкоторыя ограниченія въ примѣненіи формулы (125).

Такъ, максимальную скорость стали ограничивать въ зависимости отъ величины радіуса кривой; въ Бельгіи и Германіи для этой цѣли примѣняется часто формула $V = 3\sqrt{R}$, гдѣ V — скорость километровъ въ часъ, а R — радіусъ кривой въ метрахъ. Ограничивая скорость указаннымъ способомъ, находимъ для русской колеи наибольшее возвышеніе наружнаго рельса, соотвѣтствующее предѣльной скорости, равнымъ 113 м.м.

Формула (125) при подобномъ способѣ примѣненія, нарушающемъ теоретическую ея строгость, потеряла свой смыслъ до извѣстной степени; поэтому въ послѣднее время стали примѣнять вмѣсто нея эмпирическія формулы вида $h = m\frac{V}{R}$, гдѣ возвышеніе наружнаго рельса пропорціонально не квадрату скорости, а первой ея степени; формулы эти, не дающія чрезмѣрныхъ величинъ возвышенія для высокихъ скоростей, лучше отвѣчаютъ требованіямъ практики.

На желѣзныхъ дорогахъ германскаго союза коэффиціентъ m принимается равнымъ 500—700 (h — въ миллиметрахъ, V — въ километрахъ въ часъ, R — въ метрахъ), при чемъ вмѣсто V подставляется наибольшая допускаемая для данной кривой скорость движенія.

Для рѣшенія вопроса о цѣлесообразности той или другой величины

возвышенія наружнаго рельса кривыхъ, необходимо выяснить, имѣетъ ли оно вліяніе на безопасность движенія, или же вопросъ этотъ затрагиваетъ лишь экономическіе интересы.

Если центробѣжная сила представляетъ серьезную опасность для движенія, то пришлось бы, поступившись экономическими интересами, ради уравновѣшенія ея, опредѣлять возвышеніе наружнаго рельса въ кривыхъ, сообразно съ максимальною, допускаемою скоростью движенія. Однако, какъ практика, такъ и теорія даютъ въ этомъ отношеніи отрицательный отвѣтъ.

Такъ, во многихъ мѣстахъ на англійскихъ желѣзныхъ дорогахъ по довольно крутымъ кривымъ у развѣтвленій, уложеннымъ, въ виду имѣющихся тамъ переводовъ, безъ возвышенія наружнаго рельса, проходятъ поѣзда съ весьма значительною скоростью.

Далѣе опыты, произведенные Desdouits въ 1891 году во Франціи, показали [1]), что поѣзда могутъ двигаться со значительными скоростями вполнѣ безопасно по кривымъ, уложеннымъ вовсе безъ возвышенія наружнаго рельса.

Наконецъ, весьма обстоятельные опыты, организованные германскимъ желѣзнодорожнымъ союзомъ для выясненія вопроса объ уширеніи колеи и возвышеніи наружнаго рельса, привели къ положительному заключенію [2]), что возвышеніе наружнаго рельса въ кривыхъ не имѣетъ никакого существеннаго вліянія на безопасность движенія.

Къ тому же заключенію приводятъ также и теоретическія изслѣдованія. Дѣйствительно, въ вопросѣ о безопасности движенія въ кривой, самую важную роль играетъ величина угла (β), который должна составить плоскость опоры наружнаго колеса передняго ската (касательная къ рельсу) съ осью ската, для приданія экипажу вращательнаго движенія (§ 14); если бы уголъ этотъ превзошелъ крайній предѣлъ, соотвѣтствующій профилю бандажнаго гребня, то послѣдній всползъ бы на верхъ рельсовой головки, что послужило бы причиной схода экипажа; равнымъ образомъ, устойчивость наружнаго рельса кривой зависитъ, преимущественно, отъ величины упомянутаго угла.

Отъ центробѣжной силы, если таковая не уравновѣшена возвышеніемъ наружнаго рельса, возрастаетъ радіальное давленіе; съ увеличеніемъ же послѣдняго увеличивается также уголъ β; но, съ другой стороны, отъ центробѣжной силы, благодаря возвышенію центра тяжести экипажа надъ уровнемъ рельсовъ, увеличивается нагрузка ведущаго колеса, что, въ свою очередь, влечетъ за собою уменьшеніе угла β. Благодаря совмѣстному дѣйствію указанныхъ факторовъ, центробѣжная сила оказываетъ незначительное лишь вліяніе на величину угла β.

Такимъ образомъ, возвышеніе наружнаго рельса въ кривой должно быть назначено на основаніи экономическихъ соображеній, принимая во вниманіе износъ рельсовъ и сопротивленіе движенію.

Въ отношеніи износа рельсовъ самымъ выгоднымъ будетъ такое возвышеніе, при которомъ верхнія части головокъ обоихъ рельсовъ кривой

---

[1]) Congrès international des chemins de fer. Pétersbourg, II vol.

[2]) Organ 1899 S. 259.

изнашиваются по возможности равномѣрно. Для этого необходимо, чтобы возможно большее количество поѣздовъ, въ особенности же тяжелыхъ, нагружало въ одинаковой степени обѣ рельсовыя нитки кривой. Отъ товарныхъ вагоновъ, центръ тяжести коихъ можетъ возвышаться до 2 м. надъ уровнемъ рельсовъ, при движеніи поѣзда съ незначительною скоростью по кривой съ возвышеніемъ наружнаго рельса, соотвѣтствующимъ скорости $V = 3\sqrt{R}$, можетъ явиться перегрузка внутренняго рельса до 20% (формула 52), то-есть отношеніе нагрузокъ наружнаго и внутренняго рельса выразится цифрами 0,8:1,2; конечно, при подобныхъ условіяхъ износъ рельсовъ кривой долженъ быть крайне неравномѣрнымъ. На большинствѣ русскихъ желѣзныхъ дорогъ товарное движеніе какъ по количеству поѣздовъ, такъ и по вѣсу составовъ имѣетъ столь первенствующее значеніе, что для равномѣрности износа обоихъ рельсовъ кривой возвышеніе наружнаго рельса необходимо сообразовать со скоростями товарныхъ поѣздовъ.

На дополнительное сопротивленіе движенію въ кривыхъ возвышеніе наружнаго рельса вліяетъ въ двухъ противоположныхъ направленіяхъ; съ одной стороны, оно, уменьшая радіальное давленіе, а слѣдовательно и уголъ β наклона плоскости опоры наружнаго колеса передняго ската, уменьшаетъ дополнительное сопротивленіе движенію въ кривой; но съ другой стороны, подъ вліяніемъ упомянутаго возвышенія, если оно превосходитъ предѣлъ, соотвѣтствующій равновѣсію между центробѣжной и центростремительной силами, задній скатъ экипажа перемѣщается вовнутрь кривой, вслѣдствіе чего увеличивается уголъ γ, составляемый плоскостью ведущаго колеса съ наружнымъ рельсомъ, а слѣдовательно увеличивается и сопротивленіе движенію.

Расчетъ показываетъ, что въ отношеніи сопротивленія движенію, возвышеніе наружнаго рельса полезно лишь до предѣла соотвѣтствующаго равновѣсію между центробѣжной и центростремительной силами; увеличеніе же сказаннаго возвышенія далѣе упомянутаго предѣла вредно.

Изъ вышесказаннаго видно, что возвышеніе наружнаго рельса въ кривой слѣдуетъ расчитывать по формулѣ (125), при чемъ въ основаніе расчета должны быть положены скорости преобладающаго по тоннажу движенія, а слѣдовательно для русскихъ условій—скорости товарнаго движенія. Разсчитанное такимъ образомъ возвышеніе будетъ лучше всего удовлетворять экономическимъ требованіямъ какъ въ отношеніи износа рельсовъ, такъ и въ отношеніи сопротивленія движенію.

Скорости движенія товарныхъ поѣздовъ довольно однообразны и съ этой стороны затрудненій для примѣненія формулы (125) не должно представиться; конечно, скорости эти различны на подъемахъ, площадкахъ и скатахъ разной крутизны, почему и возвышеніе наружнаго рельса въ кривыхъ необходимо сообразовать съ профилемъ полотна.

Литература.

Findlay. An english railway.

Верховскій. Историческій очеркъ начала и распространенія желѣзныхъ дорогъ въ Россіи.

Бліохъ. Вліяніе желѣзныхъ дорогъ на экономическое состояніе Россіи.

Георгіевскій. Историческій очеркъ развитія путей сообщенія въ XIX вѣкѣ,

Archiv für Eisenbahnwesen.

Leygue. Chemins de fer. Notions générales et économiques.

Lake. The world's locomotives.

Stockert. Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens.

Garbe. Die Dampflocomotiven der Gegenwart.

Карташовъ. Опытное изслѣдованіе паровозовъ.

Нольтейнъ. Теорія и расчетъ противовѣсовъ.

Dawson. Electric traction on railways.

Roedder. Die Fortschritte auf dem Gebiete der elektrischen Fernbahnen.

Gostkowski. Die Mechanik des Zugverkehrs auf Eisenbahnen.

Boedecker. Die Wirkungen zwischen Rad und Schiene.

Frank. Die Widerstände der Locomotiven und Bahnzüge.

Leber. Calculs des raccordements paraboliques dans les tracés des chemins de fer.

ОТДѢЛЪ II.

Проектированіе желѣзнодорожной линіи.

ГЛАВА VI.

Коммерческія и техническія изысканія.

26. Размѣры движенія и выгодность сооруженія желѣзной дороги. Первый вопросъ, который необходимо выяснить при проектированіи новой желѣзнодорожной линіи, заключается въ опредѣленіи размѣровъ будущаго движенія, ибо отъ нихъ зависятъ какъ финансовые результаты предпріятія, такъ и размѣры необходимаго техническаго оборудованія новой желѣзнодорожной линіи; доходъ желѣзной дороги, отъ проѣзда пассажировъ и провоза грузовъ, зависитъ отъ количества пассажировъ и грузовъ и разстоянія перевозки, поэтому предполагаемые размѣры движенія должны быть выражены въ пассажиро-верстахъ и въ пудо-верстахъ.

Сколь-нибудь точное опредѣленіе размѣровъ будущаго движенія на вновь проектируемой желѣзной дорогѣ весьма затруднительно: во-первыхъ, для даннаго раіона, прилегающаго къ вновь сооружаемой дорогѣ, не легко опредѣлить какъ размѣры движенія по имѣющимся въ раіонѣ путямъ сообщенія, такъ и ту его часть, которая перейдетъ на новую желѣзную дорогу, во-вторыхъ, съ проведеніемъ усовершенствованнаго пути сообщенія, сильно измѣняются условія экономической жизни раіона; благодаря срочности и дешевизнѣ желѣзнодорожныхъ перевозокъ, является возможною эксплоатація и вывозъ на далекія разстоянія естественныхъ богатствъ раіона, не разрабатывавшихся ранѣе за недостаткомъ удобныхъ средствъ сообщенія; около желѣзной дороги возникаютъ новые очаги какъ добывающей, такъ и обрабатывающей промышленности, вслѣдствіе чего увеличивается не только вывозъ, но и ввозъ товаровъ и вообще возрастаетъ интенсивность экономической жизни раіона, а вмѣстѣ съ ней размѣры какъ пассажирскаго, такъ и товарнаго движенія. При коммерческихъ изысканіяхъ, производимыхъ для выясненія вѣроятныхъ размѣровъ движенія и доходности проектируемой желѣзной дороги, должно быть принято во вниманіе оживленіе торговыхъ оборотовъ, являющееся слѣдствіемъ улучшенія путей сообщенія. Полученные на основаніи подобныхъ предположеній результаты являются, конечно, болѣе или менѣе приблизительными и гадательными.

Изъ изложеннаго ясно, что для опредѣленія размѣровъ движенія на проектируемой желѣзной дорогѣ необходимо прежде всего произвести точ-

ное экономическое обслѣдованіе мѣстности, а затѣмъ, на основаніи этого матеріала, расчитать вѣроятные размѣры желѣзнодорожныхъ перевозокъ.

Экономическое обслѣдованіе мѣстности производится какъ путемъ непосредственнаго объѣзда раіона, прилегающаго къ проектируемой желѣзной дорогѣ, такъ и на основаніи статистическаго матеріала, имѣющагося въ органахъ мѣстнаго самоуправленія (въ Россіи въ земскихъ и городскихъ управахъ), а также и въ торговыхъ палатахъ, биржевыхъ комитетахъ и проч. При этомъ должны быть выяснены размѣры добывающей промышленности отъ хлѣбопашества, скотоводства, добычи полезныхъ ископаемыхъ, лѣсныхъ промысловъ и проч., потребности обрабатывающей промышленности въ отношеніи снабженія фабрикъ сырьемъ и вывоза выработанныхъ матеріаловъ, а также потребности снабженія жителей раіона тѣми предметами, которые, въ силу тѣхъ или иныхъ условій, должны быть подвезены изъ другихъ мѣстностей. Кромѣ этого, слѣдуетъ еще выяснить, по какимъ путямъ сообщенія и въ какомъ размѣрѣ совершаются передвиженія пассажировъ и перевозки грузовъ, необходимыя для удовлетворенія перечисленныхъ потребностей экономической жизни даннаго раіона, и какія изъ нихъ могутъ перейти на проектируемую желѣзную дорогу.

На основаніи собраннаго такимъ образомъ матеріала можно вывести предположенія относительно вѣроятныхъ размѣровъ движенія на проектируемой желѣзной дорогѣ. Количество тѣхъ грузовъ, которые могутъ быть привлечены желѣзною дорогою и длина пробѣга, совершаемаго ими по рельсовымъ путямъ, опредѣлятся, конечно, въ зависимости отъ рыночной цѣны товара въ мѣстахъ производства и потребленія и отъ стоимости перевозки, включая въ послѣднюю какъ желѣзнодорожный тарифъ, такъ и стоимость доставки до желѣзнодорожной станціи по грунтовой, или шоссейной дорогѣ, или же по водному пути, смотря по мѣстнымъ условіямъ.

Вслѣдствіе большой, относительно, стоимости и неудобствъ гужевой перевозки, желѣзная дорога питается грузами и пассажирами преимущественно изъ прилегающей къ ней полосы, небольшой, сравнительно, ширины; чѣмъ дальше отстоитъ данная мѣстность отъ рельсоваго пути, тѣмъ меньше ея участіе въ снабженіи грузами и пассажирами желѣзной дороги. Такъ, напримѣръ, для условій германской желѣзнодорожной сѣти, по состоянію ея въ концѣ прошлаго столѣтія, Sonne нашелъ, что участіе y въ желѣзнодорожномъ движеніи жителя, находящагося въ разстояніи x километровъ отъ станціи, выражается формулою:

$$y = \left(1 - \frac{x}{12}\right)^4,$$

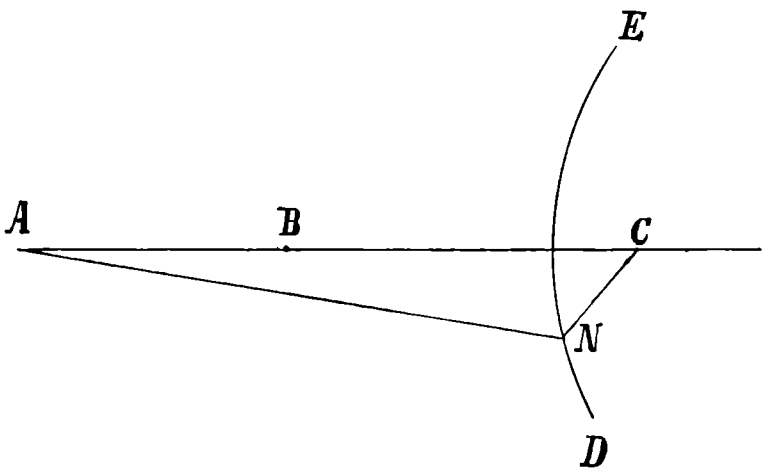
если принять за единицу участіе въ желѣзнодорожномъ движеніи жителя, проживающаго около самой станціи.

При доставкѣ товара по желѣзной дорогѣ, необходимо нагружать товаръ въ вагоны на станціи отправленія и выгружать его на станціи прибытія; операціи эти связаны съ расходами, почему желѣзнодорожная перевозка грузовъ выгодна лишь на значительныя, сравнительно, разстоянія; наоборотъ, въ перевозкѣ грузовъ на близкія разстоянія шоссейныя дороги

конкурируютъ успѣшно съ желѣзными дорогами. Пусть на желѣзнодорожной линіи $A\ B\ C$ въ точкахъ A, B, C расположены станціи (чер. 76); разстояніе между A и C равно l; если p_1 —желѣзнодорожный тарифъ, p_2 — тарифъ при перевозкѣ гужемъ изъ пункта N на станціи A и C, s — стоимость погрузки единицы вѣса товара въ вагоны и выгрузки ея изъ вагоновъ, то стоимость доставки груза изъ пункта N въ пунктъ A по желѣзной дорогѣ черезъ станцію C опредѣлится выраженіемъ:

$$s + p_1\ l + p_2\ NC,$$

Чер. 76.



а непосредственно гужемъ выраженіемъ:

$$p_2\ NA;$$

очевидно, геометрическое мѣсто крайнихъ положеній точекъ N (кривая $D\ E$), для коихъ доставка груза въ A будетъ еще выгодна по желѣзной дорогѣ, опредѣлится уравненіемъ:

$$p_2\ NA = s + p_1\ l + p_2\ NC,$$

откуда

$$NA - NC = \frac{s + p_1 l}{p_2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (127),$$

очевидно, кривая DE представляетъ гиперболу.

Опредѣленіе вѣроятныхъ размѣровъ движенія на основаніи статистическихъ данныхъ является наиболѣе правильнымъ методомъ расчета, но оно требуетъ очень большого труда по собиранію и обработкѣ статистическаго матеріала; поэтому пытались найти болѣе простые способы расчета вѣроятныхъ размѣровъ движенія на проектируемой желѣзной дорогѣ, выражая ихъ въ функціи отъ населенія прилегающаго къ ней раіона. Такъ, Michel вычислилъ для французскихъ желѣзныхъ дорогъ и условій движенія въ семидесятыхъ годахъ прошлаго столѣтія, что на каждаго жителя прилегающаго къ станціи раіона (протяженіемъ до одной мили отъ станціи) приходится ежегодно 6, 5 пассажировъ и 2, 1 тонны груза, при чемъ про-

бѣгъ пассажировъ и грузовъ по этому методу расчета, примѣнявшагося для не очень длинныхъ вѣтвей, предполагался на всемъ протяженіи проектируемой вѣтви; вычисленныя такимъ способомъ величины умножались на коэффиціентъ $^2/_3$ для чисто земледѣльческихъ раіоновъ и на $^1/_3$ для мѣстностей съ развитою промышленностью; указанные размѣры движенія слишкомъ низки для современныхъ условій, особенно же въ мѣстностяхъ съ развитою промышленностью.

Нѣкоторыя указанія относительно вѣроятныхъ размѣровъ движенія на проектируемой желѣзной дорогѣ, могутъ быть получены изъ разсмотрѣнія результатовъ эксплоатаціи существующихъ желѣзныхъ дорогъ, проходящихъ по мѣстностямъ аналогичнымъ съ раіонами, пересѣкаемыми проектируемою желѣзнодорожною линіею.

Зная вѣроятные размѣры движенія и тарифныя ставки, можно расчитать ожидаемый валовой доходъ отъ проектируемой желѣзнодорожной линіи; сравненіе валового дохода съ расходами по эксплоатаціи желѣзной дороги и по уплатѣ процентовъ на капиталъ, затраченный на ея сооруженіе, позволитъ сдѣлать заключеніе о степени выгодности предпріятія.

Эксплоатаціонные расходы раздѣляются на: а) расходы, зависящіе отъ размѣровъ движенія, б) расходы, не зависящіе отъ размѣровъ движенія *). Величина капитала, который выгодно затратить на сооруженіе желѣзной дороги, зависитъ отъ размѣровъ движенія; чѣмъ интенсивнѣе движеніе, тѣмъ выгоднѣе соорудить и оборудовать дорогу по возможности совершенно, дабы понизить тѣ изъ эксплоатаціонныхъ расходовъ, которые пропорціональны размѣрамъ движенія, хотя бы для этого пришлось затратить значительныя суммы.

Если A — затраченный на сооруженіе желѣзной дороги капиталъ, k — годовая процентная норма, P — размѣры движенія въ пудо-верстахъ или пассажиро-верстахъ, h — эксплоатаціонные расходы желѣзной дороги на ту же единицу, то полная единичная стоимость t перевозки для желѣзной дороги опредѣлится выраженіемъ:

$$t = h + \frac{Ak}{P}.$$

Согласно вышесказанному h является нѣкоторою функціей отъ A, слѣдовательно:

$$h = f(A) \qquad t = f(A) + \frac{Ak}{P}.$$

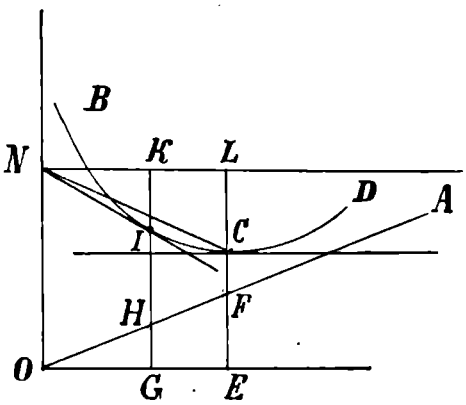
Самая выгодная для даннаго случая величина капитала, подлежащаго затратѣ на сооруженіе желѣзной дороги, опредѣлится, изъ условія обращенія t въ minimum, дифференцированіемъ послѣдняго выраженія:

$$\frac{dt}{dA} = f'(A) + \frac{k}{P} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (128).$$

*) Необходимо замѣтить, что многіе изъ расходовъ, относимыхъ обыкновенно къ категоріи независящихъ отъ размѣровъ движенія, хотя и не пропорціональны размѣрамъ движенія, но все же зависятъ отъ нихъ.

Если по оси абсциссъ откладывать величины капитала A (чер. 77), а по оси ординатъ—соотвѣтственные единичные проценты $\frac{Ak}{P}$, то получимъ, очевидно, прямую линію OA; откладывая затѣмъ отъ линіи OA по направленію ординатъ величины $h=f(A)$, получимъ кривую BCD, выражающую функцію t; проведя касательную къ означенной кривой, параллельную оси абсциссъ, получимъ точку C, для которой величина $t=EF+FC$ обращается въ minimum, а слѣдовательно OE представляетъ наивыгоднѣйшую для даннаго случая величину затрачиваемаго капитала, удовлетворяющую условію (128).

Чер. 77.



Опредѣленная такимъ образомъ величина капитала является наивыгоднѣйшею съ общегосударственной точки зрѣнія, но можетъ не быть таковою для частнаго капиталиста, сооружающаго желѣзную дорогу; послѣдній, вкладывая свой капиталъ въ предпріятіе, стремится получить на него не только надлежащій процентъ, но еще и возможно большій дивидендъ; для капиталиста важно не уменьшеніе стоимости перевозки, а полученіе возможно большаго дивиденда.

Если назовемъ тарифную ставку—p (плата, взимаемая желѣзною дорогою за провозъ), то дивидендъ z, получаемый капиталистомъ, опредѣлится выраженіемъ:

$$z=\frac{P(p-t)}{A}=\frac{P\left[p-\left(f(A)+\frac{Ak}{P}\right)\right]}{A}$$

Самая выгодная для капиталиста величина капитала будетъ та, при которой z обратится въ maximum; величина эта опредѣлится изъ выраженія:

$$\frac{dz}{dA}=\frac{-AP\left[f'(A)+\frac{k}{P}\right]-P\left[p-\left(f(A)+\frac{Ak}{P}\right)\right]}{A^2}=0,$$

откуда

$$Af'(A)+[p-f(A)]=0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (129).$$

Если отложимъ $ON=p$ и проведемъ черезъ точку N линію NL параллельно оси абсциссъ (чер. 77), то величина CL будетъ выражать чистый доходъ предпріятія при затратѣ капитала OE; дивидендъ капиталиста пропорціоналенъ въ этомъ случаѣ величинѣ $\frac{CL}{NL}$, или тангенсу угла CNL. Дивидендъ достигаетъ наибольшей своей величины при затратѣ такого капитала, при которомъ уголъ CNL обратится въ maximum; проведя изъ точки N касательную къ кривой BCD въ точкѣ I, получимъ наивыгоднѣй-

шую для капиталиста величину OG капитала, подлежащаго затратѣ на сооруженіе желѣзной дороги; въ этомъ случаѣ стоимость перевозки GI больше той же стоимости EC, получающейся при затратѣ наивыгоднѣйшей съ общегосударственной точки зрѣнія величины капитала; однако же для частнаго капиталиста такое рѣшеніе вопроса является болѣе выгоднымъ.

Изъ чертежа 77 ясно, что, чѣмъ ниже тарифная ставка p, тѣмъ ближе подходитъ наивыгоднѣйшая для капиталиста величина капитала, подлежащаго затратѣ на сооруженіе желѣзной дороги, къ наивыгоднѣйшей съ общегосударственной точки зрѣнія величинѣ того же капитала.

Изъ изложеннаго слѣдуетъ, что частный предприниматель не склоненъ затрачивать на сооруженіе желѣзной дороги капиталъ въ такихъ размѣрахъ, какъ это было бы желательно для соблюденія общегосударственныхъ интересовъ; обстоятельство это является однимъ изъ мотивовъ предпочтительности казеннаго желѣзнодорожнаго строительства передъ частнымъ.

Если новая желѣзнодорожная вѣтвь примыкаетъ къ существующей желѣзной дорогѣ и строится владѣльцемъ послѣдней, то, при расчетѣ выгодности предпріятія, необходимо принять во вниманіе усиленіе движенія на существующей линіи, благодаря привлеченію новыхъ грузовъ вновь устраиваемою вѣтвью.

Наконецъ, съ широкой общегосударственной точки зрѣнія, выгодность сооруженія новой желѣзной дороги слѣдуетъ оцѣнивать не только по непосредственному доходу отъ платы за перевозку пассажировъ и грузовъ, но необходимо принять также во вниманіе сбереженія народонаселенія на стоимости перевозки, развитіе промышленности и болѣе интенсивную эксплоатацію естественныхъ богатствъ страны, являющіяся слѣдствіемъ улучшенія путей сообщенія; благодаря этому увеличивается народное благосостояніе, а вмѣстѣ съ нимъ податная способность населенія и доходы казны.

27. Направленіе желѣзнодорожной линіи въ зависимости отъ коммерческихъ соображеній. Общимъ направленіемъ проектируемой желѣзнодорожной линіи опредѣляются главнѣйшіе пункты, черезъ которые должна пройти сооружаемая желѣзная дорога, какъ-то: большіе города, важные фабричные центры и проч.; въ промежуткахъ же между этими пунктами, направленіе желѣзной дороги должно быть установлено такимъ образомъ, чтобы оно удовлетворяло возможно полнѣе требованіямъ какъ коммерческой, такъ и технической стороны дѣла.

Изслѣдованіемъ вопросовъ о наивыгоднѣйшемъ, въ коммерческомъ отношеніи, направленіи желѣзнодорожной линіи занимался Launhardt, предложившій способы рѣшенія задачъ для нѣкоторыхъ встрѣчающихся на практикѣ случаевъ.

Пусть существующую желѣзнодорожную линію AB требуется соединить вѣтвью съ пунктомъ C; опредѣлимъ наивыгоднѣйшую въ коммерческомъ отношеніи точку D примыканія вѣтви къ магистральной линіи. Направленіе вѣтви CD и точка ея примыканія опредѣлятся, если будетъ извѣстенъ уголъ α наклона означеннаго направленія къ перпендикуляру CE, опущенному изъ пункта C на направленіе магистральной линіи. Положимъ, что C пудовъ—годовое количество грузовъ, прибывающихъ и отпра-

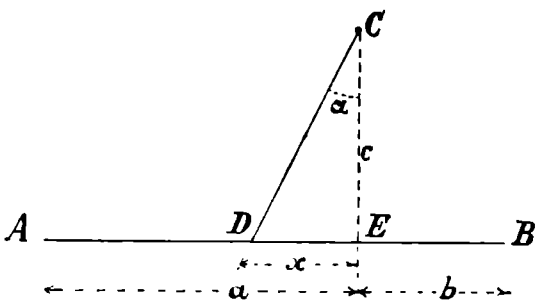
вляемыхъ изъ пункта C, что изъ этого количества A пудовъ слѣдуетъ въ направленіи CA и обратно, а B пудовъ въ направленіи CB и обратно, что h_1 — стоимость перевозки съ пудо-версты по вѣтви, а h_2 — по магистрали; тогда годовая стоимость перевозки грузовъ, слѣдующихъ на вѣтвь и съ вѣтви, опредѣлится выраженіемъ:

$$Ch_1 (c^2 + x^2)^{1/2} + Ah_2 (a - x) + Bh_2 (b + x),$$

гдѣ a, b, c, x — длины въ верстахъ протяженій, указанныхъ на чер. 78. Обозначая M — стоимость сооруженія одной версты вѣтви, k — годовую процентную норму, T — независящіе отъ движенія годовые расходы по содержанію вѣтви съ версты ея длины, получимъ, что годовые расходы по сооруженію и содержанію вѣтви равны:

$$(Mk + T)(c^2 + x^2)^{1/2}.$$

Чер. 78.



Сумма S годовыхъ строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ, относящихся къ сооруженію вѣтви и перевозкѣ C пудовъ груза, равна:

$$S = (Mk + T + Ch_1)(c^2 + x^2)^{1/2} + Ah_2 (a - x) + Bh_2 (b + x).$$

Направленіе вѣтви должно быть выбрано съ такимъ расчетомъ, чтобы величина S обратилась въ minimum, для чего:

$$\frac{dS}{dx} = (Mk + T + Ch_1) \frac{x}{(c^2 + x^2)^{1/2}} + (B - A)h_2 = 0;$$

но

$$\frac{x}{(c^2 + x^2)^{1/2}} = \operatorname{Sin} \alpha,$$

слѣдовательно:

$$\operatorname{Sin} \alpha = \frac{(A - B)h_2}{Mk + T + Ch_1} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (130).$$

Пусть напримѣръ:

$C = 10000000$ пудовъ, $A = 8000000$ пудовъ, $B = 2000000$ пудовъ, $h_1 = h_2 = 0.00005$ руб., $M = 30000$ руб., $k = 0{,}05$, $T = 1500$ руб.

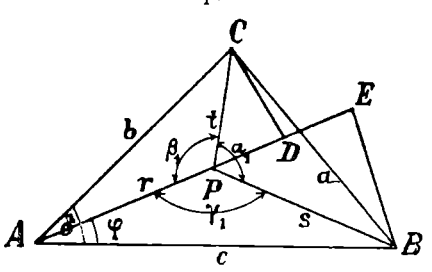
тогда:

$$Sin\,\alpha = \frac{6000000 \times 0{,}00005}{30000 \times 0{,}05 + 1500 + 10000000 \times 0{,}00005} = 0{,}086,$$

а слѣдовательно $\alpha = 4^{0}\,56'$.

Положимъ, что проектируемая желѣзнодорожная линія между пунктами A и B должна быть соединена вѣтвью съ пунктомъ C (чер. 79); желѣзная дорога должна быть направлена по ломанной линіи APB, при чемъ узловой пунктъ P соединенія съ вѣтвью на C долженъ быть выбранъ такимъ образомъ, чтобы сумма строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ была возможно меньшей. Пусть для линіи AP, BP и CP годовой грузооборотъ равенъ соотвѣтственно A, B, C пудовъ, стоимость перевозки съ пудо-версты — h_1, h_2, h_3, стоимость сооруженія одной версты — M_1, M_2, M_3, независящіе отъ движенія годовые эксплоатаціонные расходы — T_1, T_2, T_3, k — годовая процентная норма, то величина годовыхъ, строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ на версту равна соотвѣтственно для указанныхъ линій:

Чер. 79.



$$A_1 = M_1 k + T_1 + Ah_1$$
$$B_1 = M_2 k + T_2 + Bh_2$$
$$C_1 = M_3 k + T_3 + Ch_3$$

При указанныхъ на чер. 79 разстояніяхъ, сумма годовыхъ строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ равна для всѣхъ трехъ линій:

$$S = A_1 r + B_1 s + C_1 t$$

или

$$S = A_1 r + B_1 (r^2 + c^2 - 2rc\,Cos\,\varphi)^{1/2} + C_1 [r^2 + b^2 - 2rb\,Cos\,(\delta - \varphi)]^{1/2}$$

Положеніе узла P опредѣляется двумя перемѣнными величинами r и φ, почему наивыгоднѣйшее положеніе означеннаго узла, при которомъ величина S обращается въ minimum, опредѣлится изъ уравненій:

$$\frac{dS}{dr} = 0 \quad \frac{dS}{d\varphi} = 0,$$

слѣдовательно:

$$\frac{dS}{dr} = A_1 + B_1 \frac{r - c\,Cos\,\varphi}{(r^2 + c^2 - 2rc\,Cos\,\varphi)^{1/2}} + C_1 \frac{r - b\,Cos\,(\delta - \varphi)}{[r^2 + b^2 - 2rb\,Cos\,(\delta - \varphi)]^{1/2}} = 0;$$

но такъ какъ:

$$(r^2 + c^2 - 2rc\,Cos\,\varphi)^{1/2} = s, \qquad [r^2 + b^2 - 2rb\,Cos\,(\delta - \varphi)]^{1/2} = t$$
$$c\,Cos\,\varphi - r = PE \qquad b\,Cos\,(\delta - \varphi) - r = PD,$$

то находимъ:

$$A_1 - B_1 \frac{PE}{s} - C_1 \frac{PD}{t} = 0$$

или

$$A_1 + B_1 \, Cos\, \gamma_1 + C_1 \, Cos\, \beta_1 = 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (131)$$

далѣе имѣемъ:

$$\frac{dS}{d\varphi} = B_1 \frac{rc \, Sin\, \varphi}{(r^2 + c^2 - 2\, rc \, Cos\, \varphi)^{\frac{1}{2}}} - C_1 \frac{rb \, Sin\,(\delta - \varphi)}{[r^2 + b^2 - 2\, rb \, Cos(\delta - \varphi)]^{\frac{1}{2}}} = 0$$

или

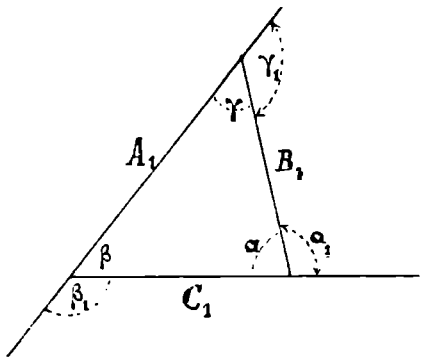
$$B_1 \frac{BE}{s} = C_1 \frac{CD}{t}$$

то-есть:

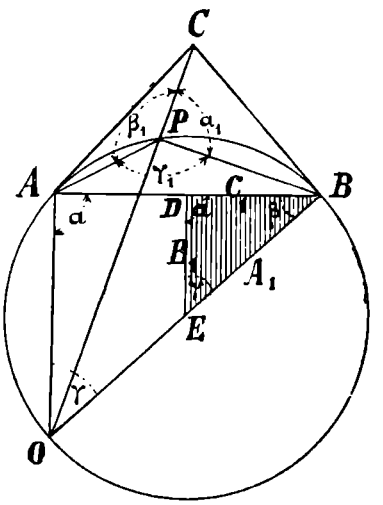
$$B_1 \, Sin\, \gamma_1 = C_1 \, Sin\, \beta_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (132).$$

Уравненія (131) и (132) показываютъ, что между величинами $A_1 B_1 C_1$ и углами $\beta_1 \gamma_1$ существуетъ такая же зависимость, какъ между сторонами и наружными углами треугольника (чер. 80); поэтому можно легко опредѣлить геометрическимъ способомъ углы $\alpha_1 \beta_1 \gamma_1$, а именно слѣдуетъ лишь построить треугольникъ, стороны коего равны соотвѣтственно величинамъ годовыхъ, строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ на версту длины для сходящихся въ узлѣ желѣзнодорожныхъ линій.

Чер. 80.



Чер. 81.

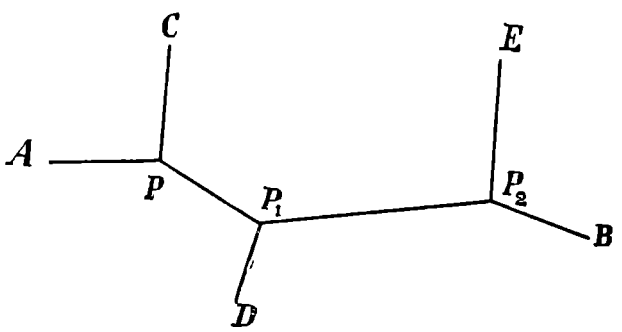


Наивыгоднѣйшее въ коммерческомъ отношеніи положеніе P узлового пункта для трехъ линій, проходящихъ черезъ точки A, B, C, можетъ быть на основаніи вышеизложеннаго опредѣлено геометрически слѣдующимъ образомъ (чер. 81): на одной изъ сторонъ треугольника $A\,B\,C$ строимъ треугольникъ $D\,B\,E$, стороны коего пропорціональны величинамъ A_1, B_1, C_1, годовыхъ строительныхъ и эксплоатаціонныхъ расходовъ на версту длины

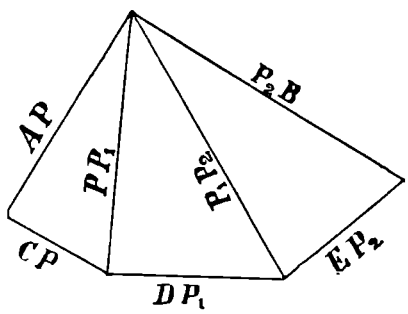
для сходящихся въ узлѣ желѣзнодорожныхъ линій и расположены въ указанномъ на чертежѣ порядкѣ (противъ соотвѣтственныхъ вершинъ треугольника); проведя затѣмъ $A0$ параллельно линіи DE до пересѣченія съ линіей — BE, находимъ точку 0 — полюсъ точекъ A и B; проведя затѣмъ линію OC и описавъ окружность около треугольника $AB0$, находимъ въ пересѣченіи ихъ точку P — искомый узловой пунктъ.

Пусть между пунктами A и B требуется провести желѣзнодорожную линію, къ которой должны примкнуть вѣтви изъ пунктовъ C, D, E; наивыгоднѣйшее въ коммерческомъ отношеніи направленіе дороги пройдетъ по *ломаной линіи съ узловыми пунктами* P, P_1, P_2 *(чер. 82), при чемъ для* каждаго изъ означенныхъ узловыхъ пунктовъ должны быть выполнены условія, выражаемыя уравненіями (131) и (132). Искомое направленіе линіи можетъ быть найдено геометрически слѣдующимъ построеніемъ: опредѣливъ для всѣхъ отдѣльныхъ участковъ годовые, строительные и эксплоатаціонные расходы на версту длины, строимъ многоугольникъ (чер. 83) изъ линій, пропорціональныхъ величинамъ означенныхъ расходовъ; углы между сторонами отдѣльныхъ треугольниковъ, составляющихъ упомянутый много-

Чер. 82.



Чер. 83.



угольникъ, согласно вышеизложенному, равны угламъ, образуемымъ желѣзнодорожными линіями, сходящимися въ узловыхъ пунктахъ; зная означенные углы, можно опредѣлить положеніе полюсовъ и искомое направленіе линіи, помощью построенія, изображеннаго на чер. 84. Начиная построеніе съ концовъ линіи, опредѣляемъ положеніе полюса 0 пунктовъ A и C и положеніе полюса 0_2 пунктовъ B и E; полюсы 0 и 0_2 замѣняютъ собою соотвѣтственно пункты A, C и B, E; затѣмъ находимъ положеніе полюса 0_1, для найденнаго ранѣе полюса 0 и пункта D; соединяя полюсы 0_1 и 0_2 прямою линіей, находимъ въ мѣстахъ пересѣченія съ соотвѣтственными кругами узловые пункты P_1 и P_2, а соединяя узелъ P_1 съ полюсомъ 0, находимъ узловой пунктъ P; соединяя узелъ P съ точкою A, а узелъ P_2 съ точкою B, находимъ искомое направленіе линіи APP_1P_2B.

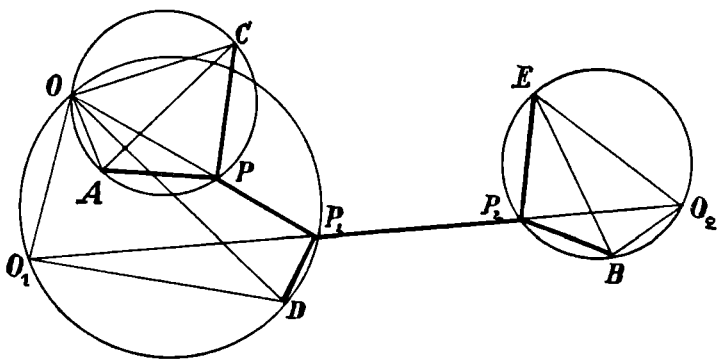
Изложенныя выше правила трассировки желѣзнодорожной линіи, по коммерческимъ соображеніямъ, были выведены въ предположеніи, что не требуется преодолѣвать особыхъ техническихъ затрудненій при устройствѣ дороги, вслѣдствіе чего нѣкоторое отклоненіе направленія линіи въ ту или другую сторону не влечетъ за собою существеннаго измѣненія строитель-

ной стоимости съ единицы ея длины; въ противномъ случаѣ пришлось бы, конечно, ввести надлежащія поправки въ коммерческую трассировку линіи, въ зависимости отъ топографическихъ условій мѣстности.

Для выясненія наивыгоднѣйшаго въ коммерческомъ отношеніи направленія желѣзнодорожной линіи, по изложенному выше способу, необходимо знать величину строительной и эксплоатаціонной стоимости на единицу ея длины; приблизительный расчетъ этихъ величинъ можетъ быть основанъ на сопоставленіи результатовъ сооруженія и эксплоатаціи существующихъ желѣзныхъ дорогъ, находящихся въ условіяхъ аналогичныхъ съ проектируемою желѣзнодорожною линіей.

28. Производство техническихъ изысканій. Рекогносцировки и подробныя изысканія. Пункты, опредѣляющіе общее направленіе желѣзнодорожной линіи, выбираются на основаніи соображеній коммерческаго характера, о чемъ было сказано выше; задача техническихъ изысканій состоитъ въ трассировкѣ линіи между упомянутыми пунктами такимъ образомъ, чтобы стои-

Чер. 84.



мость сооруженія и расходы по эксплоатаціи желѣзной дороги были бы возможно малыми.

Предварительный выборъ направленія линіи производится по топографической картѣ, при чемъ въ болѣе трудныхъ, въ топографическомъ отношеніи, мѣстностяхъ намѣчается нѣсколько варіантовъ; затѣмъ по направленіямъ, выбраннымъ по картѣ, производятся на мѣстѣ рекогносцировочныя изысканія для возможности судить о пригодности выбраннаго направленія вообще и предпочтительности того или другого варіанта въ частности; наконецъ, на основаніи добытыхъ при рекогносцировкѣ данныхъ, намѣчается то или другое приблизительное направленіе желѣзнодорожной линіи между извѣстными пунктами, а окончательное направленіе устанавливается при подробныхъ изысканіяхъ.

Топографическія карты, составленныя достаточно подробно, являются весьма цѣннымъ подспорьемъ при производствѣ желѣзнодорожныхъ изысканій. Въ Россіи примѣняются для сей цѣли карты генеральнаго штаба, составленныя въ масштабѣ 3 версты въ дюймѣ; для нѣкоторыхъ мѣстностей имѣются карты генеральнаго штаба въ масштабѣ одна верста въ дюймѣ, снятыя въ горизонталяхъ; пользуясь послѣдними картами, можно намѣ-

тить проектируемое направленіе желѣзнодорожной линіи настолько точно, чтобы не было надобности въ рекогносцировочныхъ изысканіяхъ.

На картѣ слѣдуетъ предварительно отмѣтить краскою направленіе всѣхъ рѣчекъ и овраговъ, благодаря чему конфигурація мѣстности является болѣе рельефною и облегчается нанесеніе на карту надлежащаго направленія проектируемой желѣзной дороги.

Желѣзнодорожная линія, соединяющая два данные пункта, не можетъ быть, вообще, проведена по кратчайшему между ними направленію, во избѣжаніе непосильныхъ на ея сооруженіе денежныхъ затратъ, а равно и техническихъ затрудненій; по тѣмъ же причинамъ желѣзнодорожная линія не можетъ представлять въ вертикальной проекціи однообразнаго уклона, опредѣляемаго относительною высотою и разстояніемъ двухъ данныхъ ея пунктовъ, а должна приближаться по возможности къ профилю пересѣкаемой ею мѣстности.

Такимъ образомъ, желѣзнодорожная линія въ планѣ должна, очевидно, состоять частью изъ прямыхъ, а частью изъ кривыхъ или, иначе говоря, изъ прямыхъ, расположенныхъ подъ разными другъ къ другу углами и соединенныхъ между собою кривыми; для соединенія прямолинейныхъ участковъ примѣняются, какъ было указано выше (§ 23), круговыя кривыя съ особыми переходными кривыми въ частяхъ, прилегающихъ къ прямолинейнымъ участкамъ. Въ профилѣ желѣзнодорожная линія представляетъ чередующіеся наклонные и горизонтальные участки (уклоны или подъемы и площадки).

При проектировкѣ линіи между двумя данными пунктами могутъ встрѣтиться слѣдующіе главные случаи: 1) линія, соединяющая конечные пункты, проходитъ по водораздѣлу, 2) для соединенія конечныхъ пунктовъ линія должна пересѣчь одинъ или нѣсколько водораздѣловъ, 3) оба конечные пункты лежатъ въ долинѣ одной и той же рѣки и соединяющая ихъ линія можетъ быть проведена той же долиною, 4) линія можетъ быть проведена частью долиною рѣки, частью же водораздѣломъ, при чемъ долинные и водораздѣльные участки должны быть, конечно, соединены соотвѣтственными подъемами.

Удобнѣе всего вести линію либо водораздѣломъ, либо долиною рѣки; въ этомъ случаѣ возможно запроектировать линію съ покойнымъ профилемъ при незначительномъ, сравнительно, количествѣ работъ, необходимыхъ для ея сооруженія. Пересѣченіе водораздѣловъ поперекъ для перехода изъ одной рѣчной долины въ другую, а равно также подъемъ съ рѣчной долины на водораздѣлъ, сопровождаются примѣненіемъ тяжелаго профиля (съ длинными и крутыми подъемами) и требуютъ значительнаго количества работъ для возведенія нижняго строенія дороги, почему, проектируя линію, слѣдуетъ избѣгать, по возможности, подобныхъ направленій.

Проведеніе линіи по водораздѣлу можетъ оказаться весьма удобнымъ, если водораздѣлъ не состоитъ изъ узкой, извилистой полосы, а представляетъ широкую, ровную возвышенность; въ такомъ случаѣ линія можетъ быть запроектирована по весьма легкимъ техническимъ условіямъ какъ въ отношеніи уклоновъ, такъ и въ отношеніи количества и крутизны кривыхъ, при незначительныхъ земляныхъ работахъ; далѣе, водораздѣльная линія

представляетъ большія выгоды, съ точки зрѣнія пропуска водъ, ибо какъ количество, такъ и размѣры искусственныхъ сооруженій незначительны. Однако при проведеніи желѣзнодорожной линіи по водораздѣлу часто встрѣчаются затрудненія со снабженіемъ станцій водою, за недостаткомъ надежныхъ источниковъ водоснабженія; кромѣ того, водораздѣльныя линіи болѣе подвержены снѣжнымъ заносамъ, сравнительно съ линіями, проведенными по долинамъ рѣкъ. Сказанное выше о проведеніи линіи по водораздѣламъ не относится, конечно, къ горнымъ хребтамъ, являющимся также водораздѣлами, но совершенно не пригоднымъ для проведенія по нимъ желѣзныхъ дорогъ.

Долина значительной рѣки весьма удобна для проложенія вдоль ея желѣзнодорожной линіи; пологіе обыкновенно уклоны долины и сравнительно рѣдкіе и пологіе ея повороты даютъ возможность запроектировать линію по очень легкимъ техническимъ условіямъ; водоснабженіе станцій вполнѣ обезпечено; что касается стоимости сооруженія, то болѣе значительные расходы могутъ лишь потребоваться въ мѣстахъ пересѣченій притоковъ рѣки на устройство мостовъ и прилегающихъ къ нимъ земляныхъ дамбъ. Не столь удобны для проложенія желѣзной дороги долины незначительныхъ рѣкъ; въ этомъ случаѣ линія получаетъ извилистое направленіе, а такъ какъ ширина долины обыкновенно недостаточна, то приходится проводить дорогу по ограничивающему долину косогору; обстоятельство это можетъ быть сопряжено съ существенными неудобствами, ибо косогоры иногда во многихъ мѣстахъ недостаточно устойчивы (оползни), а пропускъ нагорныхъ водъ подъ желѣзнодорожнымъ полотномъ можетъ представлять затрудненія.

Выборъ направленія линіи, пересѣкающей водораздѣлъ, представляетъ вообще большія трудности, сравнительно съ водораздѣльными и долинными линіями; пересѣкать водораздѣлъ слѣдуетъ въ самой низкой его точкѣ, для подъема же на водораздѣлъ и спуска съ него слѣдуетъ выбирать долины рѣчекъ съ достаточно пологимъ, продольнымъ уклономъ, не очень извилистыя и имѣющія, понятно, соотвѣтственное направленіе; чѣмъ выше водораздѣлъ и круче уклонъ стекающихъ по его склонамъ рѣчекъ, тѣмъ труднѣе, конечно, запроектировать пересѣкающую водораздѣлъ линію при легкихъ техническихъ условіяхъ. Съ точки зрѣнія эксплоатаціи, линіи, пересѣкающія водораздѣлы, являются, благодаря длиннымъ и крутымъ подъемамъ, а слѣдовательно и вреднымъ уклонамъ, значительно менѣе выгодными, по сравненію съ водораздѣльными и долинными линіями.

Руководствуясь изложенными выше соображеніями, наносятъ проектируемую желѣзнодорожную линію на карту, намѣчая при этомъ нѣсколько варіантовъ въ болѣе трудныхъ мѣстахъ; затѣмъ приступаютъ къ рекогносцировочнымъ изысканіямъ на мѣстѣ, съ цѣлью провѣрить правильность общаго направленія линіи и добыть данныя для рѣшенія вопроса о сравнительной выгодности намѣченныхъ варіантовъ. При рекогносцировкахъ необходимо обслѣдовать инструментально (нивелировкою, промѣромъ и съемкою угловъ) лишь только самыя трудныя мѣста, главнымъ образомъ пересѣченія водораздѣловъ (перевалы) и долинъ большихъ рѣкъ; на остальномъ протяженіи можно ограничиться лишь бѣглымъ осмотромъ мѣстности и

измѣреніемъ протяженія какимъ-нибудь упрощеннымъ способомъ (шагомѣромъ, по времени, необходимому для проѣзда даннаго участка и т. п.). Для предварительныхъ соображеній слѣдуетъ пользоваться въ широкихъ размѣрахъ барометрическимъ опредѣленіемъ высотъ; этимъ способомъ легко обнаружить невозможность пересѣченія перевала въ извѣстномъ мѣстѣ, въ зависимости отъ высоты перевала и длины подъема, которую можно измѣрить приблизительно, хотя-бы по картѣ, или, вообще, могутъ быть выяснены преимущества того или другого мѣста пересѣченія, не прибѣгая къ инструментальнымъ точнымъ промѣрамъ, требующимъ много труда и времени.

Описаніе производства съемокъ плана мѣстности, а также нивелировки, а равно и описаніе употребляемыхъ для сей цѣли инструментовъ выходитъ за предѣлы настоящаго курса; поэтому ниже будетъ обращено вниманіе лишь на тѣ, встрѣчающіеся при изысканіяхъ, вопросы, которые относятся спеціально къ проектированію желѣзнодорожныхъ линій.

Если для той мѣстности, по которой предполагается провести желѣзнодорожную линію, имѣются достаточно подробныя топографическія карты, то удобныя, въ техническомъ отношеніи, направленія желѣзнодорожной линіи могутъ быть выяснены по картѣ; въ этомъ случаѣ достаточно ограничиться рекогносцировками лишь по направленію напесенныхъ на карту варіантовъ; въ мѣстностяхъ же мало изслѣдованныхъ, не имѣющихъ подробныхъ картъ, необходимо обслѣдовать рекогносцировками возможно обширное пространство, ибо только при этомъ условіи можно намѣтить дѣйствительно удачное направленіе линіи.

Производя рекогносцировку, необходимо прежде всего изслѣдовать имѣющіяся въ данной мѣстности попутныя шоссейныя и грунтовыя дороги, а въ мѣстностяхъ необитаемыхъ — лѣсныя и горныя тропы. Рекогносцировку слѣдуетъ начинать съ самыхъ трудныхъ и сомнительныхъ мѣстъ, какъ-то съ пересѣченій большихъ рѣкъ, длинныхъ подъемовъ, пересѣченій переваловъ и проч., ибо обслѣдованіе этихъ мѣстъ можетъ сразу обнаружить непригодность даннаго варіанта. При обслѣдованіи мѣстности слѣдуетъ обращать вниманіе не только на топографическія ея особенности, въ смыслѣ возможности провести по ней линію при заданныхъ техническихъ условіяхъ (максимальномъ уклонѣ и минимальномъ радіусѣ кривыхъ), но необходимо также изслѣдовать геологическое строеніе грунта, что особенно важно для косогоровъ; не слѣдуетъ проектировать желѣзнодорожную линію по косогорамъ, недостаточно устойчивымъ, обнаруживающимъ признаки сплывовъ; вслѣдствіе работъ, связанныхъ съ сооруженіемъ желѣзной дороги, а также отъ сотрясеній при проходѣ поѣздовъ, верхніе пласты подобныхъ косогоровъ часто выходятъ изъ равновѣсія, въ результатѣ чего являются сдвиги, очень затрудняющіе содержаніе рельсоваго пути въ надлежащей исправности.

Параллельно съ производствомъ рекогносцировокъ необходимо также собирать свѣдѣнія о горизонтахъ высокихъ водъ въ рѣкахъ, источникахъ, могущихъ питать станціонныя водоснабженія, каменныхъ и балластныхъ карьерахъ и вообще всѣ данныя, полезныя для выясненія техническихъ преимуществъ того или другого варіанта и стоимости сооруженія желѣзнодорожной линіи.

За исключеніемъ лишь особо трудныхъ въ техническомъ отношеніи мѣстъ, гдѣ требуется подробное обслѣдованіе мѣстности, разстоянія измѣряются при рекогносцировкахъ шагами или же по времени, необходимому для прохода или проѣзда даннаго участка. Для счета шаговъ примѣняются шагомѣры, показывающіе непосредственно пройденное разстояніе для данной величины шага; для возможности измѣрять разстоянія по времени, изыскатель долженъ предварительно испытать скорость своего хода или же шагъ и рысь своей лошади. Углы измѣряются гоніометромъ, румбы—буссолью.

Для измѣренія высотъ примѣняется въ широкихъ размѣрахъ при рекогносцировкахъ барометрическая нивелировка; для этой цѣли примѣняются пружинные барометры (анероиды). Давленіе воздуха можетъ измѣняться даже въ теченіе, сравнительно, короткихъ промежутковъ времени; поэтому, для избѣжанія ошибокъ при барометрической нивелировкѣ, необходимо наблюдать показанія двухъ барометровъ, изъ коихъ одинъ находится въ теченіе даннаго цикла наблюденій на одномъ и томъ же мѣстѣ (на станціи), а другой переносится въ точки, высоты которыхъ подлежатъ измѣренію. На станціи ведется журналъ наблюденій съ обозначеніемъ времени наблюденія, температуры и показанія станціоннаго барометра; такія же данныя записываются при наблюденіи полевого барометра въ тѣхъ пунктахъ, высоты коихъ подлежатъ опредѣленію; изъ сравненія одновременныхъ показаній станціоннаго и полевого барометровъ могутъ быть опредѣлены относительныя высоты пунктовъ мѣстности. Если разстояніе между сравниваемыми точками значительно, то нельзя допускать, безъ ощутительной ошибки, что давленіе воздуха въ этихъ точкахъ одинаково при одинаковой абсолютной высотѣ точекъ; поэтому, производя барометрическую нивелировку, необходимо перемѣщать станціи такимъ образомъ, чтобы разстояніе между станціоннымъ и полевымъ барометромъ было не болѣе 30 верстъ.

Разность высотъ двухъ точекъ можетъ быть расчитана по формулѣ Бабинэ:

$$H = 16010\,[1 + 0{,}002\,(t_1 + t_2)]\,\frac{h_1 - h_2}{h_1 + h_2} \quad \ldots\ldots\ldots\

па всемъ протяженіи при подробныхъ изысканіяхъ; послѣднія должны установить точно направленіе проектируемой линіи и выяснить всѣ необходимыя данныя для составленія проекта линіи и ея расцѣнки.

При изысканіяхъ слѣдуетъ вести линію, начиная съ самыхъ трудныхъ мѣстъ, т.-е. установить и разработать пересѣченія большихъ рѣкъ, пересѣченія и спуски съ водораздѣловъ, соединенія съ другими желѣзными дорогами, подходы къ большимъ городамъ и т. п.; разработанные детально трудные участки соединяютъ между собою, ведя линію примѣнительно къ выбранному на основаніи рекогносцировокъ общему ея направленію. При подробныхъ изысканіяхъ линія должна быть точно промѣрена, пронивелирована и углы ея должны быть измѣрены точными угломѣрными инструментами. Изыскатель, ведя линію, долженъ, для возможности оріентироваться, ежедневно наносить на карту пройденный участокъ (по опредѣленнымъ на мѣстѣ румбамъ и длинѣ отдѣльныхъ прямыхъ), въ противномъ случаѣ онъ рискуетъ отступить значительно въ сторону отъ выбраннаго общаго направленія линіи.

Способъ веденія линіи при изысканіяхъ зависитъ отъ орографическихъ условій пересѣкаемой мѣстности.

Въ ровныхъ и открытыхъ мѣстахъ опытный изыскатель намѣчаетъ сразу линію, руководствуясь румбомъ общаго требуемаго ея направленія и дѣлая углы въ ту или другую сторону для обхода встрѣчающихся препятствій (строеній, глубокихъ овраговъ и проч.).

Въ мѣстности холмистой или же покрытой лѣсомъ приходится пробивать пробную линію, съ поперечными къ ней профилями, въ довольно значительномъ разстояніи другъ отъ друга. Промѣръ и нивелировка пробной линіи и профилей даютъ данныя для сужденія, насколько проектная линія должна быть отклонена отъ пробной линіи въ ту или другую сторону.

Проводя линію въ особенно трудной мѣстности, по крутымъ косогорамъ, а также при разработкѣ сплошныхъ подъемовъ, приходится предварительно снимать въ горизонталяхъ планъ мѣстности полосою извѣстной ширины, вдоль предполагаемаго направленія линіи; на планѣ этомъ намѣчаютъ тѣ точки, которыя отвѣчаютъ минимальнымъ работамъ, соотвѣтственно предполагаемому профилю проектируемой линіи и располагаютъ на планѣ линію такимъ образомъ, чтобы она прошла черезъ возможно большее количество намѣченныхъ точекъ, невыходя, конечно, изъ нормъ, предписанныхъ техническими условіями, касательно минимальныхъ радіусовъ кривыхъ и минимальной длины прямыхъ между ними вставокъ. Согласно спроектированнаго по плану въ горизонталяхъ направленія линіи, производится на мѣстѣ разбивка ея, промѣръ и нивелировка. Для съемки плана мѣстности въ горизонталяхъ примѣняется съ удобствомъ тахеометръ.

Трассировка линіи помощью плана въ горизонталяхъ примѣняется часто при проведеніи желѣзной дороги по крутымъ косогорамъ рѣкъ, особенно горныхъ; въ такомъ случаѣ необходимо осмотрѣть предварительно оба берега рѣки и изслѣдовать ихъ въ геологическомъ отношеніи для рѣшенія вопроса, который изъ нихъ является болѣе удобнымъ для проведенія желѣзной дороги; иногда случается, что поочередно то одинъ, то другой берегъ представляетъ извѣстныя преимущества для устройства желѣзно-

дорожнаго полотна; при такихъ условіяхъ можетъ оказаться выгоднымъ пересѣчь нѣсколько разъ рѣку для перехода съ одного ея берега на другой.

Пересѣченіе водораздѣловъ поперекъ, сопровождаемое длинными, сплошными подъемами и спусками, требуетъ обыкновенно болѣе тщательной разработки и представляетъ для изыскателя болѣе трудностей, сравнительно съ проведеніемъ линіи въ иныхъ случаяхъ. Намѣтивъ мѣсто пересѣченія перевала, слѣдуетъ вести линію отъ него въ обѣ стороны спусками, пользуясь для этой цѣли береговымъ косогоромъ рѣчки, имѣющей достаточно пологій уклонъ и соотвѣтственное направленіе; вести линію снизу вверхъ подъемомъ не такъ удобно, ибо въ такомъ случаѣ легко сбиться съ правильнаго направленія, повернувъ съ долины выбранной рѣчки въ долину какого-нибудь изъ ея притоковъ. Дабы уменьшить высоту вертикальнаго подъема линіи, слѣдуетъ пересѣчь вершину перевала выемкой; крутые горные хребты пересѣкаются обыкновенно тонелями.

Работы по изысканіямъ желѣзнодорожной линіи производятся отдѣльными партіями, каждой изъ коихъ поручается трассировка линіи въ предѣлахъ извѣстнаго участка проектируемой желѣзной дороги. Въ составъ партіи обыкновенно входитъ: а) Начальникъ партіи, который ведетъ линію, т.-е. намѣчаетъ ея направленіе и измѣряетъ углы поворота; при немъ десятникъ съ двумя рабочими для провѣшиванья линіи и одинъ рабочій для переноски угломѣрнаго инструмента. б) Пикетажистъ, который, слѣдуя по провѣшенной линіи, измѣряетъ ее (ставитъ пикеты черезъ 50 саженей, а равно также характерныя промежуточныя между ними точки) и разбиваетъ кривыя; при немъ двое рабочихъ съ цѣпью и одинъ съ кольями. в) Два нивелировщика, которые идутъ другъ за другомъ на нѣкоторомъ разстояніи и нивелируютъ линію по точкамъ, обозначеннымъ пикетажистомъ, а также устанавливаютъ реперы и снимаютъ поперечные профили; при каждомъ нивелировщикѣ имѣется трое рабочихъ, одинъ при нивелирѣ и двое съ рейками. Пикетажистъ долженъ вести пикетажную или ситуаціонную книжку и отмѣчать въ ней всѣ точки, обозначенныя кольями на мѣстѣ, реперы, углы поворота, начала и концы кривыхъ и проч.; въ той же книжкѣ вычерчивается отъ руки ситуаціонный планъ мѣстности въ предѣлахъ полосы, шириною около 30 саж. вдоль проектируемой желѣзнодорожной линіи; на ситуаціонномъ планѣ обозначаются: пересѣкаемые или близъ лежащіе дороги, рѣки, овраги, съ указаніемъ ихъ направленія, границы лѣсовъ, луговъ, полей, родъ грунта, расположеніе строеній, названіе деревень и вообще всѣ свѣдѣнія, могущія быть полезными при составленіи проекта и расцѣночной вѣдомости сооружаемой дороги.

Результаты обѣихъ нивелировокъ, основной и контрольной, должны подсчитываться ежедневно для свѣрки ихъ и исправленія, если окажутся разногласія. Равнымъ образомъ слѣдуетъ вычерчивать ежедневно, въ главныхъ чертахъ, рабочій профиль пройденнаго участка, для возможности судить, насколько удовлетворительно выбрано направленіе линіи и не слѣдуетъ ли сдѣлать въ немъ какихъ-нибудь измѣненій.

Для болѣе легкаго возстановленія впослѣдствіи намѣченной на мѣстѣ линіи, на углахъ ея поворота зарываются прочные столбы. Реперы ни-

велировочныхъ отмѣтокъ, располагаемые въ разстояніи около одной версты другъ отъ друга, устраиваются также въ видѣ прочно зарытыхъ въ землю столбовъ, или же за реперы принимаются какія-нибудь постоянныя точки, напримѣръ: каменные цоколя зданій, каменныя опоры мостовъ и т. п., если таковые имѣются вблизи проектируемой линіи.

При подробныхъ изысканіяхъ слѣдуетъ собрать данныя, необходимыя для составленія проектовъ водоснабженій станцій и для расчета отверстій искусственныхъ сооруженій.

29. Особыя условія и требованія, вліяющія на проектировку желѣзнодорожной линіи. Проведеніе дороги черезъ горные хребты; пересѣченіе рѣкъ, рельсовыхъ путей и шоссейныхъ дорогъ; расположеніе станцій. Проведеніе дороги черезъ горный хребетъ представляетъ значительныя затрудненія какъ въ отношеніи проектировки подъемовъ, такъ равно и пересѣченія вершины хребта; поэтому въ данномъ случаѣ требуются весьма тщательныя изысканія и сложные подсчеты для возможности выбрать удачное направленіе линіи.

Пересѣченіе вершины хребта устраивается обыкновенно помощью тонеля; чѣмъ выше выбранъ горизонтъ пересѣченія, тѣмъ короче тонель, но зато длиннѣе вся желѣзнодорожная линія; кромѣ того, эксплоатація желѣзной дороги, построенной на значительной высотѣ, можетъ встрѣтить крупныя затрудненія вслѣдствіе снѣжныхъ заносовъ; поэтому уровень пересѣченія хребта долженъ быть выбранъ, принимая во вниманіе какъ строительные, такъ и эксплоатаціонные расходы для проектируемой желѣзной дороги.

Альпійскіе хребты пересѣчены желѣзными дорогами на слѣдующихъ высотахъ надъ уровнемъ моря:

Simplontunnel	687 м.
Semmeringtunnel.	898 „
Gotthardtunnel	1145 „
Lötschbergtunnel	1244 „
Mont Cenistunnel.	1297 „
Arlbergtunnel .	1302 „
Brennerpass*) .	1373 „
Albulatunnel	1824 „

Въ Америкѣ горные хребты пересѣчены на значительно большихъ высотахъ, что зависитъ, конечно, отъ климатическихъ условій; желѣзныя дороги достигаютъ тамъ слѣдующей высоты надъ уровнемъ моря:

Denver—Rio Grande (С. А. С. Ш.)	3430 м.
Lima—Oroya (Перу)	4778 „

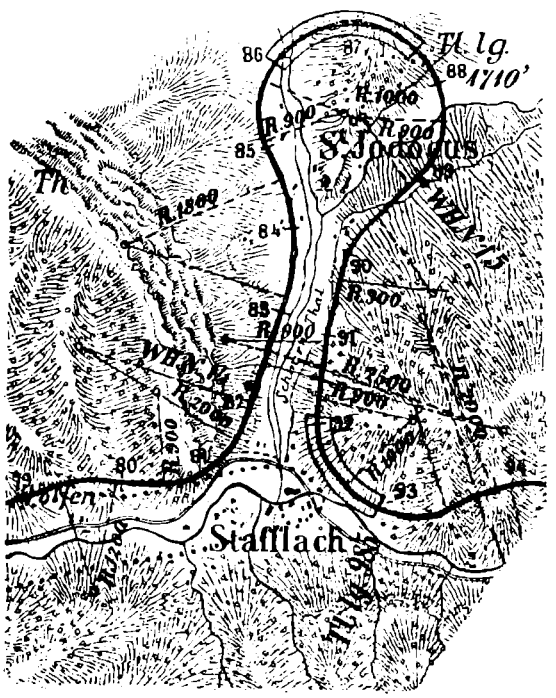
При проектировкѣ желѣзнодорожной линіи черезъ горные хребты должно быть обращено особое вниманіе на необходимость обезпечить рельсовый путь отъ опасности, представляемой движеніемъ снѣжныхъ лавинъ, каменными обвалами, а также дикими горными потоками; послѣдніе, во

*) Пересѣченіе подъ открытымъ небомъ.

время ливня, внезапно принимаютъ размѣры, опасные для устойчивости желѣзнодорожнаго полотна; для предупрежденія опасности, представляемой перечисленными факторами, лучше всего запроектировать линію въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ тонелями.

Пересѣченіе горнаго хребта сопровождается, конечно, длинными сплошными подъемами, для устроїства конхъ выбираются долины рѣкъ, какъ было уже упомянуто выше. Если при высотѣ вертикальнаго подъема h и длинѣ l долины, служащей для подъема, отношеніе $\frac{h}{l}$ не превосходитъ предѣльнаго допускаемаго склона, то проведеніе линіи не представляетъ су-

Чер. 85.



Развитіе линіи заходомъ въ долину Schmirn (Brennerbahn).

ществепныхъ затрудневій; въ противномъ случаѣ необходимо развить линію, т.-е. искусственно увеличить длину подъема, что въ извѣстныхъ случаяхъ можетъ быть сопряжено съ крупными работами и значительными техническими затрудненіями.

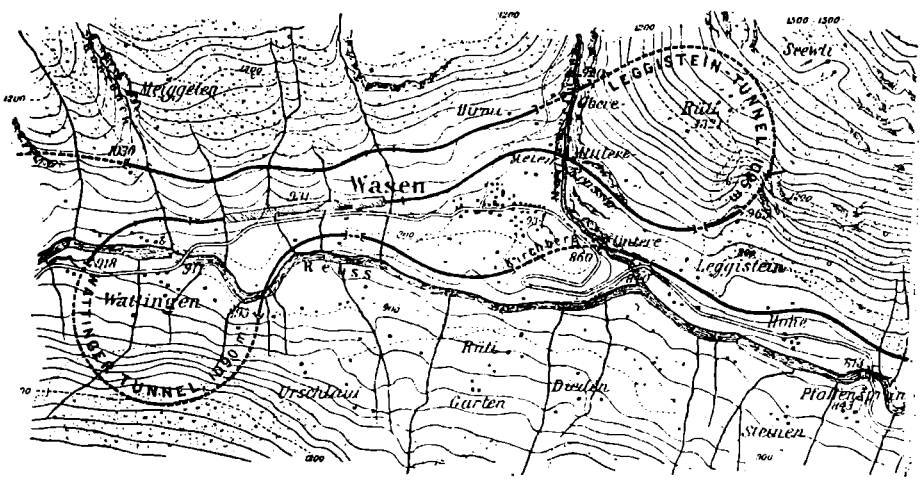
Развитіе линіи можетъ быть достигнуто различными способами, смотря по мѣстнымъ условіямъ.

Если требуется не очень значительное развитіе линіи, то для этой цѣли можетъ служить съ удобствомъ заходъ въ боковую долину какого-нибудь притока. На чер. 85 показано развитіе линіи Brennerbahn (въ Австріи черезъ Тирольскія Альпы) заходомъ въ долину Schmirn; линія поворачиваетъ изъ главной долины въ боковую долину, подымается по косогору послѣдней, затѣмъ пересѣкаетъ ее и, подымаясь далѣе по противо-

положному косогору, поворачиваетъ назадъ въ главную долину. Смотря по мѣстнымъ условіямъ, развитіе линіи можетъ быть запроектировано на обоихъ косогорахъ долины (чер. 85) или же только на одномъ ея склонѣ.

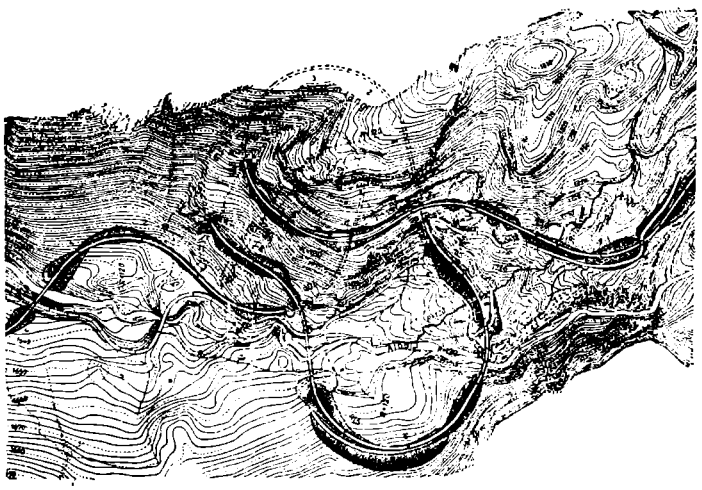
Болѣе значительное развитіе линіи можетъ быть достигнуто помощью петель. Примѣромъ подобнаго развитія могутъ служить изображенныя на чер. 86 петли у станціи Wasen на Gotthardbahn, съ сѣверной стороны

Чер. 86.



Развитіе линіи петлями у ст. Wasen (Gotthardbahn).

Чер. 87.



Развитіе линіи спиралями около Naz (Albulabahn).

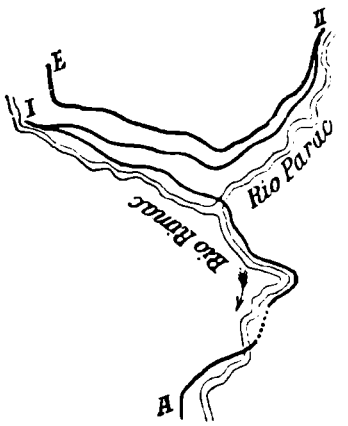
Готардскаго тонеля; линія подымается берегомъ рѣчки Reuss, пока это возможно, въ зависимости отъ горизонта воды въ послѣдней и уровня желѣзнодорожнаго полотна; затѣмъ линія поворачиваетъ въ обратномъ направленіи, подымаясь по косогору рѣчки и, пройдя нѣкоторое разстояніе, опять поворачиваетъ, слѣдуя въ первоначальномъ направленіи; такимъ

образомъ по косогору рѣчной долины проложены на нѣкоторомъ протяженіи три линіи въ разныхъ уровняхъ.

Въ узкихъ долинахъ съ крутыми берегами, гдѣ устройство петель затруднительно, развитіе желѣзнодорожной линіи достигается помощью спиралей, при чемъ линія дѣлаетъ полные обороты со взаимными пересѣченіями; послѣдніе устраиваются посредствомъ віадуковъ или тонелей. На чер. 87 изображено развитіе спиралями линіи Albulabahn у сѣвернаго подхода къ тонелю Albula въ Швейцаріи; спирали проложены по косогорамъ на берегахъ рѣчки Albula, при чемъ взаимное пересѣченіе линій запроектировано помощью тонелей.

Наконецъ, развитіе линіи можетъ быть достигнуто помощью обратныхъ тупиковъ. На чер. 88 изображенъ подобный способъ развитія линіи въ примѣненіи на желѣзной дорогѣ Lima—Oroya въ Перу; разстояніе между точками *A* и *E* по прямому направленію 2, 4 клм., а по направленію проложенной желѣзнодорожной линіи (*A I II E*) — 8 клм. Развитіе линіи, помощью обратныхъ тупиковъ, является дешевымъ способомъ рѣшенія вопроса, но неудобство его для эксплоатаціи заключается въ присутствіи тупиковыхъ станцій (I—II чер. 88), гдѣ поѣзда должны останавливаться и мѣнять направленіе своего движенія.

Чер. 88.



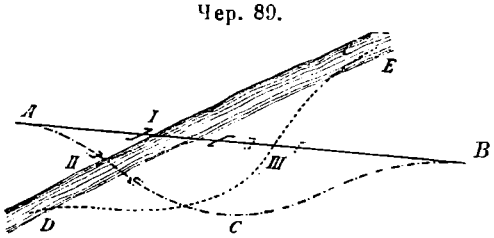
Развитіе линіи помощью обратныхъ тупиковъ (Lima—Oroya).

Линію пересѣченія рѣки слѣдуетъ назначать по возможности нормально къ ея теченію, ибо при этомъ условіи длина искусственнаго сооруженія получится, очевидно, минимальной; мѣсто пересѣченія необходимо избирать въ прямой части рѣки, избѣгать, по возможности, колѣнъ, крутыхъ поворотовъ и вообще всѣхъ такихъ мѣстъ, гдѣ замѣтны отклоненія теченія рѣки къ одному изъ ея береговъ, ибо мѣста эти опасны въ отношеніи подмывовъ и могутъ потребовать устройства дорого стоящихъ регуляціонныхъ дамбъ. Рѣку слѣдуетъ пересѣкать, по возможности, въ самой узкой ея части, съ высокими берегами, для уменьшенія длины дамбъ по разливу. Наконецъ, на выборъ мѣста для перехода рѣки можетъ существенно повліять геологическое строеніе ея береговъ и русла, отъ котораго зависитъ въ сильной степени стоимость опоръ искусственнаго сооруженія; поэтому при изысканіяхъ, въ мѣстахъ переходовъ всѣхъ болѣе значительныхъ рѣкъ, должны быть сдѣланы надлежащія геологическія изслѣдованія помощью буренія. Указанныя соображенія, относительно перехода рѣкъ тѣмъ строже должны быть принимаемы во вниманіе, чѣмъ больше размѣры предполагаемаго для пропуска водъ искусственнаго сооруженія; незначительные рѣчки и овраги, воды коихъ пропускаются помощью малыхъ мостиковъ, каменныхъ или даже чугунныхъ трубъ, не могутъ, конечно, оказать существеннаго вліянія на выборъ направленія линіи.

При переходѣ рѣкъ слѣдуетъ избѣгать косыхъ пересѣченій, во-первыхъ потому, что при косомъ пересѣченіи длина моста болѣе той величины,

которая необходима для пропуска водъ, а во-вторыхъ потому, что при косыхъ мостахъ устройство проѣзжей части и укладка пути затруднительны; если-же, при косомъ пересѣченіи рѣки, устраивать прямой мостъ, то, во-первыхъ, длина моста увеличивается чрезмѣрно, а во-вторыхъ, такое рѣшеніе возможно лишь для однопролетныхъ мостовъ, во избѣжаніе загроможденія русла рѣки промежуточными опорами моста. Если общее направленіе желѣзнодорожной линіи пересѣкаетъ рѣку подъ острымъ угломъ (чер. 89), то, для избѣжанія устройства косого моста *I*, слѣдуетъ либо отклонить

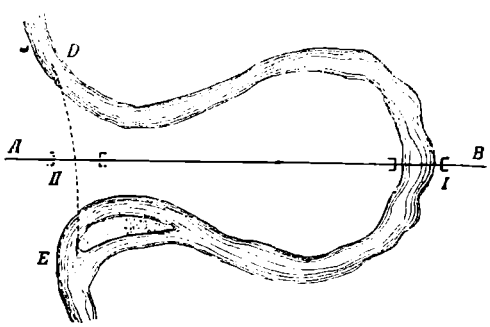
Чер. 89.



линію по направленію *A C B*, съ устройствомъ моста въ пунктѣ II, либо отвести русло рѣки по направленію *D III E*, съ устройствомъ моста въ пунктѣ III; если отводъ русла рѣки возможенъ по мѣстнымъ условіямъ, то такое рѣшеніе вопроса удобно еще и въ томъ отношеніи, что удешевляется стоимость устройства фундаментовъ для опоръ моста при производствѣ работъ на сухомъ мѣстѣ.

Если проектируемая линія *A B* пересѣкаетъ рѣку въ излучинѣ (чер. 90), то взамѣнъ устройства моста въ пунктѣ I, можетъ оказаться раціональнымъ спрямить теченіе рѣки по направленію *D E* съ устройствомъ моста

Чер. 90



въ пунктѣ II; благодаря подобному спрямленію русла, избѣгается опасность подмывовъ желѣзнодорожнаго полотна отъ продольныхъ теченій, а также подмывовъ русла и конусовъ моста, могущихъ произойти отъ подпора воды при ледянныхъ зажорахъ въ излучинѣ и отъ водоворотовъ при криволинейномъ направленіи теченія воды въ руслѣ. Надлежащимъ отводомъ русла можно избѣжать въ извѣстныхъ случаяхъ двухкратнаго пересѣченія рѣки и уменьшить, благодаря этому, расходы по сооруженію дороги. При отводѣ русла увеличивается или уменьшается естественный уклонъ рѣки въ данномъ мѣстѣ; обстоятельство это, могущее въ извѣстныхъ случаяхъ повлечь

за собою нежелательныя послѣдствія, должно быть принято во вниманіе при проектировкѣ перехода черезъ рѣки.

Профиль желѣзнодорожнаго полотна, въ мѣстѣ пересѣченія рѣки, долженъ быть спроектированъ съ такимъ расчетомъ, чтобы возвышеніе низа фермъ надъ горизонтомъ какъ низкихъ, такъ и высокихъ водъ, отвѣчало условіямъ судоходства или сплава, если таковые имѣются на данной рѣкѣ. Если, по мѣстнымъ условіямъ, затруднительно запроектировать желѣзнодорожное полотно на той высотѣ надъ горизонтомъ водъ, которая удовлетворяла-бы требованіямъ судоходства, то въ такомъ случаѣ устраиваются мосты съ разводными пролетами.

Пересѣченіе проектируемой линіи съ существующими желѣзными дорогами, а также и шоссейными первостепеннаго значенія, не можетъ быть сдѣлано въ уровень, а посредствомъ віадуковъ для того, чтобы движеніе по пересѣкающимся дорогамъ могло происходить независимо, не стѣсняя другъ друга.

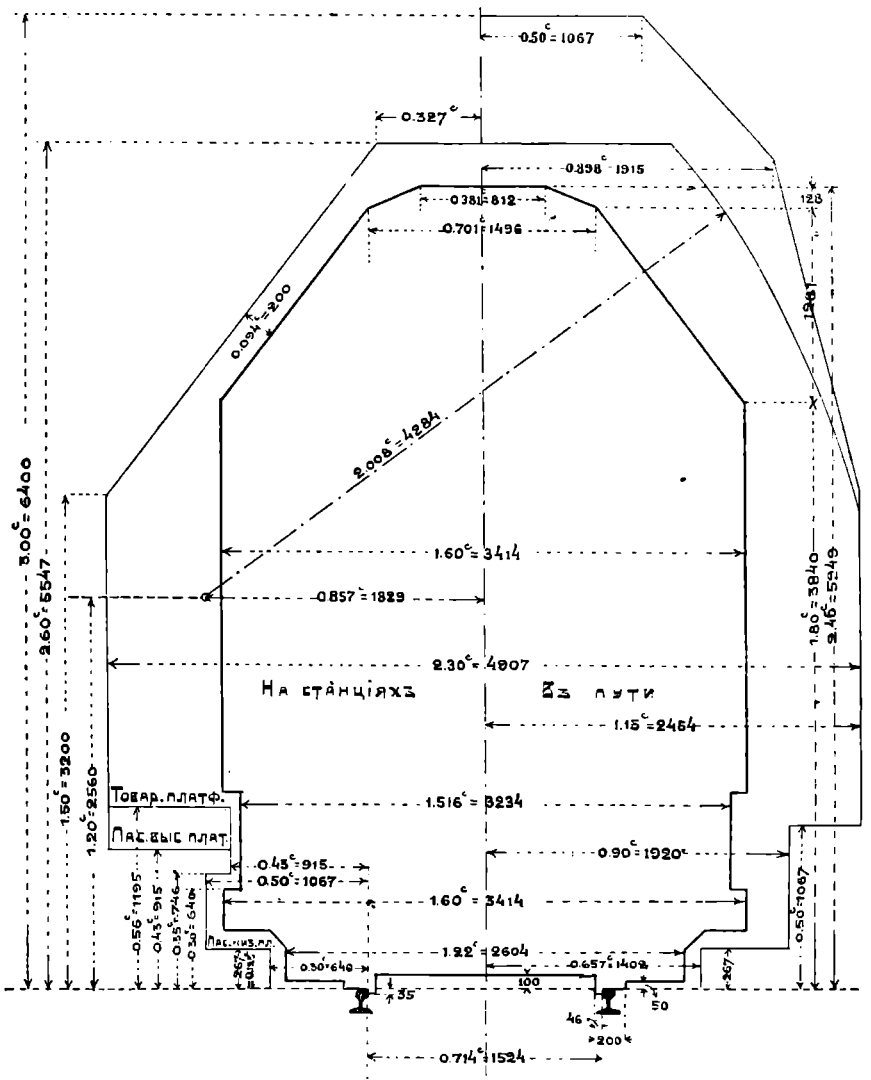
Наивыгоднѣйшій способъ пересѣченія, т.-е. проведеніе проектируемой линіи надъ существующими желѣзными и шоссейными дорогами или же подъ таковыми, зависитъ, конечно, отъ мѣстныхъ условій. Особенно тщательно долженъ быть разработанъ, въ этомъ отношеніи, проектъ линіи въ предѣлахъ городовъ, при чемъ городскія улицы должны быть пересѣчены помощью віадуковъ, или же желѣзнодорожная линія должна быть запроектирована въ тонелѣ подъ городскими улицами. Обыкновенныя грунтовыя дороги могутъ быть пересѣкаемы въ уровень, но, и въ этомъ случаѣ, ради безопасности желѣзнодорожнаго движенія и избѣжанія излишнихъ задержекъ для проѣзжающихъ экипажей, слѣдуетъ устраивать віадуки, если только это возможно, по мѣстнымъ условіямъ, безъ слишкомъ крупныхъ затратъ. Проектируя пересѣченіе віадукомъ желѣзнодорожной или шоссейной дороги, необходимо обращать вниманіе на возможность отвода воды отъ полотна нижележащей дороги.

Для обезпеченія безпрепятственнаго прохода поѣздовъ, необходимо, чтобы всѣ части желѣзнодорожныхъ сооруженій не выступали за извѣстные установленные предѣлы разстояній означенныхъ сооруженій отъ рельсовъ пути; предѣльное очертаніе, далѣе коего не могутъ выступать части желѣзнодорожныхъ сооруженій, называется—*габаритомъ приближенія строеній*. Съ другой стороны желѣзнодорожный подвижной составъ не долженъ выступать за предѣлы извѣстнаго установленнаго очертанія, называемаго *габаритомъ подвижного состава*. Между габаритами подвижного состава и приближенія строеній имѣется нѣкоторое разстояніе, необходимое на случай открытія дверей у вагоновъ, боковой качки подвижного состава, для безопасности выглядывающихъ изъ оконъ пассажировъ, а также служебнаго персонала.

На чер. 91 показанъ габаритъ подвижного состава и приближенія строеній для жел. дор. русской нормальной колеи ($5' = 1524$ м.м.); съ правой стороны чертежа показанъ габаритъ приближенія строеній въ пути на перегонахъ, а съ лѣвой стороны—на станціяхъ; изъ двухъ линій приближенія строеній въ пути, показанныхъ на правой сторонѣ чертежа, нижняя относится къ каменнымъ и металлическимъ мостамъ, а верхняя—къ деревян-

пымъ мостамъ, которые должны быть выше подняты надъ рельсами для большей безопасности въ пожарномъ отношеніи; верхняя наклонная линія, показанная съ лѣвой стороны чертежа, ограничиваетъ предѣлъ приближенія стропилъ и свѣсовъ крышъ на станціяхъ; нижняя часть очертанія габарита приближенія строеній на станціяхъ (лѣвая сторона чертежа) показываетъ

Чер. 91.



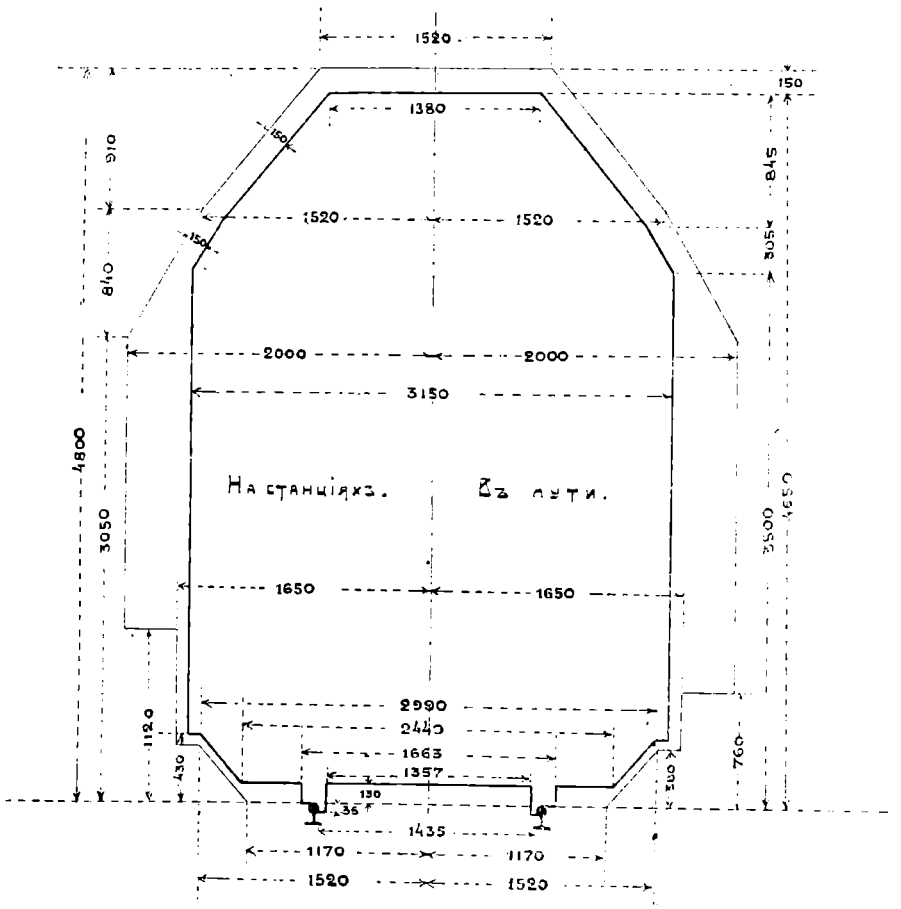
Габаритъ для жел. дорогъ Русской нормальной колеи.

возможные предѣлы приближенія къ пути пассажирскихъ и товарныхъ платформъ.

На чер. 92 показанъ габаритъ подвижного состава и приближенія строеній для жел. дор. нормальной колеи (1435 м.м.) германскаго желѣзнодорожнаго союза; съ правой стороны чертежа показанъ габаритъ приближенія строеній въ пути на перегонахъ, а съ лѣвой стороны—на станціяхъ.

Въ кривыхъ частяхъ пути, габаритъ приближенія строеній долженъ быть увеличенъ, въ зависимости отъ радіуса кривой и длины вагона или паровоза, съ такимъ расчетомъ, чтобы разстояніе отъ строеній любой части расположеннаго въ кривой подвижного состава было не менѣе указанныхъ выше предѣловъ; кромѣ того, въ кривыхъ должно быть принято во вниманіе уширеніе колеи и возвышеніе наружнаго рельса.

Чер. 92.



Габаритъ для жел. дор. нормальной колеи Германскаго желѣзнодорожнаго Союза.

Проектируя пересѣченіе желѣзнодорожныхъ линій віадукомъ, необходимо назначать горизонтъ полотна такимъ образомъ, чтобы, при намѣченной системѣ пролетнаго строенія, могли быть соблюдены требованія габарита приближенія строеній. Что же касается минимальной высоты проѣзда подъ желѣзнодорожнымъ путепроводомъ, устраиваемымъ для пропуска шоссейной или грунтовой дороги, то таковая для русскихъ жел. дорогъ установлена въ 2 сажени.

На желѣзной дорогѣ должны быть устроены станціи во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ этого требуютъ коммерческія соображенія; кромѣ того макси-

мальное разстояніе между отдѣльными станціями ограничивается извѣстнымъ предѣломъ, въ зависимости отъ пропускной способности дороги и потребностей водоснабженія, о чемъ будетъ сказано болѣе подробно ниже. Поэтому изыскатель долженъ вести линію такимъ образомъ, чтобы возможно было расположить станціи въ надлежащихъ мѣстахъ и чтобы разстоянія между ними не превосходили допускаемаго предѣла. Станціи слѣдуетъ располагать по возможности вблизи городовъ, заводовъ, большихъ селеній и вообще вблизи всѣхъ тѣхъ мѣстъ, которыя могутъ питать желѣзнодорожное движеніе грузами и пассажирами. Станціонныя площадки занимаютъ нерѣдко значительное протяженіе какъ въ продольномъ, такъ и въ поперечномъ направленіи, почему, во избѣжаніе слишкомъ крупныхъ расходовъ для ихъ устройства, необходимо располагать станціи на ровныхъ мѣстахъ, приближая, по возможности, проектный профиль къ естественному профилю мѣстности. Наконецъ, для станцій должны быть выбираемы такія мѣста, вблизи коихъ имѣются хорошіе источники водоснабженія.

Станціи должны быть располагаемы на площадкахъ и въ прямыхъ частяхъ пути. Расположеніе станціи въ кривой неудобно, во-первыхъ потому, что укладка стрѣлочныхъ переводовъ, соединяющихъ станціонные пути между собою, затруднительна, а, во-вторыхъ, и это самое главное, потому, что станціонные пути, ограждающіе ихъ сигналы и маневрирующіе составы видны на короткомъ лишь разстояніи, ибо они закрываются станціонными зданіями, деревьями и другими предметами; обстоятельство это имѣетъ существенное значеніе для безопасности движенія; если по мѣстнымъ условіямъ расположеніе станціи на кривой неизбѣжно, то предпочтительнѣе помѣщать кривую въ средней части станціи, а концы послѣдней проектировать на прямыхъ. Необходимость располагать станцію на площадкѣ вызывается слѣдующими мотивами: троганіе съ мѣста въ подъемъ поѣзда, остановившагося на наклонной станціи, было бы затруднительно и могло-бы сопровождаться разрывомъ вагонныхъ сцѣпокъ, ибо паровозъ, при троганіи, долженъ бы былъ преодолѣть не только сопротивленіе движенію поѣзда, но и силу инерціи всего состава, между тѣмъ какъ въ случаѣ площадки, паровозъ можетъ, при троганіи поѣзда, подавшись нѣсколько назадъ, нажать буфера вагоновъ, послѣ чего, трогая съ мѣста составъ, онъ преодолѣваетъ силу инерціи вагоновъ одного за другимъ постепенно. Производство маневровъ съ поѣздными составами на наклонныхъ путяхъ представляло-бы затрудненія. Вагоны, стоящіе на наклонныхъ путяхъ станціи, могли-бы придти въ движеніе отъ толчка или давленія вѣтра и, продолжая движеніе подъ вліяніемъ силы тяжести, уйти со станціи, особенно если уклонъ путей превосходилъ-бы величину 0,0025 — равную, примѣрно, коэффиціенту сопротивленія движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути. Длина станціонной площадки зависитъ отъ количества и расположенія станціонныхъ путей и отъ длины ихъ; длина станціонныхъ путей опредѣляется, въ свою очередь, длиною состава поѣздовъ, который зависитъ отъ максимальнаго подъема и минимальнаго радіуса кривыхъ, допущенныхъ для данной желѣзной дороги.

Что касается подходовъ къ станціи, то таковые удобнѣе всего располагать на пологихъ подъемахъ; въ такомъ случаѣ подходящій къ станціи

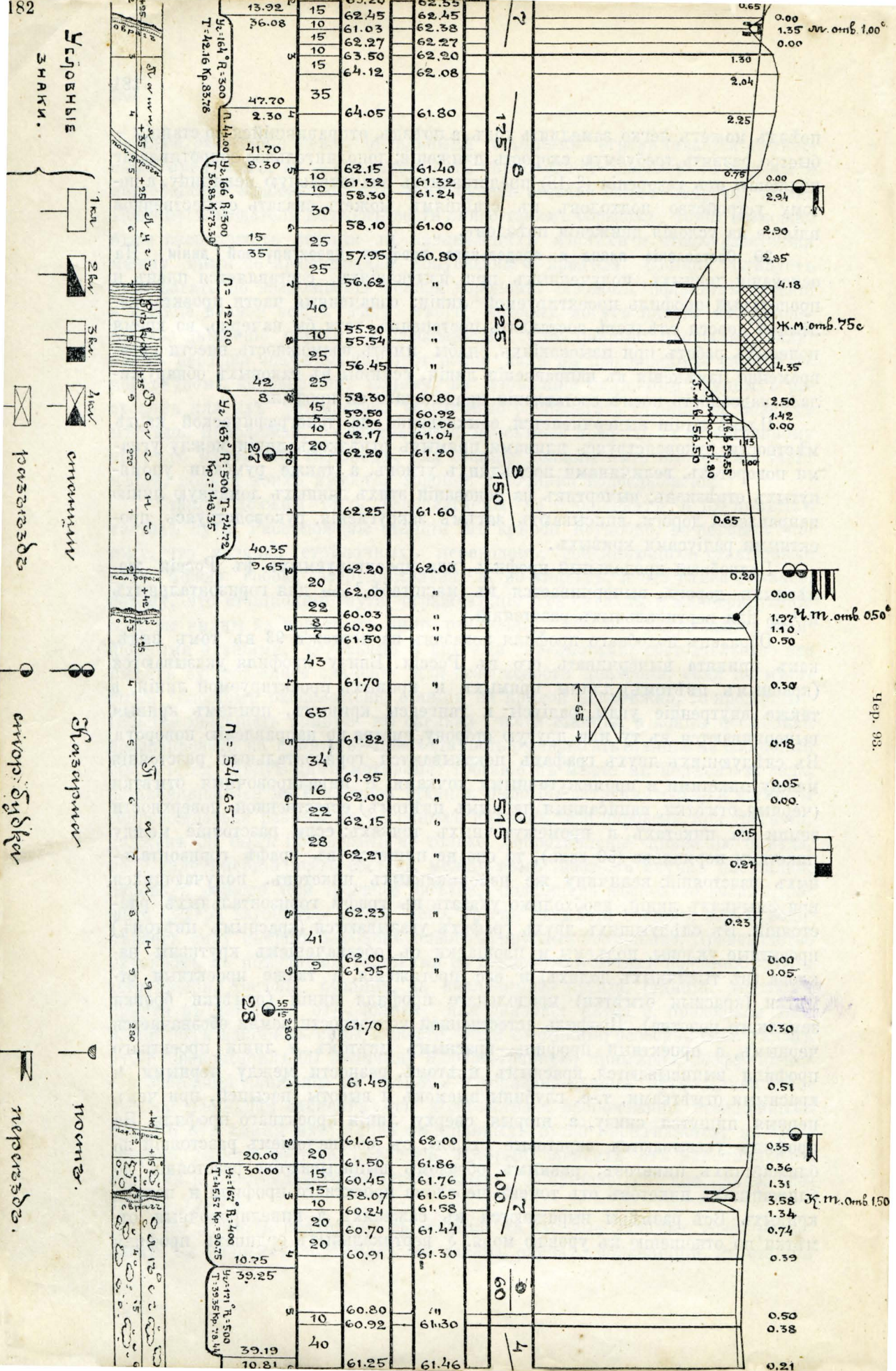
поѣздъ можетъ легко замедлить ходъ, а поѣздъ, отправившійся со станціи — быстро развить требуемую скорость движенія; дополнительное сопротивленіе движенію отъ ускоренія (§ 18) представляетъ значительную величину, а потому устройство подходовъ къ станціямъ можетъ оказать существенное вліяніе на условія движенія поѣздовъ.

30. **Составленіе плана и продольнаго профиля проектируемой линіи.** На основаніи данныхъ, полученныхъ при изысканіяхъ, составляется планъ и продольный профиль проектируемой линіи; означенныя части проекта желѣзной дороги слѣдуетъ составлять постепенно, хотя бы начерно, во время полевыхъ работъ при изысканіяхъ, дабы имѣть возможность внести своевременно измѣненія въ направленіи линіи, если-бы въ таковыхъ обнаружилась надобность послѣ составленія продольнаго ея профиля.

Планъ линіи вычерчивается обыкновенно на топографической картѣ мѣстности, руководствуясь длинами прямыхъ отрѣзковъ линіи между углами поворотовъ, величинами послѣднихъ угловъ, а также румбами упомянутыхъ отрѣзковъ; вычертивъ на основаніи этихъ данныхъ ломанную линію направленія дороги, вписываютъ затѣмъ закругленія, руководствуясь проектными радіусами кривыхъ.

Подробный продольный профиль, для проектируемыхъ въ Россіи желѣзныхъ дорогъ, вычерчивается въ масштабѣ $^1/_{10000}$ для горизонтальныхъ и $^1/_{1000}$ для вертикальныхъ разстояній.

Образецъ подобнаго профиля показанъ на чертежѣ 93 въ томъ видѣ, какъ принято вычерчивать его въ Россіи. Внизу профиля указываются (краснымъ цвѣтомъ) длины прямыхъ и кривыхъ проектируемой линіи, а также внутренніе углы, радіусы и тангенсы кривыхъ, причемъ кривыя вычерчиваются въ ту или другую сторону, смотря по направленію поворота. Въ слѣдующихъ двухъ графахъ показываются горизонтальныя разстоянія между пикетами и промежуточными точками и нивелировочныя отмѣтки (черныя отмѣтки, написанныя чернымъ цвѣтомъ) естественной поверхности земли на пикетахъ и промежуточныхъ точкахъ; если разстояніе между пикетами нормально (50 саж.), то оно не пишется въ графѣ горизонтальныхъ разстояній; величину же ненормальныхъ пикетовъ, получающихся при смычкахъ линій, необходимо указать въ графѣ горизонтальныхъ разстояній. Въ слѣдующихъ двухъ графахъ указываются (краснымъ цвѣтомъ) проектные уклоны, подъемы и площадки съ обозначеніемъ крутизны наклона (въ тысячныхъ доляхъ) и его протяженія, а также проектныя отмѣтки (красныя отмѣтки) продольнаго профиля линіи (отмѣтки бровки земляного полотна). Профиль естественной поверхности земли обозначается чернымъ, а проектный профиль—краснымъ цвѣтомъ. У линіи проектнаго профиля выписываются, краснымъ цвѣтомъ, разности между черными и красными отмѣтками, т.-е. глубины выемокъ и высоты насыпей, при чемъ первыя пишутся снизу, а вторыя сверху линіи проектнаго профиля. На профилѣ указываются верстовые столбы, съ обозначеніемъ разстояній до ближайшихъ пикетовъ; равнымъ образомъ выписываются разстоянія до ближайшихъ пикетовъ отъ точекъ перелома проектнаго профиля и начала кривыхъ. Всѣ размѣры выражаются въ саженяхъ, а нивелировочныя отмѣтки по отношенію къ уровню моря. У вертикальныхъ ординатъ профиля


Условные знаки.
1 кл.
2 кл.
3 кл.
станции
границы
Казанская
Сызрань
почт.
переезд.
Ур 164° R=300 T=42.16 Кр.83.78
Ур 166° R=300 T 56.83 К=73.30
П = 127.00
Ур 163° R=500 T=74.72 Кр.=146.35
П = 544.65
Ур 162° R=400 T=45.57 Кр.=90.25
Ур 121° R=500 T=39.35 Кр.=78.44
175 / 8
0 / 125
8 / 150
0 / 515
7 / 100
8 / 60
4
Ж.М. отв. 1,00
Ж.М. отв. 75с
Ж.М. отв. 050
Ж.М. отв. 150
Ж.М. отв. 56.50
Ж.М. отв. 57.80
Ж.М. отв. 59.55
Пер. 93.

выписываются названія пересѣкаемыхъ рѣкъ и дорогъ. У линіи естественнаго грунта и проектной обозначаются въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ проектируемыя искусственныя сооруженія, съ указаніемъ ихъ отверстія, а также горизонтовъ низкихъ и высокихъ водъ (синимъ цвѣтомъ). Выше проектной линіи обозначается условными знаками (краснымъ цвѣтомъ) положеніе станцій, переѣздовъ въ уровнѣ рельсовъ и линейныхъ зданій (казармъ, и сторожевыхъ домовъ), а надъ профилемъ выписываются названія встрѣчаемыхъ по линіи желѣзной дороги селеній, а также границы губерній, уѣздовъ и проч. Въ самомъ низу профиля помѣщается ситуаціонный планъ полосы, прилегающей къ желѣзной дорогѣ, съ указаніемъ пересѣкаемыхъ рѣкъ, дорогъ, границъ полей, луговъ, лѣсовъ и проч. Для большей наглядности профиля, выемки окрашиваются въ желтый, а насыпи въ красный цвѣтъ.

Кромѣ подробнаго продольнаго профиля, составляется еще сокращенный продольный профиль въ масштабѣ $^1/_{50000}$ для горизонтальныхъ и $^1/_{1000}$ для вертикальныхъ разстояній.

ГЛАВА VII.

Техническія условія проектированія желѣзныхъ дорогъ.

31. Выборъ уклоновъ и кривыхъ. Предѣльный, фиктивный и расчетный подъемъ. Безвредные и вредные уклоны. Потерянный уклонъ. Наибольшій допускаемый подъемъ, т.-е. предѣльный подъемъ, и наименьшій радіусъ кривыхъ назначаются для данной проектируемой желѣзной дороги, въ зависимости отъ ея значенія и характера пересѣкаемой ею мѣстности. Чѣмъ выше допущенные уклоны и круче кривыя на данной дорогѣ, тѣмъ болѣе сопротивленіе движенію поѣздовъ и выше эксплотаціонные расходы; съ другой стороны крутые уклоны и кривыя даютъ возможность согласовать ближе профиль дороги съ конфигураціей мѣстности, т.-е. уменьшить расходы по возведенію земляного полотна и искусственныхъ сооруженій, а равно позволяютъ, въ извѣстныхъ случаяхъ, сократить длину линіи. Самое выгодное рѣшеніе вопроса состоитъ очевидно въ выборѣ такихъ уклоновъ и кривыхъ, при коихъ сумма стоимости сооруженія и капитализированныхъ, ежегодныхъ, эксплоатаціонныхъ расходовъ данной линіи получится наименьшей.

Изъ сказаннаго ясно, что при сооруженіи магистральныхъ линій, со значительными размѣрами ожидаемаго движенія, слѣдуетъ примѣнять болѣе легкія техническія условія, чѣмъ при сооруженіи второстепенныхъ линій или подъѣздныхъ путей; на дорогахъ въ гористой мѣстности должны быть допущены болѣе крутые уклоны и кривыя, чѣмъ на дорогахъ, прокладываемыхъ въ равнинныхъ мѣстахъ.

Крутые уклоны и кривыя удорожаютъ эксплоатацію желѣзной дороги главнымъ образомъ потому, что изъ-за нихъ приходится уменьшать составъ поѣзда, какъ это ясно изъ приведенныхъ выше расчетовъ (§ 20); поэтому приходится увеличивать число поѣздовъ, необходимое для перевозки даннаго количества грузовъ, вмѣстѣ съ чѣмъ возрастаютъ тѣ эксплоатаціонные расходы, кои пропорціональны числу обращающихся поѣздовъ, а равно увеличивается процентъ безполезно передвигаемаго груза (вѣсъ паровоза и тендера); кромѣ того съ увеличеніемъ подъемовъ и уменьшеніемъ радіусовъ кривыхъ, уменьшается пропускная способность дороги. Что же касается работы, которую необходимо затратить для передвиженія груза изъ одной точки въ другую, то таковая, вообще говоря, не зависитъ отъ уклона линіи, соединяющей означенныя точки, а лишь отъ относительной высоты послѣднихъ; такъ, если при относительной высотѣ h двухъ точекъ, мы соединимъ ихъ одной линіей длиною l_1 съ уклономъ i_1 и другой линіей длиною l_2 съ уклономъ i_2, при чемъ $i_1 = \frac{h}{l_1}$, $i_2 = \frac{h}{l_2}$, то работа, соотвѣт-

ствующая дополнительному сопротивленію отъ подъема и необходимая для передвиженія груза P изъ одной точки въ другую, будетъ равна въ обоихъ случаяхъ величинѣ Ph, ибо: $Pi_1 l_1 = Pi_2 l_2 = Ph$. Равнымъ образомъ можно считать, что работа, соотвѣтствующая дополнительному сопротивленію отъ кривой и необходимая для передвиженія даннаго груза при поворотѣ изъ одного направленія въ другое, не зависитъ отъ радіуса кривой, а лишь отъ угла поворота; если R — радіусъ круговой кривой въ метрахъ и α центральный ея уголъ въ градусахъ, то длина кривой равна $\frac{\pi}{180}\ \alpha\ R$, дополнительное же сопротивленіе отъ кривой можетъ быть опредѣлено по формулѣ (71) выраженіемъ: $W_2 = \frac{750}{R}$ (въ килограммахъ на тонну вѣса); слѣдовательно работа, соотвѣтствующая дополнительному сопротивленію отъ кривой на всемъ ея протяженіи, опредѣлится выраженіемъ (въ килограммометрахъ на тонну вѣса поѣзда):

$$\frac{\pi}{180}\ \alpha\ R\ \frac{750}{R} = \frac{750\ \pi\alpha}{180} = 13\ \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (134).$$

Дополнительное сопротивленіе движенію характеризуется величиною подъема и радіуса кривой. Воображаемый подъемъ, представляющій такое-же сопротивленіе, какъ и дѣйствительный подъемъ съ кривой на данномъ участкѣ, взятые вмѣстѣ, называется *фиктивнымъ* подъемомъ. Если данный участокъ расположенъ на подъемѣ i и въ кривой радіуса R м., то, опредѣляя дополнительное сопротивленіе движенію отъ кривой по формулѣ Рекля (§ 17), получимъ фиктивный подъемъ i_0 участка:

$$i_0 = i + \frac{0{,}650}{R - 55} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (135)$$

Такъ, напримѣръ, фиктивный подъемъ участка, расположеннаго на подъемѣ 0,008 и въ кривой радіуса 300 саж. равенъ:

$$i_0 = 0{,}008 + \frac{0{,}650}{640 - 55} = 0{,}0091;$$

для прямыхъ участковъ фиктивный подъемъ равенъ дѣйствительному подъему.

Фиктивный подъемъ, по которому опредѣляется наибольшій составъ поѣзда, могущій обращаться на данной линіи или ея участкѣ, называется *расчетнымъ* подъемомъ. За расчетный подъемъ обыкновенно принимается наибольшій фиктивный подъемъ, встрѣчающійся на данной дорогѣ или ея участкѣ; въ исключительныхъ случаяхъ допускаются подъемы круче расчетнаго, но на небольшомъ лишь протяженіи, о чемъ будетъ сказано ниже болѣе подробно.

Если расчетный подъемъ равенъ i_0, то дѣйствительный предѣльный подъемъ i можетъ достигать величины:
на прямыхъ участкахъ линіи $i = i_0$
на кривыхъ „ „ $i = i_0 - \frac{0{,}650}{R - 55}$.

Если количество грузовъ, перевозимыхъ по желѣзной дорогѣ въ томъ и другомъ направленіи различно, то можетъ оказаться раціональнымъ назначить для грузового направленія болѣе пологій предѣльный, а слѣдовательно и расчетный подъемъ, чѣмъ для обратнаго направленія, въ которомъ будутъ двигаться болѣе легкіе поѣзда, состоящіе частью изъ груженыхъ, а частью изъ порожнихъ вагоновъ. Пусть въ грузовомъ направленіи перевозится P_1 пудовъ груза brutto (включая тару подвижного состава), а въ направленіи теченія порожнихъ вагоновъ — P_2 пудовъ, предѣльные же подъемы для того и другого направленія равны соотвѣтственно i_1 и i_2; называя W_1 и W_2 сопротивленіе на прямомъ горизонтальномъ пути и дополнительное сопротивленіе отъ кривой, получимъ полное сопротивленіе движенію для того и другого направленія: $i_1 + W_1 + W_2$ и $i_2 + W_1 + W_2$. Требованія эксплоатаціи будутъ удовлетворены, если сопротивленія движенію будутъ обратно пропорціональны вѣсу поѣздовъ того и другого направленія; слѣдовательно:

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{i_2 + W_1 + W_2}{i_1 + W_1 + W_2}, \text{ откуда}$$

$$i_1 = \frac{P_1}{P_2}(i_1 + W_1 + W_2) - W_1 - W_2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (136)$$

Положимъ для примѣра, что $i_1 = 0{,}008$; наименьшій радіусъ кривыхъ 300 саж., а слѣдовательно $W_2 = 0{,}0011$; при скорости движенія товарныхъ поѣздовъ около 30 $\frac{\text{кл.}}{\text{ч.}}$ можно считать $W_1 = 0{,}0033$; пусть въ грузовомъ направленіи ходятъ товарные поѣзда въ составѣ 40 крытыхъ вагоновъ по 20 тоннъ каждый, при паровозѣ русскихъ казенныхъ дорогъ типа 1—4—0 съ четырехоснымъ тендеромъ, а въ обратномъ направленіи—поѣзда въ томъ же составѣ, но съ вагонами на половину груженными, а на половину порожними; при указанныхъ условіяхъ получимъ:

$$P_1 = 930 \text{ тон.} \quad P_2 = 670 \text{ тон.}$$

$$i_2 = \frac{930}{670} \times 0{,}0124 - 0{,}0044 = 0{,}0128.$$

Въ тоннеляхъ необходимо уменьшать предѣльный подъемъ сравнительно съ открытыми участками линіи, ибо въ первомъ случаѣ меньше коэффиціентъ сцѣпленія колесъ съ рельсами, кои находятся постоянно въ сыромъ состояніи отъ пара, выпускаемаго паровозомъ, и влаги, просачивающейся сквозь сводъ и стѣны тоннеля. Полагая, для открытыхъ участковъ пути, коэффиціентъ сцѣпленія колесъ съ рельсами, предѣльный подъемъ, сопротивленіе на прямомъ и горизонтальномъ пути и дополнительное сопротивленіе отъ кривой равными соотвѣтственно: $f_1 i_1 W_1 W_2$, а тѣ же величины для тоннеля $f_2 i_2 W_1 W_2$, можемъ написать равенство:

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{i_1 + W_1 + W_2}{i_2 + W_1 + W_2}, \text{ откуда}$$

$$i_2 = \frac{f_2}{f_1}(i_1 + W_1 + W_2) - W_1 - W_2,$$

полагая $f_1 = 1/5$ $f_2 = 1/7$, находимъ:

$$i_2 = 0{,}7(i_1 + W_1 + W_2) - W_1 - W_2 \quad \ldots\ldots\ldots (137)$$

Подъемъ, представляющій сопротивленіе движенію въ одномъ направленіи, служитъ при обратномъ направленіи движенія (уклонъ) источникомъ движущей силы; поѣздъ, взбираясь на подъемъ, накопляетъ потенціальную энергію, которая расходуется затѣмъ на преодолѣніе сопротивленій при движеніи поѣзда внизъ подъ уклонъ. Однако, дабы накопленная энергія расходовалась съ пользою, уклонъ не долженъ быть настолько крутымъ, чтобы потребовалось тормаженіе поѣзда, во избѣжаніе развитія чрезмѣрной скорости движенія; въ противномъ случаѣ часть накопленной энергіи будетъ расходоваться на износъ рельсъ, колесъ и тормазныхъ колодокъ не только безъ пользы, но во вредъ для желѣзнодорожнаго хозяйства.

Уклоны, по которымъ, при данныхъ условіяхъ движенія, возможенъ проходъ поѣздовъ безъ тормаженія, называются *безвредными* уклонами; наоборотъ, уклоны, значительная крутизна коихъ заставляетъ прибѣгать къ тормаженію, называются *вредными* уклонами.

Изъ сказаннаго ясно, что числовое значеніе безвреднаго уклона должно удовлетворять условію: $i \leq W_1 + W_2$, гдѣ W_1 — основное сопротивленіе движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути, а W_2 — дополнительное сопротивленіе отъ кривой; если пользоваться для опредѣленія сопротивленій формулами Клярка и Рекля, то условіе безвредности уклона получитъ видъ:

$$i \leq 0{,}0024 + 0{,}000001\, V^2 + \frac{0{,}650}{R - 55} \quad \ldots\ldots\ldots (138)$$

гдѣ V — предѣльная, допускаемая для даннаго поѣзда скорость движенія километровъ въ часъ, а R — радіусъ кривой въ метрахъ. Если величина уклона будетъ какъ разъ равна величинѣ, опредѣляемой выраженіемъ (138), то поѣздъ будетъ двигаться внизъ подъ уклонъ безъ участія силы тяги паровоза и безъ тормаженія съ предѣльною для данныхъ условій скоростью движенія; указанная величина будетъ представлять предѣлъ безвреднаго уклона для данныхъ условій движенія; болѣе крутой уклонъ, вызывающій необходимость тормаженія, будетъ уже вреднымъ уклономъ.

Изъ выраженія (138) видно, что предѣлъ безвредности уклона выше для кривыхъ, чѣмъ для прямыхъ участковъ пути; предѣлъ этотъ тѣмъ выше, чѣмъ больше допускаемая скорость движенія, а слѣдовательно онъ выше для пассажирскихъ поѣздовъ, сравнительно съ товарными поѣздами. Если въ формулѣ (138) принять V равнымъ $40\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$ для товарныхъ поѣздовъ и $60\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$ для пассажирскихъ поѣздовъ, то предѣлъ безвредности уклоновъ на прямыхъ участкахъ пути опредѣлится въ 0,004 для товарнаго и 0,006 для пассажирскаго движенія.

Если количество грузовъ, перевозимыхъ по желѣзной дорогѣ, одинаково въ обоихъ направленіяхъ движенія, то примѣненіе для проведенія желѣзнодорожной линіи безвредныхъ уклоновъ и подъемовъ не увеличи-

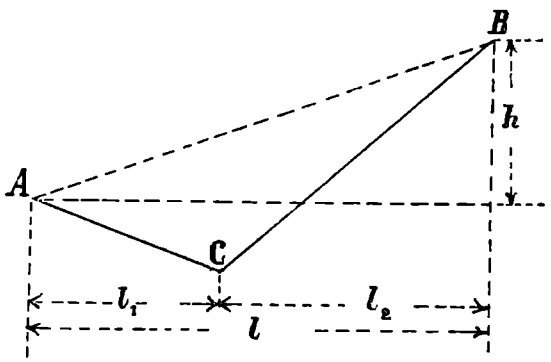
ваетъ общаго количества работы, затрачиваемой на передвиженіе поѣздовъ, сравнительно съ тѣмъ ея количествомъ, которое было-бы необходимо въ случаѣ проведенія линіи площадкою. Пусть P — количество грузовъ, перевозимыхъ въ каждомъ направленіи движенія; при длинѣ участка l и величинѣ уклона i работа, затрачиваемая при движеніи въ гору равна: $Pl\,(W_1 + W_2 + i)$, а при движеніи подъ гору: $Pl\,(W_1 + W_2 - i)$; сумма работъ, затрачиваемыхъ на передвиженіе поѣздовъ обоихъ направленій движенія, равна:

$$Pl\,(W_1 + W_2 + i) + Pl\,(W_1 + W_2 - i) = 2Pl\,(W_1 + W_2),$$

т.-е. равна той величинѣ работы, которую пришлось-бы затратить на передвиженіе поѣздовъ по линіи, расположенной на площадкѣ.

Два пункта A и B, съ разностью высотъ h и разстояніемъ l (чер. 94), могутъ быть соединены линіей съ среднимъ однообразнымъ уклономъ $i = \frac{h}{l}$; очевидно не всегда возможно спроектировать желѣзнодорожную линію однообразнаго уклона, а необходимо принаравливаться къ естественному профилю мѣстности; во всякомъ случаѣ слѣдуетъ стараться запроек-

Чер. 94.



тировать линію такимъ образомъ, чтобы работа, необходимая для передвиженія по ней поѣзда не была больше работы, необходимой для той-же цѣли, въ случаѣ линіи съ однообразнымъ уклономъ. Всякій уклонъ, отличающійся отъ средняго однообразнаго уклона и являющійся причиною увеличенія упомянутой работы, называется *потеряннымъ* уклономъ.

Разсмотримъ условія, опредѣляющія потерю уклона, различая два случая, а именно: когда однообразный уклонъ безвредный и когда сказанный уклонъ вредный, предполагая при томъ для простоты разсужденій, что разсматриваемый участокъ дороги прямолинейный.

Пусть однообразный уклонъ безвредный, т.-е. $i = \frac{h}{l} \leqq W_1$

Работа паровоза при движеніи поѣзда въ гору по однообразному уклону равна:

$$N_1 = P\,(W_1 + i)\,l = P\,(W_1\,l + h);$$

пусть желѣзнодорожная линія проложена отъ точки A до точки C на раз-

стояніи l_1 по безвредному уклону $i_1 = W_1$, а далѣе до точки B по подъему i_2 на протяженіи l_2; очевидно:

$$h = i_2\ l_2 - i_1\ l_1 = i_2\ (l - l_1) - i_1\ l_1, \text{ откуда } i_2 = \frac{h + i_1\ l_1}{l - l_1} = \frac{h + W_1\ l_1}{l - l_1}$$

работа паровоза на протяженіи AC равна нулю, а на протяженіи CB равна:

$$N'_1 = P\ (W_1 + i_2)\ (l - l_1) = P\ \left(W_1 + \frac{h + W_1 l_1}{l - l_1}\right)(l - l_1) = P[W_1\ (l - l_1) + W_1 l_1 + h] = P\ (W_1\ l + h) = N_1;$$

такимъ образомъ, при движеніи въ гору, работа паровоза въ обоихъ случаяхъ одинакова.

При движеніи подъ гору работа паровоза на однообразномъ уклонѣ равна:

$$N_2 = P\ (W_1 - i)\ l = P\ (W_1\ l - h)$$

при ломанномъ же профилѣ сказанная работа равна:

$N'_2 = P\ (W_1 + i_1)\ l_1$, ибо на протяженіи BC работа равна нулю ($i_2 \geq W_1$); изъ условія равенства работъ получимъ:

$$P\ (W_1\ l - h) = P\ (W_1 + i_1)\ l_1 \text{ откуда}$$

$$h = W_1\ (l - l_1) - i_1\ l_1; \text{ по такъ какъ}$$

$$h = i_2\ (l - l_1) - i_1\ l_1, \text{ то}$$

$W_1\ (l - l_1) - i_1\ l_1 = i_2\ (l - l_1) - i_1\ l_1$, а слѣдовательно $i_2 = W_1$, т.-е. не должно быть вредныхъ уклоновъ.

Предположимъ теперь, что однообразный уклонъ вредный $\left(i = \frac{h}{l} > W_1\right)$

На основаніи подобныхъ же разсужденій, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, легко убѣдиться, что для передвиженія въ гору работа паровоза одинакова какъ при однообразномъ уклонѣ, такъ и при ломанномъ профилѣ. Для передвиженія подъ гору, работа паровоза при однообразномъ вредномъ уклонѣ равна, очевидно, нулю; дабы тоже самое имѣло мѣсто и для ломаннаго профиля, необходимо, конечно, чтобы въ направленіи BA были одни лишь только уклоны и притомъ вредные.

Такимъ образомъ, дабы на данномъ участкѣ линіи не было потери уклона, необходимо: 1) чтобы всѣ уклоны были безвредные, при чемъ безразлично въ какую сторону они направлены, если средній однообразный уклонъ участка безвредный; 2) чтобы всѣ уклоны были вредные и были направлены въ одну лишь только сторону, если средній однообразный уклонъ участка вредный.

При изложенныхъ выше разсужденіяхъ предполагалось, что длина участка остается одинаковой, какъ въ случаѣ профиля съ однообразнымъ уклономъ, такъ и при ломанномъ профилѣ; если-бы въ послѣднемъ случаѣ длина участка увеличилась, то очевидно подобное удлиненіе сопровождалось бы непремѣнно потерей уклона; обстоятельства этого не слѣдуетъ упускать изъ виду при проектированіи перевальныхъ линій и вообще во

всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда, благодаря значительной разности высотъ двухъ данныхъ точекъ, приходится развивать линію, т.-е. искусственно увеличивать горизонтальное между ними разстояніе, дабы не превзойти допускаемаго предѣльнаго уклона; въ такомъ случаѣ всякое отступленіе отъ предѣльнаго уклона должно быть надлежаще мотивировано.

Выше было указано, что работа локомотива при передвиженіи поѣзда, вызываемая дополнительнымъ сопротивленіемъ движенію отъ кривой, независитъ отъ величины радіуса кривой, а лишь отъ величины центральнаго ея угла; тѣмъ не менѣе слѣдуетъ проектировать кривыя возможно большихъ радіусовъ, ибо, съ увеличеніемъ радіусовъ кривыхъ, сокращается общая длина линіи (при данныхъ углахъ, составляемыхъ прямыми участками пути) и уменьшается износъ рельсовъ, не говоря уже о томъ, что съ увеличеніемъ минимальнаго допускаемаго радіуса кривыхъ, увеличивается составъ поѣздовъ и пропускная способность дороги. Кривыя радіуса 500 саж. и выше не представляютъ неудобствъ для эксплоатаціи желѣзной дороги; проходъ подвижного состава по такимъ кривымъ совершается плавно, а представляемое ими дополнительное сопротивленіе движенію неощутительно; поэтому примѣненіе для желѣзнодорожной линіи кривыхъ, описанныхъ радіусами не менѣе 500 саж., не можетъ встрѣтить возраженій ни съ технической, ни съ хозяйственной точки зрѣнія.

Проектируя желѣзнодорожную линію, слѣдуетъ стремиться къ примѣненію однихъ лишь безвредныхъ уклоновъ (не круче 0,004) и кривыхъ радіуса не менѣе 500 саж. Къ проведенію по такимъ техническимъ условіямъ желѣзнодорожной линіи въ равнинной мѣстности не представится особыхъ затрудненій, но уже въ холмистой мѣстности стоимость сооруженія могла-бы достигнуть столь большой суммы, что пришлось бы по необходимости примѣнить болѣе крутые уклоны и кривыя. Чѣмъ интенсивнѣе ожидаемое движеніе по проектируемой желѣзной дорогѣ, тѣмъ большую окажется выгоднымъ затратить сумму на ея сооруженіе, дабы получить линію съ легкими техническими условіями, отличающуюся большою пропускною способностью и дешевизною эксплоатаціи; такимъ образомъ окончательное рѣшеніе вопроса, о выборѣ наивыгоднѣйшей для даннаго случая величины максимальнаго подъема и минимальнаго радіуса кривыхъ, должно быть основано на коммерческихъ соображеніяхъ, въ зависимости отъ стоимости сооруженія и эксплоатаціи желѣзной дороги, о чемъ будетъ сказано впослѣдствіи болѣе подробно.

Ниже приведены данныя о максимальныхъ уклонахъ, примѣненныхъ на нѣкоторыхъ значительныхъ желѣзныхъ дорогахъ, построенныхъ въ гористой мѣстности:

Semmeringbahn	0,025
Simplonbahn	0,025
Gotthardbahn	0,027
Тифлисъ-Карсъ	0,028
Arlbergbahn	0,031
Albulabahn	0,035
Lima-Oroya	0,040

На дорогахъ, эксплоатируемыхъ помощью электрической тяги, могутъ быть допускаемы болѣе крутые подъемы, чѣмъ на дорогахъ съ паровозною тягою, благодаря способности электромоторовъ работать нѣкоторое время со значительными перегрузками; кромѣ того при составленіи поѣздовъ изъ электромоторныхъ вагоновъ, полный вѣсъ поѣзда является, вмѣстѣ съ тѣмъ, сцѣпляющимъ вѣсомъ.

Что касается минимальныхъ радіусовъ кривыхъ, то въ Германіи для магистральныхъ линій нормальной колеи (1435 м.м.), допускается радіусъ 180 м.; въ Россіи для линіи Тифлисъ-Карсъ (ширина колеи 5' = 1524 м.м.), допущенъ радіусъ кривыхъ 125 саж.; для узкоколейныхъ желѣзныхъ дорогъ могутъ быть допущены болѣе крутыя кривыя.

Линіи значительной длины могутъ быть, конечно, проектируемы не по однимъ и тѣмъ-же техническимъ условіямъ на всемъ протяженіи; для разныхъ участковъ могутъ быть назначены разныя техническія условія, смотря по конфигураціи пересѣкаемой мѣстности и въ такомъ случаѣ отдѣльные участки должны быть эксплоатируемы поѣздами разныхъ предѣльныхъ составовъ, полагая, что по всей линіи тяга производится паровозами одинаковыхъ типовъ. На данномъ участкѣ линіи, для отдѣльнаго перегона съ исключительно трудными мѣстными условіями, можетъ быть допущенъ подъемъ круче предѣльнаго, а поѣзда, во избѣжаніе мѣстнаго уменьшенія состава, могутъ слѣдовать по этому перегону двойною тягою или съ подталкивающимъ паровозомъ; однако, ввиду экономической невыгодности подобной эксплоатаціи, слѣдуетъ примѣнять по возможности для проектировки всей линіи одни и тѣ же техническія условія.

32. **Виртуальный профиль. Эквивалентный подъемъ.** Напрасная потеря работы паровоза на вредныхъ уклонахъ и ограничивающее составъ поѣзда вліяніе крутыхъ подъемовъ выступаютъ въ полной своей силѣ лишь тогда, когда протяженіе означенныхъ уклоновъ и подъемовъ значительно; въ противномъ случаѣ излишняя часть работы силы тяжести на вредномъ уклонѣ можетъ быть превращена въ живую силу (съ увеличеніемъ скорости движенія), а равно, за счетъ живой силы движущагося поѣзда, можетъ быть совершено его передвиженіе по крутому, но короткому подъему (съ уменьшеніемъ скорости движенія); въ случаѣ вреднаго уклона значительной длины, невозможно превратить въ живую силу всю излишнюю работу силы тяжести, ибо тогда скорость движенія поѣзда могла-бы превзойти допускаемые предѣлы, а равно возможный запасъ живой силы оказался-бы недостаточнымъ для передвиженія поѣзда по длинному и крутому подъему.

Такимъ образомъ, благодаря возможности накоплять энергію въ видѣ живой силы и расходовать ее, увеличивая или уменьшая скорость движенія, дѣйствительный профиль дороги не всегда служитъ мѣриломъ работы, необходимой для передвиженія поѣзда, т.-е. не всегда отвѣчаетъ *виртуальному* профилю.

Зависимость между высотою падающаго тѣла и пріобрѣтаемою скоростью выражается формулою $h = \frac{v^2}{2g}$; живая сила движущагося поступательно поѣзда увеличивается примѣрно на 8%, благодаря вращательному движенію колесъ и осей, поэтому высота возможнаго вертикальнаго

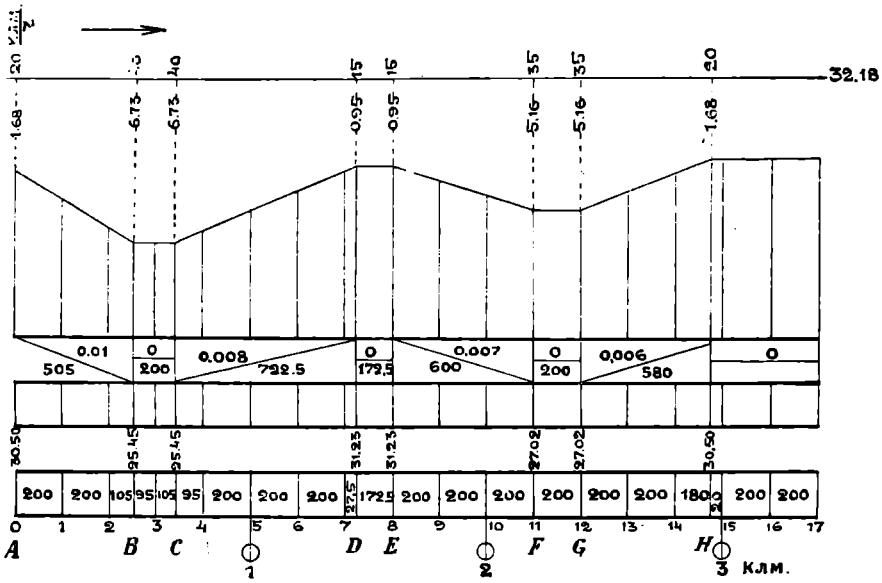
подъема поѣзда за счетъ работы живой силы опредѣлится формулою $H = 1,08\ \frac{v^2}{2g}$ или формулою $H = 0,0042\ V^2$, если скорость движенія поѣзда выражать километрами въ часъ (ср. фор. 86).

Ниже приведена высота H для различныхъ скоростей V:

V $\frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
H м	0,42	0,95	1,68	3,78	6,72	10,50	15,12	20,58	26,88	34,02	42,00.

Пусть по участку, съ профилемъ по чертежу 95, движется поѣздъ; для простоты допустимъ, что сила тяги паровоза достаточна для преодолѣнія основного сопротивленія движенію на прямой площадкѣ и дополни-

Чер. 95.



тельнаго сопротивленія отъ кривыхъ; что же касается сопротивленія отъ подъемовъ, то таковое можетъ быть преодолено живою силою движущагося поѣзда. Пусть скорость поѣзда, идущаго по направленію отъ A къ H, $20\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$ въ точкѣ A; при проходѣ уклона $\frac{0,01}{505}$ работа силы тяжести превратится въ живую силу, благодаря чѣму въ точкѣ B скорость движенія достигнетъ $40\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$; далѣе на протяженіи площадки $B — C$ поѣздъ будетъ двигаться съ постоянною скоростью $\left(40\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}\right)$, а подъемъ поѣзда на протяженіи $C — D$ (на высоту 5,78 м.) совершится за счетъ пріобрѣтенной ранѣе живой силы, вслѣдствіе чего скорость движенія, при подходѣ поѣзда къ точкѣ D, уменьшится до $15\ \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$ и т. д. Такимъ образомъ участокъ $A — H$, съ довольно крутыми уклонами, можетъ быть эксплоатируемъ, какъ впр-

туальная площадка, при условіи лишь соотвѣтственнаго уменьшенія или увеличенія скорости, по мѣрѣ движенія поѣзда.

Изъ сказаннаго ясно, что возможно прохожденіе поѣздовъ полнаго состава по подъему болѣе крутому, чѣмъ предѣльный подъемъ, послужившій основаніемъ для опредѣленія состава поѣзда, при условіи, что протяженіе означеннаго подъема не превосходитъ извѣстныхъ предѣловъ. Максимальная длина l подобнаго подъема i_2 болѣе крутого, чѣмъ предѣльный подъемъ i_1, можетъ быть опредѣлена слѣдующимъ образомъ: пусть W' — сопротивленіе, соотвѣтствующее подъему i_1, W'' — подъему i_2; если измѣненіе скоростей ограничить условіемъ, что поѣздъ, подходя къ подъему, можетъ развить скорость не болѣе $V_1 \frac{\text{клм}}{\text{часъ}}$, а послѣ прохода подъема, долженъ двигаться со скоростью не менѣе $V_2 \frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$, то, очевидно, искомая длина l опредѣлится изъ выраженія (въ метрахъ): $(W'' - W')\, l = 0{,}0042\,(V_1^2 - V_2^2)$, откуда $l = 0{,}0042\,\frac{V_1^2 - V_2^2}{W'' - W'}$; принимая во вниманіе, что $W'' - W' < i_2 - i_1$, вслѣдствіе меньшей скорости движенія поѣзда на болѣе крутомъ подъемѣ, можемъ расчитывать съ нѣкоторымъ запасомъ l по формулѣ:

$$l = 0{,}0042\,\frac{V_1^2 - V_2^2}{i_2 - i_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (139)$$

Если, напримѣръ, $i_1 = 0{,}008$, $i_2 = 0{,}012$, $V_1 = 30$, а $V_2 = 10$, то получимъ:

$$l = 0{,}0042\,\frac{30^2 - 10^2}{0.004} = 840 \text{ м.}$$

Однако подъемы, круче предѣльнаго, представляютъ крайне опасныя для эксплоатаціи мѣста, ибо необходимая начальная скорость можетъ почему либо не быть достигнутой (неблагопріятная погода, снѣжные заносы, неполная исправность паровоза и т. п.), почему примѣненіе подобныхъ подъемовъ должно быть оправдано дѣйствительно важными мотивами.

Виртуальный профиль тѣмъ болѣе разнится отъ дѣйствительнаго профиля даннаго участка дороги, чѣмъ болѣе колебанія въ величинѣ скоростей движущагося по этому участку поѣзда. Такъ, напримѣръ, если поѣздъ, тронувшись съ даннаго мѣста по 0,004 подъему, долженъ развить на протяженіи 500 м. скорость въ 30 $\frac{\text{клм.}}{\text{часъ}}$, то виртуальный подъемъ въ такомъ случаѣ достигаетъ величины $0{,}004 + \frac{3{,}78}{500} = 0{,}0116$. Изъ сказаннаго ясно, что для движенія особенно неудобны крутые подъемы, начинающіеся непосредственно у станціи.

Работа, производимая паровозомъ и сила тяги, имъ развиваемая, различны на отдѣльныхъ участкахъ пути, въ зависимости отъ профиля и плана линіи, а на однихъ и тѣхъ же участкахъ различны, въ зависимости отъ направленія движенія, если только данный участокъ располо-

женъ не на площадкѣ. При расчетѣ той части эксплоатаціонныхъ расходовъ, которая зависитъ отъ работы паровоза, полезно, для упрощенія выкладокъ, замѣнить данную линію воображаемой линіей, той же длины, расположенной на прямой и однообразномъ подъемѣ, выбранномъ такимъ образомъ, чтобы средняя работа паровоза на всемъ протяженіи линіи за оба направленія движенія была одинакова для данной дѣйствительной и для воображаемой линій; подъемъ, удовлетворяющій указанному условію, называется *эквивалентнымъ* подъемомъ.

Пусть: l_1 — общая длина площадокъ и безвредныхъ уклоновъ, l_2 — общая длина вредныхъ уклоновъ, $l = l_1 + l_2$ — общая длина дороги въ километрахъ; α_1 — сумма центральныхъ угловъ кривыхъ, расположенныхъ на площадкахъ и безвредныхъ уклонахъ, α_2—сумма центральныхъ угловъ кривыхъ, расположенныхъ на вредныхъ уклонахъ въ градусахъ; W_1 — коэффиціентъ сопротивленія движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути, W_2 — коэффиціентъ дополнительнаго сопротивленія отъ кривой; P_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ, P_2 — вѣсъ вагоновъ поѣзда въ килограммахъ, Z_i — индикаторная сила тяги.

Если количество грузовъ, перевозимыхъ въ обоихъ направленіяхъ одинаково, то сумма работъ, затрачиваемыхъ на передвиженіе поѣздовъ обоихъ направленій движенія на участкахъ съ безвредными уклонами, равна той величинѣ работы, которую пришлось бы затратить на передвиженіе поѣздовъ по линіи, расположенной на площадкѣ (§ 31); слѣдовательно средняя величина силы тяги паровоза на участкѣ, длиною l_1, расположенномъ на безвредномъ уклонѣ и кривой, опредѣляется изъ выраженія:

$$Z_i \; 2l_1 = (P_1 + P_2)\;(W_1 + W_2)\,2l_1, \text{ откуда}$$

$$Z_i = (P_1 + P_2)\;(W_1 + W_2)$$

Если участокъ расположенъ на вредномъ уклонѣ i и кривой, то при движеніи въ гору сила тяги паровоза равна.

$Z_i = (P_1 + P_2)\;(W_1 + i + W_2)$, а при движеніи подъ гору $Z_i = 0$; слѣдовательно средняя величина силы тяги равна:

$$Z_i = (P_1 + P_2)\;\frac{W_1 + i + W_2}{2}$$

Изъ послѣдняго выраженія видно, что средняя величина работы паровоза, обусловливаемой дополнительнымъ сопротивленіемъ отъ кривой, вдвое меньше для кривыхъ, расположенныхъ на вредныхъ уклонахъ, сравнительно съ кривыми, расположенными на безвредныхъ уклонахъ.

Ввиду изложеннаго, а также принимая во вниманіе выраженіе (134), находимъ, что сумма работъ паровоза, при движеніи поѣзда въ ту и другую сторону, соотвѣтствующихъ дополнительному сопротивленію отъ кривыхъ общаго центральнаго угла α_1, расположенныхъ на площадкахъ и безвредныхъ уклонахъ, составляетъ $0.000013 \times 2\alpha_1$, а сумма тѣхъ же работъ для кривыхъ общаго центральнаго угла α_2, расположенныхъ на вредныхъ уклонахъ, составляетъ 0,000013. α_2 килограммо-километровъ на килограммъ вѣса поѣзда.

Сопоставляя полученные результаты, находимъ, что сумма работъ паровоза, при движеніи поѣзда въ ту и другую сторону, равна (въ килограммокилометрахъ) на площадкахъ и безвредныхъ уклонахъ, не считая дополнительнаго сопротивленія отъ кривыхъ:

$$(P_1 + P_2)\ 2l_1 W_1;$$

на вредныхъ уклонахъ:

$$(P_1 + P_2)\ (W_1 + i)\ l_2 = (P_1 + P_2)\ (W_1 l_2 + h),$$

если h—сумма высотъ всѣхъ вредныхъ уклоновъ въ километрахъ;
отъ кривыхъ, расположенныхъ на безвредныхъ уклонахъ и площадкахъ:

$$(P_1 + P_2)\ 0{,}000013 \times 2\alpha_1;$$

отъ кривыхъ, расположенныхъ на вредныхъ уклонахъ:

$$(P_1 + P_2)\ 0{,}000013\alpha_2.$$

Называя эквивалентный подъемъ данной линіи J, находимъ сумму работъ паровоза на воображаемой линіи:

$$(P_1 + P_2)\ (W_1 + J)\ l.$$

Согласно условію:

$$(P_1 + P_2)\ (W_1 + J)\ l = (P_1 + P_2)\ [2W_1 l_1 + W_1 l_2 + h + 0{,}000013\ (2\alpha_1 + \alpha_2)],$$

откуда:

$$J = \frac{1}{l}[W_1 l_1 + h + 0{,}000013\ (2\alpha_1 + \alpha_2)]. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (140)$$

Средняя величина силы тяги на всемъ протяженіи дороги, для обоихъ направленій движенія, опредѣлится изъ выраженія:

$$2l\ Z_i = (P_1 + P_2)\ (W_1 + J)\ l, \text{ откуда}$$

$$Z_i = (P_1 + P_2)\frac{W_1 + J}{2}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (141)$$

При выводѣ послѣднихъ формулъ предполагалось, что вѣсъ поѣздовъ обоихъ направленій движенія одинаковъ; такъ какъ вѣсъ тары составляетъ значительный процентъ отъ полнаго вѣса поѣзда, то сдѣланное предположеніе, въ большинствѣ случаевъ, близко къ дѣйствительности, хотя количество грузовъ, перевозимыхъ въ томъ и другомъ направленіи, не одинаково.

Въ формулу (140), опредѣляющую эквивалентный подъемъ, входитъ величина сопротивленія движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути (W_1); послѣдняя величина зависитъ отъ скорости движенія поѣзда; поэтому величина эквивалентнаго подъема зависитъ отъ скорости движенія поѣздовъ и вообще, для данной дороги, эквивалентный подъемъ имѣетъ различныя значенія для пассажирскаго и товарнаго движенія.

33. Техническія условія проектированія магистральныхъ линій. При производствѣ изысканій и составленіи проекта желѣзнодорожной линіи, необходимо руководствоваться установленными для нея техническими условіями.

Дороги, непосредственно связанныя между собою, особенно же съ транзитнымъ движеніемъ, желательно устраивать по однимъ и тѣмъ же техническимъ условіямъ, дабы облегчить обслуживаніе дорогъ однотипнымъ подвижнымъ составомъ и устранить по возможности затрудненія съ пересоставленіемъ сквозныхъ поѣздовъ, которое было бы необходимо въ случаѣ значительной разницы въ техническихъ условіяхъ плана и профиля смежныхъ линій.

Поэтому для проектированія дорогъ, въ особенности же магистральнаго типа, обслуживаемыхъ, въ большинствѣ случаевъ, сквозными поѣздами, установлены однообразныя техническія условія.

Ниже приведены нѣкоторыя извлеченія изъ установленныхъ въ Россіи техническихъ условій проектированія и сооруженія желѣзныхъ дорогъ первостепеннаго значенія (магистралей), касающіяся проектировки плана и профиля желѣзнодорожной линіи, при чемъ эти техническія условія, въ связи съ назначенной величиной максимальнаго уклона и минимальнаго радіуса кривыхъ, соотвѣтствуютъ условіямъ проектированія дороги въ мѣстности болѣе или менѣе равниннаго характера. Параллельно приведены соотвѣтственныя техническія условія проектированія желѣзныхъ дорогъ, нормальной колеи германскаго желѣзнодорожнаго союза, для линій первостепеннаго значенія (Hauptbahnen), а также для линій второстепеннаго значенія (Nebenbahnen).

1) Предѣльная крутизна уклоновъ продольнаго профиля дороги должна быть не болѣе 0,008 на прямыхъ, а также при совпаденіи съ закругленіями радіуса не менѣе 300 саж. Въ тоннеляхъ наибольшій уклонъ долженъ составлять не болѣе $^2/_3$ отъ допущеннаго наибольшаго уклона на открытыхъ частяхъ дороги.

Для магистральной линіи (Hauptbahnen) германскаго желѣзнодорожнаго союза назначенъ максимальный уклонъ 0,025, а для линій второстепеннаго значенія (Nebenbahnen)—0,04, при чемъ оговорено, что для линій съ электрическою тягою могутъ быть допущены болѣе крутые уклоны.

2) Подъемы круче 0,002, сплошные или слѣдующіе одинъ непрерывно за другимъ, не должны представлять, въ общей сложности, возвышенія высшей точки надъ низшей болѣе 25 саж. Если же общій подъемъ даннаго участка линіи больше, то должны быть устроены раздѣлительныя площадки, длиною не менѣе 200 саж., (или склоны не круче 0,002, длиною не менѣе 250 саж.) такимъ образомъ, чтобы возвышеніе одной площадки надъ другою, смежною съ ней, было не болѣе 25 саж.

Требованіе это объясняется слѣдующими соображеніями: хотя составъ поѣзда расчитывается по сопротивленію на предѣльномъ подъемѣ, тѣмъ не менѣе условія движенія поѣзда по крутымъ и длиннымъ подъемамъ весьма тяжелы; при неблагопріятной погодѣ или неполной исправности паровоза, послѣдній можетъ не быть въ состояніи производить требуемую работу въ теченіе продолжительнаго времени, въ результатѣ чего давленіе пара въ котлѣ будетъ падать постепенно и поѣздъ можетъ остановиться; если бы

подобная остановка произошла на крутомъ подъемѣ, то тронуть поѣздъ съ мѣста въ подъемъ было бы крайне трудно или вѣрнѣе невозможно, хотя бы давленіе пара въ котлѣ достигло надлежащей нормы.

Означенныя раздѣлительныя площадки оказываютъ существенную пользу также и при движеніи поѣзда подъ уклонъ, способствуя удержанію его скорости въ допускаемыхъ предѣлахъ.

3) Разстояніе между двумя смежными вершинами перелома продольнаго профиля дороги должно быть не менѣе 60 саж. Смежные склоны должны быть сопряжены между собою кривою, описанною радіусомъ не менѣе 2000 саж.

На дорогахъ германскаго желѣзнодорожнаго союза переломы продольнаго профиля закругляются по кривой радіуса 5000 м., причемъ для прямыхъ участковъ величина эта можетъ быть уменьшена до 2000 м.

Вообще, проектируя продольный профиль линіи, не слѣдуетъ ломать его излишне, безъ надобности, а наоборотъ дѣлать отдѣльные склоны и площадки по возможности большей длины, пока это возможно безъ значительнаго увеличенія количества работъ, необходимыхъ для возведенія полотна желѣзной дороги. При очень ломанномъ профилѣ, содержаніе рельсоваго пути, точно на проектномъ уровнѣ, затруднительно, а ходъ подвижного состава становится непокойнымъ.

4) Два смежныхъ склона продольнаго профиля, направленные въ противоположныя стороны, и крутизна каждаго изъ коихъ превосходитъ 0,002, должны быть отдѣлены другъ отъ друга горизонтальною площадкою или склономъ не круче 0,002, имѣющимъ не менѣе 60 саж. длины; означенная предѣльная длина увеличивается на 25 саж., если сопряженіе у подошвы двухъ смежныхъ скатовъ совпадаетъ съ кривою, описанною радіусомъ менѣе 400 саж.

Въ техническихъ условіяхъ германскаго желѣзнодорожнаго союза имѣется въ отношеніи склоновъ противоположнаго направленія слѣдующее требованіе: если изъ двухъ склоновъ, противоположнаго направленія и круче 0,005, хотя одинъ имѣетъ общее возвышеніе болѣе 10 м., то долженъ быть устроенъ между ними раздѣлительный участокъ, длиною не менѣе 500 м. и съ уклономъ не болѣе 0,003.

Проектировать продольный профиль съ крутыми смежными склонами, обращенными въ противоположныя стороны и безъ раздѣлительныхъ между ними площадокъ, было бы нераціональнымъ по слѣдующимъ соображеніямъ: если бы отъ данной точки профиля шли вверхъ два крутыхъ подъема, то паровозъ и передніе вагоны поѣзда, пройдя указанную точку, стали бы медленно взбираться по подъему, особенно при закрытомъ регуляторѣ паровоза, задняя же часть поѣзда, двигающаяся быстро по уклону, могла бы надавить столь сильно на переднюю, что произошелъ бы сходъ поѣзда отъ выпиранія вагоновъ въ средней его части; подобнаго выпиранія особенно можно опасаться въ крутыхъ кривыхъ; а если бы отъ данной точки профиля шли внизъ два крутыхъ уклона, то паровозъ и передніе вагоны поѣзда, пройдя указанную точку, могли бы быстро устремиться внизъ, особенно при открытомъ регуляторѣ паровоза, вслѣдствіе чего могъ бы произойти разрывъ поѣзда. Кромѣ того, въ случаѣ отсутствія раздѣлитель-

ныхъ площадокъ, могли бы происходить, при проходѣ паровоза черезъ вершину крутыхъ склоновъ, значительныя разгрузки (въ вершинѣ съ двумя уклонами внизъ) и перегрузки (въ вершинѣ съ двумя подъемами вверхъ) передней оси паровоза, въ моментъ нахожденія на вершинѣ второй его оси; разгрузка передней оси представляетъ особенную опасность для движенія, особенно при прохожденіи по кривымъ.

5) Переломъ профиля, въ случаѣ если разница между крутизною смежныхъ склоновъ превышаетъ 0,002, не допускается ни на мостахъ, ни на протяженіи 12 саж. съ каждой стороны моста, считая это разстояніе отъ задней грани передней стѣнки мостового устоя.

6) Радіусъ закругленій на главныхъ путяхъ дороги вообще не долженъ быть меньше 300 саж.; но въ случаѣ необходимости радіусъ этотъ можетъ быть уменьшенъ до 250 саж. на перегонахъ и до 200 саж. при подходѣ къ станціямъ, а также при пересѣченіи рѣкъ и при обходѣ препятствій. Совпаденіе закругленій съ уклономъ предѣльной крутизны допускается лишь при радіусахъ въ 300 саж. и болѣе; если для закругленія допущенъ радіусъ менѣе 300 саж., то крутизна совпадающаго съ закругленіями подъема должна быть соотвѣтственно уменьшена.

Для главныхъ путей магистральныхъ линій германскаго желѣзнодорожнаго союза минимальный радіусъ закругленій назначенъ въ 180 м.; однако предписывается не примѣнять, по возможности, кривыхъ съ радіусами менѣе 300 м.

7) Между двумя закругленіями, направленными въ противоположныя стороны, если радіусъ, хотя одной изъ нихъ, менѣе 1000 саж., должна быть помѣщена прямая вставка, наименьшая длина коей опредѣляется по формулѣ $10+5000\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right)$ саженей, гдѣ R_1 и R_2 — радіусы закругленій въ саженяхъ.

По техническимъ условіямъ германскаго желѣзнодорожнаго союза, требуется устройство на главныхъ путяхъ между закругленіями, обращенными въ противоположныя стороны, прямыхъ вставокъ такой длины, чтобы между концами склоновъ, служащихъ для разгонки возвышенія наружнаго рельса, оставалось не менѣе 30 м. на магистральныхъ линіяхъ и 10 м. на дорогахъ второстепеннаго значенія; что же касается длины упомянутаго склона, то таковая должна быть, по крайней мѣрѣ, въ 300 разъ больше величины возвышенія наружнаго рельса, а послѣднее должно достигать полнаго своего значенія въ начальномъ пунктѣ круговой кривой.

Необходимость прямыхъ вставокъ между обратными круговыми кривыми понятна изъ того, что было выше сказано о возвышеніи наружнаго рельса и объ устройствѣ переходныхъ кривыхъ (§§ 23, 25). Полное возвышеніе наружнаго рельса круговой кривой должно быть достигнуто на протяженіи части прилегающаго къ кривой прямого участка или на протяженіи переходной кривой; слѣдовательно, прямую вставку между двумя обратными кривыми необходимо запроектировать, для возможности достигнуть на ея протяженіи требуемаго возвышенія наружнаго рельса для каждой изъ двухъ кривыхъ или же начертанія переходныхъ кривыхъ; минимальная длина прямой вставки должна быть назначена съ такимъ расчетомъ, чтобы

крутизна склоновъ, служащихъ для разгонки возвышенія наружнаго рельса каждой изъ кривыхъ, была не болѣе 0,003 и чтобы между концами означенныхъ склоновъ оставался свободный промежутокъ не менѣе длины самаго длиннаго изъ обращающихся на дорогѣ вагоновъ; въ противномъ случаѣ, при проходѣ указаннаго вагона, явился бы перекосъ его осей. Возвышеніе наружнаго рельса достигается на протяженіи всей переходной кривой; при разбивкѣ переходной кривой, какъ извѣстно, половина, примѣрно, ея длины падаетъ на круговую кривую, а половина—на прилегающій прямолинейный участокъ; поэтому, въ случаѣ устройства при сооруженіи желѣзной дороги переходныхъ кривыхъ, длина прямыхъ вставокъ между обратными кривыми можетъ быть назначена меньше, чѣмъ въ случаѣ непосредственнаго касанія круговыхъ кривыхъ съ прямолинейными участками; минимальная длина прямыхъ вставокъ между обратными кривыми, въ случаѣ устройства переходныхъ кривыхъ, можетъ быть расчитана по формуламъ, приведеннымъ въ § 23.

8) Точки перехода изъ прямыхъ въ круговыя кривыя должны отстоять отъ точекъ перелома продольнаго профиля не менѣе, какъ на 8 саженей. Наименьшее разстояніе означенныхъ точекъ перехода отъ задней грани передней стѣнки устоя моста опредѣляется по формулѣ $\frac{5000}{R}$ саженей, гдѣ R радіусъ кривой въ саженяхъ.

9) На уклонахъ свыше 0,001 и на закругленіяхъ устройство мостовъ и путепроводовъ допускается лишь въ тѣхъ случаяхъ, когда общее отверстіе сооруженія не превышаетъ 7 саж. или когда мостъ или путепроводъ, хотя и имѣетъ общее отверстіе болѣе 7 саж., но состоитъ изъ отдѣльныхъ пролетовъ длиною не болѣе 5 саж. каждый; въ противномъ случаѣ мостъ или путепроводъ долженъ быть устроенъ на прямой горизонтальной площадкѣ или на уклонѣ не свыше 0,001, продолжающихся въ каждую сторону отъ задней грани передней стѣнки устоя моста на длину не менѣе 12 саж.

10) При пересѣченіи судоходныхъ и сплавныхъ рѣкъ, профиль линіи и мостъ должны быть запроектированы такимъ образомъ, чтобы возвышеніе нижней поверхности пролетныхъ частей надъ самымъ высокимъ уровнемъ воды отвѣчало требованіямъ судоходства или сплава; въ остальныхъ случаяхъ отъ уровня самой высокой воды до поверхности подферменнаго камня или до низа фермы, если таковая опущена ниже верхней поверхности подферменныхъ камней, должно оставаться не менѣе 0,50 саж.

11) Въ мѣстности, затопляемой водою, желѣзнодорожное полотно должно быть поднято не менѣе, какъ на 0,50 саж., выше самаго высокаго горизонта воды.

12) При проектированіи профиля линіи слѣдуетъ, для предотвращенія снѣжныхъ заносовъ, избѣгать мелкихъ насыпей и выемокъ, придавая (за исключеніемъ переходовъ отъ насыпи къ выемкѣ или отъ выемки къ насыпи) насыпямъ—высоту не менѣе 0,30 саж., а выемкамъ—глубину не менѣе 0,50 саж.

13) Мосты и желѣзнодорожные путепроводы устраиваются перпендикулярно къ пересѣкаемымъ рѣкамъ и дорогамъ; при неизбѣжности пересѣченія подъ угломъ, опоры мостовъ устраиваются косыми, а верхнее строеніе

по отношенію къ оси моста, прямымъ. Въ случаѣ значительнаго увеличенія толщины опоръ или невозможности спрямить русло рѣки, дозволяется, съ особаго каждый разъ разрѣшенія Министерства Путей Сообщенія, устраивать косыя опоры и фермы. Уголъ пересѣченія проѣзжей дороги съ желѣзною на переѣздахъ въ уровнѣ рельсовъ не долженъ быть менѣе 45°; въ противномъ случаѣ проѣзжую дорогу слѣдуетъ отклонить для болѣе прямого пересѣченія желѣзной дороги.

14) Въ томъ мѣстѣ, гдѣ расположена станція, продольный профиль дороги долженъ представлять горизонтальную площадку. Длина этой площадки зависитъ отъ класса станціи. На станціяхъ I-го класса длина эта должна соотвѣтствовать проекту расположенія станціи, составленному въ зависимости отъ мѣстныхъ условій, а на станціяхъ прочихъ классовъ должна быть: на станціяхъ II класса не менѣе 600 саж. и на станціяхъ низшихъ классовъ не менѣе 500 саж., если на станціи предположено паровозное депо, и не менѣе 450 саж., если на станціи паровознаго депо не назначено. Площадки, приготовленныя для разъѣздовъ, должны быть длиною не менѣе 400 саж.; разъѣзды могутъ быть расположены также на уклонахъ, но не круче 0,002. Станціи должны быть расположены на прямыхъ частяхъ дороги или на закругленіяхъ, радіусомъ не менѣе 600 саж.; если условіе это не можетъ быть удовлетворено безъ значительнаго увеличенія расходовъ, то допускается помѣщеніе станціи и на закругленіяхъ меньшаго радіуса, но во всякомъ случаѣ не менѣе 400 саж.; расположеніе станціи на кривыхъ, обращенныхъ въ разныя стороны, не разрѣшается. Причины, почему станціи слѣдуетъ располагать на прямыхъ и горизонтальныхъ участкахъ линіи, были приведены выше (§ 29).

Въ техническихъ условіяхъ германскаго желѣзнодорожнаго союза имѣются слѣдующія указанія относительно расположенія станцій. Станціи, съ путями для скрещенія и обгонки поѣздовъ, должны быть устроены на прямыхъ участкахъ линіи или расположены, во всякомъ случаѣ, такимъ образомъ, чтобы имѣлись по обоимъ концамъ станціи достаточной длины прямыя или пологія кривыя для размѣщенія входныхъ стрѣлокъ. Уклонъ станціонныхъ путей, за исключеніемъ лишь сортировочныхъ путей, не долженъ быть круче 0,0025; однако входныя стрѣлки и концы разъѣздныхъ путей могутъ быть расположены на болѣе крутыхъ уклонахъ; малыя станціи могутъ быть располагаемы на болѣе крутыхъ, чѣмъ 0,0025 уклонахъ, но въ такомъ случаѣ пути для стоянки вагоновъ должны имѣть уклонъ не круче 0,0025

34. **Техническія условія проектированія подъѣздныхъ путей.** Для подъѣздныхъ путей, ввиду ограниченной на нихъ скорости движенія и отсутствію требованій транзитнаго движенія, примѣняются болѣе облегченныя техническія условія проектированія, сравнительно съ магистральными линіями; кромѣ того, вслѣдствіе большого разнообразія въ условіяхъ эксплоатаціи подъѣздныхъ путей, техническія условія должны представлять извѣстный просторъ, для возможности удовлетворить мѣстныя требованія и потребности въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Приведенныя ниже, установленныя въ Россіи техническія условія, относятся только къ паровознымъ подъѣзднымъ путямъ общаго пользованія, при чемъ скорость движенія поѣздовъ не должна превосходить 25 верстъ въ часъ.

1) Паровозные, подъѣздные, рельсовые пути общаго пользованія, примыкающіе къ желѣзнымъ дорогамъ, раздѣляются на три разряда: I—пути приспособленные къ пропуску вагоновъ и паровозовъ тѣхъ главныхъ линій, къ которымъ они примыкаютъ; II—пути, приспособленные къ пропуску лишь вагоновъ главныхъ линій, но не могущіе пропускать ихъ паровозовъ; III—пути, не могущіе пропускать ни паровозовъ, ни вагоновъ главныхъ линій. Отнесеніе проектированнаго подъѣзднаго пути къ одному изъ означенныхъ трехъ разрядовъ предоставляется предпринимателю.

2) Подъѣздные пути I и II разрядовъ должны имѣть ширину колеи той главной линіи, къ которой они примыкаютъ; для путей же III разряда допускается также иная ширина колеи, но не менѣе 0,6 м.

3) Предѣльная крутизна уклоновъ продольнаго профиля подъѣзднаго пути устанавливается предпринимателемъ, сообразно условіямъ мѣстности и роду предстоящаго по подъѣздному пути движенія, но таковая крутизна не должна превосходить 0,04.

4) При переходѣ отъ одного крутого уклона къ другому, рельсы должны быть уложены такимъ образомъ, чтобы разница уклоновъ двухъ послѣдовательныхъ рельсовъ была не болѣе 0,01.

5) Переходъ отъ одного уклона къ другому или отъ уклона къ площадкѣ въ тѣхъ случаяхъ, когда разница между ихъ крутизною превышаетъ 0,005, не допускается ни на мостахъ, ни на протяженіи 5 саж. съ каждой стороны моста.

6) Наименьшій допускаемый радіусъ закругленій долженъ быть назначенъ въ соотвѣтствіи съ шириною пути, съ конструкціей подвижного состава и съ наибольшей, предполагаемой на данномъ участкѣ, скоростью движенія поѣздовъ.

7) Между двумя закругленіями, направленными въ противоположныя стороны, если они устроены по дугѣ круга, должна быть помѣщена прямая вставка, длиною не менѣе 5 саж.

8) Точки перехода изъ прямой части дороги въ кривую, а также изъ кривой части въ кривую же, но другого радіуса, не должны совпадать съ точками перелома продольнаго профиля.

9) Земляное полотно въ мѣстностяхъ, подверженныхъ затопленію водою, допускается, по усмотрѣнію предпринимателя, устраивать затопляемымъ.

10) Пересѣченіе въ одномъ уровнѣ подъѣзднаго пути съ проѣзжими дорогами допускается при углѣ пересѣченія не меньшемъ 30^0; въ противномъ случаѣ проѣзжая дорога должна быть соотвѣтственно отклонена.

11) Станціи, полустанціи, разъѣзды и остановочные пункты допускается располагать и на уклонахъ, если таковые не круче: для станцій—0,003, для полустанцій и разъѣздовъ—0,004 и для остановочныхъ пунктовъ, служащихъ для пріема и высадки пассажировъ, 0,006.

ГЛАВА VIII.

Расчетъ отверстій искусственныхъ сооруженій.

35. Опредѣленіе скорости теченія и расхода воды. Расходы по устройству искусственныхъ сооруженій для пропуска воды составляютъ видную часть стоимости постройки желѣзнодорожной линіи; расходы эти зависятъ въ значительной степени отъ величины отверстій искусственныхъ сооруженій; поэтому, проектируя желѣзную дорогу, слѣдуетъ расчитать, по возможности точно, необходимую величину отверстій искусственныхъ сооруженій, дабы избѣгнуть съ одной стороны непроизводительныхъ, ненужныхъ расходовъ, причиняемыхъ излишними размѣрами означенныхъ отверстій, а съ другой стороны предотвратить возможную порчу желѣзной дороги высокими водами, въ случаѣ если бы отверстія сооруженій для пропуска ихъ имѣли недостаточную величину.

Для возможности расчитать отверстіе искусственнаго сооруженія, необходимо имѣть слѣдующія данныя: *живое сѣченіе водотока*, въ мѣстѣ перехода его желѣзнодорожною линіей, съ показаніемъ наивысшаго горизонта водъ, наибольшій *расходъ воды* и соотвѣтствующую ему *скорость теченія воды*.

Способъ опредѣленія перечисленныхъ данныхъ и вообще способъ расчета отверстія различенъ, смотря по тому, проектируется ли данное искусственное сооруженіе на оврагѣ или маленькой рѣчкѣ, съ бассейномъ менѣе 50 кв. верстъ, или же на болѣе значительной рѣкѣ съ бассейномъ, превосходящимъ указанный предѣлъ.

Въ оврагахъ и маленькихъ рѣчкахъ максимальный расходъ воды бываетъ во время лѣтнихъ ливней, между тѣмъ какъ въ болѣе значительныхъ рѣкахъ максимальный расходъ даютъ весеннія воды во время таянія снѣга; сообразно сему опредѣляется въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ максимальный расходъ воды въ единицу времени (секунду), который долженъ быть пропущенъ проектируемымъ искусственнымъ сооруженіемъ.

Кромѣ различія въ способѣ опредѣленія расхода воды, расчетъ отверстій искусственныхъ сооруженій для овраговъ и маленькихъ рѣчекъ (чугунныхъ и каменныхъ трубъ и открытыхъ мостиковъ незначительныхъ отверстій) отличается отъ расчета отверстій большихъ мостовъ (для большихъ рѣкъ) въ томъ отношеніи, что въ первомъ случаѣ возможно допустить болѣе значительныя скорости теченія воды подъ сооруженіемъ, чѣмъ во второмъ случаѣ. Дно искусственныхъ сооруженій малыхъ отверстій нетрудно укрѣпить надлежащимъ образомъ противъ подмыва, а подпоръ, являющійся результатомъ увеличенія скорости теченія воды подъ сооруженіемъ, по сравненію со скоростью ея притеканія, не представляетъ въ данномъ случаѣ существенныхъ неудобствъ; наоборотъ, укрѣпленіе дна большихъ

рѣкъ было бы слишкомъ затруднительнымъ, а значительное увеличеніе скорости и образованіе подпора, существенно измѣняя условія естественнаго быта рѣки, могли бы быть причиною многихъ нежелательныхъ явленій, какъ-то: подтопа прилегающей къ рѣкѣ мѣстности, размыва береговъ и ложа рѣки въ однихъ мѣстахъ и отложенія наносовъ въ другихъ мѣстахъ и т. п.; на судоходныхъ же, а даже и на сплавныхъ рѣкахъ, значительное увеличеніе скорости теченія и образованіе ощутительнаго подпора не могли бы быть, конечно, никоимъ образомъ допущены.

Переходя къ описанію способовъ опредѣленія данныхъ, необходимыхъ для расчета отверстія искусственнаго сооруженія, разсмотримъ отдѣльно указанные выше два случая, а именно: водотоки съ бассейнами менѣе 50 кв. верстъ и водотоки съ бассейнами болѣе 50 кв. верстъ.

а) *Овраги и маленькія рѣчки съ бассейнами менѣе 50 кв. верстъ.* Максимальный расходъ водъ въ оврагахъ и маленькихъ рѣчкахъ бываетъ отъ лѣтнихъ ливней, выпадающихъ внезапно и рѣдко; поэтому въ указанномъ случаѣ не представляется возможнымъ опредѣлить, непосредственнымъ наблюденіемъ на мѣстѣ, горизонтъ самыхъ высокихъ водъ и скорость ихъ теченія, необходимые для расчета максимальнаго расхода водъ, а приходится опредѣлять эти данныя по эмпирическимъ формуламъ. Измѣреніями на мѣстѣ опредѣляются лишь слѣдующія данныя: площадь (s) бассейна оврага или рѣчки, длина (l) бассейна, средній уклонъ (J) всего тальвега, уклонъ (i) дна оврага или рѣчки, непосредственно выше проектируемаго искусственнаго сооруженія (на протяженіи около 50 саж.); кромѣ того необходимо снять поперечный профиль оврага или рѣчки, въ мѣстѣ пересѣченія ихъ проектируемой линіей или вблизи такового.

Максимальный расходъ водъ опредѣляется по эмпирической формулѣ Кестлина (Köstlin):

$$Q = 1{,}875\ b\ s \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (142),$$

гдѣ Q—расходъ воды въ куб. саженяхъ въ секунду, s—площадь бассейна въ кв. верстахъ, а b—коэффиціентъ, зависящій отъ длины (l) бассейна, величина коего равна:

при $l =$	до $3^1/_2$ верстъ	$b =$	$^1/_2$ до $^3/_8$
отъ $3^1/_2$	„ 7 „	„	$^3/_8$ до $^1/_4$
„ 7	„ $10^1/_2$ „	„	$^3/_{16}$
„ $10^1/_2$	„ 14 „	„	$^1/_8$
„ 14	„ $17^1/_2$ „	„	$^1/_{16}$

причемъ для бассейновъ, средній уклонъ (J) коихъ менѣе 0,005, указанные коэффиціенты уменьшаются на половину.

Нормы Кестлина выведены изъ наблюденій надъ ливнемъ близъ Парижа, интенсивностью 9,6 м. м. въ теченіе 10 минутъ, что даетъ 0,016 м. м. въ секунду. Изъ ливней, имѣвшихъ мѣсто въ Россіи, можно указать на слѣдующіе: въ Павловскѣ наблюдался ливень, интенсивностью 21,5 м. м. въ 10 минутъ; Кукуевскій ливень (Моск.-Курская жел. дор.) далъ въ сутки 145,5 м.м., изъ чего 100 м.м. въ 3 часа; въ Варшавѣ наблюдался ливень, интенсивностью 64 м.м. въ часъ.

Часто указывается, что нормы Кестлина слишкомъ велики, что расчетъ

отверстій искусственныхъ сооруженій по этимъ нормамъ даетъ преувеличенные результаты, особенно для болѣе значительныхъ бассейновъ; конечно, нормы Кестлина выведены при опредѣленныхъ условіяхъ наблюденій и примѣненіе ихъ для другихъ, рѣзко разнящихся условій, не можетъ не отразиться на правильности полученныхъ результатовъ; расходъ воды у искусственнаго сооруженія, при ливнѣ данной интенсивности, зависитъ, конечно, въ значительной степени отъ состоянія поверхности бассейна и рода его почвы: въ мѣстахъ лѣсныхъ и болотистыхъ вода стекаетъ медленно, а въ мѣстахъ съ водопроницаемымъ грунтомъ, много воды просачивается въ почву, между тѣмъ обстоятельства эти вовсе не приняты во вниманіе въ нормахъ Кестлина; коэффиціентъ b долженъ бы болѣе плавно измѣняться, въ зависимости отъ величины какъ продольнаго, такъ и поперечныхъ уклоновъ бассейна. Однако, за неимѣніемъ другихъ болѣе точныхъ нормъ для расчета расхода ливневыхъ водъ, приходится довольствоваться нормами Кестлина, вводя въ нихъ поправки, въ случаѣ особыхъ мѣстныхъ условій; такъ, напримѣръ, при расчетѣ отверстій искусственныхъ сооруженій на Вологдо-Архангельской ж. д., нормы Кестлина уменьшались вдвое, а для нѣкоторыхъ мѣстностей на Забайкальской дор. съ сильно водопроницаемыми грунтами, означенныя нормы уменьшались даже втрое. Наоборотъ, для нѣкоторыхъ мѣстностей Россіи, напримѣръ, побережья Чернаго моря, нормы Кестлина оказываются недостаточными.

Зная максимальный расходъ водъ, а также поперечный профиль оврага или рѣчки въ естественномъ ихъ состояніи (*профиль нестѣсненнаго сѣченія* т. е. до устройства желѣзной дороги) и уклонъ ихъ дна непосредственно выше проектируемаго сооруженія, можно расчитать скорость теченія и горизонтъ воды, соотвѣтствующіе означенному расходу, при естественномъ руслѣ водотока. Для этой цѣли пользуются эмпирическими формулами, выражающими зависимость между скоростью теченія воды, уклономъ ея, площадью живого сѣченія водотока и подводнымъ (смачиваемымъ) периметромъ означеннаго сѣченія.

$$V=\frac{1}{\sqrt{\alpha+\frac{\beta}{R}}}\sqrt{Ri} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (143),$$

гдѣ V—средняя скорость всего сѣченія, i—уклонъ воды (дна оврага), R—средній радіусъ $\left(R=\frac{\omega}{p}\right.$, при чемъ ω—площадь живого сѣченія, p—подводный периметръ), α и β—коэффиціенты, зависящіе отъ степени шероховатости русла.

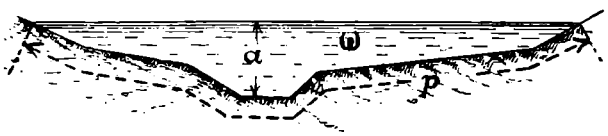
Для R въ саженяхъ и V въ саженяхъ въ секунду, коэффиціенты α и β имѣютъ слѣдующія значенія:

	α	β
1) Для очень гладкихъ стѣнокъ (цементъ, строганныя доски)	0,000308	0,0000045
2) Для менѣе гладкихъ стѣнокъ (бутовая кладка)	0,000512	0,0000600
3) Для земляныхъ и песчаныхъ руселъ	0,000597	0,0003500
4) Для руселъ съ зарослями и гравелистыхъ .	0,000853	0,0007000

Расчетъ ведется слѣдующимъ образомъ: на поперечномъ профилѣ оврага или рѣчки наносятъ предполагаемый горизонтъ самыхъ высокихъ водъ, отвѣчающій наибольшей глубинѣ a потока (чер. 96), и опредѣляютъ площадь живого сѣченія ω и подводный периметръ p; затѣмъ расчитываютъ среднюю скорость воды всего сѣченія по формулѣ (143) и расходъ воды Q_1 изъ выраженія: $Q_1=\omega V$; если расходъ этотъ мало разнится отъ расхода Q, вычисленнаго для даннаго случая по нормамъ Кестлина (142), то назначенный горизонтъ высокихъ водъ можно считать вѣрнымъ, равно какъ и опредѣленную, при означенномъ горизонтѣ, глубину потока и среднюю скорость притеканія; въ противномъ случаѣ придется повторить расчетъ, измѣнивъ соотвѣтственно горизонтъ высокой воды въ ту или другую сторону, пока не будетъ найденъ такой горизонтъ, при которомъ расходъ воды, опредѣленный по площади живого сѣченія и скорости притеканія, будетъ незначительно разниться отъ расхода воды, вычисленнаго по нормамъ Кестлина.

Произведя расчетъ указаннымъ способомъ, получимъ всѣ данныя, характеризующія проходъ самыхъ высокихъ водъ въ оврагѣ или маленькой рѣчкѣ.

Чэр. 96.



b) *Рѣки съ бассейнами болье 50 кв. верстъ.* Наибольшій расходъ воды въ большихъ рѣкахъ бываетъ во время весенняго разлива, отъ таянія снѣговъ; высокій горизонтъ воды удерживается на одномъ уровнѣ значительно болѣе продолжительное время, по сравненію съ горизонтомъ воды отъ ливней на малыхъ рѣчкахъ; поэтому для опредѣленія максимальнаго расхода водъ въ большой рѣкѣ, могутъ быть произведены достаточно обстоятельныя наблюденія и нѣтъ необходимости расчитывать его приблизительно по бассейну, какъ это приходится дѣлать въ случаѣ малыхъ рѣчекъ и овраговъ; а если даже въ годъ производства изысканій, воды на данной рѣкѣ не достигли-бы самаго высокаго горизонта, то таковой можетъ быть съ достаточной точностью установленъ по отмѣткамъ на водомѣрныхъ постахъ или по указаніямъ мѣстныхъ жителей.

Для вычисленія расхода воды необходимо снять профиль живого сѣченія рѣки и опредѣлить среднюю скорость теченія. Обыкновенно живое сѣченіе весеннихъ водъ не имѣетъ однообразнаго характера на всемъ протяженіи, а представляетъ частями болѣе глубокія, частями болѣе мелкія мѣста; соотвѣтственно сему и среднія скорости теченія не одинаковы по всему живому сѣченію, а достигаютъ большей величины въ глубокихъ мѣстахъ по сравненію съ мелкими мѣстами, какъ то ясно показываетъ формула (143). Поэтому для правильнаго опредѣленія расхода воды, необходимо разбить живое сѣченіе на отдѣльныя характерныя части, съ однообразными, по возможности, глубинами, и для каждой изъ нихъ опредѣлить

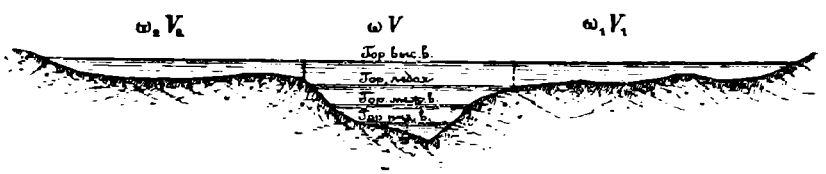
площадь и среднюю скорость теченія. Пусть ω, ω_1, ω_2... площади отдѣльныхъ частей V, V_1, V_2.... соотвѣтственныя среднія скорости, то расходъ Q водъ равенъ очевидно:

$$Q=\omega V+\omega_1 V_1+\omega_2 V_2+.....$$

Чаще всего живое сѣченіе весеннихъ водъ состоитъ изъ трехъ частей: главнаго русла и двухъ боковыхъ поймъ (чер. 97).

Поперечный профиль рѣки въ мѣстѣ пересѣченія ея желѣзнодорожною линіею можетъ быть, конечно, снятъ съ натуры въ любое время, а горизонтъ высокихъ водъ можетъ быть нанесенъ на основаніи непосредственныхъ наблюденій изыскателя—или же на основаніи данныхъ, добытыхъ на водомѣрныхъ постахъ или у мѣстныхъ жителей; на профилѣ живого сѣченія рѣки должны быть нанесены, кромѣ горизонта высокихъ водъ, также горизонтъ низкихъ водъ, меженнихъ водъ и ледохода. На поймахъ иногда бываютъ мѣстныя углубленія, представляющія при весеннемъ разливѣ мертвые водоемы; обстоятельство это должно быть принято во вниманіе, дабы не получить при расчетѣ преувеличеннаго расхода весеннихъ водъ.

Чер. 97.



Скорость теченія можетъ быть опредѣлена непосредственными наблюденіями или же расчитана по эмпирическимъ формуламъ. Слѣдуетъ всегда прибѣгать къ непосредственному измѣренію скорости, если только возможно организовать наблюденія надъ проходомъ весеннихъ водъ; расчетъ скорости по эмпирическимъ формуламъ можетъ тогда служить отчасти средствомъ контроля.

Скорость теченія при непосредственныхъ наблюденіяхъ можетъ быть опредѣлена помощью поплавковъ, вертушекъ и проч. Скорость теченія воды различна въ разныхъ точкахъ живого сѣченія; скорость эта измѣняется въ зависимости отъ глубины потока, какъ было уже указано выше; кромѣ того скорости теченія воды въ разныхъ точкахъ одной и той же вертикали не одинаковы, а уменьшаются по мѣрѣ углубленія точки отъ поверхности воды ко дну рѣки.

При расчетѣ отверстій искусственныхъ сооруженій необходимо знать среднюю скорость живого сѣченія для опредѣленія расхода воды; кромѣ того важно знать величину скоростей на поверхности воды и у дна рѣки, ибо первая изъ нихъ необходима для соображеній относительно условій судоходства, а вторая относительно размывовъ русла рѣки.

Опредѣлить скорости въ разныхъ точкахъ одной и той-же вертикали можно непосредственнымъ наблюденіемъ, хотя-бы помощью вертушки; для того чтобы опредѣлить среднюю скорость теченія данной вертикали, откла-

дываютъ на перпендикулярахъ въ соотвѣтственныхъ точкахъ вертикали наблюденныя скорости теченія и, соединяя найденные такимъ образомъ пункты, получаютъ кривую распредѣленія скоростей; искомая средняя скорость теченія получится, очевидно, дѣленіемъ площади, ограниченной вертикалью, крайними перпендикулярами (скоростями на поверхности и по дну) и кривою распредѣленія скоростей, на длину вертикали.

Распредѣливъ по живому сѣченію вертикали съ надлежащими средними скоростями теченія, можно безъ затрудненія расчитать расходы воды, соотвѣтствующіе элементамъ живого сѣченія между отдѣльными вертикалями, умножая площадь даннаго элемента на полусумму среднихъ скоростей, ограничивающихъ его вертикалей; просуммировавъ затѣмъ элементарные расходы и раздѣливъ полученную величину на площадь живого сѣченія, найдемъ среднюю скорость теченія воды живого сѣченія.

Дабы выяснить распредѣленіе скоростей теченія по поверхности рѣки, измѣряютъ скорости теченія на поверхности воды въ отдѣльныхъ точкахъ живого сѣченія, откладываютъ величины скоростей на перпендикулярахъ въ соотвѣтственныхъ точкахъ линіи, обозначающей поверхность рѣки на чертежѣ ея живого сѣченія и, соединяя найденные такимъ образомъ пункты, получаютъ кривую распредѣленія скоростей по поверхности рѣки. Максимальная скорость теченія на поверхности рѣки можетъ быть непосредственно отсчитана по кривой распредѣленія скоростей, а дабы получить среднюю скорость на поверхности для даннаго живого сѣченія, необходимо раздѣлить площадь, ограниченную кривою распредѣленія скоростей, крайними перпендикулярами и нулевою линіей, на длину живого сѣченія. Подобнымъ же образомъ можетъ быть выяснено распредѣленіе скоростей по дну рѣки.

Между величинами средней скорости живого сѣченія, максимальной скорости на поверхности, максимальной скорости по дну, а также скоростями въ разныхъ точкахъ одной и той же вертикали, имѣются зависимости, выражаемыя эмпирическими формулами, которыя могутъ служить для расчета однѣхъ изъ означенныхъ скоростей, по извѣстнымъ другимъ величинамъ. Изъ многочисленныхъ, служащихъ для сей цѣли эмпирическихъ формулъ, укажемъ на слѣдующія зависимости:

Зависимость между среднею скоростью (V) живого сѣченія и максимальною скоростью (V_m) на поверхности:

по формулѣ Вейсбаха:

$$V=0{,}837\ V_m \quad \ldots\ldots\ldots\

Зависимость между скоростью (V_s) на поверхности данной вертикали и скоростью (V_x) на извѣстной глубинѣ или скоростью (V_f) по дну той же вертикали—по формулѣ Вейсбаха:

$$V_x = \left(1 - 0{,}17 \frac{h_x}{h}\right) V_s \quad . \quad . \quad .

Непосредственныя измѣренія скоростей теченія воды въ рѣкѣ кропотливы и связаны со значительными затрудненіями; поэтому часто средняя скорость живого сѣченія опредѣляется по эмпирическимъ формуламъ въ зависимости отъ уклона (i) воды и средняго радіуса (R) живого сѣченія. Изъ многочисленныхъ формулъ, служащихъ для этой цѣли, можетъ быть рекомендована для большихъ рѣкъ формула Гангюлле и Куттера (Ganguillet et Kutter) слѣдующаго вида (для саженей):

$$V = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1.4607 + \left(23 + \frac{0{,}00155}{i}\right)\frac{n}{\sqrt{R}}} \sqrt{Ri} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (150),$$

гдѣ коэффиціентъ n, зависящій отъ степени шероховатости омываемаго периметра, имѣетъ слѣдующія значенія:

1) Для очень гладкихъ стѣнокъ (цементъ, строганныя доски) . . . . . $n = 0{,}010$
2) Для менѣе гладкихъ стѣнъ (бутовая кладка) . . . . . $n = 0{,}017$
3) Для земляныхъ и песчаныхъ руселъ . . . . . $n = 0{,}025$
4) Для руселъ съ зарослями и гравелистыхъ . . . . . $n = 0{,}030$

Дабы получить по указанной формулѣ среднюю скорость живого сѣченія для наивысшаго горизонта, необходимо подставить въ формулу значенія R и i, соотвѣтствующія означенному горизонту. Опредѣленіе средняго радіуса R для живого сѣченія съ максимальнымъ горизонтомъ воды не представитъ, конечно, затрудненій; иначе обстоитъ дѣло съ уклономъ i наивысшихъ водъ, непосредственное измѣреніе коего нивелировкою можетъ быть произведено лишь въ рѣдкихъ случаяхъ. Уклонъ воды въ рѣкѣ увеличивается вообще съ повышеніемъ горизонта и принимаютъ, что величины уклоновъ пропорціональны площадямъ живыхъ сѣченій; если обозначить уклонъ и площадь живого сѣченія для наивысшаго горизонта — i, ω, а для наблюденнаго горизонта — i_1, ω_1, то можемъ положить:

$$i = \frac{\omega}{\omega_1} i_1.$$

При расчетѣ расхода и скоростей теченія воды въ большой рѣкѣ, необходимо раздѣлить все живое сѣченіе на отдѣльныя части съ однообразными примѣрно глубинами и вести расчетъ для каждой части отдѣльно, какъ это было уже упомянуто выше; кромѣ того весьма полезно не ограничиваться расчетомъ расхода воды по одному лишь живому сѣченію, а произвести означенный расчетъ по нѣсколькимъ живымъ сѣченіямъ, снятымъ въ разныхъ характерныхъ мѣстахъ, и принять среднюю ариѳметическую изъ полученныхъ отдѣльныхъ расходовъ для дальнѣйшихъ выкладокъ при расчетѣ отверстія моста.

Если данная рѣка, на которой устраивается искусственное сооруженіе, впадаетъ въ другую магистральную рѣку и подпирается водами послѣдней

въ мѣстѣ расположенія проектируемаго сооруженія, то необходимо расчитать расходъ въ двухъ предположеніяхъ: 1) при пропускѣ максимальнаго количества собственныхъ водъ, 2) при пропускѣ всей воды, скопляющейся выше сооруженія отъ вліянія подпора; большій изъ указанныхъ расходовъ долженъ быть принятъ во вниманіе при расчетѣ отверстія искусственнаго сооруженія. Въ первомъ случаѣ максимальный расходъ можетъ быть не при самомъ высокомъ горизонтѣ водъ; расходъ (ω V) представляетъ произведеніе двухъ перемѣнныхъ величинъ, изъ конхъ площадь (ω) живого сѣченія увеличивается постепенно съ поднятіемъ горизонта воды, а скорость (V) теченія можетъ возрастать спачала при поднятіи водъ до нѣкотораго горизонта, а затѣмъ при дальнѣйшемъ поднятіи горизонта можетъ уменьшаться отъ вліянія подпора и даже сдѣлаться отрицательною величиною при существованіи обратнаго теченія; для опредѣленія наибольшаго расхода собственныхъ водъ подпираемой рѣки, необходимо расчитать расходы, соотвѣтствующіе разнымъ высотамъ горизонта воды при постепенномъ его поднятіи и взять наибольшій изъ полученныхъ результатовъ. Расходъ подпертыхъ водъ можетъ быть расчитанъ, въ зависимости отъ площади залитой, вслѣдствіе подпора, мѣстности и пониженія горизонта въ единицу времени, при спадѣ водъ въ магистральной рѣкѣ.

Если на рѣкѣ имѣются водоудержательныя плотины, то необходимо изслѣдовать вопросъ о возможности прорыва плотинъ и увеличенія вслѣдствіе этого расхода воды. Въ случаѣ прорыва плотины, кромѣ расхода ливневыхъ или весеннихъ водъ, получится еще дополнительный расходъ изъ подпертаго плотиною водоема; расходъ этотъ можетъ быть расчитанъ по объему водоема и времени его опорожненія, опредѣленному на основаніи подпора и возможной ширины прорыва плотины, принимая вмѣстѣ съ тѣмъ во вниманіе распредѣленіе истекшей изъ водоема воды по руслу рѣки, на протяженіи отъ плотины до искусственнаго сооруженія, въ связи съ разстояніемъ, скоростью теченія (уклономъ) и профилемъ живого сѣченія.

36. **Мосты малыхъ отверстій.** При устройствѣ мостовъ малыхъ отверстій, а также каменныхъ и чугунныхъ трубъ, допускается значительное стѣсненіе естественнаго сѣченія водотока, вслѣдствіе чего является *подпоръ* и увеличеніе скорости теченія воды въ предѣлахъ искусственнаго сооруженія, сравнительно со скоростью притеканія ея къ означенному сооруженію (скоростью въ нестѣсненномъ сѣченіи).

Отверстія мостовъ, ширина конхъ (перпендикулярно къ продольной оси пути) вообще незначительна, а потокъ при установившемся движеніи принимаетъ подъ мостомъ примѣрно очертаніе, указанное на чер. 98, могутъ быть расчитаны по формулѣ:

$$Q = x\mu\sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}\left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right] + a(h+k)^{\frac{1}{2}}\right\},$$

представляющей сумму двухъ расходовъ:

1) расхода воды черезъ неполный водосливъ

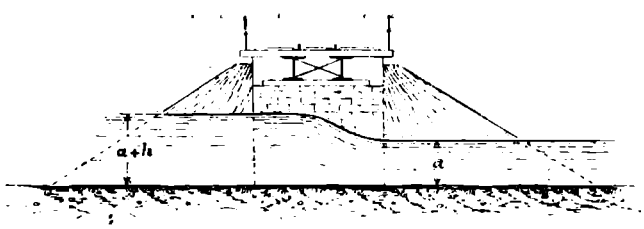
$$q_1 = x\mu\sqrt{2g}\,\frac{2}{3}\left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right] \text{ и}$$

2) расхода воды черезъ погруженное щитовое окно подъ напоромъ при высотѣ окна равной a

$$q_2 = \mu x a \sqrt{2g(h+k)},$$

при чемъ предположено, что живое сѣченіе подъ мостомъ имѣетъ прямоугольную форму и дно русла спланировано на уровнѣ низшей точки естественнаго живого сѣченія.

Чер. 98.



Изъ указанной формулы получаемъ для опредѣленія отверстія (x) моста выраженіе:

$$x = \frac{Q}{\mu\sqrt{2g}\left\{\frac{2}{3}\left[(h+k)^{\frac{3}{2}} - k^{\frac{3}{2}}\right] + a(h+k)^{\frac{1}{2}}\right\}} \quad \ldots\ldots (151),$$

гдѣ:

Q—расходъ воды (въ секунду),
μ—коэффиціентъ сжатія, равный 0,90,
g—ускореніе силы тяжести, равное 4,6 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}^2}$,
a—глубина потока въ нестѣсненномъ сѣченіи;
k—высота, соотвѣтствующая скорости притеканія

$$k = \frac{V^2}{2g},$$

h—подпоръ

$$h = \frac{V_0^2 - V^2}{2g},$$

V_0—средняя скорость живого сѣченія, допущенная въ сооруженіи.

Послѣдняя скорость назначается въ зависимости отъ способа укрѣпленія русла (устройства лотка). Дабы не было подмыва, могутъ быть допущены слѣдующія наибольшія скорости по дну (въ секунду):

1,00 саж. при укрѣпленіи русла одиночной мостовой,
1,43 „ „ „ „ двойной „
2,00 „ „ лоткѣ изъ каменной кладки.

Максимальная скорость по дну равна вообще средней скорости живого сѣченія (149); однако въ предѣлахъ искусственнаго сооруженія можно допустить болѣе равномѣрное распредѣленіе скорости, какъ по поверхности, такъ и по дну, сравнительно съ естественнымъ состояніемъ водотока. Зависимость между средней скоростью (V_s) на поверхности и максимальною скоростью (V_{ms}) на поверхности можетъ быть выражена формулою (по Вейсбаху) $V_s = 0{,}915\ V_{ms}$ . . . . . (152).

Если принять такую же зависимость для распредѣленія скоростей по дну, то можно положить:

$$V_f = 0{,}915\ V_{mf} \quad . \quad . \quad .

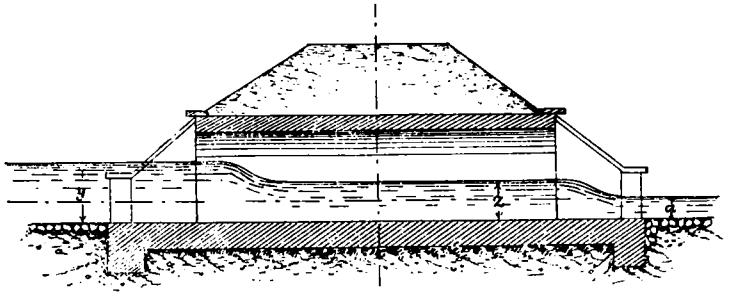
По формулѣ (151) расчитываются отверстія мостиковъ съ устоями, не большой, сравнительно, ширины; отверстія же мостиковъ подъ нѣсколько путей правильнѣе опредѣлять по изложенному ниже способу расчета отверстій для каменныхъ трубъ.

Обыкновенно принимаютъ, что скорость притеканія воды къ сооруженію равна скорости (V) теченія воды въ нестѣсненномъ сѣченіи; ввиду наличія подпора допущеніе это не вполнѣ правильно; поэтому иногда опредѣляютъ отверстіе моста и высоту подпора въ предположеніи $k = \frac{V^2}{2g}$ и $k = 0$ и берутъ среднее изъ двухъ полученныхъ для нихъ значеній.

Наибольшій подпоръ передъ мостомъ при $V_0 = 2{,}19$ саж. и $V = 0$ можетъ достигать величины $h = \frac{2.19^2}{2 \times 4{,}6} = 0{,}52$ саж.

Высота подпертаго горизонта воды надъ дномъ русла равна очевидно: $h + a$; если бы этотъ горизонтъ не удовлетворялъ приведеннымъ выше условіямъ, относительно возвышенія бровки полотна и подферменныхъ кам-

Чер. 99.



ней (§ 33), то пришлось бы увеличить отверстіе моста для уменьшенія высоты подпора, а если бы эта мѣра не могла привести къ желательнымъ результатамъ, то пришлось бы увеличить высоту насыпи, или углубить дно оврага, или же сдѣлать одновременно одно и другое.

37. Каменныя трубы. Въ каменныхъ трубахъ, длина коихъ вообще значительна по сравненію съ отверстіемъ, условія движенія воды нѣсколько другія, чѣмъ подъ мостами; въ послѣднемъ случаѣ перепадъ занимаетъ почти всю ширину моста, между тѣмъ какъ въ трубѣ онъ занимаетъ незначительную часть ея длины (чер. 99), а на остальномъ протяженіи трубы устанавливается равномѣрное движеніе съ постоянною скоростью; поэтому протокъ воды черезъ каменную трубу можетъ быть разсматриваемъ, какъ истеченіе черезъ отверстіе въ стѣнкѣ сосуда, за которой слѣдуетъ длинный каналъ шириною, равною ширинѣ отверстія въ стѣнкѣ и со дномъ, расположеннымъ на той же высотѣ, какъ и порогъ водослива.

Обозначая x—отверстіе трубы, y—высоту подпертаго горизонта воды надъ лоткомъ трубы, z—высоту слоя протекающей въ трубѣ воды и полагая, что въ трубѣ установилось равномѣрное движеніе при постоянной скорости V_0, можемъ написать выраженіе для расхода:

$$Q = \mu x z V_0 = \mu x z \sqrt{2g(h+k)} = \mu x z \sqrt{2g(y-z+k)},$$

гдѣ k—высота, соотвѣтствующая скорости притеканія воды къ сооруженію $k = \left(\frac{V^2}{2g}\right)$.

Допустимъ, согласно съ Брессомъ (Bresse), что между z и y установилось отношеніе, при которомъ расходъ воды является для данныхъ условій наибольшимъ; для этого при данныхъ $y+k$ и x, т.-е. подпертомъ горизонтѣ, скорости притеканія и отверстіи трубы, должно быть: $z = \frac{2}{3}\left(y+k\right)$. Дѣйствительно, искомая величина z должна обратить въ maximum функцію Q и, что все равно, функцію:

$$F = \frac{Q^2}{2g\,\mu^2 x^2} = z^2 (y+k-z),$$

а слѣдовательно z опредѣлится изъ уравненія:

$$\frac{dF}{dz} = 2z(y+k-z) - z^2 = o, \text{ откуда } z = \frac{2}{3}(y+k).$$

Принимая во вниманіе, что $V_0 = \sqrt{2g(y+k-z)}$ находимъ:

$$V_0 = \sqrt{2g\left[y+k-\tfrac{2}{3}(y+k)\right]} = \sqrt{2g\,\frac{y+k}{3}};$$

слѣдовательно $\frac{V_0^2}{g} = \frac{2}{3}(y+k) = z$; подставляя эту величину z въ формулу расхода, находимъ выраженіе для опредѣленія отверстія каменной трубы (въ саженяхъ):

$$x = \frac{Q}{\mu z V_0} = \frac{gQ}{\mu V_0^3} = \frac{4{,}6}{0{,}9}\frac{Q}{V_0^3} = 5{,}1\,\frac{Q}{V_0^3} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (155).$$

Высота подпертаго горизонта опредѣлится изъ выраженія:

$$y = \frac{3}{2}z - k = \frac{3V_0^2 - V^2}{2g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (156).$$

Формула (155) для опредѣленія отверстія каменной трубы примѣнима лишь при условіи, что высота подпертаго горизонта, опредѣленная по формулѣ (156) получится болѣе глубины (a) потока въ нестѣсненномъ сѣченіи; въ противоположномъ случаѣ отверстіе трубы должно быть расчитано по формулѣ:

$$x = \frac{Q}{\mu a V_0} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (157).$$

При выводѣ формулъ для расчета отверстій каменныхъ трубъ предполагалось, что боковыя стѣнки трубы вертикальны, т.-е. сводъ начинается выше уровня воды; для расчета отверстій параболическихъ трубъ, сводъ коихъ начинается непосредственно отъ лотка трубы, можно пользоваться тѣми же формулами, увеличивъ лишь соотвѣтственно опредѣленный по

Кестлину (или какимъ-нибудь другимъ способомъ) расходъ воды, т.-е., принимая для расчета вмѣсто расхода Q расходъ $Q_1 = \alpha Q$, гдѣ α—коэффиціентъ, выражающій отношеніе площади живого сѣченія трубы даннаго отверстія, съ вертикальными стѣнками, къ площади живого сѣченія параболической трубы такого же отверстія. Коэффиціентъ α при условіяхъ, обыкновенно встрѣчающихся на практикѣ, можно принимать равнымъ 1,25.

Скорость теченія воды въ каменной трубѣ назначается, въ зависимости отъ предполагаемаго способа укрѣпленія лотка, по приведеннымъ выше нормамъ (§ 36).

Каменныя трубы обыкновенно устраиваются съ отверстіями 0,50, 0,75, 1,00, 1,50, 2,00, 2,50 и 3,00 саж.; трубы бо́льшихъ отверстій примѣняются рѣдко; лотки устраиваются преимущественно изъ каменной кладки, особенно же для трубъ малыхъ отверстій. Дну трубы слѣдуетъ придать уклонъ, соотвѣтствующій скорости теченія воды, опредѣляя таковой, напримѣръ, по формулѣ Дарси-Базена (143).

Трубы предпочтительнѣе открытыхъ мостиковъ въ томъ отношеніи, что онѣ требуютъ менѣе ремонта и позволяютъ сохранить безъ перерывовъ общую систему верхняго строенія, что благопріятно вліяетъ на плавность движенія поѣздовъ; поэтому для пропуска водъ подъ желѣзнодорожнымъ полотномъ, слѣдуетъ устраивать преимущественно трубы, если только это возможно въ зависимости отъ величины расхода воды и высоты насыпи.

По техническимъ условіямъ проектированія магистралей, каменныя трубы должны быть спроектированы такимъ образомъ, чтобы вода при наивысшемъ своемъ уровнѣ, не доходила на 0,10 саж. до пять свода, если сводъ кирпичный; при каменныхъ же или бетонныхъ сводахъ вода не должна подниматься выше $^3/_4$ полной высоты трубы, считая отъ лотка до нижней поверхности ключа свода, при чемъ, во всякомъ случаѣ, въ сводахъ съ подъемомъ болѣе $^1/_3$ возвышеніе ключа свода надъ горизонтомъ воды должно быть не менѣе 0,40 саж., а при меньшихъ подъемахъ не менѣе 0,25 саж. Общая толщина земляной засыпки и балласта, до подошвы шпалъ надъ наружною поверхностью свода каменныхъ трубъ, должна, вообще, составлять не менѣе 0,50 саж.; впрочемъ при соблюденіи особо установленныхъ, болѣе строгихъ условій проектированія трубъ, допускается уменьшеніе означенной общей толщины земляной засыпки и балласта, съ тѣмъ однако, чтобы наименьшая общая толщина засыпки надъ трубою ни въ какомъ случаѣ не была менѣе 0,20 саж., считая отъ подошвы шпалъ.

Опредѣливъ высоту подпертаго горизонта по формулѣ (156), можно, на основаніи приведенныхъ выше техническихъ условій, расчитать высоту трубы внутри до ключа свода и, прибавивъ къ послѣдней высотѣ толщину свода и необходимую толщину земляной засыпки, опредѣлить минимальную высоту насыпи, при которой возможно устройство трубы расчитанныхъ размѣровъ. Если высота насыпи по профилю окажется менѣе высоты, расчитанной указаннымъ способомъ, то придется либо увеличить отверстіе трубы для уменьшенія подпора (уменьшить скорость въ трубѣ), либо углубить русло, если это возможно по мѣстнымъ условіямъ, либо увеличить высоту насыпи, либо, наконецъ, отказаться отъ устройства трубы, а запроектировать открытый мостикъ.

Въ той части каменной трубы, гдѣ движеніе установилось, толщина (z) слоя протекающей воды менѣе толщины (y) у входного отверстія; перепадъ, т.-е. переходъ отъ подпертаго къ пониженному горизонту, совершается на небольшомъ, сравнительно, протяженіи (1—2,5 саж. въ зависимости отъ высоты подпора); поэтому для уменьшенія количества кладки, особенно въ длинныхъ трубахъ, иногда придаютъ трубѣ высоту, соотвѣтствующую подпертому горизонту, лишь на длинѣ перепада, а на остальномъ протяженіи устраиваютъ трубу меньшей высоты, соотвѣтственно съ глубиною воды при установившемся ея движеніи.

38. Чугунныя трубы. Діаметръ чугунныхъ трубъ, примѣняемыхъ въ Россіи для пропуска водъ подъ желѣзнодорожнымъ полотномъ, равенъ 0,50 саж.; поэтому, въ случаѣ примѣненія чугунной трубы, вопросъ заключается не въ расчетѣ отверстія, а въ провѣркѣ, достаточна ли чугунная труба для пропуска водъ при данныхъ условіяхъ.

По установленнымъ для русскихъ жел. дорогъ правиламъ, устройство чугунныхъ трубъ допускается подъ насыпями, высотою не менѣе 1 саж. и не болѣе 10 саж.; наибольшая скорость теченія воды у выходного отверстія чугунной трубы не должна превосходить 2,86 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (20 ф.), если основаніе подъ трубу устроено изъ каменной или бетонной кладки и 1,43 $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$ (10 ф)., если означенное основаніе устроено изъ мятой глины со щебнемъ или гравіемъ; при этомъ послѣдній способъ устройства основанія допускается лишь для трубъ подъ одинъ путь, при высотѣ насыпи не болѣе 4 саж.; кромѣ того наибольшій подпоръ надъ центромъ входного отверстія не долженъ превосходить для трубъ, уложенныхъ на основаніи изъ мятой глины со щебнемъ, нижеслѣдующихъ предѣловъ.

для насыпи высотою въ	1	саж.	не болѣе	0,25	саж.
„ „ „ „	2	„	„	„	0,30	„
„ „ „ „	3	„	„	„	0,32	„
„ „ „ „	4	„	„	„	0,35	„

Такъ какъ по чугуннымъ трубамъ допускается протокъ воды полнымъ сѣченіемъ подъ напоромъ со скоростью не болѣе 2,86 саж. въ секунду, то максимальный расходъ воды въ чугунной трубѣ равенъ $3{,}14 \times \frac{0{,}5^2}{4} \times 2{,}86 =$ $= 0{,}56$ кб. саж.

Зависимость между высотою h подпора воды надъ центромъ выходного отверстія трубы и скоростью V теченія воды въ трубѣ, выражается формулою:

$$h = \left(1 + \xi + \lambda \frac{L}{D}\right) \frac{V^2}{2g} \quad \ldots \ldots \quad (158)$$

гдѣ:

L—длина трубы.
D—діаметръ трубы $= 0{,}5$ саж.
g—ускореніе силы тяжести $= 4{,}6$ саж.

ξ—коэффиціентъ сопротивленія при входѣ воды въ трубу, средняя величина коего = 0,505.

λ—коэффиціентъ тренія въ трубѣ, опредѣляемый по формулѣ:

$$\lambda = 0{,}01439 + \frac{0{,}0094711}{\sqrt{V}}$$ (V—скорость теченія воды въ метрахъ).

Для того чтобы скорость теченія воды въ трубѣ достигла данной величины V, необходимъ подпоръ передъ трубою, опредѣляемый формулою (158). Расчитаемъ для примѣра величину подпора, необходимаго для того, чтобы скорость теченія воды по чугунной трубѣ, уложенной подъ два пути, при насыпи высотою 10 саж., достигла 2,86 саж.

Для указаннаго случая имѣемъ:

$L = 4{,}6 + 10 \times 3 + 7 \times 0{,}5 = 38{,}1$ саж., $\lambda = 0{,}018$, а слѣдовательно:

$$h = \left(1 + 0{,}505 + 0{,}018 \frac{38{,}1}{0{,}5}\right) \frac{2{,}86^2}{2 \times 4{,}6} = 2{,}56 \text{ саж.}$$

Наивысшій допускаемый горизонтъ водъ, подпертыхъ передъ чугунной трубою, ограниченъ двумя условіями: уровень воды долженъ быть ниже бровки полотна по крайней мѣрѣ на 0,50 саж., а скорость теченія воды въ трубѣ, опредѣляемая формулою (158), не должна превосходить указанныхъ выше предѣловъ; на основаніи этихъ условій можно опредѣлить для каждаго даннаго случая допускаемые подпоръ и скорость теченія воды въ трубѣ.

Разсмотримъ условія, опредѣляющія возможность примѣненія чугунной трубы. Пусть расходъ ливневыхъ водъ равенъ Q. Предположимъ, что для даннаго случая предѣльныя величины подпора и скорости теченія въ трубѣ равны соотвѣтственно H и V_0; расходъ q воды въ чугунной трубѣ можетъ достигать величины $q = 3{,}14 \frac{0{,}5^2}{4} V_0$.

Если $q > Q$, то примѣненіе чугунной трубы, очевидно, возможно; если же $q < Q$, то, въ зависимости отъ конфигураціи русла и береговъ оврага или рѣчки передъ чугунною трубою, въ однихъ случаяхъ примѣненіе чугунной трубы окажется возможнымъ, а въ другихъ—невозможнымъ. Продолжительность ливня можно считать около 2 часовъ = 7.200 секундъ; такъ какъ, согласно предположенію, притокъ воды къ трубѣ больше расхода черезъ трубу, то вода будетъ скопляться передъ трубою, а горизонтъ ея повышаться; если вмѣстимость водоема передъ трубою настолько велика, что, въ теченіе двухчасовой продолжительности ливня, горизонтъ воды не успѣетъ подняться выше предѣльнаго, для даннаго случая, уровня подпора, то примѣненіе чугунной трубы возможно; если же горизонтъ скопляющейся воды достигаетъ указанной предѣльной высоты въ промежутокъ времени менѣе 2 часовъ, то примѣненіе чугунной трубы невозможно.

Величина t промежутка времени, необходимаго для того, чтобы горизонтъ скопляющейся воды достигъ данной высоты H, можетъ быть опредѣлена слѣдующимъ образомъ (чер. 100):

Пусть: F_x — перемѣнная площадь скопляющейся передъ сооруженіемъ подпертой воды, x — высота горизонта подпертой воды надъ центромъ трубы. Во время dt притокъ воды равенъ $Q dt$, а расходъ черезъ трубу только $\mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gx}\, dt$, вслѣдствіе чего произойдетъ повышеніе горизонта подпертой воды на величину dx и впереди сооруженія задержится количество воды $F_x dx$; очевидно:

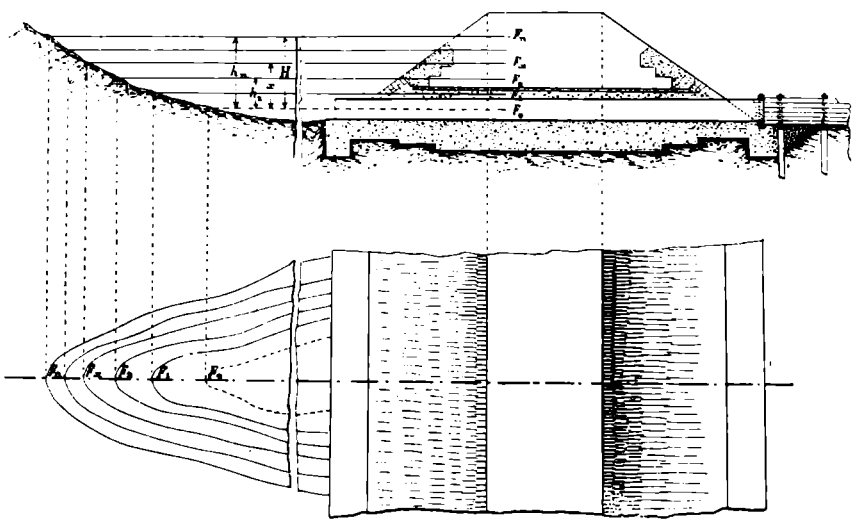
$$F_x dx = Q dt - \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gx}\, dt, \text{ откуда}$$

$$dt = \frac{F_x dx}{Q - \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2gx}}, \text{ а слѣдовательно}$$

$$t = \int_0^H \frac{F_x\, dx}{Q - \mu \frac{\pi D^2}{4} \sqrt{2\, gx}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (159),$$

причемъ, для простоты расчета, труба предположена горизонтальною, а объемъ воды ниже центра трубы не принять во вниманіе.

Чер. 10).



Если видъ функціи F_x, т.-е. зависимость F_x отъ x извѣстна, то интегрированіемъ второй части равенства (159) можно опредѣлить искомую величину t промежутка времени.

Величину интеграла можно найти приблизительно, пользуясь для выраженія объема формулой Симпсона.

Если площади горизонтальныхъ сѣченій оврага передъ насыпью, взятыхъ на одинаковыхъ по высотѣ разстояніяхъ, обозначимъ F_0, F_1, F_2 . . F_n . . h_n — высоту скопившейся передъ насыпью воды, S — объемъ этой воды, то при n — четномъ:

$$S = \frac{h_n}{3n}\left\{ F_0 + 4\left[[F_1 + F_3 + \ldots + F_{n-1} \right] + 2\left[F_2 + F_4 + \ldots F_{n-2} \right] + F_n \right\}:$$

при $n=$ нечетномъ, объемъ трехъ нижнихъ слоевъ опредѣлится изъ выраженія:

$$S_1=\frac{h_3}{8}\left\{F_0+3\left[F_1+F_2\right]+F_3\right\},$$

а остальныхъ слоевъ изъ предыдущей формулы. Имѣя ввиду, что площади F_0 соотвѣтствуетъ высота $h_0=0$, площади F_1 — высота h_1, площади F_2 — высота h_2 и т. д. и, обозначая величину $\mu\frac{\pi D^2}{4}\sqrt{2g}$ буквою A, находимъ изъ выраженія (159) при четномъ числѣ слоевъ:

$$t=\frac{h_n}{3n}\left\{\frac{F_0}{Q}+4\left[\frac{F_1}{Q-A\sqrt{h_1}}+\frac{F_3}{Q-A\sqrt{h_3}}+\ldots+\right.\right.$$
$$\left.+\frac{F_{n-1}}{Q-A\sqrt{h_{n-1}}}\right]+2\left[\frac{F_2}{Q-A\sqrt{h_2}}+\frac{F_4}{Q-A\sqrt{h_4}}+\ldots+\right.$$
$$\left.\left.+\frac{F_{n-2}}{Q-A\sqrt{h_{n-2}}}\right]+\frac{F_n}{Q-A\sqrt{h_n}}\right\}\ldots\ldots\ldots \quad (160).$$

Въ случаѣ нечетнаго числа слоевъ, опредѣляемъ сперва время наполненія первыхъ трехъ слоевъ, пользуясь указаннымъ выше выраженіемъ для S_1, а затѣмъ ведемъ расчетъ для остальныхъ слоевъ по послѣдней формулѣ, начиная съ площади F_3 и подставляя h_n-h_3 вмѣсто h_n, и $n-3$, вмѣсто n.

Скорость теченія воды по чугунной трубѣ, полнымъ сѣченіемъ подъ напоромъ, не зависитъ отъ уклона трубы, а лишь отъ высоты напора надъ выходнымъ отверстіемъ трубы; если же теченіе воды происходитъ не полнымъ отверстіемъ трубы, то скорость теченія зависитъ отъ уклона и можетъ быть опредѣлена по приведеннымъ выше формуламъ.

39. **Мосты большихъ отверстій.** При расчетѣ отверстій большихъ мостовъ могутъ встрѣтиться два случая: а) отверстіе моста назначается съ такимъ расчетомъ, чтобы скорость теченія воды, въ стѣсненномъ сѣченіи, послѣ устройства моста, недостигла той величины, при которой могъ бы произойти размывъ русла; b) отверстіе моста назначается такой величины, при которой происходитъ размывъ русла вслѣдствіе возрастанія скорости въ стѣсненомъ сѣченіи послѣ устройства моста; размывъ этотъ прекращается, послѣ соотвѣтственнаго уменьшенія скорости теченія, въ связи съ увеличеніемъ живого сѣченія подъ мостомъ отъ размыва русла.

а) *Размывъ русла недопускается.* Пусть Q — максимальный расходъ водъ, V — средняя скорость живого сѣченія въ главномъ руслѣ рѣки до устройства моста, U — наибольшая допускаемая, средняя скорость живого сѣченія подъ мостомъ, при которой размывъ русла еще не происходитъ; называя ω — искомую площадь живого сѣченія подъ мостомъ, имѣемъ для опредѣленія ея выраженіе:

$Q=\mu\omega U$, гдѣ μ — коэффиціентъ сжатія, зависящій отъ формы передней грани опоръ; коэффиціентъ этотъ можно принимать:

$\mu = 0{,}85$ при прямоугольномъ горизонтальномъ сѣченіи опоръ
$\mu = 0{,}90$ „ закругленномъ „ „ „
$\mu = 0{,}95$ „ остроугольномъ „ „ „

Такимъ образомъ необходимая площадь живого сѣченія подъ мостомъ опредѣлится изъ формулы:

$$\omega = \frac{Q}{\mu U} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (161),$$

если извѣстна допускаемая скорость U для даннаго случая, въ зависимости отъ характера того грунта, изъ котораго состоитъ русло рѣки.

Для того чтобы не было размыва русла, могутъ быть допущены нижеслѣдующія максимальныя скорости по дну (V_f) для различныхъ грунтовъ (въ $\frac{\text{саж.}}{\text{сек.}}$):

Иловатая земля	0,05
Мелкій песокъ	0,20
Плотный песокъ съ гравіемъ	0,50
Плотная глина	0,60
Галька съ камнемъ	0,65
Дно, покрытое крупнымъ камнемъ	1,00
Горныя породы (слоистыя)	1,50
Крѣпкія скалы	2,00

Скорости теченія подъ мостомъ распредѣляются довольно равномѣрно по всей ширинѣ рѣки, благодаря струенаправляющимъ дамбамъ и регуляціоннымъ работамъ; поэтому на основаніи приведенныхъ выше соображеній (§ 36), можно принять $U = \frac{V_f}{0{,}915}$. Если бы, опредѣленная указаннымъ способомъ, допускаемая средняя скорость (U) живого сѣченія подъ мостомъ оказалась менѣе средней расчетной скорости (V) живого сѣченія въ главномъ руслѣ, то слѣдуетъ принять послѣднюю скорость для опредѣленія необходимой площади живого сѣченія подъ мостомъ по формулѣ (161).

Расчитавъ величину площади живого сѣченія подъ мостомъ, опредѣляютъ отверстіе моста слѣдующимъ способомъ: наносятъ на профилѣ живого сѣченія рѣки устои и быки проектируемаго моста съ такимъ расчетомъ, чтобы площадь живого сѣченія подъ мостомъ получилась равною площади ω, опредѣленной указаннымъ выше способомъ, причемъ можно предполагать разработку береговъ рѣки до уровня меженнихъ водъ.

Если рѣка судоходна, то при назначеніи средней скорости живого сѣченія подъ мостомъ, необходимо считаться съ потребностями судоходства. Судоходство противъ теченія рѣки становится затруднительнымъ, при скорости послѣдняго по поверхности болѣе 0,50 саж., а судоходство внизъ— при скорости болѣе 0,80 саж. Въ предѣлахъ моста можно принимать равномѣрное распредѣленіе скоростей на поверхности рѣки; зависимость между

среднею скоростью живого сѣченія (V) и среднею скоростью на поверхности (V_s), имѣя ввиду формулы (144) и (152), опредѣляется выраженіемъ:

$$V = 0{,}837\ V_{ms} = \frac{0{,}837}{0{,}915}\ V_s = 0{,}915\ V_s\ ;$$

поэтому, указаннымъ выше скоростямъ, предѣльнымъ для взводнаго и сплавного судоходства, соотвѣтствуютъ среднія скорости живого сѣченія подъ мостомъ 0,46 саж. и 0,73 саж. До указанныхъ величинъ могутъ быть доводимы подъ мостомъ скорости теченія судоходныхъ рѣкъ, если скорости въ нестѣсненномъ руслѣ меньше означенныхъ предѣловъ. Однако часто наблюдаются, при высокихъ горизонтахъ на судоходныхъ рѣкахъ, скорости теченія, превосходящія указанныя выше величины, причемъ судоходство приспособляется такъ или иначе къ мѣстнымъ условіямъ, а иногда и прекращается вовсе на время прохода высокихъ водъ; въ такихъ случаяхъ теряютъ, конечно, значеніе приведенныя соображенія о предѣльной скорости подъ мостомъ на поверхности рѣки при проходѣ высокихъ водъ.

Часто, при расчетѣ отверстій мостовъ, за допускаемую среднюю скорость теченія живого сѣченія подъ мостомъ берутъ среднюю скорость нестѣсненнаго живого сѣченія главнаго русла; въ такомъ случаѣ естественныя бытовыя условія рѣки не ухудшаются отъ устройства искусственнаго сооруженія.

b) *Допускается размывъ русла.* Отверстіе моста назначается иногда, съ цѣлью уменьшенія его длины, съ такимъ расчетомъ, чтобы произошелъ размывъ русла рѣки подъ мостомъ, благодаря увеличенію скорости теченія, сравнительно съ нестѣсненнымъ сѣченіемъ; съ увеличеніемъ площади живого сѣченія подъ мостомъ отъ размыва, скорость теченія, постепенно уменьшаясь, доходитъ до предѣловъ, отвѣчающихъ грунту ложа рѣки.

Пусть Q—максимальный расходъ водъ, V — средняя скорость въ нестѣсненномъ сѣченіи главнаго русла, h — наибольшая и h_0 — средняя глубины въ томъ же руслѣ (до размыва). Съ устройствомъ моста отверстіемъ l начнется размывъ русла, благодаря увеличенію скорости отъ стѣсненія русла. Глубина p размыва расчитывается въ предположеніи, что размывъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока средняя скорость живого сѣченія подъ мостомъ не понизится до величины, равной средней скорости V нестѣсненнаго сѣченія главнаго русла, то есть, пока площадь ω живого сѣченія подъ мостомъ не достигнетъ величины, опредѣляемой выраженіемъ:

$$\omega = \frac{Q}{\mu\ V}\ .$$

Если послѣ размыва средняя глубина подъ мостомъ равна H_0, а наибольшая глубина H, то очевидно $H_0 = \frac{\omega}{l}$; далѣе, полагая, что отношеніе $\alpha = \frac{h}{h_0}$ между наибольшею и среднею глубинами остается одно и то-же до и послѣ размыва, найдемъ наибольшую глубину послѣ размыва изъ выраженія $H = \alpha\ H_0$, а наибольшій размывъ— $p = H - h$.

Если глубина p размыва отвѣчаетъ мѣстнымъ условіямъ, а равно глубинѣ заложенія и роду проектируемыхъ мостовыхъ опоръ, то отверстіе l моста назначено правильно; въ противномъ случаѣ пришлось бы его соотвѣтственно измѣнить.

При назначеніи отверстія моста, съ разсчетомъ на размывъ русла, необходимо изслѣдовать вопросъ, не могутъ ли отложенія вынесеннаго изъ подъ моста грунта быть причиною нежелательныхъ явленій и допустима ли увеличенная, на первыхъ порахъ (до размыва русла), скорость теченія, съ точки зрѣнія интересовъ судоходства, если таковое имѣется на данной рѣкѣ.

Что же касается допустимой величины размыва русла, въ отношеніи устойчивости мостовыхъ опоръ, то таковая зависитъ, съ одной стороны, отъ возможной для данныхъ условій глубины заложенія основаній опоръ ниже уровня меженнихъ водъ рѣки, а, съ другой стороны, отъ глубины меженней воды и отъ той глубины заложенія основаній ниже дна рѣки, которая должна остаться послѣ размыва для обезпеченія устойчивости опоръ.

Наибольшая возможная глубина заложенія основаній, ниже меженнихъ водъ рѣки, зависитъ отъ выбраннаго типа основаній (заложеніе основаній въ шпунтовыхъ огражденіяхъ съ водоотливомъ, опускные колодцы, кессоны и проч.). Наименьшая глубина y заложенія основаній ниже дна рѣки, опредѣляется обыкновенно по формулѣ Паукера:

$$y = m\frac{\Delta}{\delta}by^2\left(\frac{90-\varphi}{2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (162),$$

гдѣ m — коэффиціентъ безопасности (принимаютъ $m=2$), Δ — давленіе на квадратную единицу основанія, δ — вѣсъ кубической единицы песку, φ — уголъ естественнаго откоса грунта, составляющій для глины и растительной земли 42°—30°, а для песка 37°—25° въ зависимости отъ крупности и степени насыщенья водою.

Въ большихъ рѣкахъ высокія воды проходятъ не по одному главному руслу, служащему для теченія меженнихъ водъ, но еще и по залитымъ поймамъ, при чемъ иногда случается, что большинство весеннихъ водъ проходитъ не по главному руслу, а по старорѣчью въ предѣлахъ разлива; въ такомъ случаѣ является вопросъ, слѣдуетъ ли устраивать лишь только одинъ мостъ на главномъ руслѣ рѣки, или же необходимо перекрыть старорѣчье дополнительнымъ мостомъ. Вопросъ этотъ можетъ быть рѣшенъ лишь на основаніи детальнаго обслѣдованія условій прохода высокихъ водъ; вообще слѣдуетъ избѣгать устройства двухъ мостовъ для пропуска высокихъ водъ рѣки, ибо придавать каждому изъ нихъ отверстіе, достаточное для прохода всего количества высокихъ водъ, крайне невыгодно въ экономическомъ отношеніи, въ противномъ же случаѣ можетъ произойти подмывъ моста, если по какимъ-нибудь причинамъ, напримѣръ, отъ льдяныхъ заторовъ и т. п. вся масса воды устремится подъ одинъ мостъ. Однако, при очень широкихъ разливахъ, могутъ быть случаи, когда невозможно ограничиться устройствомъ одного лишь моста, ибо тогда получилась бы большая разница между уровнями воды съ той и другой стороны желѣзнодорожной насыпи и значительныя скорости теченія вдоль нея.

Иногда на поймѣ рѣки бываютъ мѣстныя углубленія, заполняемыя высокими водами; для спуска воды изъ этихъ углубленій, устраиваются, въ случаѣ надобности, небольшія искусственныя сооруженія въ желѣзнодорожной насыпи, закрываемыя шандорами на время прохода высокихъ водъ, во избѣжаніе подмыва.

Распредѣленіе всего отверстія моста, перекрывающаго большую рѣку, на отдѣльные пролеты зависитъ отъ мѣстныхъ условій, какъ-то: очертанія главнаго русла, требованій судоходства, высоты моста, условій устройства фундаментовъ для опоръ, условій сборки фермъ и проч.; въ экономическомъ отношеніи тѣмъ выгоднѣе увеличивать отдѣльные пролеты моста, чѣмъ больше стоимость его опоръ; наивыгоднѣйшее, въ экономическомъ отношеніи, рѣшеніе вопроса получается при условіи, что стоимость металлическаго строенія пролета равна стоимости быка.

ГЛАВА IX.

Виртуальная длина. Пропускная и провозная способность дороги.

40. Виртуальная длина. Дѣйствительная, геометрическая длина дороги не даетъ достаточно яснаго представленія о работѣ, необходимой для передвиженія поѣзда, о времени его пробѣга и объ эксплоатаціонныхъ расходахъ, ибо величины эти зависятъ въ значительной степени отъ техническихъ условій профиля и плана дороги; въ зависимости отъ означенныхъ техническихъ условій, опредѣляется для данной дороги *воображаемая, виртуальная ея длина*, которою удобно пользоваться при рѣшеніи вопросовъ, касающихся движенія поѣздовъ и связанныхъ съ нимъ эксплоатаціонныхъ расходовъ.

Въ зависимости отъ цѣли своего назначенія, могутъ быть вычислены разнаго рода виртуальныя длины, какъ-то: виртуальная длина *по сопротивленію* движенію, виртуальная длина *по скоростямъ*, виртуальная длина *по расходу пара* или воды паровозомъ и *эксплоатаціонная* виртуальная длина, характеризующая расходы по передвиженію поѣздовъ.

а) *Виртуальною длиною по сопротивленію* даннаго участка дороги называется длина воображаемаго прямого и горизонтальнаго участка, удовлетворяющаго тому условію, что работа паровоза, при передвиженіи поѣзда на протяженіи воображаемаго участка, равна такой же работѣ на протяженіи даннаго дѣйствительнаго участка.

Пусть для даннаго участка, дѣйствительною длиною l, расположеннаго на кривой и уклонѣ, сопротивленіе движенію равно $W_1 + W_2 \pm i$; виртуальная длина L означеннаго участка опредѣлится, очевидно, изъ выраженія:

$$L W_1 = l\ (W_1 + W_2 \pm i), \text{ откуда}$$

$$L = \frac{W_1 + W_2 \pm i}{W_1} l = \alpha l \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (163),$$

гдѣ α — виртуальной коэффиціентъ даннаго участка.

Для вычисленія виртуальной длины дороги, необходимо разбить ее на отдѣльные участки длиною l_1, l_2, l_3, $\ldots\ldots l_n$, съ однообразными на всемъ протяженіи участка техническими условіями профиля и плана, и опредѣлить для участковъ виртуальные коэффиціенты α_1, α_2, α_3, $\ldots\ldots \alpha_n$; виртуальная длина L дороги опредѣлится изъ выраженія: $L = \alpha_1 l_1 + \alpha_2 l_2 + \alpha_3 l_3 + \ldots + \alpha_n l_n = \Sigma \alpha l$.

Отношеніе виртуальной длины дороги къ дѣйствительной, геометрической ея длинѣ называется *виртуальнымъ коэффиціентомъ дороги.*

На участкахъ съ вредными уклонами виртуальные коэффиціенты представляютъ отрицательныя величины; однако, не слѣдуетъ расчитывать на передвиженіе поѣзда за счетъ развитой имъ на вредномъ уклонѣ живой силы, почему участки съ отрицательными виртуальными коэффиціентами не вводятся вовсе въ разсчетъ виртуальной длины дороги.

Виртуальная длина дороги вообще различна для обоихъ направленій движенія поѣздовъ. Виртуальный коэффиціентъ, зависящій отъ величины сопротивленія движенію на прямомъ и горизонтальномъ пути, зависитъ, очевидно, отъ скорости движенія поѣзда и вѣса паровоза съ тендеромъ, по отношенію къ вѣсу всего состава поѣзда; поэтому виртуальная длина различна для пассажирскаго и для товарнаго движенія и зависитъ, вообще, отъ состава поѣзда.

Для расчета виртуальной длины необходимо опредѣлить составъ поѣзда и скорости его движенія на основаніи изложенныхъ выше соображеній (§ 20), послѣ чего могутъ быть расчитаны сопротивленія движенію и виртуальные коэффиціенты для отдѣльныхъ участковъ дороги и для всего ея протяженія.

b) *Виртуальною длиною по скоростямъ* даннаго участка дороги называется длина воображаемаго прямого и горизонтальнаго участка, удовлетворяющаго тому условію, что поѣздъ, двигаясь по немъ со скоростью, соотвѣтствующею прямому и горизонтальному пути, проходитъ его въ такое же время, какъ и дѣйствительный данный участокъ, при скорости движенія на послѣднемъ, соотвѣтствующей техническимъ условіямъ его профиля и плана.

Пусть скорость движенія поѣзда на данномъ участкѣ, длиною l, равна V, а скорость движенія поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути равна V_0: виртуальная длина L по скоростямъ даннаго участка опредѣлится изъ выраженія:

$$\frac{L}{V_0} = \frac{l}{V}, \text{ откуда}$$

$$L = \frac{lV_0}{V}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (164)$$

Для вычисленія виртуальной длины по скоростямъ всей дороги, необходимо разбить ее на отдѣльные участки, длиною l_1, l_2, l_3, ... l_n, съ однообразными на всемъ протяженіи участка техническими условіями профиля и плана и опредѣлить скорости движенія V_1, V_2, V_3, ... V_n поѣзда на означенныхъ участкахъ; виртуальная длина по скоростямъ всей дороги опредѣлится изъ выраженія:

$$L = \frac{l_1 V_0}{V_1} + \frac{l_2 V_0}{V_2} + \frac{l_3 V_0}{V_3} + \ldots + \frac{l_n V_0}{V_n} = \Sigma \frac{lV_0}{V},$$

гдѣ V_0—скорость движенія поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути. Виртуальная длина по скоростямъ можетъ быть также расчитана по отношенію къ средней скорости движенія поѣзда на протяженіи даннаго перегона или всей дороги.

Виртуальная длина дороги по скоростямъ различна, очевидно, для обоихъ направленій движенія поѣздовъ, а также различна для поѣздовъ разной скорости (пассажирскихъ, товарныхъ). Для расчета виртуальной длины по скоростямъ, необходимо опредѣлить составъ поѣзда и скорости его движенія на отдѣльныхъ участкахъ дороги (§ 20), послѣ чего можно расчитать виртуальныя длины для отдѣльныхъ участковъ и для всего протяженія дороги; скорости на уклонахъ должны быть назначены, не выходя изъ допускаемыхъ предѣловъ, въ зависимости отъ имѣющихся на данномъ поѣздѣ средствъ тормаженія.

При разсмотрѣніи выше вопроса о составѣ и скорости движенія поѣзда (§ 20), были даны указанія о способахъ расчета наибольшихъ, возможныхъ для данныхъ условій, величинъ состава поѣзда и скоростей его движенія, которыя, однако, не являются вообще наивыгоднѣйшими для данныхъ условій движенія. Виртуальныя длины какъ по сопротивленіямъ, такъ и по скоростямъ, было бы правильнѣе расчитывать не въ зависимости отъ наибольшихъ, а въ зависимости отъ наивыгоднѣйшихъ величинъ состава и скоростей движенія поѣзда; однако, вопросъ объ опредѣленіи наивыгоднѣйшаго состава и скоростей движенія поѣзда, отличающійся большою сложностью, выходитъ за предѣлы настоящаго курса.

c) *Виртуальною длиною по расходу пара (воды)* или *тяговою* длиною даннаго участка дороги называется длина воображаемаго прямого и горизонтальнаго участка, удовлетворяющаго тому условію, что расходъ пара паровозомъ, при передвиженіи поѣзда на протяженіи воображаемаго участка, равенъ такому же расходу пара на протяженіи даннаго дѣйствительнаго участка.

Пусть для даннаго участка, дѣйствительною длиною l, расходъ пара на единицу длины равенъ q, расходъ же пара на единицу длины прямого и горизонтальнаго пути равенъ q_0; виртуальная длина L означеннаго участка опредѣлится, очевидно, изъ выраженія: $L q_0 = l q$, откуда

$$L = \frac{l q}{q_0} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (168)$$

Для вычисленія тяговой виртуальной длины всей дороги, необходимо разбить ее на отдѣльные участки, длиною l_1, l_2, l_3, ... l_n, съ однообразными на всемъ протяженіи участка техническими условіями профиля и плана, и опредѣлить единичные расходы пара q_1, q_2, q_3, . . . q_n для означенныхъ участковъ; тяговая виртуальная длина всей дороги опредѣлится изъ выраженія:

$$L = \frac{l_1 q_1}{q_0} + \frac{l_2 q_2}{q_0} + \frac{l_3 q_3}{q_0} + \ldots \frac{l_n q_n}{q_0} = \Sigma \frac{l q}{q_0}$$

Практически задача эта рѣшается способомъ подобнымъ тому, который былъ указанъ выше для расчета виртуальной длины скоростей. По данному типу паровоза опредѣляютъ составъ поѣзда, скорости и сопротивленія движенію, а также индикаторную силу тяги для отдѣльныхъ однородныхъ участковъ дороги; зная индикаторную силу тяги, можно расчитать

среднее давленіе пара въ цилиндрѣ и степень его наполненія, а слѣдовательно и объемъ свѣжаго пара, расходуемаго за полный ходъ поршня, что въ свою очередь позволяетъ опредѣлить расходъ пара на единицу длины пути проходимаго поѣздомъ.

Для приблизительнаго расчета можно опредѣлить расходъ пара по индикаторной работѣ паровоза, исчисляемой, исходя изъ скорости и сопротивленія движенію (§ 20); расходъ же пара на силу—часъ можно принять по опытнымъ даннымъ для соотвѣтственнаго типа паровоза. На вредныхъ уклонахъ паровозъ работы не производитъ вовсе, а расходъ пара для опредѣленія тяговой виртуальной длины можно считать равнымъ нулю.

d) *Эксплоатаціонная виртуальная длина.* Виртуальная длина по сопротивленіямъ даетъ представленіе о работѣ, совершаемой паровозомъ для передвиженія поѣзда на протяженіи данной дороги, но длина эта не пригодна для сужденія о расходахъ по передвиженію поѣздовъ, которые нельзя считать пропорціональными роботѣ паровоза. Для участковъ, проложенныхъ по вреднымъ уклонамъ, виртуальная длина по сопротивленію равна нулю, между тѣмъ передвиженіе поѣзда на протяженіи означенныхъ участковъ связано съ извѣстными расходами, какъ-то: на наемъ паровозной и кондукторской бригадъ, на смазку и ремонтъ паровоза и вагоновъ, а на крутыхъ уклонахъ прибавляются еще спеціальные расходы, обусловливаемые тормаженіемъ (износъ бандажей, дополнительный штатъ тормазныхъ кондукторовъ); кромѣ того, при движеніи поѣзда подъ уклонъ, приходится все же расходовать топливо, хотя бы и не было надобности въ работѣ паровоза для передвиженія поѣзда.

Поэтому, для сужденія о расходахъ по передвиженію поѣздовъ, расчитывается эксплоатаціонная виртуальная длина, при исчисленіи коей, по предложенію Бома, для уклоновъ принимается, также какъ и для площадокъ, дѣйствительная ихъ длина.

Примѣнительно къ этому принципу, расчитывается виртуальная длина по рекомендованной Министерствомъ Путей Сообщенія въ Россіи формулѣ, имѣющей слѣдующій видъ:

$$L = l_0 + l'_n (1 + \alpha_1) + l''_n (1 + \alpha_2) + \ldots\ldots + l_c + l'_k \beta_1 + l''_k \beta_2 + \ldots\ldots,$$

гдѣ L — виртуальная длина дороги, l_0 — общая длина горизонтальныхъ участковъ, l'_n, l''_n . . . — длины участковъ съ подъемами соотвѣтственно i', i''....., l_c — общая длина участковъ, расположенныхъ на уклонахъ, l'_k, l''_k . . . . — длины криволинейныхъ участковъ при радіусахъ, соотвѣтственно R', R''...., α_1, α_2 . . . . — коэффиціенты, зависящіе отъ подъемовъ и вычисляемые по формулѣ:

$$\alpha = i \left(\frac{122 + 0{,}077\, i}{371 + 1{,}21\, i} \right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (165)$$

гдѣ i — число тысячныхъ подъема, β_1, β_2.... — коэффиціенты, зависящіе отъ сопротивленія въ кривыхъ радіусовъ R', R''.... и опредѣляемые, замѣняя сопротивленія въ кривыхъ сопротивленіями на эквивалентныхъ подъемахъ, величина коихъ исчисляется по формулѣ:

$$i_1 = 21 \left(\frac{4d + 2{,}1 d^2}{R - 21} \right) \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (166),$$

гдѣ: i_1— число тысячныхъ подъема, d — разстояніе между крайними неподвижными осями товарнаго вагона = 1,78 саж., R — радіусъ кривой въ саженяхъ.

Приведенную выше формулу можно написать, очевидно, въ слѣдующемъ видѣ:

$$L = l + \Sigma l_n \alpha + \Sigma l_k \beta \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (167),$$

гдѣ:

l — дѣйствительная длина дороги, $\Sigma l_n \alpha$ и $\Sigma l_k \beta$ — виртуальныя удлиненія.

Такимъ образомъ виртуальная длина дороги, по министерской формулѣ, равна дѣйствительной ея длинѣ, увеличенной на длину фиктивнаго участка, расположеннаго на прямой и площадкѣ, и удовлетворяющаго условію, что сопротивленіе при движеніи поѣзда на немъ равно дополнительному сопротивленію отъ кривыхъ и подъемовъ на дорогѣ. Для каждаго изъ двухъ направленій движенія виртуальная длина вообще различна. Виртуальная длина, опредѣляемая по формулѣ (167) всегда больше дѣйствительной длины, а виртуальный коэффиціентъ больше единицы.

Формулы для опредѣленія коэффиціентовъ α и β выведены при слѣдующихъ предположеніяхъ: для расчета принятъ товарный поѣздъ въ составѣ 35 вагоновъ, каждый вѣсомъ 15 тон.; скорость движенія на прямомъ и горизонтальномъ пути принята 25 верстъ въ часъ. Пусть длина прямолинейнаго подъема l_n, крутизна его $j = 0,00\, i$, сопротивленіе движенію на немъ W, а сопротивленіе на прямомъ и горизонтальномъ пути W_1; виртуальная длина L (по сопротивленіямъ) указаннаго участка равна, очевидно

$$L = \frac{l_n W}{W_1} = l_n + \frac{l_n (W - W_1)}{W_1} = l_n + \alpha l_n ,$$

гдѣ коэффиціентъ

$$\alpha = \frac{W - W_1}{W_1} .$$

Опредѣляя сопротивленіе W_1 по формулѣ (62) *) для товарнаго поѣзда находимъ:

$$W_1 = P_1 (4,3 + 0,15\, V + 0,001\, V^2) + P_2 \left[1,2 + \frac{0,9 n V}{nq} + \frac{0,03 (1 + 0,04 n) V^2}{nq} \right],$$

подставляя $n = 35$, $q = 15$, получимъ:

$$W_1 = P_1 (4,3 + 0,15\, V + 0,001\, V^2) + P_2 (1,2 + 0,06\, V + 0,00014\, V^2),$$

гдѣ:

P_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ (въ тоннахъ),

P_2 — вѣсъ вагоновъ

V — скорость движенія клм. въ часъ.

*) При температурѣ по Цельсію $t^0 = +13,33^0$.

Такимъ образомъ

$$W_1 = P_2 p + P_1 q,$$

гдѣ

$$p = 1,2 + 0,06\ V + 0,00014\ V^2$$

$$q = 4,3 + 0,15\ V + 0,\ 001\ V^2$$

Сопротивленіе W на подъемѣ выразится:

$$W = P_2 (p + i) + P_1 (q + i),$$

а коэффиціентъ α:

$$\alpha = \frac{(P_2 + P_1)\, i}{P_2 p + P_1 q}$$

Полагая, что вѣсъ груженнаго тендера составляетъ $^3/_9$ отъ вѣса груженнаго паровоза, то-есть вѣсъ паровоза равенъ $\frac{9}{14} P_1$, и называя f—коэффиціентъ сцѣпленія, можемъ написать уравненіе:

$$\frac{9}{14} \times 1000\ P_1 f = P_2 (p + i) + P_1 (q + i)$$

при $f = {}^1/_5$.

$$128\ P_1 = P_2 (p + i) + P_1 (q + i),$$

откуда:

$$P_2 = \frac{128 - q - i}{p + i} P_1$$

$$\alpha = i \frac{128 - (q - p)}{128 p + i (q - p)}$$

При скорости на площадкѣ 25 верстъ въ часъ, скорость на подъемѣ i можетъ быть выражена формулою (Бома):

$$V\ (\text{вер.}) = 25 - 0,532\ i + 0,00422\ i^2$$

$$V(\text{клм.}) = 26,67 - 0,568\ i + 0,0045\ i^2;$$

далѣе, приблизительно:

$$V^2 = 715,289 - 30,298\ i + 0,565\ i^2;$$

а слѣдовательно:

$$p = 2,900 - 0,03834\ i + 0,000349\ i^2$$

$$q = 9,015 - 0,11550\ i + 0,001240\ i^2.$$

Подставляя значеніе p и q въ формулу для опредѣленія α и ограничиваясь членами съ i въ первой степени, находимъ указанное выше выраженіе (165).

Дополнительное сопротивленіе отъ кривой опредѣляется по формулѣ Гофмана (для метрическихъ мѣръ):

$$W_2 = 21\frac{4d + d^2}{R - 45};$$

выражая d и R въ саженяхъ, получимъ указанную выше формулу (166) для опредѣленія эквивалентнаго подъема.

41. **Опредѣленіе разстояній между станціями по пропускной способности дороги.** Техническими условіями проектированія данной желѣзной дороги задается максимальная пропускная ея способность, то-есть число паръ поѣздовъ, которое дорога должна быть въ состояніи пропустить въ теченіе сутокъ.

Пропускная способность дороги зависитъ отъ времени, необходимаго для прохода поѣзда отъ одной станціи (разъѣзда, поста) до другой, а слѣдовательно, при данныхъ техническихъ условіяхъ профиля и плана, составѣ поѣздовъ и типахъ паровозовъ, пропускная способность дороги зависитъ отъ разстояній между станціями, при чемъ разстоянія эти должны варіировать въ зависимости отъ профиля даннаго участка дороги. Кромѣ того въ соотвѣтствіи съ требуемой пропускной способностью дороги, должно находиться путевое оборудованіе станцій и разъѣздовъ (количество обгонныхъ и разъѣздныхъ путей), а также приспособленія для снабженія паровозовъ водою и топливомъ и для стоянки ихъ (паровозныя зданія).

На двухпутныхъ линіяхъ поѣзда каждаго изъ двухъ направленій движенія слѣдуютъ другъ за другомъ по своему пути, а скрещенія поѣздовъ противоположныхъ направленій движенія могутъ происходить во время хода на перегонахъ; для безопасности движенія требуется, чтобы на перегонѣ между двумя станціями или вообще двумя пунктами, огражденными сигналами (постами), былъ одновременно только одинъ поѣздъ *); чѣмъ меньше разстояніе между станціями или постами, тѣмъ гуще слѣдуютъ поѣзда другъ за другомъ, а слѣдовательно тѣмъ больше пропускная способность дороги.

На однопутныхъ линіяхъ скрещеніе поѣздовъ противоположнаго направленія движенія можетъ происходить лишь въ опредѣленныхъ пунктахъ, гдѣ имѣются разъѣздные пути (станціяхъ и разъѣздахъ); разстояніемъ между означенными пунктами скрещенія обусловливается пропускная способность однопутной линіи.

Кромѣ того, какъ на однопутной, такъ и на двухпутной линіи является необходимость въ обгонѣ медленныхъ (товарныхъ) поѣздовъ скорыми (пассажирскими) поѣздами; обстоятельство это оказываетъ неблагопріятное вліяніе на пропускную способность дороги, какъ это будетъ пояснено ниже.

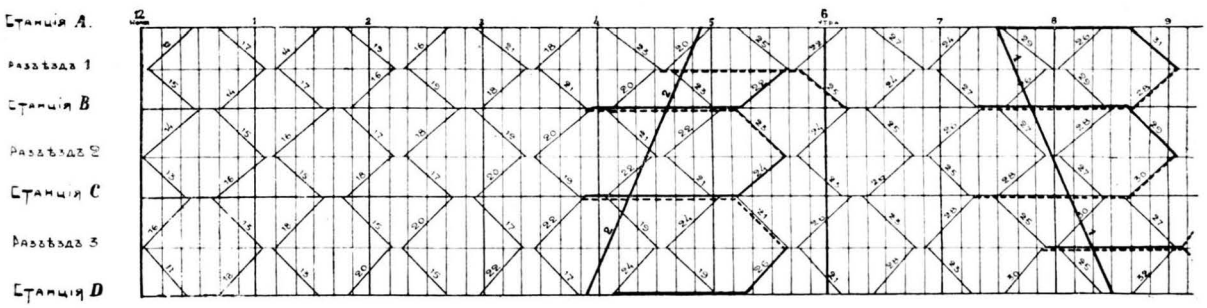
Для точнаго выясненія пропускной способности дороги необходимо составить расписаніе движенія по ней поѣздовъ; на чер. 101 показана часть графика движенія поѣздовъ для однопутной линіи. По вертикальнымъ линіямъ отложены въ извѣстномъ масштабѣ разстоянія между станціями (A, B, C, D), а по горизонтальнымъ линіямъ промежутки времени черезъ 10 минутъ. Наклонныя линіи графика изображаютъ ходъ поѣздовъ по от-

*) Не считая пакетной системы отправленія поѣздовъ.

ношенію къ времени сутокъ и станціямъ дороги; линіи хода поѣздовъ изображены непрерывными прямыми въ предѣлахъ отдѣльныхъ перегоновъ, то-есть въ основаніе построенія графика для даннаго перегона принята средняя скорость движенія поѣзда на всемъ его протяженіи; горизонтальныя разстоянія между наклонными линіями смежныхъ перегоновъ, изображающими движеніе одного и того же поѣзда, показываютъ продолжительность остановокъ поѣзда на станціяхъ и разъѣздахъ. Такъ какъ дорога предположена однопутной, то скрещенія поѣздовъ противоположныхъ направленій движенія показаны лишь на станціяхъ или разъѣздахъ; на графикѣ двухпутной линіи скрещенія поѣздовъ могли бы быть показаны въ любомъ мѣстѣ линіи. Составивъ графикъ движенія поѣздовъ для полныхъ сутокъ, можно выяснить, очевидно, пропускную способность дороги.

Для возможности составить графикъ движенія поѣздовъ, необходимо знать время пробѣга поѣздами перегоновъ, т. е. время нахожденія поѣздовъ въ пути и продолжительность остановокъ ихъ на станціяхъ и разъѣз-

Чер. 101.



дахъ. Раздѣливъ длину дороги или участка (между узловыми или распорядительными станціями) на соотвѣтственное время нахожденія поѣзда въ пути, получимъ, такъ называемую, среднюю *ходовую скорость* движенія поѣзда, въ отличіе отъ *коммерческой скорости* движенія, при расчетѣ коей принимается во вниманіе не только время нахожденія поѣзда въ пути, но также и время простоя его на всѣхъ остановочныхъ пунктахъ.

Для опредѣленія времени пробѣга поѣздомъ перегона, необходимо расчитать скорость его движенія на отдѣльныхъ, однообразныхъ, въ отношеніи профиля и плана, элементахъ перегона; расчетъ этотъ можетъ быть произведенъ на основаніи изложенныхъ выше соображеній (§ 20); кромѣ того необходимо принять во вниманіе потерю времени на развитіе и уменьшеніе скорости движенія при отправленіи и прибытіи поѣзда на станцію или разъѣздъ; потерю эту принимаютъ въ Россіи, при приблизительныхъ расчетахъ по составленію графиковъ максимальнаго движенія поѣздовъ, въ 4 минуты на каждый перегонъ.

На графикѣ по чер. 101 линіи хода всѣхъ поѣздовъ на данномъ перегонѣ показаны параллельными, т. е. предположено, что среднія ходовыя скорости всѣхъ поѣздовъ одинаковы; подобный, такъ называемый, *параллельный графикъ* является наиболѣе благопріятнымъ для пропускной способности дороги.

Пусть l_0--длина даннаго перегона т. е. разстояніе между смежными станціями или разъѣздами, а V_1 и V_2—среднія ходовыя скорости нечетныхъ и четныхъ поѣздовъ, выраженныя верстами въ часъ; обозначая a минутъ-промежутокъ времени, протекающій съ момента прибытія поѣзда съ перегона на станцію до момента отправленія на тотъ же перегонъ другого поѣзда, найдемъ, что пара поѣздовъ занимаетъ перегонъ однопутной линіи въ теченіе:

$$\frac{60\,l_0}{V_1}+\frac{60\,l_0}{V_2}+2a \text{ минутъ};$$

для того чтобы однопутная линія могла пропустить въ сутки n паръ поѣздовъ, должно быть соблюдено условіе:

$$\left(\frac{60l_0}{V_1}+\frac{60l_0}{V_2}+2a\right)n\leq 24\times 60, \text{ откуда:}$$

$$\frac{l_0}{V_1}+\frac{l_0}{V_2}\leq\frac{1440-2na}{60n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (169)$$

Для двухпутной линіи означенное условіе выразится неравенствомъ:

$$\frac{l_0}{V}\leq\frac{1440-na}{60n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (170),$$

гдѣ V—средняя ходовая скорость по болѣе трудному направленію перегона.

Промежутокъ времени a между прибытіемъ поѣзда съ перегона и отправленіемъ другого поѣзда на тотъ же перегонъ, необходимый для увѣдомленія смежной станціи о прибытіи поѣзда и полученія разрѣшенія на отправленіе слѣдующаго поѣзда, а также для исполненія прочихъ формальностей, зависитъ отъ принятаго на дорогѣ способа движенія поѣздовъ (телеграфное сношеніе, жезловая система, блокировка). По установленнымъ въ Россіи правиламъ составленія графиковъ максимальнаго движенія поѣздовъ, упомянутый промежутокъ времени a принимается 5 минутъ для однопутныхъ и 3 минуты для двухпутныхъ линій (считая движеніе поѣздовъ по телеграфному сношенію); если же на станціи происходитъ наборъ воды или смѣна паровозовъ, то на простой поѣзда слѣдуетъ считать 8 минутъ.

Пропускная способность дороги расчитывается, конечно, по самому трудному ея перегону; изъ изложеннаго ясно, что для увеличенія пропускной способности дороги слѣдуетъ проектировать болѣе легкими перегоны, прилегающіе къ станціямъ, на коихъ остановки поѣздовъ, по тѣмъ или другимъ причинамъ, должны быть болѣе продолжительными.

Параллельный графикъ движенія поѣздовъ примѣняется лишь въ исключительныхъ случаяхъ при массовыхъ перевозкахъ, напримѣръ, для движенія воинскихъ поѣздовъ въ случаѣ мобилизаціи; при обыкновенномъ же коммерческомъ движеніи имѣются въ обращеніи поѣзда разныхъ скоростей движенія (пассажирскіе, товарные), почему на *коммерческомъ графикѣ* является обгонъ медленно-идущихъ поѣздовъ болѣе скорыми поѣздами.

На графикѣ по чертежу 101 показана болѣе толстыми линіями пара скорыхъ поѣздовъ (№№ 1, 2), обгоняющихъ медленные поѣзда. Изъ чертежа видно, что упомянутый обгонъ уменьшаетъ общую пропускную способность дороги; дѣйствительно, послѣ обгона четныхъ товарныхъ поѣздовъ поѣздомъ № 2, товарный поѣздъ № 22 долженъ слѣдовать далѣе по расписанію поѣзда № 24, товарный поѣздъ № 20—по расписанію поѣзда № 22 и такъ далѣе, то есть выкидывается изъ графика одинъ четный товарный поѣздъ; послѣ же пересѣченія поѣздомъ № 2 пути слѣдованія нечетныхъ поѣздовъ, товарный поѣздъ № 23 долженъ слѣдовать далѣе по расписанію поѣзда № 25, товарный поѣздъ № 21—по расписанію поѣзда № 23 и т. д. то есть выкидывается изъ графика одинъ нечетный поѣздъ. Такимъ образомъ каждый скорый поѣздъ выкидываетъ изъ графика однопутной линіи пару товарныхъ поѣздовъ, а пара скорыхъ поѣздовъ выкидываетъ двѣ пары товарныхъ поѣздовъ, т. е. общая пропускная способность дороги уменьшается на одну пару съ введеніемъ въ обращеніе каждой пары скорыхъ поѣздовъ.

Какъ видно по графику, на нѣкоторыхъ станціяхъ и разъѣздахъ будетъ имѣть мѣсто скрещеніе и обгонъ поѣздовъ одновременно, для чего должно быть уложено на нихъ надлежащее количество путей; въ противномъ случаѣ уменьшеніе пропускной способности дороги отъ введенія въ обращеніе скорыхъ поѣздовъ будетъ больше, сравнительно съ приведеннымъ выше расчетомъ.

На двухпутныхъ линіяхъ промежуточные между станціями посты обыкновенно не имѣютъ запасныхъ путей, ибо назначеніе этихъ постовъ заключается въ огражденіи сигналами слѣдующихъ другъ за другомъ поѣздовъ; въ такомъ случаѣ не представляется возможнымъ выпустить на перегонъ между двумя станціями товарный поѣздъ передъ пассажирскимъ поѣздомъ, а слѣдовательно приходится, благодаря обгону, отмѣнять движеніе нѣкоторыхъ товарныхъ поѣздовъ, предвидѣнныхъ по параллельному графику; дабы избѣжать слишкомъ большого уменьшенія пропускной способности приходится укладывать на нѣкоторыхъ постахъ обгонные пути.

Въ извѣстныхъ случаяхъ могутъ быть получены, при введеніи въ обращеніе скорыхъ поѣздовъ, болѣе благопріятные результаты, въ отношеніи пропускной способности дороги, сравнительно съ изложеннымъ выше, напримѣръ, при слѣдованіи скорыхъ поѣздовъ пачками (поѣзда bis); вообще для точнаго выясненія пропускной способности дороги необходимо составить коммерческій графикъ движенія поѣздовъ, согласно съ заданными условіями, но для предварительныхъ соображеній при проектированіи дороги можно исходить изъ параллельнаго графика, принимая каждую пару пассажирскихъ поѣздовъ эквивалентной двумъ парамъ товарныхъ поѣздовъ.

Пустить на практикѣ въ обращеніе всѣ поѣзда, нанесенные на максимальномъ графикѣ, не всегда представляется возможнымъ; на практикѣ необходимо считаться съ разными обстоятельствами, уменьшающими пропускную способность дороги, какъ-то: особо неблагопріятными условіями погоды, снѣжными заносами, неисправностями пути, требующими тихаго хода, неисправностями паровозовъ и т. п., вслѣдствіе чего дѣйствительная

ходовая скорость поѣзда можетъ оказаться менѣе расчетной; кромѣ того простои поѣздовъ на станціяхъ могутъ также оказаться въ нѣкоторыхъ случаяхъ болѣе принятыхъ при составленіи графика нормъ. Поэтому на максимальномъ графикѣ поѣзда должны быть нанесены съ нѣкоторымъ запасомъ, сравнительно съ дѣйствительною потребностью, т. е. графикъ долженъ содержать извѣстное количество *факультативныхъ* поѣздовъ, которые не всегда могутъ быть пущены въ обращеніе. Количество факультативныхъ поѣздовъ можно считать 20% для однопутныхъ и 10% для двухпутныхъ линій отъ того количества поѣздовъ, которое можно пустить въ обращеніе ежедневно.

Такимъ образомъ, если данная линія должна пропустить p паръ пассажирскихъ (срочныхъ) и q паръ товарныхъ (несрочныхъ) поѣздовъ, то максимальный параллельный графикъ долженъ быть составленъ на n паръ товарныхъ поѣздовъ, гдѣ:

$$n=k\ (2p+q),$$

при чемъ k—коэффиціентъ факультатива равный 1,2 для однопутныхъ и 1,1 для двухпутныхъ линій.

Для существующихъ дорогъ, гдѣ длины перегоновъ извѣстны, а среднія ходовыя скорости могутъ быть расчитаны по данному составу и типу паровоза, можно опредѣлить пропускную способность по формуламъ (169) и (170), а равно также рѣшить вопросъ о необходимости устройства дополнительныхъ разъѣздовъ и постовъ, если-бы пропускная способность оказалась недостаточною.

При изысканіяхъ вновь проектируемой дороги, изыскателю неизвѣстна ни длина перегона, ни средняя ходовая на немъ скорость движенія поѣзда; тѣмъ не менѣе, проводя линію, изыскатель долженъ намѣтить мѣсто для слѣдующей станціи или разъѣзда такимъ образомъ, чтобы пропускная способность дороги была не менѣе заданной величины. Практически вопросъ рѣшается слѣдующимъ образомъ: пусть для проектируемой однопутной линіи $l_1, l_2, l_3 \ldots l_n$—длины однородныхъ, въ отношеніи профиля и плана, элементовъ пути между смежными станціями или разъѣздами, V_1', V_2', $V_3' \ldots V_n'$—скорости движенія по нимъ поѣзда въ одномъ направленіи, а V_1'', V_2'', $V_3'' \ldots V_n''$—скорости движенія въ противоположномъ направленіи; время, необходимое для прохода поѣзда въ томъ и другомъ направленіи, равно соотвѣтственно:

$$\frac{l_1}{V_1'}+\frac{l_2}{V_2'}+\frac{l_3}{V_3'}+\ldots\ldots+\frac{l_n}{V_n'}=\Sigma\frac{l}{V'}$$

$$\frac{l_1}{V_1''}+\frac{l_2}{V_2''}+\frac{l_3}{V_3''}+\ldots\ldots+\frac{l_n}{V_n''}=\Sigma\frac{l}{V''};$$

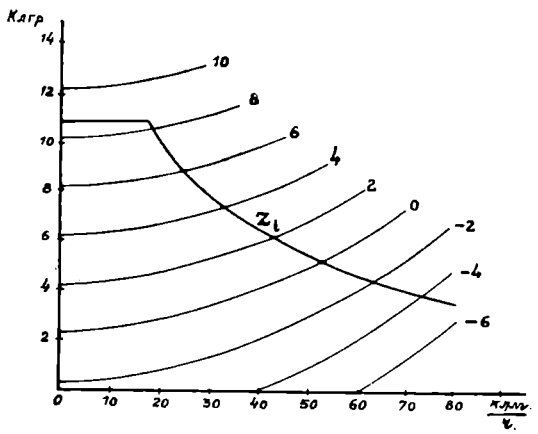
при разсчетѣ должна быть, конечно, принята во вниманіе потеря времени на разгонъ и замедленіе движенія поѣзда, при отправленіи и прибытіи его. Для возможности пропустить n паръ поѣздовъ (при параллельномъ графикѣ) должно быть соблюдено условіе:

$$\Sigma\frac{l}{V'}+\Sigma\frac{l}{V''}\leq\frac{1440-2na}{60n} \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad (171)$$

Изыскатель, ведя линію, долженъ подсчитывать отъ послѣдней станціи величины $\Sigma \frac{l}{V'}$ и $\Sigma \frac{l}{V'}$ и когда сумма этихъ величинъ приближается къ предѣлу, обусловливаемому выраженіемъ (171), необходимо намѣчать слѣдующую станцію или разъѣздъ.

Такимъ образомъ вопросъ объ опредѣленіи разстояній между станціями сводится къ опредѣленію дѣйствительныхъ скоростей движенія поѣзда на отдѣльныхъ однородныхъ элементахъ дороги, т. е. къ опредѣленію виртуальной длины по скоростямъ. Расчетъ состава поѣзда и скоростей его движенія, при данномъ профилѣ и планѣ пути, можетъ быть произведенъ на основаніи приведенныхъ выше формулъ (§ 20); опредѣляя такимъ образомъ скорости движенія поѣзда, необходимо наблюдать, чтобы скорости эти не превосходили нормъ, допускаемыхъ для паровоза даннаго типа; кромѣ того, опредѣляя скорости на уклонахъ, необходимо сообразоваться съ наличностью средствъ для тормаженія, дабы возможно было остановить поѣздъ

Чер. 102.



на протяженіи не болѣе 250 саж.; чѣмъ круче уклонъ, тѣмъ менѣе, очевидно, допускаемая для него скорость движенія.

Расчетъ скоростей движенія поѣзда на различныхъ элементарныхъ участкахъ перегона удобно производить графическимъ способомъ. Откладывая по оси абсциссъ скорости движенія поѣзда (чер. 102), а по оси ординатъ соотвѣтственныя сопротивленія движенію на разныхъ фиктивныхъ подъемахъ и уклонахъ (на тонну вѣса поѣзда), получимъ кривыя сопротивленій движенію въ зависимости отъ скорости; нанеся на томъ же чертежѣ кривую индикаторной силы тяги даннаго паровоза въ функціи скорости движенія, отнесенную также къ тоннѣ вѣса поѣзда *), опредѣлимъ по точкамъ пересѣченій означенныхъ кривыхъ искомыя скорости движенія поѣзда на разныхъ фиктивныхъ склонахъ.

Кривыя сопротивленій могутъ быть нанесены безъ затрудненій на основаніи приведенныхъ выше формулъ (§§ 16, 17, 18); значительно труднѣе

*) На чертежѣ изображена сила тяги товарнаго паровоза 1—4—0 отнесенная къ тоннѣ поѣзда полнымъ вѣсомъ 1000 тоннъ.

нанести правильно кривую силы тяги; для малыхъ скоростей сила тяги представляетъ постоянную величину, ограничиваемую сцѣпленіемъ колесъ паровоза съ рельсами или работою пара въ паровыхъ цилиндрахъ и можетъ быть расчитана по приведеннымъ ранѣе формуламъ (§ 19); для большихъ скоростей сила тяги ограничивается паропроизводительностью котла и можетъ быть расчитана по мощности паровоза и поверхности его нагрѣва на основаніи соображеній, приведенныхъ ранѣе (§ 19); необходимо однако замѣтить, что мощность паровоза зависитъ отъ очень многихъ факторовъ и расчетъ ея по приведеннымъ ранѣе среднимъ цифрамъ является очень приблизительнымъ, почему правильное начертаніе кривой силы тяги можетъ быть сдѣлано лишь на основаніи результатовъ, полученныхъ при опытныхъ поѣздкахъ съ даннымъ паровозомъ.

Для упрощенія расчетовъ по опредѣленію разстояній между станціями при производствѣ изысканій, удобно пользоваться таблицами, въ которыхъ указаны скорости движенія поѣздовъ при различныхъ техническихъ условіяхъ профиля и плана пути; для примѣра въ таблицѣ № 8 показаны скорости (верстъ въ часъ) движенія поѣздовъ, расчитанныя инженеромъ Мееровичемъ, для товарныхъ поѣздовъ въ составѣ отъ 20 до 65 вагоновъ и общаго вѣса вагоновъ поѣзда отъ 340 до 1255 тоннъ, въ предположеніи, что поѣздъ приводится въ движеніе четырехоснымъ паровозомъ русскихъ казенныхъ дорогъ (Таб. 6 № 14) при тендерѣ вѣсомъ 35 тоннъ.

Скорости въ таблицѣ даны для фиктивныхъ подъемовъ и уклоновъ эквивалентныхъ сопротивленію отъ подъема (уклона) и кривой взятыхъ вмѣстѣ; наибольшая скорость движенія допущена въ 47,5 верстъ въ часъ, при чемъ на уклонахъ необходимо опредѣлить предѣльную скорость въ зависимости отъ средствъ тормаженія изъ условія возможности остановить поѣздъ на протяженіи 250 саж. (§ 21).

Для приблизительныхъ расчетовъ при составленіи параллельнаго графика максимальнаго движенія, оправдывающаго пропускную способность проектируемой дороги въ Россіи, скорости V движенія поѣздовъ (верстъ въ часъ) на различныхъ фиктивныхъ подъемахъ и уклонахъ i_0 принимаются нижеслѣдующія:

i_0	9,79	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
V	9,37	12,25	13,92	15,35	17,04	19,02	21,29	23,86	26,92	30,47	34,45
i_0	—1	—2	—3	—4	—5	—6	—7	—8	—9	—10	
V	38,17	38,17	38,17	38,17	38,17	37,83	35,91	34,11	32,30	30,52	

при чемъ фиктивный подъемъ или уклонъ i_0 опредѣляется изъ выраженія $i_0 = i_1 \pm i_2$, гдѣ i_2 — дѣйствительный подъемъ (+) или уклонъ (—), а i_1 — подъемъ эквивалентный сопротивленію отъ кривой; величины подъемовъ i_1 для кривыхъ радіусовъ R (въ саженяхъ) принимаются нижеслѣдующія:

R	50	75	100	125	150	175	200	250	300	350
i_1	10,13	5,43	3,67	2,82	2,27	1,90	1,64	1,28	1,05	0,89
R	400	500	600	700	750	800	900	1000	2000	∞
i_1	0,77	0,61	0,51	0,43	0,40	0,38	0,33	0,30	0,15	0,00

Таблица № 8.

Скорости движенія (верстъ въ часъ) товарныхъ поѣздовъ при паровозѣ типа 0-4-0.

Фиктивные подъемы въ тысячныхъ.	Вѣсъ вагоновъ поѣзда въ тоннахъ.												Фиктивные подъемы въ тысячныхъ.
	340	386	460	510	579	680	772	850	965	1020	1158	1255	
19,0	9,8												19,0
18,5	10,3												18,5
18,0	10,8												18,0
17,5	11,4												17,5
17,0	11,9	9,7											17,0
16,5	12,5	10,2											16,5
16,0	13,1	10,8											16,0
15,5	13,7	11,4											15,5
15,0	14,4	12,0											15,0
14,5	15,1	12,7	9 6										14,5
14,0	15,8	13,4	10,1										14,0
13,5	16,5	14,1	10,8										13,5
13,0	17,3	14,7	11,5	9,6									13,0
12,5	18,2	15,6	12 2	10,3									12,5
12,0	19,0	16,4	12,9	11,0									12,0
11,5	19,9	17,2	13,7	11,7	9,5								11,5
11,0	20,9	18,2	14,6	12,5	10,2								11,0
10,5	21,9	19,1	15,5	13,4	10,9								10,5
10,0	23,0	20,1	16,4	14,3	11,8								10,0
9,5	24,1	21,2	17,4	15,3	12,7	9,8							9,5
9,0	25,3	22,4	18,5	16,3	13,6	10,6							9,0
8,5	26,6	23,6	19,6	17,3	14,7	11,5							8,5
8,0	27,9	24,9	20,8	18,4	15,8	12,5	10,1						8,0
7,5	29,3	26,2	22,1	19,7	16,9	13,6	11,1						7,5
7,0	30,7	27,5	23,4	21,0	18,1	14,8	12,2	10,4					7,0
6,5	32,2	29,0	24,8	22,4	19,4	16,0	13,4	11,5					6,5
6,0	33,8	30,6	26,3	23,9	20,8	17,3	14,7	12,7	10,3				6,0
5,5	35,0	32,3	27,9	25,4	22,4	18,8	16,1	14,1	11,5	10,5			5,5
5,0	37,3	34,0	29,6	27,0	24,0	20,3	17,5	15,5	13,9	11,8	9,5		5,0
4,5	39,1	35,8	31,4	28,8	25,8	22,0	19,1	17,1	14,4	13,3	10,8	9,5	4,5
4,0	40,9	37,7	33,2	30,7	27,6	23,9	20,9	18,8	16,0	14,9	12,3	10,8	4,0
3,5	42,8	39,7	35 2	32,7	29,5	25,8	22,8	20,6	17,8	16,6	14,0	12,4	3,5
3,0	44,8	41,8	37,3	34,8	31,6	27,8	24,8	22,6	19,8	18,5	15,8	14,2	3,0
2,5	47,0	43,9	39,5	37,0	33,8	30,0	27,0	24,8	21,9	20,7	17,9	16,2	2,5
2,0	47,5	46,0	41,7	39,2	36,0	32,4	29,3	27,1	24,2	23,0	20,3	18,5	2,0
1,5	47,5	47,5	44,0	41,5	38,4	34 8	31,8	29,6	26,7	25,5	22,8	21,0	1,5
1,0	47,5	47 5	46,3	43,9	40,9	37,3	34,4	32,2	29,4	28,1	25,5	23,8	1,0
0,5	47,5	47,5	47,5	46,3	43,6	39,9	37,1	34,9	32,2	30,9	28,3	26,7	0,5
0 0	47,5	47,5	47,5	47,5	46,5	42,5	39,8	37,7	35,1	33,9	31,3	29,7	0,0
—0,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	45,3	42,7	40,5	38,1	37,0	34,5	33,0	—0,5
—1,0	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	45,6	43,4	41,2	40,2	37,8	36,3	—1,0
—1,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	46,4	44,4	43,3	41,1	39,6	—1,5
—2 0	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	46,5	44,4	42,9	—2,0
—2,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47 5	46,5	—2,5
—3,0	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47 5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	—3,0

Изложенный выше способъ расчета времени прохода поѣздомъ перегона является, конечно, приблизительнымъ; при расчетѣ предполагалась постоянная скорость установившагося движенія поѣзда на данномъ элементарномъ участкѣ перегона, въ зависимости отъ техническихъ условій его профиля и плана; между тѣмъ ускореніе и замедленіе движенія поѣзда при переходѣ изъ одного элементарнаго участка перегона на другой происходитъ постепенно и, въ случаѣ короткихъ участковъ, соотвѣтствующая имъ постоянная скорость движенія можетъ вовсе не быть достигнутою; живая сила движущагося поѣзда оказываетъ существенное вліяніе на измѣненіе величинъ скоростей при переходѣ изъ одного участка на другой; наконецъ время, теряемое на разгонъ и замедленіе хода поѣзда при отправленіи и прибытіи его, нельзя считать постояннымъ, ибо оно зависитъ отъ профиля пути, скорости движенія, силы тяги паровоза и состава поѣзда.

Однако для соображеній, относительно расположенія станцій при изысканіяхъ, приведенный выше способъ расчета времени перегона является пріемлемымъ, ибо, по существу своему, расчетъ требуемыхъ разстояній между станціями зависитъ отъ многихъ факторовъ, точное выясненіе коихъ при изысканіяхъ затруднительно; дѣйствительно, типы паровозовъ на дорогѣ могутъ мѣняться, относительное количество грузовъ, перевозимыхъ въ томъ или другомъ направленіи, а слѣдовательно и относительный вѣсъ поѣздовъ обоихъ направленій движенія не можетъ быть выясненъ заранѣе съ достаточною точностью; кромѣ того въ расчетъ разстояній между станціями входитъ коэффиціентъ факультатива, являющійся болѣе или менѣе произвольнымъ.

При составленіи расписанія движенія поѣздовъ на существующей желѣзной дорогѣ, можетъ встрѣтиться надобность въ точномъ расчетѣ времени прохода поѣздомъ перегона; въ такомъ случаѣ въ расчетъ времени по скоростямъ установившагося движенія на однородныхъ участкахъ перегона, необходимо ввести поправки, зависящія отъ вліянія инерціи поѣзда при переходѣ отъ одной до другой скорости движенія; изъ этихъ поправокъ особенно важное значеніе имѣетъ поправка времени перегона на разгонъ при отправленіи поѣзда со станціи; что же касается поправокъ отъ вліянія живой силы движущагося поѣзда на скорости его движенія при переходѣ изъ одного однороднаго участка перегона на другой, то, для не очень ломаннаго и извилистаго профиля, поправки эти, взаимно компенсирующіяся, особаго значенія не имѣютъ.

Для выясненія упомянутыхъ поправокъ необходимо исходить изъ уравненія неравномѣрнаго движенія поѣзда, которое можно написать, приравнивая приращеніе живой силы поѣзда, на протяженіи элемента ds пути, работѣ силъ тяги и сопротивленій на томъ же элементѣ, а именно:

$$M v dv = [Z_i - W] ds \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (172)$$

Буквы, входящія въ это уравненіе имѣютъ слѣдующія значенія: M — масса всего поѣзда, которая, принимая во вниманіе инерцію вращающихся частей, равна $1{,}08\frac{Q}{g}$, гдѣ Q — вѣсъ всего поѣзда, а g — ускореніе силы тяжести,

Z_i — индикаторная сила тяги, зависящая также и отъ скорости v движенія поѣзда; сила эта для даннаго паровоза зависитъ отъ давленія пара въ котлѣ и отъ степени впуска пара въ цилиндры, которая должна быть сообразована, въ свою очередь, со скоростью движенія, дабы не превзойти предѣлы мощности паровоза въ зависимости отъ паропроизводительности его котла (81); W — сопротивленіе движенію, являющееся для даннаго состава и участка пути функціей скорости движенія.

На основаніи уравненія (172) могутъ быть рѣшены вопросы, касающіеся ускоренія и замедленія въ движеніи поѣзда, а именно можетъ быть опредѣлена величина пути s и промежутка времени t, необходимыхъ для достиженія поѣздомъ данной скорости v движенія.

Изъ уравненія (172) имѣемъ:

$$ds = \frac{M\,v\,dv}{Z_i - W} = f_1(v)\,dv,$$

откуда:

$$s = \int_{v_1}^{v_2} f_1(v)\,dv.$$

Изъ того же уравненія получимъ, принимая во вниманіе, что

$$v = \frac{ds}{dt}$$

$$dt = \frac{M\,dv}{Z_i - W} = f_2(v)\,dv,$$

откуда:

$$t = \int_{v_1}^{v_2} f_2(v)\,dv$$

Если сумѣемъ выразить

$$\frac{M\,v}{Z_i - W} \quad \text{и} \quad \frac{M}{Z_i - W}$$

въ функціяхъ отъ v и проинтегрировать эти функціи, то получимъ требуемыя данныя для рѣшенія вопросовъ, касающихся ускоренія и замедленія хода поѣздовъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ получимъ возможность опредѣлить точно время прохода поѣздомъ даннаго перегона.

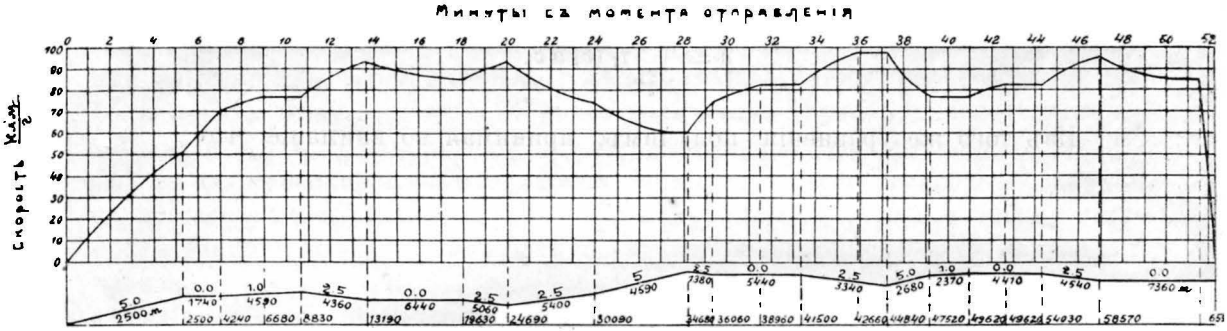
Аналитическое рѣшеніе вопросовъ объ ускореніи и замедленіи движенія поѣзда, на основаніи указанныхъ выше уравненій, отличается большою сложностью, почему на практикѣ обыкновенно прибѣгаютъ къ графическимъ методамъ рѣшенія задачи, описаніе коихъ выходитъ за предѣлы настоящаго курса.

Выяснивъ скорости установившагося движенія, а также условія ускоренія и замедленія въ движеніи поѣзда на участкахъ даннаго перегона, можно вычертить діаграмму распредѣленія скоростей для перегона и опредѣлить точно время прохода его поѣздомъ.

На чер. 103 показана для примѣра расчетная діаграмма распредѣленія скоростей движенія пассажирскаго поѣзда на перегонѣ по времени его хода *); вѣсъ вагоновъ поѣзда составлялъ 300 тон., полный вѣсъ паровоза типа 2—2—0 составлялъ 54 тон.; внизу діаграммы показанъ профиль перегона общею длиною 66 клм.

При сооруженіи дороги должно быть запроектировано распредѣленіе станцій и разъѣздовъ съ расчетомъ на ту пропускную способность, которая можетъ потребоваться въ будущемъ съ усиленіемъ движенія на дорогѣ; на первыхъ же порахъ можетъ быть устроена лишь часть станцій и разъѣздовъ, устройство же въ будущемъ дополнительныхъ станцій и разъѣздовъ, когда съ усиленіемъ движенія окажется въ нихъ надобность, не представитъ затрудненій, если при сооруженіи дороги будутъ для нихъ предвидѣны надлежащія площадки въ требуемыхъ мѣстахъ.

Чер. 103.



42. **Разстояніе между пунктами водоснабженія.** Поѣздъ везетъ вмѣстѣ съ собою въ тендерѣ извѣстный, ограниченный запасъ воды для паровоза; для пополненія этого запаса воды, постоянно расходуемой паровозомъ, устраиваются станціи съ водоснабженіемъ.

Пусть Q клгр.—вѣсъ всего количества воды, помѣщающейся въ тендерѣ; такъ какъ необходимо считаться съ возможностью прекращенія водоснабженія (порча, промывка котловъ и т. п.), то наибольшее разстояніе между пунктами водоснабженія должно быть опредѣлено съ такимъ расчетомъ, чтобы указанный запасъ воды Q хватилъ для пробѣга перегона между двумя водоснабженіями съ пропускомъ одного промежуточнаго. Если бы паровозъ поѣзда расходовалъ при движеніи q_0 клгр. воды для пробѣга единицы длины, то располагать пункты водоснабженія A, B, C, D, E..... слѣдовало бы съ такимъ расчетомъ, чтобы разстоянія $A-C$, $B-D$, $C-E$..... были не болѣе длины L, опредѣляемой выраженіемъ:

$$L = \frac{Q}{q_0}.$$

Однако расходъ пара и воды паровозомъ на единицу длины есть величина перемѣнная, зависящая отъ профиля и плана даннаго элемента линіи; да-

*) Sanzin. Berechnung d r Fahrzeiten.

лѣе, величина эта зависитъ отъ состава поѣзда, типа паровоза и скорости движенія; на крутыхъ подъемахъ, гдѣ требуется значительная сила тяги, придется примѣнить большія степени впуска пара въ цилиндры, а слѣдовательно много расходовать его на единицу длины пройденнаго пути, между тѣмъ какъ на площадкахъ и пологихъ подъемахъ и уклонахъ можно ограничиться малыми степенями впуска, а на болѣе крутыхъ уклонахъ паровозъ идетъ съ закрытымъ регуляторомъ; поэтому указанное выраженіе опредѣляетъ не дѣйствительное разстояніе между пунктами водоснабженія, а лишь соотвѣтственную виртуальную тяговую длину.

Если дѣйствительныя длины однородныхъ элементовъ пути равны $l_1, l_2, l_3, \ldots\ldots l_n$, соотвѣтствующіе имъ расходы воды $q_1, q_2, q_3 \ldots\ldots q_n$, то разстояніе между двумя пунктами водоснабженія (съ пропускомъ одного промежуточнаго) опредѣлится изъ выраженія:

$$\Sigma \frac{lq}{q_0} \leq \frac{Q}{q_0},$$

то-есть:

$$\Sigma lq \leq Q,$$

при чемъ расчетъ необходимо произвести для обоихъ направленій движенія и выбрать менѣе выгодный случай.

Такимъ образомъ вопросъ объ опредѣленіи наибольшихъ разстояній между пунктами водоснабженія сводится къ расчету расходовъ пара, необходимыхъ для пробѣга поѣздомъ единицы длины при разныхъ условіяхъ профиля и плана пути. Практически расчетъ ведется способомъ подобнымъ тому, который былъ указанъ выше для опредѣленія разстояній между станціями; для даннаго состава поѣзда и типа паровоза, изыскатель опредѣляетъ расходы воды для отдѣльныхъ элементовъ пути и ведетъ таблицу означенныхъ расходовъ для обоихъ направленій движенія; когда сумма элементарныхъ расходовъ, считая отъ предпослѣдней станціи съ водоснабженіемъ, достигаетъ для одного изъ направленій движенія предѣльной величины, необходимо ставить новую станцію съ водоснабженіемъ.

Для точнаго расчета количества пара, расходуемаго паровозомъ, необходимо опредѣлить для даннаго состава поѣзда и элемента пути требуемую индикаторную силу тяги, на основаніи коей можно расчитать среднее индикаторное давленіе пара въ цилиндрахъ, а также степень впуска и расходъ пара на единицу длины пути. Для упрощенія расчета можно опредѣлять расходъ пара по индикаторной работѣ паровоза, исчисляемой въ зависимости отъ сопротивленія движенію, беря расходъ пара на силу — часъ по таблицамъ въ зависимости отъ степени впуска и давленія пара въ котлѣ. Расходъ воды въ тендерѣ слѣдуетъ принимать на 20% болѣе расхода пара въ цилиндрахъ, вслѣдствіе потерь какъ въ паровозѣ, такъ и въ тендерѣ.

Для приблизительнаго расчета количества воды, расходуемаго паровозомъ, можно пользоваться таблицами; въ таблицѣ № 9 приведены по Мееровичу, для разныхъ составовъ, а также фиктивныхъ подъемовъ и уклоновъ, расходы воды въ килограммахъ, увеличенные въ 1000 разъ, для про-

Таблица № 9.

Расходы воды въ клгр. (увеличенные въ 1000 разъ) для пробѣга поѣздомъ одной сажени.

Фиктивные подъемы въ тысячныхъ.	340	386	460	510	579	680	772	850	965	1020	1158	1255	Фиктивные подъемы въ тысячныхъ.
19,0	777												19,0
18,5	755												18,5
18,0	734												18,0
17,5	714												17,5
17,0	694	782											17,0
16,5	675	758											16,5
16,0	655	735											16 0
15,5	636	712											15,5
15,0	617	690											15,0
14,5	598	668	790										14,5
14,0	580	646	762										14,0
13,5	562	625	735										13,5
13,0	545	605	709	787									13,0
12,5	528	585	684	756									12,5
12,0	511	565	659	726									12.0
11,5	494	546	635	698	795								11,5
11 0	478	527	611	670	761								11,0
10,5	462	509	588	643	728								10,5
10,0	446	491	566	618	696								10,0
9,5	431	473	544	593	666	782							9,5
9,0	416	455	522	568	637	743							9,0
8,5	402	438	501	544	609	707							8,5
8 0	388	422	480	521	582	671	763						8,0
7,5	374	406	460	498	555	637	721						7,5
7,0	360	391	441	476	528	604	680	751					7,0
6,5	347	376	422	455	502	574	642	706					6,5
6,0	334	361	404	434	478	544	606	664	758				6,0
5,5	322	347	387	415	455	515	572	625	705	747			5,5
5,0	311	333	371	395	432	487	540	587	658	696	795		5,0
4.5	300	320	359	378	410	460	509	551	615	648	731	795	4,5
4,0	290	308	339	360	390	434	478	516	573	602	674	730	4,0
3,5	281	297	324	343	371	410	449	482	533	559	623	674	3,5
3,0	272	286	310	327	353	388	422	451	496	519	575	620	3,0
2,5	263	276	298	312	335	367	395	422	461	481	531	563	
2,0	258	267	286	299	318	346	373	395	429	447	489	520	2,0
1,5	258	258	275	287	303	327	351	370	399	415	450	476	1,5
1,0	258	258	265	276	290	310	330	347	372	385	414	436	1,0
0,5	258	258	258	265	277	295	312	326	346	357	383	400	0,5
0.0	258	258	258	258	265	282	296	308	324	332	355	368	0,0
—0,5	258	258	258	258	258	270	281	291	305	312	329	340	—0,5
—1,0	258	258	258	258	258	258	268	277	289	294	307	317	—1,0
—1,5	258	258	258	258	258	258	258	264	273	278	289	297	—1,5
—2,0	258	258	258	258	258	258	258	258	258	261	273	280	—2 0
—2,5*)	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	258	265	—2.5*)

*) Для уклоновъ круче 2.5 считается расходъ 258.

бѣга поѣздомъ одной сажени. Что же касается запаса Q воды, вмѣщающейся въ тендерѣ, то таковой достигаетъ для четырехосныхъ тендеровъ Русскихъ казенныхъ дорогъ 25 кб. м.

Согласно техническимъ условіямъ проектированія магистральныхъ линій въ Россіи, наибольшее разстояніе между станціями водоснабженія должно быть опредѣлено съ такимъ расчетомъ, чтобы на разстояніи между двумя водоснабженіями, съ пропускомъ одного промежуточнаго, не могъ быть израсходованъ объемъ воды въ 400 кб. футовъ (11,33 кб. м.), при чемъ расходы эти q для различныхъ фиктивныхъ подъемовъ и уклоновъ i_0 принимаются нижеслѣдующіе (въ куб. футахъ на поѣздо—версту).

i_0	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
q	13,86	12,68	11,55,	10,53	9,54	8,63	7,80	7,03	6,45	5,96
		i_0	—1	—2	—3	—4	—5	—6	—7	
		q	5,43	4,44	3,45	2,45	1,46	0,51	0	

Для приблизительныхъ соображеній можно считать расходъ воды 5 кб. футовъ на виртуальную (эксплоатаціонную) поѣздо-версту.

43. Расположеніе паровозныхъ депо. Паровозъ послѣ извѣстнаго пробѣга нуждается въ осмотрѣ, очисткѣ и мелкихъ исправленіяхъ, особенно движущаго и парораспредѣлительнаго механизмовъ; кромѣ того паровозный котелъ необходимо періодически промывать и очищать отъ накипи, въ зависимости отъ совершеннаго паровозомъ пробѣга и качества питающей котелъ воды. Перечисленныя операціи производятся въ крытыхъ и теплыхъ помѣщеніяхъ, называемыхъ паровозными зданіями или паровозными депо, въ которыя вообще помѣщаются паровозы на время ихъ бездѣйствія, ибо нежелательно держать безъ надобности паровозъ подъ открытымъ небомъ, во избѣжаніе его порчи и лишней траты топлива въ холодное время.

Каждый паровозъ ввѣряется отдѣльной паровозной бригадѣ, которая совершаетъ на немъ поѣздки и слѣдитъ за исправнымъ его состояніемъ; во избѣжаніе переутомленія паровозной бригады и связанной съ этимъ опасности для движенія, время непрерывнаго дежурства бригады на паровозѣ, во главѣ поѣзда, не должно превосходить 12 часовъ, послѣ чего паровозная бригада должна имѣть извѣстный отдыхъ, въ теченіе коего ввѣренный бригадѣ паровозъ находится въ паровозномъ зданіи, гдѣ можетъ быть сдѣланъ надлежащій осмотръ паровоза и мелкія его исправленія; такимъ образомъ на станціяхъ съ паровозными депо происходитъ смѣна паровозовъ у поѣздовъ. Указанный способъ эксплоатаціи, раціональный съ точки зрѣнія исправности паровоза, практикуется нормально на желѣзныхъ дорогахъ и лишь только въ періоды усиленнаго движенія, для болѣе интенсивной утилизаціи паровозовъ, производится эксплоатація помощью смѣнныхъ бригадъ, то-есть съ однимъ и тѣмъ же паровозомъ совершаютъ поѣздки различныя бригады.

Въ паровозномъ депо, кромѣ мелкаго ремонта и промывки, производятся также и болѣе крупныя работы по исправленію паровозовъ (средній ремонтъ) съ подъемкою паровозовъ на домкраты и выкаткою колесъ; лишь только капитальный ремонтъ паровозовъ производится въ особыхъ боль-

шихъ мастерскихъ. Паровозныя депо, въ которыхъ производится ремонтъ паровозовъ и къ которымъ паровозы, какъ говорятъ, приписаны, называются *основными* (*коренными*) *депо*; тѣ же паровозныя депо, въ которыхъ помѣщаются паровозы лишь на время непродолжительнаго отдыха бригадъ, называются *оборотными депо*.

Паровозная бригада совершаетъ поѣздку съ поѣздомъ отъ станціи съ основнымъ депо до станціи съ оборотнымъ депо, откуда, послѣ нѣкотораго отдыха, бригада приводитъ ввѣреннымъ ей паровозомъ другой поѣздъ на упомянутую станцію съ основнымъ депо. Предѣльное разстояніе между станціями съ депо зависитъ, очевидно, отъ коммерческой скорости поѣздовъ; коммерческая скорость товарныхъ поѣздовъ равна около 12 верстъ въ часъ, слѣдовательно, при двѣнадцатичасовомъ максимальномъ времени дежурства бригады на паровозѣ во главѣ поѣзда, предѣльное разстояніе между депо опредѣляется цифрою около 150 верстъ; въ отдѣльныхъ случаяхъ разстояніе это можетъ измѣняться, конечно, въ значительныхъ предѣлахъ, въ зависимости отъ профиля дороги.

Дабы подробно выяснить правильность расположенія паровозныхъ депо, необходимо составить графикъ оборота паровозовъ, обслуживающихъ движеніе поѣздовъ. Смѣну паровозовъ пассажирскихъ поѣздовъ, скорость коихъ больше, чѣмъ товарныхъ, нѣтъ, конечно, надобности производить на всѣхъ станціяхъ съ депо, вслѣдствіе чего получается иной оборотъ пассажирскихъ, а иной товарныхъ паровозовъ.

Основныя депо, гдѣ стоянки паровозовъ болѣе продолжительны, имѣютъ больше стойлъ, сравнительно съ оборотными депо; кромѣ того при основныхъ депо должны быть мастерскія (малыя) съ оборудованіемъ, необходимымъ для ремонта паровозовъ.

Смотря по условіямъ эксплоатаціи данной дороги или ея участка, оборотныя депо могутъ быть расположены съ обѣихъ сторонъ основного депо и, въ такомъ случаѣ, паровозы, приписанные къ послѣднему депо, совершаютъ поѣздку въ ту и другую его сторону и обратно; могутъ быть также случаи смежнаго расположенія основныхъ депо, причемъ паровозы совершаютъ поѣздки въ одну сторону отъ даннаго депо и обратно; въ данномъ случаѣ одно основное депо служитъ вмѣстѣ съ тѣмъ и оборотнымъ для другого смежнаго основного депо; кромѣ того данное депо можетъ быть основнымъ для товарныхъ, а оборотнымъ для пассажирскихъ паровозовъ.

Не всѣ товарные поѣзда, нанесенные на графикъ расписанія, обращаются ежедневно; назначеніе товарныхъ поѣздовъ производится по мѣрѣ надобности, въ зависимости отъ имѣющагося груза; поэтому основныя депо должны располагаться въ узловыхъ пунктахъ линіи и вообще въ тѣхъ пунктахъ, въ которые притекаетъ грузъ на дорогу; въ противномъ случаѣ, при колеблющихся размѣрахъ движенія, пришлось бы передавать паровозы подъ поѣзда резервомъ, то-есть совершать непроизводительный пробѣгъ паровозовъ; по тѣмъ же соображеніямъ слѣдуетъ, по возможности, располагать основныя депо такимъ образомъ, чтобы движеніе отъ нихъ поѣздовъ совпадало съ общимъ грузовымъ направленіемъ движенія по дорогѣ.

Станція съ депо должна имѣть водоснабженіе и запасъ топлива съ приспособленіями для подачи его на тендера паровозовъ.

44. Опредѣленіе количества подвижного состава по провозной способности дороги. Количествомъ груженыхъ вагоновъ, которое можетъ фактически прослѣдовать ежедневно по господствующему грузовому направленію и приходить, въ теченіе болѣе или менѣе продолжительнаго періода времени, на конечную станцію дороги или отдѣльнаго ея участка, опредѣляется провозная способность означенной дороги.

Провозная способность дороги зависитъ отъ двухъ элементовъ: пропускной способности дороги и наличія перевозочныхъ средствъ; для полученія требуемой провозной способности необходимо дорогу оборудовать такимъ образомъ, чтобы она могла пропустить надлежащее количество паръ поѣздовъ соотвѣтственнаго состава и снабдить дорогу надлежащимъ количествомъ вагоновъ и паровозовъ; вопросы, касающіеся пропускной способности дороги, были разсмотрѣны выше, остается еще выяснить необходимое количество перевозочныхъ средствъ.

Необходимое количество товарныхъ вагоновъ расчитывается по грузообороту за самый дѣятельный мѣсяцъ.

Пусть:

p—количество пудовъ груза, подлежащаго перевозкѣ въ грузовомъ направленіи въ теченіи расчетнаго періода,

t—число сутокъ разсматриваемаго періода,

l—среднее разстояніе въ верстахъ перевозки груза,

q—средняя нагрузка въ пудахъ вагона, въ грузовомъ направленіи,

n—составъ груженнаго поѣзда (количество вагоновъ),

V—коммерческая скорость товарнаго поѣзда ($\frac{\text{вер.}}{\text{час.}}$),

s—число сутокъ, простаиваемыхъ вагонами на начальной и оконечной станціи дороги или ея участка (для нагрузки, выгрузки или обмѣна и составленія поѣзда).

Тогда:

$\frac{p}{nqt}$—ежедневное число паръ поѣздовъ,

$\frac{2l}{24V}$—число сутокъ нахожденія въ пути пары поѣздовъ,

$\frac{2l}{24V}+2s$ – время въ суткахъ оборота пары поѣздовъ и необходимое число составовъ для возможности пустить въ обращеніе одну пару поѣздовъ.

Количество x вагоновъ, необходимое для совершенія указанной выше перевозки, опредѣляется по формулѣ:

$$x=\left(2s+\frac{2l}{24V}\right)\frac{p}{nqt}n=\left(s+\frac{l}{24V}\right)\frac{2p}{qt} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (173)$$

Для приблизительнаго разсчета можно положить $V=10$, $s=2$.

Для опредѣленія полнаго парка товарныхъ вагоновъ, необходимо прибавить къ исчисленному по указанной формулѣ количеству вагоновъ около 10 % на вагоны, находящіеся въ ремонтѣ и запасѣ.

Необходимое количество товарныхъ паровозовъ можетъ быть исчислено, исходя изъ средняго суточнаго пробѣга паровоза 100 верстъ (3000 верстъ въ мѣсяцъ).

Такъ какъ ежедневное количество поѣздо — верстъ для обоихъ направленій движенія составляетъ $\frac{2pl}{nqt}$, то количество y паровозовъ, необходимое для исполненія заданной перевозки, опредѣлится по формулѣ:

$$y = \frac{2pl}{100nqt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (174)$$

Къ указанному количеству необходимо прибавить около 15% на ремонтъ, а также то число паровозовъ, которое занято маневрами на дорогѣ въ зависимости отъ эксплоатаціонныхъ ея условій; для приблизительнаго расчета можно принимать количество маневровыхъ паровозовъ въ 10% отъ числа паровозовъ, совершающихъ пробѣгъ въ поѣздахъ.

Въ случаѣ чисто транзитной дороги, указанная выше величина l равна, очевидно, длинѣ дороги.

Необходимый паркъ пассажирскихъ вагоновъ и паровозовъ опредѣлится расчетомъ подобнымъ вышеизложенному, зная число паръ пассажирскихъ поѣздовъ, находящихся въ обращеніи, причемъ пробѣгъ пассажирскихъ паровозовъ можно считать около 5000 верстъ въ мѣсяцъ.

Чѣмъ легче техническія условія дороги, тѣмъ больше пропускная и провозная ея способность, ибо чѣмъ положе подъемы и кривыя, тѣмъ больше для даннаго паровоза составъ поѣзда и скорость его движенія.

ГЛАВА X.

Расходы по сооруженію и эксплоатаціи желѣзной дороги.

45. Составъ проекта и расцѣночной вѣдомости по сооруженію дороги. На основаніи данныхъ, добытыхъ при коммерческихъ и техническихъ изысканіяхъ разрабатывается проектъ желѣзной дороги; въ составъ проекта входитъ: a) экономическая пояснительная записка съ приложеніями, b) техническая пояснительная записка съ приложеніями; кромѣ того къ проекту прилагается c) расцѣночная вѣдомость стоимости сооруженія дороги.

a) Въ экономической запискѣ описываются экономическія условія мѣстности, по которой должна пройти проектируемая желѣзная дорога, и приводятся мотивы правильности выбраннаго направленія и выгодности сооруженія дороги въ экономическомъ отношеніи.

Къ экономической запискѣ прилагаются:

1) статистическія данныя о населенности пересѣкаемой дорогою мѣстности, естественныхъ ея богатствахъ, фабрикахъ, торговлѣ и проч.

2) расчетъ ожидаемаго по дорогѣ количества перевозокъ и дохода отъ нихъ и исчисленіе расходовъ по эксплоатаціи дороги.

b) Въ технической запискѣ описываются топографическія и геологическія особенности пересѣкаемой дорогою мѣстности, мотивируется выбранное для дороги направленіе въ техническомъ отношеніи и помѣщаются данныя о наиболѣе выдающихся сооруженіяхъ.

Къ технической запискѣ прилагаются, по установленнымъ въ Россіи правиламъ, нижеслѣдующіе чертежи и вѣдомости, представляющіе собою общій технической проектъ дороги:

1) планъ дороги на картѣ въ масштабѣ 10 верстъ въ дюймѣ;

2) планъ дороги въ болѣе крупномъ масштабѣ, въ зависимости отъ имѣющихся для данной мѣстности топографическихъ картъ;

3) подробный продольный профиль дороги въ масштабѣ $^1/_{10000}$ для горизонтальныхъ и $^1/_{1000}$ для вертикальныхъ разстояній;

4) сокращенный продольный профиль дороги въ масштабѣ $^1/_{50000}$ для горизонтальныхъ и $^1/_{1000}$ для вертикальныхъ разстояній;

5) Нормальные поперечные профили полотна и верхняго строенія подъ одинъ и подъ два пути въ масштабѣ $^1/_{100}$;

6) для частей дороги, расположенныхъ на косогорахъ съ уклонами круче $^1/_3$, поперечные профили полотна и мѣстности въ масштабѣ $^1/_{200}$ для горизонтальныхъ и $^1/_{100}$ для вертикальныхъ разстояній, съ указаніемъ пунктиромъ полотна подъ второй путь;

7) планы и профили пересѣченія всѣхъ сплавныхъ и судоходныхъ рѣкъ, а также рѣкъ и ручьевъ, коими населеніе пользуется для орошенія:

8) планы подходовъ къ городамъ;

9) планъ мѣстности, снятый въ горизонталяхъ, если въ такомъ планѣ встрѣчается надобность для выясненія цѣлесообразности избраннаго направленія;

10) поверстная вѣдомость земляныхъ работъ по устройству полотна дороги;

11) вѣдомость прямыхъ и кривыхъ, уклоновъ и площадокъ, съ указаніемъ процентнаго ихъ отношенія; вѣдомость виртуальныхъ разстояній перегоновъ въ каждомъ направленіи, съ указаніемъ виртуальнаго коэффиціента для каждаго перегона и для всего протяженія дороги;

12) графики движенія поѣздовъ, съ расчетомъ времени, потребнаго для прохода перегоновъ поѣздами;

13) графики оборота паровозовъ съ указаніемъ распредѣленія паровозныхъ депо.

с) Расцѣночная вѣдомость стоимости сооруженія дороги заключаетъ перечисленіе всѣхъ необходимыхъ поставокъ и работъ, съ указаніемъ количества, единичной ихъ цѣны и полной стоимости; расцѣночная вѣдомость подраздѣляется по нижеслѣдующимъ главамъ:

I. Отчужденіе имуществъ, то-есть расходы по пріобрѣтенію земель и другихъ недвижимостей, а также вознагражденію за уничтоженіе посѣвовъ и прочіе убытки, причиняемые постороннимъ лицамъ проведеніемъ дороги.

II. Полотно дороги, т.-е. расходы по рубкѣ лѣса и корчевкѣ пней подъ желѣзнодорожное полотно, по производству земляныхъ работъ для устройства полотна главныхъ путей, станціонныхъ площадокъ, канавъ, переѣздовъ, отведенія дорогъ, спрямленія рѣкъ и проч., а также по укрѣпленію откосовъ насыпей и выемокъ.

III. Искусственныя сооруженія, т.-е. устройство трубъ, мостовъ, путепроводовъ, подпорныхъ стѣнокъ и пр.

IV. Верхнее строеніе пути, т.-е. расходы по пріобрѣтенію шпалъ, рельсъ, скрѣпленій, укладкѣ и балластировкѣ пути.

V. Телеграфъ, т.-е. устройство телеграфныхъ и телефонныхъ линій, съ надлежащимъ оборудованіемъ ихъ.

VI. Гражданскія сооруженія, заключающія всѣ путевыя и станціонныя зданія, какъ-то: сторожевые дома, казармы для рабочихъ, пассажирскія зданія и платформы, товарные пакгаузы и платформы, паровозныя зданія и мастерскія, водоподъемныя и водоемныя зданія, жилые дома для агентовъ дороги, зданія для отдыха паровозныхъ и кондукторскихъ бригадъ и проч.

VII. Принадлежности пути, а именно: путевые знаки для обозначенія верстъ, уклоновъ, кривыхъ, переѣздные шлагбаумы, а также инструменты для ремонта пути, дрезины, снѣжные щиты и проч.

VIII. Принадлежности станцій, а именно: стрѣлочные переводы, поворотные круги, телѣжки, вагонные вѣсы, приспособленія для сигнализаціи поѣздовъ и центральнаго управленія стрѣлками и сигналами, меблировка пассажирскихъ и служебныхъ помѣщеній и проч.

IX. Водоснабженіе станцій, т. е. приспособленія для каптажа, подъема и распредѣленія воды, какъ-то: водопріемники, водопроводы, насосы, краны и проч.

X. Снабженіе топливомъ, т. е. приспособленія для подачи топлива на паровозы въ зависимости отъ его рода.

XI. Оборудованіе паровозныхъ зданій и мастерскихъ необходимыми двигателями, станками, кранами, домкратами, инструментами и проч.

XII. Подвижной составъ т. е. паровозы, тендера и вагоны.

XIII. Разныя работы и поставки, невошедшія въ предыдущія подраздѣленія, но могущія встрѣтиться въ силу спеціальныхъ условій сооруженія данной дороги.

XIV. Общіе расходы, какъ-то: содержаніе администраціи по сооруженію и временной эксплоатаціи дороги до открытія правильнаго по ней движенія и прочіе относящіеся къ сей категоріи расходы.

Стоимость сооруженія желѣзной дороги оцѣниваютъ обыкновенно съ версты главнаго пути (одиночнаго главнаго пути для однопутныхъ и двойного главнаго пути для двухпутныхъ жел. дорогъ). Опредѣленная такимъ образомъ стоимость измѣняется въ широкихъ размѣрахъ въ зависимости отъ топографическихъ условій мѣстности, типа дороги (широкая или узкая колея), болѣе или менѣе богатаго оборудованія дороги соотвѣтственно съ размѣрами движенія, а также отъ мѣстныхъ цѣнъ на земельные участки, строительные матеріалы и рабочія руки. Послѣ открытія движенія на желѣзной дорогѣ, приходится все же производить расходы по улучшенію и усиленію пропускной способности дороги и усиленію перевозочныхъ ея средствъ; расходы эти присчитываются къ основной стоимости дороги, вслѣдствіе чего таковая постоянно увеличивается.

Выше (§ 3) была приведена средняя стоимость желѣзныхъ дорогъ нормальной колеи съ версты ея длины въ разныхъ государствахъ, по состоянію желѣзнодорожной сѣти въ 1908 г., при чемъ для дорогъ Европейской Россіи означенная стоимость опредѣлилась цифрою 115000 рублей; по отдѣльнымъ дорогамъ стоимость колеблется въ значительныхъ предѣлахъ, а именно 45000 руб. для однопутной Бѣлгородъ—Сумской дороги и 259,000 р. для всей сѣти Николаевской жел. дор., включая также и принадлежащія означенной сѣти однопутныя линіи; стоимость же главной линіи (Петербургъ-Москва) Николаевской дор. съ версты ея длины превосходитъ 400000 руб.

Стоимость узко-колейныхъ дорогъ конечно ниже; по состоянію сѣти узколейныхъ дорогъ въ Россіи (дороги мѣстнаго значенія) въ 1908 г., средняя стоимость съ версты ихъ длины опредѣлилась около 29000 руб.

46. **Эксплоатаціонная смѣта, измѣрители эксплоатаціонныхъ расходовъ и коэффиціентъ эксплоатаціи.** Къ эксплоатаціоннымъ расходамъ относятся всѣ расходы по поддержанію правильнаго движенія поѣздовъ на дорогѣ и совершенію коммерческихъ операцій, какъ-то: расходы по управленію дорогою, по содержанію и ремонту пути и всѣхъ сооруженій и зданій, по тягѣ поѣздовъ и ремонту подвижного состава, а также расходы по пріему, отправкѣ и перевозкѣ пассажировъ и грузовъ. Всѣ же расходы по улучшенію дороги и усиленію ея пропускной и провозной способности, хотя и производимые послѣ открытія правильнаго на дорогѣ движенія, присчитываются къ расходамъ по сооруженію дороги, ибо они увеличиваютъ ея стоимость.

Ежегодно до наступленія отчетнаго года составляется для каждой дороги смѣта предполагаемыхъ эксплоатаціонныхъ расходовъ, по которой отпускаются необходимыя средства для эксплоатаціи дороги, а по истеченіи отчетнаго года и выясненіи дѣйствительныхъ расходовъ составляется отчетъ объ эксплоатаціи дороги.

Дабы облегчить составленіе и пользованіе эксплоатаціонною смѣтою и отчетомъ, расходы группируются по отдѣламъ, а въ предѣлахъ каждаго отдѣла по номерамъ, обнимающимъ расходы извѣстной категоріи. По установленнымъ въ Россіи правиламъ составленія смѣтъ и отчетовъ по эксплоатаціи дороги, таковые раздѣляются на нижеслѣдующіе отдѣлы:

I. Центральное Управленіе дорогами.

II. Мѣстное Управленіе дорогою.

III. Служба Пути и зданій (расходы по надзору, содержанію и ремонту пути, сооруженій и зданій, включая необходимый личный составъ).

IV. Служба Движенія и Телеграфа (содержаніе агентовъ по составленію и движенію поѣздовъ, по пріему, отправкѣ и перевозкѣ пассажировъ и грузовъ).

V. Служба Тяги и Подвижного состава (расходы по тягѣ поѣздовъ, а также содержанію и ремонту паровозовъ и вагоновъ, включая паровозныя бригады и остальной, необходимый личный составъ).

VI. Особые обязательные расходы (содержаніе жандармско-полицейскаго Управленія, содержаніе школъ и проч.).

VII. Чрезвычайные расходы.

VIII. Расходы по финансовымъ и дополнительнымъ оборотамъ и предпріятіямъ.

IX. Расходы отъ таксировки служебныхъ перевозокъ.

Для лучшей оріентировки при составленіи смѣты и оцѣнки результатовъ эксплоатаціи, расходы относятся къ единицѣ извѣстнаго измѣрителя, въ качествѣ коихъ примѣняются: 1) одна верста дѣйствительной длины линіи, 2) 100 поѣздо-верстъ пробѣга поѣздовъ, 3) 10000 вагоно-осе-верстъ пробѣга вагоновъ; первый изъ указанныхъ измѣрителей пригоденъ для оцѣнки расходовъ независящихъ отъ размѣровъ движенія, а остальные два для расходовъ, зависящихъ отъ размѣровъ движенія.

Ниже приведены данныя объ эксплоатаціонныхъ расходахъ за 1908 г. по отдѣламъ смѣты и измѣрителямъ для сѣти Русскихъ Казенныхъ желѣзныхъ дорогъ общаго значенія (при длинѣ сѣти 41300 вер., изъ чего 11000 вер. двухпутныхъ линій):

Отдѣлъ смѣты	На версту сѣти руб.	На 100 поѣздо-верстъ руб.	На 10.000 вагоно-осе-верстъ руб.
I+II . . .	1374	20	37
III	2345	34	62
IV	2210	32	59
V	4872	70	129
VI	50	1	1
VII . . .	349	5	9
VIII	22	—	1
IX	707	10	19
Итого:	11929	173	317,

причемъ размѣры движенія на версту сѣти опредѣлились около 7000 поѣздо-верстъ и около 380000 вагоно-осе-верстъ въ годъ.

Какъ видно изъ приведенныхъ цифръ, наибольшіе расходы (около 40% всѣхъ эксплоатаціонныхъ расходовъ) падаютъ на службу тяги, по которой очень крупную статью расхода составляетъ снабженіе паровозовъ топливомъ.

По отдѣльнымъ дорогамъ эксплоатаціонные расходы, отнесенные къ указаннымъ измѣрителямъ, а въ особенности на версту длины дороги, колеблются въ значительныхъ предѣлахъ, въ зависимости, главнымъ образомъ, отъ интенсивности движенія; такъ эксплоатаціонные расходы на версту дороги составляли въ 1908 г. для Пермской ж. д. 6960 руб., а для М. Курской, Нижегородской и Муромской ж. дорогъ—21368 руб.

Всѣ доходы желѣзной дороги какъ отъ перевозки грузовъ и пассажировъ, такъ и отъ другихъ побочныхъ поступленій представляютъ валовой доходъ дороги. Часть валового дохода идетъ на покрытіе эксплоатаціонныхъ расходовъ, а остающійся излишекъ служитъ для оплаты процентовъ и погашенія строительнаго капитала и выдачи дивиденда по предпріятію. Валовой доходъ по всей сѣти русскихъ казенныхъ дорогъ въ 1908 г. составлялъ на версту 14215 руб., при чемъ по отдѣльнымъ дорогамъ величина валового дохода колебалась отъ 28313 руб., (М.-Курская, Нижегородская и Муромская дороги), до 5410 руб. (Забайкальская дорога) на версту дороги.

Процентное отношеніе эксплоатаціонныхъ расходовъ къ валовому доходу называется коэффиціентомъ эксплоатаціи. За 1908 годъ коэффиціентъ эксплоатаціи для желѣзныхъ дорогъ въ разныхъ странахъ выразился слѣдующими цифрами:

	Европейская Россія.	Австро-Венгрія.	Германія.	Франція.	Великобританія.	Сѣв. Амер. Соед. Штаты.
Коффиціентъ эксплоатаціи . .	76	72	73	58	64	70

Чѣмъ ниже коэффиціентъ эксплоатаціи, тѣмъ лучше финансовые ея результаты.

47. **Распредѣленіе эксплоатаціонныхъ расходовъ въ связи съ профилемъ пути и размѣрами движенія.** Приведенное въ предыдущемъ параграфѣ дѣленіе эксплоатаціонныхъ расходовъ, соотвѣтствующее административному дѣленію дороги, не удобно для изслѣдованія вопросовъ, касающихся зависимости между профилемъ и планомъ дороги съ одной стороны и расходами по ея эксплоатаціи съ другой стороны. Для этого необходимо выдѣлить эксплоатаціонные расходы, зависящіе отъ размѣровъ движенія и независящіе отъ нихъ, а также изслѣдовать, какіе изъ расходовъ и въ какой степени зависятъ отъ длины линіи, профиля и плана ея.

Для приблизительныхъ соображеній часто выражаютъ годовые эксплоатаціонные расходы формулою: $E = al + bm$, гдѣ l — дѣйствительная длина дороги, m количество совершаемыхъ въ годъ на дорогѣ виртуальныхъ *) поѣздо-верстъ, a — годовые, независящіе отъ размѣровъ движенія эксплоатаціонные расходы, отнесенные къ верстѣ ея длины, b — зависящіе отъ раз-

*) По формулѣ эксплоатаціонной виртуальной длины.

мѣровъ движенія расходы, отнесенные къ виртуальной поѣздо-верстѣ; для условій русскихъ желѣзныхъ дорогъ можно считать приблизительно: $a = 2500$ руб., на версту однопутной линіи, $b = 0,7$ руб., на виртуальную поѣздо-версту.

При рѣшеніи вопросовъ, касающихся проектированія желѣзной дороги въ связи съ ожидаемыми расходами по ея эксплоатаціи, а также при выясненіи вліянія, какое оказываютъ техническія условія профиля и плана дороги на эксплоатаціонные расходы, удобно дѣлить послѣдніе на слѣдующія категоріи: 1) общіе расходы, 2) линейные, 3) станціонные, 4) перевозочные и 5) тяговые расходы.

Къ *общимъ* расходамъ относятся расходы, независящіе ни отъ размѣровъ движенія, ни отъ длины линіи.

Къ *линейнымъ* расходамъ относятся расходы по содержанію и ремонту полотна, искусственныхъ сооруженій и верхняго строенія главныхъ путей дороги (за исключеніемъ смѣны рельсовъ), а также содержаніе и ремонтъ переѣздовъ, линейныхъ построекъ (сторожевыхъ домовъ, казармъ и проч.), телеграфной линіи и проч. Расходы эти можно считать пропорціональными длинѣ дороги и независящими отъ размѣровъ движенія; хотя въ дѣйствительности нѣкоторая часть изъ перечисленныхъ выше расходовъ, какъ-то ремонтъ пути, зависитъ въ извѣстной степени отъ размѣровъ движенія, однако зависимость эта трудно поддается учету и можно пренебречь ею при рѣшеніи вопросовъ о предпочтительности того или другого направленія проектируемой дороги или о выборѣ тѣхъ или другихъ техническихъ для нея условій. Что-же касается расходовъ по содержанію и ремонту станціонныхъ путей, а также по смѣнѣ рельсовъ, то означенные расходы, на величину коихъ размѣры движенія оказываютъ большое вліяніе, должны быть отнесены къ расходамъ, зависящимъ отъ размѣровъ движенія.

Къ *станціоннымъ* расходамъ относятся расходы по пріемкѣ и отправкѣ пассажировъ и грузовъ, по станціоннымъ маневрамъ съ вагонами и поѣздами, а также по содержанію и ремонту станціонныхъ путей, зданій и обустройствъ, за исключеніемъ зданій и устройствъ для стоянки и ремонта подвижного состава и снабженія паровозовъ топливомъ и водою; станціонные расходы, которые можно считать пропорціональными количеству перевезенныхъ пассажировъ и тоннъ груза, не оказываютъ вліянія на вопросы, касающіеся трассировки желѣзнодорожной линіи.

Перевозочные расходы зависятъ отъ размѣровъ движенія и отъ длины дороги, но не зависятъ отъ ея трассы (профиля и плана); расходы эти, различные для пассажирскаго и товарнаго движенія, можно считать пропорціональными пробѣгу пассажировъ и грузовъ (количеству совершенныхъ тонно-верстъ брутто пассажирскихъ и товарныхъ поѣздовъ *).

Къ перевозочнымъ расходамъ относятся расходы по ремонту, очисткѣ, смазкѣ, освѣщенію и отопленію вагоновъ и по содержанію кондукторскихъ бригадъ.

Тяговые расходы, зависящіе отъ размѣровъ движенія, длины дороги и ея трассы, могутъ быть отнесены къ пробѣгу паровозовъ (паровозо-верстъ);

*) Не считая вѣса паровозовъ и тендеровъ.

если Q — вѣсъ въ килограммахъ топлива, израсходованнаго въ годъ на отопленіе паровозовъ при пробѣгѣ ими во главѣ поѣздовъ T паровозо-километровъ, n — число килограммовъ пара, получаемаго съ одного килограмма топлива, s — расходъ въ килограммахъ пара на паровую лошадь въ часъ, то работа, получаемая съ одного килограмма пара, составитъ:

$\frac{75 \times 60 \times 60}{1000\,s} = \frac{270}{s}$ килограммо-километровъ, а средняя сила тяги опредѣлится изъ выраженія:

$$Z = \frac{270\,Qn}{sT} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (177)$$

Launhardt нашелъ среднюю силу тяги для сѣти Прусскихъ желѣзныхъ дорогъ равною 1,15 тоннъ (по даннымъ за 1885—1886 годъ).

Тотъ же авторъ даетъ въ среднемъ для означенной сѣти нижеслѣдующія величины единичныхъ эксплоатаціонныхъ расходовъ:

Линейные расходы u — 1477 руб. на клм. дороги въ годъ.

Станціонные расходы:

a) на тонну груза d_1 — 0,567 руб.

b) на пассажира d_2 = 0,085 руб.

Перевозочные расходы:

a) товарные поѣзда g_1 = 0,0007 руб. на тонно-клм.

b) пассажирскіе поѣзда g_2 = 0,0019 руб. на тонно клм.

Тяговые расходы:

a) товарные поѣзда t_1 = 0,281 руб. на паровозо.-клм.

b) пассажирскіе поѣзда t_2 = 0,258 руб. на паровозо-клм.

Въ указанныя цифры входятъ для станціонныхъ, перевозочныхъ и тяговыхъ расходовъ также и проценты на капиталъ, затраченный на пріобрѣтеніе подвижного состава, съ распредѣленіемъ соотвѣтственно его работѣ въ пути и на станціяхъ; въ станціонные расходы не включено содержаніе станціонныхъ обустройствъ.

При рѣшеніи вопросовъ, касающихся трассировки проектируемой линіи, а также сравнительной выгодности разныхъ варіантовъ, имѣютъ значеніе, изъ перечисленныхъ выше категорій эксплоатаціонныхъ расходовъ лишь линейные, перевозочные и тяговые расходы, какъ зависящіе отъ длины дороги или ея профиля и плана.

48. **Зависимость эксплоатаціонныхъ расходовъ отъ профиля и плана линіи.** Пусть P_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ, P_2 — вѣсъ вагоновъ поѣзда, β — часть вѣса P_1, приходящаяся на спаренныя оси паровоза, f — коэффиціентъ тренія между рельсами и колесами паровоза; сила Z тяги паровоза можетъ достигать величины: $Z = \beta f P_1$; коэффиціентъ β можетъ измѣняться отъ 1 (такъ-паровозы со всѣми спаренными осями) до 0,3, а слѣдовательно, считая f равнымъ $^1/_8$ до $^1/_8$, получимъ $Z = 0{,}20\ P_1$ до $0{,}04\ P_1$.

Полагая $Z = z P_1$, гдѣ z — *коэффиціентъ тяги*, находимъ z = 0,20 до 0,04.

Если расчетный подъемъ данной линіи равенъ i_0, то вѣсъ вагоновъ поѣзда опредѣлится изъ выраженія:

$$z P_1 = (P_1 + P_2)\ (W_1 + i_0),$$

гдѣ W_1 — коэффиціентъ сопротивленія на прямомъ и горизонтальномъ пути, слѣдовательно:

$$P_2 = \frac{z - W_1 - i_0}{W_1 + i_0} P_1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (178).$$

Изъ приведенныхъ выше (§ 47) категорій эксплоатаціонныхъ расходовъ, зависятъ отъ профиля и плана линіи, главнымъ образомъ, тяговые расходы; зависимость отъ трассы той части тяговыхъ расходовъ, которая пропорціональна работѣ паровоза, очевидна; другая же часть означенныхъ расходовъ, пропорціональная пробѣгу паровозовъ, а слѣдовательно и пробѣгу поѣздовъ, также зависитъ отъ трассы, ибо техническими условіями линіи опредѣляется составъ поѣздовъ, а слѣдовательно и необходимое ихъ число для исполненія даннаго количества перевозокъ.

Тяговые расходы на паровозо-версту (поѣздо-версту) опредѣляются формулою (175); исчисляя означенные расходы на единицу вѣса брутто вагоновъ поѣзда (тонно-версту), получимъ для опредѣленія ихъ выраженіе:

$$t_0 = \frac{q}{P_2} + \frac{pZ}{P_2}.$$

Если на линіи съ расчетнымъ подъемомъ i_0 имѣются только безвредные уклоны, то средняя сила тяги при проходѣ поѣзда по обоимъ направленіямъ движенія такая же, какъ и въ случаѣ горизонтальнаго пути (§ 31), равна $(P_1 + P_2)$ $(W_1 + W_2)$, гдѣ W_2 — соотвѣтственное сопротивленіе отъ кривыхъ; слѣдовательно:

$$t_0 = \frac{q}{P_2} + \frac{p(P_1 + P_2)\ (W_1 + W_2)}{P_2};$$

подставляя вмѣсто P_2 выраженіе (178) получимъ:

$$t_0 = \frac{q\ (W_1 + i_0)}{P_1 (z - W_1 - i_0)} + \frac{pz\ (W_1 + W_2)}{z - W_1 - i_0}.$$

Для участка линіи, расположеннаго на кривой и вредномъ уклонѣ, тяговые расходы при движеніи въ гору равны (на паровозо-версту):

$$q + p\ (P_1 + P_2)\ (W_1 + W_2 + i),$$

а при движеніи подъ гору равны q; слѣдовательно расходы на тонно-версту равны въ среднемъ для обоихъ направленій движенія:

$$t_0 = \frac{q}{P_2} + \frac{p(P_1 + P_2)\ (W_1 + W_2 + i)}{2 P_2};$$

подставляя вмѣсто P_2 выраженіе (178), получимъ:

$$t_0 = \frac{q\ (W_1 + i_0)}{P_1\ (z - W_1 - i_0)} + \frac{pz\ (W_1 + W_2 + i)}{2\ (z - W_1 - i_0)}.$$

Для того чтобы получить среднюю для всей дороги величину тяговых расходовъ на тонно-версту вѣса вагоновъ поѣзда при проходѣ его по обоимъ направленіямъ движенія, необходимо подставить вмѣсто W_2+i эквивалентный подъемъ J дороги, опредѣляемый формулою (140), послѣ чего получимъ:

$$t_0=\frac{q\,(W_1+i_0)}{P_1\,(z-W_1-i_0)}+\frac{p\,z\,(W_1+J)}{2\,(z-W_1-i_0)} \quad \ldots\ldots 179).$$

Формула (179) выведена въ предположеніи, что количество грузовъ, перевозимыхъ въ обоихъ направленіяхъ движенія, примѣрно одинаково, а составъ поѣзда близокъ къ предѣльному (178); было бы правильнѣе принять въ основаніе расчета средній составъ поѣзда. Поэтому при расчетѣ абсолютныхъ значеній тяговыхъ расходовъ формула (179) можетъ дать лишь весьма приблизительныя данныя, но для полученія относительныхъ величинъ при сравненіи варіантовъ, а также выясненіи выгодности тѣхъ или другихъ техническихъ условій для проектируемой дороги, формула (179) является достаточно точною.

При расчетѣ по означенной формулѣ, можно принимать W_1 для товарныхъ поѣздовъ 0,003, а для пассажирскихъ поѣздовъ 0,004; коэффиціентъ z тяги, считая сцѣпленіе $f=\frac{1}{6,5}$, равенъ для товарнаго паровоза Русскихъ казенныхъ дорогъ типа 1—4—0 (Таб. 6 № 16), при четырехосномъ тендерѣ, $z=0,077$, а для пассажирскаго паровоза Русскихъ казенныхъ дорогъ типа 2—3—0 (Таб. 6 № 5), при трехосномъ тендерѣ, $z=0,062$; величины p и q слѣдуетъ взять на основаніи результатовъ эксплоатаціи дороги, находящейся въ условіяхъ аналогичныхъ съ проектируемою дорогою; по приведеннымъ уже выше даннымъ Launhardt'a для Прусскихъ дорогъ, величины эти на паровозо - версту равны въ среднемъ: $p=0,123$ руб., а $q=0,158$ руб. для товарнаго движенія и $q=0,133$ руб. для пассажирскаго движенія.

49. **Сравненіе варіантовъ.** Дабы запроектировать правильно желѣзнодорожную линію приходится, особенно въ болѣе трудныхъ мѣстахъ, дѣлать изысканія по нѣсколькимъ варіантамъ, сравненіе коихъ дастъ данныя для выбора наивыгоднѣйшаго направленія линіи; кромѣ того при одномъ и томъ же направленіи въ планѣ, профиль линіи можетъ быть запроектированъ по разнымъ варіантамъ, съ примѣненіемъ болѣе или менѣе крутыхъ уклоновъ. Для правильнаго сравненія относительной выгодности варіантовъ, необходимо опредѣлить для каждаго изъ нихъ единовременные строительные и эксплоатаціонные годовые расходы; тотъ варіантъ будетъ наивыгоднѣйшимъ, для котораго сумма годовыхъ эксплоатаціонныхъ расходовъ и процентовъ на строительный капиталъ получится наименьшей.

Строительные расходы для даннаго варіанта могутъ быть расчитаны по его проекту, эксплоатаціонные же расходы могутъ быть опредѣлены на основаніи изложенныхъ выше (§§ 47, 48) соображеній, при чемъ достаточно принять во вниманіе лишь линейные, перевозочные и тяговые расходы, то есть ту часть эксплоатаціонныхъ расходовъ, которая зависитъ отъ длины линіи и вида ея въ профилѣ и въ планѣ, ибо не можетъ быть существен-

ной разницы въ величинѣ общихъ и станціонныхъ расходовъ для отдѣльныхъ варіантовъ одной и той же линіи.

Коэффиціенты эксплоатаціонныхъ расходовъ различны для пассажирскаго и товарнаго движенія, но для упрощенія выкладокъ можно вести расчетъ по товарному движенію, полагая одного пассажира эквивалентнымъ одной тоннѣ груза.

При проектированіи желѣзной дороги исчисляется на основаніи коммерческихъ изысканій ожидаемый полезный грузооборотъ; для полученія грузооборота брутто товарныхъ поѣздовъ, необходимо принять во вниманіе пробѣгъ вагонной тары груженныхъ вагоновъ, а также пробѣгъ порожнихъ вагоновъ; для условій движенія на Русскихъ желѣзныхъ дорогахъ грузооборотъ брутто-товарныхъ поѣздовъ (не считая вѣса паровозовъ и тендеровъ) можетъ быть принятъ въ два раза больше полезнаго грузооборота.

Пусть для двухъ сравниваемыхъ варіантовъ имѣемъ слѣдующія данныя:

	Варіантъ I.	Варіантъ II.
Количество грузовъ брутто, подлежащихъ перевозкѣ въ годъ во всю длину дороги въ тоннахъ . .	Q	Q
Длина линіи въ верстахъ	l_1	l_2
Годовой грузооборотъ въ тонно-верстахъ . .	Ql_1	Ql_2
Расчетный подъемъ	i_0'	i_0''
Эквивалентный подъемъ	J_1	J_2
Стоимость сооруженія	A_1	A_2
Эксплоатаціонные линейные расходы на версту . .	u	u
Эксплоатаціонные перевозочные расходы на тонно-версту	g	g
Эксплоатаціонные тяговые расходы на тонно-версту .	t_0'	t_0''
Процентная норма	k	k

Суммы годовыхъ эксплоатаціонныхъ расходовъ и процентовъ на затраченный капиталъ, для сравненія выгодности варіантовъ, равны соотвѣтственно:

$$B_1 = A_1 k + l_1 u + Ql_1 (g + t_0')$$

$$B_2 = A_2 k + l_2 u + Ql_2 (g + t_0'')$$

Тотъ варіантъ выгоднѣе, для котораго исчисленная указаннымъ способомъ величина B окажется меньше.

Литература.

Wellington. The economic theory of the location of railways.

Launhardt. Theorie des Trassirens.

Kreuter. Linienführung der Eisenbahnen.

Краевскій. Желѣзнодорожныя изысканія и составленіе проекта желѣзной дороги.

Карачевскій. Опредѣленіе отверстій искусственныхъ сооруженій.

Яцына. Отысканіе выгоднѣйшаго направленія проектируемыхъ желѣзнодорожныхъ линій.

Холодецкій. Упрощенная формула виртуальной длины.

Щегловитовъ. Теорія графика движенія поѣздовъ.

Мееровичъ. Пропускная способность желѣзныхъ дорогъ, графикъ движенія поѣздовъ и виртуальная длина по новой формулѣ.

Воскресенскій. Теорія работы желѣзнодорожныхъ поѣздовъ.

ОПЕЧАТКИ.

Страница.	*Строка.*	*Напечатано.*	*Должно быть.*
6	1 снизу	нниманіе	вниманіе
18	18 сверху	съ	къ
20	7 снизу	сообщенія	сообщеніе
21	21 „	другіе	другія
22	2 „	евпейскихъ	европейскихъ
24	14 сверху	движенія	движенію
53	8 „	вогонную	вагонную
54	1 снизу	тяжки	стяжки
68	16 сверху	получается	получаются
72	—	Чер. 35.	Чер. 53.
73	10 снизу	соотвѣтствующей	соотвѣтствующій
75	23 „	$(e-2m)\,tg\,\alpha-\mu$	$(e-2m)\,tg\,\alpha-\mu_2$
77	10 „	отнованіи	основаніи
80	1 „	ѣ	гдѣ
—	6 „	SX_2	SX^2
84	7 „	поучимъ	получимъ
88	9 „	первымъ	первомъ
93	1 сверху	иеличина	величина
104	21 снизу	$(0{,}2-0{,}15t)$	$(0{,}2-0{,}015t)$
105	4 сверху	формуламъ	формулѣ
106	7 „	путямъ	путемъ
109	15 снизу	центрострелительной	центростремительной
112	2 и 16 „	Z^i	Z_i
113	2, 7 и 23 „	p^i	p_i
114	1, 2 сверху	p^i	p_i
125	13 снизу	калодокъ	колодокъ
130	13 „	отпирающуюся	опирающуюся
134	19 „	означеній	значеній
135	23 „	$C=2\,R^2\,\alpha$	$C=2\,R^2\,\alpha$
138	8 сверху	частямъ	частяхъ
139	3	$\frac{d.f_2(x_0)}{dx^2}$	$\frac{d^2 f_2(x_0)}{dx^2}$
141	2 снизу	личину	величину
142	5 сверху	прямаго	прямою
185	17 снизу	$i=i+\frac{0{,}650}{R-55}$	$i_0=i+\frac{0{,}650}{R-55.}$
186	7 сверху	P_2	P_1
—	18 „	$i=0{,}008$	$i_1=0{,}008$
188	5 снизу	$i=\frac{h}{l}=W_1$	$i=\frac{h}{l}\leq W_1$
227	10 „	l	l_0
228	1 сверху	i	i_1
229	5 „	P	q
—	15 „	$P_2\,(a+i)$	$P_2\,(p+i)$
255	17 „	сили	сила

Тяпкинъ, Н. Д. Приборы для опредѣленія скоростей и расходовъ воды въ открытыхъ руслахъ.
— Опредѣленіе времени наполненія и опорожненія камеры шлюзовъ.
— Расчетъ фермъ системы Поаре.
— Запасное водохранилище въ долинѣ р. Нила возлѣ гор. Ассуана.
— О формулахъ примѣняемыхъ для гидравлическаго расчета шлюзныхъ водопроводовъ.
— Повѣрочный расчетъ устойчивости стѣнъ шлюзовъ и устоевъ плотинъ для р. С. Донца.
— Повѣрочный расчетъ желѣзныхъ ригельныхъ полотенъ воротъ.
— Водопроводы (отверстія, каналы и галлереи) въ шлюзахъ.
— Краткій курсъ гидравлическихъ машинъ (литогр. изд.).
Федоровичъ, О. М. О примѣненіи съемныхъ ящиковъ для заложенія свайныхъ основаній.
— Каменная кладка. Курсъ для студентовъ училища.
Целинскій, К. Ю. Желѣзныя дороги Англіи.
— Желѣзнодорожный путь въ кривыхъ.
— Метрополитены Берлина и Парижа.
— Электрическая тяга поѣздовъ на магистральныхъ линіяхъ желѣзныхъ дорогъ.
Шиловъ, Н. А. О сопряженныхъ реакціяхъ окисленій.
— Записки по объемному анализу.
Эйхенвальдъ, А. А. Электричество. (Курсъ лекцій).
— О магнитномъ дѣйствіи тѣлъ, движущихся въ электростатическомъ полѣ.
— Катодные лучи.
— Вольтова дуга.

Целинскій, К. Ю.

КУРСЪ ЖЕЛѢЗНЫХЪ ДОРОГЪ.

ТОМЪ I.

Выпускъ I. Общія свѣдѣнія о желѣзныхъ дорогахъ. Подвижной составъ и условія прохожденія его по рельсовой колеѣ. Проектированіе желѣзнодорожной линіи.

Цѣна 3 руб.

ГОТОВИТСЯ КЪ ПЕЧАТИ:

ТОМЪ I

Выпускъ II. Нижнее строеніе пути. Верхнее строеніе пути. Соединенія путей.

ТОМЪ II.

Выпускъ III. Станціи.

Выпускъ IV. Сигнализація. Центральное управленіе стрѣлками и сигналами. Блокировка.

Сканировал Маменко Д. В.