

**К. А. ОППЕНГЕЙМ**

Профессор Московского Высшего Технического Училища  
и Высших Технических Курсов Н. К. П. С.

# **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ**

## Труды К. А. Оппенгейма.

1. Паровозное топливо в России. С.-Петербург. 1893 г.
2. Применение начала возможных перемещений к вопросам Строительной механики. С.-Петербург. 1898 г.
3. Заметка о проектировании железнодорожных мостов в кривых частях пути. Москва. 1898 г.
4. Определение прогибов в брусках при помощи второго веревочного многоугольника. Варшава. 1902 г.
5. Новейшие Северо-Американские ж.-д. мосты. Варшава. 1907 г.
6. Nowsze mosty w Ameryce Północnej. kolejowe. Warszawa. 1908 г.
7. Проект консольного городского моста через Неман в Гродне. Отверстие 72 саж. Три пролета. Варшава. 1907 г.
8. Об установлении новых норм давления ветра на мостовые сооружения. С.-Петербург. 1908 г.
9. Мосты под обыкновенную дорогу. Новейшие данные и указания для проектирования мостов под обыкновенную дорогу. С.-Петербург. 1908 г.
10. Возвышенные арки с затяжкой в применении к мостам второй колеи Сибирской ж. д. на участке Омск—Ачинск. Томск. 1908 г.
11. Заметка по вопросу об удешевлении рельсового пути. Томск. 1909 г.
12. Der russische Eisenbrückenbau im Beginne des XX. Jahrhunderts. Mit vielen Abbildungen. Tomsk. 1910 г. (издание для Брюссельской выставки).
13. Сибирская ж. д.—Записка по вопросу об усилении пути. Томск. 1910 г.
14. Мостовые паромы, их развитие и конструкция. Томск. 1911 г.
15. Об установлении на русских ж. д. нормальных типов верхнего строения пути. С.-Петербург. 1912 г.
16. К вопросу о шпальном кризисе. С.-Петербург. 1913 г.
17. Систематический указатель узаконений и общих распоряжений по М-ву Путей Сообщения, относящихся до Службы Пути и Зданий эксплуатируемых и до постройки новых ж. д. и последовавших с 1860 г. по 1 января 1914 г. 9 издание. Москва. 1914 г.
18. Заметки о Финляндских ж. д. Киев. 1914 г.
19. Мосты через Волгу и ее дельту. Петроград. 1915 г.
20. Очерк развития в России постройки мостов под обыкновенную дорогу. Петроград. 1916 г.
21. Об установлении порядка составления расценочных ведомостей по сооружению ж. д. (Нормальная номенклатура и нормы количеств работ и поставок). Москва. 1917 г.
22. Об установлении нормальных типов верхнего строения пути для русских ж. д. Исследование оснований проектирования и опыт установления нормальных типов пути при параллельном обзоре верхнего путевого строения разных устройств, осуществленных и предложенных в России и за границей. Москва. 1918 г.

**К. А. ОППЕНГЕЙМ**

Профессор Московского Высшего Технического Училища  
и Высших Технических Курсов Н.К.П.С.

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

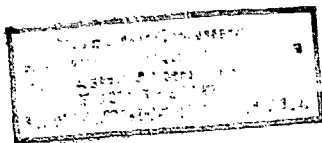
Часть I

**ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГАХ**

Часть II

**ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ**

с 30 фигурами в тексте



95-838

---

Ленинградский Гублнт № 6259. 1924. г. Нар. № 1816. Тираж 2000 экз.  
1-я Объединенная тип. Трапспечати НКПС им. Воровского, Обводн., 66.

---

# О Г Л А В Л Е Н И Е.

	№ стр.
ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . .	5
Ч А С Т Ь  I	
Общие сведения о железных дорогах.	
Глава I. Происхождение железных дорог (§ 1) . . . . .	7
Глава II. Типы железных дорог (§§ 2—4) . . . . .	13
Ст. 1. Деление железных дорог по способу движения (§ 3) . . . . .	14
Ст. 2. Деление железных дорог по способу их устройства (§ 4) . . . . .	15
Глава III. Характеристика железных дорог (§§ 5—13) . . . . .	16
Глава IV. Классификация железных дорог (§§ 14—24) . . . . .	23
Ст. 1. Классификация жел. дорог в техническом отношении (§§ 15—21) . . . . .	23
п. а) в зависимости от топографических условий (§ 16) . . . . .	24
п. б) в зависимости от устройства пути — ширины колеи и числа главных путей (§§ 17—19) . . . . .	26
п. в) по системе тяги (§ 20) . . . . .	38
п. г) по скорости движения (§ 21) . . . . .	38
Ст. 2. Классификация железных дорог в юридическом отношении (§§ 22—24) . . . . .	39
Глава V. Значение железных дорог (§§ 25—29) . . . . .	45
Ст. 1. Первоначальное и современное понимание значения железных дорог (§ 25) . . . . .	45
Ст. 2. Экономическое значение жел. дорог (§ 26) . . . . .	50
Ст. 3. Культурное значение жел. дорог (§ 27) . . . . .	54
Ст. 4. Политическое значение жел. дорог (§§ 28 и 29) . . . . .	55

Глава VI. Отношение железных дорог к другим путям сообщения (§§ 30—33) . . . . .	58
Ст. 1. Отношение жел. дорог к другим земным путям сообщения (§§ 30 — 32) . . . . .	58
Ст. 2. Отношение железных дорог к воздушным сообщениям (§ 33) . . . . .	63
Глава VII. Начало постройки железных дорог в разных странах (§ 34) . . . . .	65
Глава VIII. Развитие сети железных дорог (§§ 35—41) . . . . .	69
Ст. 1. Постепенное развитие сети железных дорог (§ 35) . . . . .	69
Ст. 2. Современное протяжение железных дорог (§§ 36 — 41). . . . .	74

## ЧАСТЬ II.

### Тяговые расчеты.

Глава IX. Общие указания (§ 42) . . . . .	81
---	----

## ОТДЕЛ I.

Силы, приложенные к поезду (§§ 43—84) . . . . .	82
Глава X. Силы сопротивления поезда движению (§§ 44—70) . . . . .	83
Ст. 1. Основное сопротивление движению поезда на прямом и горизонтальном пути (§§ 45 — 62) . . . . .	86
п. а) Основное сопротивление паровозов с тендерами (§§ 46 — 50) . . . . .	90
п. б) Основное сопротивление вагонов (§§ 51 — 58) . . . . .	96
п. в) Основное сопротивление поезда в целом (§ 59) . . . . .	105
п. г) Влияние температуры воздуха и погоды на основное сопротивление поездов (§ 60) . . . . .	106
п. д) Влияние верхнего строения пути на основное сопротивление поездов (§ 61) . . . . .	108
п. е) Основное сопротивление движению самодвижущихся вагонов (§ 62) . . . . .	110
Ст. 2. Дополнительное сопротивление поезда движению от уклонов (§ 63) . . . . .	111
Ст. 3. Дополнительное сопротивление поезда движению от закруглений пути (§§ 64 — 68) . . . . .	113
Ст. 4. Дополнительное сопротивление поезда движению от ускорения или замедления (§ 69) . . . . .	124
Ст. 5. Сопротивление поезда движению при трогании с места (§ 70) . . . . .	127

Глава XI. Сила тяги паровоза (§§ 71 — 80) . . . . .	130
Ст. 1. Цилиндровая сила тяги паровоза (§§ 72 — 76) . . . . .	131
Ст. 2. Сцепная сила тяги паровоза (§ 77) . . . . .	144
Ст. 3. Котловая сила тяги паровоза (§ 78) . . . . .	151
Ст. 4. Общее ограничение силы тяги паровоза (§ 79) . . . . .	159
Ст. 5. Общая сила тяги паровозов при двойной тяге и при подталкивании (§ 80) . . . . .	162
Глава XII. Тормозные силы поезда (§§ 81 — 84) . . . . .	164
Ст. 1. Тормозная сила поезда от действия колодок (§ 82) . . . . .	164
Ст. 2. Тормозная сила поезда от контрпара (§ 83) . . . . .	174
Ст. 3. Полная тормозная сила поезда (§ 84) . . . . .	176

## О Т Д Е Л  I I.

### Движение поезда (§§ 85 — 122).

Глава XIII. Уравнение движения поезда (§ 85) . . . . .	178
Глава XIV. Главнейшие вопросы, относящиеся к движению поезда (§§ 86 — 123) . . . . .	187
Ст. 1. Наибольший возможный вес состава поезда (§§ 87 — 89) . . . . .	187
Ст. 2. Преодоление подъемов за счет разгона (§§ 90 — 91) . . . . .	198
Ст. 3. Торможение поезда (§§ 92 — 101) . . . . .	207
Ст. 4. Скорости движения поезда (§§ 102 — 104) . . . . .	235
Ст. 5. Время пробега поездом перегона (§§ 105 — 110) . . . . .	239
Ст. 6. Расход паровозом воды и топлива (§§ 111 — 123) . . . . .	265
п. а) Расход пара машиной паровоза (§§ 112 — 113) . . . . .	266
п. б) Расход пара котлом паровоза (§ 114) . . . . .	275
п. в) Расход воды из тендера (§§ 115 — 117) . . . . .	276
п. г) Расход топлива (§§ 118 — 123) . . . . .	281
Приложение к Ч. II. Некоторые данные о подвижном составе русских железных дорог . . . . .	287

## ПРЕДИСЛОВИЕ.

---

Настоящий труд представляет собой лекции по проектированию железных дорог, читаемые мною (по утвержденным программам) студентам „Железнодорожного Отделения“ Инженерно - Строительного Факультета Московского Высшего Технического Училища и „Строительно-Путевого Факультета“ Высших Технических Курсов НКПС.

Весь труд состоит из четырех частей:

- I. Общие сведения о железных дорогах.
- II. Тяговые расчеты.
- III. Основы проектирования железных дорог.
- IV. Изыскания железных дорог.

Однако, пока, в виду крайней затруднительности издания сразу всего труда, выпускаются в свет лишь I и II части с тем, что остальные части будут изданы в недалеком будущем (в настоящем же 1924 г.).

При составлении настоящего труда мной преследовалась цель возможно полно, просто и ясно изложить все, что требуется знать по проектированию железных дорог молодому инженеру на первых порах его практической деятельности, не отвлекая его внимания излишними подробностями вопроса, но давая ему возможно ясное представление обо всем, с чем на практике ему придется сталкиваться.



При изложении предмета мной, между прочим, обращено внимание на нижеследующее: а) чтобы лицам, изучающим предмет, в значительной степени облегчить надлежащее его усвоение (с этой целью мною, между прочим, применены при разного рода обозначениях исключительно понятные, легко запоминаемые индексы—буквенные, а не ничего не говорящие, трудно запоминаемые индексы—цифровые, при чем раз уже принятые обозначения мною строго проводятся во всех частях курса), б) чтобы тем же лицам дать не только руководство для изучения предмета, но и пособие при упражнениях и проектировании (в связи с этим, в курс включены некоторые статьи и данные, знание коих не требуется от студентов при сдаче зачетов), наконец, в) чтобы лицам, изучающим предмет, в значительной степени облегчить чтение соответственной иностранной литературы (с этой целью специальные технические термины указаны параллельно на немецком, французском и английском языках).

Что касается фигур и практических примеров, то таковые, в целях некоторого удешевления издания, в общем приведены лишь в тех случаях, когда усвоение вопроса без фигуры или примера несколько затруднительно.

Хотя настоящий труд и предназначается, главным образом, служить руководством и пособием студентам двух названных выше учебных заведений, однако, он является руководством, и пособием вообще для лиц, изучающих рассматриваемую область техники железных дорог, а также, несомненно, он может служить пособием и молодым инженерам на первых порах их практической деятельности.

*К. Оппенгейм.*

Москва,  
25 марта 1924 г.

## Ч А С Т Ь I.

### Общие сведения о железных дорогах.

---

#### Г Л А В А I.

##### Происхождение железных дорог.

§ 1. В древности первые шаги на пути культурного и экономического развития народов обуславливались прежде всего наличием водных путей сообщения, которые, представляя собою ровный путь, позволявший к тому же пользоваться даровыми двигателями—течением или ветром, являлись естественными торговыми путями; вдоль этих путей прежде всего и развивалась жизнь каждого народа.

Однако, размножение жителей, земельная теснота, наконец, потребность обмена продуктов труда, возрастающая во всяком обществе по мере развивающегося разделения занятий, заставляла народы искать выходы в глубь их стран и там создавать естественные сухопутные пути — первоначально тропинки, а затем торные пути — в результате грунтовые дороги. Подобные дороги, однако, представляли собой далеко не совершенные пути сообщения и потому, естественно, стремления народов искони были направлены к усовершенствованию грунтовых дорог, которое прежде всего выразилось в том, что подобные дороги начали устраиваться с гладким покровом в виде щебеночной одежды или мостовой (подобные дороги были у египтян, ассирийцев, финикийцев, древних греков, китайцев). Но и подобного усовершенствования, по мере развития у народов торговли, оказывалось мало и по-

тому в дальнейшем в различных странах искони проявлялось стремление к усовершенствованию гужевых дорог путем применения колеи, как средства, облегчающего перевозку грузов. Еще египтяне, греки и римляне устраивали колею просто в виде углублений в каменном основании, или же устраивали таковую из каменных плит, в которых еще выдалбливали желоба (углубления делались величиной, примерно, в 2", а ширина колеи была 5'—5' 3").

Под влиянием экономических соображений стремления народов в улучшении пути в отношении сопротивления движению не переставали развиваться и, в результате, в XVII веке, а именно в 1630 г., на одних из угольных копей в Англии (в *New-Castle-on-Tyne*) *Beaumont*'ом был устроен путь из двух параллельных деревянных брусьев, пространство между которыми было засыпано щебнем и гравием. По мере развития (преимущественно в горном деле) в количественном отношении подобного рода путей, для которых, между прочим, как правило, ширина колеи была принята в 4 фута, деревянные брусья, во избежание изнашивания, стали покрываться сперва досками, затем железными полосами (*plating the rails*), что привело к замене у подвод деревянных колес чугунными, после сего—угловым железом, образующим закраины, благодаря которым колоса не могли соскакивать с колеи, и, наконец, в 1767 г. на путях одного из английских железнодорожных заводов (в *Colburn-Dale*) деревянные брусья были заменены чугунными желобчатыми рельсами (рельсы *Reynolds'a*), углубления которых и служили направляющими для ободьев колес <sup>1)</sup>.

Однако, подобного рода путь применялся недолго — он оказался мало практичным, благодаря трудности содержания в чистоте плоскости катания колес и легкому сходу последних с рельсов (из-за низких реборд) и вскоре, в 1776 г., на одних из угольных копей (в *Cheffield'e*) появились чугунные рельсы в виде уголков (рельсы *Curr'a*) с обращенными во внешнюю сторону углами (колеса катились по внешней

<sup>1)</sup> Неудачные попытки применения чугунных рельсов начались собственно еще с 1738 г., когда подобные рельсы были применены в *Whitehaven'e*.

стороне колеи), а в 1789 г., опять-таки на путях одних из угольных копей в Англии (в *Loughborough*), были применены чугунные рельсы уже без желоба (рельсы *Jessop*'а), при чем направляющая движение реборда была перенесена от рельса к колесу, в связи с чем было положено начало и особому „железнодорожному“ подвижному составу, имевшему колеса с ребордами (закраинами). Ширина колеи при чугунных рельсах *Jessop*'а была равна расстоянию между ободьями колес повозок и составляла между наружными гранями рельсов 5 футов (ширина колеи между внутренними гранями рельсов была равна 4'8<sup>1</sup>/<sub>2</sub>").

Хотя чугунные рельсы затем и совершенствовались (рельсы *Wyatt*'а — 1802 г. и рельсы *Woodhouse*'а — 1803 г.), однако, в общем чугунные рельсы, благодаря их хрупкости, оказались тоже мало практичными и потому в дальнейшем стремления были направлены к изготовлению рельсов из железа. Первый опыт изготовления железных рельсов был произведен в 1803 г. (рельсы *Nixon*'а квадратного сечения), но этот опыт, равно как и некоторые еще позднейшие опыты, оказались неудачными и лишь в 1820 г. удалось достигнуть известного успеха в прокатке упомянутых рельсов, когда появились рельсы *Birkinshaw*. Эти рельсы, состоявшие лишь из головки и шейки (как и рельсы *Jessop*'а) и явившиеся типом, на основании которого позднее развилось верхнее строение из двуголовых рельсов, и были рельсами первых паровозных железных дорог.

Все указанные стремления были направлены к облегчению перевозки грузов при помощи живых двигателей, обладавших сравнительно небольшою силою и скоростью, но вместе с тем параллельно этим стремления изобретателей были направлены также и к усовершенствованию системы тяги, особенно после того, как в 1769 г. английским механиком *Watt*'ом были усовершенствованы паровые машины (изобретенные, как известно, еще в XVII столетии *Papin*'ом и в 1705 г. *Severy* и *Newcomen*'ом). Блестящие результаты, достигнутые *Watt*'ом в области постоянных паровых машин, заставили изобретателей направить свои мысли к помещению паровой машины на тележку с тем, чтобы не только она

сама с последней вместе двигалась, но чтобы она двигала и грузы. Так как ко времени изобретений *Watt*'а (1769 г.) не были еще придуманы, как это можно усмотреть из сказанного выше, металлические рельсы без желобов, то естественно, что первые (в конце XVIII столетия) попытки изобретателей различных стран (Англии, Франции и Америки) в области применения самодвижущихся паровых машин, прозванных, кстати заметить, в Англии „железными лошадьми“ (*iron horses*), были направлены по отношению к гужевым дорогам (дорожные локомотивы *Edgworth*'а 1768 г., *Cugnot* 1769 г., *Murdock*'а 1784 г., *Symington* 1786 г., *Evans*'а 1786 г., *Read*'а 1790 г.) и лишь после недостижения в этом отношении никаких успехов (неуспеху отчасти способствовало, разумеется, и плохое состояние дорог того времени), идея самодвижущихся машин была применена к рельсовым путям.

Результатом попыток создать самодвижущуюся по рельсам паровую машину и была постройка в 1804 г. англичанином *Trevilick*'ом первого паровоза (с маховым колесом), а затем стали строить паровозы *Blenkinsop* (1811 г. — с одним зубчатый колесом из числа трех), братья *Chapman*, *Cooke*, *Taylor* (1812 г.), *Brunton* (1813 г.), *Headley* (1813 г.), *Blakett* (1813 г.) и, наконец, *George Stephenson* (1814 г.). Все эти паровозы были некоторое время в употреблении при перевозке угля на копиях, но все они представляли крупные недостатки, из коих главный был малый вес паровозов и, вследствие сего, малое сцепление их с рельсами. Последнее объясняется существовавшим в то время мнением, что сцепление между колесами и рельсами от силы трения недостаточно для сообщения паровозу поступательного движения. Лишь после того, как подобное мнение было в 1813 г. опровергнуто *Blakett*'ом, постройка паровозов двинулась вперед. В результате, в 1825 г. появился усовершенствованный *George Stephenson*'ом первый со спаренными осями паровоз „*Locomotion*“, примененный им не только что отстроенной тогда железной дороге *Darlington-Stockton*, каковой паровоз, а еще более построенные *George Stephenson*'ом и его сыном *Robert Stephenson*'ом в 1829 г., на конкурс в *Rainhill*'е

для второй строившейся тогда дороги *Liverpool—Manchester*, усовершенствованный паровоз „*Rocket*“, для которого была достигнута скорость 35 м. в час (без поезда), и в 1830 г. *Robert Stephenson*'ом паровоз „*Planet*“, окончательно решили вопрос паровозной тяги для железных дорог, а равно вопрос применения последних не только для перевозки грузов, но и пассажиров; это и вызвало развитие затем железнодорожного дела во всех странах.

Все изложенное показывает, как постепенно люди дошли до железных дорог, а затем из сказанного видно, что железная рельсовая колея существовала задолго до того, как был изобретен паровоз, являющийся, кстати заметить, как видно, изобретением далеко не одного человека (каковым обыкновенно считается *George Stephenson*), а, по выражению *Robert Stephenson*'а, целой нации инженер-механиков. Следовательно, строго говоря, железные дороги, в широком смысле этого слова, т. е. дороги с железной рельсовой колеей, существовали гораздо раньше изобретения паровоза. На этом основании некоторые склонны считать железнодорожной эрой время появления вообще первой дороги с железной рельсовой колеей, другие же находят, что таковой эрой является время появления первой такого рода дороги общего пользования, а именно—1794 г., когда в Англии фирмой *Hornfray* была построена первая конно-железная дорога общего пользования от *Cardiff*'а до *Merthyr—Tydfil* в *South—Wales*'е. Однако, большинство, несколько суживая понятие „железная дорога“, не считает ни тот, ни другой момент за начало возникновения железных дорог.

Указанное разногласие объясняется тем, что до сего времени не существует единого определения понятия „железная дорога“.

Одни, противопоставляя железные дороги другим путям сообщения, понимают под железными дорогами такие дороги, по которым движение совершается по рельсовой колее, и на этом основании причисляют к железным дорогам все дороги, снабженные рельсовой колею, независимо от системы двигателей, т. е. независимо от того, каким способом производится по ним передвижение пассажиров и грузов, вруч-

ную ли, людьми, или животными, или действием силы тяжести, или, наконец, паровую, электрическую, гидравлическую или пневматическую силою. Другие присваивают название „железная дорога“ лишь тем дорогам с рельсовой колеёй, которые приспособлены механическим способом для передвижения массовых грузов, и на этом основании они не причисляют к железным дорогам конок, трамваев с механическою тягою и других дорог, служащих особым целям, например, горных дорог, на коих тяга производится посредством постоянных машин и кабелей. Наконец, третьи, учитывая то обстоятельство, что дороги с паровыми двигателями являются главнейшим способом передвижения массовых грузов по суше на любые расстояния, затем, что именно такого рода дороги, благодаря их большой производительности и скорости перевозок, оказали и до сего времени оказывают большое влияние на эволюцию мировых отношений, наконец, что лишь с развитием паровой тяги железные дороги получили широкое распространение, подразумевают под железными дорогами исключительно паровозные (паровые) дороги с рельсовой колеёй.

По поводу последнего надлежит иметь в виду, что понимать под железными дорогами лишь дороги с паровыми двигателями представляется совершенно неправильным. Если другие системы механических двигателей—электрических, пневматических, гидравлических и прочих—и появились в применении к железным дорогам позже паровых и имеют по настоящее время, в сравнении с последними, гораздо меньшее значение, то из этого не должно следовать, что дороги, на которых тяга производится при посредстве упомянутых двигателей, не подходят под понятие „железная дорога“. Под это понятие, несомненно, подходят не только паровозные (паровые) дороги, не только дороги вообще с механическими двигателями (локомотивные), но в общем все дороги, снабженные рельсовой колеёй, независимо от того, каким способом на них производится тяга. Однако, в жизни все же принято понятие, „железная дорога“ суживать, и если с этим считаться, то нельзя суживать это понятие до того, чтобы под железными дорогами подразумевать лишь паровые дороги. Если это понятие уже суживать, то никак не более того, чтобы под

железными дорогами понимать те дороги с рельсовой колеей, которые имеют свое особое земляное полотно, на которых тяга производится при посредстве какого-либо механического двигателя (парового, электрического, пневматического, гидравлического и пр.) и которые приспособлены для передвижения массовых грузов.

Исходя из последнего определения, железнодорожной эрой надлежит считать 1825 г. (27 сент.), когда в Англии была открыта для движения упомянутая выше железная дорога *Darlington — Stockton* (21 км.), явившаяся первой железной дорогой общего пользования с паровозной тягою.

Однако, на этом не все авторы сходятся и некоторые считают названной эрой 1830 г., когда в Англии была открыта для движения железная дорога *Liverpool — Manchester*, так как собственно на этой дороге впервые появились паровозы в современном смысле этого слова — упомянутые выше паровозы „*Rocket*“ и „*Planet*“, в которых передача силы от поршня к ведущему колесу была устроена помощью шатуна (ранее для сего применялись цепи), в которых тяга была усилена выпуском мягкого пара в дымовую трубу, наконец, в которых был применен трубчатый котел, изобретенный в 1825 г. во Франции *Séguin*'ом, каковые паровозы окончательно и рассеяли все существовавшие до того времени сомнения в целесообразности паровозной тяги вообще и в частности для перевозки пассажиров (на дороге *Darlington — Stockton* паровозная тяга была применена лишь для перевозки грузов, а пассажиры перевозились при помощи конной тяги).

## Г л а в а II.

### Типы железных дорог.

§ 2. Железные дороги, в широком смысле этого слова, существуют и проектированы весьма многих систем, зачастую значительно отличающихся одна от другой.

Все эти системы могут быть распределены в общем на две основные группы: во-первых, по способу движения на



дорогах, и во-вторых, по способу устройства таковых. Эти группы в некоторых случаях касаются и обуславливают друг друга.

## Ст. 1. Деление железных дорог по способу движения.

§ 3. По способу движения железные дороги могут быть разделены на: 1) дороги, на которых движение происходит от источника силы, сопровождающего самый поезд, и 2) дороги, на которых движение происходит без сопровождающего самый поезд источника силы, путем передачи последней с определенного неподвижного пункта.

I. Первого рода дороги распределяются, в свою очередь, на: 1) дороги, работающие силою тяжести (т. наз. самодействующие или автоматические дороги), по которым вагоны самостоятельно, без посредства двигателя, направляются к месту разгрузки, а после разгрузки (автоматической) опять автоматически возвращаются к точке исхода, и 2) дороги, работающие при посредстве двигателей живых (конно-железные дороги и дороги в рудниках) или механических, приводимых в движение паром (паровозные ж. д.), электрическими аккумуляторами (электровозные ж. д.) или сжатым воздухом (пневматические ж. д.). При этом, на дорогах с механическими двигателями тяга осуществляется: или а) трением только между обоими путевыми рельсами и движущими колесами, или б) еще и трением между особым зажимным рельсом и горизонтальными зажимными движущими колесами по середине между путевыми рельсами, или, наконец, в) зацеплением за зубчатую штангу, прикрепленную по середине между путевыми рельсами, зубчатыми же колесами, составляющими одно целое с локомотивом и приводимыми в движение его машиною.

В связи с этим, дороги с механическими двигателями бывают трех родов: а) обыкновенные двухрельсовые, б) трехрельсовые и в) зубчатые, при чем под словом „дороги“ надлежит, разумеется, понимать и отдельные участки дорог с очень крутыми подъемами, на которых обычная, являющаяся благодаря трению между путевыми рельсами и движущими колесами, сила тяги оказывается недостаточной.

II. Второго рода дороги, т. е. такие, на которых движение происходит от передачи силы с неподвижного ее источника (напр., паровой машины или турбины), распределяются, в свою очередь, смотря по способу передачи энергии, на: 1) дороги, на которых энергия передается посредством трубчатых проводов или разреженным воздухом (атмосферные ж. д.), или сгущенным воздухом (пневматические ж. д.), или, наконец, вытекающими струями воды (последнее практического применения не имеет), 2) дороги, на которых энергия передается посредством ведущего каната—дороги с прямой или непосредственной канатной тягой и наклонными плоскостями (сюда относятся кабельные ж. д.), и 3) дороги, на которых энергия (электрическая) передается посредством особого провода (электрические ж. д.).

## Ст. 2. Деление железных дорог по способу их устройства.

§ 4. По способу устройства железные дороги могут быть распределены на: 1) дороги с подвижным составом над верхним путевым строением—однорельсовые (между прочим гироскопические), двухрельсовые (обыкновенные), трехрельсовые (с средним рельсом для горизонтальных зажимных колес) и зубчатые (с зубчаткой между рельсами), 2) дороги с подвижным составом (вагонами), подвешенным к верхнему путевому строению седлообразно, с помощью горизонтальных или наклонных направляющих роликов—дороги однорельсовые или двухрельсовые (рельсы поддерживаются стойками или эстакадами), 3) дороги с подвижным составом (вагонами) под верхним путевым строением—подвесные (висячие, воздушные), 4) дороги с подвижным составом в закрытой трубе—трубчатые (пневматические) и 5) дороги скользящие—дороги, в которых скользящее трение между подвижным составом и рельсами не трансформируется в трение катящееся (как это имеет место на обыкновенных железных дорогах), а непосредственно побеждается движущей силой.

Среди железных дорог всех указанных систем первенствующее место занимают обыкновенные двухрельсовые дороги

с подвижным составом над верхним путевым строением, на которых тяга осуществляется трением между путевыми рельсами и движущими колесами, при чем тяга применяется либо паровая, либо электрическая. Последняя, после того как слишком 30 лет тому назад (в 1858 г.) была впервые удачно применена в Америке для трамвая в Ричмонде, делала столь быстрые успехи, что в настоящее время она в области горных железных дорог, а также дорог городских и пригородных, почти совсем, можно сказать, вытесняет паровую тягу. На магистральных же железных дорогах—дорогах с массовым передвижением грузов до сего времени преобладает и, несомненно, в течение еще весьма многих лет будет преобладать паровая тяга, хотя и на такого рода дорогах электрическая тяга в последнее время сделала значительные успехи. Постоянные улучшения в паровозах еще долго, надо полагать, не дадут им сойти со сцены, подобно тому, как постоянные улучшения в паровых машинах не дали им сойти со сцены, несмотря на изобретение и постоянные совершенствования турбин.

Таким образом, в настоящее время главную массу и наибольший интерес представляют в общем обыкновенные железные дороги с паровой тягой. Этого рода дороги и имеются в виду во всем дальнейшем изложении.

### Г л а в а III.

#### Характеристика железных дорог.

§ 5. Характерной чертой железных дорог бесспорно является рельсовая колея. Однако, далеко не одна лишь колея составляет характерную черту того колоссального усовершенствования в сухопутном сообщении, которое представляют железные дороги, усовершенствования, являющегося одним из самых крупных достижений творческого гения человечества, произведшего глубокий переворот в социальной и экономической жизни народов и поэтому занимающего среди изобретений прошлого столетия едва ли не первое место. В сравнении с другими земными путями сообщения (гузовыми и водными)

железные дороги имеют много еще других характерных черт, являющихся их преимуществами, на которых и основано громадное значение железных дорог.

Главнейшие преимущества железных дорог в сравнении с упомянутыми путями сообщения выражаются в нижеследующем: а) в меньшей стоимости перевозок, б) в быстроте их, в) в регулярности их, г) в приспособленности дорог к массовым перевозкам, д) в постоянстве (в течение года) тарифов и, наконец, е) в безопасности перевозок.

§ 6. Меньшая стоимость перевозок. С самого начала постройки железных дорог плата за провоз по ним как пассажиров, так и грузов была в 2—3 раза менее, чем за провоз на лошадях по гужевым дорогам, а затем железнодорожные тарифы начали настолько понижаться, что по некоторым группам грузов перевозка сделалась в десять и даже более раз дешевле, чем гужем.

Например, в России в довоенное время тариф для грузов малой скорости составлял от  $\frac{1}{10}$  и до  $\frac{1}{80}$  коп. с пуда и версты, тогда как стоимость перевозки грузов гужем составляла, смотря по времени года, от  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{6}$  коп., пассажирский же тариф III класса составлял с версты на одного пассажира от 0,58 коп. (при расстоянии в 9.000 верст.) до 1,5 к. (при расстоянии в 10 верст), в среднем, следовательно, 1 коп., между тем средняя стоимость перевозки пассажиров на лошадях по гужевым дорогам составляла около  $2\frac{1}{2}$  коп.

Такая разница в тарифах объясняется разницей в себестоимости перевозок по тем и другим путям, каковая стоимость зависит, разумеется, от величины силы, необходимой для передвижения по тем и другим дорогам экипажей; эта сила для передвижения по горизонтальному прямому пути составляет: для железных дорог всего  $\frac{1}{400} — \frac{1}{600}$  веса экипажа, тогда как для шоссейных дорог  $\frac{1}{40} — \frac{1}{50}$ , для мощеных дорог  $\frac{1}{60} — \frac{1}{75}$ , а для грунтовых дорог, смотря по их состоянию, даже  $\frac{1}{5} — \frac{1}{20}$  веса экипажа; лишь для асфальтовых дорог эта сила составляет в среднем  $\frac{1}{133}$  веса экипажа.

Удешевление перевозок имеет в общем, как это само собой понятно, громадное значение—оно составляет, как для

производителей, так и для потребителей громадное сбережение в расходах, которое может быть обращено для усиления производства или других надобностей; следовательно, удешевление перевозок увеличивает в общем народное богатство.

Нельзя попутно не заметить, что не совсем правым оказался *Stephenson*, который как-то сказал, что „будет время, когда так же дешево будет путешествовать с помощью паровоза, как и пешком“. В настоящее время, несомненно, дешевле путешествовать по железным дорогам, нежели пешком, если учитывать стоимость времени (в культурных странах это учитывается), которое бесцельно надо тратить на путешествие пешком.

Что касается водных путей (внутренних), то тариф на перевозку по ним грузов ниже железнодорожного тарифа в среднем на 40%; однако, это относится лишь к рекам (разумеется, судоходным), с каналами же, вызывающими большие первоначальные затраты по устройству, а затем и значительные ежегодные расходы по их содержанию, железные дороги, в отношении стоимости перевозки, вполне выдерживают конкуренцию, мало того, опасаться последней приходится не железным дорогам, а каналам.

Наконец, нельзя упускать из виду, что удешевление перевозок, достигнутое с проведением железных дорог, удешевило путем конкуренции также и перевозку по другим путям сообщения.

§ 7. Быстрота перевозок. С самого начала постройки железных дорог пассажирские поезда ходили со скоростью до 30 km/h, а перед войной скорые и курьерские поезда ходили даже в России с коммерческими скоростями<sup>1)</sup> 55 — 70 km/h, за границей же (в Англии, Франции и Америке) с еще большими коммерческими скоростями—до 100 km/h, при наибольшей ходовой скорости до 120 km/h (в Англии в исключительных случаях даже до 130—140 km/h), при чем, в случае введения на дорогах электрической тяги, скорость может быть еще значительно повышена—до 200 km/h, как то показали известные опыты 1903 г. в Германии на участке *Marienfelde-Zossen* линии *Berlin-Dresden*. Между тем, средняя скорость

<sup>1)</sup> Скорости, получаемые путем деления расстояния между конечными пунктами на время пробега поезда.

проезда на лошадях по шоссе составляет всего 7—8 km/h и лишь в былое время (до проведения железных дорог) скорость перевозки в лучших дилижансах Англии и на почтовых дорогах первого разряда во Франции достигала 14—15 km/h; что, разумеется, имело следствием значительное истощение животных.

Что касается перевозки грузов, то таковая совершается в товарных поездах со скоростью до 30 и даже более km/h., а гужем по шоссе со скоростью в среднем всего 3—4 км/ч.

Из сопоставления приведенных данных явствует, что по быстроте перевозки железные дороги превосходят гужевой транспорт в пассажирском движении в России в 8—10 раз, а за границей даже до 14—15 раз, в товарном же движении в общем в 8—10 раз.

Что касается доставки грузов водюю, то скорость ее медленнее железнодорожной в 10—15 раз.

Как само собой понятно, быстрота железнодорожного сообщения имеет вообще громадное значение, а для России — обширной страны, состоящей из областей с весьма различной производительностью (в виду различия почвы, климата и содержания недр) — в особенности. Благодаря быстроте перевозки, пассажиры получают громадную экономию во времени, потребляемом на передвижение, что для многих, разумеется, имеет немаловажное значение, в торговле же получается возможность ускорения оборота капиталов и уменьшения затрат на запас товаров в складах; вместе с тем, для некоторой категории грузов, а именно скоропортящихся, быстрота доставки играет решающую роль. В общем, быстрота перевозок безусловно способствует успешному развитию народнохозяйственной жизни каждой страны, в России-же она особенно необходима для возможности слияния центров с окраинами, большую частью обильными весьма ценными богатствами, и для объединения в общем интересов разнообразного населения страны.

Надлежит заметить, что ускорение перевозок, достигнутое с проведением железных дорог, безусловно ускорило путем конкуренции также и перевозку по другим путям сообщения.

§ 8. Регулярность перевозок представляет собой преимущество железных дорог не меньшее, нежели удешевление и ускорение перевозки.

На гужевых дорогах множество разнообразных препятствий, зависящих как от свойств дороги, так и от качеств двигателя, может нарушить все расчеты перевозок. Равным образом, последние нередко нарушаются и на водных путях, благодаря бурям и противным ветрам, а, кроме того, такого рода пути замерзают и, благодаря этому, перевозки по ним грузов в течение зимнего времени прекращаются.

Железные дороги почти не знают подобного рода препятствий и в общем перевозки по ним зависят гораздо меньше от разных случайных причин. Рельсовый путь в сравнительно малой степени подвергается изменениям от времени года и состояния погоды, а движущая сила, как сила механическая, вполне подчиняется воле человека. Благодаря этому, имеется полная возможность точно рассчитывать и указать время прибытия пассажиров или грузов к месту назначения, а эта возможность является не только весьма ценным удобством в сношениях между людьми, но и просто необходимостью при современных условиях жизни.

Нельзя еще не заметить, что при перевозке грузов гужем или водою нередко руководствуются соображениями относительно полноты нагрузки фуры или судна и это бывает причиной еще большей неаккуратности такого рода перевозок. На железных дорогах подобные соображения места не имеют.

§ 9. Приспособленность к массовым перевозкам является преимуществом железных дорог лишь в сравнении с гужевыми дорогами.

§ 10. Безопасность движения. Несмотря на случающиеся на железных дорогах катастрофы, нередко ужасные по своим последствиям, безопасность движения по железным дорогам, благодаря техническим усовершенствованиям и предосторожностям, гораздо больше, нежели по гужевым дорогам. Во Франции, между прочим, на основании данных статистики, считают, что с постройкой железных дорог безопасность путешествия увеличилась в среднем в 15 раз.

По статистическим данным, в 1913 г. один несчастный случай с пассажирами, происшедший не по их вине, а в связи с движением поездов, приходился в России на 45 миллионов пассажиро-верст.

Если принять среднюю скорость русских курьерских поездов в 60 km/h, то выходит, что если бы какой-либо пассажир в России беспрерывно ездил в курьерском поезде, не покидая такового, то он мог бы считаться с вероятностью несчастного с ним случая по истечении  $\frac{45.000.000}{24 \times 60 \times 365} = 85$  лет такой езды. Этот подсчет ярко показывает, как в общем велика безопасность железнодорожного движения.

Интересно еще отметить, что, по имеющимся данным, на улицах Лондона погибает ежегодно 7—8 раз больше людей, чем на всех британских железных дорогах.

В нижеследующей таблице приводятся данные о несчастных случаях с пассажирами в связи с движением поездов на британских дорогах за время с 1875 по 1912 г.

Из этой таблицы усматривается, что в Англии в 38-летний период времени (1875—1912 г.г.) в среднем в год один убитый пассажир приходился на 46.200.000, а один раненый пассажир—на 1.380.000 перевезенных пассажиров. Вместе с тем эта таблица показывает, как на британских дорогах, по мере технического усовершенствования их эксплуатации, относительно падает число несчастных случаев с пассажирами в связи с движением поездов.

Период времени	Убито	Ранено	Перевезено в среднем в год пассажиров	Число перевезенных пассажиров на одного пассажира	
	в среднем в год пассажиров при происшествиях с поездами			убитого	раненого
	М И Л Л И О Н О В				
1875 по 1884 . . . . .	28	915	598	21,4	0,65
1885 „ 1894 . . . . .	21	600	799	38,0	1,33
1895 „ 1904 . . . . .	12	581	1.101	91,7	1,90
1905 „ 1912 . . . . .	21	562	1.271	60,6	2,26
1875 по 1912 . . . . .	20	670	925	46,2	1,38



§ 11. Постоянство тарифов. Постоянство в течение года тарифов на всякого рода перевозки имеет громадное значение для развития торговли и постановки ее на прочных основаниях. Между тем, стоимость перевозки гужем и водою постоянно колеблется в зависимости от спроса на перевозочные средства и от времени года.

Время года имеет для гужевой перевозки значение в отношении состояния дорог и спроса на скот для полевых работ, для водной же перевозки—главным образом в отношении горизонта воды (летом и осенью нельзя столько же грузить, сколько весной).

Железнодорожные тарифы не зависят от большего или меньшего спроса на перевозочные средства и от времени года и потому они не подвержены переменам в течение года; если они уже меняются, то меняются по общегосударственным соображениям и притом опять-таки вполне определенно.

Нельзя еще не заметить, что стоимости гужевой и водной перевозок в общем увеличиваются с усилением спроса на перевозочные средства, между тем, стоимость железнодорожных перевозок по мере усиления движения имеет тенденцию понижаться.

§ 12. Все приведенные отличительные черты железных дорог интересны с точки зрения сравнения последних, как современных способов передвижения, с прежними менее совершенными способами, в общем сравнения и с точки зрения интересов потребителя, но, кроме того, железные дороги имеют еще отличительные черты и с точки зрения предпринимателя, создающего и эксплуатирующего их.

Такого рода отличительными чертами железных дорог являются:

а) пространственная прикрепленность оказываемых ими услуг, т. е., то, что железные дороги оказывают свои услуги в совершенно определенных местах, с определенных начальных до определенных конечных пунктов (станций), и б) их отвлеченный характер, т. е. то, что железным дорогам, как предприятию, совершенно безразлична цель перевозки, ее конечные результаты, так же, как и происхождение груза, его качества и свойства, поскольку это не отзывается на провозной плате.

§ 13. Наконец, надлежит отметить еще одну отличительную черту железных дорог. Последние, представляя из себя пути сообщения, составляют в то же время и специальное перевозочное предприятие, при чем перевозки по ним совершаются только с помощью тех перевозочных средств, которые имеются в распоряжении владельца предприятия, и притом лишь агентами дороги, без всякого участия в процедуре перевозки пассажиров и владельцев грузов, между тем, другие пути сообщения (водные и гужевые) являются лишь путями, которыми могут пользоваться разные лица по их желанию и усмотрению, притом ими же избираемыми способами.

## Г Л А В А IV.

### Классификация железных дорог.

§ 14. Железные дороги затрагивают в общем весьма разнообразные интересы жизни и должны приравниваться к весьма многим условиям технического и экономического характера, а потому какая-либо одна классификация их по вполне определенным категориям является вообще невозможной. Классификации дорог возможны различные, в зависимости от различных точек зрения, при чем в основание классификации дорог может быть принята или техническая точка зрения, или юридическая.

### Ст. 1. Классификация железных дорог в техническом отношении.

§ 15. В техническом отношении железные дороги могут быть подразделены на весьма много категорий, согласно с особенностями их устройства и эксплуатации. Главнейшие особенности, обуславливающие такого рода подразделение, нижеследующие:

- а) топографические условия местности;
- б) устройство пути;
- в) система тяги;
- г) скорость движения.

§ 16. 1-а) В зависимости от топографических условий местности, по которой проведены железные дороги, и вытекающих отсюда особенностей их устройства и эксплуатации, надлежит различать нижеследующие категории дорог:

1) Равнинные дороги (*Flachlandbahn, ligne à faibles pentes, valley railway*), проложенные в ровной местности и отличающиеся малыми уклонами (не более  $5^{\circ}/_{00}$ ), большими радиусами кривых (не менее 1.000 м.) и полным или почти полным отсутствием крупных сооружений (больших мостов, тоннелей, подпорных стенок и т. д.).

2) Дороги в холмистых местностях, предгорные (*Hügellandbahn, ligne à moyennes pentes, cross country railway*) со средними уклонами (не более  $10^{\circ}/_{00}$ ) и средними радиусами (не менее 500—600 м.).

3) Дороги через горные хребты (*Gebirgsbahn, ligne à fortes pentes, mountain railway*), представляющие значительные технические затруднения при проведении как в отношении проектировки подъемов, так равно и пересечения вершины хребта. На подобных дорогах приходится прибегать к крутым уклонам — в общем на нормально-колейных дорогах главных к уклонам до  $25^{\circ}/_{00}$  и второстепенных до  $40^{\circ}/_{00}$ , а местами к еще более крутым уклонам (на первых — до  $45^{\circ}/_{00}$ , на вторых — до  $70^{\circ}/_{00}$ , каковые уклоны в практике имеются), затем прибегать к кривым малых радиусов — в общем на нормально-колейных дорогах до 250—300 м., а местами даже меньше (на такого рода дорогах имеются радиусы: в Америке до 88 м., в Европе — до 180 м.) и, наконец, местами, в целях уменьшения подъемов, прибегать, к так называемому „развитию линии“ (искусственному увеличению длины подъемов) путем заходов в боковые долины рек или путем устройства обратных тупиков, петель или спиралей. Рассматриваемые дороги отличаются всегда значительным количеством искусственных сооружений (мостов, виадуков, тоннелей, подпорных стенок и пр.). Эти дороги устраиваются с обыкновенной системой тяги — по принципу силы трения.

4) Горные дороги (*Bergbahn, ligne de montagne, mountain railway*), представляющие собой отдельные дороги небольшого протяжения, ведущие на горные вершины и устраиваемые обыкновенно для туристов и редко в промышленных целях (в России, например, имеется подобная дорога на Кавказе, в Имеретии, для доставки марганцевой руды). На подобных дорогах приходится применять на большей части протяжения весьма крутые уклоны (наибольший вообще осуществленный на практике уклон— $780^{\circ}/_{\infty}$ , на дороге *Pilar—Bahia* в Южной Америке), почему обыкновенная система тяги (по принципу силы трения) для них неприменима; они эксплуатируются по особым системам тяги и бывают или зубчатые, или канатные.

5) Метрополитены (*Stadtbahn, ch. de fer métropolitain, city или metropolitan railway*)—городские железные дороги большой скорости для внутреннего сообщения. Они устраиваются надземными—возвышенными (*Hochbahn, ch. de fer surélevé, elevated railway*) или подземными (*Tiefbahn, ch. de fer souterrain, underground railway*) или, наконец, надземно-подземными, и представляют собой почти непрерывный ряд искусственных сооружений. При надземных дорогах путь устраивается или на каменном виадуке (*Berlin, Wien*), или на металлических виадуках (*New-York, Boston, Chicago, Liverpool, Berlin* и др.). При подземных дорогах линия либо образует один непрерывный тоннель на значительной глубине (трубчатые дороги в Лондоне, новая подземная дорога в Нью-Йорке), или одну непрерывную крытую выемку не глубоко под мостовой (*Budapest, Glasgow* и др.), либо линия состоит из цепи тоннелей и открытых выемок (*London, Glasgow*). Наконец, при надземно-подземных дорогах линия состоит из цепи тоннелей, крытых и открытых выемок и надземных возвышенных участков (*Berlin, Paris*).

Если местность, по которой проходит метрополитен, в значительной степени гориста, то профиль его пути приравнивается к виду поверхности грунта; в виду именно этого лондонские подземные дороги давнишней постройки, а равно

линии новой парижской городской дороги, и имеют характер дорог в гористой местности.

§ 17. 1-б) В отношении устройства пути железные дороги отличаются между собою преимущественно шириною колеи и числом главных путей.

§ 18. Ширина колеи. На первой в мире паровой железной дороге (*Darlington—Stockton*) *George Stephenson* принял ширину колеи, т. е. расстояние между внутренними гранями рельсов, в  $4'8\frac{1}{2}'' = 1435$  mm. Почему *Stephenson*'ом была принята именно эта колея, в точности не известно и о происхождении ее существует несколько версий, при чем, между прочим, существует и такое предположение, что упомянутая ширина колеи принята *Stephenson*'ом чисто случайно. Возможно, что это и так, по вероятнее всего, что указанный размер колеи был выбран *Stephenson*'ом или в зависимости от конструкции им же строившихся первых паровозов, или же в зависимости от размеров колеи существовавших в то время в Англии обыкновенных колеиных дорог с конной тягой (последнее представляется наиболее вероятным). Принятой ширины колеи в  $4'8\frac{1}{2}''$  *George Stephenson* упорно придерживался при постройке им всех дорог, как то: *Darlington—Stockton*, *Liverpool—Manchester* и других.

Однако, далеко не все строители английских дорог приняли Стефенсоновскую колею; многие из них находили, что она мала и не дает возможности придать надлежащих размеров частям паровозов, к которым постепенно стало предъявляться все больше и больше требований в отношении их силы тяги и скорости движения. Сообразно взгляду каждого из строителей, ширина колеи принималась более или менее шире Стефенсоновской, при чем в этом отношении дальше всех пошел *Brunel* (сын знаменитого строителя первого тоннеля под Темзой, а сам — знаменитый строитель некоторых первых английских железных дорог и первых транс-атлантических пароходов); последний в 1833 г. принял для строившейся под его руководством жел. дороги *Great Western* (между Лондоном и Бристолем), сеть которой, кстати заметить, является в настоящее время в Англии наибольшей;

колею в  $7' = 2135$  мм, при которой *Brunel* с уверенностью рассчитывал достигнуть скорости движения до 100 км/ч.

В результате большинство английских и шотландских дорог было построено все же с Стефенсоновской колеей в  $4'8\frac{1}{2}'' = 1435$  мм., большинство же ирландских дорог—с колеей в  $5'3'' = 1600$  мм.

Неудобства, связанные с невозможностью при различных ширинах колеи перехода вагонов с одной дороги на другую, заставили впоследствии строителей английских дорог придумать над вопросом об установлении для дорог единой колеи, при чем вопрос свелся к выбору одной из двух колеи—Стефенсоновской в  $4'8\frac{1}{2}''$  или Брунелевской в  $7'$ . В результате, после обследования вопроса особой Парламентской Комиссией, Стефенсоновская колея одержала верх—в 1846 г. был издан закон, который обязывал все новые дороги Англии и Шотландии строить с колеей в  $4'8\frac{1}{2}''$ , для Ирландии же была установлена единая колея в  $5'3''$  (эта колея, по величине своей, была средней из всех 6—7 колеи, которые были применены в Ирландии). Хотя закон 1846 г. и не требовал от существовавших уже дорог перестройки их на Стефенсоновскую колею, однако, постепенно все дороги Англии и Шотландии перестроили свою колею до размера Стефенсоновской; дольше всех упорствовала упомянутая выше жел. дорога *Great Western*, но, будучи вынуждена пропускать подвижной состав Стефенсоновской колеи, и она, в конце концов, перестроила свою  $7'$  колею на Стефенсоновскую, каковая перестройка была закончена в 1892 г. Обе указанные колеи перешли из Англии и Ирландии в Австралию, когда в таковой в начале 50-х годов начали строиться железные дороги, при чем в Виктории (1854 г.) была применена ирландская колея  $5'3''$ , а в Новом Южном Уэльсе (1855 г.)—английская колея  $4'8\frac{1}{2}''$ .

Нечто подобное тому, что было в Англии, происходило и в Сев.-Амер. Соед. Штатах. Так как первые паровозы на Сев.-Американских дорогах были Стефенсоновские, полученные из Англии, то естественно, что на эти дороги проникла с самого начала Стефенсоновская колея. Однако, многие строители и сев.-американских дорог находили эту колею

несколько малой и потому, а отчасти будучи вынуждены к тому еще и политическими соображениями (с целью затруднения перехода подвижного состава с одной дороги на другую); они начали применять колеи шириной в 5', 5' 6" и 6', а в некоторых случаях, когда политические соображения не играли роли, всего немногим большие колеи (против Стефенсоновской)—4'9" и 4'10", при чем в последних случаях, для возможности прохода одних и тех же вагонов (во избежание их перегрузки) по дорогам с колеями 4'8 1/2", 4'9" и 4'10", вагоны строились с переставляемыми колесами или с колесами, имевшими уширенные бавдажи, или, наконец, с тележками, которые могли сменяться в короткое время. Особенную поддержку различная колея находила во враждебной политике Южных Штатов С. Америки к Северным.

В результате, однако, сев.-американские дороги все же приняли одну единую колею—Стефенсоновскую (некоторые штаты даже включили в свое законодательство требование применения именно этой колеи) и к 1887 г. все уже дороги были на такую перестроены (как исключение, имеется ныне на немногих дорогах лишь еще колея 4'9").

Стефенсоновские паровозы были первыми паровозами и на железных дорогах Франции, Германии, Австрии и Бельгии; благодаря этому Стефенсоновская колея перешла и на контингент Европы и здесь она, можно сказать, сразу заняла первенствующее место. Названную колею ввели у себя с самого начала постройки дорог почти все государства европейского континента, за исключением Бадена в Германии, Голландии и Испании-Португалии, где жел. дороги начали строиться соответственно с колеей 6' = 1829 mm, 1930 mm и 5'6" = 1676 mm (о Франции и Норвегии будет сказано ниже), а затем, в 1886 г., на Бернской Конференции, созванной в целях установления технического единства в железнодорожном деле, большинством континентальных европейских государств было постановлено принять Стефенсоновскую колею в 1435 mm за нормальную международную. В настоящее время эта колея и является нормальной почти во всех зап.-европейских странах, за исключением Ирландии, где нормальная колея 5'3" = 1600 mm, а затем еще в Испании и Португа-

лии, где нормальной колеей осталась колея в  $5'6'' = 1676$  mm (Баден и Голландия перешли на нормальную колею в начале 50-х годов). Последняя, в настоящее время **наиболее широкая колея в мире**, является нормальной еще в Аргентине и Чили, а затем на остр. Цейлоне и в Индии, при чем, однако, в Индии имеется еще и своя специальная нормальная колея, немногим всего отличающаяся от испанской, а именно колея в  $5'5\frac{5}{8}'' = 1667$  mm.

Надлежит еще заметить, что во Франции ширина колеи установлена 1,5 м. между осями рельсов, в связи с чем ширина ее в свету (между внутренними гранями рельсов) составляет, в зависимости от ширины головки рельса, от 1440 до 1450 mm, а в Норвегии (на 40% сети) принята колея в 1448 mm ( $4'9''$ ); подобные колеи весьма мало отличаются от Стефенсоновской и не препятствуют переходу назначенного для международного сообщения подвижного состава, почему они обычно приравняются к Стефенсоновской колее и особо не выделяются.

В России на первой железной дороге—Царскосельской, построенной в 1837 г., строителем ее, австрийским профессором *Gerstner*'ом была принята колея в 6' (надо полагать—под влиянием господствовавшего уже в то время в Англии мнения, между прочим мнения *Robert Stephenson*'а—сына *Georg Stephenson*'а—о нерациональности колеи в  $4'8\frac{1}{2}''$ , с точки зрения удобного размещения частей паровоза, а возможно и просто по примеру баденских жел. дорог), но следующие железные дороги получили ширину колеи уже в 5'. Исключение составляли лишь линии Обществ Варшаво-Венской и Варшаво-Бромбергской ж. д. (последнее слилось с Общ. Варш.-Венской ж. д. в 1890 г.), а затем еще и Лодзинская ж. д., каковые линии были построены с Стефенсоновской колеей, в целях возможности обмена подвижным составом с австрийскими и германскими дорогами. Царскосельская ж. д. была перестроена на колею в 5' в 1902 г., в связи с включением ее в состав магистрали С.-Петербург—Витебск, а линии Варшаво-Венской ж. д. перешиты на ту же колею после перехода этой дороги в 1912 г. в казну, так что в



результате в России оказалась всего одна широкая колея в 5', которая и является русской нормальной колеей.

Последняя колея (5') была впервые применена у нас при постройке СПб.-Моск. ж. д. и была принята по настойчивому предложению приглашенного в качестве консультанта при постройке названной дороги америк. инж. *Whistler'a*, который держался того взгляда, что Стефенсоновская колея требует лишь небольшого увеличения в целях более целесообразного размещения частей паровоза (в противоположность *Brunel'ю*, *Whistler* совсем не считал необходимым увеличивать колею для достижения большой скорости).

Надлежит еще указать, что колея в 5' была принята и Финляндией для первой ее железной дороги от Гельсингфорса до Тавастгуста (1858—62 г.г.), а затем, несмотря на бывшее предположение строить, по примеру Швеции и Норвегии, все прочие дороги узкоколейными, означенная колея была принята Финляндией, по настоянию русского правительства, за нормальную для всей сети.

В результате, как видно из сказанного, в настоящее время имеется колея, более широких, чем Стефенсоновская колея, всего четыре:

„испанская“ . . . . .	5'6''	(1676 mm),
„индийская“ . . . . .	5'5 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> ''	(1667 „ ),
„ирландская“ . . . . .	5'3''	(1600 „ ).
„русская“ . . . . .	5'	(1524 „ ).

На ряду со стремлениями английских инженеров увеличивать несколько Стефенсоновскую колею были стремления, в целях удешевления постройки железных дорог, несколько ее уменьшить, и когда в 1832 г. было решено открыть на одной из гор Уэльса шифероломню, то была сооружена дорога с колею всего  $1'11\frac{1}{4}'' = 590 \text{ mm}$ —первая в мире узкоколейная железная дорога, так наз. Фестиньогская, протяжением в 23 кш. После сего было сооружено в Англии еще несколько узкоколейных железных дорог (в общем немного, на чем постройка узкоколейных дорог в Англии в общем и остановилась), а затем узкая колея перешла в С. Америку и на континент Европы: в 1836 г. была построена в Австрии

дорога *Lambach—Gmunden* с колеей в 1106 мм, затем в Швейцарии был построен ряд узкоколейных дорог, в 1845 г. в Бельгии появилась дорога *Antwerpen—Gent* с колеей в 1150 мм, а в 1851 г. Швеция и в 1854 г. Норвегия, начав строить у себя железные дороги, строили таковые уже исключительно узкоколейными.

Впоследствии узкоколейные дороги получили сравнительно довольно значительное распространение во многих странах, при чем в результате узкие колеи на дорогах, **открытых для общего пользования**, применены самых разнообразных величин, а именно <sup>1)</sup>:

1397 мм	(4'7")	—Бразилия,
1270	„ (4'2")	—Чили,
1219	„ (4')	—Швеция, Бразилия, Индия,
1143	„ (3'9")	—Испания,
1100	„ (3'7 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ")	—Италия, Бельгия, Бразилия,
1067	„ (3'6")	—Россия, Бельгия, Нидерланды, Швеция, Норвегия, Мексика, Коста-Рика, Венесуэла, Никарагуа, Эквадор, Санто-Доминго, Бразилия, Чили, Гвиана Брит., Япония, Египет, Судан, Сев. Территория, Зап. Австралия, Квинслэнд, Новая Зеландия, Тасмания, Нидерл. колонии в Азии, Британские, Португальские и б. Германские колонии в Африке,
1050	„ (3'5 <sup>11</sup> / <sub>32</sub> ")	—Аз. Турция, Алжир,
1000	„ (3'3 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> ")	—Россия, Франция, Германия (Пруссия, Баден, Бавария), Бельгия, Испания, Португалия, Австрия, Венгрия, Швейцария, Польша, Греция, Корсика, Колумбия, Чили, Аргентина, Бразилия, Порто-Рико, Индия, Сиам, Малайские Штаты, Алжир, Тунис, Франц. колонии в Азии и Африке, Брит. и б. Герм. колонии в Африке,

<sup>1)</sup> Мне удалось установить существование на дорогах общего пользования 29 величин узкой колеи; возможно, что число их несколько еще больше.

990	mm	(3'3")	—Бразилия,
950	"	(3'1 <sup>3</sup> / <sub>8</sub> ")	—Италия, Бразилия,
945	"	(3'1")	—Франция,
915	"	(3')	—Россия, Швеция, Ирландия, Мексика, Венецуэла, Гондурас Брит., С.-Сальвадор, Колумбия, Гватемала, Перу, Куба (остр.),
900	"	(2'11 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> )	—Россия, Австрия,
890	"	(2'11")	—Швеция, Норвегия,
800	"	(2'7 <sup>7</sup> / <sub>16</sub> ")	—Россия, Швеция, Финляндия, Польша, Швейцария, Франция, Ява (остр.),
785	"	(2'6 <sup>7</sup> / <sub>8</sub> ")	—Германия (Верхн. Силезия), Финляндия,
762	"	(2'6")	—Мексика, Санто-Доминго, Чили, Аргентина, Боливия, Индия, Япония, Виктория, Брит. колонии в Азии и Африке.
760	"	(2'5 <sup>59</sup> / <sub>64</sub> ")	—Австрия, Босния - Герцеговина, Бразилия,
750	"	(2'5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ")	—Россия, Германия (Пруссия, Виртемберг, Саксония), Австрия, Испания, Норвегия, Финляндия, Польша, Латвия, Бразилия, Египет, Конго, Нидерл. колонии в Азии, б. Герман. колонии в Африке,
724	"	(2'4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ")	—Венгрия,
700	"	(2'3 <sup>9</sup> / <sub>16</sub> ")	—Италия,
622	"	(2'1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ")	—Англия, Индия,
610	"	(2')	—Мексика, Венецуэла, Индия, Тасмания, Южно-Африк. союз, Португ. колонии в Африке,
600	"	(1'11 <sup>5</sup> / <sub>8</sub> ")	—Франция, Германия (Пруссия), Финляндия, Бразилия, Чили, Ява (остр.), б. Герм. колонии в Африке,
597	"	(1'11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> ")	—Бразилия,
590	"	(1'11 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> ")	—Англия,
559	"	(1'10")	—Ирландия,
457	"	(1'6")	—Англия,
381	"	(1'3")	—Англия.

Весьма много из приведенных узких колеи применено в единичных случаях, наиболее же распространенными узкими колеями на дорогах общего пользования являются колеи: 600 mm, 750 mm, 1000 mm и 1067 mm, при чем в последнее время отдельные страны, в том числе и Россия, проявили тенденцию унифицировать у себя узкую колею в видах облегчения и удешевления заводского производства подвижного состава, возможного для дорог поддержания друг друга, в случае необходимости, подвижным составом, наконец, возможного введения однообразия технических и коммерческих приемов, упрощающих эксплуатацию.

Из всех указанных выше колеи, широких и узких, только шесть (считая испанскую и индийскую колеи за одну, а французскую и норвежскую колеи одинаковыми с Стефенсоновской), являются в результате нормальными колеями, т. е. такими, которые господствуют в каких-либо странах; эти колеи следующие:  $5'6'' = 1676$  mm,  $5'3'' = 1600$  mm,  $5' = 1524$  mm,  $4'8\frac{1}{2}'' = 1435$  mm,  $3'6'' = 1067$  mm и 1000 mm. В каких именно, странах они являются „нормальными“ колеями, видно из следующей таблицы (стр. 34—35).

Как видно из этой таблицы, наиболее господствующей в мире колеей является колея в  $4'8\frac{1}{2}'' = 1435$  mm, примененная, в общем, прим., на 75% протяжения железнодорожной сети всего земного шара, и потому эта колея должна называться „мировой нормальной колеей“, в отличие от других пяти указанных выше колеи, из коих каждая является нормальной лишь в сравнительно небольшом числе стран.

В результате все колеи надлежит относить к упомянутой „мировой нормальной колеи“ (*Vollspur, voie normale, standard gauge*) и называть всякую колею большую, нежели последняя— „широкой“ (*Breitspur, voie large, broad gauge*), а меньшую (даже колею в  $4'7''$ , встречающуюся в Бразилии)— „узкой“ (*Schmalspur, voie étroite, narrow gauge*)<sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Во Франции принято выделять колеи, величиной  $< 1435$  mm и  $> 1067$  mm, в особую категорию и называть таковые колеи „средними“ (*voie moyenne*); в других странах подобные колеи относятся к „узкой колеи“.

ЧАСТИ СВЕТА.	5' 6'' (1.676 mm).	6' 3'' (1.600 mm).	5' (1.524 mm).
ЕВРОПА.	Испания. Португалия.	Ирландия.	Россия. Финляндия. Польша. Литва. Латвия. Эстония.
АМЕРИКА.	Аргентина. Чили.	— —	Панама.
АЗИЯ.	Индия. Цейлон (наравне с колеями 5'6'' применена еще колея 5'5 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> '').	—	Россия.
АФРИКА.	—	—	—
АВСТРАЛИЯ.	—	Виктория.	—

<sup>1)</sup> Францию и Норвегию принято причислять к числу стран, принявших нормальную колею в этих странах несколько большая, а именно во Франции — от измерять ширину колеи между осями рельсов и принимать таковую ширину всего 40% всех дорог, а 60% дорог имеют колею 1.067 мм. (3' 6'').

4' 8 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> '' (1.435 mm).	3' 6'' (1.067 mm).	1.000 mm.
Англия. Шотландия. Франция <sup>1)</sup> . Германия. Австрия. Венгрия. Бельгия. Голландия. Италия. Швейцария. Швеция. Норвегия <sup>1)</sup> . 40% Дания. Румыния. Юго-Славия. Чехо-Словакия. Польша. Латвия. Болгария. Турция (Европ.).	Норвегия. 60%	Греция. Корсика.
Канада. С.-А.-С.-Штаты. Мексика. Перу. Уругвай. Парагвай. В. Антильские острова. (Куба, Ямайка, Гаити и пр.).	Венецуэла. Коста-Рика. Эквадор. Никарагуа. Санто-Доминго.	Бразилия.
Китай. Сiam. Турция (Азиатск.). Японские колонии (Корея, Южн. Манчжурия).	Япония. Голландск. колонии (Ява и Суматра).	Французские колонии. (Индия-Китай, Кохинхина и др.). Малайские Штаты. (Борнео, Целебес и пр.).
Египет. Алжир. Тунис.	Британские колонии (Золотой берег, Лагос, Нигерия и южные колонии). Португальские колонии (Вост. Африка).	Французские колонии (Дагомея, Слоновий берег). 6. Германские колонии (Восточн. Африка, Того, Камерун).
Новый Южный Уэльс.	Квинслэнд. Зап. Австралия. Южн. Австралия. Сев. Территория. Тасмания. Новая Зеландия.	—

за нормальную колею жез. дорог Стефенсоновскую; на самом деле нормаль-1.440 до 1.450 мм., в зависимости от типа рельсов, так как здесь установлено в 1.500 мм., а в Норвегии—1.448 мм. (4' 9''), при чем здесь эту колею имеют

В связи с сказанным, в отношении ширины колеи железные дороги должны распределяться на дороги:

а) ширококолейные (*Breitspurbahnen, ch. de fer à voie large, railways with broad gauge*) — с колеей более 1435 мм.,

б) нормальноклейные (*Vollspurbahnen, ch. de fer à voie normale, railways with standard gauge*) — с колеей в 1435 мм.,

в) узкоколейные (*Schmalspurbahnen, ch. de fer à voie étroite, railways with narrow gauge*) — с колеей меньше 1435 мм.

На железнодорожной сети земного шара „широкая колея“ имеется, прим., на 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, „нормальная“ — на 75<sup>0</sup>/<sub>0</sub> и „узкая“ на 15<sup>0</sup>/<sub>0</sub> протяжения.

§ 19. Число главных путей. Число путей на главной линии какой-либо железной дороги находится в зависимости от размеров ее движения, при чем в отношении числа главных путей железнодорожные линии разделяются на однопутные, двухпутные и многопутные (с числом главных путей более двух).

На однопутных дорогах движение поездов обоих направлений производится, как то само собой понятно, по одному и тому же пути и потому скрещение поездов разных направлений возможно лишь на остановочных пунктах — станциях в широком смысле этого слова, что, как то само собой понятно, ограничивает пропускную способность однопутных дорог довольно узкими пределами.

На двухпутных дорогах каждый из путей назначается для поездов лишь одного направления, в связи с чем пропускная способность двухпутных дорог значительно больше такой же способности однопутных дорог. Особенно велика пропускная способность двухпутных дорог в случае установления движения поездов со скоростями, не очень различающимися между собой. Попутно надлежит заметить, что в одних странах, как-то: в Англии, Франции, Австрии, Венгрии, поезда на двухпутных дорогах двигаются по левому пути, в других же странах, как-то: в Германии и в России (за исключением 550 км., а именно линий Ленинград—Кайлово и Москва—Рязань) — по правому пути, считая по направ-

лению движения (левопутное движение имеет то преимущество, что при нем машинист, стоящий обычно с правой стороны паровоза, имеет возможность лучше видеть путь).

В большинстве случаев дороги строятся однопутными, при чем, однако, в видах облегчения впоследствии укладки второго пути, иногда строятся сразу под два пути или все искусственные сооружения, или лишь выдающиеся из них, как-то: опоры больших мостов и тоннели, в прежнее же время сразу под два пути нередко сооружалось и земляное полотно. Надлежит заметить, что в то время, как в Германии, Франции и в России весьма много вторых путей сооружено в стратегических целях, в Великобритании и С.-А.-С. Штатах все вторые, третьи, четвертые и т. д. пути построены исключительно в целях коммерческих.

Вообще, многопутные дороги имеются, можно сказать, исключительно в С.-А. С. Штатах и Великобритании, при чем, кстати заметить, в последней имеется небольшое протяжение дорог (2 км) даже с 13 главными путями. В остальных странах многопутные дороги встречаются, но редко—большую частью на весьма коротких протяжениях вблизи больших городов, когда каждая пара путей, имея особое назначение, составляет как бы отдельную дорогу, уложенную по общему с другими полотну.

По данным на 1914 г., однопутные, двухпутные и многопутные дороги,—вернее сказать такого рода участки дорог,—составляли в главнейших странах нижеследующие  $\frac{\circ}{\circ}\frac{\circ}{\circ}$  от общего протяжения железнодорожной сети страны:

в России:	{	однопутные дороги	. 74 $\frac{\circ}{\circ}$
		двухпутные "	. 26 $\frac{\circ}{\circ}$
в Германии:	{	однопутные дороги	. 73 $\frac{\circ}{\circ}$
		двухпутные "	. 27 $\frac{\circ}{\circ}$
во Франции:	{	однопутные дороги	. 57 $\frac{\circ}{\circ}$
		двухпутные "	. 43 $\frac{\circ}{\circ}$
в Великобритании	{	однопутные дороги	. 34 $\frac{\circ}{\circ}$
		двухпутные "	. 55 $\frac{\circ}{\circ}$
		многопутные "	. 11 $\frac{\circ}{\circ}$
в С.-А. С. Штатах:	{	однопутные дороги	. 87 $\frac{\circ}{\circ}$
		двухпутные "	. 11 $\frac{\circ}{\circ}$
		многопутные "	. 2 $\frac{\circ}{\circ}$

§ 20. 1-в. По системе тяги поездов подразделение железных дорог может быть сделано в двояком отношении: 1) по способу сообщения подвижному составу движения, и 2) по роду движущей силы.

Движение подвижного состава может совершаться: а) благодаря трению между рельсами и ведущими колесами локомотива, б) благодаря зацеплению за уложенную между рельсами зубчатую штангу особых зубчатых колес, составляющих одно целое с локомотивом и приводимых в движение его машиною, в) благодаря натяжению каната действием постоянной машины или силы тяжести спускающегося вниз противовеса в виде вагона, снабженного балластом (обыкновенно, водяным).

В связи с сказанным железные дороги подразделяются на:

а) дороги с системой тяги по принципу силы трения (*Reibungsbahn Adhäsionsbahn, ch. de fer à adhérence, adhesion railway*);

б) зубчатые дороги (*Zahnbahn Zahnradbahn, ch. de fer à crémaillère, rack railway*);

в) канатные дороги (*Seilbahn, ch. de fer funiculaire, ropeway*).

Система тяги по принципу силы трения применена на практике при паровой тяге при уклонах до  $75^{\circ}/_{00}$  (французская 1 мт. дорога *Tavaux—Pontsericourt*), а при электрической тяге при уклонах до  $115^{\circ}/_{00}$  (французская жел. дор. *Le Havre—Saint-Marie*), затем система тяги по принципу зацепления за зубчатку применена при наибольшем уклоне в  $480^{\circ}/_{00}$  (дорога на гору *Pilatus* около Люцерна, в Швейцарии), наконец, канатная система тяги применена при наибольшем уклоне в  $780^{\circ}/_{00}$  (дорога *Pilar—Bahia*, в Южн. Америке).

Что касается рода движущей силы (энергии), то на локомотивных железных дорогах для этой цели применяются преимущественно пар и электричество.

§ 21. 1-г. В отношении скорости движения поездов можно различать:

1) дороги, на которых обращаются курьерские поезда и экспрессы со скоростями свыше  $80 \text{ km}/\text{h.}$ ;



2) дороги, на которых самыми быстрыми поездами являются скорые поезда, движущиеся со скоростями 65—80 км/ч;

3) дороги, на которых самыми быстрыми поездами являются так называемые ускоренные пассажирские поезда, движущиеся со скоростями 50—65 км/ч;

4) дороги, на которых нет ни курьерских, ни скорых, ни ускоренных пассажирских поездов, а на которых обращаются обыкновенные пассажирские поезда со скоростями 40—50 км/ч;

5) дороги, на которых вовсе нет обращения чисто пассажирских поездов, а на которых обращаются лишь товаропассажирские поезда со скоростью не более 40 км/ч.

В Америке „Общество Железнодорожных Инженеров“ делит все дороги, в зависимости от характера и размера движения на них, в общем на три разряда—„А“, „В“ и „С“, при чем оно предвидит для дорог этих разрядов след. скорости движения пассажирских поездов: разряд „А“—50 миль/ч. (65 км/ч.) и более, разряд „В“—40—50 миль/ч. (80—80 км/ч.) и разряд „С“—менее 40 миль/ч. (65 км/ч.). Следовательно, дороги первой категории приведенной выше классификации соответствуют дорогам указанного разряда „А“, дороги второй категории—дорогам разряда „В“, а дороги третьей, четвертой и пятой категорий в общем—дорогам разряда „С“.

## Ст. 2. Классификация железных дорог в юридическом отношении.

§ 22. В юридическом отношении железные дороги делятся прежде всего на: а) дороги общего пользования, служащие средством перевозки для всех желающих пользоваться их услугами и долженствующие поэтому поддерживать срочное сообщение, и б) дороги частного пользования, служащие средством перевозки лишь для отдельных лиц или промышленных предприятий (заводов, фабрик, горнопромышленных предприятий); эти дороги не обязаны поддерживать срочного сообщения и вообще перевозить какие-либо посторонние грузы.

Надлежит заметить, что под дорогами частного пользования отнюдь не следует понимать исключительно дороги, принадлежащие отдельным частным лицам или предприятиям; характерной чертой всякой дороги частного пользования является то, что она не открыта для общего пользования, а принадлежать она может и государству.

§ 23. Затем, в юридическом отношении железные дороги делятся на: а) дороги казенные (*Staatsbahn, ch. de fer de l'Etat, government railway*), составляющие собственность государства, и б) дороги частные (*Privatbahn, ch. de fer privé, privately owned railway*), принадлежащие частным железнодорожным обществам или промышленным предприятиям, а иногда даже просто отдельным предпринимателям.

Соотношение казенных и частных железных дорог в разных странах крайне различно, при чем в главнейших странах отношение протяжения частных дорог от протяжения всей сети лежит в следующих границах:

100 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Великобритания, Испания, Греция, Турция, С.-А. Соед. Штаты, Мексика, Китай;
100—75 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Франция (78 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ), Аргентина;
75—50 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Португалия, Швеция, Канада (50 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ), Бразилия;
50—25 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Бельгия (41 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ), Италия (27 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> ), Нидерланды, Дания, Швейцария, Япония (33 <sup>0</sup> / <sub>0</sub> );
25— 0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Германия, Австрия, Венгрия, Чехо-Словакия, Норвегия, Индия, Египет;
0 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	— Россия, Польша.

В общем, в различных частях света протяжение частных дорог ныне составляет, примерно:

В Америке . . . . .	95 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	всей сети
„ Европе . . . . .	45 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	„ „
„ Азии . . . . .	40 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	„ „
„ Африке . . . . .	40 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	„ „
„ Австралии . . . . .	6 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	„ „
На всем земном шаре . . . . .	75 <sup>0</sup> / <sub>0</sub>	„ „

§ 24. Наконец, в юридическом отношении железные дороги должны делиться на категории соответственно их назначению, с принятием во внимание важности и характера обслуживаемого ими сообщения.

В этом отношении за границей железные дороги—вернее сказать, железнодорожные линии—делятся большей частью на три категории. Так, в Германии, Австро-Венгрии и Англии обычно различают главные линии (*Hauptbahnen, main lines*), боковые линии (*Nebenbahnen, branch lines*) и подъездные пути (*Lokalbahnen, light railways*), из коих две последние категории дорог предназначаются собственно для одной и той же цели—приобщить местности со слабым экономическим развитием к общей экономической жизни страны. В виду сего, в упомянутых странах нередко различают железные дороги всего двух категорий: главные дороги и местные дороги.

В Германии (собственно в Пруссии) существует еще одна категория дорог—так наз. „малые дороги“ (*Kleinbahnen*), строящиеся на основании особого закона; эту категорию дорог, обслуживающих местные интересы городов и общин, составляют, с одной стороны, городские уличные и им подобные дороги, обслуживающие лишь одно пассажирское движение, например, трамваи вне городов, а, с другой стороны—небольшие дороги, служащие для пассаж. и тов. движения между двумя местечками.

В связи с наличием указанной категории дорог, являющихся дорогами третьестепенными, в Германии железные дороги по их значению делятся иногда еще следующим образом: на дороги первостепенные, второстепенные и третьестепенные (*Primärbahnen, Sekundärbahnen, Tertiärbahnen*).

Во Франции железные дороги делятся на дороги общего значения (*Ch. de fer d'intérêt général*) и дороги местного значения (*Ch. de fer d'intérêt local*).

В Америке, согласно установлению „Общества железнодорожных инженеров“, железнодорожные линии, делятся на три разряда:

К разряду „А“ относятся все линии, имеющие более, нежели один главный путь, и те из однопутных линий, движение на которых выражается в год в следующих размерах:

товарных вагоно-миль . . .	150.000.000	и более
пассажир. „ . . .	10.000.000	„

и на которых скорость движения пасс. поездов 50 миль/чс. (80 km/h) и более.

К разряду „В“ относятся однопутные линии, движение на которых выражается в год в размерах:

товарных вагоно-миль от . . .	50.000.000	до	150.000.000
пассажир. „ . . .	5.000.000	„	10.000.000

и на которых скорость движения пасс. поездов от 40 до 50 миль/чс. (65—80 km/h).

К разряду „С“ относятся прочие однопутные линии.

В России никакой официальной классификации железных дорог до последнего времени не существовало, хотя попытки установить известную классификацию и были в 1881 г., а затем еще и в сравнительно недавнее время—в 1914 г. На деле же, в России обычно различали два класса дорог: магистральные дороги и подъездные пути, по крайней мере лишь подобного рода дороги регламентировались особыми техническими условиями их проектирования и сооружения и особыми положениями.

В настоящее время в России принята нижеследующая классификация железных дорог или, вернее сказать, железнодорожных линий.

В отношении технических условий, по которым железнодорожные линии должны сооружаться и развиваться, линии делятся на два основных класса: на линии общего значения (магистральные) и линии местного значения.

К линиям общего значения относятся линии, обслуживающие или долженствующие в будущем, после соответственного развития промышленности и торговли, обслуживать исключительно или главным образом транзитное движение; это—линии, соединяющие центры политической, общественной и экономической жизни страны, линии с исключительно или более или менее значительным товарным движением.

При этом, в зависимости от густоты товарного движения, линии общего значения делятся на три разряда:

а) Линии первого разряда—линии с массовой перевозкой определенных категорий грузов, при том по особо удешевленному тарифу, с густотой товарного движения в одном направлении в размере не менее 8 миллионов тонно-километров (500 милл. пудо-верст на версту), линии с числом путей не менее двух.

б) Линии второго разряда—линии с густотой товарного движения в одном направлении в размере от 800 тысяч до 8 миллионов тонно-километров на километр (от 50 до 500 милл. пудо-верст на версту), а также линии с меньшей густотой движения, но имеющие первостепенное стратегическое значение, линии однопутные или двухпутные.

в) Линии третьего разряда—линии с густотой товарного движения в одном направлении в размере до 800 тыс. тонно-километров на километр (50 милл. пудо-верст на версту), линии однопутные.

К линиям местного значения относятся линии, обслуживающие исключительно или главным образом местное движение, как служащие исключительно или главным образом для удовлетворения нужд местных торговых, промышленных и других потребностей; это—линии, соединяющие отдельные пункты магистралей или составляющие разветвления последних, линии, приобщающие менее населенные местности, отличающиеся слабым экономическим развитием, к общей экономической жизни страны, в общем—линии с незначительным (местным) товарным движением, при том иногда служащие и для транзитных перевозок или во всяком случае допускающие подобного рода перевозки (сквозные линии), а иногда

вовсе не допускающие подобных перевозок (тупиковые линии — ветви).

Линии местного значения делятся на два разряда:

а) Линии первого разряда — сквозные линии нормальной колеи, соединенные по обоим концам рельсовым путем с магистралями, независимо от их густоты движения и длины, затем, сквозные линии тоже нормальной колеи, соединенные, по обоим концам рельсовым путем с первого рода сквозными линиями, или же примыкающие одним концом к такого рода линиям, а другим — к какой-либо местной линии другого рода, затем сквозные линии узкой колеи, примыкающие по обоим концам к дорогам нормальной колеи, а другим — к дороге узкой колеи, наконец, тупиковые линии нормальной или узкой колеи, при чем во всех перечисленных случаях (за исключением первого) требуется, чтобы длина линии была не менее 200 km. и вместе с тем густота движения в одном направлении была не менее 150 тысяч тонно-километров на километр (10 милл. пудо-верст на версту) или чтобы длина линии была от 100 до 200 km., а густота движения не менее 320 тысяч тонно-километров на километр (20 милл. пудо-верст на версту), опять-таки в одном направлении.

б) Линии второго разряда — сквозные и тупиковые линии нормальной или узкой колеи при длине свыше 200 km. и густоте движения в одном направлении менее 150 тысяч тонно-километров на километр (10 милл. пудо-верст на версту), затем при длине от 100 до 200 km. и густоте движения в одном направлении менее 300 тыс. тонно-километров на километр (200 милл. пудо-верст на версту), наконец, при длине линии до 100 km. независимо от размера густоты движения.

Во всех случаях, указанных выше, как для линий общего, так и для линий местного значения, размеров густоты товарного движения имеется в виду перевозка лишь коммерческих грузов, но не хозяйственных и служебных.

Введение в жизнь указанной классификации железнодорожных линий является крупным шагом вперед в деле сооружения и развития в будущем наших железных дорог.

## Г Л А В А V.

## Значение железных дорог.

## Ст. 1. Первоначальное и современное понимание значения железных дорог.

§ 25. Железные дороги в начале их появления были встречены как в Зап. Европе, так и в России крайне недружелюбно. По отношению к этим усовершенствованным путям сообщения, изменившим впоследствии всю политическую и экономическую картограмму народов, было проявлено во всех странах полное недоверие как со стороны правительственных сфер, так и со стороны общества того времени. Это имело место даже на родине железных дорог— в Англии. Здесь, в оппозицию торгово-промышленному классу, почти сразу, можно сказать, понявшему все значение железных дорог для развития торговли и промышленности страны, встал класс землевладельцев, пользовавшийся громадным влиянием во всей стране и, в частности, в парламенте, а к нему присоединились еще и разного рода лица, как-то: владельцы каналов и торгового флота, откупщики шоссе, извозопромышленники и т. п., для которых проведение железных дорог представлялось совершенно невыгодным. В своих возражениях против постройки железных дорог названные лица доходили до того, что высказывали даже абсурды; например, они указывали, что железные дороги помешают коровам пастись, а курам нести яйца, что отравленный паровозами воздух будет уничтожать пролетающих над ними птиц, что дома по окраинам погорят; они прибегали даже к запугиванию людей, говоря, что паровозы могут взрываться и тогда путешественники будут разрываться на части.

Нечто в этом роде наблюдалось и во Франции. Здесь железные дороги встретили тоже многих противников в Парламенте, да к тому же и представители правительства относились с пренебрежением к вносимым в Парламент проектам железных дорог. Известно, например, что тогдашний министр общественных работ *Thiers*, после осмотра им в 1834 г. в:

Англии, незадолго до того времени отсроченной дороги *Liverpool-Manchester*, заявил в Парламенте, что железные дороги годны разве только на то, чтобы служить забавой для праздного любопытства столичных жителей и могут быть употребляемы для проезда пассажиров с коммерческой целью и для провоза тяжестей только в некоторых исключительных случаях, а известный в то время парламентский деятель *Arago* с насмешкой говорил о тех, „кто думает, что две полосы железа оживят Гасконские равнины“.

Затем в Бельгии, в Парламенте, против железных дорог делались приблизительно такие же возражения, что и в Англии, при чем указывалось, что „если употребление людей и животных для передвижения будет заменено механическими способами, то много народа останется без занятий, разведение лошадей прекратится, средства землепашца уменьшатся и т. п.“.

Наконец, в Германии главную оппозицию железным дорогам представляли финансовые круги, не ожидавшие, по новизне дела, прибыли от помещения капитала в железные дороги, а затем и само правительство, которое было готово видеть в железных дорогах рассадник либерализма. Между прочим, Баварское правительство, при разрешении вопроса о сооружении первых железных дорог, опубликовало, как известно, особую Записку, в которой указывало, что в общем к постройке железных дорог надлежит относиться крайне осторожно и что не надо упускать из виду, что невиданный новый быстрый способ передвижения может породить ряд невиданных болезней, почему правительством предлагалось сооружаемые железные дороги обязательно огораживать высокими заборами, „чтобы все зрители, живущие около железной дороги, не страдали нервным переутомлением и нервными болезнями при виде быстро мчащихся поездов“. Небезинтересно еще упомянуть, что даже передовое немецкое студенчество 40-х годов относилось к железным дорогам весьма отрицательно, при чем среди разных лозунгов в борьбе с тиранами оно имело, между прочим, лозунг: „Борьба с железными дорогами“.



Что касается России, то, естественно, в ней, как в стране менее культурной, нежели упомянутые выше зап.-европейские страны, с крепостным в то время населением, с низким в то время уровнем развития образования, железные дороги не встретили сочувствия, а, наоборот, встретили тоже оппозицию как со стороны правительственных сфер, так и со стороны общества. В последнем читались лекции о „бесполезности“ железных дорог, писалось не только о бесполезности, но и о невозможности и невыгодности постройки железных дорог в России, писалось и о том, что железные дороги не соответствуют периоду „гражданственности“, в котором находилась в то время Россия, и не соответствуют ее „порядку вещей“, наконец, доказывалось, что Россия не так богата, чтобы иметь железные дороги, и что России нужны просто торцовые дороги с колесопроводами для „сухопутных пароходов“ (самодвижущихся по обыкновенным дорогам паровых машин). Равным образом, пользы и значения железных дорог не сознавали в России и государственные деятели, что видно, например, из того, что когда в Комитете Министров обсуждался вопрос о сооружении железной дороги между С.-Петербургом и Москвой, то почти все министры представили возражения против постройки таковой, при чем тогдашний глава финансового ведомства (Жанкрин) указывал, что дорога потребует чрезвычайных расходов, между тем доходность ее сомнительна, что, вообще, железные дороги могут отвлечь капиталы от земледелия и тем самым понизить доходы государства, а глава тогдашнего путейского ведомства (Толь), настаивая на местных трудностях проведения упомянутой дороги, считал их непреодолимыми, а в общем не находил возможным даже указать такую местность в России, где устройство железной дороги было бы выгодно; мало того, последний, будучи ярким противником железных дорог, ссылаясь, между прочим, на мнение известного в то время франц. экономиста *Chevallier*, что железные дороги являются учреждением весьма демократическим, стал высказываться Николаю I в том смысле, что железные дороги в России могут пошатнуть устой самодержавия.

В общем, мнение большинства государственных и общественных деятелей сводилось к тому, что русские климатические условия слишком неблагоприятны для сооружения железных дорог и что стоимость их значительно превысит ожидаемую от них пользу, а, кроме того, многие выражали опасение, что железные дороги произведут переворот в народной жизни и изменят, быть может к худшему, искони установившиеся обычаи и порядки торговли и промышленности.

Словом, как видно из сказанного; польза и значение железных дорог не были сразу поняты в Европе в начале возникновения железных дорог. Однако, к благополучию многих из зап.-европейских стран, периоды недоверия и оппозиции в них к железным дорогам продолжались сравнительно недолго. Так, в Англии, уже спустя 10 лет после появления первой железной дороги, а именно—с 1835 г., началась горячка по постройке железных дорог; деятельное движение, развившееся на дорогах *London-Birmingham* и *London-Bristol*, построенных вслед за дорогой *Liverpool-Manchester*, доказало обществу, что железным дорогам предстоит великая роль в экономическом и политическом отношениях, при чем тогдашний премьер *Robert Peel* усиленно доказывал, что если Англия хочет удержать в мире свое значение и преимущество, то она должна возможно скорее устроить паровые сообщения от одного конца Королевства до другого. Затем, во Франции, спустя, примерно, тоже 10 лет после постройки первой дороги, началось, усиленное развитие сети железных дорог; наконец, в Германии подобное развитие железнодорожной сети началось, спустя всего 7—8 лет после появления в ней первой дороги, и лишь в России названный период продолжался, примерно, 25 лет—до начала 60-х годов, когда железнодорожный вопрос в России принял совершенно иной оборот. Последнее имело место, как известно, в связи с тем, что несчастная Крымская кампания пробудила у правительства и всего русского общества сознание необходимости, в целях сохранения целостности государства, иметь совершенные пути сообщения и что, вместе с тем, в виду начавшегося в то время в России развития промышленности и торговли, пробудилось сознание значения железных

дорог, как важного фактора воздействия на различные стороны государственной жизни и народного хозяйства страны.

Нельзя не заметить, что особенно было понято значение железных дорог в Сев.-Амер. Соед. Штатах; здесь было приступлено к постройке железных дорог чрезвычайно энергично и в более широких размерах, примерно, с 1835 г., т. е. спустя всего 5 лет после открытия в стране первой железной дороги.

В настоящее время во всех странах (даже в Китае, где сравнительно еще не так давно господствовал во всех сферах предрассудок против железных дорог) нет более двух мнений по поводу того, что железные дороги, в общем имеют громадное значение—экономическое, культурное, социальное и, наконец, политическое. Подобное значение железных дорог познано уже с давнего времени и в России. Ныне нет ни у кого более сомнения в том, что Россия—страна, состоящая из областей с весьма различной производительностью, страна с громадными расстояниями пунктов производства и потребления и с малой производительностью, в общем—страна континентальная, центральные губернии которой в раз 5—7 и более отдалены от ближайших к ним берегов внешних морей, нежели в Англии, Франции и Германии, более, чем какое иное государство Европы, нуждается в обширной сети железных дорог. В настоящее время в России каждому ясно, что „Россия терпит от избытка расстояния“<sup>1)</sup> и что лишь с помощью железных дорог Россия, подобно Сев.-Американским Соединенным Штатам, может бороться с своими главными врагами—расстоянием и временем. Всякого рода рассуждения былых времен, вроде того, что железные дороги целесообразны лишь для перевозки пассажиров, что в России они зимой, по примеру рек, будут „замерзать“, что для России имеет значение лишь дешевизна транспорта, а не скорость и т. п., давно ушли в область преданий, что и неудивительно, когда на глазах у всех с проведением железных дорог—путей сообщения, приведших

<sup>1)</sup> Мысль, которая была высказана Николаем I инженеру Мельникову, когда он ему представлялся после командировки в Америку.

как бы к исчезновению расстояний, совершился громадный переворот в экономических, государственных и социальных отношениях всех цивилизованных стран.

Названный переворот, кстати заметить, можно в известной степени сравнить с тем могучим экономическим переворотом, который, начиная с XVI столетия, испытала Европа, в связи с открытием морских путей в Америку (1492 г.) и в Индию (1498 г.). Последнее последовало, как известно, в связи с таким небольшим, на первый взгляд, изобретением, как изобретение компаса. Однако, в экономической истории народов изобретение это сыграло весьма серьезную роль, внося совершенно новые условия в передвижении народов, и лишь с изобретением компаса может быть сравниваемо изобретение железных дорог в смысле влияния их на экономическую и социальную жизнь народов—и то и другое создали мировые торговые пути, создали сношения между странами, лежавшими на двух совершенно противоположных концах мира, в общем создали действительно „мировую торговлю“.

## Ст. 2. Экономическое значение железных дорог.

§ 26. Железные дороги имеют громадное экономическое значение, как фактор воздействия на различные стороны народно-хозяйственной жизни страны. Говоря кратко, они оказывают в экономическом отношении нижеследующее влияние.

Прежде всего дороги уничтожают обособленность экономической жизни отдельных государств и отдельных районов в государствах, способствуют взаимному обращению отдельных народов и людей, содействуют в обширных странах слиянию центров с окраинами, в общем они объединяют интересы отдельных людей, сплачивают отдельные страны в одно органическое целое; благодаря железным дорогам, отдельным государствам и в особенности отдельным районам в государствах нет надобности производить самим, для удовлетворения своих потребностей, все предметы первой необходимости; они могут производить лишь те товары, производство которых по местным условиям является выгодным, и получать в обмен за них другие необходимые им товары, в

связи с чем, в общем, в стране понижается стоимость товаров. Последнее обстоятельство дает товарам доступ к более обширному кругу потребителей, что, в свою очередь, имеет последствием новое развитие промышленности.

Затем, железные дороги, сокращая расстояния, даже, можно сказать, как бы уничтожая таковые, обеспечивают государствам правильное питание их богатствами, распределение производимых в них товаров между всеми в них нуждающимися, наконец, возможность вывоза товаров за границу. Лишь благодаря железным дорогам многие товары, находящиеся в некоторых районах в изобилии и не имеющие особой цены за невозможностью их вывоза, получают возможность поступать на общий рынок страны или на международный рынок, что и влечет за собой полный переворот в экономических условиях целых районов и государств, в которых, в результате, существенно меняются условия всякого производства как в отношении средств, так и непрерывности сношений с рынками сбыта. Например, благодаря сооружению Сибирской жел. дороги, даже сибирский хлеб и сибирское масло получили возможность попадать в порты Балтийского и Черного моря и идти отсюда далее за границу, между тем, в обладающей прекрасной береговой линией, окруженной с трех сторон морями Малой Азии, благодаря малому развитию в ней железных дорог, богатые природными силами внутренние области отрезаны не только от портов, но даже и от многих внутренних рынков. Нередко, при недостаточном развитии в стране железнодорожной сети, имеет место такое ненормальное явление, что некоторые богатые районы живут за счет районов, несравненно более их бедных, а это имеет последствием—ослабление экономического благосостояния всей страны.

Далее, железные дороги удешевляют перевозки и тем самым, с одной стороны, уравнивают цены товаров (увеличивают их стоимость в местах производства и уменьшают таковую в местах потребления), что имеет особенно важное значение при неурожаях в некоторых районах страны, а с другой стороны, они увеличивают районы сбыта некоторого рода товаров, особенно товаров малоценных, не выдерживающих дорого стоящего транспорта.

Вместе с тем, железные дороги ускоряют перевозки, что, в связи еще с регулярностью последних, имеет громадное значение для торговли, так как при этом устраняется необходимость иметь большие запасы товаров и, следовательно, дорого стоящие склады,—получается быстрый оборот товаров и вызываются к жизни новые производительные силы народов. В частности, ускорение перевозок приводит к увеличению районов сбыта скоропортящихся товаров, так как, благодаря железным дорогам, такого рода товары, как мясо, молоко, овощи и фрукты, могут доставляться в города не только из ближайших окрестностей, но и из-за нескольких сотен и даже тысяч верст.

В общем, железные дороги, производя переворот в экономических условиях народного хозяйства, оказывают громадное влияние на промышленность и торговлю и никакое развитие того и другого без железных дорог не мыслимо; малое развитие в стране железнодорожной сети приводит не только к задержке в развитии, но, можно сказать, к атрофированию живой промышленности и деятельности населения, и последнее обрекается, так сказать, на бездействие, в виду невозможности использовать результаты своих трудов, в связи с невозможностью доставлять их на рынки потребления.

Нельзя не отметить того обстоятельства, что когда в стране железными дорогами уже прорезаны некоторые области, то недостаток дорог в других местностях чувствуется особенно сильно и, в результате сего, местности эти не только отстаиваются в своем развитии, но прямо падают.

Лишь с развитием железнодорожной сети в стране промышленность ее и торговля могут встать на прочных основаниях. Доказательств сего мы имеем довольно много, хотя бы в России. Например, лишь только после постройки железных дорог в Донецком бассейне и в Сибири и тут и там развилась каменноугольная промышленность, затем, опять-таки, только после соединения Донецкого и Днепровского районов железными дорогами на юге развилась железодобывающая промышленность; дальнейшее крупное развитие той же промышленности на Урале возможно будет лишь после соединения транзитными жел.-дор. линиями Урала с Кольчугинскими месторождениями каменного угля и т. п.

В общем, насколько велико экономическое значение железных дорог, насколько последние способны коренным образом изменить хозяйственно-экономическую жизнь народов, лучшим доказательством может служить пример сооружения железных дорог в Сев.-Американских западных и центральных штатах, носивших до последней четверти прошлого столетия название „Великой пустыни“ и считавшихся абсолютно непригодными для земледелия, в сущности же бывших просто совершенно недоступными, благодаря своему полному бездорожью.

Благодаря соединению, путем железных дорог, с Атлантическим океаном, названные Штаты очутились в условиях, весьма благоприятствующих европейской колонизации; в связи с дешевизной провоза, во многих из указанных штатов сильно развилось, между прочим, хлебопашество и вскоре последнее достигло таких размеров, что американский хлеб, которого до 1860 г., т. е. до начала усиленной фермерской колонизации, хватало только для пропитания самой Америки, появился на европейских рынках, это же обстоятельство вызвало в Европе значительное понижение цен на многие предметы первой необходимости и, в результате, значительно улучшилось благосостояние народных масс.

Вообще, нельзя не заметить, что, если различные европейские культурные страны усиливали свое могущество и экономическое благосостояние путем постройки железных дорог, то Сев.-Амер. Соед. Штаты, в сущности, прямо созданы постройкой такого рода дорог.

Сравнительно с недавнего времени железные дороги создают, можно сказать, еще одну страну в Америке—Канаду, страну, кстати заметить, лежащую совершенно точно в тех же широтах, что и Россия, имеющую такие же различные географические и климатические условия, те же огромные пространства, то же неравномерное распределение населения и пр., что Россия, в общем—страну, почти повторяющую, можно сказать, Россию в другом полушарии земли. Благодаря сооружению в Канаде многочисленных железных дорог, особенно трансконтинентальных, сделалось возможным заселение и производительное использование пустовавших ранее ее западных и сев.-западных провинций, считавшихся, на подобие

западным и центральным Соединенным Штатам, совершенно непригодными для земледелия, и, благодаря сему, сделался возможным вывоз канадских продуктов на внешний рынок. В связи с развитием железнодорожной сети в Канаде, опередившей ныне, кстати заметить, по степени обеспеченности жителей железными дорогами не только Европу, но и Сев.-Амер. Соединенные Штаты, Аргентину, Австралию, — ей явно предстоит пышный экономический расцвет. Постройка в Канаде железных дорог дает ей возможность приведения упомянутых выше пустынных провинций в жилой и культурный вид и, несомненно, недалеко то время, когда железные дороги создадут Канаду, создадут „Канадскую нацию“.

Наконец, нельзя не заметить, что Аргентина и Австралия начали поразительно экономически расти и процветать лишь после обеспечения их жителей в значительной степени железными дорогами.

Примеры всех названных стран, между прочим, особенно ясно показывают, как, в общем, железные дороги возбуждают земледельческое население к усиленной деятельности, заставляют его распахать новые земли и, в результате, быстро и сильно, нередко в колоссальных размерах, повышают ценность земель.

Вообще, определенно можно сказать, что железные дороги создают новые ценности. С такой точки зрения громадное значение для экономического благосостояния страны имеют даже такие дороги, которые не приносят непосредственно дохода или не окупают затраченных на них капиталов.

### Ст. 3. Культурное значение железных дорог.

§ 27. Железные дороги, как то было указано выше, имеют громадное культурное значение. Давая всем членам общечеловеческой семьи возможность сближаться и обмениваться духовными и материальными ценностями, железные дороги являются общим орудием, могучим рычагом культуры и цивилизации, развитие чего, как о том свидетельствует история, всегда шло параллельно с развитием путей сообщения вообще и, в частности, с развитием железных дорог, представляющих



собой наиболее совершенный род путей сообщения. Если обратиться, например, к Европе, то легко можно усмотреть, что в таковой наиболее культурными странами являются те, которые располагают наиболее густыми сетями усовершенствованных путей сообщения и, в особенности, густыми железнодорожными сетями.

Железные дороги бесспорно играли очень важную роль в истории развития всего человечества, развития культуры до ее настоящего состояния. Эта роль железных дорог была между прочим понята высокообразованными людьми еще в половине прошлого столетия. Так, известны слова английского историка *Henry Buckle*'я, сказавшего, что, по его мнению, локомотив сблизил и сблизит людей больше, чем философы, поэты и пророки с самого начала мира, а также слова другого известного английского историка того же времени *Thomas Macaulay*'я, отметившего, что за исключением изобретений букв и печатных типографских станков, успехам цивилизации более всего содействовали и будут содействовать те открытия и изобретения, которые имеют целью сокращение расстояний. К числу таких изобретений принадлежат, между прочим, железные дороги, являющиеся одним из выдающихся проявлений человеческой мысли, и ныне нет двух мнений о том, что именно они являются носителями культуры и цивилизации.

#### Ст. 4. Политическое значение железных дорог.

§ 28—29. Железные дороги имеют громадное политическое и стратегическое значение, последнее,—как особый вид оружия для защиты целости государства. Это значение железных дорог было понята также далеко не сразу и, как известно, еще в 60-х годах прошлого столетия стратеги почти всех стран держались того мнения, что в стратегическом отношении железные дороги не имеют особого значения, что громадные массы войск могут скорее пройти большие расстояния пешком, чем быть перевезенными по железным дорогам. Названное значение железных дорог было впервые

особо понято едва ли не во время Франко-Прусской войны 1871 г., когда Пруссия, располагавшая в то время 9 железнодорожными линиями к французской границе, нанесли поражение Франции, располагавшей для подвозки войск к германской границе всего 3 линиями. Эта война всем показала, как велико стратегическое значение железных дорог, что именно последние дают возможность во время военных действий быстро собирать в надлежащих пунктах многочисленные армии, быстро доставлять их к театру военных действий, затем успешно снабжать их резервами, военными припасами и продовольствием, наконец, эвакуировать раненых и больных, что в общем железные дороги оказывают громадное влияние на общий исход всякой войны. Последняя мировая война еще более ярко выявила стратегическое значение железных дорог, успех Германии в начале войны и сопротивляемость ее в конце таковой, в период замкнутости ее почти со всех сторон в кольце союзников, должны быть в значительной степени и объяснены особой удовлетворительностью германской железнодорожной сети в стратегическом отношении.

Нельзя, кстати, не заметить, что удовлетворительность вообще железнодорожных сетей в стратегическом отношении дает государствам возможность содержать в мирное время значительно меньшие количества войска и, следовательно, наличие в стране железных дорог в должном количестве приводит в общем к сокращению в мирное время государственных расходов по обороне государства, а вместе с тем оно позволяет делать известные перемещения в дислокации, не ослабляющие в общем защиту государственных границ, но дающие возможность расположения войск в местностях, более удобных с экономической точки зрения.

Нельзя еще не заметить, что, благодаря лишь железным дорогам, многие державы (Великобритания, Франция, Германия, Бельгия, Португалия и др.) имеют возможность владеть громадными пространствами (колониями) в других частях света сравнительно с малыми силами, без значительных жертв, денежных и людьми, на удержание этих колоний вооруженной силой. Если же колоний находятся в одной меже с

метрополий, то железные дороги позволяют установить должную связь пограничных пунктов с центральными частями государства, заселить должным образом пограничные местности и тем создать крепкий оплот против неприятеля. Политическое значение железных дорог в общем уже давно познано и потому именно, например, в Африке державы, делающие земельные приобретения, даже в диких или мало культурных местностях, начинают свое завоевание ранее всего с постройки железных дорог. Из-за политического значения железных дорог европейские державы в последнее время сильно развивают рельсовые сети в своих колониях (напр., Великобритания развила сеть в колониях к 1917 г. до 172.135 км.), ослабляя даже ради этого развитие сетей в метрополиях.

Насколько велико в общем политическое значение железных дорог, видно хотя бы на примере Германии. Здесь именно железные дороги впервые проломали брешь в узком партикуляризме, который в былое время был так силен в отдельных немецких государствах, они помогли таковой низвергнуть и подготовили слияние отдельных государств в единое мощное государство, слияние, осуществившееся, как известно, после Франко-Прусской войны в 1871 г.

В общих словах, значение железных дорог может быть выражено так: железные дороги, как наиболее совершенная форма транспорта, являются главнейшими источниками внутренней силы, производительности и богатств каждой страны, двигателями ее прогресса и развития, орудием ее политики. От степени развития в стране сети железных дорог в значительной степени зависит экономическая, культурная и военная мощь нации.

---

## Г Л А В А VI.

## Отношение железных дорог к другим путям сообщения.

## Ст. 1. Отношение железных дорог к другим земным путям сообщения.

§ 30. Как бы в стране ни была развита сеть железных дорог, последние все же не являются настолько сильными, чтобы они одни, без помощи других земных путей сообщения—водных и гужевых, могли поднять до требуемых для страны размеров ее производительные силы и поставить на должную высоту разработку ее естественных богатств. Для экономического благосостояния и культуры каждой страны важны пути сообщения всех видов, а не одни лишь железные дороги; только все пути сообщения, взятые вместе, составляют мощь и богатство каждой страны и потому в общегосударственном экономическом строе вообще должны учитываться все виды путей сообщения.

Вне всякого сомнения, в экономическом, в самом обширном смысле этого понятия, развитие каждой страны главная роль принадлежит железным дорогам, как наиболее совершенным формам транспорта, несомненно, что железным дорогам принадлежит инициатива новых запросов к другого рода путям сообщения, так как лишь эти стальные нервы в общем способны не отставать от необходимого для страны промышленного темпа, но все же роль других путей сообщения в общей транспортной конъюнктуре велика—они сотрудничают с железными дорогами и без такового сотрудничества последние, как то было указано выше, оказываются слабосильными.

Хотя железные дороги и имеют, как то было указано в главе III, много преимуществ в сравнении с водными и гужевыми путями сообщения, но и такого рода путей сообщения не лишены, в свою очередь, некоторых преимуществ в сравнении с железными дорогами.

§ 31. Естественные водные сообщения имеют одно весьма важное преимущество—они являются самыми дешевыми пу-

тиями транспорта и потому во всех случаях, в которых скорость и регулярность доставки не имеют особенного значения, например, в случае перевозки громоздких и малоценных грузов, указанные водные сообщения всегда будут пользоваться преимуществом в сравнении с железными дорогами.

То, что водные пути сообщения, разумеется, главные реки, не могут потерять своего значения с проведением железных дорог, бесспорно сознавалось еще в самом начале железнодорожного периода и в соображение еще первых строителей железных дорог за-границей входила связь железных дорог с внутренними водными путями.

Если взять, например, Англию, где были сооружены первые железные дороги в Европе, то можно усмотреть, что строители первых дорог определенно преследовали цель связать Темзу, служащую базисом английской водной сети, с другими реками; так, например, дорога *Great Western* связала важнейшие в Англии речные бассейны Темзы и Северна, дорога *Great Northern* связала Темзу с Тембором, наконец, дорога *London — North Western* связала Темзу с Мерсеем.

То же можно увидеть в Германии и других странах.

Если обратиться к истории сооружения русских железных дорог в течение первых трех десятилетий, примерно до 1870 г., то можно увидеть, что уже все старейшие наши железнодорожные линии фактически примкнули к рекам, хотя эта задача на первом плане была поставлена, как известно, при сооружении лишь весьма немногих из русских первых дорог, а именно: Волго-Донской, Грязе-Царицынской, Тамбово-Саратовской, Моршанско-Сызранской, Московско-Ярославской, Ряжско-Моршанской и Рыбинско-Бологовской, главным поводом сооружения каких-либо дорог и было соединение с реками.

Как же отражается на судоходстве рек связь их с железными дорогами и вообще развитие железнодорожной сети в стране? — На это практика дает довольно определенный ответ.

Железные дороги не в состоянии уменьшать судоходства на обширных, многоводных, благоприятно расположенных и благоустроенных реках; напротив того, на реках среднего и

малого размеров, в особенности, если эти реки представляют известные препятствия для плавания, железные дороги сокращают, а иногда даже и совершенно уничтожают прелжное торговое движение.

Например, во Франции — Сена, в Англии — Темза и Северн и важнейшие по количеству движения каналы — Бирмингемский и Эир-Коолдерский, в Германии — Рейн и Дунай с большим успехом выдерживают соперничество железных дорог, а Манчестерский канал в Англии (соединяющий Манчестер с устьем р. Мереей) намеревается даже составить сильную конкуренцию параллельной железной дороге *London — North Western* в отношении перевозки грузов, которые на морских судах будут прямо провозиться по каналу в Манчестер, без захода в Ливерпуль, для перегрузки на железную дорогу; напротив того, на второстепенных реках упомянутых стран железные дороги в сильной степени уменьшили торговое движение.

То же явление мы видим и в России, где, в связи с сооружением железных дорог, судоходство упало на многих реках (напр., Зап. Двине, Оке и др.), но где железные дороги до сих пор не в состоянии подорвать судоходство на Волге. Напротив того, на Волге, этом величайшем и просторнейшем водном пути нашей страны, играющем роль громадного товарного коллектора для упирающихся в него ветвей железнодорожной сети, грузооборот не только не падает, но значительно прогрессирует. В общем обширность Волги, ее многоводность, малocenность перевозимых по ней грузов и затем существование главного спроса на волжские товары во время навигации дают ей возможность, несмотря на существование на ней некоторых неблагоприятных условий судоходства (перекаты, мели), с успехом соперничать с многочисленными примкнувшими к ней железными дорогами.

Вообще, конкуренция внутренних водных путей с железными дорогами в отношении перевозки грузов, проявляющаяся в значительной степени в некоторых странах, имеет в России, при сравнительно небольшой густоте железнодорожной сети, довольно ограниченное значение для небольшого сравнительно числа второстепенных товарных маршрутов; в общем же русские железные дороги и внутренние водные пути обме-

ниваются грузами и взаимно дополняют свою работу, при чем судоходные водные пути, в особенности большого протяжения, с паровой тягой судов (Волга с притоками, Нева, Днепр, Дон и др.), являются во многих случаях естественным и необходимым дополнением к железным дорогам. Играть такую благотворную роль русским водным путям суждено еще долгое время, да и вообще трудно представить себе работу водного транспорта без взаимодействия с железными дорогами. При некотором еще значительном расширении русской железнодорожной сети водные пути России будут еще долгое время передавать железным дорогам товары более удаленных районов, которые иначе не имеют выхода. В общем, при современных и возможных в ближайшем будущем условиях, наибольшей транспортной производительностью является, несомненно, комбинированная работа железных дорог и водных путей.

Из имеющихся статистических данных о перевозках по 12 главным русским внутренним водным путям усматривается, что из всего внутреннего торгового движения в России, примерно,  $\frac{1}{3}$  приходится на реки и  $\frac{2}{3}$  — на железные дороги, при чем, однако, общая работа внутренних водных путей (пробег грузов по ним) довольно близко подходит к работе железных дорог, несмотря на то, что по водным путям перевозится, примерно, вдвое меньше грузов.

Если обратиться к Германии, где собирание статистических сведений о перевозках по водным путям поставлено довольно основательно, и взглянуть на 30-ти летний период времени 1875 — 1905 г.г., то можно увидеть, что в 1875 г. на долю водных путей пришлось  $21\%$ , а на долю железных дорог  $79\%$  внутреннего торгового движения, между тем, в 1905 г. на долю первых путей пришлось уже  $25\%$ , а на долю вторых  $75\%$  (во Франции, примерно, в то же время, соответственно,  $20\%$  и  $80\%$ ), так что, несмотря на то, что протяжение германских железных дорог увеличилось за этот период времени вдвое, а протяжение внутренних водных путей почти не изменилось (но существенно улучшилось их качество), роль последних в отношении внутреннего торгового движения не только не уменьшилась, а увеличилась, при чем передвижение по железным дорогам увеличилось за это время в 2 раза, а по водным путям в 5 раз.

Затем можно указать, что в конце прошлого столетия в Германии перевозки по водным путям увеличились на 57<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, а по железным дорогам в то же время — на 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, во Франции — соответственно на 60<sup>0</sup>/<sub>0</sub> и 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Что касается среднего пробега грузов, то таковой в последнее довоенное время составлял:

	По водным путям.	По желез- ным дорогам.
в России.....	950 км.	475 км.
во Франции.....	150 „	150 „
в Германии.....	290 „	114 „

Из сказанного можно усмотреть, что правильное развитие внутренних водных путей может идти параллельно с развитием железных дорог, при чем улучшение водных путей имеет последствием увеличение судоходства—без нанесения ущерба развитию деятельности железных дорог, напротив того, имея на такую деятельность благотворное влияние.

Уместно отметить, что из западно-европейских железных дорог наиболее преуспевают те, которые идут вдоль наиболее деятельных водных путей. Таких дорог на Западе очень много. Например, в Германии, на западе ее, где наиболее плотна сеть железных дорог, главным основанием последней служит Рейн. По обоим сторонам его, от самого Боденского озера до устья, идут параллельные дороги, а, кроме того, к Рейну в свыше, чем 50 местах его течения, примыкают разные более или менее крупные железнодорожные линии. Долины притоков Рейна (Неккара, Майна, Лана, Мозеля, Зига и Рура) также прорезаны параллельными рекам дорогами. Подобным же образом и другие немецкие реки, как-то: Эльба, Везер, Одер окружены параллельными железными дорогами и во множестве пунктов связаны с сетью боковыми путями.

Во Франции имеются параллельные рекам железные дороги вдоль Сены, Луары, Роны и некоторых их притоков, а также вдоль сети каналов Северной Франции — сети, продолжающейся от Бельгии до Парижа.



То же самое имеет место и в Англии; здесь, не говоря уже о Темзе, служащей, как было упомянуто, базисом английской сети водных путей, многие и другие важные реки, как-то Гумбер и Северн, имеют по берегам своим параллельные дороги и, кроме того, опять-таки связаны во множестве пунктов боковыми путями с сетью.

Нельзя не упомянуть, что принцип проведения железных дорог параллельно большим рекам существует не только в Европе, но и в других частях света. Например, в Сев. Америке все главные реки окружены железными дорогами, а в Африке параллельную дорогу почти на всем своем протяжении имеет Нил (самая длинная в мире река).

В России из крупных рек лишь весьма немногие, как-то: Зап. Двина на протяжении 450 вер. от Витебска до Риги (половины ее судоходного протяжения), Днепр на протяжении 400 вер. от Дорогобужа до Жлобина и приток Днепра—Припять—на протяжении 220 вер. от Пинска до Мозыря имеют в полном смысле слова параллельные дороги, остальные же реки подобных дорог не имеют, если не считать еще за параллельную Волге дорогу Рыбинск—Ярославль—Ермолино с намеченным уже продолжением до Н.-Новгорода. Между тем, необходимость постройки и в России железных дорог параллельно большим рекам в общем представляется бесспорной.

§ 32. Что касается гужевых дорог, то таковые являются весьма часто более удобными в сообщении на короткие расстояния, хотя бы рядом с существующей железной дорогой, ибо этим избегаются неудобства и расходы, связанные с двойной перегрузкой грузов с подводы в вагоны и обратно. Кроме того, по характеру своему, железнодорожное сообщение не может обладать тою поворотливостью, удобством подъезда, произвольностью остановок и проч., которые свойственны экипажному сообщению.

## Ст. 2. Отношение железных дорог к воздушным путям сообщения.

§ 33. Об отношении железных дорог к воздушным путям сообщения, установление коих, благодаря сильному раз-

витию в последние годы авиации, является совершившимся фактом, можно сказать следующее:

Хотя воздушные сообщения и являются новым видом сообщений, однако, они уже успели получить немалое развитие за границей. В настоящее время уже во многих странах целый ряд городов, а также целый ряд городов разных стран, связан сетью аэро-линий (воздушных линий), по которым совершают правильные рейсы быстроходные и с большой грузоподъемностью аэропланы и дирижабли с пассажирами (современные аэропланы вмещают до 130 пассажиров, дирижабли до 80 пассажиров), почтой и грузами, при чем пассажиры при путешествиях по воздуху пользуются не меньшими удобствами, чем при путешествиях по железным дорогам и водным путям. Благодаря значительной скорости воздушных сообщений (скорость аэропланов доходит в среднем до 150—200 km/h, а дирижаблей до 100—120 km/h.), затем, благодаря еще тому, что подобного рода сообщения не зависят от топографии местности и что затраты на их организацию по сравнению с затратами на сооружение железных дорог—незначительны, воздушные сообщения уже вступили в известную конкуренцию с железными дорогами и водными путями, конкуренцию, которая несомненно с течением времени будет все более и более усиливаться.

Совершенно ясно, что люди постепенно все более и более перестанут тратить лишнее время на переезды, напр., тратить на переезд из Парижа в Лондон по железным дорогам и морю в общем 7 часов, когда на перелет из Парижа в Лондон можно потратить всего  $1\frac{1}{2}$  часа (в будущем возможно еще меньше), почему усиление конкуренции между воздушным и железнодорожным пассажирскими сообщениями представляется вполне вероятным. Что же касается конкуренции между воздушным и железнодорожным грузовым движениями, то возможность таковой мало вероятна.

В общем, однако, вопрос об отношении воздушного сообщения к железнодорожному, по новизне первого, представляется далеко еще неопределенным — это вопрос будущего.

## Г Л А В А VII.

## Начало постройки железных дорог в разных странах.

§ 34. Первой железной дорогой в современном смысле этого слова была, как то было указано в главе I, построенная в течении 1821—25 гг. в Англии дорога *Darlington—Stockton*, протяжением в 21 км.; дорога эта имела паровозную тягу и была открыта для общего пользования. Однако, некоторые, как то тоже было указано, более склонны считать первой железной дорогой открытую для движения в 1830 г. дорогу *Liverpool—Manchester*, с открытием которой собственно началось изумительно быстрое развитие железнодорожного дела в Европе и успех которой сделал рельсовый путь предметом государственной важности.

За какой бы из двух указанных дорог ни признавать первенства, родиной железных дорог в общем все же является Англия. Это и не удивительно, так как именно Англия, вступившая с конца XVIII столетия, после того, как были изобретены ткацкие и прядильные станки, в период развития крупной капиталистической промышленности и имевшая во внешней торговле ежегодные обороты уже свыше 50 милл. фунтов стерлингов, постоянно искала пути к уничтожению того тормоза к развитию торговли и промышленности, который представляли собой старые пути сообщения (водные и гужевые). Выход для сего Англия и нашла в железных дорогах.

Появление в Англии в 1825 г. паровозной железной дороги не могло, разумеется, остаться незамеченным в других странах. Само собой понятно, что Сев.-Американские Соед. Штаты, давно уже сознававшие, что главными их врагами являются расстояние и время, были первой страной, которая доставила себе английские паровозы, начавшие уже строиться в довольно значительном количестве *Stephenson*'ом на специально устроенном им заводе в *New-Castle*'е.

Соединенные Штаты сразу поняли, что оба указанных их врага могут быть преодолены лишь с помощью железных дорог. Вслед за постройкой в Англии в 1830 г. второй железной дороги *Liverpool—Manchester* была построена пер-

вая железная дорога в Америке— между главнейшими сев.-американскими портовым и торговым городами *Charlestown* и *Augusta* в Штате Южная Каролина.

Вслед за сим примеру Англии в течение ближайших двух десятилетий 1830—50 г.г. последовали одна за другой все главнейшие страны европейского континента. Время постройки в различных странах первых паровозных железных дорог, их наименование и протяжения приведены в следующей таблице:

Год открытия дороги.	СТРАНА.	Наименование железной дороги.	Протяжение дороги, км.
1825	Англия . . . . .	Darlington—Stockton . .	21
1830	С.-А. С. Штаты . . . . .	Charlestown—Augusta . .	64
1832—33	Франция . . . . .	St.-Etienne—Lyon . . . .	58
1835	Германия (Бавария) . . . .	Fürth—Nürnberg . . . .	7
1835	Бельгия . . . . .	Bruxelles—Mecheln . . . .	20
1837	Россия . . . . .	С.-Петербург—Павловск . .	26
1838	Австрия . . . . .	Wien—Wagram . . . . .	19
1839	Голландия . . . . .	Amsterdam—Haarlem . . . .	17
1839	Италия . . . . .	Napoli—Portici . . . . .	8
1844	Швейцария . . . . .	Basel—St.-Louis . . . . .	4
1846	Венгрия . . . . .	Pozsony—Nagyszombat— Szered (Pressburg— Tyrnau—Szered) . . . . .	62
1847	Дания . . . . .	Husum—Flensburg . . . . .	32
1848	Испания . . . . .	Barcelona—Mataro . . . . .	28

Из этой таблицы видно, что Россия является шестой страной в мире и пятой в Европе по времени появления в ней железных дорог, точнее сказать,— по времени открытия на дорогах паровозного движения. Это справедливо, однако, в предположении единого Германского государства, но такового, как известно, в период появления на свет железных дорог еще не было. Если иметь в виду время появления первых железных дорог в отдельных немецких государствах, то надо еще учесть несколько более раннее, нежели в России, появление (открытие для движения) железных дорог в Саксонии (1837 г.).

В нижеследующей таблице наглядно указано время открытия для движения первых паровозных железных дорог в различных странах всех пяти частей света.

Год открытия первой дороги.	Европа.	Америка.	Азия.	Африка.	Австралия.
1825	Англия.				
1830		Сев.-Ам. С. Штаты.			
1832	Франция.				
1835	Германия и Бельгия.				
1837	Россия.	Большие Антильские острова.			
1838	Австрия.				
1839	Голландия и Италия.				
1840		Канада.			
1844	Швейцария.				
1846	Венгрия.				
1847	Дания.				
1848	Испания.				
1850		Мексика.			
1851	Швеция.	Перу.			
1852		Чили.			
1853			Брит. Ост.-Индия.		
1854	Португалия и Норвегия.	Бразилия.			Виктория и Южная Австралия.
1855		Колумбия.			Новый Южн. Уэльс.
1856				Египет.	
1857		Аргентина.			

Год откры- тия первой дороги.	Е в р о п а .	А м е р и к а .	А з и я .	А ф р и к а .	А в с т р а л и я .
1860	Болгария и Турция.		Турция и Сирня.		
1862	Финляндия.			Алжир и Тунис.	
1863					Новая Зе-ландия.
1864		Брит. Гвиана.			
1865		Парагвай.	Цейлон.		Квинсленд.
1866		Венецуэла.			
1867			Голландск. Индия.		
1869	Греция.	Урагвай.			
1870	Румыния.				Тасмания.
1871			Китай.		
1872			Япония.		
1873		Боливия.			Зап. Авст-ралия.
1875		Эквадор.			
1881			Русские Ср.-Азиатские владения. Малайские Штаты.		
1884	Сербия.				
1885		Ньюфаунд-ленд.			
1888			Персия.		Гавай.
1893			Сибирь и Спам.		
1900			Корея.		
1908	Черногория.				

Из приведенной таблицы усматривается, что в Европе первая железная дорога была сооружена в 1825 г. (в Англии), в Сев. Америке—в 1830 г. (в Соед. Штатах), в Южной Америке—в 1851 г. (в Перу), в Азии—в 1853 г. (в Британской Ост-Индии), в Австралии—в 1854 г. (в Виктории и Южной Австралии,) наконец, в Африке—в 1856 г. (в Египте).

## Г Л А В А VIII.

### Развитие сети железных дорог на земном шаре.

#### Ст. 1. Постепенное развитие сети железных дорог.

§ 35. Железные дороги получили свое начало, как то было указано выше, в Англии и потому естественно, что в Европе они именно в Англии первоначально и получили свое наибольшее развитие. Это имело место до половины прошлого столетия—в 1850 г. железных дорог было: в Англии—10.653 км, в Германии—6.044 км, во Франции—3.083 км., в Австро-Венгрии—1,579 км, в Бельгии—854 км, в остальных европейских странах еще меньше.

В 50-х годах усилилось железнодорожное строительство во Франции, в 60-х и 70-х годах еще значительно и в Германии, а в 70-х годах еще и в России (Европ.); в результате в 1880 г. наибольшее протяжение железных дорог имела уже Германия—33.838 км., затем Англия—28.854 км, Франция—26.189 км, Европейская Россия (с Финляндией)—23.429 км, и Австро-Венгрия—19.512 км., так что за 30-ти летний период времени Англия и Германия переменились местами. Затем, в 80-х годах Англию в отношении протяжения железных дорог стала обгонять еще Франция, а в 90-х годах еще и Россия (Европ.) и Австро-Венгрия, так что, в результате, к началу нынешнего столетия Англия по протяжению своей железнодорожной сети заняла в Европе пятое место (в общем—благодаря относительно слабому развитию железных дорог в Ирландии). В настоящее время, в виду распада б. Австро-Венгерской Империи, Англия занимает по абсолютному протяжению ее железнодорожной сети четвертое место в Европе.

Как постепенно развивалась сеть железных дорог в главнейших европейских странах до 1921 г. показано в ниже-следующей таблице.

ГОСУДАРСТВА.	Длины дорог (в килом.),						
	1835	1840	1845	1850	1855	1860	1865
Германия . . . . .	6	549	2.315	6.044	8.352	11.633	14.762
Евр. Россия (с Финляндией) . . .	—	26	144	498	1.048	1.588	3.810
Франция . . . . .	176	497	883	3.083	5.535	9.528	13.562
Австро-Венгрия . . . . .	—	144	728	1.579	2.145	4.543	5.858
Соединен. Английское Королевство . . . . .	471	1.348	3.277	10.653	13.411	16.787	21.382
Италия . . . . .	—	8	157	427	1.211	1.800	4.374
Испания . . . . .	—	—	—	28	475	1.918	4.823
Швеция . . . . .	—	—	—	—	—	522	1.285
Бельгия . . . . .	20	336	576	854	1.349	1.729	2.254
Швейцария . . . . .	—	—	2	27	210	1.096	1.322
Румыния . . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Дания . . . . .	—	—	—	30	30	111	419
Голландия (до 1900 г. вместе с Люксембургом) . . . . .	—	17	153	176	314	335	865
Норвегия . . . . .	—	—	—	—	68	68	270
Португалия . . . . .	—	—	—	—	37	137	700

Из внеевропейских стран особенный интерес в отношении развития железных дорог представляют Северо-Американские Соединенные Штаты и затем Канада.

Названные Штаты, как то было указано выше, были второй страной в мире, в которой появились железные дороги (в 1830 г.), при чем Штаты эти сразу приняли такой

ГОСУДАРСТВА.	ОТКРЫТЫХ ДЛЯ ДВИЖЕНИЯ К КОНЦУ ГОДОВ:										
	1870	1875	1880	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1916	1920
Германия . . . . .	19.575	28.087	33.838	37.572	42.869	44.882	51.391	56.477	61.148	64.987	58.148
Евр. Россия (с Финляндией) . . .	11.120	18.949	23.429	25.851	30.765	33.451	49.362	54.974	59.386	69.755	62.726
Франция . . . . .	17.931	21.547	26.189	32.491	36.895	39.357	42.827	46.466	49.385	51.431	53.561
Австро-Венгрия . . . . .	9.589	16.860	19.512	22.789	27.113	29.160	36.883	39.918	44.371	46.195	—
Соединен. Английское Королевство . . . . .	24.999	26.803	28.854	30.843	32.297	33.219	35.186	36.447	37.579	38.653	39.262
Италия . . . . .	6.134	7.709	8.715	10.484	12.907	14.184	15.787	16.284	16.960	18.245	20.118
Испания . . . . .	5.475	6.134	7.481	8.933	9.878	11.435	13.357	14.430	14.994	15.350	15.350
Швеция . . . . .	1.708	3.581	5.906	6.892	8.018	8.782	11.320	12.684	13.982	14.951	15.061
Бельгия . . . . .	2.997	3.499	4.120	4.409	5.263	5.473	6.345	7.258	8.510	8.814	11.093
Швейцария . . . . .	1.449	1.986	2.571	2.850	3.190	3.415	3.783	4.289	4.701	5.299	5.345
Румыния . . . . .	245	1.217	1.387	1.682	2.543	2.573	3.098	3.177	3.603	3.843	11.678
Дания . . . . .	764	1.266	1.579	1.942	1.986	2.231	3.011	3.288	3.527	4.252	4.335
Голландия (до 1900 г. вместе с Люксембургом) . . . . .	1.419	1.419	2.300	2.804	3.060	3.096	3.209	3.012	3.194	3.403	3.425
Норвегия . . . . .	359	549	1.059	1.562	1.562	1.612	2.053	2.490	3.092	3.179	3.286
Португалия . . . . .	714	919	1.150	1.529	2.149	2.340	2.376	2.571	2.909	2.983	3.293

темп постройки железных дорог, какой не приняла ни одна страна в мире, а затем с несравнимым же темпом они продолжали и продолжают до сего времени развивать свою железнодорожную сеть. Это видно из следующей таблицы, в которой приведены, для сравнения, приросты по десятилетиям железных дорог и в главнейших европейских странах.



ГОСУДАРСТВА.	Протя- жение сети к концу 1840 г., km.	Прирост железных дорог в круглых цифрах km. за период:								Протя- жение сети к концу 1920 г., km.
		1840—50	1850—60	1860—70	1870—80	1880—90	1890—00	1900—10	1910—20	
С.-А. С. Штаты . .	4.534	10.000	34.800	35.800	65.600	117.700	42.700	77.100	38.349	426.522
Канада . . . . .	26	100	3.300	600	7.100	11.400	6.200	11.100	22.792	62.584
Германия . . . . .	549	5.500	5.600	8.000	14.200	9.100	8.500	9.800	3.000	58.148
Франция . . . . .	497	2.600	6.400	8.400	8.300	10.700	5.900	6.600	4.200	53.561
Австро-Венгрия .	144	1.500	2.900	5.100	8.900	8.600	9.800	7.500	—	—
Соед. Англ. Коро- левство . . . . .	1.348	9.400	6.100	8.200	3.900	3.400	2.900	2.400	1.700	39.262
Россия (вся) . . .	26	470	1.090	9.500	12.300	8.700	23.600	14.000	8.718	74.240
Италия . . . . .	8	420	1.400	4.300	2.600	4.200	2.900	1.200	3.200	20.118
Испания . . . . .	—	28	1.900	3.600	2.000	2.400	3.500	1.600	350	15.350
Швеция . . . . .	—	—	520	1.200	4.200	2.100	3.300	2.700	1.100	15.061
Бельгия . . . . .	336	520	880	1.300	1.100	1.100	1.100	2.200	2.600	11.093
Голландия . . . .	17	108	159	1.100	900	800	150	4.500	230	3.425
Норвегия . . . . .	—	—	68	190	700	500	500	1.000	200	3.286
Швейцария . . . .	—	27	1.100	350	1.100	600	600	900	600	5.315
Португалия . . . .	—	—	137	600	450	1.000	230	600	400	3.293

Как по пятилетиям развивались железнодорожные сети в различных частях света, видно из следующей таблицы.

К концу года.	Америка.	Европа.	Азия.	Африка.	Австралия.	Весь земной шар.	Прирост за 5 лет.	
							км.	%
1835	1.758	673	—	—	—	2.431	—	—
1840	4.754	2.925	—	—	—	7.679	5.248	216
1845	7.683	8.235	—	—	—	15.918	8.239	107
1850	15.064	23.504	—	—	—	38.568	22.650	142
1855	32.417	34.185	350	144	38	67.134	28.566	74
1860	53.935	51.862	1.393	455	367	108.012	40.878	61
1865	62.534	75.882	5.459	755	825	145.485	37.473	35
1870	93.139	104.914	8.185	1.786	1.765	209.789	64.304	44
1875	134.098	142.494	11.332	2.576	3.738	294.238	84.449	40
1880	174.667	168.983	16.287	4.646	7.847	374.429	78.191	27
1885	249.246	195.833	22.285	7.032	12.947	487.343	114.914	31
1890	331.417	223.869	33.724	9.386	18.889	617.735	130.392	27
1895	370.321	251.421	43.375	13.147	22.349	700.613	82.878	13,4
1900	402.171	283.525	60.301	20.114	24.014	790.125	89.512	12,8
1905	450.574	305.407	77.206	26.074	27.052	886.313	96.188	12,2
1910	526.382	333.848	94.911	36.854	31.014	1.022.854	136.541	15,4
1916	586.859	358.612	114.123	48.153	36.388	1.144.135	121.281	11,9
1920	611.721	372.688	117.794	51.881	38.071	1.192.065	47.930	4,2

## Ст. 2. Современное протяжение железных дорог.

§ 36. После того, как в Европе, в связи с мировой войной и политическими событиями последних лет, одни государства увеличили свою территорию (Франция, Бельгия, Италия, Дания, Румыния, Болгария, Греция), другие—уменьшили свою территорию (Россия, Германия, Турция), одно государство распалось на отдельные части (Австро-Венгрия), четвертые—прекратили свое самостоятельное существование (Сербия, Черногория) и, в связи со всем сказанным, образовалось несколько новых государств (Польша, Чехо-Словакия, Юго-Славия, Албания, Австрия, Венгрия, Финляндия, Литва, Латвия и Эстония), европейская железнодорожная сеть является в настоящее время в значительной степени перегруппированной в сравнении с тем, что имело место до войны. Каково протяжение сети железных дорог в различных европейских государствах,—можно видеть из нижеприводимой таблицы, данные которой относятся к началу 1921 г. В этой таблице, кроме абсолютных протяжений железных дорог, приведены также и относительные протяжения железных дорог на 100 км<sup>2</sup> и на 10.000 жителей (так называемая густота сети), а затем и „коэффициенты обслуженности“ различных стран железными дорогами, каковые коэффициенты, представляющие собой произведение обоих названных относительных протяжений железных дорог, дают довольно верную оценку названной обслуженности (единицей „коэффициента обслуженности“ является такая обслуженность страны, при которой 1 км. жел.-дор. сети приходится на каждые 100 км.<sup>2</sup> поверхности страны при населении в 10.000 жителей на этих 100 км<sup>2</sup>).

Из данных приведенной таблицы видно, что в отношении обслуженности железными дорогами первые места в Европе занимают Бельгия, Швейцария, Дания, Франция, Германия и Великобритания (так было и в довоенное время), затем, что за названными странами идет одно из вновь образовавшихся государств—Чехо-Словакия, получившая наиболее густую сеть бывшей Австро-Венгерской Империи, и, наконец, что Россия (Европ.), занимающая ныне 48% поверхности

	Поверх- ность, км <sup>2</sup> .	Число жители, млн.	Прот- яже- ние жел. дорог, км.	Протяжение, приходящееся		Коэффициент обслуживаемости жел. дорог, млн.
				на 100 км <sup>2</sup> .	на 10.000 жит.	
Бельгия . . . . .	30.440	7,6	11.093	36,4	14,6	531
Швейцария . . . . .	41.320	3,8	5.345	12,9	14,1	182
Дания . . . . .	44.350	2,9	4.335	9,8	15,0	147
Франция . . . . .	550.980	41,0	53.561	9,7	13,1	127
Германия . . . . .	467.990	60,0	58.148	12,4	9,7	120
Великобритания . . . . .	314.680	47,0	39.262	12,4	8,4	104
Чехо-Словакия . . . . .	140.300	13,5	13.644	9,7	10,1	98
Турция (Европ.) . . . . .	5.600	2,0	1.000	17,8	5,0	89
Швеция . . . . .	448.090	5,8	15.061	3,4	26,0	88
Литва . . . . .	68.600	2,3	3.120	5,3	13,6	72
Австрия . . . . .	84.090	6,7	6.326	7,5	9,4	71
Латвия . . . . .	69.420	2,0	2.849	4,1	14,2	58
Голландия . . . . .	34.180	6,1	3.425	10,0	5,6	56
Венгрия . . . . .	113.190	9,7	7.052	6,2	7,3	45
Люксембург . . . . .	2.590	0,27	525	20,2	1,9	38
Италия . . . . .	311.340	37,5	20.118	6,5	5,4	35
Румыния . . . . .	297.510	15,6	11.678	3,9	7,5	29
Юго-Славия . . . . .	223.520	14,5	8.955	4,0	6,2	25
Испания . . . . .	504.550	21,0	15.350	3,0	7,3	22
Польша . . . . .	379.240	32,0	15.829	4,2	5,0	21
Португалия . . . . .	91.950	6,0	3.293	3,6	5,5	20
Эстония . . . . .	40.970	1,25	991	2,4	7,9	19
Финляндия . . . . .	383.600	3,4	4.249	1,1	12,5	14
Болгария . . . . .	104.620	5,0	2.614	2,5	5,2	13
Греция . . . . .	149.840	4,8	2.992	2,0	6,2	12
Норвегия . . . . .	322.910	2,7	3.286	1,0	12,2	12
Россия (Европ.) . . . . .	4.909.400	120,0	58.477	1,2	4,9	6

всей Европы, менее всех европейских стран обслужена железными дорогами (в довоенное время последнее место занимала Турция, но остатки последней в Европе имеют наиболее густую часть сети этого государства и, в связи с этим, после

войны Европ. Турция с последнего места поднялась до уровня Швеции, идя вслед за Чехо-Словаквей).

§ 37. Абсолютные и относительные протяжения железных дорог в различных американских странах и степень обслуженности последних жел. дорогами приведены в следующей таблице, данные которой относятся к началу 1921 г.

	Поверх- ность, km <sup>2</sup> .	Число жители- лей, млн.	Протя- жение жел. дорог, км.	Протяжение, приходящееся		Коэффициент обслуженности жел. дорогами.
				на 100 km <sup>2</sup>	на 10.000 жит.	
Соед. Штаты (с Аляской) . . . . .	9.305.300	92,0	426.522	4,6	46,3	213
Нью-Фаундленд . . . . .	110.800	0,25	1.428	1,3	57,1	74
Аргентина . . . . .	2.885.600	7,9	37.266	1,3	47,2	61
Канада . . . . .	8.768.000	7,5	62.584	0,71	83,5	59
Чили . . . . .	776.000	3,2	8.531	1,1	26,6	29
Уругвай . . . . .	178.700	1,4	2.660	1,5	18,9	28
Мексика . . . . .	1.987.200	15,0	25.492	1,3	16,9	22
Бразилия . . . . .	8.361.400	17,4	28.128	0,34	16,2	5,5
Эквадор . . . . .	299.600	1,5	1.049	0,35	7,0	2,5
Боливия . . . . .	1.334.200	1,8	2.418	0,18	13,4	2,4
Парагвай . . . . .	253.100	0,65	468	0,19	7,2	1,4
Перу . . . . .	1.137.000	5,6	2.781	0,25	5,0	1,2
Венецуэла . . . . .	1.043.900	2,3	1.039	0,10	4,5	0,5
Гвiana Брит. . . . .	229.600	0,31	167	0,07	5,4	0,4
Колумбия . . . . .	1.330.800	5,0	1.420	0,11	2,8	0,3
Гвiana Нидерл. . . . .	129.100	—	60	0,05	—	—
Центр. Америка (Гватемала, Гон- дурас, Сальва- дор, Никарагуа, Коста-Рика, Па- нама) . . . . .	438.576	—	3.569	0,81	—	—
Больш. Антильские острова . . . . .	216.840	—	5.566	2,6	—	—
Малые Антильские острова . . . . .	13.220	—	573	4,3	—	—

Из приведенной таблицы видно, что лучше всего обслужены железными дорогами в Америке Соед. Штаты, Аргентина и Канада—именно те три страны в Америке, которые являются конкурентами России в экспорте сельскохозяйственных продуктов.

При этом нельзя не заметить, что Аргентина—страна, во многих отношениях весьма похожая на Россию, но опередившая таковую в вопросах сельскохозяйственной промышленности, благодаря, между прочим, интенсивной постройке с конца прошлого столетия железных дорог, имела к 1921 г. сеть железных дорог всего в 2 раза меньше сети России, хотя территория ее в 7 раз меньше территории России; Канада же—страна, повторяющая, можно сказать, Россию в другом полушарии земли, имела в то же время сеть железных дорог, равную  $\frac{4}{5}$  всей русской сети, хотя территория Канады в 2,5 раза меньше территории России.

Что касается Соед. Штатов, то говорить о сравнении таковых с Россией в железнодорожном отношении не приходится, так как их железнодорожная сеть вообще является неизмеримо наибольшей сетью на земном шаре—к 1921 г. она составляла  $\frac{1}{3}$  от мировой сети железных дорог, при чем превышала на 14,5% всю европейскую железнодорожную сеть в целом.

Несомненно, три названные американские страны должны в будущем служить для России главными примерами в вопросе развития ее железнодорожной сети в целях поднятия экономического благосостояния страны.

§ 38. Абсолютные и относительные протяжения железных дорог в различных азиатских государствах и степени обслуженности таковых железными дорогами приведены в ниже следующей таблице, данные которой относятся к началу 1921 года.

Из приведенной таблицы видно, что из азиатских государств более всего обслужена железными дорогами Япония, а из азиатских колоний внеазиатских государств—британские колонии: Малайские Штаты (Борнео, Целебес и пр.), Цейлон и, наконец, Ост-Индия—страна в Азии, являющаяся конкурентом России в экспорте сельскохозяйственных продуктов.

	Поверх- ность, км <sup>2</sup> .	Число жители, млн.	Протя- жение жел. дорог, км.	Протяжение, приходящееся		Коэффициент обслуженности жел. дорогами.
				на 100 км <sup>2</sup> .	на 10.000 жит.	
Малайские Штаты	86.200	1,0	1.872	2,2	18,7	41
Цейлон . . . . .	63.900	4,1	1.148	1,8	2,8	5
Япония (с Кореей)	636.000	75,0	14.835	2,3	2,0	4,6
Брит. Ост-Индия.	5.068.300	320,0	58.459	1,2	1,8	2,2
Сиам . . . . .	633.000	8,2	1.974	0,31	2,4	0,7
Россия (Аз.) . . .	16.345.000	25,4	15.763	0,10	6,2	0,6
Китай . . . . .	11.138.600	360,0	11.004	0,10	0,3	0,03
Персия . . . . .	1.645.000	8,7	263	0,02	0,3	0,006
Малая Азия (Си- рия, Аравия, Кипр) . . . . .	3.650.000	—	5.468	1,15	—	—
Индия Нидерл. . .	610.800	—	3.029	0,50	—	—
Филиппинские острова . . . . .	297.900	—	1.217	0,41	—	—
Индо-Китай . . .	803.570	—	2.398	0,30	—	—
Индия Франц. . .	513	—	95	0,19	—	—
Малакка . . . . .	165.150	—	92	0,06	—	—
Индия Португ. . .	3.807	—	87	0,02	—	—

Россия (Аз.), в отношении обслуженности железными дорогами, занимает в Азии одно из последних мест.

§ 39. Абсолютные и относительные протяжения железных дорог в различных странах Африки и в африканских колониях европейских государств, а также степени обслуженности их железными дорогами, показаны в следующей таблице, данные которой относятся к началу 1921 года.

	Поверх- ность, км. <sup>2</sup>	Число жите- лей, млн.	Протя- жение жел. дорог, км.	Протяжение, приходящееся		Коэффициент обслуженности жел. дорогами.
				на 100 км. <sup>2</sup>	на 10.000 жит.	
Южно-Африканск. Союз . . . . .	3.212.740	6,0	18.468	0,58	30,8	18
Алжир и Тунис .	897.400	7,7	6.791	0,70	8,8	6,2
Египет, Судан . .	994.670	13,5	7.022	0,71	5,2	3,7
Марокко . . . . .	572.000	3,5	1.250	0,22	3,6	0,8
Британск. колонии.	4.869.630	—	7.332	0,15	—	—
Французск. „	6.832.360	—	7.061	1,10	—	—
Португ. „	2.056.770	—	2.048	0,10	—	—
Бельгийск. „	2.414.210	—	1.739	0,07	—	—
Итальянск. „	1.591.000	—	170	0,01	—	—

§ 40. Абсолютные и относительные протяжения железных дорог в различных частях Австралии, а также степени обслуженности этих частей железными дорогами, показаны в следующей таблице, данные которой относятся к началу 1921 г.

	Поверх- ность, км. <sup>2</sup>	Число жите- лей, млн.	Протя- жение жел. дорог, км.	Протяжение, приходящееся		Коэффициент обслуженности жел. дорогами.
				на 100 км. <sup>2</sup>	на 10.000 жит.	
Виктория . . . . .	227.620	1,3	6.633	2,91	51,0	148
Тасмания . . . . .	67.900	0,16	1.128	1,66	70,5	117
Новая Зеландия .	271.300	1,0	4.846	1,80	48,5	87
Квинслэнд . . . . .	1.736.600	0,9	8.389	0,48	93,3	45
Новый Южн. Уэльс .	801.500	1,6	7.139	0,89	44,6	40
Южная Австралия.	984.400	0,43	3.574	0,36	83,1	30
Зач. Австралия .	2.527,630	0,5	5.898	0,24	118,0	28
Гавайя с островами Мадо и Оагу .	17.700	—	142	0,80	—	—
Сев. Территория .	1.356.180	—	322	0,02	—	—



§ 41. Абсолютные и относительные протяжения железных дорог в различных частях света, а также степени обслуженности последних железными дорогами к началу 1921 года, показаны в нижеследующей таблице.

	Поверхность, км. <sup>2</sup>	Прим. число жителей, милл.	Протяжение жел. дорог, км.	Протяжение, проходящееся		Коэффициент обслуженности жел. дорогам.
				на 100 км. <sup>2</sup>	на 10.000 жпт.	
Америка . . . . .	41.937.000	200	611.721	1,46	30,6	45
Европа . . . . .	10.262.000	477	372.688	3,6	7,8	28
Австралия . . . . .	8.958.600	7,7	38.071	0,42	49,5	21
Африка . . . . .	29.192.600	150	51.881	0,18	3,5	0,63
Азия . . . . .	44.143.000	1.100	117.704	0,27	1,1	0,30
Весь земной шар . . . . .	—	—	1.192.065	—	—	—

Из приведенной таблицы видно, что богаче всех частей света обслужена железными дорогами Америка, при том обслужена она на 60% больше Европы, меньше же всех обслужена железными дорогами Азия (благодаря слабому развитию железных дорог в Аз. России):

Общее протяжение железных дорог на всем земном шаре составляло к началу 1921 г. 1.192.065 км. — протяжение, превышающее окружность экватора (40.070 км.) в 30 раз и среднее расстояние луны от земли (384.420 км.) в 3 раза.

Указанное протяжение железных дорог распределяется в следующих пропорциях между отдельными частями света:

Америка . . . . .	51 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> %
Европа . . . . .	31 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> %
Азия . . . . .	10%
Африка . . . . .	4 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> %
Австралия . . . . .	3 <sup>1</sup> / <sub>4</sub> %

из чего видно, что сеть Америки составляет, прим., <sup>1</sup>/<sub>2</sub>, а сеть Европы—прим. <sup>1</sup>/<sub>3</sub> всей мировой сети железных дорог; в общем, как видно, <sup>4</sup>/<sub>5</sub> названной сети падает на Америку и Европу и лишь <sup>1</sup>/<sub>5</sub>—на Азию, Африку и Австралию.

## Ч А С Т Ь П.

### Тяговые расчеты.

---

#### Г л а в а IX.

#### Общие указания.

§ 42. При проектировании новых дорог, а также при эксплуатации существующих дорог, приходится, на основании механических законов движения поездов, разрешать различные частные, относящиеся к названному движению вопросы: о предельных возможных составах поездов, о необходимом в поездах числе тормозов, о возможных скоростях движения поездов на участках пути различного профиля, о временах пробега поездами различных перегонов и т. д. Расчеты, помощью коих все подобного рода вопросы разрешаются, принято называть „**тяговыми расчетами**“.

Правильность производства названных расчетов имеет громадное значение, так как от нее зависит правильное проектирование новых дорог, а затем в значительной степени и размеры эксплуатационных расходов железных дорог.

На практике тяговые расчеты производятся более точными или менее точными способами, смотря по тому, для каких условий они производятся. В общем, можно заметить, для существующих дорог названные расчеты обычно производятся более точными способами, так как для сего в данном случае имеются, во всяком случае могут иметься, благодаря возможности производства опытных поездок, более или менее точные расчетные данные, для строящихся же дорог тяговые расчеты

обычно производятся несколько менее точными способами, однако, все-же такими способами, которые отнюдь не уменьшают результатов расчета, а, наоборот, дают даже некоторый запас в расчетах.

Все тяговые расчеты производятся в метрической системе: веса выражаются в  $kg$  или  $t$ , силы—в  $kg$ , расстояния—в  $m$  или  $km$ , скорости движения поездов—в  $km/h$  и т. д.

Точность арифметических действий при тяговых расчетах обычно принимается нижеследующая:

для расстояний . . . . .	10	$m$
„ веса составов поездов . . . . .	10	$t$
„ скоростей движения поездов . . . . .	0,1	$km/h$
„ сил тяги, сопротивл. и торможения . . . . .	10	$kg$
„ таких же удельных сил . . . . .	0,1	$kg$
„ расхода воды на перегонах . . . . .	10	$kg$ или $0,01 m^3$
„ „ „ „ протяжении 1 $km$ . . . . .	1	$kg$ „ $0,001 m^3$
„ „ топлива на перегонах . . . . .	10	$kg$
„ времен пробега перегонов . . . . .	1	$m$
„ „ „ весьма малых перег. . . . .	0,1	$m$
„ „ „ 1 $km$ пути . . . . .	0,01	$m$
„ мощности паровоза . . . . .	1	л. с.
„ фиктивных уклонов . . . . .	0,0001	

В общем тяговые расчеты обнимают вопросы двух родов:

- 1) вопросы определения сил, приложенных к поезду, и
- 2) вопросы самого движения поезда.

## О Т Д Е Л I.

### Силы, приложенные к поезду.

§ 43. Силы, приложенные к поезду, бывают трех родов:

- 1) силы естественного сопротивления поезда движению, 2) сила тяги паровоза и 3) силы искусственного сопротивления поезда движению—тормозные силы.

## Г Л А В А X.

Силы сопротивления поезда движению <sup>1)</sup>.

§ 44. Из числа элементов, из которых состоит поезд, лишь один паровоз проявляет силу, движущую поезд, остальные же элементы—тендер и вагоны (вместе с тем отчасти и сам паровоз)—проявляют силы, оказывающие сопротивление (естественное) движению поезда (*der Zugwiderstand, la résistance du train, the train resistance*).

В зависимости от условий, в которых находится рельсовый путь и происходит движение поезда, необходимо различать нижеследующие сопротивления движению каждого из элементов поезда: 1) основное сопротивление движению на прямом и горизонтальном пути при равномерной скорости ( $W_0$ ) и 2) дополнительное сопротивление движению: а) от уклонов ( $W_i$ ), б) от закруглений пути ( $W_r$ ) и в) от ускорения и замедления ( $W_p$ )

Полное сопротивление движению (*der Gesamtwiderstand, la résistance totale, the total resistance*) какого-либо элемента поезда (паровоза, тендера или вагона) представляет собой алгебраическую сумму всех отдельных сил сопротивления этого элемента, т. е. для каждого элемента

$$W = W_0 + W_i + W_r + W_p$$

Полное же сопротивление целого поезда представляет собой сумму сил сопротивления отдельных его элементов, т. е.

$$W = W^{\text{II}} + W^{\text{T}} + W^{\text{B}},$$

где  $W^{\text{II}}$  — полное сопротивление паровоза,

$W^{\text{T}}$  — " " тендера,

$W^{\text{B}}$  — " " всех вагонов в поезде.

<sup>1)</sup> Ниже во всех случаях силы естественного сопротивления поезда движению обозначаются буквой  $W$ —начальной буквой нем. слова *Widerstand* (сопротивление).

Сопротивление  $W^{kg}$  какого-либо элемента поезда (паровоза, тендера или вагона), весом  $P^t$ , определяется путем умножения данного веса на „удельное сопротивление“  $w^{kg}$  (*der spezifischer Widerstand, la résistance spécifique, the specific resistance*), иногда называемое еще „коэффициентом сопротивления“ (*die Widerstandsziffer, le coefficient de résistance, the coefficient of resistance*)—сопротивление в  $kg$ , приходящееся на 1  $t$  веса элемента поезда, т. е.

$$W = w \text{ kg/t} \cdot P^t \text{ [kg]}.$$

Очевидно, что названное удельное сопротивление элемента поезда ( $w$ ) так же, как и полное его сопротивление, в зависимости от условий, в которых находится рельсовый путь и происходит движение экипажа, слагается из основного сопротивления на прямом и горизонтальном пути ( $w_o$ ) и дополнительных сопротивлений от уклона ( $w_i$ ), от кривой ( $w_r$ ) и от ускорения ( $w_p$ ), т. е.

$$w = w_o + w_i + w_r + w_p \text{ [kg/t]}.$$

Таким образом, полное сопротивление поезда  $W$  выражается:

$$W = w^{\text{II}} P_{\text{II}} + w^{\text{T}} P_{\text{T}} + w^{\text{B}} P_{\text{B}} \text{ [kg]},$$

где:  $P_{\text{II}}$  — вес паровоза в рабочем состоянии (*das Dienstgewicht* или *Betriebsgewicht, le poids en service, the weight in working order*) в  $t$ ,

$P_{\text{T}}$  — вес тендера (расчетный) в  $t$ ,

$P_{\text{B}}$  — вес всех вагонов в поезде в  $t$ ,

$w^{\text{II}}$  — полное удельное сопротивление паровоза в  $\text{kg/t}$ ,

$w^{\text{T}}$  — „ „ „ „ тендера „ „

$w^{\text{B}}$  — „ „ „ „ вагона „ „

Обыкновенно, при определении сопротивления движению, тендер не отделяется от паровоза и удельное сопротивление берется для этих обоого рода элементов поезда общее  $w^{пт}$ ; тогда полное сопротивление поезда выражается:

$$W = w^{пт} P_{пт} + w^в P_в \text{ [kg]},$$

где  $P_{пт}$  — расчетный вес паровоза с тендером в  $t$ . Это имеет место по отношению не только к **танк-паровозам** (*die Tenderlokomotive, la locomotive à tender, the tank-locomotive*), но и к **паровозам с отдельным тендером** (*die Lokomotive mit Schlepptender, la locomotive avec tender séparé, the tender engine*).

Иногда, когда можно обойтись менее точными расчетами, удельное сопротивление берется общее —  $w$  для всех элементов поезда, иначе говоря, для всего поезда в целом; тогда полное сопротивление поезда выражается:

$$W = w \cdot Q \text{ [kg]},$$

где  $Q$  — **полный вес поезда** (*das Zuggewicht, le poids du train, the weight of train*) в  $t$ .

Надлежит заметить, что, при определении сопротивления движению тендера, у нас обычно принимается в расчет не полный вес тендера в рабочем состоянии, а вес его при  $\frac{2}{3}$  запасов воды и топлива — „расчетный“ вес тендера. В связи с этим, ниже во всех случаях под  $P_{т}$  надо понимать именно „расчетный вес тендера“, а под  $P_{пт}$  — полный вес паровоза в рабочем состоянии + расчетный вес тендера, иначе говоря, „расчетный вес паровоза с тендером“.

Во всех вышеуказанных случаях под словом „сопротивление“ подразумевается естественное сопротивление, т. е. в это понятие не включается сопротивление при торможении, как сопротивление искусственное, вызываемое по мере надобности.

Ст. 1. Основное сопротивление движению поездов на прямом и горизонтальном пути при равномерной скорости ( $W_0$ ).

§ 45. Основное сопротивление движению (*Der Grundwiderstand, la résistance, the pure resistance* <sup>1)</sup> всякого элемента поезда (паровоза, тендера или вагона) обуславливается в общем шестью нормальными (всегда действующими) основными причинами, вытекающими из самой сущности перемещения элемента по рельсовому пути:

- 1) трением скольжения (первого рода) в осевых шейках;
- 2) трением качения (второго рода) на ободу колес;
- 3) потерями живой силы (кинетической энергии) на стыках, выбоинах и других неровностях рельсового пути;
- 4) потерями живой силы при покачиваниях, виляниях и сотрясениях экипажа в пути;
- 5) трением (первого рода) между ребрами колес и рельсами;

6) сопротивлением (лобовым) воздушной среды при тихой погоде и небольшом ветре.

Сопротивление паровоза, надо заметить, обуславливается кроме, как указанными шестью причинами, еще сопротивлением от трений в движущем и парораспределительном механизмах.

Для шести указанных основных слагаемых основного сопротивления можно принять: 1) что 1-ое слагаемое почти постоянно в известных пределах изменений скорости, 2) что 2-ое, 3-е, 4-ое и 5-ое слагаемые увеличиваются вместе со скоростью и, вместе с тем, существенно изменяются в зависимости от условий рельсового пути (жесткости рельса, прочности и жесткости стыков, подбивки и рихтовки пути), наконец, 3) что 6-ое слагаемое увеличивается пропорционально квадрату скорости.

<sup>1)</sup> Как видно, это сопротивление за границей называется различно: в Германии „основным сопротивлением“, во Франции—просто „сопротивлением“, в Америке—„чистым сопротивлением“. У нас принято его называть так, как в Германии.

Кроме приведенных выше шести нормальных (всегда действующих) основных причин имеются еще и некоторые случайные (не всегда действующие) причины, обуславливаемые атмосферой, или путем, или самим поездом и оказывающие тоже влияние на сопротивление экипажей, а именно:

1) низкая температура воздуха (увеличивает первое основное слагаемое сопротивления—трение в осевых шейках);

2) ветер (увеличивает шестое слагаемое—сопротивление воздушной среды, а боковой ветер, сдвигающий поезд вбок, еще и пятое слагаемое—трение между ребрами колес и рельсами);

3) снег на рельсах (увеличивает второе слагаемое—трение качения на ободу колес);

4) усилие по сцепным приборам (увеличивает или соответственно уменьшает четвертое слагаемое—потерю живой силы при влияниях экипажа);

5) тип и состояние верхнего строения пути (влияют в смысле увеличения или уменьшения третьего и четвертого слагаемых—потери живой силы при покачиваниях, влияниях и сотрясениях экипажей в пути).

Основное сопротивление движению элементов поезда на прямом и горизонтальном пути не может быть рассчитано теоретически с достаточной для практики точностью и потому оно всегда определяется по эмпирическим формулам, выведенным на основании результатов опытов, измерений и наблюдений над движением поездов.

Совершенно очевидно, что названного рода формулы различны для паровозов с тендерами и вагонов; мало того, они различны для разного рода паровозов (пассажирских и товарных и др.) и разных родов вагонов (пассажирских и товарных, двух-осных и тележечных, тележечных четырех-осных и шести-осных, крытых товарных и открытых и др.). Однако, надо заметить, имеются и формулы, дающие основное удельное сопротивление для поезда в целом, иначе говоря, обнимающие сопротивление паровоза с тендером и сопротивление вагонов—формулы теоретически неправильные.

Для получения правильных для данного случая результатов надлежит, как правило, пользоваться формулами, опре-



деленными на основании результатов опытов с соответствующим экипажем и при условиях движения, близких к данному случаю. Формулами же, обнимающими сопротивление паровоза с тендером и сопротивление вагонов (теоретически неправильными), можно пользоваться лишь при всякого рода приблизительных подсчетах, при чем если уже такого рода формулами пользоваться, то рекомендуется в общем пользоваться лишь теми из них, которые относятся к груженным товарным поездом, для которых гипотеза о равенстве сопротивления паровоза и вагонов не слишком далека от действительности: для пассажирских поездов безусловно лучше во всех случаях определять отдельно сопротивление паровоза с тендером и сопротивление вагонов.

Эмпирические формулы, по которым рассчитываются основные удельные сопротивления, вернее сказать—коэффициенты в этих формулах, определяются опытным путем различными способами: путем записи скорости движения экипажей по равномерно наклонному пути (при закрытом регуляторе паровоза), путем измерений замедляющей силы при движении экипажей по горизонтальному пути, помощью индикаторов, динамометра или также динамических маятников, указывающих ускорение и замедление движения экипажей<sup>1)</sup>).

Опыты по определению основного удельного сопротивления движению на прямом и горизонтальном пути были произведены различными исследователями в громадном количестве как за границей, так и у нас в России, в связи с чем имеется значительное число эмпирических формул. Однако, большинство таких формул ныне имеет, можно сказать, лишь историческое значение, так как сопротивление всякого рода жел.-дор. экипажей в значительной степени зависит от их устройства, между тем последнее, как известно, постоянно подвергалось изменениям. В виду сего, для наших чисто практических целей, вообще, и, в частности, для проектирования новых дорог ныне представляют интерес лишь те фор-

<sup>1)</sup> Обстоятельный обзор применяемых способов расчета (также и полученных опытных данных) дал в недавнее время Sauzin в своей статье „Die Widerstände der Eisenbahnfahrzeuge“ Oesterr. Woch. f. d. öff. Bau-dienst. 1917 г.

мулы, которые выведены из опытов над **современными** типами экипажей, в особенности формулы, выведенные из опытов над русскими экипажами и при русских условиях или во всяком случае оправданные такого рода опытами, если формулы основаны на заграничных опытах.

Прежде, чем приводить ныне применяемые эмпирические формулы для основного удельного сопротивления разного рода жел.-дор. экипажей, надлежит отметить, что большинство из таких формул имеют вид, приводимый к одному из следующих видов.

- (a)  $w_0 = a + bV + cV^2$  [kg/t] (вид, данный впервые *Scott Russell* ем).
- (b)  $w_0 = a + bV^2$  „ (вид, данный впервые *Clark*'ом).
- (c)  $w_0 = a + bV$  „ „

где:  $V$  — скорость движения в km/h  
 $a$ ,  $b$  и  $c$  — постоянные коэффициенты, соответствующие данному экипажу или поезду в целом (определяемые, как было указано выше, опытным путем).

Первоначально исследователи вопроса сопротивления движению поездов (напр., *Clark* на шотландских дорогах) выражали результаты своих опытов формулами вида (b), но уже в половине прошлого столетия английские исследователи (*Wyndham*, *Harding* и *Scott Russell*), а также французские (*Vuillemin*, *Guebhard* и *Dieudonné*) начали выражать результаты формулами вида (a). Этого же вида формулы применяло впоследствии большинство исследователей сопротивления поездов — французские исследователи (*Barbier*, *Nadal*), немецкие (*Leitzmann*, *v. Borries*, *Mutzner*), австрийские (*Sanzin*), шведские (*Nothin*), английские и американские (*Smith*, *Lundie*, *Sprague*), также и русские (*Петров*, *Ломоносов*, *Лебедев*, *Лопушинский*, *Любимов* и *Дадаев*); однако, некоторые немецкие исследователи (*Frank*), австрийские (*Sanzin*) и американские (*Wellington*, *Henderson*, *Crawford*, *Forney*, *Wolff*) все же продолжали применять при обработке своих опытных данных первоначальную формулу вида (b).

чальные формулы вида (b). Лишь в позднейшее время некоторые американские исследователи (*Barnes, Henderson*, завод *Baldwin*, дорога *New-York—Central*) начали выражать результаты своих опытов формулами вида (c).

Из указанных формул трех видов теоретически наиболее правильными являются трехчленные формулы вида (a), как формулы, содержащие члены со скоростью в первой степени и со скоростью в квадрате, выражающие изменение сопротивлений движению по параболе,—менее правильными являются двухчленные формулы вида (b), не содержащие члена со скоростью в первой степени; что же касается двучленных формул вида (c), не содержащих члена с квадратом скорости и выражающих изменение сопротивлений по прямой, то такого рода формулы теоретически совсем неправильны, но они просты и в этом американские специалисты видят их практическое преимущество.

Надо еще заметить, что для сопротивления некоторых экипажей имеются еще формулы, содержащие член со скоростью в кубе (*Röckl, Desdovits*), однако, зависимость сопротивления от  $V^3$  представляется в общем не совсем обоснованной.

О формулах других видов (кроме указанных видов a, b и c), созданных специально для некоторого рода экипажей, будет сказано ниже.

## П. а) Основное сопротивление паровозов с тендерами ( $W_0^{HT}$ ).

§ 46. Полное основное сопротивление паровоза складывается из двух частей: сопротивления паровоза, как повозки, и сопротивлений, как машины — так называемых **внутренних сопротивлений паровоза** (*die inneren Widerstände der Lokomotive, les résistances intérieures de la locomotive, the resistances internal to the locomotive*), т. е. сопротивлений трения поршней в цилиндрах, штоков в сальниках, крейцкопфа о параллели, движущего и парораспределительного механизмов и шеек движущих осей в буксовых подшипниках в той части, которая зависит от давления пара. Строго говоря, в выражение основного сопротивления поезда следовало бы включать лишь сопротивление паровоза, как

повозки, которое может быть определено опытным путем— путем измерений сопротивления паровозов в холодном состоянии со снятыми шатунами. Однако, подобного рода опыты были произведены в общем в сравнительно небольшом масштабе, при том над паровозами далеко не всех типов (во Франции—опыты *Desdovits*, в Америке—опыты зав. *Baldwin*, в Германии—опыты „*Берлинского Бюро*“, в России—опыты *Лебедева*).

Большинство исследователей не разделяли обоих указанных выше сопротивлений паровозов и в общем дали свои формулы для полного удельного сопротивления паровоза, как повозки и как машины, при том паровоза вместе с тендером. В связи с сказанным, ранее, чем применять какую-либо из формул сопротивления паровозов, надлежит отдать себе отчет, к какого рода сопротивлению паровоза она собственно относится. Надо еще заметить, что сопротивление паровозов, особенно товарных и при малых скоростях движения, различно для случаев, когда паровоз ведет поезд и когда он идет без поезда (резервом); это обстоятельство установлено сравнительно в недавнее время. Поэтому более старыми формулами в общем надлежит пользоваться с известной осторожностью, так как большинство из них выведено из опытов над паровозами без поезда.

§ 47. **Пассажирские паровозы.** (*die Personenzuglokomotive, la locomotive à voyageurs, the passenger locomotive*) норм. колеи <sup>1)</sup>). Формулы полного удельного сопротивления пассажирского паровоза (как повозки и как машины) имеют вид  $a + bV + cV^2$  (*Sanzin, Leitzmann, Mutzner*, Вюртембергские дороги, австр. *Südbahn, Петров, Лопушинский*) или вид, приводимый к виду  $a + bV + cV^2$  (*Barbier, Nadal*), или, наконец, вид  $a + bV^2$  (*Frank*). Из всех этих формул наиболее подходящей для русских дорог является формула **Петрова**:

$$w_0^{\text{пт}} = 2,3 + 0,15 V + 0,001 V^2 \text{ [kg/t] }.$$

<sup>1)</sup> Под „нормальной колеей“ в данном случае и всюду ниже подразумевается заграничная нормальная колея 1435 mm и русская нормальная колея 1524 mm: разница между этими колеями, в отношении сопротивления движению поездов, значения не имеет.

Формулы удельного сопротивления пасс. паровоза как поковки имеют вид  $a + bV + cV^2$  (*Desdovits, Лебедев*) или  $a + bV^2$  (*Baldwin*). Из этих формул пригодной для русских дорог является формула **Лебедева**:

$$w_0^{\text{пт}} = 1,3 + 0,02 V + 0,0005 V^2 \text{ [кг/т]}.$$

§ 48. **Товарные паровозы** (*die Güterzuglocomotive, la locomotive à marchandises, the goods locomotive*) **норм. колеи**. Формулы полного удельного сопротивления тов. паровоза (как поковки и как машины) имеют вид  $a + bV + cV^2$  (*Sanzin, Leitzmann, Mutzner, Петров*) или  $a + bV^2$  (*Sanzin*). Из этих формул наиболее подходящей для русских дорог является формула **Петрова**:

$$w_0^{\text{пт}} = 4,3 + 0,15 V + 0,001 V^2 \text{ [кг/т]}.$$

Формула удельного сопротивления тов. паровоза, как поковки, известна лишь одна — формула **Ломоносова**:

$$w_0^{\text{пт}} = 1,4 + 0,04 V + 0,0006 V^2 \text{ [кг/т]}.$$

§ 49. **Любого рода паровозы нормальной колеи**. Формулы удельного основного сопротивления, указанные в §§ 47 и 48, имеют в виду „паровоз вместе с тендером“; следовательно, при пользовании этими формулами полное основное сопротивление паровоза с тендером ( $W_0^{\text{пт}}$ ) определяется из выражения:

$$W_0^{\text{пт}} = w_0^{\text{пт}} (P_{\text{п}} + P_{\text{т}}) \text{ [кг]}.$$

где:  $P_{\text{п}}$  — полный вес паровоза в рабочем состоянии в т,

$P_{\text{т}}$  — расчетный вес тендера в т,

$w_0^{\text{пт}}$  — удельное основное сопротивление на 1 т расчетного веса паровоза с тендером.

В Германии, надо заметить, средняя величина полного основного удельного сопротивления любого рода паровоза с

тендером (как повозки и как машины) определяется в последнее время по особому виду формуле **Strahl**'я:

$$w_0^{пт} = 2,5 + 0,067 \left( \frac{V}{10} \right)^2 + \left( a + 0,116 \frac{V}{D} \right) \frac{P_c}{P_n + P_T} \text{ [kg/t] ,}$$

где:  $P_c$  — сцепной вес паровоза в т,

$D$  — диаметр спаренных колес в м,

$a$  — коэффициент, зависящий от числа спаренных осей у паровоза и составляющий:

при 2 спаренных осях	—	$a = 2,5$
„ 3 „ „	—	$a = 4,0$
„ 4 „ „	—	$a = 5,5$
„ 5 „ „	—	$a = 7,0$

а средняя величина удельного сопротивления любого рода паровоза, как повозки—по формуле

$$w_0^{пт} = 2,5 + \frac{V^2}{1500} \text{ [kg/t] .}$$

Иногда в Германии полное основное сопротивление паровоза и тендера определяется из выражения:

$$W_0^{пт} = w_0^п P_n + w_0^т P_T \text{ [kg] ,}$$

где  $P_n$  и  $P_T$  имеют указанные выше значения, а  $w_0^п$  и  $w_0^т$  — средние величины основных удельных сопротивлений вообще паровозов и тендеров, определяемые по формулам *Frank*'а:

$$w_0^п = 2,6 \sqrt{n} + 0,00057 V^2 \text{ [kg/t] ,}$$

где  $n$  — число спаренных осей у паровоза, а

$$w_0^т = 2,5 + 0,00057 V^2 \text{ [kg/t] .}$$

Иногда  $w_0^п$  определяется еще по формуле

$$w_0^п = 4 \sqrt{n} + 0,002 V^2 \text{ [kg/t] ,}$$

где  $n$  — опять-таки число спаренных осей у паровоза.

Однако, в последнее время в Германии, Австрии и С.-А. С. Штатах полное основное сопротивление любого рода паровоза с тендером определяется чаще по формуле:

$$W_0^{\text{пт}} = (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} - P_{\text{с}}) w_0^{\text{п.о} + \text{т.о}} + P_{\text{с}} w_0^{\text{с.о}} + w_0^{\text{воз}},$$

где:  $P_{\text{п}}$  — полный вес паровоза в т

$P_{\text{с}}$  — сцепной " " " "

$P_{\text{т}}$  — расчетный вес тендера " "

$w_0^{\text{п.о} + \text{т.о}}$  — удельное основное сопротивление паровозных поддерживающих (передних и задних) и тендерных осей, принимаемое:

по *Strahl'*ю:  $= 2,5 \text{ kg/t}$ ,

по *Sanzin'*ю:  $= 1,8 + 0,015 V \text{ [kg/t]}$ ;

в С.-А. С. Штатах  $=$  удельному сопротивлению товарных вагонов приблизительно такого же веса или одинаковой нагрузки на ось.

$w_0^{\text{с.о}}$  — удельное основное сопротивление сцепных осей паровоза (полное, включая и машину), принимаемое:

по *Strahl'*ю:

	При 2-х цилиндрах.	При 4-х цилиндрах.
при 2 спар. осях . . . .	5,8 kg/t	6,0 kg/t
" 3 " " . . . .	7,3 " "	7,5 " "
" 4 " " . . . .	8,4 " "	8,6 " "
" 5 " " . . . .	9,3 " "	9,5 " "

по *Sanzin'*ю:  $a + b \frac{V}{D}$ ,

где:  $D$  — диаметр спаренных колес в м.

$a$  и  $b$  — коэффициенты, составляющие:

при 2 спар. осях . . . .	$a = 5,5$	$b = 0,08$
" 3 " " . . . .	$a = 7,0$	$b = 0,10$
" 4 " " . . . .	$a = 8,0$	$b = 0,28$
" 5 " " . . . .	$a = 8,8$	$b = 0,36$

в С.-А. С. Штатах:  $= 10 - 12,5 \text{ kg/t}$

$w_0^{\text{воз.}}$  — удельное сопротивление воздушной среды  $= cV^2$ ,  
где коэффициент  $c$  принимается:

по Strahl'ю:  $= 0,006 F$  }  $F$  — площадь наиб. поперечн. сече-  
по Sanzin'у:  $= 0,006 F$  } ния паровоза  $= 7,5 - 10 \text{ m}^2$ .

в С.-А. С.

Штатах:  $= 0,042$ .

§ 50. Паровозы узкой колеи. При узкой колее сопротивления от трения в осевых шейках и от трения качения больше, чем при нормальной колее, вследствие в общем более низких колес и более слабых осевых шеек; также больше и сопротивление воздушной среды, так как в выражении этого сопротивления  $\lambda \frac{F}{P} V^2$  величина  $p$  веса экипажа с уменьшением колеи быстрее уменьшается, чем лобовая поверхность  $F$  ( $\lambda$  — постоянный коэффициент  $= 0,005 - 0,10$  при  $V \text{ km/h}$ ). Однако, до сего времени нет по сему вопросу надлежащих опытных данных.

В Германии основное удельное сопротивление узкоколейных паровозов с тендером определяется обычно по формулам *Haarmann'*а:

при колее в 1000 mm. . .  $w_0^{\text{пт}} = 4 \sqrt{n} + 0,0025 V^2 \text{ [kg/t]}$

„ „ „ 750 „ . .  $w_0^{\text{пт}} = 4 \sqrt{n} + 0,0030 V^2$  „

„ „ „ 600 „ . .  $w_0^{\text{пт}} = 4 \sqrt{n} + 0,0035 V^2$  „

где  $n$  — число спаренных осей у паровоза, а в последнее время еще и по следующим формулам:

при колее в 1.000 mm.

$$w_0^{\text{пт}} = 2,7 \sqrt{a} + 0,0015 V^2 \text{ [kg/t /,}$$

при колее в 750 mm.

$$w_0^{\text{пт}} = 2,8 \sqrt{a} + 0,0010 V^2 \quad \text{„}$$

при колее в 600 mm.

$$w_0^{\text{пт}} = 2,9 \sqrt{a} + 0,0008 V^2 \quad \text{„}$$

где  $a$  составляет:  $\left\{ \begin{array}{l} \text{для товарных паровозов} \quad . . . . . 3 \\ \text{„ пассажирских паровозов} \quad . . . . . 2. \end{array} \right.$



Как видно, с уменьшением колеи удельное сопротивление паровоза в общем увеличивается.

При всякого рода подсчетах, не требующих особой точности, основное удельное сопротивление узкоколейных паровозов нередко в Германии принимается, независимо от величины узкой колеи, при скоростях движения 20 — 30 km/h. кругло в 10 kg/t, при больших же скоростях — 12kg/t. Во Франции основное удельное сопротивление узкоколейных паровозов с тендером обычно определяется по формуле *Desdovits*

$$w_0^{\text{пр}} = 3 + 0,17V \text{ [kg/t]}.$$

### П. б) Основное сопротивление вагонов ( $W_0^B$ ).

§ 51. Удельное основное сопротивление **вагонов** (*der Wagen, le wagon, the car*) в значительной степени зависит, как показали многочисленные опыты за границей и у нас, от веса *brutto* вагона <sup>1)</sup>. Для пассажирских вагонов и пассажирского транспорта это обстоятельство не имеет особого значения, так как нагрузка названных вагонов пассажирами в общем оказывает небольшое влияние на полный

<sup>1)</sup> Одними из новейших такого рода опытов с товарными вагонами являются опыты 1922 г., произведенные английской дорогой Great Northern, на участке Peterborough—Boston с прямым и почти горизонтальным профилем, над двух-осными вагонами, весом *brutto* 16t (= 6 + 10), и четырех-осными (тележечными) вагонами весом 67,2t (= 17,2 + 50). Результаты опытов нижеиследующие.

Скорость, км/ч.	Удельное сопротивление, kg/t.		Для четырех-осных вагонов удельное сопротивление меньше на %.
	Двух-осные вагоны.	Четырех-осные вагоны.	
16	1,9	1,6	16
32	1,9	1,6	16
48	2,5	1,7	32
64	3,6	2,2	39
80	5,7	3,1	46

вес вагона (нагрузка вагонов пассажирами составляет *maximum* 12<sup>0</sup>/<sub>0</sub> от полного веса вагонов), для товарных же вагонов и товарного транспорта указанное обстоятельство является фактором весьма большого значения, так как полная полезная нагрузка—**подъемная сила** (*die Tragfähigkeit, la capacité de charge, the live-load capacity*) таких вагонов составляет 67<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — 72<sup>0</sup>/<sub>0</sub> от полного веса вагонов. В общем говоря, вес пассажирского вагона в поезде колеблется в сравнительно небольших пределах, вес же товарного вагона в поезде колеблется в весьма широких пределах.

Формулы удельного основного сопротивления вагонов имеются двух родов: в одних формулах (в большинстве зап.-европейских) выражена зависимость названного сопротивления лишь от скорости, в других же (американских и русских)—не только от скорости, но и от среднего веса *brutto* вагонов в поезде. Из сказанного выше явствует, что первого рода формулы в общем допустимы к применению лишь по отношению к пассажирским вагонам, а что по отношению к товарным вагонам должны применяться исключительно формулы второго рода.

Надлежит еще отметить, что удельное основное сопротивление четырех-осных вагонов (на тележках) в общем меньше такого же сопротивления двух-осных и трех-осных вагонов, с одной стороны, благодаря тому, что меньше сопротивление воздушной среды, вследствие меньшего числа лобовых стенок, с другой же стороны, благодаря меньшему влиянию четырех-осных вагонов, вследствие большей у них базы. В виду сего, при определении сопротивления движению вагонов надлежит различать не только пассажирские и товарные вагоны, но еще и то, какого рода те и другие вагоны—двух-осные, трех-осные или же четырех-осные.

§ 52. **Пассажирские вагоны** (*der Personenwagen, la voiture à voyageurs, the passenger coach*) **2-х и 3-х-осные нормальной колес.** Подходящими формулами удельного основного сопротивления пасс. двух- или трех-осных вагонов являются формулы *Nadal'*я и *Barbier* вида, приводимого к виду  $a + bV + cV^2$ , а именно:

*Nadal:*

$$w_0^{B^{n/2}} = 1,6 + 0,3 V \frac{V + 90}{1.000} \text{ [кг/т] ,}$$

*Barbier:*

$$w_0^{B^{n/2}} = 1,6 + 0,46 V \frac{V + 50}{1.000}$$

Обе эти формулы выведены на основании результатов опытов над пассажирскими двух-осными вагонами, но они могут применяться и к трех-осным вагонам, за неимением для последних специальных формул.

§ 53. **Пассажирские вагоны 4-х-осные—тележечные** (*der Drehgestellwagen, la voiture à bogies, the car with trucks*) **нормальной колеи.** Формулы удельного основного сопротивления пасс. 4-х-осных вагонов имеют вид  $a + bV^2 + cV^2$  (*Nothin*), или вид, приводимый к виду  $a + bV + cV^2$  (*Barbier, Nadal, Ломоносов, Лебедев, Любимов и Дадаев*), или, наконец, вид  $a + bV^2$  (*Frank, Nothin*), при чем новейшими заграничными формулами являются формулы *Nothin'a*:

$$w_0^{B^{n/4}} = 2,55 + 0,027 V + 0,00127 V^2 \text{ [кг/т] }$$

и

$$w_0^{B^{n/4}} = 2,83 + 0,00168 V^2 \text{ [кг/т] ,}$$

выведенные на основании опытов Шведских правит. дорог от 1914 г.

Из всех этих формул, не учитывающих веса вагонов, наиболее подходящей для русских дорог является формула **Ломоносова:**

$$w_0^{B^{n/4}} = 1,4 + 0,2 V \frac{V + 100}{1000} \text{ [кг/т] .}$$

Если желательно, в связи с сказанным выше, учитывать при определении сопротивления пассажирских тележечных вагонов вес таковых, то подходящей для сего формулой является формула **Пеннсильванской жел. дороги**

$$w_0^{B^{n/4}} = 0,85 \left[ \frac{45,36}{q} + 0,75 + \frac{V(V + 25,7)}{544 V q} \right] \text{ [кг/т] ,}$$

где  $q$  — вес *brutto* вагона в  $t$ , а  $0,85$  — коэффициент, введенный в связи с тем, что среднее сопротивление вагонов составляет, как показали опыты, приблизительно  $85\%$  от сопротивления, даваемого формулой, заключенной в большие скобки.

В Германии в этом случае в последнее время иногда применяется сравнительно новая формула *Strahl*'я

$$w_0^{B^{1/4}} = 2,5 + 0,01 \frac{V^2}{q} [\text{kg}/t].$$

Интересно попутно отметить, что опыты Пеннсильванской дороги, между прочим, показали, что число осей в тележке (две или три) практически не влияет на величину удельного сопротивления (на самом деле сопротивление вагонов одинакового веса на трех-осных тележках меньше, чем вагонов на двух-осных тележках, вследствие более тяжелых тележек с тремя осями).

§ 54. **Товарные вагоны** (*der Güterwagen, le wagon à marchandises, the freight-car*) **2-х-осные норм. колеи.** Формулы удельного основного сопротивления товарных 2-х-осных вагонов существуют двух родов: 1) в одних выражена зависимость названного сопротивления лишь от скорости; эти формулы имеют вид  $a + bV + cV^2$  (*Leitzmann*) или вид, приводимый к виду  $a + bV + cV^2$  (*Barbier, Nadal*), или вид  $a + bV^2$  (*Leitzmann*), или, наконец, вид  $a + bV$  (*Ломоносов*), 2) в других выражена зависимость названного сопротивления не только от скорости, но и от среднего веса *brutto* вагонов в поезде (*Frank, Strahl, Петров, Ломоносов, Лебедев*).

Из формул обоих указанных родов в общем пригодными к применению при точных расчетах надлежит считать, как то было объяснено выше, лишь формулы второго рода. Из этих последних формул наиболее подходящей для русских дорог является формула **Ломоносова** (обычно называемая у нас формулой Харьковско-Николаевской ж. д.);

$$w_0^{B^{T/2}} = 1,4 + \left( 0,04 + \frac{0,82}{q} \right) V [\text{kg}/t.],$$

где  $q$  — средний вес *brutto* вагонов в поезде в  $t$ .

При расчетах, не требующих особой точности, подходящими в данном случае формулами являются другие формулы **Ломоносова**:

для **груженых** вагонов:

$$w_0^{B T/2} = 1,4 + 0,06 V \text{ [kg/t]},$$

для **порожних** вагонов:

$$w_0^{B T/2} = 1,4 + 0,09 V \quad ,,$$

Надлежит заметить, что в случае, если бы по всем приведенным формулам основное удельное сопротивление получилось при малых скоростях менее  $2 \text{ kg/t}$ , то названное сопротивление рекомендуется принимать  $= 2 \text{ kg/t}$ .

В Германии в последнее время стали применяться сравнительно новые формулы *Strahl'*я:

для открытых груженых вагонов

$$w_0^{B T/2} = 2,5 + 0,006 \frac{V^2}{q} \text{ [kg/t]},$$

для крытых груженых вагонов

$$w_0^{B T/2} = 2,5 + 0,075 \frac{V^2}{q} \text{ [kg/t]},$$

для открытых негруженых вагонов

$$w_0^{B T/2} = 2,5 + 0,01 \frac{V^2}{q} \text{ [kg/t]}.$$

§ 55. **Товарные вагоны 4-х-осные — тележечные — норм. колес.** Опыты над сопротивлением товарных тележечных вагонов производились главным образом в С.-А. Соед. Штатах — Экспериментальным Техническим Институтом при Университете в Иллинойсе (под руководством проф. *Smith'a*) и передовой в техническом отношении Пеннсильванской жел. дорогой (под руководством инж. *Cole*).

Результаты опытов Иллинойского Экспериментального Института, производившихся в течение 1908—09 г.г., выражены формулами *Smith'a* и завода *Baldwin*:

*Smith*

$$w_0^B T/4 = \frac{0,312V + 19,8 - 0,017q}{4,08 + 0,1675q} \text{ [kg/t]}.$$

*Baldwin*

$$w_0^B T/4 = 0,75 + \frac{53 + 0,621V}{1,1q + 1} + 0,000193V^2 \text{ [kg/t]}.$$

Результаты опытов того же Института, производившихся в 1915 г., выражены более простой формулой *Smith*'а:

$$w_0^B T/4 = \frac{V + 65}{12 + 0,55q} \text{ [kg/t]}.$$

Результаты опытов Пеннсильванской ж. д., производившихся в течение 1907—15 г.г., выражены формулой:

$$w_0^B T/4 = 0,7 + \frac{50,8}{q} \text{ [kg/t]}.$$

отличающейся от предыдущих формул тем, что в ней выражена зависимость удельного сопротивления товарных вагонов на двух-осных тележках лишь от веса вагона  $q$  (опыты названной дороги показали, что основное удельное сопротивление товарных тележечных вагонов при скоростях ниже 40 km/h практически не зависит от скорости, а зависит только от веса вагона).

Указанной последней формулой Пеннсильванская дорога на деле пользуется лишь при весах вагонов на двух-осных тележках до 70 t, при весах же более 70 t названная дорога принимает основное удельное сопротивление независимо от веса вагонов, равным 1,5 kg/t, так как опыты показали, что в последнем случае, т. е. при весах вагонов более 70 t, названное сопротивление практически не зависит от веса вагона и представляет собой приблизительно некоторую постоянную величину, равную 1,5 kg/t.

Для русских товарных вагонов на двух-осных тележках в общем можно рекомендовать при точных расчетах пользоваться формулой *Smith*'а:

$$w_0^B T/4 = \frac{V + 65}{12 + 0,55q} \text{ [kg/t]}.$$

так как, с одной стороны, формула эта выведена на основании весьма тщательно произведенных опытов и все материалы опытов опубликованы, с другой же стороны, эта формула проверена для русских условий опытами 1916 г. на Харьковско-Николаевском участке Южных дорог.

При расчетах, не требующих особой точности, можно пользоваться следующими формулами:

для **груженных** вагонов:

$$w_0^{B T/4} = 1,5 + 0,02 V \text{ [kg/t]},$$

для **порожних** вагонов:

$$w_0^{B T/4} = 2,5 + 0,04 V \quad ,$$

В общем рекомендуется удельное основное сопротивление названных вагонов принимать во всяком случае не менее  $2 \text{ kg/t}$ , если бы такое сопротивление по приведенным формулам получалось менее  $2 \text{ kg/t}$ .

§ 56. **Любого рода пассажирские вагоны нормальной колеи.** Если тип пассажирских вагонов в поезде не известен, а известен лишь общий вес пасс. состава  $P_B^{\text{II}}$  в t, то основное сопротивление всех вагонов может определяться из выражения:

$$W_0^{\text{BII}} = w_0^{\text{BII}} \cdot P_B^{\text{II}} \text{ [kg]},$$

где  $w_0^{\text{BII}}$  — некоторая средняя величина основного удельного сопротивления вообще пассажирских вагонов, определяемая по формуле *Frank'a*

$$w_0^{\text{BII}} = 2,5 + 0,0003 V^2 \text{ [kg/t]}.$$

§ 57. **Любого рода товарные вагоны нормальн. колеи.** Если тип товарных вагонов в поезде не известен, а известен лишь общий вес состава товарного поезда  $P_B^{\text{T}}$  в t, то основное сопротивление всех вагонов может определяться из выражения

$$W_0^{\text{BT}} = w_0^{\text{BT}} \cdot P_B^{\text{T}} \text{ [kg]},$$

где  $w_0^{\text{BT}}$  — некоторая средняя величина основного удельного сопротивления вообще товарных вагонов, которая определяется: в Германии по формуле *Frank*'а

$$w_0^{\text{BT}} = 2,5 + 0,0005 V^2 \text{ [kg/t]},$$

во Франции по формуле дороги *Paris—Lyon—Méditerranée*

$$w_0^{\text{BT}} = 1,5 + 0,1 V \text{ [kg/t]}$$

в С.-А. Соед. Штатах по формуле завода *Baldwin*

$$w_0^{\text{BT}} = 1,5 + 0,05 V \text{ [kg/t]}.$$

Последняя формула проверена опытами и для русских условий, при чем у нас рекомендуется  $w_0^{\text{BT}}$  принимать во всяком случае не менее 2 kg/t.

Если в рассматриваемом случае неизвестности рода товарных вагонов известно общее число осей в поезде, то *Glinksky* рекомендует при определении основного сопротивления всех вагонов исходить не из общего их веса, а из данного числа осей и в общем определять названное сопротивление из выражения:

$$W_0^{\text{BT}} = 0,55 V \times n \text{ [kg/t]},$$

где 0,55 V — некоторое среднее основное сопротивление одной оси в kg, а  $n$  — число осей в поезде.

Это выражение, данное *Glinksky*'м в 1918 г., для русских условий еще не проверено, почему от пользования им пока рекомендуется воздерживаться.

§ 58. Вагоны узкой колеи. Надлежащих опытных данных относительно сопротивления вагонов узкой колеи до сего времени не имеется.

В Германии основное удельное сопротивление узкоколейных вагонов, независимо от того, пассажирские ли это вагоны, или товарные, определяется обычно по формулам *Haarman*'а:



при колее в 1.000 мм.

$$w_0^B = 1,7 + 0,0013 V^2 \text{ [kg/t]},$$

при колее в 750 мм.

$$w_0^B = 2,0 + 0,0015 V^2 \text{ [kg/t]},$$

при колее в 600 мм.

$$w_0^B = 2,2 + 0,0017 V^2 \text{ [kg/t]},$$

а в последнее время еще и по следующим формулам:

при колее в 1.000 мм.

$$w_0^B = 2,6 + 0,0003 V^2 \text{ [kg/t]},$$

при колее в 750 мм.

$$w_0^B = 2,7 + 0,0002 V^2 \text{ [kg/t]},$$

при колее в 600 мм.

$$w_0^B = 2,8 + 0,0002 V^2 \text{ [kg/t]}.$$

Как видно, с уменьшением колеи удельное основное сопротивление вагонов в общем увеличивается.

При всякого рода подсчетах, не требующих особой точности, основное удельное сопротивление узкоколейных вагонов нередко в Германии принимается, независимо от величины узкой колеи: при скоростях движения 20—30 km/h, кругло в 4 kg/t, при больших же скоростях—5 kg/t.

Во Франции, надо заметить, считают, что на основное сопротивление движению поезда, при прочих равных условиях, ширина колеи не оказывает влияния и что потому для узкоколейных вагонов могут в общем применяться те же формулы основного удельного сопротивления, как и для нормально-колейных вагонов, каковые формулы в общем дают довольно удовлетворительные для практики узкоколейных до-

рог результаты. Из числа таких формул для узкой колеи, для скоростей мене 60 km/h, нередко применяется формула *Desdovits*

$$w_0^B = 1,50 + 0,0007 V^2 \text{ [kg/t]}.$$

П. в) Основное сопротивление поезда в целом ( $W_0$ ).

§ 59. Если типы паровоза и вагонов в пассажирском или товарном поезде не известны, а известны лишь вес паровоза с тендером и общий вес вагонов, то основное сопротивление поезда в целом ( $W_0$ ), т. е. паровоза с тендером и вагонов, определяется из выражения

$$W_0 = w_0 (P_{\text{пт}} + P_{\text{в}}) \text{ [kg]},$$

где  $P_{\text{пт}}$  — расчетный вес паровоза с тендером в т,

$P_{\text{в}}$  — вес всех вагонов в поезде в т,

$w_0$  — некоторая средняя величина основного удельного сопротивления поезда в целом, определяемая при нормальной колее:

в Германии, независимо от рода поезда, по формуле баварских дорог

$$w_0 = 2,4 + 0,001 V^2 \text{ [kg/t] } ^1)$$

или по формуле прусских дорог (так называемой Эрфуртской формуле).

$$w_0 = 2,4 + 0,00077 V^2 \text{ [kg/t] },$$

или же с учетом рода поезда по формулам *Frank'a*:

для пассажирских поездов

$$w_0 = 2,5 + 0,0004 V^2 \text{ [kg/t] },$$

<sup>1)</sup> Эта формула часто называется у нас неправильно формулой *Clark'a*; последним была дана такая формула:

$$w_0 = 3,63 + 0,001 V^2 \text{ [kg/t] }.$$

для товарных поездов

$$w_0 = 2,5 + 0,0006 V^2 \text{ [kg/t]},$$

или *Troske*:

для пассажирских поездов

$$w_0 = 2,5 + \frac{V^2}{2 \cdot 300} \text{ [kg/t]},$$

для товарных поездов

$$w_0 = 2,5 + \frac{V^2}{1.300} \text{ [kg/t]},$$

во Франции, независимо от рода поезда, по формуле *Barbier*

$$w_0 = 2,36 + 0,0245 V + 0,019 \frac{F}{P_{\text{ит}} + P_{\text{в}}} V^2 \text{ [kg/t]},$$

где  $F$  — наиб. поперечная поверхность поезда в  $m^2$ ,

в С.-А. Соед. Штатах для товарных поездов (из тележечных вагонов) по формуле завода *Baldwin*'а

$$w_0 = 1,5 + 0,05 V \text{ [kg/t]}.$$

Последняя формула, довольно хорошо выражающая основное сопротивление товарных груженых поездов, применима и для русских дорог норм. колеи, как это показали соответственные опыты в русских условиях над русскими товарными вагонами. При этом рекомендуется основное удельное сопротивление товарных поездов принимать при малых скоростях (менее 10 km/h) во всяком случае не менее 2 kg/t.

Для дорог с колеей в 750 mm основное удельное сопротивление поезда в целом принимается у нас ныне равным 4 kg/t согласно тому, как это установлено „Техническими условиями проектирования и сооружения железных дорог с шириною колеи в 750 mm“ (1922 г.).

П. г) Влияние температуры воздуха и погоды на основное сопротивление поездов.

§ 60. Все приведенные выше в п.п. а), б) и в) формулы основного сопротивления разного рода жел.-дор. экипажей и поездов в целом относятся к некоторым средним условиям

температуры и погоды в летнее время—условиям ясной, более или менее теплой (прим.  $+7^{\circ}\text{C}$  и выше) и тихой погоды (без ветра или при небольшом ветре, скорость коего не превышает  $30\text{ km/h}$ ). В осеннее и зимнее время названное сопротивление несколько больше, чем в летнее время, в связи с понижением температуры воздуха, наличием ветров (иногда весьма сильных) и нахождением иногда на рельсах некоторого слоя снега.

Как уже указано было выше, понижение температуры воздуха вызывает сгущение смазки в буксах и увеличение трения в осевых шейках, затем, сильные лобовые ветры на открытых местах увеличивают лобовое сопротивление воздушной среды, а боковые ветры, стремясь сдвинуть поезд в бок, вызывают увеличение трения первого рода между ребордами колес и рельсами, наконец, снег на рельсах увеличивает трение второго рода между колесами и рельсами (трение качения на ободке колес). Хотя относительно величины влияния погоды на основное сопротивление движению поездов и имеются некоторые опытные данные, а также имеются и некоторые формулы для оценки влияния температуры воздуха и ветра, например, у нас формулы Петрова (для оценки влияния снега на рельсах формулы вообще предложено не было), однако, надо признать, что оценка влияния погоды на основное сопротивление какими-либо формулами в общем вряд ли возможна; например, трудно оценить влияние ветра какой-либо формулой, когда не только сила его постоянно изменяется, но все время, в связи с движением поезда в кривых частях пути, меняется и направление ветра.

В виду сего, на практике влияние температуры и погоды обычно оценивается, когда это вообще требуется (напр., при составлении расписаний поездов), путем некоторой прибавки к основному сопротивлению, определенному по вышеуказанным формулам. Например, у нас, при составлении расписаний воинских поездов в пределах Европ. России, влияние погоды принято оценивать: севернее дуги большого круга, соединяющей Ригу и Астрахань, путем прибавки к основному удельному сопротивлению, определенному по подлежащей в данном случае формуле,  $1\text{ kg/t}$ , а южнее— $0,5\text{ kg/t}$ .

Надлежит заметить, что действующими у нас правилами вводить в расчеты постоянные поправки на увеличение сопротивления, вследствие неблагоприятных условий погоды, разрешается лишь в исключительных случаях и то лишь для дорог, лежащих к северу и к востоку линии Петроград—Москва—Саратов—Астрахань, при том при условии, чтобы такого рода поправки были оправданы соответственными данными и отнюдь не превышали 30% от основного сопротивления, получаемого из приведенных выше формул. Затем, в исключительных случаях, когда от расчетов требуется особая точность, у нас разрешается вводить поправки на увеличение в зимнее время сопротивления на первых пяти километрах от станций, где поезда имеют продолжительные стоянки, с тем, что величина такого увеличения должна быть оправдана опытами и не превышала: на первом км—7 кг/т, на втором—4 кг/т, на третьем—3 кг/т, на четвертом—2 кг/т и, наконец, на пятом—1 кг/т.

## II. д) Влияние верхнего строения пути на основное сопротивление поездов.

§ 61. Все приведенные выше в п. п. а), б) и в) формулы основного сопротивления движению разного рода жел.-дор. экипажей относятся, кроме как к некоторым средним условиям температуры воздуха и погоды, еще и к некоторым средним условиям пути—условиям достаточной общей жесткости пути, более или менее надлежащей выравненности его в вертикальной и горизонтальной плоскостях и более или менее гладкой поверхности рельсов. Малая жесткость пути, неправильная поверхность рельсов от плохой рехтовки пути или от плохой подбивки шпал, негладкая поверхность рельсов, зазоры между стыковыми накладками и головкой рельса и другие недостатки пути вызывают удары, сотрясения, покачивания и виляние экипажей; в связи с этим получают потери живой силы и, в результате, имеет место увеличение сопротивления поездов движению. В общем, надо заметить, разница в основном сопротивлении в зависимости от верхнего строения пути может доходить до 20% и даже более.

Оценить влияние верхнего строения пути на основное сопротивление поездов какими-либо формулами совершенно не представляется возможным и на практике это влияние учитывается (путем некоторой прибавки к определенному по приведенным выше формулам основному удельному сопротивлению) в исключительных случаях действительно плохого состояния пути, при чем—когда таковое состояние по уважительным причинам не может быть устранено.

Общее положение таково, что рельсовый путь дает наименьшее основное сопротивление, когда он жесток, хорошо вырехтован, хорошо подбит и когда рельсы его имеют гладкую поверхность (без выбоин) и стыки их не изношены, словом, когда нет причин для более или менее значительных ударов, сотрясений, покачиваний и влияния экипажей.

В отношении жесткости пути играет роль, между прочим, как известно, жесткость рельсов, иначе говоря, вес таких. Относительно сего имеются, между прочим, такие, относящиеся еще к 1899 г. указания известного американского специалиста *Dudley*, что на дороге *New-York Central—Hudson River*, после перехода ее от рельсов вес. 32, 24 кг/м (65 фн/ярд.) к рельсам вес. 39, 68 кг/м (80 фн/ярд.), сопротивление товарных поездов из вагонов, подъемной силой в 27 t (60.000 фн.), уменьшилось с 3, 5—4 кг/t до 1,75 кг/t. Несколько позже, тот же *Dudley* отметил, что большое уменьшение сопротивления поездов в Америке достигнуто столько же путем укладки более жестких рельсов, сколько и путем разного рода улучшений конструкции подвижного состава и что в действительности достичь последнее дало возможность первое.

Можно еще, между прочим, отметить, что именно то обстоятельство, что при более жестких (тяжелых) рельсах сопротивление поездов, при прочих обыкновенных условиях, в общем меньше,—сыграло большую роль в вопросе введения в 1907 г. бельгийскими правит. дорогами на линии *Ostende—Bruxelles—Luxemburg* рельсов весом 57 кг/м, хотя на названных дорогах с 1886 г. укладывались и без того весьма тяжелые рельсы вес. 52 кг/м.

## П. е) Основное сопротивление движению самодвижущихся вагонов.

§ 62. Основные сопротивления самодвижущихся (моторных) вагонов и прицепных вагонов при верхнем строении из обыкновенных рельсов могут быть определяемы по следующим формулам, выведенным на основании результатов опытов, произведенных на особом опытном участке при скоростях до 200 км/ч. Берлинским „Обществом по изучению электрических дорог большой скорости“:

### моторный вагон

$$W_0 = (1,8 + 0,00067 V^2) P + 0,0052 V^2 \cdot F \text{ [kg]},$$

### прицепной вагон

$$W_0 = (1,8 + 0,00067 V^2) P + 0,0052 V^2 \cdot F \text{ [kg]},$$

где  $P$ —вес моторного или, соответственно, прицепного вагона в  $t$ , а  $F$ —сопротивляющаяся воздуху площадь моторного или, соответственно, прицепного вагона в  $m^2$ .

Приведенные формулы, между прочим, указывают на большое влияние сопротивления воздуха при весьма больших скоростях движения, каковое влияние тем больше и тем чувствительнее по отношению к сопротивлению, независящему от скорости, чем меньше вес вагонов.

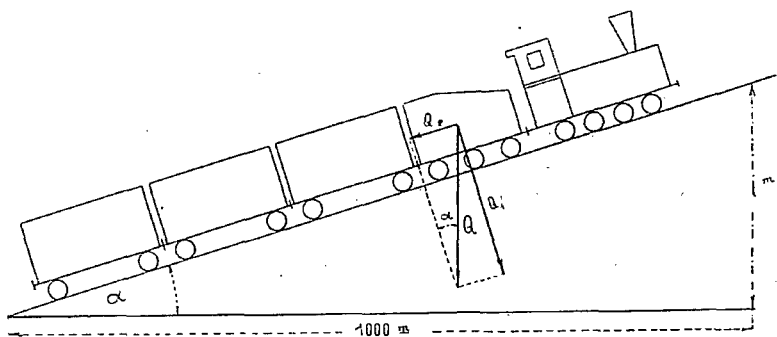
Для моторных вагонов городских жел. дорог, при верхнем строении из желобчатых рельсов, основное сопротивление несколько иное. Здесь сопротивление воздуха, благодаря незначительным скоростям движения (15—20 км/ч), не имеет столь большого влияния, но за то оказывает большее влияние некоторое другое обстоятельство, а именно—большее сопротивление, которое колеса встречают в желобах, в большинстве случаев заполненных пылью и грязью. Для моторных вагонов городских жел. дорог основное удельное сопротивление движению может приниматься в 10—12  $kg/t$ .

## Ст. 2. Дополнительное сопротивление движению поезда от уклонов ( $\pm W_i$ ).

§ 63. Когда поезд идет по подъему, то он, кроме основного сопротивления движению, испытывает еще и некоторое дополнительное сопротивление от подъема (*der Steigungswiderstand, la résistance en rampe, the grade resistance*), так как ему в данном случае приходится преодолевать силу тяжести всех экипажей. В противоположность основному сопротивлению, дополнительное сопротивление поезда от подъема ( $W_i$ ) может быть точно определено теоретически— оно равно слагающей силы тяжести поезда  $Q^t$ , параллельной плоскости пути, т. е. (фиг. 1)

$$W_i = \pm Q_2^t = \pm Q^t \cdot \sin \alpha [t],$$

где  $\alpha$  — угол наклона пути к горизонту.



Фиг. 1.

Отрицательный знак в этом выражении относится к случаю движения поезда по спуску, так как в этом случае слагающая  $Q_2$  силы тяжести является уже не сопротивлением движению, а движущей поезд силой.

При малых углах наклона пути к горизонту, встречающихся в практике железных дорог, на которых тяга осуще-



связывается трением между рельсами и движущимися колесами, можно (в целях удобства расчетов) положить  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$  (даже при столь большом, относительно редко применяемом уклоне, как  $0,04$ ,  $\operatorname{tg} \alpha = 0,04$ , а  $\sin \alpha = 0,03996$ , т. е. разница в  $0,1\%$ ). Тогда будем иметь в тоннах

$$W_i = \pm Q^t \cdot \operatorname{tg} \alpha = \pm Q^t \cdot \frac{i}{1000} |t|,$$

а в килограммах:

$$W_i = \pm 1000 \cdot \frac{i}{1000} \cdot Q^t = \pm i Q^t \text{ [kg]}.$$

Отсюда удельное сопротивление от уклона получается:

$$w_i = \pm \frac{i Q^t}{Q^t} = \pm i \text{ [kg/t]},$$

т. е., иначе говоря, удельное сопротивление от уклона равно числу тысячных долей последнего; например, при уклоне в  $0,006$  доп. сопротивление от него составляет  $6 \text{ kg/t}$ .

Совершенно очевидно, что удельное сопротивление от уклонов не зависит ни от рода экипажей, ни от рода их устройства, ни от рода устройства рельсового пути, следовательно, не зависит и от ширины колеи. Поэтому, выведенное выше положение, что удельное сопротивление движению поезда от уклона равно числу тысячных долей последнего, одинаково действительно и для нормальной и для узкой колеи.

Принятое выше предположение  $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha$  следует считать допустимым для таких углов, для которых разница между  $\sin \alpha$  и  $\operatorname{tg} \alpha$  не превышает  $1\%$ ; подобное превышение имеет место при углах  $\alpha > 8^\circ$ , для которых  $\operatorname{tg} \alpha > 0,140$ . Следовательно, в общем, указанным положением следует руководствоваться при уклонах до  $0,140$ ; при больших уклонах, имеющих место, надо заметить, на зубчатых и канатных дорогах, удельное сопротивление от уклонов рекомендуется определять из выражения

$$w_i = \pm 1000 \cdot \sin \alpha \text{ [kg/t]}.$$

Затем, надлежит заметить, что при движении поезда на подъеме параллельно увеличению его сопротивления от подъема имеет место и некоторое уменьшение его основного сопротивления, благодаря меньшему влиянию вагонов в связи с тем, что на подъеме, благодаря действию силы тяжести, упругие приборы испытывают большое натяжение. Подобное уменьшение основного сопротивления может быть определяемо по формуле Ломоносова

$$\frac{0,5}{1 + \frac{1}{i}}$$

При введении этой поправки полное удельное сопротивление поезда на подъеме на прямолинейном пути должно, следовательно, определяться из выражения:

$$w = \left( w_0 - \frac{0,5}{1 + \frac{1}{i}} \right) + i = w_0 + i \left( 1 - \frac{0,5}{i+1} \right) [\text{kg/t}].$$

Однако, указанная поправка в общем столь незначительна, что при расчетах ею свободно можно пренебрегать.

Наконец, надо заметить, что дополнительное сопротивление от подъема не зависит ни от холодной погоды, ни от сильных ветров.

Ст. 3. **Дополнительное сопротивление движению поезда от закруглений пути (+  $W_p$ ).**

§ 64. Когда поезд идет в кривой, то он, кроме основного сопротивления движению, испытывает еще и некоторое дополнительное сопротивление от закругления пути (*der Krümmungswiderstand, der Bogenwiderstand, la résistance en courbe, the curve resistance*), так как ему в данном случае приходится преодолевать: а) трение бандажей колес о рельсы в связи с продольным скольжением колес при несоответствии радиусов кругов их катания радиусам наружной и внутренней рельсовых ниток кривой, б) трение о боковую поверхность рельсовых головок реборд колес, набе-

гающих на рельсы, в связи с параллелизмом осей (наружного колеса переднего ската о наружный рельс и внутреннего колеса заднего ската о внутренний рельс), и в) увеличенное трение, вызванное дополнительным давлением осевых шеек на подшипники, благодаря продольному скольжению колес.

Дополнительное сопротивление от закруглений зависит от множества факторов: от ширины колес, радиуса кривой, радиуса колес, колесной базы, устройства осей (подвижные или неподвижные оси), формы бандажей (степени изношенности реборд), скорости поезда, длины поезда, веса вагонов, конструкции верхнего строения пути, состояния погоды (коэффициента трения) и т. п. Были попытки (*Boedecker, Schloss, Цеглинский и др.*) учесть влияние разных этих факторов математически и выразить в общем дополнительное сопротивление движению от закруглений пути некоторыми теоретическими формулами, однако, такого рода формулы, в общем довольно сложные, не имеют особого практического значения, так как *de facto* точно учесть влияние всех указанных факторов невозможно. В виду сего, на практике разного рода теоретическими формулами обычно не пользуются, а пользуются некоторыми эмпирическими формулами, выведенными на основании сравнения результатов опытных наблюдений над движением поездов в прямых и кривых частях пути.

Такого рода эмпирические формулы для определения дополнительного удельного сопротивления от закругления пути имеют преимущественно один из следующих видов:

$$w_r = \frac{a}{R}$$

или

$$w_r = \frac{a}{R - R_0},$$

где:  $a$  — некоторые постоянные для данной колеи коэффициенты, определенные опытным путем,

$R$  — радиус кривой,

$R_0$  — тот радиус кривой, зависящий от колесной базы, при котором  $w_r$  делается  $= \infty$ ,

но имеются и формулы, в которых выражена зависимость дополнительного удельного сопротивления от закругления пути не только от радиуса кривой, но еще и от величины колесной базы.

В Америке, где кривые выражаются не радиусом, а в градусах центрального угла, стягиваемого хордой в 100 футов, доп. удельное сопротивление от закруглений принимается равным известному числу  $\text{kg/t}$  на каждый градус кривизны (поворота). Так как  $1^\circ$  кривизны эквивалентен радиусу в 1746 м., то, в сущности, в Америке названное сопротивление определяется по формуле

$$w_r = \frac{w_r \text{ kg/1}^\circ \times 1746}{Rm} [\text{kg/t}],$$

иначе говоря, опять таки, по формуле вида:

$$w_r = \frac{a}{R}.$$

Как видно, в основу эмпирических формул для определения дополнительного удельного сопротивления от закругления пути, положено предположение, что названное сопротивление обратно пропорционально радиусам закруглений. В действительности это не совсем верно, но приблизительно это так, и практика показывает, что сопротивления, определенные по эмпирическим формулам, основанным на указанном предположении, довольно близко подходят к действительным сопротивлениям, так что пользование на практике подобного рода простыми формулами, а не сложными теоретическими, является вполне рациональным.

Раз принятая того или иного вида эмпирическая формула для доп. уд. сопротивления от закруглений пути обычно, за весьма редким исключением, уже затем применяется для всякого рода жел.-дор. экипажей, т. е. как для вагонов, так и для паровозов с тендерами, хотя, строго говоря, надо заметить, сопротивление паровозов, вызываемое прохождением по закруглениям, в общем больше, чем вагонов, особенно тележечных; при длинной базе движущих колес часть веса паровоза, падающая на движущие колеса, подчиняется другим

законам сопротивлений, чем те, которым следуют товарные вагоны при тележках с короткой базой.

§ 65. **Нормальная колея.** В Германии, Австрии и Италии до сего времени, для определения дополнительного удельного сопротивления от закруглений пути, применяются преимущественно формулы *Röckl'*я (на основании опытов баварских дорог):

$$w_r = \frac{500}{R-30} \text{ [kg/t] при } R < 300 \text{ м}$$

(на второстепенных линиях) и

$$w_r = \frac{650}{R-55} \text{ [kg/t] при } R \geq 300 \text{ м}$$

(на главных линиях).

Вместо последней формулы, позднее (1909 г.) *Mutznier* предложил такую формулу:

$$w_r = \frac{800 - 0,4R}{R - 40} \text{ [kg/t],}$$

дающую несколько меньшие сопротивления; также ныне применяется и формула (на основании опытов брауншвейгских дорог)

$$w_r = \frac{760}{R} \text{ [kg/t] } ^1).$$

Вместе с тем, в Германии до сего времени не забываются и старые формулы:

*Launhardt'*а

$$w_r = \left( \frac{1700}{R} - 2 \right) \text{ [kg/t]}$$

и *Hoffmann'*а для экипажей с неподвижными осями и жесткой базой (на основании опытов Саксонских дорог):

$$w_r = 21 \frac{4d + d^2}{R - 45} \text{ [kg/t],}$$

где  $d$ —длина жесткой базы экипажа в м.

<sup>1)</sup> Некогда Воедсскер'ом (1887 г.) была предложена формула  $\frac{800}{R} \text{ [kg/t]}$ , а *Launhardt'*ом (1888 г.)—даже  $\frac{1000}{R} \text{ [kg/t]}$ .

Для экипажей, имеющих подвижные (самоустанавливающиеся) оси, доп. удельное сопротивление от закруглений определяется по позднейшей формуле *Hoffmann*'а

$$w_r = 4 \left( \frac{10d}{R} + 0,1 \right) [\text{kg/t}],$$

где  $d$ —расстояние между осями в м.

Иногда (сравнительно редко) в Германии доп. уд. сопротивление от закруглений определяется отдельно для паровоза с тендером и отдельно для вагонов. В этом случае доп. сопротивление паровоза с тендером обычно определяется по формуле

$$w_r^{\text{пт}} = 2 \sqrt{n} \times w_r^{\text{в}} [\text{kg/t}]$$

где  $n$  число спаренных осей у паровоза, а  $w_r^{\text{в}}$ —доп. уд. сопротивление от закруглений для вагонов, которое определяется по формулам *Frank*'а:

$$w_r^{\text{в}} = \frac{d}{R} \left( 180 - \frac{1000d}{R} \right) [\text{kg/t}]$$

товарных вагонов

$$w_r^{\text{в}} = \frac{d}{R} \left( 180 - \frac{2000d}{R} \right) [\text{kg/t}],$$

где  $d$ —база вагонов в м (для тележечных вагонов  $d$ —база тележки).

Во **Франции** доп. удельное сопротивление от закруглений пути обычно определяется по формуле

$$w_r = \frac{750}{R} [\text{kg/t}],$$

получаемой из формулы *Desdovits*

$$w_r = \frac{500 \cdot S}{R} [\text{kg/t}].$$

если в ней ширину колеи  $S$  принять = 1,5 м.

Иногда при расчетах применяют нижеследующие средние нормы доп. уд. сопротивления, предложенные *Deharme*'ом на основании результатов опытов французских дорог:

при $R = 150$ м.	$w_r = 6,00$ [kg/t]
„ $R = 200$ „	$w_r = 4,00$ „
„ $R = 300$ „	$w_r = 3,00$ „
„ $R = 400$ „	$w_r = 2,00$ „
„ $R = 500$ „	$w_r = 1,25$ „
„ $R = 600$ „	$w_r = 1,00$ „
„ $R = 800$ „	$w_r = 0,50$ „
„ $R = 1.000$ „	$w_r = 0$ „

Для  $R = 150—400$  м эти сопротивления больше, а для  $R = 500—1000$  м меньше сопротивлений, получаемых по формуле:

$$w_r = \frac{750}{R} \text{ [kg/t] .}$$

**В С.-А. С. Штатах** дополнительное удельное сопротивление от закруглений пути принимается равным от 0,35 до 0,50 kg/t на 1° кривизны (поворота) <sup>1)</sup>, при чем чаще всего оно принимается равным 0,40 kg/t на 1° кривизны. Согласно объясненному выше, последнее сопротивление эквивалентно сопротивлению, получаемому по формуле

$$w_r = \frac{0,40 \times 1746}{R^m} = \frac{700}{R^m} \text{ [kg/t] .}$$

**В России** для определения дополнительного удельного сопротивления от закруглений пути установлена формула:

$$w_r = \frac{750}{R^m} \text{ [kg/t] ,}$$

независимо от рода экипажей. Однако, формула эта у нас проверена опытами лишь с нашими двух-осными товарными

<sup>1)</sup> Меньшая из этих цифр применяется к вагонам большой подъемной силы, а большая—к вагонам малой подъемной силы, так как в последнем случае на  $t$  веса приходится больше колес и осей, чем в первом.

вагонами (при том для кривых  $R \geq 300$  м). Для четырехосных вагонов (на тележках) эта формула дает, несомненно, несколько преувеличенные сопротивления. В этом, между прочим, убеждают сравнительно недавние опыты Пеннсильванской дороги с товарными четырехосными вагонами—опыты, которые показали, что в том случае, когда поезд покрывает все закругление, доп. уд. сопротивление его от закругления в среднем отвечает формуле:

$$w_r = \frac{700}{R^m} [ \text{kg/t} ],$$

а в случае, когда поезд находится целиком в закруглении—формуле

$$w_r = \frac{725}{R^m} [ \text{kg/t} | ^1 ).$$

На этом основании Пеннсильванская дорога пришла к выводу что в среднем для коэффициента  $a$  в формуле

$$w_r = \frac{a}{R^m},$$

при малых скоростях, правильно принимать цифру 700.

В виду сего, можно рекомендовать при определении доп. уд. сопротивления от закруглений пути для товарных четырехосных вагонов отступать от указанной выше формулы

$$w_r = \frac{750}{R^m} [ \text{kg/t} |$$

1) „Некоторая разница в полученных в обоих случаях результатах объясняется несколько различными в этих случаях условиями изменения сопротивления поезда при прохождении закруглений. В первом случае (закругление короче поезда) сопротивление поезда постепенно увеличивается с момента вступления головы его на закругление до момента выхода ее из закругления, затем остается постоянным до вступления на закругление последнего вагона и далее постепенно уменьшается до выхода из закругления последнего вагона, во втором же случае (закругление длиннее поезда) сопротивление поезда постепенно увеличивается с момента вступления на закругление головы его до момента вступления на закругления последнего вагона, затем остается постоянным до момента выхода из закругления головы поезда и далее постепенно уменьшается, пока последний вагон не выйдет из закругления.



и, в целях непреуменьшения состава поездов из указанного рода вагонов, определять названное сопротивление по формуле

$$w_r = \frac{700}{R^m} \text{ [ kg/t ]},$$

принятой и проверенной, как то указано было выше, в С.-А. С. Штатах.

В заключение надлежит еще отметить следующее.

При закруглениях малых радиусов и при длинных поездах только часть поезда может находиться на закруглении (поезд целиком не уместается в кривой). В таких случаях, при определении дополнительного сопротивления поезда от закруглений надлежит принимать в расчет не весь поезд, а только ту часть его, которая может уместиться на закруглении.

§ 66. Узкая колея. При узкой колее, при прочих одинаковых условиях в отношении закругления пути и рода устройства экипажей, дополнительные удельные сопротивления от закруглений в общем меньше, чем при нормальной колее. К сожалению, недостают соответственные опыты, которые бы давали возможность установить хотя бы приблизительно точные величины указанного рода сопротивлений.

*Boedecker* считает, что дополнительное удельное сопротивление от закруглений остается неизменным, если колесная база, диаметр колес, возможная игра реборд в пути и радиус закругления уменьшаются пропорционально ширине колес. Так ли это в общем или не так — несколько трудно сказать, но в отношении диаметра колес это, во всяком случае, не верно; однако, влияние названного фактора на величину рассматриваемого сопротивления в общем ничтожно.

В Германии дополнительное удельное сопротивление от закруглений пути обычно определяется по формулам *Haarmann*'а или *Röckl*'я:

*Haarmann*'а.

*Röckl*'я.

при колее в 1.000 mm.

$$w_r = \frac{400}{R - 25} \text{ [ kg/t ]} \quad w_r = \frac{400}{R - 20} \text{ [ kg/t ]},$$

при колее в 750 мм.

$$w_r = \frac{350}{R-10} \quad [ \text{кг/т} ] \qquad w_r = \frac{360}{R-10} \quad [ \text{кг/т} ]$$

при колее в 600 мм.

$$w_r = \frac{200}{R-5} \quad " \qquad w_r = \frac{200}{R-5} \quad "$$

Во **Франции** то же сопротивление обычно определяется по формулам *Desdovits*:

при колее в 1.000 мм.

$$w_r = \frac{500}{R} \quad [ \text{кг/т} ],$$

при колее в 750 мм.

$$w_r = \frac{375}{R}$$

при колее в 600 мм

$$w_r = \frac{300}{R}$$

получаемым из общей, уже выше указанной формулы *Desdovits*

$$w_r = \frac{500 S}{R},$$

если в нее подставить величину ширины колеи  $S$  соответственно 1,0 м, 0,75 м и 0,60 м.

Надо заметить, что при колее в 1000 и 750 мм формулы *Haarmann*'а и *Desdovits* дают, примерно, одинаковые величины сопротивлений, при колее же 600 мм формула *Desdovits* дает величины сопротивления, примерно, в  $1\frac{1}{2}$  раза большие, чем формула *Haarmann*'а.

**В Америке**, где из узких колеи наибольшее применение имеют колеи: 1067 мм, 1000 мм и 915 мм, доп. удельное сопротивление от закруглений пути вообще узкой колеи обычно принимается 0,30 кг/т на  $1^\circ$  кривизны (в общем на 25% меньше, чем при нормальной колее). Согласно объяс-

ненному выше, подобное сопротивление эквивалентно сопротивлению, получаемому по формуле

$$w_r = \frac{0,30 \times 1746}{R^m} = \frac{525}{R^m} \quad [ \text{kg/t} ] .$$

В России, где в недавнее время (1922 г.) установлены технические условия проектирования и сооружения дорог с колеями в 750 мм, для доп. удельного сопротивления от закруглений пути указанной колеи ныне является установленной мною предложенная формула

$$w_r = \frac{425}{R^m} \quad [ \text{kg/t} ] .$$

§ 67. Выше имелись в виду исключительно железные дороги с верхним строением из обыкновенных рельсов. Для дорог с верхним строением из желобчатых рельсов, надо заметить, вопрос о дополнительном сопротивлении от закруглений пути не является столь же изученным и лишь в самое последнее время этот вопрос несколько освещен.

В 1918 г. нидерландский инженер *Hamelink* теоретическим путем установил, что при верхнем строении из желобчатых рельсов доп. удельное сопротивление может быть, в зависимости от величины коэфф. трения  $f$ , определяемо по следующим формулам, в которых выражена зависимость названного сопротивления от величины  $d$  колесной базы и ширины колеи  $S$  ( $d$ ,  $S$  и  $R$  — в м):

$$\text{при } f = \frac{1}{4} \dots \dots \dots w_r = \frac{190d + 80S}{R} \quad [ \text{kg/t} ]$$

$$\text{„ } f = \frac{1}{5} \dots \dots \dots w_r = \frac{140d + 66S}{R} \quad \text{„}$$

$$\text{„ } f = \frac{1}{6} \dots \dots \dots w_r = \frac{110d + 50S}{R} \quad \text{„}$$

Эти формулы были проверены целым рядом опытов на „Большой Берлинской городской дороге“, произведенных *Adler*'ом, который в результате нашел, что формулы *Hamelink*'а дают сопротивления, близкие к действительным. С своей сто-

роны, *Adler*, на основании указанных опытов, вывел свою формулу следующего вида:

$$w_r = \frac{158d + 33S}{R} \text{ [ kg/t ]}.$$

Эта формула дает, надо заметить, сопротивления приблизительно такие же, какие получаются по второй формуле *Hamelink'a*, данной для случая  $f = 1/3$ .

§ 68. В заключение вопроса о дополнительном сопротивлении от закруглений надо заметить, что на практике, ради упрощения подсчетов сопротивлений поездов движению, принято закругления заменять такими воображаемыми уклонами, число тысячных которых равно величине доп. сопротивления от данных закруглений в  $\text{kg/t}$ . Например, кривая  $R = 500 \text{ m}$ , дающая доп. сопротивление в  $\frac{750}{500} = 1,5 \text{ kg/t}$ , заменяется уклоном в 0,0015. Следовательно, если какой либо элемент пути расположен на уклоне в  $0,00i_d$  (действительный уклон) и на закруглениях радиуса  $R$ , то, в отношении сопротивления движению, он рассматривается как элемент, расположенный на уклоне  $0,00i_{\phi}$ , называемом **фиктивным** (приведенным) и составляющем:

$$0,00 i_{\phi} = 0,00 i_d + 0,00 i_{\phi . k},$$

где  $0,00i_{\phi . k}$  — уклон, эквивалентный по сопротивлению данной кривой, при чем

$$i_{\phi . k} = \frac{750}{R^m}.$$

В связи с этим, следовательно, на данном элементе пути общее доп. сопротивление от уклона и закругления составляет для поезда, для которого уклон является подъемом (+),

$$w_i + w_r = i_d + i_{\phi . k} = + i_{\phi} \text{ [ kg/t ]},$$

а для поезда, для которого уклон является скатом (—),

$$w_i + w_r = - i_d + i_{\phi . k} = \pm i_{\phi} \text{ [ kg/t ]},$$

смотря по тому

$$i_{j.k} > i_{\partial} \text{ или } i_{j.k} < i_{\partial}.$$

Ст. 4. Дополнительное сопротивление движению поезда от ускорения или замедления ( $+ W_p$ ).

§ 69. Когда поезд движется не с равномерною (установившейся) скоростью, а со скоростью все увеличивающейся (это имеет место, например, после остановки поезда), то он, кроме основного сопротивления, испытывает еще дополнительно **сопротивление от ускорения** (*der Beschleunigungswiderstand, la résistance d'accélération, the inertia resistance*); в случае движения поезда с уменьшающеюся скоростью сопротивление это должно, очевидно, приниматься при расчетах со знаком минус; в этом случае имеет место **но ускорение**, а замедление хода поезда.

Подобно дополнительному сопротивлению от уклонов дополнительное сопротивление от ускорения может быть точно определено теоретически—оно соответствует той энергии, которую необходимо затратить для увеличения живой силы поезда, и равно произведению из массы поезда  $M$  на ускорение  $p$ .

Надо заметить, что рассматриваемое сопротивление есть следствие двух факторов: поступательной инерции поезда в целом (паровоза с тендером и вагонов) и вращательной инерции колес. Величина последнего рода инерции, зависящая от конструкции и нагрузки вагонов, а также от конструкции паровозов, может быть для известных данных условий точно подсчитана. Однако, изменения в конструкции экипажей, а особенно в нагрузке, делают бесполезной большую точность подсчетов и на практике вращательная инерция обычно принимается эквивалентной некоторой части поступательной инерции поезда.

В свое время *Wellington* предложил считать 6% за подходящую практическую среднюю величину такой эквивалентности, однако, американцы, считаясь с современной практикой эксплуатации их железных дорог, ныне принимают означенную величину всего в 5%. Для русского подвижного

состава, как показывают подсчеты, следует считать вращательную инерцию колес эквивалентной в среднем 6<sup>0</sup>/о от поступательной инерции всего поезда.

В связи с сказанным, масса поезда  $M$ , имеющая поступательное движение, должна быть в общем увеличена на 6<sup>0</sup>/о. и, следовательно, дополнительное сопротивление движению поезда от ускорения в общем выражается формулой

$$W_p = \pm 1,06Mp = \pm 1,06 \frac{Qt}{g} p,$$

где:  $Q$ —полный вес поезда в  $t$ ,  $p$ —ускорение движения поезда в  $m/s.^2$ , а  $g$ —ускорение силы тяжести =  $9,81m/s.^2$ ; дополнительное же удельное сопротивление от ускорения выразится формулой:

$$r_p = \pm \frac{1000 W_p}{Q} = \pm 1060 \frac{p}{g} [kg/t].$$

Так как на практике приходится иметь дело со скоростями, выраженными в  $km/g$ , то означенную формулу полезно несколько преобразовать.

Ускорение, как известно, выражается

$$p^{m/s.^2} = \frac{(v_2^{m/s.})^2 - (v_1^{m/s.})^2}{2lm},$$

где:  $v_1$  и  $v_2$ —соответственно меньшая и большая скорости в  $m/s.$ , а  $l$ —расстояние в  $m$ , на протяжении коего имеет место ускорение.

Но

$$p^{m/s.^2} = \frac{1000}{(60 \times 60)^2} P \text{ km/h.}^2,$$

а

$$v^{m/s.} = \frac{1000}{60 \times 60} V \text{ km/h.}$$

Следовательно, ускорение в  $km/h.^2$  выразится:

$$\begin{aligned} P &= \frac{(60 \times 60)^2 p^{m/s.^2}}{1000} = \frac{(60 \times 60)^2 \times 1000^2 [(V_2 \text{ km/h.})^2 - (V_1 \text{ km/h.})^2]}{1000 (60 \times 60)^2 2lm} \\ &= \frac{(V_2 \text{ km/h.})^2 - (V_1 \text{ km/h.})^2}{2lm} [km/h.^2]. \end{aligned}$$

Подставляя теперь в вышеуказанную формулу для доп. удельного сопротивления ускорение  $P \text{ km/h.}^2$  (вместо  $p \text{ m/s.}^2$ ) и ускорение силы тяжести  $g = 127000 \text{ km/h.}^2$  (вместо  $g = 9,81 \text{ m/s.}^2$ ), получаем в результате следующее выражение для доп. удельного сопротивления от ускорения:

$$w_p = \pm 1060 \frac{1000 (V_2^2 - V_1^2)}{127000 \times 2l^m} = \pm 4,20 \frac{V_2^2 - V_1^2}{l^m} [\text{kg/t}],$$

где:  $l$  — длина элемента в  $m$ , на протяжении коего поезд движется с ускорением, а  $V_1$  и  $V_2$  — соответственно меньшая и большая скорости движения в  $\text{km/h}$ , в начале и конце означенного элемента пути ( $V_1$  — относится к моменту, когда паровоз вступает на элемент пути, а  $V_2$  — к моменту, когда паровоз оставляет таковой элемент).

Если, например, поезд весом  $Q^t$  увеличивает свою скорость с 15 до 50  $\text{km/h}$  на расстоянии 1,5  $\text{km}$ , то он испытывает на протяжении этого расстояния дополнительное сопротивление от ускорения в размере

$$W_p = 4,20 \frac{50^2 - 15^2}{1500} Q^t = 6,37 Q^t [\text{kg}],$$

где 6,37  $\text{kg/t}$  — доп. удельное сопротивление от ускорения для данного случая.

Совершенно очевидно, что, если тот же поезд на протяжении того же расстояния 1,5  $\text{km}$  должен развить скорость в 50  $\text{km/h}$  после остановки, то на этом протяжении он должен будет испытывать дополнительное сопротивление от ускорения уже иное — несколько большее (в этом случае  $V_1 = 0$ ):

$$W_p = 4,20 \frac{50^2}{1500} Q^t = 7,00 Q^t [\text{kg}].$$

Как видно, в общем виде доп. удельное сопротивление от ускорения после остановки поезда или от замедления перед остановкой последнего выражается:

$$w_p = \pm 4,20 \frac{V^2}{l^m} [\text{kg/t}].$$

## Ст. 5. Основное сопротивление движению поезда при трогании с места ( $W_0^n$ ).

§ 70. Выше в ст. 1—4 говорилось исключительно о тех разного рода сопротивлениях, которые поезда или отдельные элементы его испытывают при движении (равномерном, ускоряющемся или замедляющемся). Но есть еще одного рода сопротивление, которое также имеет не малое значение, особенно в отношении тяжелых по весу поездов, это—**сопротивление при трогании поезда с места** (*der Anfahrwiderstand, la résistance au démarrage, the starting resistance*), т. е. сопротивление, развивающееся в момент перехода поезда из состояния покоя к состоянию движения.

Давно известно, что, как только вагон останавливается, удельное сопротивление его тотчас же начинает возрастать (в течение первой минуты после остановки сравнительно незначительно, но через минуту уже значительно—до 4—5  $\text{kg/t}$ , а минут через шесть еще более значительно—до 14—15 и даже более  $\text{kg/t}$ , чтобы затем уже дальше не меняться) и что сила, требующаяся для взятия поезда или вагона с места, после их остановки, гораздо больше той, которая нужна для поддержания их в движении. Последнее объясняется, главным образом, увеличением коэффициента трения в осевых шейках в первые моменты движения, а также, разумеется, сопротивлением от ускорения.

В недавнее время *Glinksky* определил опытным путем нижеследующие основные удельные сопротивления при трогании с места:

для паровоза с отдельным тендером . . . . .	20 $\text{kg/t}$
„ танкового паровоза . . . . .	26 „
„ отдельного вагона . . . . .	20 „
„ нескольких плотно сцепленных паровых товарных вагонов . . . . .	9 „ <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> То, что удельное сопротивление отдельного вагона больше, чем такое же сопротивление нескольких сцепленных вагонов, объясняется тем, что, как бы плотно вагоны ни были сцеплены, моменты математического начала движения каждого вагона наступают разновременно.



При взятии с места товарных или пассажирских поездов на площадке, или если поезд может быть осажен для нажатия пружин, высокие цифры удельного сопротивления экипажей, подобные приведенным цифрам *Glinsh'*ого, еще не представляют серьезных затруднений, так как в этих случаях троганшо поезда помогают рессоры тяговых аппаратов и отсутствие натяжения в сцепных приборах. Когда же поезда, стоящие на подъеме, или пассажирские поезда, если они не могут быть осажены, должны браться с места сразу, то затруднения для сего могут быть довольно большие, так как обычно все вычисления производятся, исходя из состояния инерции поезда, и паровозы, в особенности диаметры цилиндров и ход поршня, проектируются на основании условия, что они должны удовлетворять требованию вести на наибольших на данном участке подъемах поезда определенного веса с некоторой избранной скоростью; в результате сего, при наличии некоторых условий, малейшие случайности могут сделать для паровоза взятие поезда с места невозможным. Имея в виду, что „инертность“ вагонов может в общем препятствовать правильному движению поездов, не следует вопросом о сопротивлении поездов при трогании с места игнорировать при производстве тяговых расчетов, в особенности, когда они касаются тяжелых товарных поездов, которым часто приходится останавливаться надолго, или поездов пригородного сообщения, которым, в силу условий пригородного движения, вообще приходится останавливаться часто.

Главнейшими факторами, сильно влияющими на величину удельного сопротивления вагонов при трогании с места, являются: вес вагона (полногрузный ли он, неполногрузный или порожний), температура осевых шеек и букс, род смазки, продолжительность стоянки поезда, влияющая на степень остывания букс и затвердения (сгущения) смазки, в особенности при низкой температуре наружного воздуха, наконец, род конструкции подшипников.

Надлежит, между прочим, заметить, что на последний из указанных факторов в последнее время обращено внимание за границей, в особенности шведскими правительственными дорогами. Последним, после преодоления многих затруднений,

удалось найти подходящую форму шариковых подшипников для железнодорожных вагонов и даже паровозов — подшипников, давно получивших право гражданства для вагонов городских железных дорог, каковым вагонам, как известно, особенно часто приходится останавливаться и затем трогаться с места. Произведенные в 1915 г. названными дорогами параллельные опыты по определению сопротивлений движению железно-дорожных вагонов с обыкновенными и шариковыми подшипниками, между прочим, показали, что для вагонов с шариковыми подшипниками основное сопротивление при трогании с места составляет:

для одного порожнего вагона—в среднем	4,00	kg/t
„ пяти порожних вагонов	2,45	„
„ одного груженого вагона	1,35	„
„ пяти груженых вагонов	1,30	„

тогда как для вагонов с обыкновенными подшипниками такое же сопротивление составляет;

для одного порожнего вагона—в среднем	15	kg/t
„ пяти порожних вагонов	9	„
„ одного груженого вагона	15—19	„
„ пяти груженых вагонов	7—12	„

Таким образом, как видно, в последнее время за границей проявлен интерес к вопросу изыскания мер по борьбе с „инертностью“ вагонов, имеющий, как то было объяснено выше, следствием увеличения основного сопротивления вагонов при трогании с места. Улучшение этого вопроса является одним из условий улучшения вообще движения, в особенности же улучшения хозяйственности товарного движения, в связи с возможностью экономического использования силы тяги паровозов.

В заключение надлежит заметить, что, для сопротивления поездов движению при трогании с места, в общем в расчет принимаются не высокие значения, так как вагоны, сцепленные в большем или меньшем числе, приходят в движение, как то было выше упомянуто, постепенно один за другим.

На заграничных дорогах в данном случае нередко принимаются в расчет такие удельные сопротивления: отдельно для вагонов поезда и тендера —  $9 - 10 \text{ kg/t}$  и отдельно для паровозов —  $5 (1 + n) \text{ kg/t}$ , где  $n$  — число сцепных осей у паровоза; иногда же принимается одно общее удельное сопротивление для поезда в целом: для пасс. —  $15 - 20 \text{ kg/t}$ , для тов. —  $\infty 13 \text{ kg/t}$ .

## ГЛАВА XI.

### Сила тяги паровоза <sup>1)</sup>.

§ 71. **Силой тяги** (*die Zugkraft, l'effort de traction, the tractive power*) всякого рода локомотива (паровоза, тепловоза, электровоза и пр.) называется то усилие, которое заставляет локомотив с прицепленными к нему вагонами трогаться с места и затем двигаться по рельсовому пути.

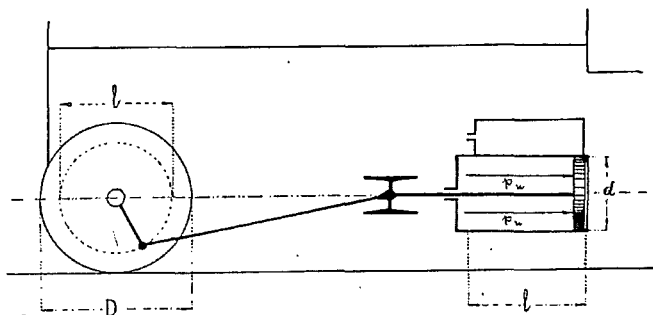
В паровозах это усилие является результатом действия пара в цилиндрах; сила давления пара на поршень парового цилиндра передается помощью штока и шатуна кривошипу, который вращает движущие колеса паровоза и сообщает ему поступательное движение, благодаря реакции рельсов скольжению — сцеплению колес с рельсами.

Сила тяги паровоза зависит от многих факторов, которые можно объединить в три группы: 1) производительность машины, 2) сцепление паровоза с рельсами и 3) паропроизводительность котла. Поэтому необходимо различать трех родов силы тяги: 1) силу тяги по производительности машины — **цилиндровую** ( $Z_{ц}$ ), 2) силу тягу по сцеплению колес с рельсами — **сцепную** ( $Z_{с}$ ) и 3) силу тяги по паропроизводительности котла — **котловую** ( $Z_{кт}$ ).

<sup>1)</sup> Ниже во всех случаях сила тяги паровоза обозначается буквой  $Z$ , являющейся начальной буквой нем. слова *Zugkraft* (сила тяги). Обозначать силу тяги буквой  $F$ , как это у нас часто делается, не последовательно, раз сопротивление движению обозначается у нас буквой  $W$ , а тормозная сила — буквой  $B$ , являющимися начальными буквами немецких слов *Widerstand* и *Bremskraft*.

Ст. 1. Цилиндровая сила тяги паровоза ( $Z_{ц}$ ).

§ 72. Цилиндровая сила тяги паровоза определяется из условия равенства работы пара в цилиндрах и работы силы тяги за один полный оборот движущих колес (фиг. 2).



Фиг. 2.

Работа пара в цилиндрах за один полный оборот движущих колес, когда каждый поршень делает два хода (один—вперед, другой—назад), выражается:

$$n \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot p_{II}^1),$$

где:  $d$  — диаметр паровых цилиндров (*der Dampfzylinder, le cylindre à vapeur, the steam cylinder*),

$n$  — число паровых цилиндров,

$l$  — ход поршня (*der Kolbenhub, la course du piston, the stroke of piston*),

$p_{II}$  — среднее рабочее давление пара в цилиндрах за весь ход поршня.

Работа же силы тяги паровоза за один полный оборот движущих колес составляет:

$$Z_{ц} \cdot \pi D,$$

<sup>1)</sup> В этом случае обычно объем пара в цилиндре вычисляется без учета объемов штока и контрштока, которые, можно заметить, уменьшают объем пара, примерно, на 3%,о.

где:  $Z_{ц}$  — цилиндровая сила тяги, отнесенная к кругу катания движущих колес,

$D$  — диаметр движущих колес (*der Triebraddurchmesser, le diamètre des roues motrices, the diameter of driving wheels*), считая таковой по по кругу катания.

Следовательно, цилиндровая сила тяги паровоза определяется из равенства

$$Z_{ц} \cdot \pi D = n \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot p_{п}.$$

откуда получаем

$$Z_{ц} = n \frac{d^2 l}{2D} p_{п}^1).$$

Надо заметить, что  $Z_{ц}$  получается в  $kg$ , если размеры указанных частей паровоза  $d$ ,  $l$  и  $D$  выражены в  $cm$ , а среднее рабочее давление пара в цилиндрах  $p_{п}$  — в атмосферах ( $kg/cm^2$ ).

Приведенное выражение для  $Z_{ц}$  относится к паровозам с однократным расширением, у которых все цилиндры имеют одинаковые диаметры. Для паровозов же с двукратным расширением (*compound*) выражение для  $Z_{ц}$  должно было бы иметь выражение

$$Z_{ц} = \frac{n_n d_n^2 p_n^n + n_b d_b^2 p_b^b}{2D} l$$

где:  $l$  и  $D$  имеют прежние значения,

$d_n$  — диаметр больших цилиндров — низкого давления (*der Niederdruckzylinder, le cylindre à basse pression, the low pressure cylinder*),

$n_b$  — число этих цилиндров,

$p_n^n$  — среднее рабочее давление пара в этих цилиндрах,

<sup>1)</sup> Это уравнение установлено еще в 1835 г. de Pambour'ом, впервые разработавшим теорию паровоза на основании опытов 1834 г. на дороге Liverpool -- Manchester.

$d_B$  — диаметр малых цилиндров — высокого давления  
(*der Hochdruckzylinder, le cylindre à haute pression, the high pressure cylinder*),

$n_B$  — число этих цилиндров,

$p_B$  — среднее рабочее давление пара в этих цилиндрах.

Однако, известно, что теоретическая работа паровозов с двукратным расширением пара не изменится, если бы такое же расширение произошло в одних больших цилиндрах, так как диаметры обоого рода цилиндров и средние рабочие давления в них пара назначаются с таким расчетом, чтобы работы в обоого рода цилиндрах за время оборота колес были по возможности равны между собой. Поэтому, для паровозов с двукратным расширением пара принимается:

$$Z_{ц} = n_B \frac{d_B^2 l}{2D} p_B$$

где все буквы имеют значения, указанные выше.

На основании сказанного, цилиндровая сила тяги  $Z_{ц}$  разного рода паровозов должна в результате определяться по нижеследующим формулам:

для паровозов с однократным расширением пара (*die Lokomotive mit einstufiger Dehnung, la locomotive à simple expansion, the two cylinder locomotive*)

при 2-х цилиндрах (*Zwilling-Lokomotive*)

$$Z_{ц} = \frac{d^2 l}{D} p_B,$$

при 3-х цилиндрах (*Drilling-Lokomotive*)

$$Z_{ц} = 1,5 \frac{d^2 l}{D} p_B,$$

при 4-х цилиндрах (*Vierling-Lokomotive*)

$$Z_{ц} = 2 \frac{d^2 l}{D} p_B,$$

для паровозов с двукратным расширением пара (*die Verbundlokomotive, la locomotive compound, the compound locomotive*),

при 2-х цилиндрах (*Zweizylinder — Verbundlokomotive*)

$$Z_{II} = \frac{d_{II}^2 l}{2D} p_{II}^{\text{II}}$$

при 4-х цилиндрах (*Vierzylinder — Verbundlokomotive*)

$$Z_{II} = \frac{d_{II}^2 l}{D} p_{II}^{\text{II}}$$

где:  $d_{II}$  — диаметр больших цилиндров (низкого давления),  
 $p_{II}^{\text{II}}$  — среднее рабочее давление пара в этих цилиндрах.

Среднее рабочее давление пара в цилиндрах ( $p_{II}$  и  $p_{II}^{\text{II}}$ ), меняющееся в зависимости от степени наполнения паром цилиндров и количества оборотов движущих колес, иначе говоря, в зависимости от отсечки пара и от скорости движения паровоза, должно, как правило, рассчитываться по индикаторной диаграмме для данного паровоза и определенных условий его работы, если паровоз прошел через опыты и имеет, следовательно, паспортную книжку (в связи с этим, надо заметить, цилиндровая сила тяги часто называется **индикаторной силой тяги**). Для паровозов, не прошедших через опыты, среднее рабочее давление пара в цилиндрах может рассчитываться по формуле **Петрова**.

$$p_{II} = 0,95 p_K \sqrt{(2 - \varepsilon) \varepsilon} - 1,5 \text{ at } |\text{at}|$$

где:  $p_K$  — **манометрическое** (сверхатмосферное) **давление пара** (*der Dampfüberdruck, la pression manométrique de la vapeur, the steam pressure above atmospheric*) в котле в at,  
 $\varepsilon$  — **отсечка пара** (*der Füllungsgrad des Dampfes, le degré d'admission de la vapeur, the cut-off*) в долях хода поршня.

Однако, в этом случае, имея в виду, что формула Петрова не выражает зависимости среднего рабочего давления пара от скорости движения паровоза, необходимо вводить неко-

торую поправку на скорость, которая, согласно данным французских дорог, может приниматься в размере

$$(1 - 0,0045 V),$$

т. е. в общем определять  $p_{II}$  по формуле

$$p_{II} = (1 - 0,0045 V) [0,95 p_K \sqrt{(2 - \varepsilon) \varepsilon} - 1,5 \text{ at}] [\text{at}]$$

Надо заметить, что Мухачев считает возможным формулу Петрова принимать лишь для товарных паровозов, для пассажирских же паровозов он считает правильнее определять  $p_{II}$  по формуле

$$p_{II} = 0,90 p_K \sqrt{(2 - \varepsilon) \varepsilon} - 1,75 \text{ at} [\text{at}],$$

а для курьерских паровозов—по формуле

$$p_{II} = 0,85 p_K \sqrt{(2 - \varepsilon) \varepsilon} - 2 \text{ at} [\text{at}].$$

Весьма практически пригодное определение величины среднего давления пара  $p_{II}$  в зависимости от отсечки пара  $\varepsilon$  и от числа  $n$  оборотов движущих колес в секунду (следовательно, от скорости) дал в недавнее время (1915 г.) *Lichožky*, но только для паровозов с 2-мя цилиндрами, работающих перегретым паром (*die Heissdampf-Lokomotive, la locomotive à vapeur surchauffée, the superheated steam locomotive*). *Lichožky* дал для сего диаграмму, на основании которой составлена следующая таблица для  $p_{II}$  [at]:

Расши- рение	$n$	О т с е ч к а п а р а ε						
		0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
О д н о к р а т н о с	1	4,0	4,7	5,8	6,8	7,5	8,2	8,6
	2	3,6	4,2	5,1	5,8	6,4	6,9	7,2
	3	3,3	3,7	4,4	5,0	5,4	5,6	5,8
	4	3,0	3,4	4,0	4,4	4,6	4,7	4,7
	5	2,7	3,0	3,5	3,9	4,0	4,0	3,9



Расши- рение.	n	О т с е ч к а п а р а ε						
		0,15	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
Двукратное	1	—	—	3,4	4,2	4,6	5,1	5,4
	2	—	—	3,1	3,8	4,1	4,4	4,5
	3	—	—	2,8	3,4	3,6	3,8	4,0
	4	—	—	2,6	3,0	3,2	3,4	3,5
	5	—	—	2,4	2,6	2,8	3,0	3,0

Для паровозов, работающих насыщенным паром (*die Sattdampf-Lokomotive, la locomotive à vapeur saturée, the saturated steam locomotive*), приведенные в таблице величины  $p_{II}$  должны быть уменьшены на 10—15%.

Заметим, что зависимость между числом  $n$  оборотов движущих колес (*die Umdrehungszahl der Triebräder, le nombre de tours de roues motrices, the number of revolutions of the driving wheels*) в секунду и скоростью движения паровоза  $V$  км/ч. выражается так

$$n = \frac{1000V}{\pi D 60 \times 60} = \frac{V}{11,3D},$$

где  $D$  — диаметр движущих колес в  $m$ .

Следовательно,

$$V = 11,3 Dn \text{ [км/ч.]}$$

В общем, среднее рабочее давление пара в цилиндре ( $p_{II}$ ) меньше манометрического пара в котле ( $p_K$ )<sup>1)</sup>, вследствие потерь давления паром при движении по узким проходам на протяжении от котла до цилиндров, вследствие расширения пара в цилиндрах после отсечки, наконец, вследствие противодействия на нерабочую сторону поршня.

<sup>1)</sup> В современных русских паровозах это давление составляет 12—14 ат, в иностранных—до 16 ат (в американских даже несколько больше).

Отношение  $\frac{p_H}{p_K} = \xi$  называется **индикаторным коэффициентом** (иногда еще коэффициентом полноты индикаторной диаграммы).

В Германии, в последнее время нередко принимают значение индикаторного коэффициента  $\xi$  согласно следующей таблице, в зависимости от отсечки пара  $\varepsilon$  в долях хода поршня и числа  $n$  оборотов движущих колес в секунду.

n	О т с е ч к п а р а ε							
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5
1	—	—	—	—	0,52	0,56	0,60	0,65
1,5	—	0,35	0,42	0,46	0,49	0,53	0,56	0,61
2	0,28	0,34	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53	0,57
2,5	0,27	0,33	0,38	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54
3	0,26	0,31	0,36	0,40	0,44	0,46	0,48	0,51
3,5	0,25	0,30	0,35	0,39	0,42	0,44	0,46	0,47
4	0,24	0,29	0,34	0,38	0,40	0,42	0,44	—
4,5	0,23	0,28	0,33	0,36	0,39	—	—	—
5	0,23	0,27	0,32	0,35	0,38	—	—	—

В Америке индикаторный коэффициент  $\xi$  обычно принимается:

а) при ср. скоростях поршня  $v_{\text{пор}} \leq 1,27 \text{ м/с}$  <sup>1)</sup>, независимо от рода пара:

<sup>1)</sup> Зависимость скорости поезда  $\Gamma \text{ км/ч}$ , от скорости поршня  $v_{\text{пор}} \text{ м/с}$ . такова:  $\Gamma \text{ км/ч} = 5,65 \frac{D}{l} v_{\text{пор}} \text{ м/с}$ . Для наших тов. паровозов среднее значение  $\frac{D}{l} = 1,87$ , а для наших пасс. паровозов—ср. значение  $\frac{D}{l} = 2,65$ . Следовательно,  $v_{\text{пор}} = 1,27 \text{ м/с}$  соответствует для тов. паровозов скорость  $\Gamma \approx 13,5 \text{ км/ч}$ , а для пасс. паровозов—скорость  $\Gamma \approx 19 \text{ км/ч}$ .

для паровозов однократного расширения	$\xi = 0,80—0,85$ .
” ” двукратного	” при $m = 2,2$ $\xi = 0,57$
” ” ”	” ” $m = 2,3$ $\xi = 0,56$
” ” ”	” ” $m = 2,4$ $\xi = 0,55$
” ” ”	” ” $m = 2,5$ $\xi = 0,53$
” ” ”	” ” $m = 2,6$ $\xi = 0,52$
” ” ”	” ” $m = 2,7$ $\xi = 0,50$

где  $m$  — отношение объемов цилиндров  $= \frac{n_n d_n^2 l}{n_b d_b^2 l}$ ;

б) при ср. скорости поршня  $v_{\text{пор}} > 1,27$  м/с. принимается меньшее значение  $\xi$ , чем указано в п. а), а именно:  $\alpha \xi$ , где коэффициент  $\alpha$  берется согласно след. таблицы, в зависимости уже от рода пара.

Род пара.	$v_{\text{пор.}} \text{ м/с}$												
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0
Насыщенный	0,96	0,87	0,78	0,69	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,34	0,31	0,29	0,25
Перегретый.	0,96	0,87	0,78	0,69	0,61	0,55	0,50	0,45	0,41	0,38	0,35	0,32	0,28

Из указанных выше формул для цилиндровой силы тяги видно, что эта сила тяги прямо пропорциональна объему паровых цилиндров и давлению пара и обратно пропорциональна диаметру движущих колес паровоза. Этим и объясняется то, что паровозы, от которых требуется большая сила тяги (товарные паровозы), проектируются с колесами малого диаметра (у нас—1200—1320 мм., в Зап. Европе—1350—1550 мм., в С.-А. С. Шт.—1422—1600 мм).

§ 73. Затем, надлежит иметь в виду нижеследующее.

Приведенные выше формулы для цилиндровой силы тяги разного рода паровозов определяют цилиндровую силу тяги

паровоза при движении его с известной скоростью. При скорости, близкой к нулю, цилиндровая сила тяги выразится:

для паровоза с однократным расширением пара

$$n \frac{d^2 l}{2D} p_k = M,$$

для паровоза с двукратным расширением пара

$$n_n \frac{d_n^2 l}{2D} p_k = M,$$

так как среднее рабочее давление пара в цилиндрах в пределе, при приближении скорости к нулю, примет значение манометрического давления пара в котле. Это **теоретическое предельное значение** цилиндровой силы тяги называется у нас **модулем силы тяги** ( $M$ ), а за границей—**абсолютно наибольшей силой тяги** (*die absolut grösste Zugkraft, l'effort maximum absolu de traction, the absolute maximum of tractive power*).

Затем, определяемая по приведенным выше формулам цилиндровая сила тяги не есть истинная (эффективная) движущая сила тяги, а представляет собой фиктивную силу тяги, так как часть этой силы тяги, при перенесении ее на обод ведущих колес, тратится на преодоление внутренних сопротивлений паровоза (§ 46).

Для получения истинной силы тяги на ободе движущих колес необходимо из силы тяги  $Z_{ц}$ , определенной по вышеприведенным формулам, вычесть сопротивление паровоза, как машины ( $W_{м}^{II}$ ). Эта истинная (эффективная), теоретически наиболее интересная сила тяги паровоза на ободе движущих колес, где происходит сцепление колес с рельсом, называется **касательной силой тяги** ( $Z_k$ ) (*die Zugkraft am Triebradumfang, l'effort de traction à la circonférence des roues motrices, the tractive power at circumference of the driving wheels*) и выражается, следовательно, так:

$$Z_k = Z_{ц} - W_{м}^{II} = \eta_{м} Z_{ц},$$

где  $\eta_M = \frac{Z_K}{Z_{II}}$  представляет собой механический коэффициент полезного действия машины паровоза (*der Wirkungsgrad der Maschine, le rendement de la machine, the efficiency of the machine*).

Так как

$$Z_{II} = n \frac{d^2 l}{2D} p_H = n \frac{d^2 l}{2D} p_K \xi = \xi M,$$

то в результате

$$Z_K = \eta_M \xi M.$$

Механический коэффициент  $\eta_M$  полезного действия машины паровоза должен, как правило, определяться на основании диаграмм для  $Z_{II}$  и  $Z_K$  для данного паровоза, если паровоз прошел через опыты и имеет, следовательно, паспортную книжку. Если паровоз не прошел через опыты и, вообще при всякого рода расчетах, не требующих особой точности, означенный коэффициент может, по данным *Igel'*я, приниматься:

для паровозов с 2 спар. осями . . .	$\eta_M = 0,90$
„ „ „ 3 „ „ . . .	$\eta_M = 0,87$
„ „ „ 4 „ „ . . .	$\eta_M = 0,85$
„ „ „ 5 „ „ . . .	$\eta_M = 0,82$

§ 74. Касательная сила тяги паровоза, как то ясно из сказанного выше, расходуется на преодоление сопротивлений движению паровоза, как повозки, тендера и вагонов. Следовательно, эта сила тяги (движущая, истинная) на ободу движущих колес не представляет собой еще полезной силы тяги, т. е. той силы тяги, которая расходуется на преодоление сопротивлений движению лишь вагонов. Для получения полезной силы тяги (*die Nutzzugkraft, l'effort de traction utile, the effective tractive power*) паровоза, местом приложения коей является крюк первого вагона, необходимо из

касательной силы тяги вычесть сопротивление движению паровоза, как поковки ( $W_{\text{п}}^{\text{п}}$ ), и сопротивление тендера ( $W^{\text{т}}$ ), т. е.

$$Z_{\text{п}} = Z_{\text{к}} - (W_{\text{п}}^{\text{п}} + W^{\text{т}}) = \eta_{\text{п}} \xi M - P_{\text{пт}} w^{\text{пт}},$$

где  $P_{\text{пт}}$  — расчетный вес паровоза с тендером в  $t$ ,  
 $w^{\text{пт}}$  — полное удельное сопротивление движению паровоза с тендером, которое

$$= w_0 + w_i + w_r \text{ [kg/t]}.$$

Надо заметить, что полезная сила тяги паровоза может быть определена с точностью помощью динамометра, помещаемого между тендером и первым вагоном, почему эта сила тяги иногда у нас называется еще **динамометрической**.

Отношение между полезной и цилиндровой силами тяги, т. е.  $\eta_{\text{п}} = \frac{Z_{\text{п}}}{Z_{\text{ц}}}$ , представляет собой **коэффициент полезного действия всего паровоза** (*der Wirkungsgrad der Lokomotive, le rendement de la locomotive, the efficiency of the locomotive*). Очевидно, коэффициент этот не есть величина постоянная; он зависит, кроме других причин, еще от профиля и плана пути, от скорости и ускорения; так как все эти факторы оказывают большое влияние на сопротивление движению паровоза и тендера, с увеличением какого сопротивления названный коэффициент уменьшается. В общем, коэф. полезного действия паровоза  $\eta_{\text{п}}$  составляет 0,60—0,67.

В результате, как видно из сказанного, полезная сила тяги может быть выражена в след. виде:

$$Z_{\text{п}} = \eta_{\text{п}} Z_{\text{ц}} = \eta_{\text{п}} \xi M.$$

§ 75. Выше все время имелось в виду установившееся движение паровоза. При взятии поезда с места, что отвечает скорости 5—10 km/h паровоз должен, в виду увеличенного сопротивления вагонов после стоянки, развить на ободе движущих колес наибольшую фактически возможную

при полном открытии регулятора и наибольшей степени выпуска пара силу тяги — **начальную насательную силу тяги**

$$Z_{\text{нк}} = \gamma_m \xi_{\text{max}} M$$

(*die Anfahrzugkraft, l'effort de traction au démarrage, the starting tractive power*).

Величину этой силы тяги, обычно принимают равной:

### А) В Европе:

а) при насыщенном паре:

для паровозов с **однократным** расширением пара:

пассажирских . . .  $Z_{\text{нк}} = 0,55 M$  [kg]

товарных . . . .  $Z_{\text{нк}} = 0,60 - 0,65 M$  [kg]

для паровозов с **двукратным** расширением пара:

пассажирских . . .  $Z_{\text{нк}} = 0,45 M$  [kg]

товарных . . . .  $Z_{\text{нк}} = 0,50 M$  „

*Brückmann* рекомендует для паровозов с двукратным расширением пара принимать нижеследующие значения  $\gamma_m \xi_{\text{max}}$ :

Род паровоза.	Отношение объемов цилиндров			
	2,00	2,25	2,50	3,00
Пассажирский . . . . .	0,44	0,42	0,40	0,37
Товарный . . . . .	0,50	0,48	0,45	0,40

б) при перегретом паре:

для паровозов с **однократным** расширением пара:

$$Z_{\text{нк}} = 0,75 M$$
 [kg].

для паровозов с **двукратным** расширением пара:

$$Z_{\text{нк}} = 0,55M \text{ [kg]}.$$

### Б) В Америке:

для паровозов с **однократным** расширением пара:

$$Z_{\text{нк}} = 0,85M \text{ [kg]},$$

для паровозов с **двукратным** расширением пара:

$$Z_{\text{нк}} = 0,50M - 0,57M. \text{ [kg]},$$

а именно:

при $m = 2,2$	. . . . .	$0,57 M$
" $= 2,3$	. . . . .	$0,56$ "
" $= 2,4$	. . . . .	$0,55$ "
" $= 2,5$	. . . . .	$0,53$ "
" $= 2,6$	. . . . .	$0,52$ "
" $= 2,7$	. . . . .	$0,50$ "

где во всех случаях  $M$ —модуль силы тяги, а  $m$ —отношение объемов цилиндров—

$$= \frac{n_{\text{ц}} d_{\text{ц}}^2 l}{n_{\text{к}} d_{\text{к}}^2 l}.$$

Приведенные выражения дают условное, но практически предельное значение цилиндровой силы тяги.

§ 76. Таким образом, говоря о силе тяги паровоза по производительности машины, необходимо в общем различать:

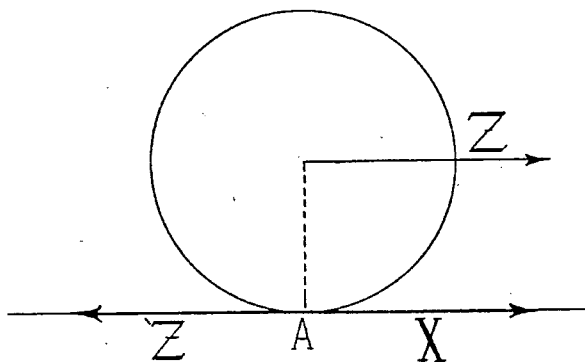
- Модуль силы тяги  $M$** —теоретическое (номинальное) предельное значение цилиндровой силы тяги (при среднем рабочем давлении пара в цилиндрах, равном манометрическому давлению в котле),
- цилиндровую силу тяги при движении поезда  $Z_{\text{ц}} = \xi M$**  (место приложения—поршни цилиндров).
- касательную силу тяги при движении поезда  $Z_{\text{к}} = \gamma_{\text{м}} \xi M$** —цилиндровую силу тяги за вычетом сопротивления паровоза как машины (место приложения—обод движущихся колес),



- г) начальную касательную силу тяги при взятии поезда с места  $Z_{\text{вк}} = \gamma_{\text{м}} \xi_{\text{max}} M$  — практическое предельное значение касательной силы тяги (место приложения — обод движущих колес),
- д) полезную силу тяги ( $Z_{\text{п}} = \gamma_{\text{п}} \xi M$ ) — цилиндрическую силу тяги за вычетом полных сопротивлений паровоза и тендера (место приложения — крюк первого вагона).

## Ст. 2. Сцепная сила тяги паровоза ( $Z_{\text{с}}$ ).

§ 77. Цилиндрическая сила тяги паровоза, приложенная к поршням цилиндров, при посредстве передаточного механизма, переносится, как указано было выше, на обод ведущих колес в виде касательной силы тяги. Последняя по отношению к колесам паровоза и всему поезду является силой внутренней и потому она не может сообщить поступательного движения



Фиг. 3.

паровозу и поезду. Для того, чтобы движущие колеса паровоза вращались около мгновенных осей, проходящих через точки А (фиг. 3) касания колес с рельсами, иначе говоря, катились по рельсам, а не вращались около своих осей, скользя по рельсам, необходимо наличие внешней силы Х в виде горизонтальной реакции рельсов на названные колеса — наличие сцепления (*die Adhäsion, l'adhérence, the adhesion*) движущих колес с рельсами.

Сцепление вообще колеса с рельсом зависит от нажатия колеса на рельс и от коэффициента трения для поверхностей рельсов и колесных бандажей и выражается произведением давления  $P$ , производимого колесом на рельс, на коэффициент трения  $f$  между колесом и рельсом, т. е. в общем сцепление выражается через  $fP$ . При этом, по поводу коэфф.  $f$  надо заметить следующее.

Коэффициент трения первого рода зависит, как известно, от скорости. В частности, по отношению к трению между колесами и рельсами еще наиболее ранние опыты (1851 г.) *Poiré* на Лионской ж. д., данные которых были несколько позднее (1858 г.) обработаны *Bochet*, показали, что зависимость между коэффициентом указанного трения и скоростью в общем выражается формулой

$$f = \frac{f_0}{1 + 0,02 V \text{ км/ч.}},$$

где, как видно,  $f_0$  выражает собой коэффициент трения при  $V = 0$ .

Так как реакция рельса на колесо вообще приложена в мгновенном центре вращения колеса, т. е. в точке касания последнего с рельсом, где  $V = 0$ , то в вышеуказанном выражении сцепления  $fP$  за  $f$  надо всегда принимать  $f_0$ , т. е. в общем выражать сцепление через  $f_0P$ .

Возвращаясь теперь к касательной силе тяги  $Z_k$  на ободу движущих колес паровоза, надо заметить, что указанная выше формула  $Z_k = \eta_M \xi M$  определяет среднюю величину названной силы за полный оборот колес паровоза; в отдельные же моменты величина означенной силы больше или меньше в зависимости от положения кривошипов и шатунов. Говоря об условиях возможности поступательного движения паровоза, необходимо, очевидно, считаться с наибольшей за полный оборот колеса величиной касательной силы тяги  $Z_{k \text{ max}}$ , которая может быть выражена через  $Z_k$  путем помножения такового на коэффициент  $\mu$ , выражающий собой, следовательно, отношение  $\frac{Z_{k \text{ max}}}{Z_k}$ . Величина этого коэфф.  $\mu$  за-

висит от системы машины и степени уравновешенности паровоза.

В связи с сказанным в выражении для сцепления движущих колес надлежит коэффициент трения  $f_0$  принимать в  $\mu$  раз меньший, т. е. вместо коэфф. трения  $f_0$  вводить коэфф.  $\psi = \frac{f_0}{\mu}$ , обычно называемый коэффициентом сцепления (*der Adhäsionswert, le coefficient d'adhérence, the coefficient of adhesion*) колес с рельсами.

Таким образом, в общем выражение сцепления для движущих колес паровоза имеет вид  $\psi P_c$ , где  $P_c$  — сцепной вес (*das Adhäsionsgewicht* или *das Reibungsgewicht, le poids adhérent, the adhesive weight*) паровоза в  $t$ , т. е. та часть статического веса паровоза, которая приходится на движущие колеса. Выражая  $P_c$  в  $kg$ , т. е. в мерах, в которых вообще выражаются силы, примененные к паровозу, получаем величину сцепления движущих колес паровоза с рельсами в виде

$$1.000\psi P_c \text{ [kg].}$$

Надлежит заметить, что на деле силы сцепления отдельных сцепных колес паровоза бывают крайне различны. Однако, с точки зрения реакции сцепления паровоза с рельсами каждая из названных сил в отдельности не важна — реальное значение имеет сумма сил сцепления всех сцепных колес паровоза

$$\begin{aligned} & \psi_I P'_c + \psi_{II} P''_c + \psi_{III} P'''_c + \dots = \\ & = \psi (P'_c + P''_c + P'''_c + \dots) = \psi P_c, \end{aligned}$$

откуда, между прочим, видно, что под  $\psi$  в общем понимается средний для всех движущих (сцепных) колес коэффициент сцепления.

Затем, относительно сцепного веса паровоза  $P_c$  надо заметить, что лишь для паровозов, у которых все оси спарены, иначе говоря, у которых нет бегунков или тележек, означенный вес является величиной постоянной; если при движении такого рода паровоза некоторые из его сцепных осей

разгружаются, то, за счет этой разгрузки, происходит перегрузка других же сцепных осей и, в общем, следовательно, величина  $P_c$  не изменяется. В паровозах же с бегунками или тележками сцепной вес не есть величина постоянная и при движении он меняется; при этом разгрузка некоторых из сцепных осей не означает еще перегрузки обязательно других именно сцепных осей—за счет названной разгрузки могут перегружаться и бегунковые или тележечные оси, давления которых на рельсы не оказывают влияния на величину реакции сцепления паровоза с рельсами. По данным Ломоносова, сцепные оси названного паровоза в сумме могут при движении разгружаться за счет перегрузки бегунковых и тележечных осей: в товарных паровозах—*maximum* на 7%, а в пассажирских паровозах—*maximum* на 22%. В силу этого, для паровозов с бегунками или тележками величину сцепления движущих колес с рельсами осторожнее принимать в расчет не более: для товарных паровозов  $\approx 0,95 \psi P_c$ , а для пассажирских  $\approx 0,80 \psi P_c$ .

Из всего сказанного выше явствует, что, для возможности поступательного движения паровоза и, следовательно, всего поезда, необходимо, чтобы максимальная касательная сила тяги была меньше наименьшей возможной при движении паровоза силы сцепления движущих колес с рельсами, т. е. для паровозов без бегунков и тележек:

$$\max Z_k \leq 1.000 \psi P_c \text{ [kg]},$$

для паровозов же с бегунками или с тележками:

$$\begin{array}{ll} \text{товарных} & \max Z_k \leq 0,95 (1.000 \psi P_c) \text{ [kg]}, \\ \text{пассажирских} & \max Z_k \leq 0,80 (1.000 \psi P_c) \quad \text{„} \end{array}$$

В случае неудовлетворения этих условий, колеса, вращаясь, будут лишь скользить по рельсам, а поступательного движения не получат, иначе говоря, в этом случае будет иметь место явление, называемое **боксованием колес** (*das Schleudern der Räder, le patinage des roues, the slipping of the wheels*).

Очевидно, если оперировать максимальной цилиндровой силой тяги  $Z_{ц}$ , а не касательной  $Z_{к}$ , то правые части приведенных выражений надо разделить на соответственную величину механического коэффициента полезного действия машины паровоза  $\eta_m$ .

Как видно, для высших значений силы тяги по производительности машины существует предел—наибольшая возможная реакция сцепления движущих колес с рельсами  $1000 \psi P_c$ , или соответственно  $950 \psi P_c$ , или  $800 \psi P_c$  [kg]. Этот предел обычно и называется **цепной силой тяги** [ $Z_c$ ], которая в общем, как то понятно из всего сказанного выше, является не движущей силой, а силой, способствующей движению.

Из выражения для цепной силы тяги паровоза усматривается, что величина таковой силы зависит от величины сцепного веса паровоза и от величины коэффициента сцепления колес с рельсами.

Этим надо, между прочим, заметить, и объясняется, почему в паровозах несколько осей соединяются (спариваются) между собой помощью сдваивающих шатунов (цепных дышл, спарников), число каких спаренных осей достигает в современных паровозах 4 (паровозы 0—4—0, 1—4—0, 1—4—1, 2—4—0, 2—4—1—0—4—0—4—0—4—0, 1—4—0—4—0—4—1), или 5 (паровозы 0—5—0, 1—5—0, 1—5—1—1—5—0—4—0—5—1), за границей иногда даже 6 (паровозы 0—6—0 болгарских дорог и паровозы 1—6—0 австрийских прав. и виртембергских дорог и типа *Javanic* 1—6—1 узкоколейных дорог на острове Ява). Этим же объясняется и применение в новейшее время в некоторых сев.-американских паровозах особых устройств—бустеров (*booster*), дающих возможность, не увеличивая в общем сцепного веса паровозов, увеличивать таковой временно, по мере надобности при трогании с места и на крутых подъемах, путем приобщения веса, приходящегося на задние поддерживающие оси паровоза, к постоянному сцепному весу паровоза <sup>1)</sup>.

<sup>1)</sup> Подобного рода устройство заключается в том, что на задней тележке паровоза устанавливается вспомогательная паровая машина, соединенная с задней поддерживающей осью при помощи зубчатой передачи и фрикционной муфты. В последнее время известны случаи применения такого устройства и для тендерной тележки.

Что касается коэффициента сцепления  $\psi$ , то таковой, как видно из сказанного выше, зависит от величины коэффициента трения  $f_0$  между колесами и рельсами и величины

$$\text{коэффициента } \mu = \frac{Z_{\kappa}^{\max}}{Z_{\kappa}}.$$

Коэффициент трения  $f_0$  между колесами и рельсами зависит, как само-собой понятно, от состояния поверхности рельсов. По данным еще довольно давних опытов *Poiré*, во Франции, на Лионской ж. д. (1851 г.), и *Galtona* в Англии, на дороге *London—Brighton and South Coast* (1878—79 г.), величина названного коэффициента трения составляет:

при совершенно сухих и абсолютно чистых рельсах	$f_0 = 1/3$
„ посыпанных песком рельсах . . . . .	$f_0 = 1/3,5$
„ сухих пыльных или совершенно мокрых рельсах	$f_0 = 1/4$
„ слегка влажных рельсах (во время росы) .	$f_0 = 1/5$
„ морозе и инее . . . . .	$f_0 = 1/6$
„ засаленных рельсах (на станциях и в тоннелях)	$f_0 = 1/8$
„ гололедице . . . . .	$f_0 = 1/10$

В исключительных случаях, когда рельсы покрыты опавшими, на половину гнилыми листьями, саранчей, змеями и т. п., или когда они смазаны мылом (это иногда практикуется злоумышленниками в целях остановки поезда), коэффициент трения  $f_0$  значительно меньше—понижается до  $1/15$ — $1/16$ . В целях борьбы с такого рода случайными понижениями коэфф.  $f_0$  было предложено много разных средств, как, напр., намагничивание рельсов,—однако, из всех средств в практике железных дорог получило широкое распространение лишь одно (простейшее)—посыпание рельсов песком из особо устроенных на паровозах *песочниц* (*die Sandbüchse, la sablière, the sand box*), действующих паром или сжатым воздухом.

Последнее средство настолько в общем распространено, что выбор **расчетного** значения коэфф. трения  $f_0$  сводится в сущности к вопросу, в какой степени предполагается пользоваться посыпанием рельсов песком.

В связи с этим в Европе, где последним пользуются в исключительных случаях, расчетное значение  $f_0$  принимается = от  $1/4$  до  $1/5$ , в Америке же, где посыпание рельсов

песком на подъемах применяется хронически <sup>1)</sup>, названное значение  $f_0$  обычно принимается  $= 1/3$ . У нас в России коэфф.  $f_0$ , обычно принимается при расчетах для летнего времени— $1/4,5$ , а для зимнего времени— $1/5,5$ .

У нас, как вообще в Европе, при назначении расчетных значений коэфф. сцепления не исходят из систематического применения посыпания рельсов песком, имея в виду, что при посыпании песком, во-первых, заметно ускоряется износ бандажей колес, а во-вторых, вместе с увеличением сцепления ведущих колес паровоза увеличивается и сопротивление всего поезда, каковое увеличение, можно заметить, выражается, как показали специальные опыты сев.-американской дороги *Chicago—Burlington—Quincy*, примерно, в  $7,5\%$ . Возможность повышения коэффициента сцепления помощью песка в Европе считают более рациональным иметь в запасе.

Коэффициент  $\mu = \frac{Z_{\text{к}}^{\text{max}}}{Z_{\text{к}}}$  зависит от системы машины паровоза и степени уравновешенности последнего. Расчетное значение этого коэфф.  $\mu$  может приниматься согласно следующей таблице:

Тип машины паровоза.	Род паровоза.	
	Товарный.	Пассажирский.
Несимметричная (паровозы двукратного расширения о 2-х цилиндрах) . . . . .	1,3	1,45
Симметричная без коленчатой оси (паровозы однократного расширения о 2-х цилиндрах и паровозы о 4-х цилиндрах однократного или двукратного расширения) . . . . .	1,2	1,30
Симметричная с коленчатой осью (паровозы о 3-х цилиндрах однократного или двукратного расширения) . . . . .	1,1	1,20

<sup>1)</sup> В связи с этим на американских дорогах, между прочим, имеются нашим дорогам совершенно неизвестные здания—т. наз.—„песочные депо“ (sand-houses), где песок заготавливается и просушивается в особого рода печах (sand drying stove) и откуда он затем через посредство особых резервуаров (sand-tanks), возвышающихся над путями, передается на паровозы.

В связи с указанными средними расчетными значениями коэффициента  $f_0$  и  $\mu$  средние расчетные значения коэффициента сцепления  $\psi = \frac{f_0}{\mu}$  могут приниматься для разного рода паровозов и разного времени года согласно нижеследующей таблице:

Тип машины паровоза.	ВРЕМЯ ГОДА.			
	Л е т о ( $f_0 = 1/4,5$ ).		З и м а ( $f_0 = 1/5,5$ ).	
	Р о д п а р о в о з а .			
	Товар- ный.	Пасса- жирский.	Товар- ный.	Пасса- жирский.
Несимметричная (паровозы двукратного расширения о 2-х цилиндрах) . . . . .	1/6	1/6,5	1/7	1/8
Симметричная без коленчатой оси (паровозы однократного расширения о 2-х цилиндрах и паровозы о 4-х цилиндрах однократного или двукратного расширения) . . . . .	1/5,5	1/6	1/6,5	1/7
Симметричная с коленчатой осью (паровозы о 3-х цилиндрах однократного или двукратного расширения) . . . . .	1/5	1/5,5	1/6	1/6,5

В Америке, в связи с принятием коэф. трения  $f_0$ , как было указано, равным  $1/3$ , коэфф. сцепления принимается до  $1/4$  и даже больше, в Германии от  $1/5$  до  $1/6$  для 4-х цилиндр. паровозов и от  $1/6$  до  $1/7$  для 2-х цилиндр. паровозов.

### Ст. 3. Котловая сила тяги паровоза ( $Z_{\text{кт}}$ ).

§ 78. Несмотря на наличие надлежащих размеров паровых цилиндров, паровоз все же не сможет произвести намеченной работы, если, в связи с недостаточностью поверхно-



сти нагрева котла, для сего не хватит пара. Поэтому сила тяги паровоза по производительности машины имеет еще один предел (кроме предела по сцеплению), зависящий от производительности котла.

Величина названного предела определяется из равенства работы паровоза, совершаемой им в секунду, и работы пара в цилиндрах тоже в секунду.

Если **мощность** (*die Leistung, la puissance, the capacity*) паровоза (количество работы его в единицу времени), соответствующая работе пара в паровых цилиндрах  $= N_{\text{ц}}$  ЛС, то работа его в течение секунды выражается

$$75 N_{\text{ц}} [\text{mkg. s.}],$$

так как 1 ЛС производит в секунду, как известно, работу  $= 75 \text{ mkg.}^1$ .

Работа пара в цилиндрах в течение одной секунды выражается

$$n \frac{\pi d^2}{4} p_{\text{ц}} \cdot v_{\text{пор.}},$$

где:  $n$  — число цилиндров,

$d$  — диаметр цилиндров,

$p_{\text{ц}}$  — среднее рабочее (индикаторное) давление пара в цилиндрах,

$v_{\text{пор.}}$  — средняя скорость движения поршня в  $\text{m/s}$ .

Последняя величина  $v_{\text{пор.}}$  — средняя скорость движения поршня в  $\text{m/s}$ . может быть выражена через скорость движения паровоза  $v^{\text{m/s}}$ . на основании следующего равенства, имея

<sup>1)</sup> Для обозначения метрической единицы мощности лошадиной силы (75 mkg/s.), к сожалению, нет единого международного обозначения; французы обозначают ее на своем языке *Ch V (cheval-vapeur)*, а немцы — на своем языке *PS (Pferdestärke)*, реже *PK (Pferdekraft)*. Англичане и американцы обозначают английскую единицу мощности лошадиной силы, равную 1,0139 метрической лошадиной силы, через *HP (horse-power)*. Это последнее обозначение довольно часто применяется русскими авторами для метрической лошадиной силы, но это совершенно неправильно. Очевидно, чтобы быть последовательным, русские должны обозначать метрическую лошадиную силу тоже на своем языке через ЛС.

в виду, что за время полного оборота движущих колес, диаметром  $D$ , поршень цилиндра делает два хода  $l$ :

$$\frac{\pi D}{v} = \frac{2l}{v_{\text{пор}}}.$$

Отсюда имеем

$$v_{\text{пор}} = \frac{2l}{\pi D} v.$$

Приравнивая теперь обе указанных работы, получаем

$$\begin{aligned} 75 N_{\text{ц}} &= n \frac{\pi d^2}{4} p_{\text{ц}} \cdot v_{\text{пор}} = n \frac{\pi d^2}{4} p_{\text{ц}} \cdot \frac{2l}{\pi D} v = \\ &= 0,5 n \frac{d^2 l}{D} \cdot v = Z_{\text{ц}} \cdot v, \end{aligned}$$

откуда видно, что работа паровоза в единицу времени определяется произведением силы тяги паровоза на скорость его движения.

Если теперь скорость движения паровоза в км/ч обозначить через  $V$ , то в предыдущем выражении мы должны, вместо  $v$  м/с., подставить:

$$v \text{ м/с.} = \frac{1000 V \text{ км/ч}}{60 \times 60} = \frac{V \text{ км/ч}}{3,6}.$$

Подставляя, получаем:

$$75 N_{\text{ц}} = Z_{\text{ц}} \frac{V}{3,6},$$

откуда

$$Z_{\text{ц}} = \frac{270 \cdot N_{\text{ц}}}{V}.$$

Для расчетов ббльший интерес, как то было объяснено выше, представляет истинная сила тяги паровоза—касательная на ободе движущих колес  $Z_{\text{к}}$ . Очевидно, зависимость последней от мощности паровоза может быть, на основании вышеизложенного, выражена через

$$Z_{\text{к}} = \frac{270 \cdot N_{\text{к}}}{V},$$

где  $N_{\text{к}}$  — мощность паровоза на ободе движущих колес =  $= \eta_{\text{м}} N_{\text{ц}}$ .

Если теперь обозначим через  $H^1$ ) — испаряющую (водяную) поверхность нагрева (*die wasserberührte Heizfläche, la surface de chauffe indirecte, the external heating surface*) в  $m^2$ , а через  $\frac{N_k}{H}$  — удельную мощность, т. е. число ЛС, получаемых на ободу колес с 1  $m^2$  поверхности нагрева, то мощность  $N_k$  может быть выражена через

$$N_k = \frac{N_k}{H} H.$$

Затем, если обозначим через  $U_M$  — вообще часовой расход пара машиной паровоза, а через  $u_M$  — часовой расход пара машиной паровоза, отнесенный к 1  $m^2$  испаряющей поверхности нагрева (интенсивность парообразования по машине), то

$$U_M = u_M H$$

или

$$H = \frac{U_M}{u_M}.$$

Тогда можем получить, что

$$\frac{N_k}{H} = \frac{N_k u_M}{U_M} = \frac{u_M}{U_M/N_k},$$

где  $U_M/N_k$  представляет собой часовой расход пара машиной паровоза на 1 ЛС.

Подставляя это значение  $\frac{N_k}{H}$  в вышеуказанное выражение для  $N_k$ , получаем:

$$N_k = \frac{u_M}{U_M/N_k} \cdot H,$$

<sup>1)</sup> H—начальная буква нем. слова Heizfläche (поверхность нагрева).

подставляя же это значение  $N_K$  в выражение для  $Z_K$ , получим окончательно:

$$Z_K = \frac{270 u_M H}{U_M / N_K \cdot V}.$$

Как видно, для высших значений силы тяги паровоза по производительности машины существует еще предел по производительности котла, составляющий  $\frac{270 u_M H}{U_M / N_K \cdot V}$ . Этот предел, обычно, и называется **котловой силой тяги паровоза** ( $Z_{KT}$ ) (иногда еще **паровой силой тяги**).

По поводу входящих в выражение для котловой силы тяги величин следует заметить следующее.

Часовой расход пара  $U_M / N_K$  в кг на 1 ЛС определяется из выражений:

для паровозов однократного расширения:

$$U_M / N_K = \frac{54 \cdot 10^7 \cdot \beta}{\pi \xi \gamma_M},$$

для паровозов двукратного расширения:

$$U_M / N_K = \frac{54 \cdot 10^7 \beta}{\pi \xi m \gamma_M},$$

где  $\xi$  и  $\gamma_M$  имеют прежние, указанные выше значения,  $m$  — отношение полезных объемов цилиндров  $= \frac{n_{II} d_{II}^2 l}{n_B d_B^2 l}$ , а  $\beta$  — так называемый расходный коэффициент — коэффициент в выражении для расхода пара  $U$  на один ход поршня цилиндра, работающего свежим паром,  $U = \beta M_1$  где  $M_1$  — модуль расхода пара на один ход поршня (при машине двукратного расширения в цилиндре высокого давления)  $= M \frac{D}{n}$  для машины однократного расширения и  $= M \frac{D}{n_{II} m}$  — для машины двукратного расширения.

При расчетах, не требующих особой точности, могут приниматься нижеследующие средние значения часового расхода машиной паровоза пара на 1 ЛС на ободу ведущих

колес, данные *Igel'*ем при условии выгодного использования расширения пара.

Расширение.	П а р.	$U_M/N_k$ kg/лс-ч.
Однoчное . . . . .	Насыщенный . . . . .	12,0
" . . . . .	Перегретый . . . . .	8,2
Двукратное . . . . .	Насыщенный . . . . .	10,2
" . . . . .	Перегретый . . . . .	7,2

Часовой расход пара на машину, отнесенный к 1 м<sup>2</sup> испаряющей поверхности нагрева ( $u_M$  kg/м<sup>2</sup>-ч.), в общем составляет величины, указанные в следующей таблице, в коей во всех случаях указаны два значения  $u_M$ : среднее

Род паровоза.	Р о д т о п л и в а.					
	Нефть.	Кам. уголь.		Д р о в а.		
		Хороший.	Плохой.	С влажностью до 35%.	С влажностью свыше 35%.	
Товарные	4 ст. осн	30—40	30—35	20—25	25—40	15—25
	5 " в Mallet "	35—45	30—40	25—30	30—40	20—30
Пассажирские . . . . .		40—50	35—40	30—45	35—45	20—20

значение при длительной реализации и достижимое значение на коротких участках; из этих значений в расчет вводить надлежит первое.

Так как в общем принять для расчета правильную величину  $u_M$  крайне трудно, ибо она зависит не только от рода

паровоза, рода и качества топлива, но и от длительности поддержания данного  $u_m$ , искусства и числа кочегаров и отчасти от скорости (на пределе сцепления), то при расчетах, не требующих особой точности, напр., расчетах для новых дорог, представляется возможным котловую силу тяги паровоза определять из другого указанного выше выражения.

$$\gamma_{\text{кт}} = \frac{270 N_{\text{к}}}{V} = \frac{270 \frac{N_{\text{к}}}{H} H}{V},$$

принимая  $\frac{N_{\text{к}}}{H}$ , т. е. удельную мощность (число ЛС, получаемых с 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрева), по таблице *Borries'a* или определяя такую величину по формулам *Frank'a* или *Richter'a*.

Таблица *Borries'a* для значений  $\frac{Nk}{H}$ .

Р о д м а ш и н ы .		Число цилиндров.	Число оборотов движущих колес в секунду.										
			1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0		
П а р .	Расширение.												
П а с с а ж и р с к и е .	Насыщенный .	Одноч.	2	—	4,2	4,5	4,8	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	
	"	Двукр.	2	—	4,5	5,1	5,6	6,0	6,4	6,7	6,9	7,0	
	"	"	4	—	5,9	6,3	6,7	7,0	7,2	7,4	7,6	7,7	
	Перегретый . .	Одноч.	2	—	7,0	7,5	8,0	8,3	8,8	9,0	9,2	9,3	
	"	Двукр.	2	—	7,5	8,5	9,3	10,0	10,7	11,2	11,5	11,7	
	"	"	4	—	9,8	10,5	11,2	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8	
Т о в а р н ы е .	Насыщенный .	Одноч.	2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	—	—	—	—	
	"	Двукр.	2	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0	—	—	—	—	
	Перегретый . .	Одноч.	2	6,4	7,0	7,5	7,9	8,2	—	—	—	—	
	"	Двукр.	2 или 4	6,6	7,3	7,8	8,3	8,6	—	—	—	—	

При пользовании этой таблицей надлежит иметь в виду указанную выше (§ 72) зависимость между числом  $n$  оборотов движущих колес в секунду и скоростью движения паровоза  $V$  km/h:

$$V = 11,3 Dn \text{ [km/h.]},$$

где  $D$ —диаметр движущих колес в м.

Затем, надлежит иметь в виду и то, что данные приведенной таблицы основаны на опытах прусских дорог при отоплении паровозов хорошим углем (вестфальским). При отоплении паровозов дровами или углем средних качеств приведенные данные надлежит уменьшать на 5%, а при отоплении плохим углем—даже на 10%.

Формулы *Frank*'а для удельной мощности следующие: для товарных паровозов:

$$\frac{N_K}{H} = 0,6 + 0,527 \sqrt{V},$$

для пассажирских паровозов:

$$\frac{N_K}{H} = 0,617 \sqrt{V}.$$

Если вставить эти значения  $\frac{N_K}{H}$  в выражение для котловой силы тяги

$$Z_{\text{кт}} = \frac{270 \cdot \frac{N_K}{H} \cdot H}{V},$$

то получаются следующие простые выражения для  $Z_{\text{кт}}$ : для товарных паровозов:

$$Z_{\text{кт}} = \left( \frac{162}{V} + \frac{142}{\sqrt{V}} \right) H,$$

для пассажирских паровозов:

$$Z_{\text{кт}} = \frac{166,59 H}{\sqrt{V}}.$$

Формула *Richter*'а имеет вид:

$$\frac{N_k}{H} = 0,775 (a - 0,6n) \sqrt{n},$$

где:  $n$  — число оборотов движущих осей в секунду,  
 $a$  — величины, показанные в следующей таблице:

Р о д м а ш и н ы.		Число цилиндров.	$a$
П а р.	Расширение.		
Насыщенный . . . . .	Однократное . . . . .	2	6,0
	Двукратное . . . . .	2	6,5
	" . . . . .	4	7,5
Перегретый . . . . .	Однократное . . . . .	2	7,0
	Двукратное . . . . .	4	8,0

Пользование приведенными таблицей *Borries*'а и эмпирическими формулами *Frank*'а и *Richter*'а для существующих дорог в общем не рекомендуется; для названных дорог целесообразнее пользоваться кривыми котловой силы тяги, полученными из непосредственных опытов над определенным типом паровоза, каковые кривые только и могут считаться надежными данными.

#### Ст. 4. Общее ограничение силы тяги паровоза.

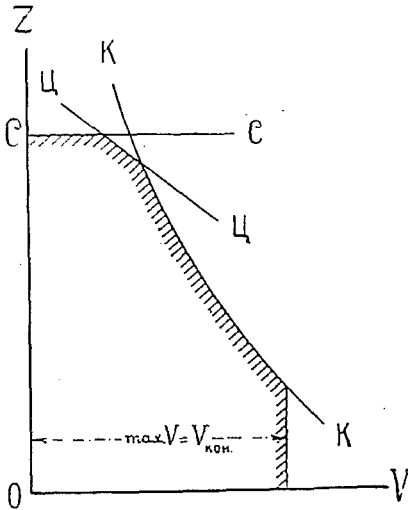
§ 79. Из сказанного выше ясно, что в общем сила тяги паровоза имеет три ограничения: а) по сцеплению, б) по производительности машины, или, как говорят, по цилиндрам, и в) по паропроизводительности котла, или, как говорят, просто по котлу. На основании этих частных ограничений, очевидно, можно получить и общее ограничение силы тяги.



## Предел силы тяги по сцеплению

$$Z_c = 1000 \psi P_c$$

(для паровозов с бегунками и тележками несколько меньше — см. § 77) определяется, как видно, сцепным весом паровоза  $P_c$  — величиной, по-



Фиг. 4.

стоянной для данного паровоза, и коэффициентом сцепления  $\psi$  — величиной, зависящей от состояния поверхности рельсов и от формы диаграммы касательных усилий на ободе движущих колес. Поэтому, в функции от скорости наибольшая возможная сцепная сила тяги представляется на диаграмме (фиг. 4) в виде горизонтальной прямой  $C$ , параллельной оси  $V$ .

Далее, предел силы тяги по цилиндрам —

касательной силы тяги

$$Z_k = \eta_m \frac{\pi d^2 l}{2D} p_{II}$$

определяется, как видно, с одной стороны, рядом постоянных для данного паровоза величин: числом цилиндров  $n$ , диаметром цилиндров  $d$ , ходом поршней  $l$  и диаметром движущих колес  $D$ , с другой же стороны, средним (за один оборот колеса) рабочим давлением пара в цилиндрах  $p_{II}$  и механическим коэффициентом полезного действия машины  $\eta_m$  — величинами, зависящими от скорости  $V$ , от степени открытия регулятора  $\rho$  и степени впуска пара в цилиндры  $\varepsilon^1$ ). Оче-

<sup>1)</sup> Степень открытия регулятора принимается в долях полного открытия (по площади прохода пара), а степень впуска пара в цилиндры — в долях хода поршня.

видно, наибольшее значение силы тяги по цилиндрам имеет место при полном открытии регулятора ( $\rho = 1$ ) и наибольшей возможной степени впуска пара в цилиндры  $\epsilon$ , которая в Европе принимается: для паровозов с однократным расширением пара—0,5 и для паровозов с двукратным расширением пара—0,7 (в Америке несколько больше—соответственно 0,60 и 0,85). При постоянных значениях  $\rho$  и  $\epsilon$  названная сила тяги зависит лишь от скорости, при чем в функции от таковой наибольшая возможная сила тяги по цилиндрам представляется на той же диаграмме весьма пологой кривой  $\Pi$  (весьма близко подходящей к прямой).

Наконец, предел силы тяги по котлу

$$Z_{\text{кт}} = \frac{270 \alpha_{\text{м}} H}{U_{\text{м}} / N_{\text{к}} \cdot V}$$

определяется, как видно, размерами испаряющей поверхности нагрева  $H$ —величиной постоянной для данного паровоза, скоростью движения  $V$ —величиной переменной—и напряженностью двигателя. При постоянной напряженности двигателя котловая сила тяги зависит лишь от скорости и в функции от таковой названная сила тяги представляется на диаграмме (фиг. 4) кривой  $K$ , имеющей гиперболический характер.

Если к указанным на фиг. 4 трем ограничениям силы тяги ( $C$ ,  $\Pi$  и  $K$ ) присоединить еще прямую, параллельную оси  $Z$  и отвечающую наиболее допускаемой, т. е. конструкционной скорости паровоза  $V_{\text{кон.}}$ , то ограниченная осями  $Z$  и  $V$ , двумя прямыми  $C$  и  $K$  при  $V_{\text{кон.}}$  и двумя кривыми  $\Pi$  и  $K$  площадь, на фигуре по краям заштрихованная, обнимает собой все возможные, в зависимости от скорости, значения силы тяги данного паровоза. Значения, лежащие вне этой площади, являются для данного паровоза недостижимыми.

Надлежит отметить, что точное построение общей кривой ограничения силы тяги для паровоза, не прошедшего через опыты, представляется крайне затруднительным, так как общая зависимость силы тяги от скорости представляет из себя результат целого ряда совокупных явлений, имеющих место в машине и котле паровоза—явлений на столько сложных,

разнообразных, и изменчивых, что предугадание их на основании одних только теоретических соображений представляется в большинстве случаев крайне затруднительным, чтобы не сказать невозможным. Для паровозов, прошедших через опыты, диаграммы общего ограничения силы тяги имеются в паспортных книжках.

Ст. 5. Общая сила тяги паровозов при двойной тяге и при подталкивании <sup>1)</sup>).

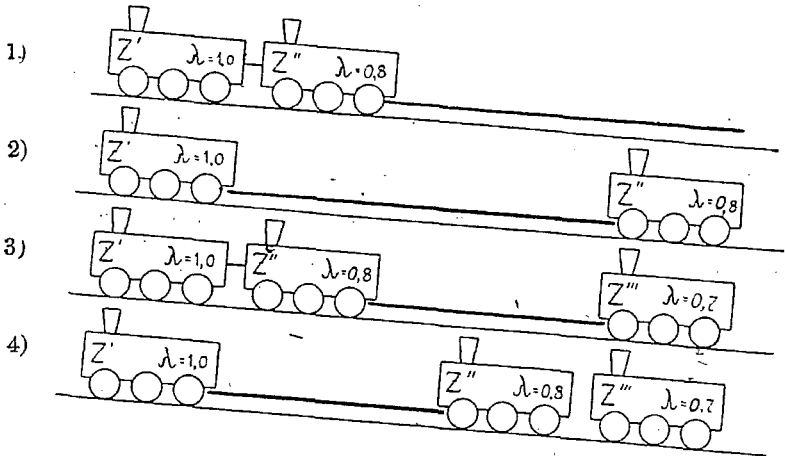
§ 80. При применении **двойной тяги** (*der Doppelbetrieb, le service double, the double working*) или **подталкивания** (*das Schieben, le refoulement, the pushing*) **общую силу тяги** (*die Gesamtzugkraft, l'effort de traction brut, the gross tractive power*) паровозов *Z* не следует принимать равной сумме сил тяги отдельных паровозов, так как при сношении между машинистами только посредством паровозных свистков что обычно на практике имеет место достичь полной согласованности действий машинистов задних паровозов с распоряжениями машиниста переднего паровоза крайне трудно (практика показала, что действия машинистов задних паровозов всегда носят некоторый элемент неуверенности). Поэтому, на практике, при разного рода расчетах, обычно поступают так, что силы тяги задних паровозов принимают лишь в 90—80—70% от их действительных величин, при чем для второго паровоза при двойной тяге обычно принимают 90—80%, а для **подталкивающих паровозов** (*die Schiebelokomotive, la locomotive de refoulement, the pusher engine*) в хвосте поезда—80—70%.

„Техническими условиями проектирования и сооружения магистралей нормального типа“ у нас ныне установлено принимать при расчетах нижеследующие **„коэффициенты использования“** (*die Ausnutzungsziffer, le coefficient d'utilisation, the coefficient of utilization*) λ задних паровозов в различных указанных выше случаях:

<sup>1)</sup> Под „подталкиванием“ следует понимать движение на крутых подъемах поезда с одним или несколькими подталкивающими паровозами в хвосте, при наличии одного или двух паровозов во главе поезда (§ 132).

- двойная тяга . . . . . для второго паровоза во главе поезда  $\lambda = 0,8$ ;
- одиночная тяга и одиночное подталкивание . . . . . для подталкивающего паровоза в хвосте поезда  $\lambda = 0,8$ ;
- двойная тяга и одиночное подталкивание . . . . . для второго паровоза во главе поезда  $\lambda = 0,8$ , а для подталкивающего паровоза в хвосте  $\lambda = 0,7$ ;
- одиночная тяга и двойное подталкивание . . . . . для первого подталкивающего паровоза в хвосте поезда  $\lambda = 0,8$ , а для второго —  $\lambda = 0,7$ .

Наглядно сказанное выражается так (фиг. 5):



Фиг. 5.

- |    |                           |                             |
|----|---------------------------|-----------------------------|
| 1) | общая сила тяги паровозов | $Z = Z' + 0,8Z''$           |
| 2) | " " " "                   | $Z = Z' + 0,8Z''$           |
| 3) | " " " "                   | $Z = Z' + 0,8Z'' + 0,7Z'''$ |
| 4) | " " " "                   | $Z = Z' + 0,8Z'' + 0,7Z'''$ |

За границей общую силу тяги двух паровозов, идущих во главе поезда, часто принимают равной  $90\%$  суммы сил тяги этих паровозов, т. е.  $Z = 0,9 (Z' + Z'')$ .

## Г Л А В А XII.

### Тормозные силы поезда <sup>1)</sup>.

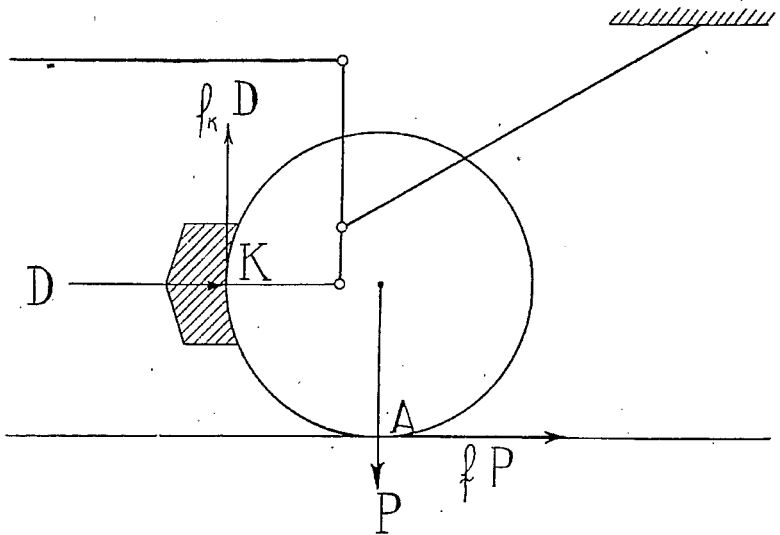
§ 81. Когда требуется, в силу тех или иных соображений уменьшить скорость движения поезда, напр., при следовании последнего по крутым скатам, или же совсем остановить поезд, напр., на станции или перед сигналом на перегоне, то необходимо произвести работу, поглощающую живую силу массы движущегося поезда, и, в связи с этим, в поезде возбудить искусственное сопротивление движению в виде сил трения между некоторыми колесами и тормозными колодками (в настоящее время чугунными) и иногда еще в виде силы контрпара, сообщающей паровозу обратный, по отношению к направлению движения, ход (задний—при движении паровоза трубой вперед и передний - при движении трубой назад). Равнодействующая первого рода сил называется **тормозной силой** (*die Bremskraft, la force de freinage, the brake power*) поезда от действия тормозных колодок ( $B_R$ ), второго рода сила—**тормозной силой** паровоза от контрпара ( $B_{кп}$ ), сумма же этих двух тормозных сил называется **полной тормозной силой** поезда ( $B$ ).

Ст. 1. Тормозная сила поезда от действия тормозных колодок ( $B_R$ ).

§. 82. При действии на колесо какого-либо экипажа тормоза, иначе говоря, при нажатии **тормозной колодки** (*der Bremsklotz, le sabot, the brake block*) на колесо, в месте соприкосновения названной колодки и колеса, в точке  $K$  (фиг. 6) возбуждается сила трения, равная произведению **силы**  $D$  на-

<sup>1)</sup> Иначе во всех случаях тормозная сила поезда обозначается буквой  $B$ , являющейся начальной буквой нем. слова *Bremskraft* (тормозная сила).

жания колодки (*der Bremsdruck, la pression du frein, the brake pressure*) на коэффициент трения  $f_k$  между колодкой и колесом, т. е.  $f_k D$ , в связи с чем затрудняется вращение колеса и увеличивается сила трения между рельсом и колесом (в точке  $A$ ), равная произведению давления  $P$  колеса на рельс на коэффициент трения  $f$  между колесом и рельсом, т. е.  $fP$ .



Фиг. 6.

Указанная сила трения колодки о колесо  $f_k D$  в точке  $K$ , как-то само собой понятно, увеличивается по мере увеличения силы  $D$  нажатия колодки на колесо; однако, это увеличение имеет известный предел, а именно: увеличение будет иметь место до тех пор, пока колодка не заклинит колеса, иначе говоря, пока относительная скорость в точке  $K$  не будет  $= 0$ . В этом последнем случае (заклинивания колеса колодкой) колесо начнет скользить по рельсу, трения в точке  $K$  никакого не будет и тормозящей силой явится уже сила трения колеса о рельс  $fP$ , приложенная в точке  $A$  и соответствующая скользящему трению. Эта сила трения  $fP$

достигает своей наибольшей величины не с наступлением скольжения колеса, а когда заторможенное колесо еще продолжает вращаться и скорость его вращения приближается к 0; в этот момент сила трения колеса о рельс и достигает своего *максимума*, равного  $f_0 P$ , где  $f_0$ , как то указано было выше при определении сцепной силы тяги паровоза, представляет собой коэффициент трения скольжения при скорости движения колеса

$$V = 0 \left( \text{формула Poiré : } f = \frac{f_0}{1 + 0,02V} \right),$$

когда точка  $A$  перестает являться мгновенным центром вращения колеса.

Из всего сказанного явствует, что для того, чтобы тормозная колодка не заклинила колеса, чтобы в общем имел место полный эффект торможения, необходимо условие:

$$f_{\kappa} D < f_0 P$$

т. е. сила  $D$  нажатия колодки на колесо должна удовлетворять условию:

$$D < \frac{f_0}{f_{\kappa}} P.$$

Надо заметить, что, строго говоря, для достижения указанного необходимо условие, чтобы сумма силы трения колеса о колодку ( $f_{\kappa} D$ ) и сопротивления, приходящегося на колесо веса экипажа ( $\frac{Pw}{1000}$ , где, смотря по условиям профиля и трассы,  $w = w_0$  или  $w = w_0 + w_r$ ) была меньше силы трения колеса о рельс. ( $f_0 P$ ), т. е.

$$f_{\kappa} D + \frac{Pw}{1000} < f_0 P,$$

однако, так как неравенство это трудно выполнить при малых скоростях, при которых член  $\frac{Pw}{1000}$  составляет всего около 1% от  $f_0 P$ , то означенный член для практических целей значения не имеет и его можно в расчетах отбросить.

Отношение  $\frac{D}{P} = \delta$  называется **коэффициентом нажатия колодки** (*der Bremswert, la valeur de la resistance de freinage, the brake value*).

В общем, следовательно, сила нажатия колодки на колесо ( $D$ ) равна произведению давления от колеса на рельс ( $P$ ) на коэффициент нажатия колодки ( $\delta$ ), т. е.

$$D = \delta P$$

и таким образом вопрос определения названной силы сводится к определению коэффициента нажатия колодки.

Этот коэффициент  $\delta$ , равный  $\frac{f_0}{f_k}$ , как видно, зависит от величины коэффициента трения  $f_0$  колеса о рельс в момент, когда скорость вращения заторможенного колеса приближается к 0, и от величины коэффициента  $f_k$  трения колеса о колодку.

Наибольшую величину первого из указанных коэффициентов ( $f_0$ ) трения (стали по стали) можно считать  $= 0,16$  (как было указано выше, в момент, когда скорость вращения заторможенного колеса приближается к 0).

Что касается второго коэффициента ( $f_k$ ) трения (чугуна по стали), величина коего тоже зависит от скорости скольжения колеса по колодке, следовательно, от скорости движения поезда ( $V$  km/h), то для определения такового имеется несколько формул, составленных на основании уже раз упомянутых выше опытов *Galton's* (1878—79 гг.), произведенных в Англии на дороге *London—Brighton and South—Coast*, при чем часть формул предусматривает благоприятные для торможения условия (хорошую погоду); часть же — неблагоприятные условия (сырую погоду, обледенелость колёдок и т. п.).

Первого рода формулы (для благоприятных условий) таковы:

*Frank*:

$$f_k = 0,29e^{-\frac{V}{90}},$$

где  $e$  — основание натуральных логарифмов (2,718).



*Fliegner:*

$$f_{\text{к}} = \frac{14,8}{45 + V} = \frac{0,33}{1 + 0,022V}$$

*Douaen:*

$$f_{\text{к}} = 0,27 - 0,002V,$$

каковые формулы в самом конце полного затормаживания колеса ( $V=0$ ) дают, как видно, величины  $f_{\text{к}}$  соответственно: 0,29 — 0,33 — 0,27.

Второго рода формулы (для неблагоприятных условий):

*Ver. deut. Ing.:*

$$f_{\text{к}} = 0,20e^{-\frac{V}{90}}$$

(измененная формула *Frank*'а).

*Wiechert:*

$$f_{\text{к}} = 0,25 \cdot \frac{1 + 0,0112V}{1 + 0,06V}.$$

*Петров:*

$$f_{\text{к}} = \frac{0,2}{1 + 0,0472V} + 0,104.$$

*Ломоносов:*

$$f_{\text{к}} = 0,20 - 0,0015V$$

(измененная формула *Douaen*'а, годная для  $V < 55$  km/h), каковые формулы в самом конце полного затормаживания ( $V=0$ ) дают, следовательно, величины  $f_{\text{к}}$  соответственно: 0,20 — 0,25 — 0,304 — 0,20.

Из всех приведенных формул можно рекомендовать: для благоприятных условий—формулы *Frank*'а или *Douaen*'а, а для неблагоприятных—формулы Союза Германских Инженеров (*Ver. deut. Ing.*) или *Ломоносова*. Во всяком случае формулами *Fliegner*'а и *Петрова* пользоваться не рекомендуется, как дающими несколько преувеличенные значения  $f_{\text{к}}$ . При этом, при тяговых расчетах осторожнее в общем учитывать неблагоприятные для торможения условия, иначе говоря,

при определении величины  $f_{\text{к}}$  осторожнее применять формулу  
**Союза Германских Инженеров**

$$f_{\text{к}} = 0,20e^{-\frac{V}{90}}$$

(при любом значении  $V$ )

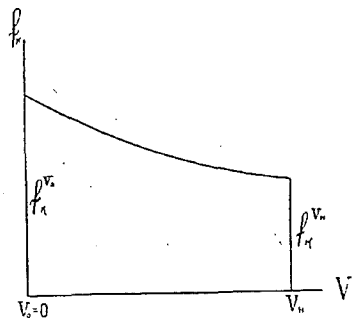
или формулу **Ломоносова**

$$f_{\text{к}} = 0,20 - 0,0015V$$

при  $V < 85$  км/ч).

Надлежит заметить, что при определении коэффициента  $\delta$  нажатия колодки на колесо необходимо принимать в расчет некоторую среднюю за период торможения величину  $f_{\text{к}}$ , так как коэффициент трения  $f_{\text{к}}$  колеса о колодку, в связи со скоростью движения поезда, в течение названного периода изменяется. Средней величиной будет такой коэффициент трения  $f_{\text{к}}^{\text{ср}}$ , который удовлетворяет условию, что определенная по этому среднему коэффициенту работа трения на протяжении всего участка торможения равняется сумме элементарных работ трения на бесконечно малых участках, рассчитанных по коэффициентам трения, отвечающим скорости движения по отдельным участкам.

Если отложить по оси абсцисс (фиг. 7) величины скоростей движения поезда  $V$  на отдельных участках от  $V_0$  — скорости движения при конце торможения ( $V_0$ , очевидно,  $= 0$ ), до  $V_{\text{н}}$  — скорости движения поезда при начале торможения, а по оси ординат отложить коэффициенты трения  $f_{\text{к}}$ , отвечающие скоростям на отдельных участках, то, очевидно, площадь, заключенная между полученной таким образом кривой,



Фиг. 7.

осями координат и ординатой, соответствующей  $V = V_H$ , будет равна

$$\int_0^{V_H} f_k dV,$$

а средний за период торможения коэффициент трения  $f_k^{\text{ср}}$  получится:

$$f_k^{\text{ср}} = \frac{1}{V_H} \int_0^{V_H} f_k dV.$$

Если теперь применить для  $f_k$  формулу Союза Германских Инженеров, то получим

$$f_k^{\text{ср}} = \frac{0,20}{V_H} \int_0^{V_H} e^{-\frac{V}{90}} dV = \frac{0,20}{V_H} \times 90 \left( 1 - e^{-\frac{V_H}{90}} \right).$$

Раскладывая  $e^{-\frac{V_H}{90}}$  в ряд и ограничиваясь тремя членами, получим

$$e^{-\frac{V_H}{90}} = 1 - \frac{V_H}{90} + \frac{V_H^2}{90^2 \times 2}$$

и, следовательно, окончательно

$$\begin{aligned} f_k^{\text{ср}} &= \frac{0,20}{V_H} \cdot 90 \left( 1 - 1 + \frac{V_H}{90} - \frac{V_H^2}{90^2 \times 2} \right) = \\ &= \frac{0,20}{V_H} \left( V_H - \frac{V_H^2}{180} \right) = \frac{0,20}{180} (180 - V_H) = \\ &= 0,0011 (180 - V_H). \end{aligned}$$

Если же применить для  $f_k$  формулу Ломоносова, то получим:

$$\begin{aligned} f_k^{cp} &= \frac{1}{V_H} \int_0^{V_H} (0,20 - 0,0015 V) dV = \\ &= \frac{1}{V_H} \left( 0,20 \int_0^{V_H} dV - 0,0015 \int_0^{V_H} V dV \right) = \\ &= \frac{1}{V_H} \left( 0,20 V_H - 0,0015 \frac{V_H^2}{2} \right) = 0,20 - 0,00075 V_H. \end{aligned}$$

Лучше всего, при скоростях движения перед началом торможения  $V_H < 85 \text{ km/h}$ , для  $f_k^{cp}$  принимать среднее арифметическое из  $f_k^{cp}$ , получаемого по данным Союза Германских Инженеров и получаемого по данным Ломоносова, т. е. принимать

$$f_k^{cp} = \frac{0,0011 (180 - V_H) + 0,20 - 0,00075 V_H}{2} = 0,20 - 0,0009 V_H$$

На основании изложенного относительно значения коэффициентов трения  $f_0$  и  $f_k$  для коэффициента  $\delta$  нажатия колодки на колесо получается следующее выражение

$$\delta = \frac{f_0}{f_k^{cp}} = \frac{0,16}{0,20 - 0,0009 V_H} = \frac{100}{125 - 0,56 V_H}$$

Это выражение получает значение 1, если  $V_H = 45 \text{ km/h}$ . Следовательно, для полного затормаживания колеса при условии, чтобы колодка не заклинила колеса, сила нажатия колодки на колесо  $D$  должна быть: при скорости движения перед началом торможения  $V_H < 45 \text{ km/h}$  — меньше давления  $P$  от колеса на рельс ( $D < P$ ), а при скоростях  $V_H > 45 \text{ km/h}$  — больше названного давления ( $D > P$ ).

На практике, при проектировании тормозных устройств различных железно-дорожных экипажей, коэффициент  $\delta$  нажатия колодки на колесо принимается различный при **ручных**

(*die Handbremse, le frein à main, the hand brake*) и непрерывных (*die durchgehende Bremse, le frein continu, the continuous brake*) тормозах:

для	паровозов	при	ручных	тормозах	$\delta = 0,35 - 0,50$
"	"	"	непрерывн.	"	$\delta = 0,50 - 0,70$
"	тендеров	"	ручных	"	$\delta = 0,40 - 1,20$
"	"	"	непрерывн.	"	$\delta = 0,60 - 1,40$
"	пасс. ваг.	"	ручных	"	$\delta = 0,35 - 0,50$
"	"	"	непрерывн.	"	$\delta = 0,75 - 0,90$
"	дачных	"	ручных	"	$\delta = 0,50 - 0,85$
"	"	"	непрерывн.	"	$\delta = 0,75 - 0,90$
"	товарн.	"	ручных	"	$\delta = 0,50 - 0,85$
"	"	"	непрерывн.	"	$\delta = 0,90 - 1,0$

при чем давление от колеса на рельс  $P$  считается: для паровозов — по весу паровоза в рабочем состоянии, приходящемуся на колесо, имеющее тормозную колодку, для тендеров же и вагонов — по весу их в порожнем состоянии.

При производстве расчетов тормозной силы поезда от действия колодок рекомендуется принимать нижеследующие наибольшие величины коэфф.  $\delta$ :

для	паровозов	при	ручных	тормозах	0,50
"	"	"	непрерывных	"	0,60
"	тендеров	"	ручных	"	0,90
"	"	"	непрерывных	"	1,00
"	пасс. ваг.	"	ручных	"	0,80
"	тов.	"	"	"	0,50 (лучше даже 0,40),

принимая при этом для тендеров и вагонов давления  $P$  от колес на рельсы при порожнем состоянии, как это ныне у нас установлено считать. Однако, строго говоря, тормозная сила тендера может быть определяема и из веса тендера при  $1/2$  запасов воды и топлива, принимая  $\delta = 0,70 - 0,80$ .

Таким образом, из всего сказанного выше явствует, что тормозной силой колеса какого-либо экипажа от действия

тормозной колодки является сила трения, возбуждаемая нажатием названной колодки на колесо

$$f_{\text{к}}^{\text{ср}} D = f_{\text{к}}^{\text{ср}} \delta P.$$

Если мы теперь обозначим через:

$f_{\text{к}}^{\text{ср}} \sum_{\text{п}} \delta P$  — тормозную силу паровоза от действия тормозных колодок,

$f_{\text{к}}^{\text{ср}} \sum_{\text{т}} \delta P$  — тормозную силу тендера от действия тормозных колодок,

$f_{\text{к}}^{\text{ср}} \sum_{\text{в}} \delta P$  — тормозную силу вагонов от действия тормозных колодок,

то тормозная сила поезда  $B_{\text{к}}$  от действия тормозных колодок выразится

$$B_{\text{к}} = f_{\text{к}}^{\text{ср}} (\sum_{\text{п}} \delta P + \sum_{\text{т}} \delta P + \sum_{\text{в}} \delta P).$$

Затем, называя отношение  $\vartheta$  суммы нажатий тормозных колодок какого-либо экипажа к полному весу поезда в  $kg$  1000 ( $P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}$ ) тормозным коэффициентом данного экипажа и обозначая через:

$$\vartheta_{\text{п}} \text{ — тормозной коэффициент паровоза} = \frac{\sum_{\text{п}} \delta P}{1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}})}$$

$$\vartheta_{\text{т}} \text{ — " " " тендера} = \frac{\sum_{\text{т}} \delta P}{1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}})}$$

$$\vartheta_{\text{в}} \text{ — " " " вагонов} = \frac{\sum_{\text{в}} \delta P}{1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}})}$$

получим, что тормозная сила поезда от нажатия тормозных колодок может быть выражена так:

$$\begin{aligned} B_{\text{к}} &= 1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}) (\vartheta_{\text{п}} + \vartheta_{\text{т}} + \vartheta_{\text{в}}) f_{\text{к}}^{\text{ср}} = \\ &= 1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}) \vartheta_{\text{к}} f_{\text{к}}^{\text{ср}} \text{ [kg]} \end{aligned}$$

где  $\vartheta_k$  — тормозной коэффициент всего поезда от действия тормозных колодок.

Относя  $B_k$  к 1 т полного веса поезда, получаем удельную тормозную силу от действия тормозных колодок

$$b_k = 1000 \vartheta_k f_k^{cp} \text{ [кг/т]}.$$

## Ст. 2. Тормозная сила поезда от контрпара ( $B_{кп}$ ).

§ 83. Тормозная сила от контрпара (*der Gegen-dampf, la contre-vapeur, the counter steam*) на ободе движущих колес, зависящая, как то само собой понятно, от положения регулятора и переводного механизма, по существу ограничена, как и касательная сила тяги паровоза  $Z_k$ , тремя условиями: размерами машины, сцеплением и размерами котла. Однако, последнее условие не имеет практического значения для контрпара, так как последний получает применение в течение сравнительно короткого времени и потому о недостатке пара в котле для контрпара не может быть вопроса.

В зависимости от размеров машины (цилиндров) сила контрпара  $B_{кп}$  выражается совершенно так же, как и касательная сила тяги паровоза  $Z_k$ , а именно:

$$B_{кп} = \frac{n d^2 l}{2D} p_k \xi_{кп} \eta_{кп} = \xi_{кп} \eta_{кп} M,$$

где  $M$  — модуль силы тяги паровоза, а  $\xi_{кп}$  и  $\eta_{кп}$  — коэффициенты, соответствующие коэффициентам  $\xi$  и  $\eta_m$ , указанным при определении величины касательной силы тяги паровоза.

Произведение  $\xi_{кп} \eta_{кп}$  может быть определено по формуле **Ломоносова**, выведенной им на основании опытов на русских дорогах:

$$\xi_{кп} \eta_{кп} = 0,55 - 0,05 n,$$

где  $n$  — число оборотов движущих колес в секунду, имеющее, как то было указано выше (§ 72), при рассмотрении ци-

линдровой силы тяги паровоза, следующую зависимость от скорости движения паровоза:

$$n = \frac{V_{\text{км/ч}}}{11,3 D m}.$$

Нередко при расчетах принимают  $\xi_{\text{кп}} \eta_{\text{кп}} = 2,5 f_{\text{к}}^{\text{ср}}$ , где  $f_{\text{к}}^{\text{ср}}$  — по прежнему средняя за период торможения величина коэффициента трения колеса о колодку, определяемая по указанным выше формулам, так что в общем тормозную силу контрпара  $B_{\text{кп}}$  принимают

$$B_{\text{кп}} = 2,5 M f_{\text{к}}^{\text{ср}}.$$

Весьма удобно силу контрпара заменить фиктивным нажатием колодок, равным  $B_{\text{кп}} : f_{\text{к}}^{\text{ср}}$ . Если затем обозначить отношение этого фиктивного нажатия к полному весу поезда

$$1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}) [\text{kg}]$$

через коэффициент  $\vartheta_{\text{кп}}$  — **тормозной коэффициент контрпара**, то в результате тормозная сила поезда от контрпара  $B_{\text{кп}}$  выразится так:

$$B_{\text{кп}} = 1000 (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}) \vartheta_{\text{кп}} f_{\text{к}}^{\text{ср}} [\text{kg}].$$

Относя  $B_{\text{кп}}$  к 1 т полного веса поезда, получаем **удельную тормозную силу поезда от контрпара**

$$b_{\text{кп}} = 1000 \vartheta_{\text{кп}} f_{\text{к}}^{\text{ср}} [\text{kg/t}].$$

Что касается предела силы контрпара по сцеплению, то таковой выражается так же, как и для силы тяги паровоза, а именно:

$$B_{\text{кп}} \leq 1000 \psi_{\text{кп}} P_{\text{с}} [\text{kg}]$$



(для паровозов с бегунками или тележками несколько меньше—см. § 77), где  $P_c$  — сцепной вес паровоза в  $t$ , а  $\psi_{кп}$  — коэффициент сцепления при контрпаре, принимаемый при расчетах =  $1/8$  —  $1/9$  (у нас ныне установлено принимать  $1/9$ ).

### Ст. 3. Полная тормозная сила поезда (В).

§ 84. Полная тормозная сила поезда В, как само собой понятно, складывается из тормозной силы от действия колодок  $B_k$  и тормозной силы от контрпара  $B_{кп}$ , т. е.

$$\begin{aligned} B &= B_k + B_{кп} = f_k^{cp} (\sum_{п} \delta P + \sum_{т} \delta P + \sum_{в} \delta P) + \\ &+ 2,5 M f_k^{cp} = 1000 (P_{п} + P_{т} + P_{в}) (\vartheta_k + \vartheta_{кп}) f_k^{cp} = \\ &= 1000 (P_{п} + P_{т} + P_{в}) \vartheta f_k^{cp} [\text{kg}], \end{aligned}$$

где

$$\vartheta = \frac{\sum_{п} \delta P + \sum_{т} \delta P + \sum_{в} \delta P + 2,5 M}{1000 (P_{п} + P_{т} + P_{в})}$$

и представляет собой отношение суммы действительных нажатий колодок тормозных колес всего поезда и фиктивного нажатия колодок (взамен действия контрпара) к полному весу поезда. Этот коэффициент  $\vartheta$  называется **полным тормозным коэффициентом поезда**.

Относя  $B$  к  $1 t$  веса поезда, получаем полную **удельную тормозную силу поезда**.

$$b = 1000 \vartheta f_k^{cp} [\text{kg}/t].$$

Приведенные формулы дают возможность определить величину полной тормозной силы поезда, так как, при выводе их приняты в расчет тормозные оси паровоза, тендера и вагонов, а также учтен и контрпар. Однако, из осторожности, не всегда принимается в расчет все указанное.

Например, еще недавно у нас в России было принято при определении тормозной силы поезда не принимать в расчет тормозные оси тендера (в этом случае, следовательно

$$\sum_{т} \delta P = 0 \text{ и } \vartheta_{т} = 0).$$

Затем, например, еще недавно у нас было принято на скатах до 0,005 не принимать в расчет и тормозные оси паровоза (в этом случае, следовательно,

$$\sum_{II} \delta P = 0 \text{ и } \delta_{II} = 0),$$

которые, разумеется, надо заметить, вообще могут приниматься в расчет лишь в тех случаях, когда паровоз снабжен добавочным тормозом с колодками <sup>1)</sup>).

В настоящее время при определении тормозной силы поезда у нас принято во всех случаях принимать в расчет все имеющиеся в наличии тормозные оси паровоза и тендера, что, надо заметить, вполне рационально, так как в действительности торможение всего поезда производится главным образом, тормозной силой паровоза и тендера.

Далее, иногда, как это, например, и ныне у нас принято, для поездов, следующих на автоматических тормозах, принимают в расчет лишь 80% всего количества вагонов, имея в виду возможность выключения до 20% вагонов.

Наконец, далеко не всегда принимается в расчет сила контрпара, который, надо заметить, в общем разрушительно действует на движущий механизм, сальники и т. п. К тому же, с поездами, следующими на автоматических тормозах, прибегать к контрпару приходится лишь в самых исключительных случаях. Поэтому, как правило, сила контрпара не должна вводиться в расчет при определении тормозной силы поездов, следующих на автоматических тормозах, следовательно, у нас в России—пассажирских поездов; при определении же тормозной силы поездов, следующих на ручных тормозах, с которыми иногда приходится прибегать к контрпару, сила последнего может вводиться в расчет, однако, лишь в исключительных случаях и при том лишь при наличии у паровоза поезда крана *le Chatelier*, помощью которого в

<sup>1)</sup> В русских пассажирских паровозах тормозные колодки имеются у всех сцепных осей, а в паровозе типа 2—3—1 Л—еще и у бегунковых осей. В товарных наших паровозах типов 0—5—0 Э и 1—5—0 Е тормозные колодки имеются у всех сцепных осей, в паровозе типа 1—4—0 Ш—у трех сцепных осей, что же касается норм. паровоза типа 0—4—0 ОВ, то таковой совсем не имеет тормозных колодок.

цилиндр при контрпаре пускается не пар, а смесь такового с водой—мокрый пар (этим, как известно, достигается то, что теплота засасываемых при контрпаре из дымовой коробки в цилиндр газов—продуктов горения, а также теплота, развиваемая при ударе пара о поршень, идут не на перегрев пара, что именно и отражается разрушительно на сальниках и золотниках, а на осушение пара).

Во всяком случае, при принятии в расчет тормозной силы контрпара рекомендуется принимать для таковой не действительный предел ( $B_{\text{кп}}$ ), определяемый по указанной в § 83 формуле, а всего лишь  $\frac{2}{3} B_{\text{кп}}$ .

Кроме того, надлежит иметь в виду, что, при наличии паровоза, снабженного добавочным тормозом с колодками, не тормозная сила от контрпара  $B_{\text{кп}}$  должна быть меньше предела по сцеплению, а общая тормозная сила паровоза от действия колодок и от контрпара ни в каком случае не должна превосходить этого предела, т. е.

$$f_{\text{к}}^{\text{сп}} \sum_{\text{н}} \delta P + 2,5 M f_{\text{к}}^{\text{сп}} \leq 1000 \psi_{\text{кп}} P_c \text{ [kg]}$$

при  $\psi_{\text{кп}} = \frac{1}{8} - \frac{1}{9}$  (у нас, как было выше указано,  $\frac{1}{9}$ ).

## О Т Д Е Л II.

### Движение поезда.

#### Г л а в а XIII.

#### Уравнение движения поезда.

§ 85. Поезд, состоящий из паровоза с тендером и вагонов, представляет собой с динамической точки зрения систему материальных тел, связанных между собой частью жесткими, частью гибкими связями и могущих перемещаться лишь по одному направлению—по рельсам, иначе говоря, тел, ограниченных в своем движении рельсовым путем, как неустойчивающей преградой.

Принимая, что вес паровоза, тендера и отдельных вагонов сосредоточен в их центрах тяжести, движение поезда

можно свести к движению системы материальных точек, находящихся одна от другой на неизменных расстояниях и подверженных действию известного рода сил. Однако, в таком виде задача о движении поезда несколько сложна для математического выражения и потому обычно движение поезда сводят к движению одной материальной точки—центра тяжести вышеупомянутой системы (центра тяжести поезда), в которой принимается сосредоточенной вся масса поезда.

Строго говоря, надо заметить, такого рода упрощение задачи движения поезда, с точки зрения законов механики, допустимо лишь для случая движения поезда по однообразному профилю, для случая же движения по перелому это не совсем правильно, так как центр тяжести поезда во все время прохождения последнего по перелому меняет свое положение. Тем не менее, учитывая небольшие величины этих изменений, обычно ограничиваются исследованием движения только центра тяжести поезда, что дает возможность разрешать, с достаточной для практических целей точностью, многие задачи в области тяги поездов.

Уравнение движения поезда, связывающее перемещение поезда с временем, может быть выведено на основании принципа живых сил: приращение живой силы, приобретаемое движущейся системой, при переходе ее из одного положения в другое, равно элементарной работе всех действующих на систему сил.

Живая сила поезда в каждый момент движения его зависит, как известно, от величины массы поезда  $M$  и от скорости движения последнего  $V$ , а именно—живая сила  $K$  выражается:

$$K = \frac{MV^2}{2}.$$

По поводу массы поезда  $M$  надлежит заметить, что таковая состоит из двух слагаемых: массы  $M_k = \sum m_k$  кузовов всех экипажей поезда (паровоза, тендера и вагонов), имеющей поступательное движение, и массы

$$M_c = \sum m_c + \sum \frac{J}{r^2}$$

колесных полускатов, имеющей не только поступательное, но и вращательное движение, так что вся масса поезда составляет

$$M = M_k + M_c = \sum m_k + \sum m_c + \sum \frac{J}{r^2} = M_1 + \sum \frac{J}{r^2},$$

где  $M_1$  — масса поезда, выражающаяся через полный вес поезда  $Q$  и через ускорение силы тяжести  $g$ , а именно:

$$M_1 = \frac{Q}{g},$$

$J$  — полярный момент инерции полуската,  
 $r$  — радиус круга катания колес.

Величина второго члена  $\sum \frac{J}{r^2}$  может быть выражена через  $M_1$  при помощи коэфф.  $\gamma$  весьма малой величины ( $\gamma$  — поправка на инерцию вращения колесных скатов), т. е.

$$\sum \frac{J}{r^2} = \gamma M_1,$$

при чем для русского подвижного состава коэфф.  $\gamma$  может быть принят, как показывают подсчеты, в среднем = 0,06<sup>1)</sup> (для пасс. и полногрузных товарных поездов  $\gamma = 0,04$ , для порожних товарных поездов  $\gamma = 0,11$ ).

Таким образом, масса всего поезда (приведенная масса) составляет для нашего подв. состава, примерно,

$$M = (1 + \gamma) M_1 = 1,06 M_1.$$

Тогда живая сила поезда выразится

$$K = \frac{1,06 M_1 V^2}{2},$$

а приращение этой живой силы

$$dK = 1,06 M_1 V dV.$$

Что касается сил, приложенных к поезду, следующему без торможения, то таковыми являются:

<sup>1)</sup> В германии принимают 0,07.

а) касательная сила тяги паровоза  $Z_K^1$ ,

б) сила полного сопротивления движению  $W_K$  поезда как системы повозок, т. е. без учета сопротивления паровоза, как машины,

$$(W = W_0 \pm W_i + W_r),$$

в) реакция между отдельными частями поезда,

г) реакция между колесами и рельсами.

Элементарная работа сил (в) = 0; так как каждой реакции со знаком + соответствует реакция со знаком —. Также = 0 и элементарная работа сил (г), так как они приложены в мгновенном центре вращения колес и, следовательно, их перемещения = 0.

Таким образом, при определении элементарной работы приходится принимать во внимание лишь силы (а) и (б). Элементарная работа этих двух сил равна

$$(Z_K - W_K) ds.$$

Приравнивая теперь приращение живой силы поезда элементарной работе сил, приложенных к поезду, получим

$$1,06M_1 V dV = (Z_K - W_K) ds.$$

Имея же в виду, что

$$V = \frac{ds}{dt}$$

получим

$$1,06M_1 \frac{dV}{dt} = Z_K - W_K.$$

---

<sup>1)</sup> Точнее говоря, сумма  $\Sigma z_k$  касательных усилий, приводящих поезд в движение и приложенных к ободу движущих колес паровоза. В силу того, что поезд представляет из себя такой могучий маховик, что колебания скорости в пределах одного оборота колес, происходящие от того, что сумма названных усилий то больше, то меньше среднего значения этой суммы за оборот колес, называемого силой тяги, заключается на практике между  $1/300$  и  $1/100.000$  средней скорости, имеется возможность в уравнение движения поезда поставить касательную силу тяги  $Z_k$ , вместо суммы касательных усилий  $\Sigma z_k$ .

Так как масса поезда  $M_1$  в кг составляет

$$M_1 = \frac{Q}{g} \cdot 1.000,$$

где  $Q$  — полный вес поезда в  $t = P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}$ ,  
а  $g$  — ускорение силы тяжести, то получим:

$$1,06 \frac{Q}{g} 1000 \frac{dV}{dt} = Z_{\text{к}} - W_{\text{к}},$$

откуда получаем уравнение движения поезда к 1 т его веса

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{1060} \cdot \frac{Z_{\text{к}} - W_{\text{к}}}{Q},$$

где  $\frac{g}{1060}$  представляет собой ускорение поезда ( $\text{km/h}^2$ ) при равнодействующей силе 1  $\text{kg/t}$ .

Если теперь в это выражение подставим значение  $g$  в системе километр-час, а именно

$$g = 9,81 \text{ m/s.}^2 = \frac{9,81 \times (60 \times 60)^2}{1000} \text{ km/h.}^2 = 127000 \text{ km/h.}^2,$$

то получим уравнение движения поезда в виде:

$$\frac{dV}{dt} = 120 \left( \frac{Z_{\text{к}} - W_{\text{к}}}{Q} \right),$$

а если заменим  $\frac{Z_{\text{к}}}{Q}$  через  $z_{\text{к}}$  — удельную силу тяги паровоза (на 1 т веса поезда), а  $\frac{W_{\text{к}}}{Q}$  через  $w_{\text{к}}$  — удельное сопротивление поезда движению, то окончательно уравнение движения поезда к 1 т его веса получается в таком виде:

$$\frac{dV}{dt} = 120 (z_{\text{к}} - w_{\text{к}}),$$

где  $w$ , надо помнить, представляет собой полное удельное сопротивление движению, т. е.

$$w = w_0 \pm w_i + w_r.$$

Указанные уравнения, как видно из сказанного выше, относятся к случаю движения поезда без торможения.

Если при движении поезда пускаются в действие тормоза и паровоз при этом движется при открытом регуляторе, то к указанным выше силам присоединяется еще тормозная сила поезда —  $B$ , представляющая собой, как было указано выше, искусственное сопротивление поезда движению. В этом случае уравнение движения поезда к 1 т его веса будет иметь вид

$$\frac{dV}{dt} = 120 \left( \frac{Z_K - W_K - B}{Q} \right)$$

и, соответственно,

$$\frac{dV}{dt} = 120 (z_K - w_K - b),$$

где  $b = \frac{B}{Q}$  — удельная тормозная сила поезда (на 1 т веса поезда).

Однако, надо заметить, случаи, когда при торможении поезда паровоз идет все еще с открытым регулятором, в общем крайне редки. Обычно при торможении поезда регулятор закрыт. В этом последнем случае цилиндрическая сила тяги паровоза  $Z_K = 0$ , в виду того, что давление пара в цилиндре  $p_H = 0$ , но касательная сила тяги не  $= 0$ , а равна сопротивлению паровоза (с тендером), как машины, с обратным знаком, т. е.  $= -W_M^{пт}$ , что видно из следующего:

$$Z_K = Z_{ц} - W_M^{пт} = 0 - W_M^{пт} = -W_M^{пт}.$$

При этом надлежит иметь в виду, что в рассматриваемом случае сопротивление паровоза как машины, больше, чем в том случае, когда паровоз движется при открытом регуляторе (с паром), так как при движении паровоза с закрытым регулятором (без пара) к внутреннему сопротивлению частей движущего и парораспределительного механизмов добавляется еще сопротивление воздуха, перекачиваемого в цилиндрах с одной стороны поршня на другую. Следовательно, в приведенном выражении для  $Z_K$  надо понимать под  $W_M^{пт}$  некоторую другую величину сопротивления паровоза, как машины —  $W_{м.з.р.}^{пт}$ , которая  $>$  или  $<$   $W_M^{пт}$ , в зависимости



от размеров цилиндров и конструкции приспособлений для уменьшения перекачивания воздуха (байпасы, перепускные клапаны и пр.), а также скорости движения.

Величина  $W_{\text{м/з.р.}}^{\text{пт}}$ , надо заметить, может быть для некоторых паровозов (0—4—0 O<sup>B</sup>, 0—5—0 Э, 1—5—0 E<sup>ф</sup>, 0—3+3—0 Θ, 2—3—0 K<sup>у</sup>, 1—3—1 С) взята из паспортных книжек, для других же—может быть определена из опытных данных над подходящими по расположению осей и диаметру колес паровозами.

В связи с сказанным уравнение движения к 1 т веса поезда при торможении, когда паровоз движется при закрытом регуляторе, имеет вид

$$\frac{dV}{dt} = -120 \left( \frac{W_{\text{м/з.р.}}^{\text{пт}} + W_{\text{к}} + B}{Q} \right)$$

п, соответственно,

$$\frac{dV}{dt} = -120 (w_{\text{м/з.р.}}^{\text{пт}} + w_{\text{к}} + b).$$

Затем надлежит заметить, что выше при выводе уравнения движения поезда была принята в расчет касательная сила тяги паровоза  $Z_{\text{к}}$  и соответственно сему принята сила полного сопротивления движению поезда, как системы по-возок:

$$W_{\text{к}} = (W^{\text{п}} - W_{\text{м}}^{\text{пт}}) + W^{\text{т}} + W^{\text{в}}.$$

Совершенно очевидно, что, если принять в расчет цилиндрическую силу тяги  $Z_{\text{п}}$ , то, вместо  $W_{\text{к}}$ , надо принимать

$$W_{\text{п}} = W^{\text{п}} + W^{\text{т}} + W^{\text{в}},$$

наконец, если принимать в расчет полезную силу тяги  $Z_{\text{п}}$ , то, вместо  $W_{\text{к}}$ , надлежит принимать  $W_{\text{п}} = W^{\text{в}}$ .

Имея в виду сказанное, а также и то, что  $\frac{dV}{dt}$  представляет собой ускорение поезда в каждый данный момент, которое может быть выражено еще в виде  $\frac{d^2s}{dt^2}$  и  $\frac{V ds}{ds}$ ; по-

лучаем дифференциальное уравнение движения поезда в случае, когда к поезду приложена и сила тяги и тормозная сила, в следующем общем виде:

$$\frac{dV}{dt} = 120 (\varepsilon - w - b) \dots \dots \dots (a)$$

или

$$\frac{d^2s}{dt^2} = 120 (\varepsilon - w - b) \dots \dots \dots (b)$$

или

$$\frac{V dV}{ds} = 120 (\varepsilon - w - b) \dots \dots \dots (c)$$

При этом не следует забывать, что в этих уравнениях число 120, представляющее собой ускорение поезда (km/h<sup>2</sup>) при равнодействующей силе 1 kg/t, получено в предположении, что поправка на инерцию вращения колесных полуоскатов  $\gamma = 0,06$ . Для всякой иной величины  $\gamma$  названное ускорение поезда должно быть, как то явствует из сказанного выше, определено по формуле

$$\frac{127000}{1000(1 + \gamma)}$$

Исследования вопросов, касающихся движения поезда, заключаются в исследовании уравнения движения поезда в том или ином из приведенных видов.

Например, для определения времени, потребного для изменения под влиянием заданных сил скорости поезда данного веса от  $V_1$  до  $V_2$ , необходимо обратиться к уравнению движения поезда вида (a).

Так как  $\varepsilon$ ,  $w$  и  $b$  суть функции от скорости, то уравнение это удобнее представить в виде

$$dt = \frac{dV}{120 (\varepsilon - w - b)}$$

Чтобы определить теперь искомое время, т. е. время, потребное для изменения скорости поезда от  $V_1$  до  $V_2$ , не-

обходимо, очевидно, проинтегрировать приведенное уравнение и тогда получим:

$$t_2 - t_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{120(z-w-b)}.$$

Далее, например, для определения в рассматриваемом случае величины пути, пройденного поездом, при изменении скорости от  $V_1$  до  $V_2$ , необходимо обратиться к уравнению движения поезда вида (с) и написать его в таком виде:

$$ds = \frac{VdV}{120(z-w-b)}.$$

Очевидно, искомая величина пути определится путем интегрирования этого уравнения. Выполняя таковое, получаем:

$$s_2 - s_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{VdV}{120(z-w-b)}.$$

Таким образом, как видно, решение вопросов, касающихся движения поезда с неравномерной скоростью, сводится к интегрированию уравнения движения поезда.

При наличии равномерного движения поезда надобности в интегрировании уравнения поезда не имеется. В этом случае, очевидно, ускорение движения не имеет места, следовательно

$$\frac{dV}{dt} = 0,$$

а, затем, не имеет места и торможение поезда, следовательно, и

$$b = 0.$$

В связи с этим, уравнение движения поезда получает в данном случае вид

$$\ddot{0} = 120(z-w) = 120\left(\frac{Z-W}{Q}\right).$$

Очевидно, данное равенство может иметь место лишь при условии

$$Z - W = 0,$$

иначе говоря, при условии

$$Z = IV$$

т. е., что сила тяги паровоза = полному сопротивлению поезда движению.

На основании этого условия и решаются вопросы, касающиеся равномерного движения поезда.

## Г л а в а XIV.

### Главнейшие вопросы, относящиеся к движению поезда.

§ 86. Главнейшими вопросами, относящимися к движению поезда, являются нижеследующие:

1. Наибольший возможный вес состава поезда (при данных условиях профиля).
2. Преодоление подъемов за счет разгона.
3. Торможение.
4. Скорости движения поезда.
5. Время пробега поездом перегона.
6. Гасход паровозом воды и топлива.

Эти вопросы и рассматриваются ниже в нижеследующих шести статьях.

### Ст. 1. Наибольший возможный вес состава поезда.

§ 87. В общем виде вопрос по определению веса состава заключается в следующем: какого наибольшего веса состав может вести паровоз данного типа с определенной равномерной (установившейся) скоростью на данном участке дороги?

Для решения этой задачи нет надобности, как указано было выше, в интегрировании уравнения движения поезда, потому что движение предполагается равномерное с некоторой постоянной скоростью, и вопрос решается на основании имеющегося в данном случае в наличии условия

$$Z = IV.$$

Полное сопротивление поезда движению  $W$  составляет

$$W = w^{\text{пг}} (P_{\text{п}} + P_{\text{т}}) + w^{\text{в}} P_{\text{в}},$$

Силой же тяги, которую паровоз в состоянии поддерживать продолжительное время при известной скорости  $V$ , будет котловая сила тяги

$$Z_{\text{кт}} = \frac{270N}{V},$$

где, как известно,  $N$  — мощность паровоза при заданной скорости.

Следовательно, в общем будем иметь уравнение

$$Z_{\text{кт}} = w^{\text{пг}} (P_{\text{п}} + P_{\text{т}}) + w^{\text{в}} P_{\text{в}},$$

откуда и получим искомый вес поезда в т

$$P_{\text{в}} = \frac{Z_{\text{кт}} - w^{\text{пг}} (P_{\text{п}} + P_{\text{т}})}{w^{\text{в}}},$$

где полные удельные сопротивления движению паровоза с тендером ( $w^{\text{пг}}$ ) и вагонов ( $w^{\text{в}}$ ), при дополнительном сопротивлении от ускорения, в данном случае равном нулю ( $w_{\text{р}} = 0$ ), составляют:

для вагонов:

$$w^{\text{в}} = w_0^{\text{в}} + w_i + w_r$$

для паровоза с тендером:

$$w^{\text{пг}} = (w_0^{\text{пг}} + w_{\text{м}}^{\text{пг}}) + w_i + w_r,$$

если принимается в расчет цилиндровая сила тяги паровоза (тогда в указанной выше формуле имеем  $N_{\text{п}}$ ), и

$$w^{\text{пг}} = w_0^{\text{пг}} + w_i + w_r,$$

если принимается в расчет касательная сила тяги паровоза (тогда имеем  $N_{\text{к}}$ ).

Надо заметить, что для товарного подвижного состава и малых скоростей можно считать  $w^{\text{пг}} = w^{\text{в}}$ . Тогда выше-

указанная формула для определения веса состава  $P_B$  обратится для товарных поездов в нижеследующую:

$$P_B = \frac{Z_{\text{КТ}}}{w} - (P_{\Pi} + P_T) [t],$$

где  $w$ —полное удельное сопротивление движению товарного поезда в целом  $= w_0 + w_i + w_r$ .

На практике указанную выше задачу обычно приходится решать в предположении равномерного движения поезда в самом трудном (в смысле профиля и плана) месте данного участка дороги, т. е. в том месте, где сумма дополн. сопротивления от подъема и кривой ( $w_i + w_r$ ) имеет наибольшее свое значение. Делается это с целью иметь уверенность, что поезд не остановится в упомянутом месте.

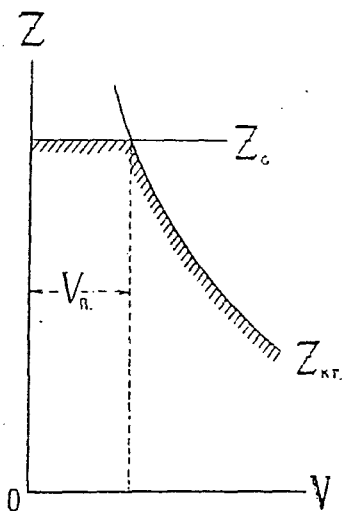
Решение этой задачи, очевидно, сводится к выбору соответственной равномерной (установившейся) скорости движения поезда в рассматриваемом самом трудном месте участка дороги, так как, раз эта скорость установлена, то она вводится и в выражение силы тяги паровоза и в выражение сопротивления движению поезда, и тогда искомый вес поезда уже просто определяется по указанной выше формуле.

В отношении пассажирских поездов решать указанного рода задачу приходится довольно редко, так как обычно, на основании соображений необходимости иметь в поезде определенное число того или иного рода вагонов, состав пассажирских поездов наперед предопределяется (в связи с этим в отношении пассажирских поездов обычно приходится решать иные задачи: задачу по определению требуемой силы тяги паровоза, иначе говоря, по установлению подлежащего типа паровоза, или же задачу по определению времени хода поезда). Если же почему-либо все же приходится решать задачу по определению веса пассажирского поезда, то выбор скорости последнего в самом трудном месте данного участка дороги обуславливается обычно задаваемой в этом случае коммерческой скоростью движения поезда, а если таковая скорость не задана (это на практике имеет место в редких случаях), то скоростью поезда в самом трудном месте дан-

ного участка дороги обычно задаются в пределах 20—50 км/ч, в зависимости от назначения данного поезда и пропускной способности участка.

Несколько иначе обстоит тот же вопрос в отношении товарных поездов, для которых время хода не бывает ограниченным никакими иными соображениями, как только коммерческими. Так как вес поезда зависит от того, какой задаться скоростью в самом трудном для движения поезда месте (чем больше скорость, тем меньше, очевидно, получается вес поезда, и наоборот) и так как теорией и в известной степени практикой вопрос о том, что для железных дорог,

с точки зрения себестоимости перевозки грузов, выгоднее, возить ли скоро легкие товарные поезда или медленно тяжелые поезда, в последнее время считается вообще и, по крайней мере, для условий русских однопутных железных дорог решенным в пользу тяжелых товарных поездов, то определение веса товарных поездов обычно сводится к определению **наибольшего** возможного на данном участке дороги веса состава при условии полного использования предельной силы тяги паровоза. Определяется такого рода вес на основании следующих соображений.



Фиг. 8.

Прежде всего, надо заметить, при тех малых скоростях (10 — 20 км/ч), с которыми обычно товарные поезда движутся в трудных по профилю и плану местах дороги, основное удельное сопротивление движению  $w_0$  может считаться постоянным. В таком случае скорость движения влияет на вес поезда в такой мере, в какой от нее зависит котловая сила тяги  $Z_{кг}$ ; это же влияние начинается, как то можно усмотреть из фиг. 8, только с того момента, когда скорость

$\Gamma$  будет больше, так называемой, „переходной“ скорости  $\Gamma_{II}$ , т. е. той скорости, которая соответствует пересечению линий, представляющих собою сцепную и котловую силы тяги паровоза. При скоростях  $\Gamma < \Gamma_{II}$  сила тяги остается постоянной, при чем в этих случаях предельной силой тяги паровоза является сцепная сила тяги  $Z_c$ .

В виду сказанного, фактически вес состава  $P_B$  растет только при уменьшении скорости движения поезда  $\Gamma$  до  $\Gamma_{II}$ , при дальнейшем же ее уменьшении  $P_B$  остается постоянным. Следовательно, дальнейшее уменьшение скорости поезда  $\Gamma$  является совершенно бесполезным и даже вредным, так как с уменьшением скорости в трудных местах пути (на подъемах) растут затруднения в смысле пропускной способности данного участка дороги, а также в смысле опасности остановок поезда в этих местах и затем разрывов его при попытках взять поезд с места.

На основании этих соображений, для определения наибольшего возможного веса товарного состава  $P_B$  обычно задаются скоростью  $\Gamma_{II}$ , т. е. наибольшей скоростью, при которой, как видно из сказанного, еще может быть полностью использована сцепная сила тяги паровоза  $Z_c = 1000 \psi P_c$ . В результате сего, названный вес в  $t$  определяется на основании следующей формулы (полученной из указанной выше формулы путем замены  $Z_{KT}$  через  $Z_c$ ):

$$P_B = \frac{1000 \psi P_c}{w} - (P_{II} + P_T) [t].$$

Упомянутая „переходная“ скорость  $\Gamma_{II}$  проще всего может быть найдена графически, что явствует из приведенной выше фигуры 8, но, очевидно, она может быть определена и аналитически на основании равенства

$$Z_{KT} = \frac{270 N_R}{\Gamma_{II}} = Z_c,$$



откуда

$$V_{II} = \frac{270 N_K}{Z_C} \cdot [\text{km/h}].$$

Однако, аналитическое по этой формуле определение переходной скорости несколько кропотливо—решать вопрос приходится путем последовательных приближений, так как мощность паровоза  $N_K$  является функцией от скорости. В общем, очевидно, приходится ощупью найти такую скорость и удельную мощность  $\frac{N_K}{H}$ , при которой мощность паровоза

$$N_K = \frac{N_K}{H} \times H$$

получилась бы такой величины, что, будучи вставлена в указанное выражение для скорости, дала бы именно ту скорость, при которой мощность определена.

В виду сего, ради простоты расчета, при расчетах, не претендующих на особую точность, мощность паровоза (в данном случае товарного) можно определять по указанной выше (при рассмотрении котловой силы тяги) формуле *Frank'a*:

$$Z_{KT} = \left( \frac{162}{V} + \frac{142}{\sqrt{V}} \right) H$$

и в связи с этим определять переходную скорость  $V_{II}$  для товарного паровоза на основании следующего выражения:

$$V_{II} = \left( \frac{142 H \pm \sqrt{(142 H)^2 + 4 Z_C \times 162 H}}{2 Z_C} \right)^2.$$

Надлежит иметь в виду, что, согласно ныне установленным у нас основаниям классификации дорог, между прочим, скорость движения товарного поезда в самом трудном по профилю и плану месте пути на дорогах в равнинной или слабо-холмистой местности, во всяком случае, должна при проектировании новых дорог приниматься:

**на магистралях усиленного типа (сверхмагистралях)**

$$\text{не} < 20 \text{ km/h.}$$

на магистралях норм. типа

$$v \leq 15 \text{ км/ч.}$$

на магистралях облегченного типа и на подъездных путях

$$v \leq 10 \text{ км/ч.}$$

На дорогах в сильно-холмистой или гористой местности означенная скорость должна быть, к какому бы разряду дорога ни относилась, во всяком случае  $v \leq 9$  км/ч, каковая скорость является вообще минимальной скоростью, практически допустимой в трудных по профилю и плану местах пути на нормальноколейных дорогах. На узкоколейных дорогах таковой минимальной допустимой скоростью является скорость 5—6 км/ч, исходя из каковой скорости на названных дорогах обычно и определяют наибольший состав товарного поезда.

Из всего сказанного в общем явствует, что в том случае, когда переходная скорость  $V_{II}$  получается  $>$  указанных минимальных скоростей для дорог различных разрядов и категорий, наибольший возможный вес товарного состава должен определяться по сцепной силе тяги, т. е.

$$P_{II} = \frac{Z_c}{w} - (P_{II} + P_T) [t],$$

когда же  $V_{II} <$  тех же скоростей—по котловой силе тяги, отвечающей данной принимаемой, согласно сделанным указаниям, минимальной скорости, т. е.

$$P_{II} = \frac{Z_{кт}}{w} - (P_{II} + P_T) [t].$$

Очевидно, в первом случае, при определении основного удельного сопротивления  $w_0$ , входящего в полное сопротивление  $w$ , должна приниматься в расчет данная переходная скорость  $V_{II}$ , а во втором случае — данная принимаемая минимальная скорость из числа указанных выше скоростей.

§ 88. Остается еще сказать относительно влияния на вес товарного состава рода и нагрузки вагонов, а также влияния температуры воздуха и погоды.

Основное удельное сопротивление  $w_0$  товарных вагонов зависит, как то было указано выше при рассмотрении вопроса о такого рода сопротивлении, от рода и от полного веса (веса *brutto*) вагона (формула Ломоносова — для 2-х-осных и формула *Smith'a* — для 4-х-осных товарных вагонов). В виду сего, при определении наибольшего возможного, для данного паровоза и данных условий профиля и плана дороги. веса товарного состава надо наперед установить род и вес вагонов, из которых поезд будет состоять, т. е. установить. будут ли вагоны 2-х или 4-х осные (тележечные), а также будут ли вагоны полногрузные, неполногрузные или порожние. Однако, надо заметить, что при определении наиб. возможного веса состава для новых дорог вопрос о неполногрузных вагонах отпадает.

Если подсчитать основные удельные сопротивления  $w_0$  для наших 2-х и 4-х-осных полногрузных и порожних вагонов при малых скоростях (10—20 км/ч), то получаются нижеследующие величины:

2-х-осные полногрузные вагоны:

$$w_0 = 2,0 — 2,5 \text{ kg/t, в среднем } 2,25 \text{ kg/t}$$

2-х-осные порожние вагоны:

$$w_0 = 2,25 — 3,0 \text{ kg/t, в среднем } 2,60 \text{ kg/t}$$

4-х-осные полногрузные вагоны:

$$w_0 = 1,70 — 1,90 \text{ kg/t, в среднем } 1,80 \text{ kg/t.}$$

4-х-осные порожние вагоны:

$$w_0 = 3,25 — 3,70 \text{ kg/t, в среднем } 3,50 \text{ kg/t}$$

Из этих данных усматривается, что  $w_0$  для 2-х-осных вагонов полногрузных и порожних отличаются прим. на 15%,

а для 4-х-осных вагонов—прим. на 95%. Если теперь принять во внимание, что  $w_0$  входит в выражение для  $w$  в сумме с  $w_i$  и  $w_r$ , и что сумма  $w_i + w_r$  обычно колеблется у нас в пределах от 7 до 13  $\text{kg/t}$ , то получается, что принятие во внимание полной нагрузки вагонов отражается на наиб. весе состава:

при 2-х-осных вагонах . . . в размере 4—20%  
 „ 4-х „ „ „ „ „ 20—120%

Это обстоятельство позволяет на практике, в том случае, если имеются в виду 2-х-осные товарные вагоны, не учитывать веса таких вагонов и определять основное удельное сопротивление последних прямо по формуле завода *Baldwin'a*:  $w_0 = 1,5 + 0,05 T$  [ $\text{kg/t}$ ]; если же имеются в виду 4-х-осные (тележечные) вагоны, то вес таких вагонов необходимо учитывать и в этом случае определять основное удельное сопротивление вагонов по формуле *Smith'a*:

$$w_0 = \frac{T + 65}{12 + 0,55q} [\text{kg } \#].$$

Попутно полезно отметить, что для эксплуатируемых дорог, на которых, как известно, обращаются поезда не только полногрузные и порожние, но и состоящие из вагонов разной нагрузки, существует весьма целесообразный „способ, расчета составов по приведенному весу поезда“ — способ, введенный сравнительно недавно в Америке на Пеннсильванской дороге и описанный в „Бюллетене № 26“ названной дороги (русский перевод этого Бюллетеня имеется в журнале „Сборники и монографии по вопросам науки и техники“, вып. I за 1922 г.).

Что касается влияния температуры и погоды на вес состава, то такое влияние сказывается, очевидно, в смысле необходимости уменьшения состава, если погода холодная или сырая, идет снег, дует сильный ветер и т. п., благодаря понижению в холодную погоду коэффициента полезного действия машины паровоза, сильному увеличению потери тепла в паровом котле, огневой коробке, в цилиндрах, понижению

в сырую погоду коэффициента сцепления между колесами и рельсами, увеличению при сильных ветрах на открытых местах лобового сопротивления воздуха и пр.

Учитывать все указанное при определении наибольшего возможного веса состава товарных поездов, несомненно, полезно с точки зрения осторожности в подсчете пропускной способности дороги, т. е. числа поездов, которые дорога может пропускать в сутки, однако, учесть все это точно несколько трудно, а, кроме того, это должно повести к увеличению числа поездов, необходимого для выполнения предложенного задания перевозки грузов.

В виду сего, на практике, как при проектировании новых дорог, так и на эксплуатируемых дорогах, наибольший возможный, для данного паровоза и данных условий пути, вес состава товарного поезда обычно определяется в предположении некоторых средних условий температуры и погоды в летнее время — условий ясной, более или менее теплой ( $\approx +7^{\circ}\text{C}$  и выше) и тихой погоды (без ветра или при небольшом ветре, скорость коего не превышает  $30\text{ km/h}$ ), для каких условий и даны все указанные выше (Глава X, Отд. I) формулы основного удельного сопротивления движению поезда и для которых коэффициент трения  $f_0$  между колесами и рельсами принимается у нас, как было указано  $= 1/4,5$ , а коэффициент сцепления  $\psi$  для товарных паровозов  $= 1/5 - 1/6$ , в зависимости от типа машины.

Неблагоприятные условия температуры и погоды оцениваются на практике, когда это требуется (на эксплуатируемых дорогах), путем некоторого уменьшения полученных расчетом летних составов. Русская практика установила нижеследующие средние нормы уменьшения летних составов:

зимою при температуре от — $6^{\circ}$ до — $18^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$10^{\circ}/_0$
"    "    "    "    " — $18^{\circ}$ " — $24^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$15^{\circ}/_0$
"    "    "    "    " ниже — $24^{\circ}\text{C}$ . . . . .	$20^{\circ}/_0$
при сильном ветре без снега . . . . .	$10^{\circ}/_0$
"    "    "    "    " со снегом . . . . .	$15^{\circ}/_0$
при гололедице . . . . .	$20^{\circ}/_0$
"    "    "    "    " туманной погоде . . . . .	$10^{\circ}/_0$

В С.-А. С. Штатах—стране, родственной России по климатическим условиям—нормы уменьшения летних составов часто принимаются нижеследующие:

при температуре от $+7^{\circ}$ до $-4^{\circ}$ С или	
сильном ветре . . . . .	8 $\%$
при температуре от $-4^{\circ}$ до $-18^{\circ}$ С . . . . .	16 $\%$
"          "          " $-18^{\circ}$ С и ниже . . . . .	25 $\%$

Надо заметить, что при решении вопроса уменьшения в холодное время летних составов, очевидно, необходимо считаться и с физическими свойствами дороги. Если дорога, пролегая в равнинной или слабохолмистой местности, имеет сравнительно пологие подъемы, то необходимое уменьшение летних составов при холодной погоде должно выразиться большим  $\%$ , нежели в том случае, когда дорога, пролегая в сильно-холмистой или гористой местности, имеет длинные крутые подъемы, так как холодная погода оказывает влияние в смысле увеличения лишь основного сопротивления движению, а такого рода сопротивление в первом случае составляет более значительный  $\%$  от полного сопротивления, чем во втором случае.

§ 89. Указанные выше формулы для определения веса состава поезда выведены, как то явствует из сказанного выше, в предположении движения поезда с равномерной (установившейся) скоростью в самом трудном по профилю и плану месте, иначе говоря, на самом трудном подъеме данного участка дороги. Такого рода предположение может иметь место лишь по отношению к затяжным подъемам—подъемам длиной не менее 1 км., на которых скорость движения поезда в действительности успевает установиться; по отношению же к сравнительно коротким подъемам то же предположение не может иметь места—начало таких подъемов проходится поездом за счет живой силы, приобретенной им ранее, которая затем постепенно падает к вершине подъема, так что на таких подъемах скорость не успевает установиться. Поэтому, изложенный выше способ определения веса состава следует считать по существу применимым лишь к затяжным подъемам; для ко-

ротких же подъемов он дает преуменьшенные составы. На таких подъемах можно за счет живой силы поезда возить составы весом

$$P_B > \frac{Zc}{w} - (P_{II} + P_T) [t],$$

и потому применение изложенного способа к такого рода подъемам представляется нерациональным с точки зрения экономического использования силы тяги паровозов, что является одним из условий хозяйственности товарного движения.

В силу сказанного, наибольший возможный, для данного паровоза и условий профиля и плана данного участка дороги, вес состава поезда должен рассчитываться по наиболее трудному затыжному подъему в предположении равномерного движения поезда по этому подъему, а затем, если на данном участке имеются короткие подъемы, более крутые, чем принятый к расчету затыжной подъем, то возможность преодоления их поездом определенного по наиболее трудному затыжному подъему состава за счет разгона (живой силы) должна быть проверена расчетом.

## Ст. 2. Преодоление подъемов за счет разгона.

§ 90. Вопрос преодоления подъемов за счет разгона при проектировании дорог обычно заключается в следующем: какого наибольшего протяжения может быть некоторый подъем круче того, по которому рассчитан наибольший вес поезда, чтобы этот подъем мог быть преодолен поездом данного наибольшего веса за счет разгона, т. е. за счет накопленной поездом живой силы?

Решение этой задачи возможно путем следующих рассуждений.

Живая сила поезда выражается, как то было указано при выводе уравнения движения поезда, так:

$$K = \frac{1.06 M_1 v^2}{2} = \frac{1.06 \times 1000 Q + v^2}{2g},$$

где  $v$  — скорость поезда в  $\frac{m}{s}$ ,  $Q$  — вес поезда в  $t$ , а  $g$  — ускорение силы тяжести =  $9,81 \frac{m}{s^2}$ .

Выражая скорость поезда в  $\text{km/h}$ , т. е. принимая

$$v \text{ м/с.} = \frac{V \text{ км/ч.}}{3,6},$$

получим живую силу поезда в  $\text{mkg}$ :

$$K = \frac{1,06 \times 1000Q \times V^2}{2 \times 9,81 \times 3,6^2} = 4,2QV^2 \text{ [mkg]}.$$

Пусть поезд подходит к рассматриваемому более крутому подъему со скоростью  $V_{\text{н}}$  (**начальная** скорость), а покидает таковой подъем со скоростью  $V_{\text{к}}$  (**конечная** скорость). Тогда потеря поездом живой силы за время прохода данного подъема, иначе говоря, величина живой силы, которая может быть использована на преодоление подъема большей крутизны, очевидно, выразится так:

$$4,2Q (V_{\text{н}}^2 - V_{\text{к}}^2) \text{ [mkg]}.$$

Если вес поезда рассчитан по уклону  $0,00 i_{\text{р}}$  (руководящему), на котором полное удельное сопротивление  $w_{\text{р}}$  составляет

$$w_{\text{р}} = w_0 + i_{\text{р}},$$

а более крутой подъем, который должен быть преодолен за счет указанной живой силы, будет  $0,00 i_{\text{к.р.}}$  (круче руководящего), и полное удельное сопротивление на нем  $w_{\text{к.р.}}$  составляет

$$w_{\text{к.р.}} = w_0 + i_{\text{к.р.}},$$

то, очевидно, на последнем, т. е. более крутом подъеме, поезд должен за счет живой силы произвести дополнительную работу сопротивления, равную

$$(w_{\text{к.р.}} - w_{\text{р}}) QL_{\text{к}} = (i_{\text{к.р.}} - i_{\text{р}}) QL_{\text{к}} \text{ [mkg]},$$

где  $L_{\text{к}}$  — длина более крутого подъема в м.

Очевидно, в рассматриваемом случае должно иметь место равенство:

$$4,2Q (V_{\text{н}}^2 - V_{\text{к}}^2) = (i_{\text{к.р.}} - i_{\text{р}}) QL_{\text{к}},$$



из которого и получаем наибольшую возможную длину в  $m$  данного более крутого подъема:

$$L_k = 4,2 \frac{V_H^2 - V_K^2}{i_{к.р.} - i_p} = 0,0042 \frac{V_H^2 - V_K^2}{0,00 i_{к.р.} - 0,00 i_p} \quad [m].$$

Надо заметить, что к тому же выражению для  $L_k$  можно, разумеется, придти и путем исследования уравнения движения поезда.

Возьмем для данного случая названное уравнение в таком виде

$$\frac{V dV}{ds} = 120 (z - w),$$

имея в виду, что в рассматриваемом случае не имеет места торможение ( $b = 0$ ), и напомним затем это уравнение в виде

$$ds = \frac{V dV}{120 (z - w)}$$

В данном случае за счет живой силы поезда должно быть преодолено добавочное сопротивление от большей крутизны подъема, т. е.  $i_{к.р.} - i_p$ , сила же тяги паровоза расходуется полностью на преодоление основного сопротивления и сопротивления от подъема величиной  $i_p$ . Следовательно, в приведенном уравнении надо подставить

$$z - w = z - (w_0 + i_p) + i_{к.р.} - i_p = i_{к.р.} - i_p.$$

Если теперь проинтегрировать уравнение движения поезда для данного случая, то получим:

$$\int_0^{L_k} ds = \frac{1}{120 (i_{к.р.} - i_p)} \int_{V_K}^{V_H} V dV$$

$$L_k = 0,0042 \frac{V_H^2 - V_K^2}{i_{к.р.} - i_p} \quad [km]:$$

это — в  $km$ , так как ускорение поезда при равнодействующей силе  $1 \text{ kg/t}$ , а именно число 120, выражено в  $km \text{ h}_2$ .

В метрах же искомое протяжение  $L_k$ , очевидно, будет

$$L_k = 4,2 \frac{V_n^2 - V_k^2}{i_{к.р.} - i_p} = 0,0042 \frac{V_n^2 - V_k^2}{0,00 i_{к.р.} - 0,00 i_p} \text{ [m]},$$

как то и получено было выше.

Надо заметить, что как при первом рассуждении, так и при втором, основное удельное сопротивление движению  $w_0$  предполагается одинаковым в обоих случаях движения—на подъеме, по которому определен наиб. вес поезда, и на более крутом подъеме. Хотя это и не совсем отвечает действительности (при движении на более крутом подъеме основное сопротивление несколько меньше, благодаря меньшей скорости движения), однако, при малых скоростях движения, которые имеют место на трудных подъемах, основное удельное сопротивление можно считать, как то уже было указано выше, величиной постоянной.

Очевидно, конечная скорость  $V_k$ , с которой поезд покидает более крутой подъем, не должна быть чересчур мала, так как при чересчур малой скорости даже незначительное боксование неминуемо вызовет остановку поезда. Практикой установлено, что скорость  $V_k$  отнюдь не должна быть ниже 7—8 км/ч. Таким образом, в результате возможное наибольшее протяжение подъема, более крутого, чем подъем, по которому определен наибольший вес поезда, должно определяться по формуле

$$\text{шах } L_k = 0,0042 \frac{V_n^2 - 49}{0,00 i_{к.р.} - 0,00 i_p} \text{ [m]},$$

где напомним:  $V_n$  — скорость (км/ч), с которой поезд вступает на данный более крутой подъем,

$0,00 i_p$  — уклон того подъема, по которому определен наиб. вес поезда,

$0,00 i_{к.р.}$  — уклон данного подъема, который должен быть преодолен с разгона поездом наибольшего возможного веса, рассчитанного по уклону  $0,00 i_p$ .

Как видно, протяжение подъема, который может быть преодолен за счет разгона, зависит не только от крутизны этого подъема, но и от величины скорости ( $V_H$ ), с которой поезд вступает на данный подъем.

Надо заметить, что вопрос о преодолении подъемов за счет разгона может быть несколько и иначе поставлен, чем он был поставлен выше, а именно: какой наибольшей величины может быть на определенном протяжении допущен подъем круче того, по которому был рассчитан наиб. вес поезда, чтобы этот подъем мог быть преодолен поездом данного наиб. веса за счет разгона?

Очевидно, величина такого подъема определяется из след. выражения:

$$\text{шах } 0,00 i_{к.р.} = \frac{0,0042 (V_H^2 - 49)}{L_k} + 0,00 i_p,$$

получаемого из предыдущей формулы.

Как видно, величина такого подъема зависит не только от протяжения его, но и от величины скорости ( $V_H$ ), с которой поезд вступает на данный подъем.

Вопрос о преодолении поездом за счет разгона подъемов, круче того, по которому расчитан наиб. вес поезда, приходится на практике в общем разрешать не так часто, как многие другие вопросы движения поездов, так как, надо заметить, такого рода подъемы допускаются на деле в исключительных случаях, как места, довольно опасные с точки зрения обеспеченности непрерывности движения поездов; неблагоприятные условия погоды (сильный противный ветер, снежные заносы, гололеда и пр.), неполная исправность паровоза, неправильное управление паровозом, даже просто случайный недосмотр со стороны машиниста—все это может иметь последствием то, что требуемая для преодоления подъема начальная скорость поезда достигнута не будет и тогда поезду неминуемо грозит остановиться в пути.

В рассматриваемом вопросе преодоления подъемов за счет разгона решающими являются, разумеется, условия сравнительно медленно движущихся товарных поездов, так как, если какой-либо подъем может быть преодолен за счет раз-

гона такого рода поездами, то, несомненно, является обеспеченным и преодоление этого подъема движущимися с большей скоростью пассажирскими поездами.

§ 91. В заключение надлежит отметить, что в тех случаях, когда профиль линии не проектируется, а таковой уже имеется вполне определенный, вопрос о преодолении подъемов решается сравнительно просто, путем определения в каждом случае так наз. „скоростной высоты“, т. е. той высоты, на которую на данном подъеме поезд может подняться за счет работы живой силы при данной скорости движения поезда.

Выражение для названной высоты  $H_v$  можно получить из приведенного выше выражения для  $L_k$ , если в нем принять  $0,00i_p = 0$  и  $V_k = 0$ . Поступая так, получаем:

$$L_k = 0,0042 \frac{V_H^2}{0,00i},$$

откуда

$$L_k \times 0,00 i = H_v = 0,0042 V_H^2 \text{ [m]}.$$

Как видно, это относится к случаю, когда на высоте  $H_v$  поезд совершенно теряет накопленную им живую силу. Очевидно, если поезд поднимется на высоту  $H'_v < H_v$ , то он может за счет неиспользованной части  $H_v - H'_v$  скоростной высоты еще продолжать свое движение со скоростью  $V_k$ , с которой он покидает высоту  $H'_v$ . Эта скорость определяется на основании имеющего в данном случае место выражения

$$H'_v = 0,0042 (V_H^2 - V_k^2),$$

откуда

$$V_k = \sqrt{V_H^2 - \frac{H'_v}{0,0042}} \text{ [км/ч]}.$$

Надо заметить, что указанное выражение для скоростной высоты  $H_v$  может быть получено прямо из известной формулы  $h = \frac{v^2}{2g}$ , выражающей зависимость между высотой  $h$  сво-

бодного падения или подъема вверх тела и приобретаемой им скоростью  $v$  падения или соответственно напора, если в этой формуле подставить  $v \text{ м/с.} = \frac{V \text{ км/ч.}}{3,6}$  и, кроме того, ввести в нее поправку в размере  $6\%$  на инерцию вращения колесных скатов. Поступая так, получим:

$$H_v = 1,06 \frac{v^2}{2 \times 9,81 \times 3,6^2} = 0,0042 V^2 \text{ [м]}.$$

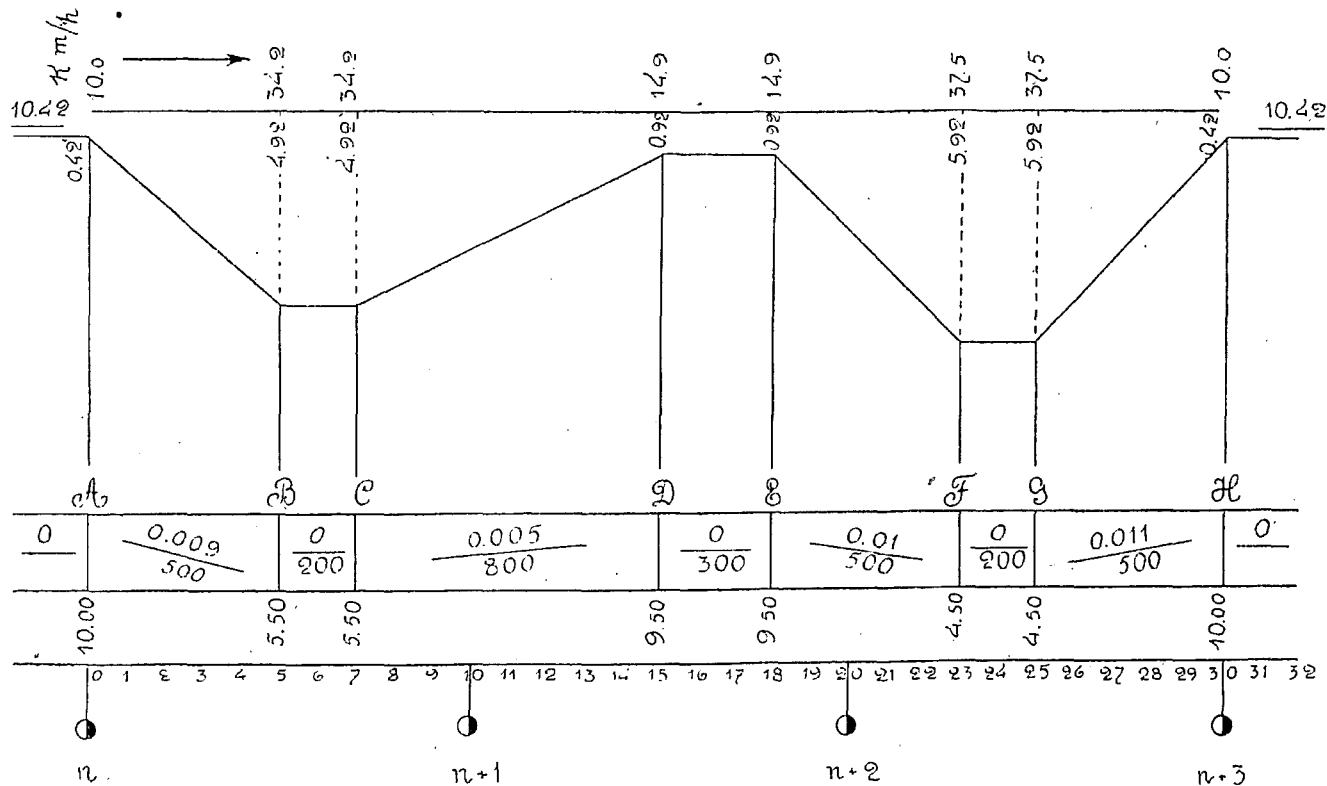
На основании такого рода выражения составлена для различных скоростей от 10 до 50 км/ч (скоростей движения товарных поездов) нижеприводимая таблица (стр. 205) зависимости между скоростной высотой  $H_v$  и скоростью  $V_n$ , с которой поезд вступает на уклон. Однако, надо заметить, та же таблица одновременно дает для случая, когда поезд поднимается на высоту  $H'_v < H_v$ , и зависимость между неиспользованной частью  $H_v - H'_v$  скоростной высоты и скоростью  $V_k$ , с которой поезд покидает уклон.

При помощи этой таблицы весьма просто разрешается вопрос о преодолении подъемов за счет живой силы (разгона).

Положим, что на участок дороги  $A-H$  (фиг. 9, на стр. 206), имеющий профиль согласно приводимому чертежу, в точке  $A$  вступает поезд со скоростью 10 км/ч и пусть при движении поезда по участку положение регулятора будет постоянное и притом такое, что сила тяги паровоза достаточна лишь для преодоления основного сопротивления движению ( $W_0$ ) и доп. сопротивлений от кривых ( $W_k$ ). Надо выяснить, могут ли быть на данном участке  $A-H$  сопротивления от подъемов преодолены живой силой поезда?...

В точке  $A$  скоростная высота, в связи со скоростью 10 км/ч составляет, как видно из таблицы, 0,42 м. Откладывая эту высоту вверх, получаем линию возможных скоростных высот для участка  $A-H$  на отметке  $10,00 + 0,42 = 10,42$  м. Имея эту отметку, можем подсчитать величины неиспользованных частей скоростных высот в точках  $B, C \dots H$  и тогда, на основании данных таблицы, сказать следующее: скорость движения в точке  $B$ , в связи с тем, что, при про-

$V_{II}$	$H_v$	$V_{II}$	$H_v$	$V_{II}$	$H_v$	$V_{II}$	$H_v$
$V_K$	$H_v - H'_v$	$V_K$	$H_v - H'_v$	$V_K$	$H_v - H'_v$	$V_K$	$H_v - H'_v$
10	0,42	20	1,68	30	3,78	40	6,72
10,5	0,46	20,5	1,77	30,5	3,91	40,5	6,89
11	0,51	21	1,85	31	4,04	41	7,06
11,5	0,56	21,5	1,91	31,5	4,17	41,5	7,24
12	0,60	22	2,03	32	4,30	42	7,41
12,5	0,66	22,5	2,13	32,5	4,44	42,5	7,60
13	0,71	23	2,22	33	4,57	43	7,77
13,5	0,77	23,5	2,32	33,5	4,72	43,5	7,95
14	0,82	24	2,42	34	4,86	44	8,13
14,5	0,88	24,5	2,52	34,5	5,01	44,5	8,32
15	0,95	25	2,63	35	5,15	45	8,51
15,5	1,01	25,5	2,73	35,5	5,30	45,5	8,70
16	1,08	26	2,84	36	5,41	46	8,89
16,5	1,14	26,5	2,95	36,5	5,60	46,5	9,08
17	1,21	27	3,06	37	5,75	47	9,28
17,5	1,29	27,5	3,18	37,5	5,91	47,5	9,48
18	1,36	28	3,29	38	6,06	48	9,68
18,5	1,44	28,5	3,41	38,5	6,23	48,5	9,88
19	1,52	29	3,53	39	6,39	49	10,08
19,5	1,60	29,5	3,66	39,5	6,56	49,5	10,29
						50	10,50



Фиг. 9.

ходе поездом уклона  $\frac{0,009}{500}$  на протяжении  $A—B$ , работа силы тяжести превратится в живую силу, будет  $34,2 \text{ km/h}$ , затем, на протяжении площадки  $B—C$  поезд будет двигаться с равномерной скоростью  $34,2 \text{ km/h}$ , далее, подъем  $\frac{0,005}{800}$  на протяжении  $C—D$  совершится за счет ранее приобретенной живой силы, при чем так как от возможной при  $V_{\text{н}} = 34,2 \text{ km/h}$  полной скоростной высоты  $4,92 \text{ m}$ . остается неиспользованных  $0,92 \text{ m}$ , то скорость  $V_{\text{к}}$  в точке  $D$  составит  $14,9 \text{ km/h}$  и т. д. до точки  $G$ . В этой последней скорости  $V_{\text{н}} = 37,5 \text{ km/h}$ , для которой полная скоростная высота составляет  $5,91 \text{ m}$ , а так как от этой высоты остается неиспользованных  $0,42 \text{ m}$ , то скорость  $V_{\text{к}}$  в точке  $H$  составляет  $10 \text{ km/h}$  и с этой скоростью поезд покинет рассматриваемый участок  $A—H$ . Таким образом, как видно, на данном участке подъемы могут быть преодолены живой силой поезда, т. е. являются, как говорят американцы, „скоростными уклонами“ (*momentum grades*), и, в общем, можно заметить, обе впадины  $B—C$  и  $F—G$  и выступ  $D—E$  в профиле не оказывают влияния на движение поезда. Следовательно, вообще говоря, данный участок с довольно крутыми подъемами может быть эксплуатируем как некоторая воображаемая площадка (называемая, как то будет указано в Ч. III, виртуальной), при условии лишь соответственного уменьшения и увеличения скорости по мере движения поезда.

### Ст. 3. Торможение поезда.

§ 92. Вопросы движения поезда при **торможении** (*das Bremsen, le freinage, the braking*) обычно заключаются в следующем: а) в определении величины тормозной силы, необходимой для поддержания равномерной скорости на крутых скатах, б) в определении величины расстояния, на протяжении, коего, при данных средствах торможения и скорости движения поезд может быть остановлен или движение поезда может быть замедлено до известной скорости, в) в определении величины тормозной силы, необходимой для остановки или замедления скорости движения поезда на известном



протяжении при данной скорости движения и, наконец, г) в определении величины предельной скорости движения, при которой еще возможна остановка поезда на известном протяжении при данных средствах торможения.

При решении этих задач цилиндрическая сила тяги паровоза при закрытом регуляторе обычно принимается равной нулю, т. е. в уравнении движения принимается  $z = 0$ . Затем, при решении тех же задач не принимается в расчет возможная тормозная сила от контрпара, в связи с чем в уравнении движения принимается  $b = b_k$ , т. е. за тормозную силу поезда принимается лишь тормозная сила от действия тормозных колодок.

Принимая во внимание, что последняя тормозная сила (от действия колодок) зависит от величины тормозного коэффициента  $\vartheta_k$  поезда, а, затем, называя через:  $L_T$  — протяжение, на котором путем торможения может быть замедлено движение поезда или поезд может быть остановлен — так называемый **тормозной путь** (*der Bremsweg, le chemin parcouru après application des freins, the braking distance*),  $V_H$  — скорость движения поезда при начале торможения и  $V_K$  — скорость движения при окончании торможения, — можно сущность вышеуказанных четырех тормозных задач вкратце выразить так:

задача а):	требуется по постоянн.	$V_K$	определить	$\vartheta_k$ ;
„ б):	„ „	$V_H$ и $\vartheta_k$	„	$L_T$ ;
„ в):	„ „	$V_H$ и $L_T$	„	$\vartheta_k$ ;
„ г):	„ „	$L_T$ и $\vartheta_k$	„	$V_H$ .

§ 93. Задача а) решается весьма просто помощью уравнения движения

$$\frac{dV}{dt} = 120 (z - w - b).$$

В рассматриваемом случае, в виду равномерности движения,  $\frac{dV}{dt} = 0$ . Затем, согласно сказанному выше,  $z = 0$ ,

а  $b = b_k$ . Следовательно, для данного случая уравнение движения получает вид:

$$0 = 120 (w + b_k).$$

Это равенство, очевидно, может иметь место лишь при условии

$$w + b_k = 0$$

или

$$b_k = -w.$$

Так как

$$b_k = 1000 f_k^{\text{ср}} \vartheta_k,$$

а

$$w = w_0 + w_r - i,$$

то получаем искомый тормозной коэффициент поезда

$$[\Delta] \quad \vartheta_k = \frac{i - w_0 - w_r}{1000 f_k^{\text{ср}}}.$$

Надо заметить, что в данном случае, так как регулятор принимается закрытым, под основным удельным сопротивлением  $w_0$  надо понимать:

$$w_{0/\text{з.р.}} = \frac{w_{\text{м.пт}} (P_{\text{п}} + P_{\text{т}}) + w_0 Q}{Q}.$$

Зная тормозной коэффициент поезда  $\vartheta_k$  и вместе с тем такие же коэффициенты паровоза  $\vartheta_{\text{п}}$  и тендера  $\vartheta_{\text{т}}$ , не трудно определить число тормозных вагонов в данном поезде, необходимое для того, чтобы поезд мог равномерно двигаться с данной скоростью  $V_k$  на данном спуске  $0,00 i$ .

Названное число вагонов определится, очевидно, из выражения

$$\vartheta_{\text{в}} = n \vartheta'_{\text{в}} = \vartheta_k - \vartheta_{\text{п}} - \vartheta_{\text{т}},$$

где  $n$  — число тормозных вагонов,  $\vartheta'_{\text{в}}$  — тормозной коэффициент одного вагона весом  $P'_{\text{в}}$ , равный  $\frac{\vartheta P'_{\text{в}}}{1000 Q}$ .

Получаем:

$$n = \frac{\vartheta_K - \vartheta_{II} - \vartheta_T}{\vartheta'_B}.$$

§ 94. Прочие три задачи б), в) и г) могут быть решены тоже помощью уравнения движения, имеющего для данных случаев, как то понятно из сказанного выше, вид

$$- \frac{dV}{dt} = 120 (w + b_K),$$

где, по прежнему,

$$b_K = 1000 f_K^{cp} \vartheta_K,$$

а

$$w = w_0 + w_r \pm i,$$

при чем опять-таки под  $w_0$  надо понимать

$$w_0 / \text{з. п.} = \frac{w^{HT} (P_{II} + P_T) + w_0 Q}{Q}.$$

Для интегрирования указанного уравнения необходимо, разумеется, установить вид зависимости его правой части от скорости. Членами этой правой части, зависящими от скорости, являются  $w_0$  в выражении

$$w = w_0 + w_r \pm i$$

и  $f_K^{cp}$  в выражении

$$b_K = 1000 f_K^{cp} \vartheta_K.$$

Зависимость  $w_0$  от скорости может быть в общем виде выражена, как то было указано выше в § 45, так:

$$w_0 = a + bV + cV^2,$$

а зависимость  $f_K^{cp}$  от скорости

$$f_K^{cp} = \alpha - \beta V.$$

Тогда данное уравнение движения поезда получает вид

$$-\frac{dV}{dt} = 120 [a + bV + cV^2 + w_r \pm i + 1000 \vartheta_k (\alpha - \beta V)] = \\ = A + BV + CV^2,$$

или

$$-\frac{VdV}{ds} = A + BV + CV^2,$$

откуда получаем

$$-dt = \frac{dV}{A + BV + CV^2}$$

и

$$-ds = \frac{VdV}{A + BV + CV^2},$$

где:

$$A = 120 (a + w_r \pm i + 1000 \vartheta_k \alpha),$$

$$B = 120 (b - 1000 \vartheta_k \beta),$$

$$C = 120 c.$$

Если для товарных поездов принять зависимость  $w_0$  от скорости не параболическую, как это было выше сделано, а прямолинейную, а именно принять

$$w_0 = a + bV,$$

то данные уравнения движения несколько упростятся и получатся:

$$-dt = \frac{dV}{A + BV},$$

$$-ds = \frac{VdV}{A + BV},$$

где по-прежнему:

$$A = 120 (a + w_r \pm i + 1000 \vartheta_k \alpha),$$

$$B = 120 (b - 1000 \vartheta_k \beta).$$

Хотя аналитическое интегрирование всех приведенных уравнений и возможно, однако, в результате такого интегрирования, особенно интегрирования первых двух уравнений, содержащих член с квадратом скорости, получаются столь

сложные формулы, что практическое применение их крайне затруднительно — приходится оперировать с логарифмами и арктангенсами, а в некоторых случаях еще и методом последовательных приближений, что в общем требует весьма много времени и большого внимания.

§ 95. В виду сего, на практике аналитически тормозные задачи б), в) и г) обычно решаются не помощью дифференциального уравнения движения, а простого уравнения:

$$K = (W + B_k) L_T,$$

выражающего процесс торможения, а именно, что на протяжении тормозного пути  $L_T$  живая сила поезда  $K$  поглощается работою естественного сопротивления  $W$  движению поезда и работою искусственного от торможения сопротивления  $B_k$  — работою тормозной силы от действия колодок (если пренебрегается контрпаром).

В общем случае, когда поезд, движущийся с некоторой скоростью  $V_n$  (являющейся в отношении торможения **начальной**), тормозится не до остановки, а до момента достижения поездом некоторой скорости  $V_k$  (являющейся, следовательно, **конечной**), указанного рода уравнение имеет, очевидно, такой вид:

$$K_n - K_k = (W + B_k) L_T,$$

так как в данном случае поглощается не вся живая сила поезда  $K_n$ , а лишь часть ее  $K_n - K_k$  и поезд по окончании торможения продолжает свое движение со скоростью  $V_k$ , сохранив живую силу в размере  $K_k$ .

В этом последнем случае  $K_n - K_k$  — поглощаемая часть живой силы поезда при движении со скоростью от  $V_n$  до  $V_k$ , составляет, как то следует из сказанного выше в Ст. 2 настоящей главы:

$$K_n - K_k = 4,2 Q (V_n^2 - V_k^2) \text{ [mkg]}.$$

Далее,  $W$ — величина сопротивления поезда, при том же движении, выражается

$$W = (w_0^{\text{ср}} + w_r - i) Q \text{ [kg]},$$

где  $w_0^{\text{ср}}$ — среднее за период торможения значение основного удельного сопротивления—составляет

$$w_0^{\text{ср}} = \frac{1}{V_{\text{п}}} \int_{V_{\text{к}}}^{V_{\text{п}}} w_0 dV.$$

Если для  $w_0$  принять формулу вида  $w_0 = a + bV^2$ , то будем иметь:

$$w_0^{\text{ср}} = \frac{1}{V_{\text{п}}} \int_{V_{\text{к}}}^{V_{\text{п}}} (a + bV^2) dV = a \frac{V_{\text{п}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} + \frac{b}{3} \cdot \frac{V_{\text{п}}^3 - V_{\text{к}}^3}{V_{\text{п}}},$$

а если принять формулу вида  $w_0 = a + bV$ , то получим

$$\begin{aligned} w_0^{\text{ср}} &= \frac{1}{V_{\text{п}}} \int_{V_{\text{к}}}^{V_{\text{п}}} (a + bV) dV = a \frac{V_{\text{п}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} + \frac{b}{2} \cdot \frac{V_{\text{п}}^2 - V_{\text{к}}^2}{V_{\text{п}}} = \\ &= \frac{V_{\text{п}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} \left[ a + \frac{b}{2} (V_{\text{п}} + V_{\text{к}}) \right]. \end{aligned}$$

Наконец,  $B_{\text{к}}$ — тормозная сила, опять таки при движении поезда со скоростью от  $V_{\text{п}}$  до  $V_{\text{к}}$ , выражается

$$B_{\text{к}} = 1000 Q \nu_{\text{к}} f_{\text{к}}^{\text{ср}},$$

где  $f_{\text{к}}^{\text{ср}}$ — среднее за период торможения значение коэффициента трения колеса о колодку—составляет (§ 82):

$$\begin{aligned} f_{\text{к}}^{\text{ср}} &= \frac{1}{V_{\text{п}}} \int_{V_{\text{к}}}^{V_{\text{п}}} f_{\text{к}} dV = \frac{1}{V_{\text{п}}} \int_{V_{\text{к}}}^{V_{\text{п}}} (\alpha - \beta V) dV = \\ &= \alpha \frac{V_{\text{п}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} - \frac{\beta}{2} \cdot \frac{V_{\text{п}}^2 - V_{\text{к}}^2}{V_{\text{п}}} = \frac{V_{\text{п}} - V_{\text{к}}}{V_{\text{п}}} \left[ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_{\text{п}} + V_{\text{к}}) \right]. \end{aligned}$$

Подставляя теперь все полученные значения для  $K_{\Pi} - K_{\kappa}$ ,  $W$  и  $B_{\kappa}$  в вышеуказанное уравнение живых сил и рассматривая товарные поезда, с которыми преимущественно приходится оперировать при проектировании дорог и только для которых  $w_0$  может приниматься по формуле вида  $w_0 = a + bV$ , получаем для общего случая движения товарного поезда со скоростью от  $V_{\Pi}$  до  $V_{\kappa}$  следующее уравнение:

$$4,2 Q (V_{\Pi}^2 - V_{\kappa}^2) = L_T \left\{ \left[ \frac{V_{\Pi} - V_{\kappa}}{V_{\Pi}} \left[ a + \frac{b}{2} (V_{\Pi} + V_{\kappa}) \right] + w_r - i \right] Q + \frac{V_{\Pi} - V_{\kappa}}{V_{\Pi}} \left[ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_{\Pi} + V_{\kappa}) \right] 1000 \vartheta_{\kappa} Q \right\}.$$

Делая в этом уравнении некоторые упрощения, получаем:

$$4,2 (V_{\Pi} + V_{\kappa}) V_{\Pi} = L_T \left\{ a + \frac{b}{2} (V_{\Pi} + V_{\kappa}) + (w_r - i) \frac{V_{\Pi}}{V_{\Pi} - V_{\kappa}} + 1000 \vartheta_{\kappa} \left[ \alpha - \frac{\beta}{2} (V_{\Pi} + V_{\kappa}) \right] \right\}.$$

На практике приходится рассматривать чаще всего случай движения поезда со скоростью от  $V_{\Pi}$  до 0. Принимая в таком случае в предыдущей формуле  $V_{\kappa} = 0$ , а затем принимая для  $w_0$  формулу зав. *Baldwin'a* и для  $f_{\kappa}$  формулу Ломоносова, т. е. принимая

$$\begin{aligned} a &= 1,5 \\ b &= 0,05 \\ \alpha &= 0,20 \\ \beta &= 0,0015, \end{aligned}$$

получим нижеследующее простое основное выражение:

$$[0] \quad 4,2 V_{\Pi}^2 = L_T [1,5 + 0,025 V_{\Pi} + w_r - i + \vartheta_{\kappa} (200 - 0,75 V_{\Pi})],$$

на основании коего и решаются довольно просто указанные выше три задачи б), в) и г) для товарных поездов, а именно:

**Задача б)** — определение  $L_T$  по  $V_H$  и  $\vartheta_K$

$$(B) \quad L_T = \frac{4,2 V_H^2}{1,5 + 0,025 V_H + w_r - i + \vartheta_K (200 - 0,75 V_H)} \quad [m].$$

**Задача в)** — определение  $\vartheta_K$  по  $L_T$  и  $V_H$

$$(B) \quad \vartheta_K = \frac{4,2 V_H^2 - L_T (1,5 + 0,025 V_H + w_r - i)}{L_T (200 - 0,75 V_H)}$$

**Задача г)** — определение  $V_H$  по  $L_T$  и  $\vartheta_K$

Преобразовав основное уравнение в квадратное следующего вида:

$$4,2 V_H^2 - L_T (0,025 - 0,75 \vartheta_K) V_H - L_T (1,5 + w_r - i + 200 \vartheta_K) = 0$$

получаем:

$$(Г) \quad V_H = \frac{(0,025 - 0,75 \vartheta_K) L_T + \sqrt{[(0,025 - 0,75 \vartheta_K) L_T]^2 + 16,8 L_T (1,5 + w_r - i + 200 \vartheta_K)}}{8,4} \quad [km/h].$$

§ 96. Надлежит иметь в виду, что по указанной для  $L_T$  формуле (B) получается тормозной путь, представляющий собой протяжение, которое проходится поездом с момента начала работы тормозов, т. е. момента, когда поезд, благодаря действию тормозов, начинает терять свою скорость, до остановки поезда. Так как торможение поезда до полной остановки всегда бывает связано с тем, что машинисту стал виден или слышен сигнал остановки (здесь, разумеется, не имеются в виду остановки поезда на всякого рода остановочных пунктах), то на практике, при исчислении тормозного пути, следует дополнительно принимать в расчет еще то протяжение  $L_T^{\partial}$ , которое проходится поездом полным ходом с того момента, как машинист увидел или услышал сигнал остановки, до указанного выше момента начала работы тормозов. Промежуток времени  $t$  между названными двумя последними моментами представляет собой, как видно, время, которое



нужно затратить на приведение тормозов в действие. Очевидно, что на приведение в действие ручных тормозов требуется больше времени, чем на приведение в действие автоматических тормозов. У нас на практике, учитывая климатические условия страны,  $t$  обычно принимают:

при ручных тормозах . . . . .  $t = 10 - 12$  s.  
 „ автоматических тормозах . .  $t = 5 - 6$  „

За границей же, например, в Германии, Франции, Италии:

при ручных тормозах . . . . .  $t = 5$  s.  
 „ автоматических тормозах . .  $t = 3$  „

Протяжение  $L_T^\partial$ , проходимое поездом в промежуток времени  $t$ , определяется, очевидно, из выражения:

$$L_T^\partial = v_{II}^{m/s} \cdot t^s = \frac{1000 V_{II}^{km/h}}{60 \times 60} \cdot t^s = \\ = 0,28 V_{II}^{km/h} \cdot t^s [m].$$

Следовательно, протяжение  $L_T^\partial$  может быть в общем принято:

при ручных тормозах:

$$L_T^\partial = \text{от } 2,80 V_{II} \text{ до } 3,36 V_{II} \approx 3 V_{II} [m],$$

при автоматических тормозах:

$$L_T^\partial = \text{от } 1,40 V_{II} \text{ до } 1,68 V_{II} \approx 1,5 V_{II} [m].$$

Таким образом, полный тормозной путь  $L_T^H$  в рассматриваемом случае составляет:

$$L_T^H = L_T + L_T^\partial.$$

Для **полного** тормозного пути па площадке и на скатах у нас в России (также и в некоторых других странах, например, в Германии) установлена величина в 700 м, представляющая собой минимальное протяжение, на котором должны вообще быть видны машинисту выставленные на пути сигналы.

§ 97. Хотя принятие во всех случаях, не исключая даже крутых скатов, **одной** величины полного тормозного пути и не представляется вполне рациональным (более рациональным представляется увеличение длины названного пути с увеличением уклона), тем не менее приходится считаться с официально установленной у нас для всех случаев нормой  $L_T^{\text{II}} = 700$  м и, в связи с этим, при исчислении необходимого в поезде на скатах числа действующих тормозов (коэфф.  $\vartheta_K$ ), а также при исчислении предельной по тормозам скорости движения поезда ( $V_{\text{II}}$ ), надлежит принимать в расчет тормозный путь  $L_T$  в размере

$$L_T = L_T^{\text{II}} - L_T^{\partial} = 700 - L_T^{\partial} |m|,$$

в частности, следовательно, для наших товарных поездов, следующих с ручными тормозами,

$$L_T = 700 - 3V_{\text{II}} |m|.$$

Если эту величину  $L_T$  подставить в формулы (В) и (Г), то получим нижеследующие измененные выражения для  $\vartheta_K$  и  $V_{\text{II}}$  (для товарных поездов):

$$(В') \quad \vartheta_K = \frac{4,2075 V_{\text{II}}^2 + (2,75 + 3w_r - 3i) V_{\text{II}} - 700 (1,5 + w_r - i)}{2,25 V_{\text{II}}^2 - 1125 V_{\text{II}} + 140.000}$$

$$(Г') \quad V_{\text{II}} = \frac{-(2,75 + 3w_r - 3i + 1125 \vartheta_K) + \sqrt{(2,75 + 3w_r - 3i + 1125 \vartheta_K)^2 + 2800 (4,2075 - 2,25 \vartheta_K) (1,5 + w_r - i + 200 \vartheta_K)}}{8,415 - 4,5 \vartheta_K}$$

Последнее выражение для  $V_{\text{II}}$  представляет собой корень нижеследующего квадратного уравнения, получаемого из

основного выражения (0) после подстановки в него  $L_T = 700$  —  
—  $3\Gamma_H$  :

$$(4,2075 - 2,25\vartheta_K)\Gamma_H^2 + (2,75 + 3w_T - 3i + 1125\vartheta_K)\Gamma_H - 700(1,5 + w_T - i + 200\vartheta_K) = 0.$$

§ 98. Из всех указанных выше четырех тормозных задач при проектировании новых дорог приходится решать преимущественно последнюю задачу (г), касающуюся определения предельной по тормозам скорости движения поездов на скатах, при чем—решать ее по отношению к товарным поездом.

Эта задача, как понятно из сказанного выше, решается помощью формулы ( $\Gamma'$ ), данной выше для  $\Gamma_H$ . В этой формуле имеется одна неизвестная величина  $\vartheta_K$ .

Задавшись величиной тормозного коэффициента вагонов  $\vartheta_B$  и зная  $\vartheta_H$  и  $\vartheta_T$ , не трудно определить

$$\vartheta_K = \vartheta_H + \vartheta_T + \vartheta_B,$$

а затем по  $\vartheta_K$ -определить и предельную по тормозам скорость  $\Gamma_H$  на данном скате по формуле ( $\Gamma'$ ).

§ 99. Выше был приведен аналитический, достаточно точный для практических целей, способ решения тормозных задач. Однако, означенные задачи могут решаться и графическими способами, основанными на графическом интегрировании уравнения движения поезда

$$\frac{dV}{dt} = 120 (z - w - b),$$

или особого рода графическим способом, основанным на графическом изображении процесса торможения.

§ 100. Способов графического интегрирования уравнения движения поезда было предложено очень много, при чем первым, кто предложил такого рода способ, был *Desdovits* (1898 г.), который предложил, на основании диаграммы  $z$  и  $w + b$ , изображенной на фиг. 10, графически строить кривую зависимости скорости от времени

$$\Gamma = f(t),$$

т. е. графически брать интеграл

$$t = \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{120 (z - r - b)}$$

Однако, *Desdovits* не указал самого приема, как собственно строить кривую

$$V = f(t).$$

Такого рода приемы были указаны позже другими исследователями, между прочим Ломоносовым.

Неудобство этих приемов, основанных на предложении *Desdovits*, состоит в том, что они дают кривую в функции времени, тогда как профиль задается в функции пути.

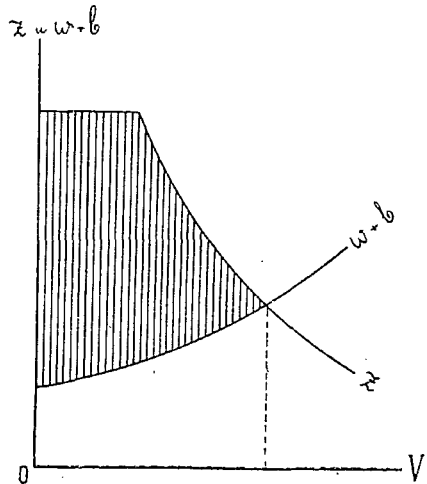
В связи с этим позднейшие исследователи (*Дубелур, Чечотт, Липец, Strahl, Unrein, Fry* и др.) создали способы графического или графо-аналитического построения кривой зависимости скорости от пути

$$V = f(s).$$

Из всех этих способов наиболее простым и удобным для практического применения является чисто графический способ, предложенный у нас Липцом (1911 г.) и несколько позднее (1913 г.) в Германии *Unrein*'ом. В основе этого способа лежит следующее соображение.

Если мы возьмем кривую

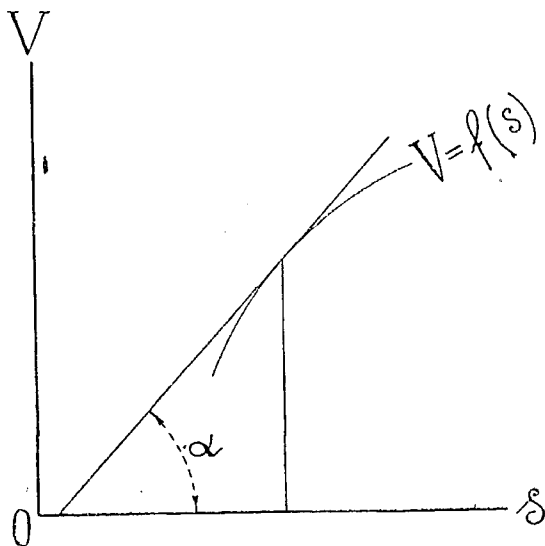
$$V = f(s)$$



Фиг. 10.

и проведем к какой-либо точке ее касательную (фиг. 11), то последняя составит с направлением оси пути угол  $\alpha$ , тангенс которого выразится производной от  $V$  по  $s$ , т. е.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dV}{ds} = \frac{dV}{dt} \cdot \frac{1}{V}$$



Фиг. 11.

С другой стороны, из уравнения движения поезда

$$\frac{dV}{dt} = 120 (x - w - b) = 120 |x - (w + b)|$$

получается, что

$$x - (w + b) = \frac{1}{120} \cdot \frac{dV}{dt}$$

и, следовательно, в связи с указанным выше выражением  $\operatorname{tg} \alpha$ , имеем:

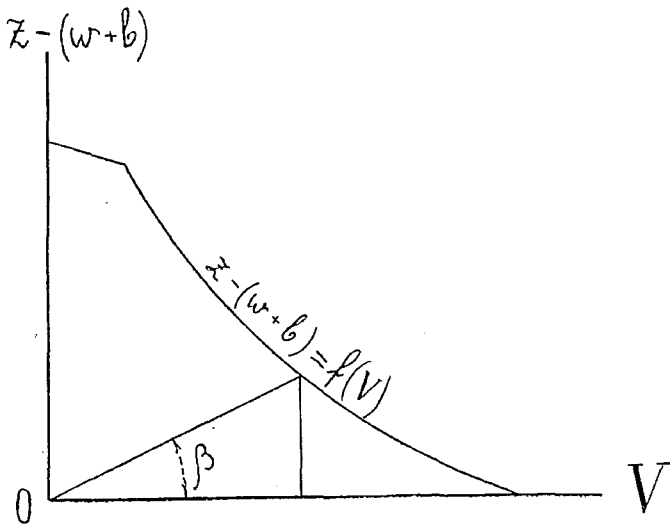
$$\operatorname{tg} \alpha = 120 \frac{x - (w + b)}{V}$$

Если теперь возьмем кривую

$$x - (w + b) = f(V)$$

и к какой-либо точке ее проведем луч из начала координат (фиг. 12), то таковой луч составит с направлением оси скоростей угол  $\beta$ , тангенс коего выразится

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{z - (w + b)}{V}.$$



Фиг. 12.

Следовательно, если принять масштаб для

$$z - (w + b)$$

в диаграмме

$$z - (w + b) = f(V)$$

в 120 раз бóльший, чем масштаб для  $s$  в диаграмме

$$V = f(s),$$

то, очевидно, будем иметь равенство углов

$$\angle \alpha = \angle \beta.$$

На этом соображении и основан способ Липеца интегрирования уравнения движения поезда, заключающийся, в общем, в следующем.

### Диаграмма

$$z - (w + b) = f(V)$$

разбивается на ряд горизонтальных элементов произвольной величины (фиг. 13), иначе говоря, кривая

$$z - (w + b)$$

заменяется рядом параллельных оси скоростей отрезков прямых (заменяется ступенчатой линией), так что сила

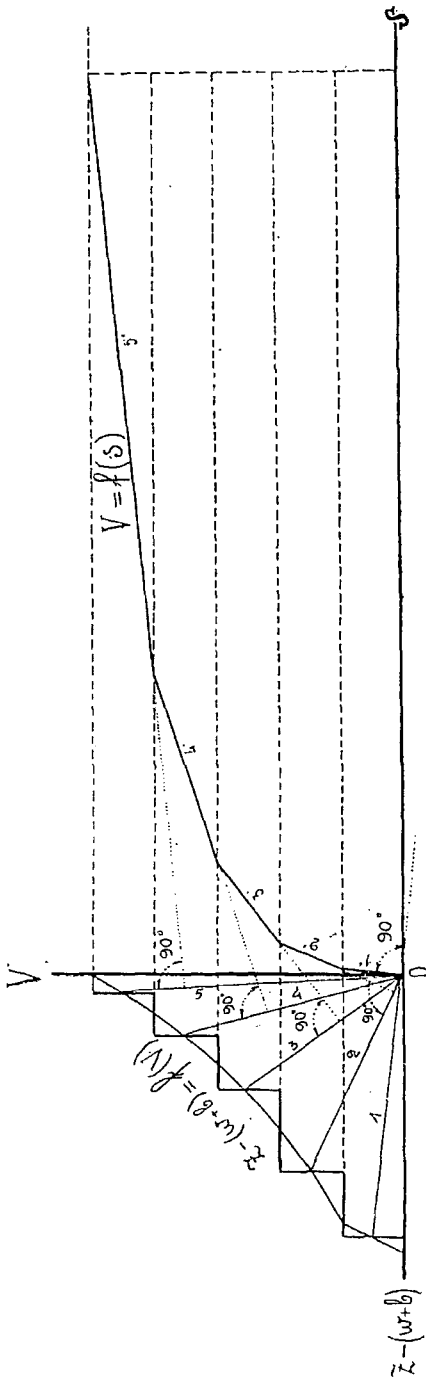
$$z - (w + b)$$

Фиг. 13.

в некоторых пределах скорости  $V$  предполагается постоянной и равной средней ординате. Затем, из начала координат в середины этих отрезков прямых проводятся лучи 1, 2, 3 ..., и, наконец, проводятся прямые 1', 2', 3' ..., соответственно перпендикулярные указанным лучам.

Получаемая ломаная линия 1', 2', 3' ... и даст, в силу указанного выше соображения, искомую зависимость

$$V = f(s),$$



при чем, при бесконечном увеличении числа горизонтальных элементов, названная линия сольется с истинной кривой

$$V = f(s).$$

Очевидно, ошибка тем меньше, чем больше число горизонтальных элементов, на которое разбивается диаграмма

$$z - (w + b) = f(V).$$

Однако, надо заметить, для практических целей нет необходимости слишком увеличивать названное число.

При построении кривой

$$V = f(s)$$

сохранен, как видно, тот же масштаб скоростей, который принят на диаграмме

$$z - (w + b) = f(V).$$

Этим самым получается определенный масштаб и для  $s$ , который определяется, очевидно, только масштабами

$$V \text{ и } z - (w + b)$$

и совершенно не зависит от способа, которым получена кривая

$$V = f(s).$$

Пусть масштаб сил

$$z - (w + b)$$

принят:

$$1 \text{ [kg/t]} = a \text{ [mm]},$$

а масштаб скоростей  $V$ :

$$1 \text{ [km/h]} = b \text{ [mm]}.$$

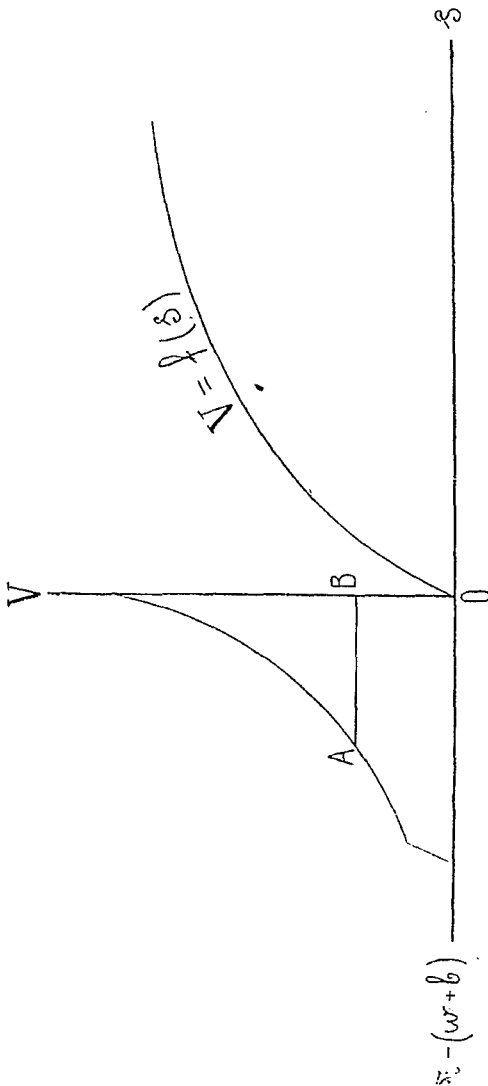
Тогда отрезок  $AB$  равен (фиг. 14)

$$AB = a |z - (w + b)| \text{ [mm]}$$



с другой же стороны, исходя из уравнения движения поезда

$$\frac{dV}{dt} = 120 [z - (w + b)],$$



Фиг. 14.

он изображает также

$$120 [z - (w + b)] \text{ [km/h}^2\text{]}.$$

Следовательно, масштаб ускорений получается такой, что

$$1 [\text{km/h}^2] = \frac{a}{12} [\text{mm}] \dots \dots \dots \text{(I)}$$

Вместе с тем по заданию

$$1 [\text{km/h}] = b [\text{mm}] \dots \dots \dots \text{(II)},$$

откуда, возвышая в квадрат (II) и деля на (I), получаем масштаб пути  $s$ :

$$1 [\text{km}] = \frac{120 b^2}{a} [\text{mm}].$$

Это верно, надо помнить, лишь при сохранении одного и того же масштаба скоростей  $V$  на обеих диаграммах

$$s - (w + b) = f(V) \text{ и } V = f(s).$$

Например, если масштаб сил  $s - (w + b)$  принят:

$$1 [\text{kg/t}] = 6 [\text{mm}],$$

а масштаб скоростей  $V$ :

$$1 [\text{km/h}] = 2 [\text{mm}],$$

то пути  $s$  мы получим в масштабе:

$$1 [\text{km}] = \frac{120 \times 4}{6} = 80 [\text{mm}].$$

Зная способ построения кривой

$$V = f(s)$$

для общего случая, когда уравнение движения поезда выражается

$$\frac{dV}{dt} = 120 (s - w - b),$$

не трудно построить названную кривую и для случая уравнения движения

$$- \frac{dV}{dt} = 120 (w + b_k),$$

имеющего место при решении тормозных задач б), в) и г).

В этом случае, как видно, кривая сил

$$w + b_{\text{к}} = w_0^{\text{ср}} + w_{\text{г}} - i + 1000 f_{\text{к}}^{\text{ср}} \vartheta_{\text{к}} = f(V)$$

представляет для товарных поездов, для которых можно принять  $w_0$  по формуле вида

$$w_0 = a + bV,$$

прямую линию.

Построив эту прямую, не трудно по ней указанным выше способом построить и кривую

$$V_{\text{н}} = f(L_{\text{т}})$$

(фиг. 15, на стр. 227).

Имея означенную кривую, можно для любой величины тормозного пути  $L_{\text{т}}$  найти соответственную начальную скорость  $V_{\text{н}}$  и, наоборот, для любой скорости  $V_{\text{н}}$  при начале торможения найти величину отвечающего ей тормозного пути  $L_{\text{т}}$ . Полный тормозной путь  $L_{\text{т}}^{\text{н}}$  получится путем сложения найденного  $L_{\text{т}}$  с

$$L_{\text{т}}^{\theta} = 3 V_{\text{н}}^2,$$

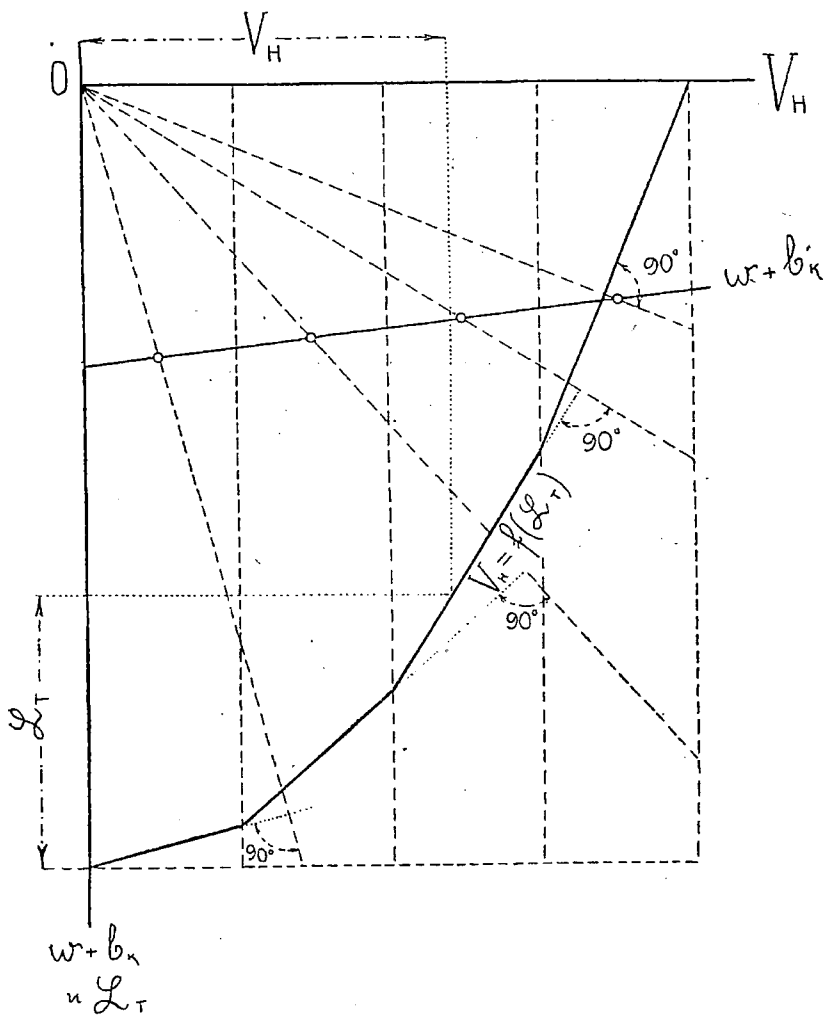
т. е.

$$L_{\text{т}}^{\text{н}} = L_{\text{т}} + 3 V_{\text{н}}^2.$$

Так, следовательно, решаются задачи б) и г). Задача в), касающаяся определения требуемого числа тормозов (коэфф.  $\vartheta_{\text{к}}$ ) по заданным  $L_{\text{т}}$  и  $V_{\text{н}}$ , решается несколько сложнее, а именно путем попыток—приходится задаваться известным  $\vartheta_{\text{к}}$  и затем проверять его такими же построениями, как и при задачах б) и г).

В общем здесь имелся в виду случай полного торможения поезда, т. е. случай, когда  $V_{\text{к}} = 0$ ; если имеется случай неполного торможения, когда  $V_{\text{к}} > 0$ , решение тормозных задач производится аналогичным образом.

§ 101. В самое последнее время (1923 г.) Дубелир предложил особого рода графический способ решения тормозных задач, основанный на графическом изображении процесса торможения. Способ этот основан на нижеследующем.



Фиг. 15.

Как было указано в § 95, процесс торможения, состоящий в поглощении на протяжении тормозного пути  $L_T$  живой

силы поезда  $K$  работой естественного сопротивления  $W$  движению поезда и работой искусственного торможения сопротивления  $B_{\kappa}$  — работой тормозной силы от действия колодок (если пренебрегается контрпаром), может быть выражен помощью простого уравнения

$$K = (W + B_{\kappa}) L_T .$$

Так как (§ 85)

$$K = 1,06 \frac{M_1 V^2}{2} = 1,06 \frac{Q V^2}{2g} ,$$

где  $Q$  — полный вес поезда  $= P_{\Pi} + P_T + P_B$ , затем,

$$W = wQ ,$$

где  $w$  — среднее за период торможения значение полного удельного сопротивления движению поезда  $= w_0^{\text{CP}} + w_T - i$  (§ 95) и, наконец,

$$B_{\kappa} = b_{\kappa} Q ,$$

где  $b_{\kappa}$  — среднее за период торможения значение удельной тормозной силы  $= 1000 \vartheta_{\kappa} f_{\kappa}^{\text{CP}}$  (§ 95), то получается

$$1,06 \frac{Q V^2}{2g} = (w + b_{\kappa}) Q L_T$$

или

$$1,06 \frac{V^2}{2g} = (w + b_{\kappa}) L_T ,$$

а, так как  $1,06 \frac{V^2}{2g}$  представляет собой скоростную высоту  $H_v$  (§ 91), с поправкой в размере 6% на инерцию вращения колесных скатов, то в результате процесс торможения выражается:

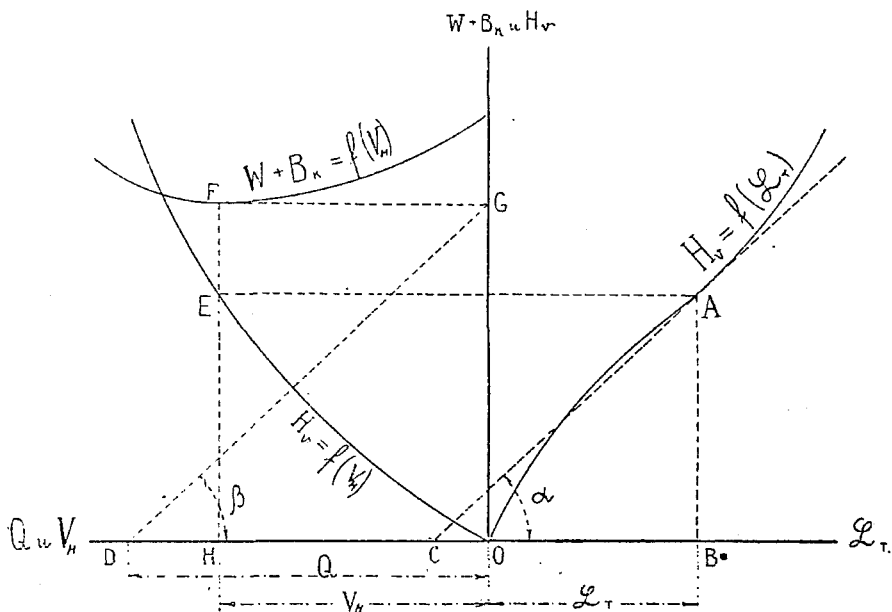
$$H_v = (w + b_{\kappa}) L_T = f(L_T) .$$

Если мы имеем такого рода кривую  $H_v = f(L_T)$  и проведем к какой-либо точке ее  $A$  касательную  $AC$  (правая часть фиг. 16), то последняя составит с направлением

оси пути  $L_T$  угол  $\alpha$ , тангенс которого выразится производной от  $H_v$  по  $L_T$ , т. е.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dH_v}{dL_T} = \frac{dV}{dt} = w + b_k = \frac{W + B_k}{Q},$$

откуда видно, что тангенс угла названной касательной равен **полному** при торможении удельному сопротивлению—естественному плюс искусственное (от торможения).



Фиг. 16.

Если мы затем на том же планшете (левая часть фиг. 16) имеем кривую

$$H_v = f(V),$$

построенную на основании выражения

$$H_v = 1,06 \frac{V^2}{2g} = 0,0042 V^2 \text{ [m]}$$

или на основании таблицы скоростных высот, приведенной в § 91, то мы легко можем найти соответствующую точке  $B$  тормозного пути скорость движения  $V$ . Для сего проводим линии  $AE$  и  $EH$ ; очевидно, искомая скорость  $V = OH$ .

С другой стороны, если построим еще кривую полного сопротивления при торможении

$$W + B_k = f(V),$$

а, кроме того, по оси абсцисс отложим полный вес поезда  $Q = OD$ , то можем найти соответствующее точке  $B$  тормозного пути полное сопротивление  $W + B_k = EH$ . Откладывая это сопротивление на оси ординат, т. е. проведя линию  $EG \parallel$  оси абсцисс, и проведя затем луч  $DG$ , найдем, что последний составляет с осью скорости угол  $\beta$ , тангенс которого выражается

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{OG}{OD} = \frac{W + B_k}{Q},$$

Из сравнения полученных выражений для  $\operatorname{tg} \alpha$  и  $\operatorname{tg} \beta$  видно, что

$$\angle \alpha = \angle \beta,$$

иначе говоря, что

$$AC \parallel DG.$$

На этом соображении и основан новый графический способ Дубелира решения тормозных задач, заключающийся в общем в нижеследующем.

По построении кривых

$$H_v = f(V)$$

и

$$W + B_k = f(V),$$

на оси ординат откладывается наибольшая величина  $H_v$ , отвечающая наибольшей возможной начальной скорости  $V_n$  движения данного поезда; эта высота  $H_v$  делится на несколько частей (лучше равных, но можно и не равных) и через точки деления проводятся линии, параллельно оси абсцисс,

которыми, следовательно, данная диаграмма делится на ряд горизонтальных элементов; затем, для каждого из этих элементов, помощью кривых

$$H_v = f(V)$$

и

$$W + B_k = f(V)$$

сперва отыскивается среднее значение величины

$$W + B_k,$$

а после сего способом, указанным выше (фиг. 16), находится наклон среднего для элемента луча, каковой наклон и принимается наклоном кривой, вернее сказать, прямого отрезка кривой

$$H_v = f(L_T)$$

в пределах данного элемента. По определении направления лучей  $DG$  (фиг. 16) для всех горизонтальных элементов данной диаграммы из начала координат проводится в пределах каждого элемента прямая, параллельная лучу, соответствующему этому элементу. Таким образом получается кривая

$$H_v = f(L_T),$$

состоящая из отрезков прямых, при чем, очевидно, ошибка тем меньше, чем больше число горизонтальных элементов, на которое разбивается диаграмма.

На фиг. 17 показано построение Дубелира для товарного поезда, при чем диаграмма разделена на 5 горизонтальных элементов, а основное удельное сопротивление принято по формуле

$$w_0 = a + bV,$$

почему кривая

$$W + B_k = f(V)$$

и изображена в виде наклонной прямой, как и на фиг. 15. Прямые отрезки 1', 2', 3', 4', и 5' кривой

$$H_v = f(L_T)$$

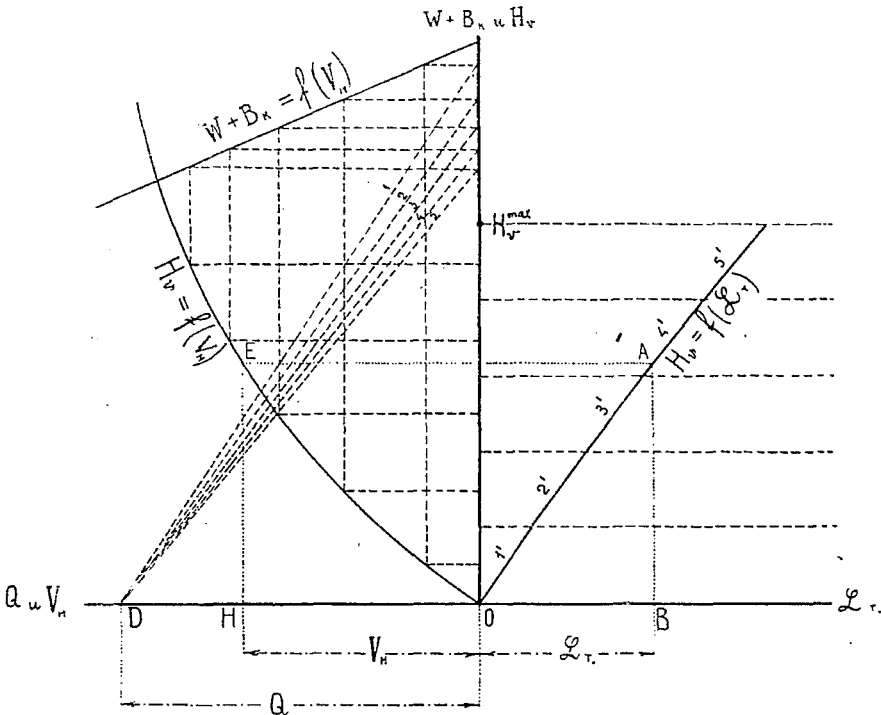


параллельны лучам 1, 2, 3, 4 и 5. Имея названную кривую, можно путем проведения линий  $BA$ ,  $AE$  и  $EH$  для любой величины тормозного пути  $L_T$  найти соответствующую начальную скорость  $V_H$  и, наоборот, путем проведения линии  $HE$ ,  $EA$  и  $AB$  для любой скорости  $V_H$  при начале торможения найти величину отвечающего ей тормозного пути  $L_T$ . Полный тормозной путь  $L_T^{\text{II}}$  получится путем сложения найденного  $L_T$  с

$$L_T^{\text{I}} = 3V_H,$$

т. е.

$$L_T^{\text{II}} = L_T + 3V_H.$$



Фиг. 17.

Как видно из приведенного примера, наклоны лучей  $DG_1, DG_2, \dots$  изменяются не особенно сильно, почему кривая

$$H_v = f(L_T)$$

для товарных поездов довольно близка к прямой. Для пассажирских поездов означенная кривая имеет двойкий перегиб, как то показано на фиг. 16, соответственно вогнутости кривой

$$W + B_k = f(V),$$

так как, с увеличением скорости, сопротивление  $W$  возрастает, а тормозная сила  $B_k$  убывает.

Так, следовательно, решаются тормозные задачи б) и г). Задача в), касающаяся определения требуемого числа тормозов (коэфф.  $\theta_k$ ) по заданным  $V_H$  и  $L_T$  решается при способе Дубелира последовательным подбором, как и при способе Липеца. Однако, график торможения Дубелира позволяет облегчить этот подбор и, вместе с тем, наглядно осветить сущность задачи.

Что касается выбора масштабов для всех элементов графика торможения, то надлежит иметь в виду, что, так как на фиг. 16

$$\frac{DO}{GO} = \frac{CB}{AB},$$

то очевидно, масштабы должны быть связаны между собой таким образом, чтобы

$$\frac{\text{масштаб } Q}{\text{к масштабу } W + B_k} = \frac{\text{масштаб } L_T}{\text{к масштабу } H_v}.$$

Дубелир рекомендует откладывать в 1 см.:

	Пассажирск. поезда.	Товарные поезда.
для $L_T$ . . . . .	50 м.	50 м.
„ $H_v$ . . . . .	2 „	0,5 „
„ $V_H$ . . . . .	5 km/h	2 km/h.
„ $Q$ . . . . .	50 t.	100 t.
„ $W + B_k$ . . . . .	2000 kg.	1000 kg,

при каких масштабах получается соотношение масштабов:

$$\frac{Q}{W + B_k} = \frac{L_T}{H_v} = 25 \dots \dots \text{для пасс. поездов}$$

$$\text{„} \quad \text{„} \quad = 100 \dots \dots \text{„} \quad \text{тов.} \quad \text{„}$$

Как в общем видно, построение по способу Дубелира кривой

$$H_v = 1,06 \frac{V^2}{2g} = f(L_T)$$

так же просто, как и построение по способу Липца кривой

$$V = f(L_T),$$

хотя оно и требует одно дополнительное построение кривой

$$H_v = f(V),$$

однако, это построение выполняется весьма просто помощью таблицы скоростных высот, приведенной в § 91. С точки зрения наглядности график торможения Дубелира имеет то преимущество, что входящие в него элементы—живая сила и пройденный путь—имеют **реальное значение**. Вид кривой

$$H_v = f(L_T)$$

представляет действительный процесс торможения, быстрота которого характеризуется уклоном

$$\frac{dH_v}{dL_T} = \frac{dV}{dt} = w + b_k = \frac{W + B_k}{Q} =$$

полному удельному сопротивлению (естественному и искусственному от торможения), т. е. **величиной ускорения**; между тем уклон кривой

$$V = f(L_T)$$

Липца

$$\frac{dV}{dL_T} = \frac{w + b_k}{V}$$

представляет отношение ускорения к скорости, не имеющее реального значения.

#### Ст. 4. Скорости движения поезда.

§ 102. Вопросы скорости движения поезда заключаются в следующем: а) с какой равномерной скоростью может идти поезд данного состава по элементу пути данного профиля (на площадке, по данному подъему или по данному скату)? и б) с какой предельной скоростью поезд может идти по данному скату при данных средствах торможения?

Решение задачи б) указано в ст. 3 (Торможение) настоящей главы и потому здесь остается рассмотреть лишь решение задачи а), касающейся равномерного движения поезда.

§ 103. Как было указано в главе XIII, равномерное движение поезда в общем возможно при условии

$$Z = W,$$

следовательно, задача а) сводится к отысканию такой скорости  $V$ , при которой сила тяги паровоза была бы равна сопротивлению поезда движению.

Аналитическое решение этой задачи возможно лишь в исключительных случаях, что видно из нижеследующего.

Сопротивление поезда движению  $W$  может быть выражено в следующем общем виде:

$$W = wQ = (w_0 + w_r \pm i) Q = (a + bV + cV^2 + w_r \pm i) Q = \\ = A + BV + CV^2,$$

где:  $A = (a + w_r \pm i) Q$ ,

$$B = bQ,$$

$$C = cQ.$$

Затем, если мощность паровоза  $N$  выразить, применительно к формуле *Frank'a*, в общем виде

$$N = \alpha + \beta \sqrt{V}$$

то котловая сила тяги паровоза  $Z_{\text{кт}}$  может быть выражена в общем виде:

$$Z_{\text{кт}} = \frac{270N}{V} = \frac{270(\alpha + \beta\sqrt{V})}{V} = \frac{D + E\sqrt{V}}{V},$$

где:  $D = 270 \alpha$   
 $E = 270 \beta$ .

Следовательно, вышеуказанное уравнение  $Z = W$  имеет такой общий вид

$$\frac{D + E\sqrt{V}}{V} = A + BV + CV^2,$$

откуда, после преобразования, получаем

$$E^2V = (AV + BV^2 + CV^3 - D)^2.$$

Из сего видно, что аналитическое решение задачи а) сводится к решению уравнения шестой степени, которое, как известно, в общем случае решить нельзя. Даже, если для товарных поездов основное удельное сопротивление движению выразить в общем виде  $w_0 = a + bV$ , то и тогда, как видно, с исчезновением в последнем уравнении члена  $CV^3$ , задача сводится к решению уравнения четвертой степени, что хотя и возможно, но крайне сложно.

Аналитическое решение задачи возможно еще и таким способом, что путем последовательных приближений отыскивается такая скорость  $V$ , которая, будучи вставлена в вышеуказанные выражения для  $Z$  и  $W$ , дает равенство

$$Z = W.$$

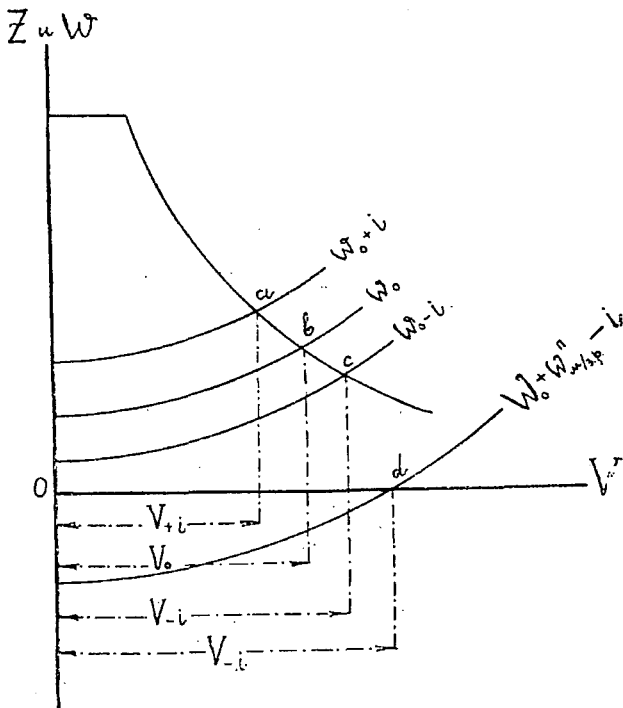
Однако и такого рода решение, как то само собой понятно, крайне кропотливо.

§ 104. Проще всего задача а) решается графически. Для сего на одном и том же планшете наносятся, как то показано на фиг. 18, кривые удельной силы тяги  $z$  (при определенной, выбранной в зависимости от рода топлива, форсировке котла) и удельного сопротивления движению  $w$ , равного:  $w = w_0 + i$ , или  $w = w_0$ , или  $w = w_0 - i$ , или

$w = w_0 + w_{\text{м.в.р.}}^{\text{пт}}$  —  $i$ , смотря по тому, рассматривается ли движение поезда на подъеме; на площадке, на пологом скате (при открытом регуляторе) или на крутом скате (при закрытом регуляторе). Очевидно, точки  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$  пересечения кривой  $z$  с соответственной кривой  $w$  укажут прямо искомую для данного элемента пути (подъема, площадки или ската) скорость равномерного движения — соответственно  $V_{+i}$ ,  $V_0$  или  $V_{-i}$ , так как в этих точках уравнение движения получает вид

$$120(z - w) = 0,$$

т. е. вид уравнения равномерного движения поезда.

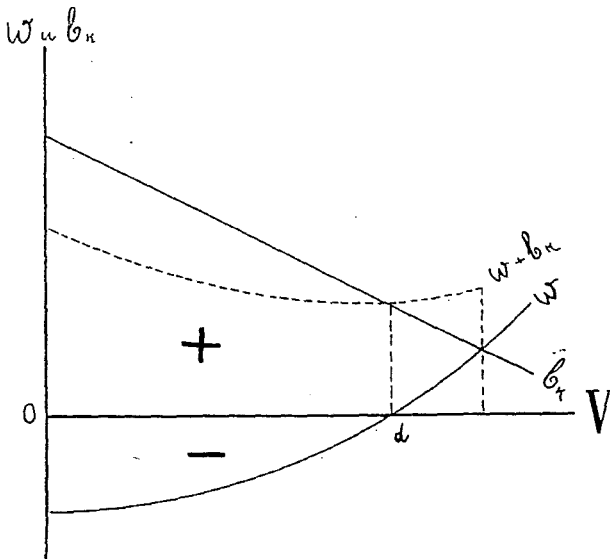


Фиг. 18.

Надлежит иметь в виду, что точка  $d$  пересечения кривых  $z$  и  $w$  при равномерном движении поезда по крутому скату

лежит на оси  $V$  по той причине, что в данном случае при закрытом регуляторе удельная сила тяги  $z = 0$  и, следовательно, кривая  $z$  сливается с осью  $V$ .

Кстати заметить, если в последнем случае, т. е. случае равномерного движения поезда по крутому скату, ввести торможение, то удельное сопротивление движению возрастает с  $w$  до  $w + b_k$ , кривая какого сопротивления на фиг. 19 показана пунктиром.



Фиг. 19.

Как видно, эта кривая не пересекается с кривой  $z = 0$ , т. е. с осью  $V$ , и, следовательно, при данных условиях поезд не будет иметь равномерной скорости—движение поезда будет замедляться, пока последний совсем не остановится.

Такого рода случаи непересечения кривых  $z$  и  $w$  имеют место всегда, когда корни уравнения движения

$$120 (z - w - b_R) = 0$$

будут мнимыми, т. е. когда

$$z < iv + b_R,$$

как, например, это и имеет место в только что рассмотренном случае, в коем

$$z = 0.$$

## Ст. 5. Время пробега поездом перегона.

§ 105. Вопрос заключается в следующем: определить время пробега известного перегона поездом данного веса, ведомым данного типа паровозом?

Такого рода задача может решаться помощью уравнения движения поезда, при чем, в виду того, что профили перегонов всегда имеют несколько переломов, задача сводится к интегрированию названного уравнения в пределах отдельных однородных, в отношении профиля и плана, элементов пути на перегоне, а затем к суммированию полученных для этих элементов времен пробега.

Если длины отдельных однородных в отношении профиля и плана элементов пути на перегоне выразить через

$$l_1, l_2, l_3 \text{ и т. д.},$$

затем, уравнения движения поезда на этих элементах через

$$\begin{aligned} \frac{dV}{dt} &= f_1(V), \\ \frac{d\Gamma}{dt} &= f_2(\Gamma), \\ \frac{dV}{dt} &= f_3(V) \text{ и т. д.}, \end{aligned}$$

наконец, выразить скорости движения через:

$\Gamma_0$	—	в начале	первого	элемента
$V_1$	—	»	конце	»
$\Gamma_2$	—	»	»	второго
$V_3$	—	»	»	третьего
				»
				и т. д.



то, очевидно, указанные скорости найдутся из следующих выражений:

$$l_1 - l_0 = \int_{V_0}^{V_1} \frac{V dV}{f_1(V)},$$

$$l_2 - l_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{f_2(V)},$$

$$l_3 - l_2 = \int_{V_2}^{V_3} \frac{V dV}{f_3(V)} \text{ и т. д.}$$

а после сего времени пробега поездом указанных выше однородных элементов перегона—из выражений:

$$t_1 - t_0 = \int_{V_0}^{V_1} \frac{dV}{f_1(V)},$$

$$t_2 - t_1 = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f_2(V)},$$

$$t_3 - t_2 = \int_{V_2}^{V_3} \frac{dV}{f_3(V)} \text{ и т. д.}$$

Полное время  $T$  пробега поездом всего перегона составит, очевидно:

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} (t_i - t_{i-1}),$$

где  $n$ —число однородных, в отношении профиля и плана, элементов перегона.

Аналитическое интегрирование указанных уравнений движения, хотя и возможно (при некоторых допущениях о виде той зависимости, которая существует между силой тяги и скоростью), однако, в результате такого интегрирования получаются столь сложные формулы, что практическое применение их крайне затруднительно—приходится оперировать с Неперовыми логарифмами и методом последовательных при-

ближений. В виду сего, на практике указанный, чисто аналитический способ решения задачи о времени пробега поездами перегонов в общем, можно сказать, совсем не применяется.

Вместо аналитического интегрирования уравнения движения возможно, как то было указано в § 100 и графическое интегрирование, требующее, во много раз меньше затраты времени; при этом самым удобным способом графического интегрирования является, как было указано, способ Липеца, дающий изменения скорости непосредственно в функции профиля. Однако, способ Липеца решения задачи о временах пробега поездами перегонов требует не мало разного рода подготовительных работ. Более выгодным является новейший способ Müller'a (1923 г.), дополненный Лютцем (1924 г.)— способ, представляющий то преимущество, что линия времени хода поезда получается сразу в функции от пройденного пути одним построением, а не двумя, при чем время хода получается с учетом потерь на разгон и на замедление хода поезда при торможении.

В результате и последний способ требует все же больше затраты времени, чем графо-аналитический способ — способ, хотя и менее точный, чем способы аналитический и графические, но все же для практических целей достаточно точный.

В виду сего, графические способы применяются на практике лишь в тех исключительных случаях, когда по условиям эксплуатации дороги времена пробега поездами перегонов должны определяться с точностью до частей минуты или во всяком случае минуты.

§ 106. Графо-аналитический способ имеет весьма широкое применение на наших эксплуатируемых дорогах, а для дорог проектируемых он применяется, можно сказать, почти исключительно, так как способ этот особенно удобен к применению в тех случаях, когда длины перегонов еще точно не известны и таковые лишь отыскиваются, а это как раз имеет место при составлении проекта новой дороги.

Графо-аналитический способ определения времени пробега поездом перегонов, прозванный у нас, надо заметить, „обыкновенным способом“, основан на предположении, что на каждом однородном, в отношении профиля и плана, эле-

менте пути перегона поезд движется равномерно с той скоростью, к достижению которой он стремится на данном элементе пути, иначе говоря—со скоростью, при которой удельная сила тяги паровоза  $z$  равна удельному сопротивлению  $w = w_0 + i_{\phi}$ .

По этому способу, прежде всего, графически (способом, указанным в Ст. 4 настоящей Главы) определяются возможные равномерные скорости движения данного поезда для тех фиктивных подъемов и скатов, которые встречаются на данном перегоне, а также, разумеется, и для горизонтального прямого пути. Это и есть графическая часть расчета. После сего расчет ведется уже чисто аналитически, а именно: по найденным скоростям определяются времена (в минутах) пробега данным поездом отдельных однородных элементов пути перегона

$$t = \frac{60}{v \text{ km/h.}} \times l^{\text{km}} \text{ [m.]},$$

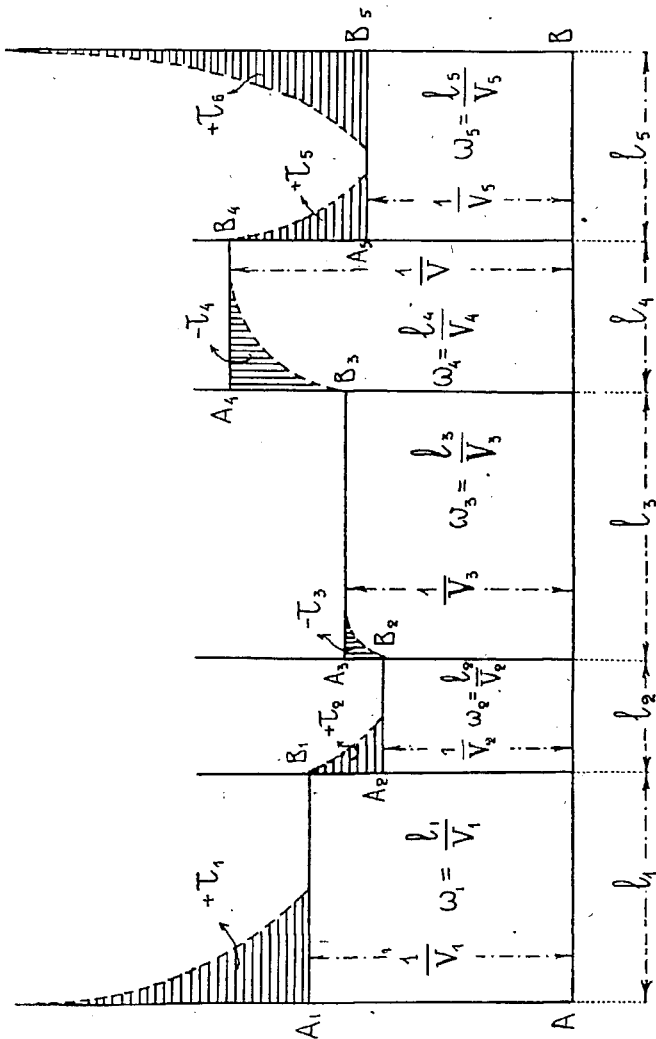
где:  $\frac{60}{v \text{ km/h.}}$  — время (в минутах) пробега поездом 1 km пути, отвечающего в отношении профиля и плана данному элементу перегона, а  $l$  — длина данного элемента пути в km, а, затем, по частным временам пробега отдельных однородных элементов перегона определяется и полное время  $T$  (в минутах) пробега поездом всего перегона

$$T = \sum t + \Sigma \tau \text{ [m ]},$$

где  $\Sigma \tau$  представляет собой сумму поправок на неравномерность движения (в минутах)

Совершенно очевидно, что точность указанного метода определения времени пробега поездом перегона зависит от той точности, с которой определена общая поправка  $\Sigma \tau$  на переходы от одной равномерной скорости на одном элементе перегона к другой такой же скорости на другом элементе, при чем подсчеты показывают, что если  $\Sigma \tau$  определять точным образом, то величины  $T$ , определенные графо-аналитическим способом, отличаются (в большую сторону) от таких же величин, определенных одним из более точных, учиты-

вающих влияние инерции поезда способов (аналитическим или графическим способом) не более как на 5—6%, каковой запас во времена пробега поездами перегонов, при проектировании новых дорог, представляется даже несколько полезным.



Фиг. 20.

Что касается природы поправок  $\tau$ , то надлежит заметить следующее.

Положим, что мы имеем перегон А—В, состоящий из 5 однородных, в отношении профиля и плана, элементов, длиной

$$l_1, l_2 \dots l_5$$

и что равномерные скорости движения, которые поезд на этих элементах стремится достигнуть, составляют

$$V_1, V_2 \dots V_5.$$

Отложим на верх от линии АВ величины

$$\frac{1}{V_1}, \frac{1}{V_2} \dots \frac{1}{V_5},$$

как то показано на фиг. 20.

Если бы скорость поезда мгновенно менялась при переходе его с одного однородного элемента пути на другой, то очевидно, время  $T$  пробега поездом перегона равнялось бы сумме площадей

$$\omega_1, \omega_2 \dots \omega_5,$$

т. е.

$$T = \sum_{i=1}^{i=5} \omega_i = \sum_{i=1}^{i=5} \frac{l_i}{V_i}.$$

На самом деле скорость меняется не мгновенно, а постепенно, и потому полное время пробега отдельных элементов составляет не просто

$$\sum \omega = \sum \frac{l}{V},$$

а плюс еще некоторая добавочная площадь  $\tau$ , ограниченная некоторой кривой и представляющая собой поправку на переход от одной равномерной скорости к другой, так что алгебраическая сумма этих добавочных площадок (заштрихованных на рисунке) и составляет общую поправку  $\Sigma \tau$  на весь перегон.

Из фиг. 20 можно непосредственно усмотреть ниже следующее:

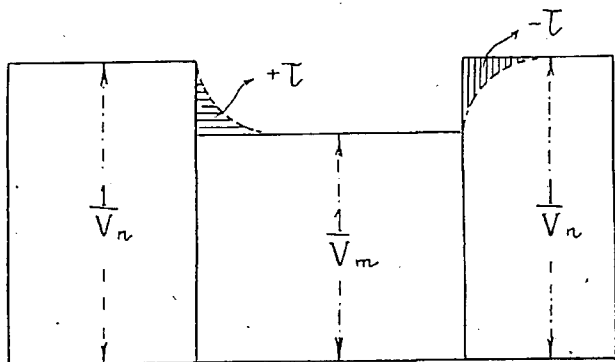
1) что при переходах от меньшей равномерной скорости к большей поправки  $\tau$  положительны ( $\tau_1, \tau_2$  и  $\tau_5$ ),

2) что при переходах от большей равномерной скорости к меньшей поправки  $\tau$  отрицательны ( $\tau_3$  и  $\tau_4$ ), наконец:

3) что поправки при переходе от равномерной скорости на последнем элементе к нулю, иначе говоря, перед остановкой поезда на станции, когда понижение скорости производится искусственно, всегда положительны ( $\tau_6$ ).

Кроме этих трех заключений о природе поправок  $\tau$ , Липец, на основании большого числа подсчетов, сделал еще два следующих замечания относительно этих поправок:

4) что с точностью, достаточной для практических целей, можно считать, что поправка на ускорение от какой-либо скорости  $V_n$  до скорости  $V_m$  равна взятой с обратным знаком поправке на замедление от скорости  $V_m$  до  $V_n$  (фиг. 21).

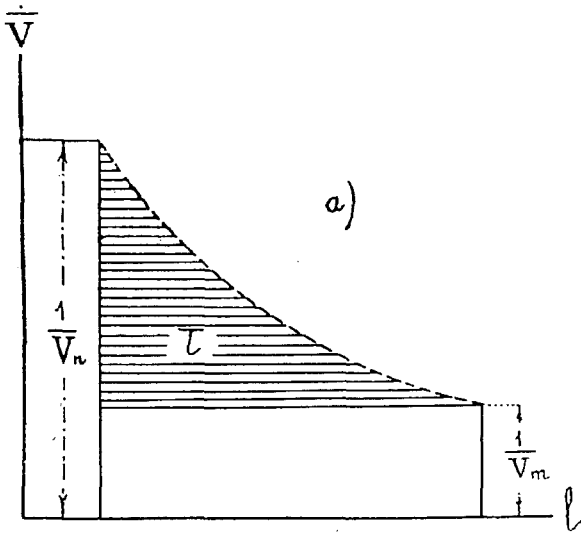


Фиг. 21.

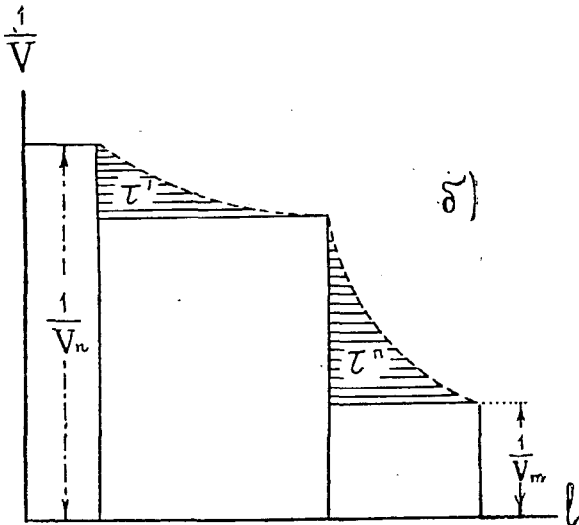
5) что, опять-таки, с точностью, достаточной для практических целей, можно считать, что поправка на переход от какой-либо скорости  $V_n$  до скорости  $V_m$  не зависит от того, совершился ли этот переход сразу или через ряд промежуточных равномерных скоростей, иначе говоря, например, для случая, показанного на фиг. 22-а и 22-б, что  $\tau = \tau' = \tau''$ .

Из указанных двух положений Липеца следует, что сумма всех поправок  $\tau$  на перегоне, за исключением поправок на разгон при отходе от станции и на замедление при подходе к следующей станции, равна, в общем, поправке на переход от равномерной скорости, которой поезд стремится достигнуть

на первом элементе, до равномерной же скорости, которой поезд стремится достигнуть на последнем элементе. Если эту



Фиг. 22а.



Фиг. 22б.

поправку назвать через  $\tau$ , то для приведенного выше примера (фиг. 20) полная поправка  $\Sigma\tau$  на весь перегон выражается, следовательно, так:

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau + \tau_6$$

Вообще же, для любого перегона

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau + \tau_{n+1},$$

где  $n$  число элементов пути, однородных в отношении профиля и плана.

Если обе граничащие перегон станции расположены на однородных, в отношении профиля и плана, элементах пути, что собственно обычно на практике и имеет место, так как в большинстве случаев станции располагаются на площадках, то, в силу первого положения Липеца

$$\tau = 0,$$

тогда, следовательно,

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_{n+1},$$

иначе говоря, определение поправки  $\Sigma\tau$  сводится к определению потери времени на разгон от нуля до равномерной скорости, которой поезд данного веса стремится достигнуть на станционной площадке, и на замедление от этой скорости до нуля. Это справедливо для подавляющего большинства случаев.

Вычисление указанной поправки

$$\Sigma\tau = \tau_1 + \tau_{n+1}$$

рекомендуется производить: для поездов, следующих с автоматическими тормозами, следовательно, у нас пассажирских, в предположении, что тормозной коэффициент поезда  $= 0,1$ , для товарных же поездов, следующих с ручными тормозами— в предположении, что при подходе к станциям действует лишь паровозный и тендерный тормоз, так как правильная, в назначенном месте, особенно у водоразборного крана,



остановка названных поездов, возможна лишь при медленном подходе. Вводить в расчет для товарных поездов еще и вагонные тормоза можно и даже следует лишь в тех случаях, когда, по расчету, паровозным и тендерным тормозами поезд остановлен быть не может.

На деле, надо заметить, поправки

$$\sum \tau = \tau_1 + \tau_{n+1}$$

смотря по величине уклона, на котором расположена станция, по скорости поезда и роду тормозов, составляют: для скорых и пассажирских поездов от 1 до 2,5 минут, а для товарных— от 0,5 до 3,5 минут; при проходе же станций без остановок поправки, смотря по роду поезда, составляют от 0,5 до 3 минут. В указанных размерах названные поправки обычно в Германии и Австрии и принимают прямо в расчет, вместо того, чтобы их вычислять.

У нас для товарных поездов поправки  $\sum \tau$  обычно (при проектировании новых дорог даже никогда) тоже не вычисляются, а принимаются равными: на нормально-колейных дорогах—4 минутам на каждый перегон (2 мин. на разгон после остановки и 2 мин. на замедление перед остановкой), на узкоколейных дорогах—3 минутам, а при проходе вообще станций без остановок—2 минутам, что, в общем, с точностью, достаточной для практических целей, можно, на основании целого ряда подсчетов, считать вполне допустимым. Однако, на эксплуатируемых дорогах означенные поправки все же лучше определять—или путем статистических наблюдений за опаздываниями и нагонами поездов на перегонах, или помощью интегрирования уравнения движения поезда.

Затем, надлежит еще отметить, что в некоторых случаях представляется полезным, вместо указанных 4 минут, принимать 5 минут, а вместо 3 минут—4 минуты, а именно: 1) когда поезд должен не вообще остановиться на станции, а точно остановиться на определенном месте-- у гидравлического крана (в этом случае осторожнее считать на замедление перед остановкой одну лишнюю минуту) и 2) когда зимой поезд должен двинуться после продолжительной остановки

(в этом случае осторожнее считать на разгон одну лишнюю минуту).

Как видно, в основе графо-аналитического (обыкновенного) способа определения времен пробега поездами перегонов лежит предположение о компенсации поправок  $\tau$ . Это, надо заметить, несколько понижает точность, иначе говоря, увеличивает указанную выше  $5-6\%$  неточность названного способа до  $10\%$  и даже несколько более. Однако, на практике, в особенности при проектировании новых дорог, с этим обычно мирятся, в виду некоторых практических преимуществ графо-аналитического способа, а именно—простоты и сравнительной быстроты определения времен пробега.

На практике расчет времен пробега поездами перегонов ведется помощью бланков, для которых существует несколько форм. При проектировании дорог можно рекомендовать пользоваться выработанной мной формой, указанной ниже (стр. 250—253) в виде таблицы II.

§ 107. В пояснение того, как графо-аналитическим способом определяются времена пробега перегонов, ниже приводится следующий пример.

Положим, требуется определить время пробега перегона от начальной ст. А какой-либо линии до разъезда № 1 воинским поездом, состоящим из 50 вагонов, общим весом 575 t, и ведомым паровозом типа 0—4—0 сер. 0<sup>B</sup> — весом, (вместе с тендером) в рабочем состоянии 95 t, при чем на линии, к которой относится данный перегон, максимальный уклон составляет 0,006 на прямой. Пусть данный перегон имеет профиль, показанный на фиг. 23 (на стр. 254).

Прежде всего определяем графически способом, указанным в Ст. 4 настоящей Главы, возможные предельные скорости движения данного поезда на различных, расположенных на прямой подъемах от 0,001 до 0,006, а также и на горизонтальном прямом пути.

Что касается предельных скоростей движения на скатах от 0,001 до 0,006, то таковые все принимаем равными конструкционной скорости данного паровоза в предположении, что тормозные средства поезда таковы, что поезд может идти

## Т А Б Л И

Ведомость исчисления времен пробега поездом

Наименование перегона и протяжение его.	Кило- метр.	Пикет границы однородного, в отношен. профиля и плапа, элемента пути.	Длина однородного, в отношен. профиля и плапа, элемента пути	Радиус кривой $R$	Подъем (+) эквивалент- ный по сопротивле- нию кривой $i_{э.к} = \frac{750}{R}$
			км		Число
1	2	3	4	5	6
Станция А . . .	0	0			
	—	8	0,8	—	0
	1	13	0,5	—	0
	2	22	0,9	1.000	+0,8
	—	27	0,5	1.000	+0,8
	—	27	0,8	1.000	+0,8
10,0 км.	3	35	2,7	—	0
	6	62	0,3	—	0
	—	65	1,1	—	0
	7	76	1,4	500	+1,3
	9	90	0,3	500	+1,3
	—	93	0,7	—	0
Раз. № 1 . . . . .	—	—	—	—	—

## Ц А И.

перегонов и расхода воды из тендера <sup>1)</sup>.

Для поезда по направлению от станции А (туда).						
Действи- тельный подъем (+) или скат (-) $i_d$	Фиктивный подъем (+) или скат (-) $i_{\phi} = i_d + i_{э.к}$	Время пробега 1 км (из таб. I)	Время пробега элемента пути $t_T$	Время пробега всего перегона $\Sigma t_T$	Поправки на неравно- мерность движения $\Sigma \tau$	Полное время пробега перегона $T_T \rightarrow$
тысячных.		М н и у т ы.				
7	8 = 7 + 6	9	10 = 9 × 4	11	12	13 = 11 + 12
0	0	1,48	1,18			
— 2	— 2	1,20	0,60			
— 2	— 1,2	1,20	1,08			
0	+0,8	1,61	0,81			
+ 2	+ 2,8	2,00	1,60			
+ 2	+ 2	1,82	4,91			
0	0	1,48	0,44			
— 4	— 4	1,20	1,32			
— 4	— 2,7	1,20	1,68			
0	+ 1,3	1,69	0,51			
0	0	1,48	1,04	15,17	4,0	19,17
—	—	—	—	—	—	20

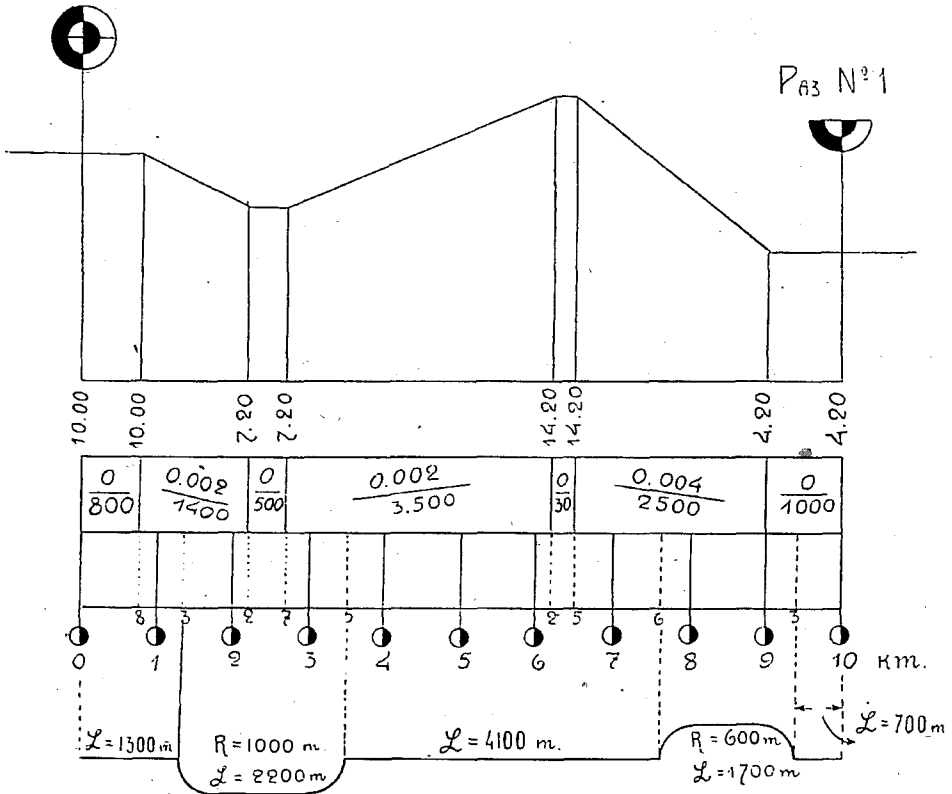
<sup>1)</sup> По поводу помещения в этой таблице данных о расходе воды из тендера

Наименование перегона и протяжение его.	Километр.	Для поезда по направлению к станции А (обратно).									
		Пикет границы одностороннего, в отношении профиля и плана, элемента пути.		Действительный подъем (+) или спад (-).		Время пробега 1 км. (из таб. I).	Время пробега элемента пути $t_0$	Время пробега всего перегона $\sum t_0$	Погрешен на равномерн. движени $\sum \tau$	Полное время пробега перегона $T_0$	
		Число тысячных	М	н	н						у
1	2	3	14	15=14+6	16	17=16×4	18	19	20=18+19		
Станция А	0	0	0	0	1,48	1,18					
	—	8									
	1	13	+2	+2	1,82	0,91					
	2	22	+2	+2,8	2,00	1,80					
	—	27	0	+0,8	1,61	0,81					
	3	35	-2	-1,2	1,20	0,96					
10,0 км	6	62	-2	-2	1,20	3,24					
	—	65	0	0	1,48	0,44					
	7	76	+4	+4	2,26	2,49					
	9	90	+4	+5,3	2,61	3,65					
	—	93	0	+1,3	1,69	0,51					
	10	100	0	0	1,48	1,04	17,03	4,0	21,03	8 21	
Раз. № 1.	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	

Итого время пробега перегона парой поездов туда и обратно $T = T_T + T_0$	Для поезда по направлению от ст. А (туда).			Для поезда по направлению к ст. А (обратно).		
	Расход воды на протяжении 1 км. (из таблицы III).	Расход воды на протяжении элемента пути $w_T$	Полный расход воды на протяжении перегона $W_T = \sum w_T$	Расход воды на протяжении 1 км. (из таблицы III).	Расход воды на протяжении элемента пути $w_0$	Полный расход воды на протяжении перегона $W_0 = \sum w_0$
	м³			м³		
21=13+20	22	23=22×4	24	25	26=25×4	27
	0,212	0,170		0,212	0,170	
	0,128	0,064		0,260	0,130	
	0,163	0,147		0,286	0,257	
	0,230	0,115		0,230	0,115	
	0,286	0,229		0,163	0,130	
	0,260	0,702		0,128	0,316	
	0,212	0,064		0,212	0,064	
	0,084	0,092		0,323	0,355	
	0,113	0,158		0,374	0,524	
	0,243	0,073		0,243	0,073	
41	0,212	0,148	1,96	0,212	0,148	2,31
			0,013 (в предположении стоянки 5 мин.)			0,013 (тоже).

на предельном скате в 0,006 с предельной скоростью, отвечающей конструкционной скорости паровоза.

Ст. А.



Фиг. 23.

Затем, по найденным предельным скоростям, определяем времена пробега (в минутах) данным поездом 1 km пути, расположенного на различных уклонах от  $+0,006$  до  $-0,006$  и на площадке.

Все эти данные заносим в таблицу I.

## ТАБЛИЦА I

предельных равномерных скоростей движения поезда на различных уклонах и времен пробега им 1 km пути.

У К Л О Н Ы.		Предельная равномерная скорость движения $v$ km/h.	Время пробега 1 km, в минутах $t_{km} = \frac{60}{v}$
П о д ъ е м ы.	+ 6	21,3	2,81
	+ 5	23,7	2,53
	+ 4	26,5	2,26
	+ 3	29,5	2,01
	+ 2	32,9	1,82
	+ 1	36,5	1,64
П л о щ а д к а .	0	40,5	1,48
С к а т ы.	- 1	50	1,20
	- 2	50	1,20
	- 3	50	1,20
	- 4	50	1,20
	- 5	50	1,20
	- 6	50	1,20

По составлении таблицы I, приступаем к составлению таблицы II — к вычислению времен пробега (в минутах) поездом перегона в обоих направлениях (туда и обратно). Последнее, надо заметить, необходимо для возможности определения пропускной способности перегона.

Прежде всего в эту таблицу II, в графы 1—7 и 14, заносим данные, касающиеся расположения, профиля и плана однородных элементов пути перегона, затем, в графы 8 и

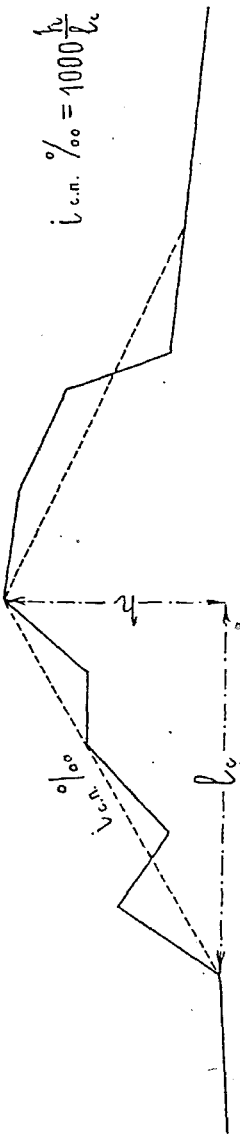
15 заносим вычисленные для того и другого направления движения поезда „фигтивные“ подъемы и скаты, далее—в

графы 9 и 16—взяты из таблицы I времена пробега поездом 1 km пути, отвечающего, в отношении профиля и плана, каждому из элементов перегона, наконец, в графы 10 и 17 заносим вычисленные для того и другого направления движения времена пробега поездом однородных элементов пути; после сего эти времена суммируем для всего перегона—графы 11 и 18 и к суммам этим прибавляем поправку  $\Sigma\tau$  на неравномерность движения, в результате чего и получим полные времена пробега поездом всего перегона в том и другом направлении—графы 13 и 20. Сумма этих времен дает время пробега перегона **парой поездов**—графа 21.

§ 108. Каким бы способом мы не определяли времена пробега поездами перегонов, возможно при расчетах, надо заметить, в целях ускорения работы, пользоваться не действительными трассами перегонов, а некоторыми **тяговыми** трассами, получаемыми путем спрямления действительных трасс.

Работа по спрямлению трассы какого-либо перегона сводится к двум операциям: 1) операции по спрямлению **профиля** линии на перегоне и 2) операции по спрямлению **плана** линии на перегоне.

Операция по спрямлению профиля линии заключается в том, что рядом лежащие сходные элементы профиля группи-



Фиг. 24.

руются, как это, примерно, показано на фиг. 24, в один участок, имеющий однообразный уклон (подъем или скат)  $i_{с.п}^0/100$  (спрямленный уклон от спрямления профиля), равный разности отметок крайних элементов, умноженной на 1000 и деленной на длину спрямляемого участка.

Вопрос удачного спрямления профиля является вопросом искусства и опытности лиц, ведущих расчет, и в этом отношении какие-либо теоретические указания невозможны. Одно можно сказать, что, при применении аналитического и графического способов определения времен пробега спрямление профиля должно производиться не так смело, как это может иметь место при применении графо-аналитического (обыкновенного) способа, так как в последнем случае определяется только время пробега, на которое, как показывают подсчеты, то или иное спрямление профиля оказывает в общем малое влияние, между тем—при первых двух способах (более точных) интересно определение не только времени пробега, но и очертания кривой скоростей. Иначе говоря, при применении аналитического или графического способов длины спрямляемых элементов должны приниматься меньше, чем при графо-аналитическом способе, при чем, как показывает практика подсчетов времен пробега по спрямленному профилю; длина  $l$  в метрах каждого элемента пути, входящего в спрямленный участок, не должна превосходить следующих пределов:

в первом случае:

$$l \leq \frac{2100}{i_d - i_{с.п.}} \text{ [m]},$$

а во втором случае:

$$l \leq \frac{5300}{i_d - i_{с.п.}} \text{ [m]}^1)$$

где  $i_d$  —действительный уклон спрямляемого элемента,

<sup>1)</sup> Для  $l$  в саж. соответственно  $\frac{1000}{i_d - i_{с.п.}}$  и  $\frac{2500}{i_d - i_{с.п.}}$ . В общем все эти формулы эмпирические.



$i_{c.п}$  — уклон, получающийся после спрямления профиля, при чем  $(i_d - i_{c.п})$  представляет собой абсолютную разность уклонов.

Что касается операции по спрямлению плана линии, то таковая заключается в том, что отнесенная к  $lt$  веса поезда работа сопротивления от встречающихся на протяжении спрямляемого участка кривых распределяется равномерно по всей его длине и заменяется некоторым фиктивным добавочным уклоном  $i_{c.к}$  (**спрямленный уклон от спрямления кривых**).

Работа  $A_k$ , соответствующая дополнительному сопротивлению от какой-либо кривой и отнесенная к  $lt$  веса поезда, выражается, очевидно, через

$$A_k = l_k \times w_r,$$

где:  $l_k$  — длина кривой  $= \pi R \frac{\alpha}{180}$ , если  $\alpha$  — центральный угол кривой в градусах, а  $w_r$  — удельное дополнительное сопротивление движению от кривой  $= \frac{750}{R}$ , если  $R$  — радиус кривой в м.

Следовательно, названная работа выражается

$$A_k = \pi R \frac{\alpha}{180} \times \frac{750}{R} \approx 13\alpha \text{ [ } \frac{\text{mkg}}{\text{t}} \cdot \text{ ]},$$

откуда видно, что работа, соответствующая доп. сопротивлению от кривой, не зависит от радиуса кривой, а зависит лишь от центрального угла последней, иначе говоря, от угла поворота направления линии.

Если мы теперь назовем через  $l_c$  — длину в метрах спрямляемого участка, равную сумме длин входящих в него элементов, и через  $\Sigma\alpha$  — сумму центр. углов кривых, имеющих на протяжении этого участка, в градусах, то, очевидно, согласно сказанному выше, упомянутый выше фиктивный спрямленный уклон от спрямления кривых выразится так:

$$i_{c.к.} = 13 \frac{\Sigma\alpha}{l_c} \text{ )}.$$

1) Для  $l_c$  в саж.  $i_{c.к.} = 6 \frac{\Sigma\alpha}{l_c}$ .

Очевидно, что наибольшая длина кривой, которую можно при расчетах игнорировать, может быть определена из вышеуказанных двух эмпирических формул для  $l$ , если мы в них подставим вместо  $(i_d - i_{c.п.})$  величину  $i_{э.к}$  подъема, эквивалентного по сопротивлению кривой и равного  $\frac{750}{R}$ . Поступая так, получаем названную длину равной:

при применении аналитического и графического способов

$$\frac{2100}{750/R} = \frac{14}{5} R = 0,45 (2\pi R),$$

при применении же графо-аналитического способа

$$\frac{5300}{750/R} = \frac{106}{15} R = 1,1 (2\pi R),$$

т. е. 0,45 полной окружности—в первом случае и 1,1 полной окружности—во втором случае. Так как в действительности длина кривых почти никогда не достигает первой величины, а второй, можно сказать, никогда не достигает, то, очевидно, что кривые вообще можно не выделять в отдельные элементы.

Таким образом, из всего сказанного выше усматривается, что, при спрямлении трассы какого-либо участка пути в общем расчетным уклоном  $i_c$  является алгебраическая сумма

$$i_{c.п.} + i_{c.к.} = i_{c.п.} + 13 \frac{\sum \alpha}{l_c} = i_c,$$

если длина спрямляемого участка пути  $l_c$  выражена в метрах <sup>1)</sup>.

Так как

$$i_{c.к.} = 13 \frac{\sum \alpha}{l_c}$$

всегда положительно или равно нулю, а  $i_{c.п.}$  положительно для подъема и отрицательно для ската, то, очевидно, расчетный спрямленный уклон  $i_c$  в общем не одинаков для обоих направлений движения по линии.

<sup>1)</sup> Для  $l_c$  в саж.  $i_c = i_{c.п.} + 6 \frac{\sum \alpha}{l_c}$ .

§ 109. На весьма смелом спрямлении трассы основан особый „способ эквивалентных подъемов“ (правильнее сказать, уклонов) определения времен пробега поездами перегонов—еще один способ, кроме трех упомянутых выше, применяемый преимущественно на эксплуатируемых дорогах при массовых расчетах. Способ этот, предложенный Липецом, заключается в нижеследующем.

Исходя из наиболее ходовых для данного участка паровоза, часового расхода  $u_m$  пара на машину этого паровоза, отнесенного к  $1 \text{ m}^2$  поверхности нагрева  $H$

$$\left( u_m = \frac{U}{H} \right)$$

и, наконец, состава, определяются возможные предельные равномерные скорости движения данного поезда на различных фиктивных уклонах (подъемах и скатах), по каковым скатам затем строится кривая времен пробега (в минутах) поездом  $1 \text{ km}$  пути на различных фиктивных уклонах, т. е. кривая

$$\frac{60}{V} = f(i_{\phi}),$$

как то показано на фиг. 25.

Затем, по полученным пробегам  $1 \text{ km}$  определяется одним из указанных выше способов время пробега поездом всего данного перегона, т. е.

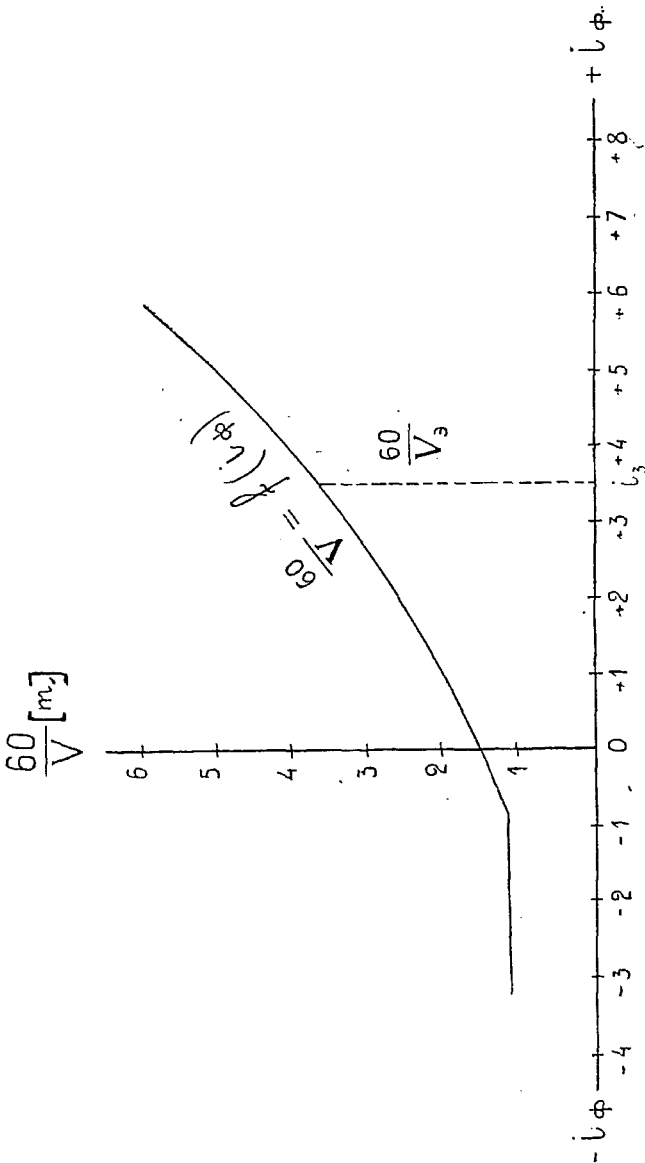
$$\sum t = \frac{60l}{V}.$$

На основании этого времени пробега перегона определяется средняя для данного задания скорость  $V_3$  движения поезда на перегоне, называемая Липецом в данном случае „эквивалентной скоростью“, из выражения

$$V_3 = \frac{\sum l}{\sum t} \text{ [km/h]}$$

После сего определяется время пробега данным поездом  $1 \text{ km}$  пути при скорости  $V_3$ , т. е.  $\frac{60}{V_3}$ , и, наконец, по кривой

$$\frac{60}{V} = f(i_{\phi})$$

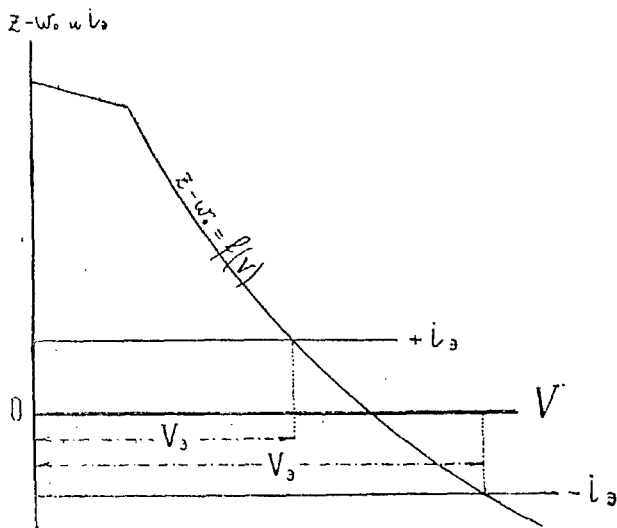


Фиг. 25.

отыскивается (фиг. 25) отвечающий этому времени пробега подъем  $i_3$  (правильнее сказать, уклон), который и прозван Липецом „эквивалентным“ для данного перегона подъемом.

Данный подъем  $i_3$ , как показали многочисленные подсчеты Липеца, для данного паровоза и данной форсировки котла  $u_M$  не зависит от веса состава поезда, мало того, поданным Липеца, влияние на значение  $i_3$  типа паровоза и  $u_M$  настолько мало, что для большинства случаев практики им можно пренебрегать. Эти положения Липеца у нас и приняты на практике, иначе говоря,—практически эквивалентный подъем  $i_3$  любого перегона, определенный указанным выше методом, принимается независящим ни от типа паровоза, ни от форсировки котла  $u_M$ , ни от веса состава поезда.

В связи с этим, после определения раз навсегда для каждого из перегонов дороги эквивалентных подъемов, времена пробега по ним различных поездов определяются затем весьма просто.



Фиг. 26.

Если требуется определить время пробега поездом, при заданном паровозе, форсировке котла и весе состава (вагонов), какого-либо перегона, для которого определен эквивалентный подъем  $i_3$ , то поступают так (фиг. 26).

Прежде всего строят для данного поезда кривую

$$z - w_0 = f(V),$$

по этой кривой определяют отвечающую данному эквивалентному подъему  $i_3$  эквивалентную скорость  $V_3$  перегона, затем определяют время пробега данным поездом 1 km пути на подъеме  $i_3$ , т. е. определяют величину  $\frac{60}{V_3}$ , после чего время пробега поездом всего перегона определяют помножением  $\frac{60}{V_3}$  на длину  $L$  перегона в километрах и, наконец, к этому времени прибавляют поправку  $\Sigma\tau$  на неравномерность движения, в результате чего и получается полное время пробега поездом перегона

$$T = \frac{60}{V_3} L + \Sigma\tau \text{ [м].}$$

Как видно, способ эквивалентных подъемов в общем отличается от обыкновенного (графо-аналитического) способа тем, что при нем в выражение времени полного пробега поездом перегона

$$T = \Sigma \frac{60l}{V} + \Sigma\tau$$

вставляется  $\frac{60}{V_3} L$ , вместо  $\Sigma \frac{60l}{V}$ , что дает возможность избежания производства целого ряда довольно утомительных выкладок и в результате дает значительную экономию в затрате времени на расчеты.

Из сказанного выше в общем усматривается, что способ Липеца эквивалентных подъемов особенно удобен к применению в тех случаях, когда в сравнительно большом количестве приходится определять времена пробега перегонов поездами различного веса состава, ведомыми паровозами одного и того же типа. Надобность в этом имеется обычно на экслоатируемых дорогах, почему названный способ на них преимущественно и применяется.

Надлежит еще отметить, что способ эквивалентных подъемов в общем следует считать допустимым к применению при определении времен пробега поездами перегонов, имеющих

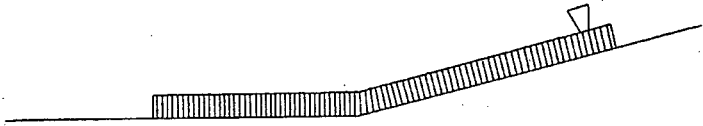
равнинный профиль, для перегонов же „перевалистого“ профиля, иначе говоря, перегонов с затяжными уклонами, осторожнее этот способ не применять, а применять обыкновенный (графо-аналитический) способ.

§ 109<sup>1</sup>. В недавнее время (1923 г.) Кюнч'ом в Германии предложено определять времена хода поездов механическим путем—при помощи особого прибора „интеграфа“, действие которого сводится в сущности к интегрированию дифф. уравнения движения поезда.

При предварительно заготовленных двух диаграммах: силы тяги паровоза (на ободе) в зависимости от скорости и сопротивления поезда в зависимости от пути, т. е. условий профиля последнего, прибор дает возможность довольно просто и быстро одновременно получать две другие диаграммы: изменения скорости и величины пройденного пути в зависимости от времени, при чем обе указанные величины зарисовываются самим прибором в виде кривых на одном общем планшете при общих абсциссах, т. е. таким образом, что соответствующие любому моменту ординаты определяют на кривых соответствующие этому моменту величины скорости и пройденного пути.

§ 110. В заключение надлежит отметить еще нижеелеедущее. Так как при интегрировании дифференциального уравнения движения поезда (глава XIII) было сделано допущение, что вся масса поезда сосредоточена в центре тяжести его, и рассматривалось движение лишь одной материальной точки, то, при разрешении выше задачи о поперегонных временах пробега поездами, принималось, что переход поезда с элемента пути одного профиля на элемент другого профиля совершается мгновенно и что, следовательно, скорость, достигнутая в конце предыдущего элемента, является начальной скоростью вступления поезда на последующий элемент. В действительности поезд представляет, как то уже было отмечено, систему материальных точек, находящихся одна от другой на некоторых (неизменных) расстояниях, и потому отдельные элементы поезда, при переходе с одного профиля на другой, в месте перелома профиля, вступают на новый профиль разновременно: сначала паровоз с тендером, а затем

последовательно, вагон за вагоном, как это ясно из фиг. 27, и потому скорость, достигнутая поездом в конце элемента одного профиля, не является начальной скоростью вступления поезда на элемент другого профиля, каковая скорость будет меньше или больше, в зависимости от длины поезда и времени, необходимого для прохождения поезда через перелом профиля. Поэтому, строго говоря, при определении поперегонных времени пробега, да и вообще при тяговых расчетах, следовало бы для случаев изменения профиля вводить



Фиг. 27.

некоторые поправки в скорости вступления поезда на элементы пути другого профиля—поправки, обусловленные конечной длиной поезда. Хотя влияние названной длины и может быть теоретически учитываемо, однако, подсчеты показывают, что введение подобного рода поправок, значительно усложняющее расчеты, не имеет особого практического значения при решении выдвигаемых практикой тяговых задач, в частности задачи определения поперегонных времен пробега поездов, и потому, в результате, на практике влиянием конечной длины поезда при всех тяговых расчетах обычно пренебрегают.

## Ст. 6. Расход паровозом воды и топлива.

§ 111. Вопрос заключается в следующем: определить расход на известном перегоне воды из тендера и расход топлива паровозом, ведущим поезд данного веса?

Такого рода задача решается в следующей последовательности: 1) определяется расход пара машиной паровоза ( $D_M$ ), 2) определяется расход пара котлом ( $D_K$ ), 3) определяется расход паровозом воды из тендера ( $W$ ) и 4) определяется расход паровозом топлива ( $B$ ).



### П. а) Расход пара машиной паровоза ( $D_M$ <sup>1</sup>).

§ 112. Если бы паровоз пробежал перегон при действительно постоянной, принятой в расчет форсировке котла, иначе говоря, при действительно постоянном расчетном часовом, отнесенном к  $1 \text{ m}^2$  испаряющей поверхности нагрева  $H$  расходе пара (*der Dampfverbrauch, la dépense de vapeur, the steam consumption*) на машину  $u_M^P$ , то, очевидно, расход пара  $D_M$  машиной за все время пробега перегона  $T$  [л.] можно было бы определить из выражения

$$D_M = u_M^P HT \text{ [kg] .}$$

На деле, однако, расчетная форсировка котла за время пробега перегона не везде имеет место; во-первых, при движении паровоза по некоторым элементам пути перегона с закрытым регулятором  $u_M = 0$ , а, во-вторых, при движении по скатам с продольной допустимой, в связи с конструкцией паровоза, скоростью поневоле  $u_M < u_M^P$ . Поэтому, за время пробега перегона имеет место некоторая средняя, меньшая, нежели  $u_M^P$ , форсировка котла  $u_M^{cp}$ , выражающаяся формулой

$$u_M^{cp} = \frac{\sum u_M t}{\sum t} ;$$

где  $\sum u_M t$  представляет собой сумму отнесенных к  $1 \text{ m}^2$  поверхности нагрева расходов пара машиной на отдельных элементах пути перегона, пробегаемых паровозом в течение времени  $t$  [л.], при определенной форсировке котла  $u_M$ , иначе говоря, полный, отнесенный к  $1 \text{ m}^2$  поверхности нагрева действительный расход пара машиной за время пробега перегона.

Означенное суммирование может быть распространено только на элементы пути перегона, проходимые в общей

<sup>1</sup>)  $D$  — начальная буква нем. слова *Dampfverbrauch* (расход пара.).

сложности в течение времени  $t_{o.p.} [h.]$  паровозом при открытом регуляторе; тогда

$$\sum t = t_{o.p.}$$

или же суммирование может быть распространено и на участки, проходимые в общей сложности в течение времени  $t_{з.р.} [h.]$  паровозом при закрытом регуляторе; тогда, очевидно,

$$\sum t = t_{o.p.} + t_{з.р.} = T [h].$$

В первом случае расход пара машиной за все время пробега перегона выразится

$$D_M = u_M^{cp} t_{o.p.} H = H \sum u_M t \text{ [kg]},$$

во втором случае

$$D_M = u_M^{cp} TH = H \sum u_M t \text{ [kg]}.$$

Таким образом, как видно, и в том и в другом случае расход пара машиной за все время пробега перегона  $T [h.]$  в общем выражается

$$D_M = H \sum u_M t \text{ [kg]},$$

по каковой формуле и должен вообще определяться названный расход пара.

Величина испаряющей поверхности нагрева  $H$  задается типом паровоза, а времена  $t$  пробега паровозом однородных, в отношении профиля и плана, элементов пути перегона определяются способами, указанными в ст. 5 настоящей главы, при чем надо только иметь в виду, что названными способами  $t$  определяются в минутах, в приведенной же формуле  $t$  означает времена пробега в часах; следовательно, на деле, раз мы оперируем в минутах, расход пара надлежит определять из выражения

$$D_M = \frac{H}{60} \sum u_M t \text{ [kg]}.$$

В этом выражении представляются, как видно, неизвестными и подлежащими, следовательно, определению величины  $u_M$ . Эти последние удобнее всего определяются графически по диаграмме

$$u_M = f(i_\phi).$$

Такого рода диаграмма получается следующим образом. Первоначально строят кривую

$$Z = f(u_M, V),$$

получить которую можно путем аналитических вычислений  $Z$  по формуле

$$Z = \frac{270 u_M H}{U_M / N_{IC} \cdot V},$$

или которую можно взять из паровозных паспортных книжек, если данный паровоз прошел через опыты.

Затем, на основании этой кривой, строят кривую

$$Z = f(u_M)$$

для наибольшей дозволенной скорости движения паровоза шах  $V$ , для чего кривую

$$Z = f(u_M, V)$$

перестраивают в других координатах: по ординатам  $Z$  и по абсциссам  $u_M$ .

Имея затем в виду, что **при постоянной скорости** полное сопротивление  $W$  поезда данного веса

$$W = (u_0 + i_\phi) Q$$

есть функция только одного  $i_\phi$ , далее, имея для  $V = \max V$  такого рода зависимость

$$W = f(i_\phi)$$

и, наконец, имея в виду условие установившегося движения

$$Z = W$$

получают искомую зависимость

$$u_M = f(i_\Phi)$$

так: по оси ординат кривой

$$Z = f(u_M)$$

откладывают величины  $W$  для различных  $i_\Phi$  и через эти точки проводят горизонтальные прямые. Точки пересечения этих прямых с кривой

$$Z = f(u_M)$$

удовлетворяют одновременно двум условиям:

$$Z = f(u_M)$$

и

$$W = f(i_\Phi),$$

а тем самым они являются точками и кривой.

$$u_M = f(i_\Phi).$$

Поэтому, эти точки переносят на диаграмму с абсциссами  $i_\Phi$  и ординатами  $u_M$ , при чем к ним добавляют еще одну точку, а именно  $i_\Phi$  при  $u_M = 0$ , которая получается аналитически из имеющего для данного случая место уравнения

$$Z = (w_0^{пт} + w_{M/з.р.}^{пт})(P_{II} + P_T) + w_0^B P_B + i_\Phi (P_{II} + P_T + P_B) = 0$$

для  $\max W$ . Через все эти точки и проводится плавная кривая

$$u_M = f(i_\Phi)$$

в пределах от  $u_M = 0$  до  $u_M = u_M^p$ ; при меньших  $i_\Phi$ :  $u_M = 0$ , при больших  $i_\Phi$ :  $u_M = u_M^p$ .

Надлежит заметить, что, если  $i_{\phi}$  для  $u_M = 0$  и  $u_M = u_M^p$  близки между собой, то кривую

$$u_M = f(i_{\phi})$$

в этих пределах можно заменить прямой линией.

§ 113. Сказанное поясняется следующим примером.

Положим, мы имеем те же данные, которые были приняты для примера в предыдущей ст. 5 настоящей главы при исчислении времен пробега, а именно: воинский поезд из 50 вагонов, общим весом 575 t, ведомый норм. тов. паровозом 0—4—0 сер. O<sup>B</sup>. Определим количество пара, расходуемое машиной паровоза на различных уклонах от +0,006 до -0,006.

Для сего, прежде всего, строим (фиг. 28) кривые

$$Z = f(u_M, V)$$

для  $u_M = 20, 30, 40$  и  $50 \text{ кг/м}^2\text{-h.}$  и для скоростей  $V$  до  $V = 50 \text{ km/h.}$  (наиболее допустимой для данного паровоза скорости).

Полученные значения  $Z$  для  $u_M = 20, 30, 40, 50$  и для наибольшей скорости  $\max V = 50 \text{ km/h.}$  переносим пунктиром на соответственные места левой стороны фиг. 28, где за ось абсцисс принята ось  $u_M$ , и по полученным точкам строим кривую

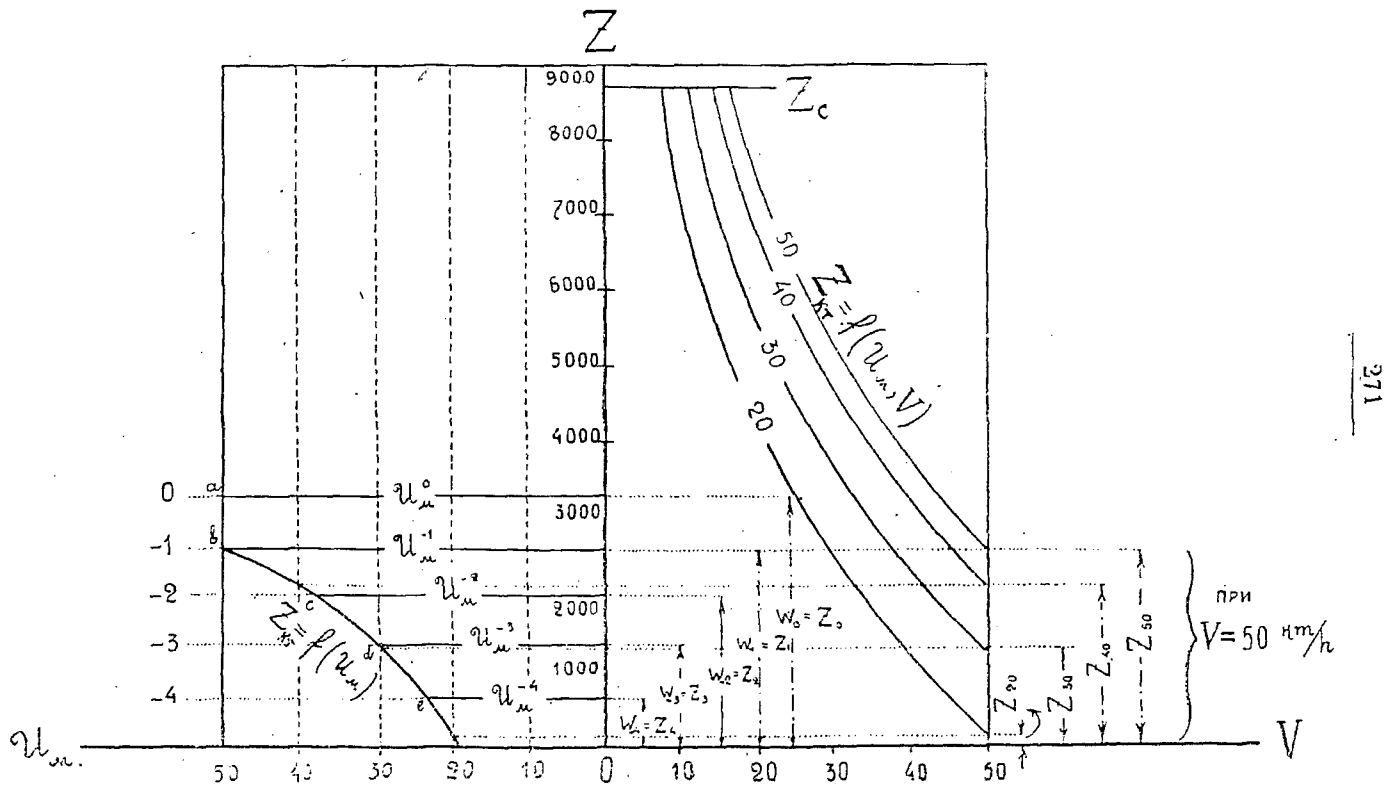
$$Z = f(u_M).$$

Затем, определяем при  $V = 50 \text{ km/h.}$  полные сопротивления данного поезда на площадке и на скатах, принимая основное удельное сопротивление для паровоза с тендером по формуле Ломоносова

$$w_0^{\text{пг}} = 1,4 + 0,04 V + 0,0006 V^2 \text{ [кг/т]},$$

а для 2-х осных товарных вагонов — по другой формуле Ломоносова

$$w_0^{\text{B T/2}} = 1,4 + \left(0,04 + \frac{0,32}{q}\right) V \text{ [кг/т]},$$



Фиг. 28.

при чем в нашем случае вес вагона

$$q = \frac{575}{50} = 11,5 \text{ t.}$$

Получаем

$$w_0^{\text{нр}} = 4,9 \text{ kg/t}$$

$$w_0^{\text{в Т/2}} = 4,9 \text{ „ ,}$$

а затем полные сопротивления поезда:

$$\begin{aligned} \text{на площадке : } W_0 &= 4,9 (575 + 95) = 4,9 \times 670 = 3280 \text{ kg} \\ \text{„ скате — 1 : } W_{-1} &= 3280 - 670 = 2610 \text{ kg} \\ \text{„ „ — 2 : } W_{-2} &= 3280 - 670 \times 2 = 1940 \text{ kg} \\ \text{„ „ — 3 : } W_{-3} &= 3280 - 670 \times 3 = 1270 \text{ „} \\ \text{„ „ — 4 : } W_{-4} &= 3280 - 670 \times 4 = 600 \text{ „} \end{aligned}$$

Так как при установившемся движении  $Z = W$ , то откладываем по осп  $Z$  последовательно

$$\begin{aligned} Z_0 &= 3280 \text{ kg} \\ Z_{-1} &= 2610 \text{ „} \\ Z_{-2} &= 1940 \text{ „} \\ Z_{-3} &= 1270 \text{ „} \\ Z_{-4} &= 600 \text{ „} \end{aligned}$$

и через полученные точки проводим горизонтальные прямые (на фигуре показаны сплошными линиями) до пересечения их с кривой

$$Z = f(u_M).$$

Получаемые абсциссы

$$u_M^0, u_M^{-1}, u_M^{-2}, u_M^{-3} \text{ и } u_M^{-4}$$

представляют собой величины расхода пара машиной на площадке и на скатах — 1, — 2, — 3 и — 4; следовательно, они дают возможность построить кривую

$$u_M = f(i_{\Phi}).$$

Путем измерений по диаграмме значений  $u_M$  получаем:

$$\begin{aligned} u_M^0 &> 50 \text{ kg, почему надо принять } u_M^0 = u_M^p = 50 \text{ kg.} \\ u_M^{-1} &= 50 \text{ „} \\ u_M^{-2} &= 37 \text{ „} \\ u_M^{-3} &= 31 \text{ „} \\ u_M^{-4} &= 24 \text{ „} \end{aligned}$$

К полученным точкам названной кривой  $a, b, c, d$  и  $e$  добавляем, как то было указано выше, еще одну точку, именно ту, которая отвечает  $i_\phi$ , для которого  $u_M = 0$ , т. е. по которому поезд будет идти с  $V = 50 \text{ km/h}$  без расхода пара на машину (при закрытом регуляторе).

Названный уклон определяем из уравнения

$$\left( w_0^{\text{пт}} + w_{\text{м/з. п.}}^{\text{пт}} \right) (P_{\text{п}} + P_{\text{т}}) + w_0^{\text{в}} P_{\text{в}} + i_\phi (P_{\text{п}} + P_{\text{т}} + P_{\text{в}}) = 0.$$

Величину

$$w_0^{\text{пт}} + w_{\text{м/з. п.}}^{\text{пт}}$$

находим по имеющейся для нормального паровоза 0—4—0 формуле

$$\begin{aligned} w_0^{\text{пт}} + w_{\text{м/з. п.}}^{\text{пт}} &= 4,0 + 0,16 V + 0,002 V^2 = 4 + 8 + \\ &+ 5 = 17 \text{ kg/t,} \end{aligned}$$

а  $w_0^{\text{в}}$  принимаем по прежнему  $4,9 \text{ kg/t}$ .

Получаем

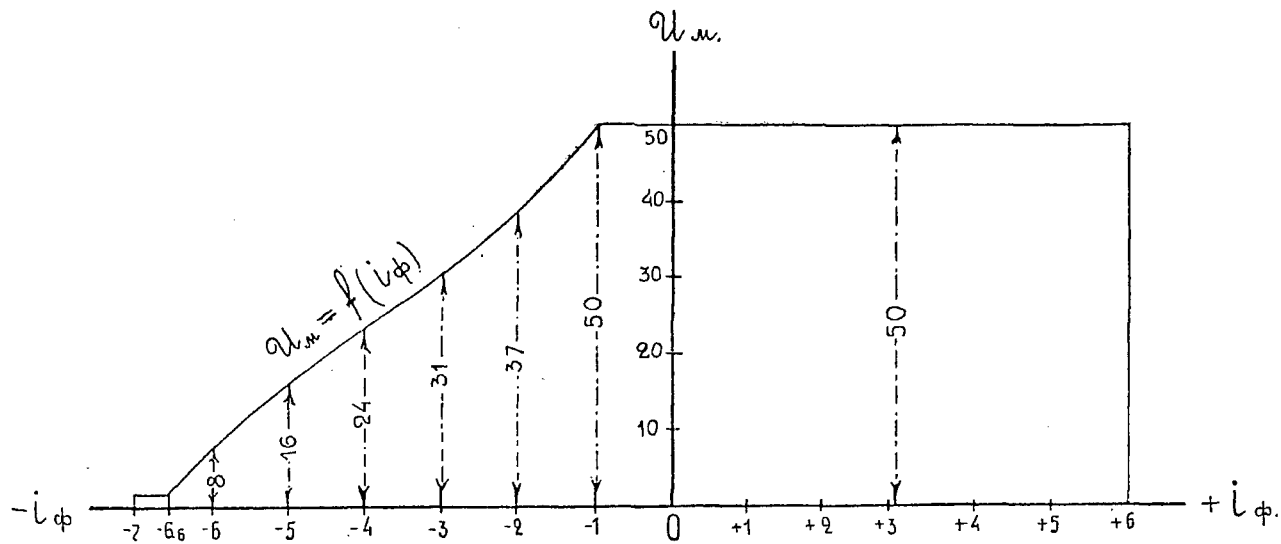
$$17 \times 95 + 4,9 \times 575 + 670 i_\phi = 4433 + 670 i_\phi = 0,$$

откуда

$$i_\phi = - 6,6\text{‰}.$$

В общем, как видно из полученного выше, в рассматриваемом случае уменьшенными  $u_M$  приходится пользоваться только при скатах.





Фиг. 29.

На основании полученных ординат

$$u_M^0, u_M^{-1}, u_M^{-2}, u_M^{-3}, u_M^{-4}$$

и еще ординаты  $u_M^{-6,6} = 0$ , строим (фиг. 29) диаграмму

$$u_M = f(i_\phi),$$

по которой определяем еще неизвестные нам значения

$$u_M^{-5} \text{ и } u_M^{-6};$$

путем измерений получаем:

$$u_M^{-5} = 16 \text{ kg}$$

$$u_M^{-6} = 8 \text{ „}$$

Надлежит заметить, что в данном случае, при скатах больше, нежели — 6,6, пар будет все же расходоваться (в небольшом количестве) **КОТЛОМ**, хотя расхода пара машиной не будет (§ 114).

#### П. б) Расход пара котлом паровоза ( $D_K$ ).

§ 114. Расход пара котлом  $D_K$  всегда несколько больше, нежели расчетный расход пара машиной паровоза  $D_M$ , так как, во-первых, при работе машины имеет место некоторая потеря пара, в связи с пропусканием пара различными органами (поршнем, золотником и т. д.) и, в особенности, в связи с охлаждением пара стенками цилиндров, а, во-вторых, котел расходует пар не только на машину, но и на другие надобности: на сифон, тормоз, свисток, инжекторы, при нефтяном отоплении еще и на форсунки, на подогревание нефти и т. п., при чем этого рода расход пара имеет место не только во время движения паровоза, но и на стоянках.

В связи с этим расход пара котлом на перегоне и, вместе с тем, следовательно, количество пара, которое должен образовать котел в течение времени пробега поездом, определяется по формуле:

$$D_K = (1 + \alpha) D_M + u_R^R HT \text{ [kg]},$$

где  $\alpha$  — коэффициент необходимого, в связи с потерей пара, увеличения расчетного расхода пара машиной, составляющий при скоростях до 60—70 km/h не более 0,05.

$T$  — время пробега поездом перегона в h.

$u_k^H$  — часовой, отнесенный к  $1 \text{ m}^2$  испаряющей поверхности нагрева  $H$  котла дополнительный расход пара на разные надобности, помимо машины (на сифон, тормоз, свисток, инжекторы, форсунки, подогревание нефти и т. п.), составляющий по данным опытов:

при угольном, дровяном и торфяном отоплении	0,5—1	kg/m <sup>2</sup> -h.
„ нефтяном отоплении летом	. . . . . 1,0—1,5	„
„ „ „ „ „ зимой	. . . . . 2,0—2,5	„

При расчетах, особенно при проектировании дорог, рекомендуется из осторожности пользоваться высшими из приведенных значений  $u_k^H$ .

Совершенно очевидно, что при определении расхода пара котлом на известном участке дороги, состоящем из нескольких перегонов, должно быть учтено, кроме времени  $\sum T$  пробега поезда всех перегонов, еще и время  $\sum T_c$  всех стоянок поезда на остановочных пунктах данного участка, в связи с чем названный расход должен в рассматриваемом случае определяться по формуле

$$D_k = (1 + \alpha) D_M^{\sum T} + u_k^H H (\sum T + \sum T_c) \text{ [kg]}.$$

#### П. в) Расход воды из тендера ( $W$ <sup>1</sup>).

§ 115. **Расход воды** (*der Wasserverbrauch, la dépense d'eau, the water consumption*) из тендера всегда, можно сказать, несколько больше, чем расход пара котлом, в связи с потерей воды инжекторами, а также в связи с тем, что

<sup>1</sup>) Расход воды обозначается буквой  $W$ , являющейся начальной буквой немецкого слова *Wasserverbrauch* (расход воды).

пар увлекает с собой из котла в цилиндры воду в капельном виде.

Поэтому расход воды из тендера  $W$  в общем определяется путем увеличения расхода пара котлом  $D_K$  на некоторый  $\%$ , иначе говоря, он определяется по формуле

$$W = (1 + \delta) D_K [\text{kg}] = \frac{(1 + \delta) D_K}{1000} [\text{m}^3].$$

Означенным коэффициентом  $\delta$ , надо заметить, обычно учитывают не только потерю воды инжекторами и увлечение паром в цилиндры воды в капельном виде, но еще и другие факторы, а именно: 1) **то, каким способом определены времена пробега  $t$**  — одним ли из менее точных способов (обыкновенным графо-аналитическим способом или способом эквивалентных подъемов), дающих несколько преувеличенные значения  $t$ , или же одним из более точных способов (аналитическим или графическим способом); 2) **время года**, для которого производится подсчет; 3) **род пара** (работает ли паровоз насыщенным или перегретым паром) и 4) **род отопления паровоза**.

В связи с этим коэффициент  $\delta$  у нас принимается: если времена пробега поездами перегонов определены одним из менее точных способов — от 0 до 0,1, а если одним из более точных способов, то — от 0,1 до 0,3, при чем наибольшие указанные значения  $\delta$  относятся к насыщенному пару, угольному отоплению и зимнему времени, наименьшие же значения  $\delta$  — к перегретому пару, дровяному, торфяному или нефтяному отоплению и к летнему времени.

Так как, при проектировании дорог, времена пробега обычно определяются обыкновенным (графо-аналитическим) способом, то в данном случае  $\delta$  можно принимать от 0 до 0,1; однако, во избежание возможной ошибки в проектировании станционных водоснабжений, рекомендуется, при проектировании новых дорог, принимать коэффициент во всяком случае не менее 0,05.

Надлежит, между прочим, иметь в виду, что, при сравнении расхода воды из тендера с емкостью последнего, у нас

принято уменьшать номинальную емкость тендера на 20%, исходя из принципа, что поезд должен въезжать на станцию с остатком воды в размере 20% емкости тендера, а, кроме того, имея в виду, что не при всяких инжекторах можно фактически израсходовать последний м<sup>3</sup> воды в тендере. За границей принято запас воды в тендере, с которым поезд должен въезжать на станцию, учитывать в виде некоторой абсолютной величины, например, в Германии и Австрии в размере 2 м<sup>3</sup>.

§ 116. На практике расходы воды из тендера часто относят к пробегу паровозом 1 км пути при определенных условиях профиля и плана, а, затем, на основании этих расходов, определяют расходы воды на однородных, в отношении профиля и плана, элементах пути данной длины в км. Это особенно удобно, если времена пробега поездом однородных элементов пути определены обыкновенным (графо-аналитическим) способом. Выражение для расхода воды паровозом на протяжении 1 км пути, проходимого данным поездом в течение времени  $t_{\text{км}}$ , определяется, на основании всего сказанного выше, следующим образом.

Если  $t_{\text{км}}$  — время пробега данным поездом 1 км элемента пути, имеющего определенные условия профиля и плана — выражено в минутах

$$\left( t_{\text{км}} = \frac{60}{V} \right),$$

то: **расход пара машиной паровоза** на протяжении 1 км данного элемента пути составляет

$$D_{\text{м/км}} = \frac{u_{\text{м}} H t_{\text{км}}}{60} \text{ [кг/км]},$$

**расход пара котлом** на протяжении того же 1 км пути составляет

$$\begin{aligned} D_{\text{к/км}} &= \frac{(1 + \alpha) u_{\text{м}} H t_{\text{км}}}{60} + \frac{u_{\text{к}}^{\text{н}} H t_{\text{км}}}{60} = \\ &= \frac{H t_{\text{км}}}{60} \left[ (1 + \alpha) u_{\text{м}} + u_{\text{к}}^{\text{н}} \right] \text{ [кг/км]}, \end{aligned}$$

наконец, **расход воды из тендера** на протяжении того же 1 km пути составляет:

$$W_{km} = \frac{(1 + \delta) H t_{km} [(1 + \alpha) u_M + u_K^A]}{60 \times 1000} \quad [m^3/km].$$

На каждой стоянке расход воды, очевидно, составляет

$$W_c = W_{c/h} T_c = \frac{(1 + \delta) H T_c u_K^A}{60 \times 1000} \quad [m^3].$$

Например, для норм. товарного паровоза 0 — 4 — 0 сер. 0<sup>B</sup>, имеющего  $H = 152,6 \text{ m}^2$ , при угольном отоплении, когда

$$u_K^A \approx 1 \text{ kg/m}^2\text{-h.},$$

и при указанных выше значениях коэффициентов  $\delta = 0,05$  и  $\alpha = 0,05$ , расход воды из тендера на 1 km пути данного профиля и плана составляет

$$W_{km} = 0,00267 t_{km} (1,05 u_M + 1,0) \quad [m^3/km] \quad (*),$$

а на каждой стоянке

$$W_c = 0,00267 T_c \quad [m^3],$$

где, напомним,  $t_{km}$  — время пробега в минутах 1 km данного пути поездом данного веса, а  $T_c$  — время стоянки в **минутах** на данном остановочном пункте.

§ 117. В пояснение того, как удобнее всего на практике определять расходы воды на перегонах, приводится следующий пример.

Положим, требуется определить расход воды на перегоне от начальной ст. А до разъезда № 1, представленном на фиг. 23; поезд все тот же — воинский, из 50 вагонов, общим весом 575 t, ведомый норм. товарным паровозом 0—4—0 сер. 0<sup>B</sup>.

Прежде всего определяем расход воды при данных условиях паровозом на 1 км пути на различных уклонах, отвечающих условиям профиля и плана данной линии, для чего составляем вспомогательную таблицу III, аналогичную та-

блице I (§ 107), которую мы составляли при определении времен  $t$  пробега данным поездом 1 km пути на тех же уклонах.

Как видно из приведенной выше формулы (\*), для возможности определения  $W_{\text{km}}$  таблица III должна заключать в себе времена пробега  $t$ , которые надо взять из таблицы I, а затем, величины расхода пара машиной  $u_M$  на различных уклонах, каковые величины определены были выше (§ 113).

### ТАБЛИЦА III

расхода воды из тендера на протяжении 1 km пути на различных уклонах.

У К Л О Н Ы.		Время пробега 1 km в минутах (из Табл. I).	Часовой, отнесенный к 1 $m^3$ пов. нагрева расход пара машиной паровоза, в $kg$ , $u_M$ .	Расход воды из тендера на протяжении 1 km, в $m^3$ [по форм. (*)] $W_{\text{km}}$ .
П о д ъ е м ы.	+ 6	2,81	50	0,402
	+ 5	2,53	50	0,362
	+ 4	2,26	50	0,323
	+ 3	2,04	50	0,292
	+ 2	1,82	50	0,260
	+ 1	1,64	50	0,235
Площадка .	0	1,48	50	0,212
С к а т ы.	- 1	1,20	50	0,172
	- 2	1,20	37	0,128
	- 3	1,20	31	0,107
	- 4	1,20	24	0,084
	- 5	1,20	16	0,057
	- 6	1,20	8	0,030

Имея расходы воды  $W_{\text{км}}$  на протяжении 1 км пути, расположенного на различных уклонах, подсчитываем расходы воды  $W$  на отдельных однородных, в отношении профиля и плана, элементах пути данного перегона, при том для движения поезда в том и другом направлении, а затем эти расходы суммируем для того и другого направления.

Означенный подсчет удобнее всего вести в таблице II (§ 107) исчисления времен пробега поездом перегонов, в которой имеются данные об однородных элементах пути.

### П. г) Расход топлива ( $B^1$ ).

§ 118. **Расход топлива** (*der Brennstoffverbrauch, la dépense de combustible, the fuel consumption*) может определяться тремя способами: а) по расходу пара котлом и по теплопроизводительности топлива, б) по расходу воды из тендера и по паропроизводительности топлива и в) по интенсивности горения топлива, соответствующей среднему часовому расходу пара котлом, и площади колосниковой решетки.

§ 119. Если на образование 1 кг пара тратится  $\lambda$  Cal. (единиц тепла) и если 1 кг топлива дает  $\eta_{\text{к}} K$  Cal. ( $\eta_{\text{к}}$  — коэфф. полезного действия котла,  $K$  — теплопроизводительность топлива), то часовой расход топлива  $B_{\text{н}}$ , очевидно, может быть определен из выражения

$$B_{\text{н}} = \frac{D_{\text{к/ч}} \times \lambda}{\eta_{\text{к}} K} \text{ [kg/h]},$$

где:  $D_{\text{к/ч}}$  — часовой расход пара котлом =

$$= \left[ (1 + \alpha) u_{\text{м}}^{\text{сп}} + u_{\text{к}}^{\text{д}} \right] H \text{ [kg/h]}$$

(это понятно из сказанного в §§ 112 и 114),

1) Начальная буква нем. слова Brennstoffverbrauch (расход топлива).



$\eta_k$  — коэф. полезного действия котла (*der Wirkungsgrad des Kessels, le rendement de la chaudière, the efficiency of the boiler*), который можно принимать при расчетах в среднем, 0,60<sup>1)</sup>,

$K$  — теплопроизводительность — теплотворная способность (*die Heizkraft, le pouvoir calorifique, the heating power*) топлива, могущая быть при расчетах в среднем принятой:

для нефтяных остатков . . . . .	10.000 Cal.
„ антрацита . . . . .	8.000 „
„ кам. угля донецкого . . . . .	7.000 „
„ „ „ сибирского . . . . .	6.500 „
„ „ „ уральского . . . . .	6.000 „
„ „ „ подмосковного . . . . .	4.000 „
„ торфа (сухого) . . . . .	4.000 „
„ дров (сухих) . . . . .	3.500 „

$\lambda$  — число Cal. в 1 kg пара — теплоемкость пара (*der Wärmehalt des Dampfes, la chaleur de la vapeur, the heat of steam*), могущая быть принятой:

для насыщенного пара при темп. его 190—197° C . . . . .	≈ 670 Cal.
„ перегретого „ „ „ „ 300° C . . . . .	≈ 730 „
„ „ „ „ „ „ 325° C . . . . .	≈ 740 „
„ „ „ „ „ „ 350° C . . . . .	≈ 750 „

§ 120. Если количество воды, испаряемое 1 kg топлива, составляет  $e$  kg (иначе говоря, если паропроизводительность топлива  $e$  kg) и если  $W_h$  составляет часовой расход воды из тендера, то часовой расход топлива  $B_h$  может быть определен из выражения

$$B_h = \frac{W_h}{e} \text{ [kg/h] ,}$$

<sup>1)</sup> Коэфф. пол. действия всякого котла ( $\eta_k$ ) = коэфф. пол. действия топки ( $\eta_T$ ) × коэфф. пол. действия поверхности нагрева ( $\eta_{п.н.}$ ). Для паровоза  $\eta_T = 0,8 - 0,9$ , а  $\eta_{п.н.} = 0,6 - 0,75$ . В связи с этим  $\eta_k = 0,48 - 0,675$ , в среднем = 0,60.

при чем, как то понятно из сказанного выше в § 115,

$$W_h = (1 + \delta) D_{k/h} \text{ [kg/h]}.$$

**Паропроизводительность** (*die Verdampfungsfähigkeit, la puissance évaporatoire, the evaporative capacity*) е разного вида топлива может быть принимаема для насыщенного пара, в среднем:

нефтяных остатков . . . . .	10 kg
антрацита . . . . .	8 „
каменного угля донецкого . . . . .	7 „
„ „ сибирского . . . . .	6,5 „
„ „ уральского . . . . .	6 „
„ „ подмосковного . . . . .	4 „
торфа (сухого) . . . . .	4 „
дров (сухих) . . . . .	3,5 „

Для перегретого пара паропроизводительность топлива принимается на 10% меньше указанных величин.

§ 121. Если для данного паровоза и определенного топлива известна (по паспортной книжке) кривая зависимости между часовым расходом пара котлом  $u_K$  и интенсивностью горения топлива  $y$  (фиг. 30), т. е. количеством топлива в kg, сгорающим в 1 час на 1 м<sup>2</sup> колосниковой решетки, то часовой расход топлива может быть определен из выражения

$$B_h = yR \text{ [kg/h]},$$

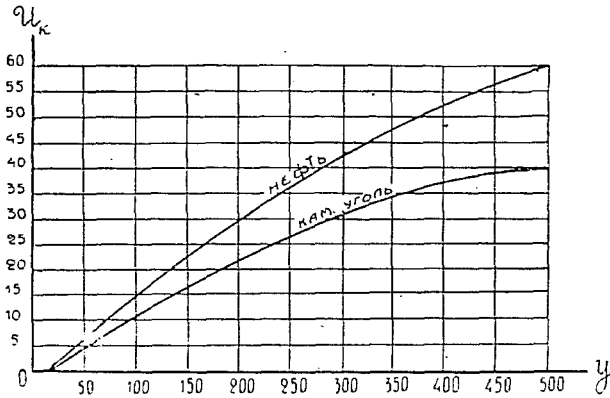
где:  $y$  — интенсивность горения (*die Feueransbreitung, l'intensité de combustion*) топлива, соответствующая среднему часовому расходу пара котлом  $u_K^{cp}$  в kg/m<sup>2</sup> — h.

$R^1$ ) — площадь колосниковой решетки (*die Rostfläche, la surface de grille, the fire-grate area*) в м<sup>2</sup>.

<sup>1)</sup>  $R$  — начальная буква немецкого слова *Rostfläche* (площадь колосниковой решетки).

Надо заметить, что если имеется для одного паровоза названная кривая

$$u_K = f(y).$$



Фиг. 30.

для определенного топлива, то такую же кривую для того же топлива можно построить и для другого паровоза, если исходить из предположения, что у обоих паровозов зависимость между интенсивностью горения топлива  $y$  и коэффициентом полезного действия котла  $\eta_K$ , который приблизительно выражается

$$\eta_K \approx \frac{u_K H \lambda}{y R K},$$

одинакова. Очевидно, в этом случае надо для разных  $y = 50, 100, 150, 200, \dots, 500 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  определить для второго паровоза величины  $u_K$  по формуле

$$u_K = \frac{\eta_K y R K}{H \lambda} \text{ [kg/h]},$$

после чего и построить кривую

$$u_K = f(y).$$

§ 122. По определении тем или иным способом часового расхода топлива  $B_h$  не трудно определить и расход топлива  $B$  на данном перегоне из выражения

$$B = B_h T \text{ [kg]},$$

где  $T$  — время пробега поездом данного перегона, **в часах**.

Совершенно очевидно, что в случае определения расхода паровозом топлива на известном **участке** дороги, состоящем из нескольких перегонов, должен быть учтен расход топлива не только на перегонах, но и на стоянках. Часовой расход топлива на стоянках  $B_{c/h}$  может быть определен, как то понятно из сказанного в предыдущих параграфах, из выражения

$$B_{c/h} = \frac{w_k^n H \lambda}{\eta_k K} \text{ [kg/h]},$$

если расход топлива вообще определяется первым из указанных выше способов (по теплопроизводительности топлива), или из выражения.

$$B_{c/h} = \frac{(1 + \delta) w_k^n H}{e} \text{ [kg/h]},$$

если расход топлива определяется вторым способом (по паропроизводительности топлива), или, наконец, из выражения

$$B_{c/h} = y_c R,$$

если расход топлива вообще определяется третьим способом (по интенсивности горения топлива), при чем в данном случае  $y_c$  — интенсивность горения топлива, соответствующая расходу пара на стоянках  $w_k^n$ .

В связи с сказанным, полный расход топлива в рассматриваемом случае (на участке дороги) должен определяться по формуле

$$B = B_h \Sigma T + B_{c/h} \Sigma T_c \text{ [kg]},$$

где  $\sum T$  — время [h] пробега поездом всех перегонов, а  $\sum T_c$  — время [h] всех стоянок поезда на остановочных пунктах данного участка.

Надо заметить, что при проектировании новых дорог, вместо подсчета второго члена  $B_{c/h} \sum T_c$ , таковой можно принимать равным некоторому  $\%$  от первого члена, иначе говоря, полный расход топлива на данном участке дороги можно определять по формуле

$$B = (1 + \epsilon) B_h \sum T,$$

принимая величину коэффициента  $\epsilon$  равной:

при нефтяном отоплении . . . . .	0,05
„ каменноугольном и дровяном отоплении . . . . .	0,10
„ отоплении антрацитом . . . . .	0,20

§ 123. В заключение надлежит иметь в виду, что паровозы, работающие перегретым паром, хотя и расходуют топливо также на перегрев пара, в общем все же расходуют топливо меньше, нежели паровозы, работающие насыщенным паром, так как они меньше расходуют пара и, следовательно, воды. Означенная экономия в расходах топлива и воды составляет у паровозов однократного расширения, в зависимости от степени перегрева, до 25 $\%$ , а у паровозов двукратного расширения — около 15 $\%$ .

*Приложение к Части II.*

Некоторые данные о подвижном  
составе русских железных  
дорог.

ТАБЛИЦА  
Данные о некоторых

Род паровоза.	ТИП ПАРОВОЗА.	С о р т а.	Система перегревателя.	Число и диаметр цилиндр.		Ход поршня $l$	Диаметр колес.		Диаметр вентильного вала в котле.	$P_k$
				Высокая давл. $d_A$	Низкая давл. $d_B$		Двухцилиндр.	Тележечных.		
Т о в а р н ы й.	0-4-0 норм. . . . .	O <sup>R</sup>	—	1×500	1×730	650	1200	—	12,0	
	0-4-0 Арм. Туанс. . . . .	Ы <sup>Ч</sup>	Шмидта	1×550	1×790	650	1200	—	12,0	
	0-4-0 Моск.-Каз. . . . .	V	"	2×575	—	650	1220	—	12,0	
	1-4-0 изм. Вост.-К. . . . .	Щ	—	1×510	1×765	700	1300	930	14,0	
	1-4-0 . . . . .	Щ <sup>П</sup>	Шмидта	2×590	—	700	1300	930	12,0	
	0-5-0 Каз. . . . .	Э	"	2×630	—	700	1320	—	12,0	
	0-5-0 Ряз.-Ур. . . . .	Т	"	2×460	2×650	650	1300	—	14,0	
	1-5-0 Каз. . . . .	Е <sup>Ф</sup>	"	2×635	—	711	1320	760	12,7	
	0-3+3-0 Сиб. . . . .	Ө	—	2×475	2×710	650	1200	—	12,0	
	0-5+3-0 Моск.-Каз. . . . .	Ө <sup>Ч</sup>	Шмидта	2×510	2×770	650	1230	—	12,0	
П а с а ж и р с к и й.	1-3-0 Ник. . . . .	Е <sup>R</sup>	—	1×500	1×730	650	1700	1030	12,0	
	1-3-0 Ник. усл. . . . .	И <sup>У</sup>	—	1×500	1×750	650	1700	1030	13,0	
	2-3-0 Кол. усл. . . . .	К <sup>У</sup>	Шмидта	2×575	—	650	1900	1030	13,0	
	2-3-0 Брян. . . . .	В	"	2×550	—	700	1830	1030	13,0	
	2-3-0 Моск.-Каз. . . . .	Ж	—	1×500	1×730	600	1700	1030	12,0	
	2-3-0 Пут. усл. . . . .	У <sup>У</sup>	Шмидта	2×410	2×580	650	1730	950	14,0	
	1-3-1 Каз. . . . .	С	Ноткина	2×550	—	700	1830	<sup>1030/1300</sup>	13,0	
	2-3-1 Влад. . . . .	Л	Шмидта	4×460	—	650	1830	<sup>930/1300</sup>	12,0	
Т о в а р н ы й.	0-4-0 Кол. зав. . . . .	—	—	2×355	—	300	750	—	12,0	
	0-3-0 Кол. зав. . . . .	—	—	2×256	—	300	600	—	11,0	

1) Величина модуля силы тяги подсчитана для всех паровозов при условии по формуле  $M = 0,97 \frac{\pi d^2 l}{2D} P_k$  для паровозов с однократным расширением пара и по формуле  $M = 0,97 \frac{\pi d^2 l}{2D} P_k$  для паровозов с двукратным расширением пара.

Ц А И.  
русских паровозах.

Поверхн. нагрева.				База паровоза.		Вес паровоза.			Модуль силы тяги $M$
Испаряющая (водная) $H$	Перегревателя $H_П$	Полная $H_k = H + H_П$	Площадь колосниковой решетки $R$	Полная.	Жесткая.	В корожном состоянии.	В грузен. состоянии.		
							Полный $P_П$	Сцепной $P_c$	
m <sup>2</sup>				mm		t			кг.
152,6	—	152,6	1,85	3890	3890	45,2—47,2	51,2—53,2	51,2—53,2	16800
147,3	43,0	190,3	2,55	3890	2560	55,6	61,2	61,2	19650
149,3	40,4	189,7	3,03	3890	2560	57,5	64,3	64,3	20450
206,1	—	206,1	2,80	7800	4600	69,5	77,3	64,3	21400
169,0	35,0	204,0	2,80	7800	4600	69,5	77,2	64,2	21800
194,4	52,0	246,4	4,20	5780	4320	72,0	80,2	80,2	24500
216,6	59,7	276,3	4,63	6540	3500	72,8	81,3	81,3	28700
240,2	61,3	301,5	5,98	8482	5688	79,8	88,0	77,6	26750
205,6	—	205,6	3,50	7700	2600	76,5	84,0	84,0	31800
177,9	47,4	225,3	3,40	8270	2700	82,2	89,1	89,1	36500
145,9	—	145,9	2,20	7440	4440	54,6	59,2	45,2	11900
156,8	—	156,8	2,60	7360	4440	54,5	60,3	47,4	13600
180,8	47,4	228,2	3,18	7930	4120	66,3	73,2	47,7	14250
164,4	41,0	205,4	2,80	9090	4200	68,1	74,5	46,9	14600
165,8	—	165,8	2,34	7840	2150	56,5	62,0	43,0	10950
151,9	38,9	190,8	2,83	8490	3900	64,9	75,8	48,9	17150
207,2	51,5	258,7	3,80	8900	6200	67,5	75,8	47,2	14600
284,9	85,5	370,4	4,75	11505	3960	85,5	98,6	52,7	17500
55,6	—	55,6	1,15	2700	2700	18,5	20,5	20,5	5370
26,7	—	26,7	0,54	1500	1500	10,1	11,8	11,8	3500

вин вычета из объемов цилиндров объемов штока и контрштока, т. е. в общем и по формуле  $M = 0,97 \frac{\pi d^2 l}{2D} P_k$  для паровозов с двукратным расширением пара.

## ТАБЛИЦА II.

Данные о тендерах некоторых русских паровозов.

Род паровоза.	ТИП ПАРОВОЗА.	С о р т.	Число осей у тендера.	Вес тендера, в т			З а п а с	
				в порожнем состоянии.	в рабочем состоянии.	расчетный <sup>1)</sup> (с $\frac{2}{3}$ запасов воды и топлива).	в о д ы.	топлива.
Т о в а р н ы й.	0-4-0 . . . . .	О <sup>B</sup>	4	23,5	51	44	23	7,5 (уголь).
	0-4-0 . . . . .	Б <sup>Ч</sup>	3	19,6	42,6	35	16	7 (нефть).
	1-4-0 . . . . .	Ц	4	23,7	56,7	45,7	25	8 (уголь).
	1-4-0 . . . . .	Ц <sup>II</sup>	4	23,5	54,5	44	23	8 „
	0-5-0 . . . . .	Э	4	25	56	46	23	8 „
	1-5-0 . . . . .	Е <sup>Ф</sup>	4	25	60	49	27	8 „
	0-3-3-0 . . . . .	О <sup>Ч</sup>	4	23,5	54	44	23	7,5 „
	0-3-3-0 . . . . .	О	4	22,4	50,4	41	24	4,0 „
П а с с а ж и р с к и й.	1-3-0 . . . . .	Н <sup>B</sup>	4	25	52	43	22	5 (нефть).
	1-3-0 . . . . .	Н <sup>У</sup>	4	23,5	51,5	42	23	5 (нефть).
	2-3-0 . . . . .	Б <sup>У</sup>	3	18,5	12	34	17,5	8 (уголь).
	2-3-0 . . . . .	Б	3	20,5	41,5	34,5	16	5 „
	2-3-0 . . . . .	УУ	4	23	53	43	22	8 „
	1-3-1 . . . . .	С	4	26	57	47	23	8 (уголь).
	2-3-1 . . . . .	Л	4	27,5	63,5	51,5	28	8 „
Товарный узкоколейн.	0-1-0 Кол. зав.	—	3	7,0	14,0	11,7	5,4	1,6 (дрова).
	0-3-0 Кол. зав.	—	2	3,2	7,3	6,0	3,3	0,8 (дрова).

<sup>1)</sup> Расчетный вес тендера для определения сопротивления его движению.



Т А Б Л И Ц А   П П .  
Данные о некоторых русских вагонах.

Род вагона.	Т И П   В А Г О Н А .	Число осей.	Полная длина вагона. <i>m</i>	Подъемная сила вагона.	Вес вагона.	
					в порожнем состоянии.	в полном грузном состоянии.
					<i>l</i>	
Т о в а р н ы й .	Крытый нормальный вагон нетормозной . . . . .	2	7,63	16,5	6,6	23,1
	Тоже, тормозной . . . . .	2	8,24	16,5	7,6	24,1
	Открытый нормальный вагон (т. п. 30' платформа) нетормозной . . . . .	2	10,40	16,5	6,3	22,8
	Тоже, тормозной . . . . .	2	11,00	16,5	7,5	24,0
	Крытый вагон Моск.-Каз. ж. д.	4	12,84	29,5	14,2	43,7
	Крытый вагон Екатер. ж. д.	2×2	15,36	37	19,0	56,0
	Тоже, открытый для перевозки угля (сист. Фокс-Арбеля) .	2×2	15,26	37	17,0	54,0
	Крытый вагон американского типа . . . . .	2×2	13,92	40	20	60,0
	Полувагон американского типа . . . . .	2×2	15,29	50	20	70,0
П а с с а ж и р с к и й .	Вагон б. I и II класса . . . . .	3	13,86	—	22,6	≈ 27,0
	Вагон б. III класса . . . . .	3	14,65	—	23,0	≈ 30,0
	Вагон б. I и II кл. (спальный)	2×2	19,19	—	36,8	≈ 40,0
	Вагон б. III класса (спальный) (т. п. „18 м вагон“) . . . . .	2×2	19,19	—	30,0	≈ 36,0
	Вагон б. I и II кл. и микст I/II (спальный) (т. п. „20 м вагон“) . . . . .	2×2	21,16	—	43,4	≈ 48,0
	Арестантский . . . . .	2×2	19,19	—	36,6	≈ 44,0
У з л о к о л е й н ы й .	Пассажирский . . . . .	2×2	11,96	—	11,5	≈ 14,0
	Крытый тов. неторм. . . . .	2×2	9,97	12,5	7,3	19,8
	„ „ торм. . . . .		10,57	12,5	8,0	20,5
	„ „ неторм. . . . .	2×2	7,37	8,5	4,2	12,7
	„ „ торм. . . . .		7,87	8,5	4,5	13,0

## Замеченные опечатки в I и II частях.

№ п/п	Строка	Напечатано:	Должно быть:
39	8 сверху	(65 <i>km/h</i> )	(80 <i>km/h</i> )
19	"	(80—80 <i>km/h</i> )	(65—80 <i>km/h</i> )
88	12	$a + bV^2$	$a + bV +$
129	12	имеющий	имеющей
131	5	stroke	stroke
	8	на	и
153	8 сверху	$0.5 \cdot \frac{d^2 l}{D} \cdot v$	$\frac{d^2 l}{2D} \cdot v$
169	7	при $V = 85 \text{ km/h}$	(при $V < 85 \text{ km/h}$ )
171	3	$f_k^p = \dots$	$f_k^{sp} = \dots$
	11	$f_k^{sp} \dots$	$f_k^{sp} \dots$
181	5	$(W = W_0 \pm W_i + W_r)$	$(W_k = W_0 \pm W_i + W_r)$
193	5	не $10 \text{ km/g}$	не $< 10 \text{ km/h}$
198	3 снизу	$= \frac{1.06 \times 1000 Q + 2g}{2g}$	$= \frac{1.06 \times 1000 Q \times v}{2g}$
200	1	в $\text{km/h}^2$	в $\text{km} \cdot \text{h}^2$
		Напечатано:	
217	5 снизу	$\theta_k = \dots$	Должно быть:
		$\theta_k = \dots$	$\theta_k = \dots$
		Напечатано:	
217	4 снизу	$V_{II} = \dots$	Должно быть:
		$V_{II} = \dots$	$V_{II} = \dots$

Страница	Строка	Напечатано:	Должно быть:
225	2 сверху	$= \frac{a}{12} [\text{mm}]$	$\frac{a}{120} [\text{mm}]$
237	фиг. 18	$w_0 + w_{\text{м.в.р.}}^n - i$	$w_0 + w_{\text{м.в.р.}}^{\text{пт}} - i$

23. Новый нормальный рельс типа О для перворазрядных магистралей весом 47 кг/мт. (35 фн/фт). Москва. 1919 г.
24. Основания проектирования и устройства обратных кривых на магистральных ж. д. Москва. 1819 г.
25. К вопросу о предельной скорости движения паровоза в зависимости от пути. Петроград. 1920 г.
26. Россия в дорожном отношении. Опыт краткого историко-критического обозрения данных, относящихся до развития путей сообщения в России и параллельно в других важнейших культурных странах (с приведением многих сравнительных и статистических данных по путям сообщения). Москва. 1910 г.
27. Необходимые мероприятия в области нашего шпального хозяйства. Петроград. 1920 г.
28. О воздушной сушке шпал. Петроград. 1921 г.
29. О германских «Правилах сооружения и эксплуатации ж. д.» в изд. 1919 г. Петроград. 1921 г.
30. Некоторые желательные с точки зрения пути условия проектирования нового подвижного состава. Петроград. 1921 г.
31. Деревянные шпалы на русских ж. д. с точки зрения народного хозяйства. Москва. 1921 г.
32. Верхнее строение пути при давлениях паровозных осей 20--40 тн. (Доклад 1920 г.).
33. Капитальный ремонт желобчатых рельсов вместо сплошной смены. Москва. 1922 г.
34. Die neue 47 kg in schwere Schiene der russischen Staatseisenbahnen. Berlin. 1922 г.
35. Общие сведения о ж. д. Москва. 1923 г.
36. Рациональный способ увеличения диаметра существующих поворотных кругов. Москва. 1922 г.
37. Механическая погрузка в вагоны и выгрузка из них рельсов и других материалов. Москва. 1922 г.
38. Новая формула для определения допускаемого на рельс давления. Москва. 1922 г.
39. По поводу нового единого для всей сети объединенных государственных ж. д. Германии верхнего путевого строения. Москва. 1923 г.
40. К вопросу о подбивке подрельсовых поперечин. Москва. 1923 г.
41. Успехи заграничной техники и новейшие течения в области устройства рельсового пути (десятилетие 1912—1922 г.). Москва. 1923 г.
42. Улучшение существующего верхнего строения русских ж. д. одновременно с уменьшением расхода металла на скрепления. Москва. 1923 г.
43. Ж. д. земного шара в XX столетии (развитие сети). Москва 1923 г.
44. Новый тип деревянной шпалы. Москва. 1923 г.
45. Устройство балластного слоя на вновь строящихся железных дорогах. Москва. 1923 г.
46. К вопросу о применении металлических поперечин на русских жел. дорогах. Москва. 1924 г.
47. **Проектирование железных дорог.**

Ч. I. Общие сведения о железных дорогах.	}	Москва. 1924 г.
Ч. II. Тяговые расчеты.		
Ч. III. Основы проектирования жел. дорог.		
Ч. IV. Изыскания жел. дорог.		

} Печатаются.