


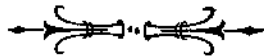


Ю. ЛОМОСОВЪ.

ТЯГОВЫЕ   
 РАЗСЧЕТЫ

 2-ое ИЗДАНИЕ 

исправленное и дополненное



ОДЕССА.

изд. Акціонернаго Южно-Русскаго Общества Печатнаго Дѣла  
(Пушкинская ул., соб. д. № 18).

1915.

## Предисловіе ко 2-му изданію.

Настоящая книга не представляет изъ себя ни научной монографіи, ни части систематическаго курса. Она есть пособіе для желающихъ ознакомиться съ современными методами тяговыхъ расчетовъ. Въ ней теоретическая сторона вопроса освѣщена лишь постольку, поскольку это было необходимо для сознательнаго пользованія предлагаемыми приемами. Въ то же время во второе ея изданіе введенъ цѣлый рядъ примѣровъ, взятыхъ прямо изъ жизни. Эти примѣры органически связаны съ основнымъ текстомъ; они не являются добавленіемъ къ нему, а напротивъ составляютъ неразрывную часть его; изъ нихъ я часто позволяю себѣ дѣлать заключенія, которыми приходится пользоваться въ дальнѣйшемъ.

Съ другой стороны, я далекъ отъ мысли сдѣлать изъ нея справочную книгу. Поэтому я избѣгалъ загромождать ее изложеніемъ общихъ вопросовъ теоріи паровозовъ, которые предполагаются для читателя знакомыми, и опытнымъ данными, которыя можно найти въ другомъ мѣстѣ. Измѣненіе въ ней логически послѣдовательное, что исключаетъ возможность читать ее съ середины.

Въ заключеніе считаю своимъ долгомъ выразить свою признательность Совѣту Института Инженеровъ Путей Сообщенія ИМПЕРАТОРА АЛЕКСАНДРА I, давшему мнѣ пособіе на ея изданіе, и моему ученику и многолѣтнему сотруднику Г. В. Лебедеву, внесшему много новаго во второе изданіе и продѣлавшему почти всѣ примѣры, введенные въ него.

*Ю. Ломоносовъ.*

*Царское Село  
15 января 1915 г.*

# ОГЛАВЛЕНИЕ.

## ГЛАВА I.

### Основные законы локомотивной тяги.

§ §	Стр.
1. Законъ сцепленія . . . . .	1
2. Уравненіе движенія поѣзда . . . . .	2
3. Замѣна въ условіи сцепленія и въ уравненіи движенія поѣзда суммы касательныхъ успій силою тяги . . . . .	4
4. Преобразованіе уравненія движенія поѣзда . . . . .	6
5. Численное значеніе величины $\zeta$ . . . . .	7
6. Сущность тяговыхъ расчетовъ и условій, необходимыхъ для ихъ производства . . . . .	10

## ГЛАВА II.

### Сила тяги паровоза.

7. Общее выраженіе силы тяги паровоза въ зависимости отъ размѣ- ровъ цилиндровъ . . . . .	13
8. Ограниченіе силы тяги по сцепленію . . . . .	16
9. Ограниченіе силы тяги по размѣрамъ цилиндровъ . . . . .	19
10. Ограниченіе силы тяги по котлу . . . . .	21
11. Полученіе зависимости $F_k = f_k(z, V)$ изъ опытныхъ данныхъ . . . . .	27
12. Распространеніе данныхъ, полученныхъ при опытахъ съ однимъ типомъ паровоза, на другой . . . . .	32
13. Выборъ $z$ . . . . .	36
14. Колебаніе $z$ . . . . .	39
15. Займы у котла . . . . .	43
16. Двойная тяга . . . . .	45
17. Сила тяги при закрытомъ регуляторѣ . . . . .	46

## ГЛАВА III.

### Сопротивленіе поѣзда.

18. Сопротивленіе отъ подъема и отъ кривой . . . . .	47
19. Элементы сопротивленія поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути . . . . .	49
20. Сопротивленіе воздуха . . . . .	50
21. Сопротивленіе въ шейкахъ . . . . .	51
22. Сопротивленіе перекатыванію . . . . .	53

# I

§§	Стр.
23. Сопротивленіе отъ вліянія . . . . .	54
24. Сопротивленіе отъ ударовъ на стыкахъ . . . . .	55
25. Обидія соображенія о сопротивленіи паровозовъ и вагоновъ на прямомъ и горизонтальномъ пути . . . . .	56
26. Формулы для сопротивленія двухосныхъ вагоновъ . . . . .	58
27. Вліяніе нагрузки двухосныхъ вагоновъ на ихъ сопротивленіе . . . . .	62
28. Вліяніе скорости на сопротивленіе двухосныхъ вагоновъ . . . . .	63
29. Сравнительная оцѣнка формулъ для двухосныхъ вагоновъ . . . . .	69
30. Формулы для сопротивленія вагоновъ на тележкахъ . . . . .	70
31. Формулы для полнаго сопротивленія паровозовъ . . . . .	73
32. Формулы для сопротивленія паровозовъ, какъ повозокъ . . . . .	77
33. Сопротивленіе паровоза при закрытомъ регуляторѣ . . . . .	78
34. Вліяніе погоды на сопротивленіе поѣзда . . . . .	80

## ГЛАВА IV.

### Тормазное усиліе.

35. Законы тренія между колесами и колодками . . . . .	86
36. Сила нажатія колодокъ . . . . .	89
37. Тормазное усиліе всего поѣзда . . . . .	95
38. Кентрошаръ . . . . .	98

## ГЛАВА V.

### Интегрированіе уравненія движенія поѣзда.

39. Формы уравненія движенія . . . . .	101
40. Исслѣдованіе уравненія поѣзда при равномерномъ его движеніи . . . . .	102
41. Какъ извѣстны уравненія поѣзда при равномерномъ его движеніи . . . . .	104
42. Допущенія, необходимыя для аналитическаго интегрированія . . . . .	108
43. Выполненіе аналитическаго интегрированія . . . . .	112
44. Преимущества графическаго интегрированія . . . . .	115
45. Идея Дедуи . . . . .	116
46. Первый приѣмъ Дедуи—Ломоносова . . . . .	119
47. Второй приѣмъ Дедуи—Ломоносова съ поправкой Лебедева . . . . .	121
48. Второй интеграль при способѣ Дедуи . . . . .	122
49. Опредѣленіе масштабовъ при способѣ Дедуи . . . . .	125
50. Способъ Дубелира . . . . .	129
51. Способъ Чечотта . . . . .	132
52. Способъ Фрея . . . . .	133
53. Способъ Липеца . . . . .	134
54. Масштабы при способахъ Дубелира, Чечотта и Липеца . . . . .	136
55. Второй интеграль при способахъ Дубелира, Чечотта и Липеца . . . . .	139

## ГЛАВА VI.

### Тормазныя задачи.

56. Сущность тормазныхъ задачъ . . . . .	142
57. Аналитическій способъ . . . . .	143
58. Способъ Дедуи . . . . .	151

### III

§§	Стр.
59. Способъ Липеца . . . . .	166
60. Сравненіе разсмотрѣнныхъ способовъ между собой . . . . .	160

### ГЛАВА VII.

#### Разсчеты времени хода поѣздовъ.

61. Сущность задачи объ опредѣленіи времени хода . . . . .	161
62. Аналитическій способъ . . . . .	162
63. Способъ Дедуи . . . . .	179
64. Способъ Липеца . . . . .	183
65. Обыкновенный графо-аналитическій способъ . . . . .	194
66. Способъ эквивалентныхъ подъемовъ . . . . .	219
67. Сравненіе указанныхъ выше способовъ . . . . .	231
68. Сравненіе разчетовъ времени хода по отсѣчкамъ и по $s$ . . . . .	235
69. Вліяніе конечной длины поѣзда . . . . .	238
70. Спряженіе профиля . . . . .	245

### ГЛАВА VIII.

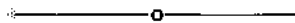
#### Опредѣленіе расхода воды и топлива.

71. Сущность этихъ разчетовъ . . . . .	255
72. Разчетъ расхода пара по $s_c$ . . . . .	257
73. Разчетъ расхода пара по комбинаціямъ . . . . .	272
74. Определеніе расхода пара, воды и топлива паровозами, для которыхъ нѣтъ опытныхъ данныхъ . . . . .	277

### ГЛАВА IX.

#### Разсчеты составовъ.

75. Разчетъ составовъ по установившейся скорости . . . . .	282
76. Выборъ установившейся скорости при разчетѣ составовъ . . . . .	285
77. Вліяніе на составъ поѣзда нагрузки вагоновъ . . . . .	290
78. Преодоленіе подъемовъ за счетъ разгона . . . . .	292

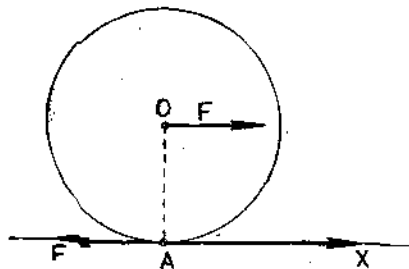


## ГЛАВА I.

### Основные законы локомотивной тяги.

§ 1. Законъ сцепленія. Тяговые расчеты, т. е. опредѣленіе времени хода поѣздовъ по перегонамъ, составовъ ихъ и т. п., есть не что либо иное, какъ рѣшеніе частныхъ задачъ, относящихся къ движенію поѣзда, т. е. примѣненіе къ частнымъ случаямъ общихъ законовъ движенія поѣзда. Съ изученія этихъ законовъ мы и начнемъ.

За исключеніемъ канатныхъ дорогъ, перемѣщеніе поѣздовъ по рельсамъ совершается нынѣ помощью локомотивовъ, т. е. такихъ повозокъ, къ нѣкоторымъ осямъ которыхъ приложены вращающія пары. Касательныя усилія, составляющія эти пары, по отношенію ихъ къ ободу колесъ, какъ показано на фиг. 1, мы будемъ обозначать буквой  $F$ . Силы эти по отношенію къ колесу и всему поѣзду являются силами внутренними и потому не могутъ перемѣстить его центра тяжести. Для этого необходимо наличіе внѣшней силы, какой въ данномъ случаѣ является горизонтальная реакція рельса на колесо  $X$ . Пока



Фиг. 1.

$$F \leq X$$

мгновеннымъ центромъ вращенія колеса мѣняется точка  $A$ , и оно катится вдоль рельса. Если же

$$F > X,$$

колесо начнетъ вращаться вокругъ точки  $O$ , остающейся на мѣстѣ. Иными словами въ этомъ случаѣ произойдетъ *баксованіе*.

Такимъ образомъ для того, чтобы поѣздъ могъ перемѣщаться вдоль пути, необходимо и достаточно, чтобы

$$F \leq X.$$

При гладкихъ рельсахъ и колесахъ, а о нихъ только мы и будемъ говорить въ дальнѣйшемъ,

$$X = \varphi P,$$

гдѣ  $\varphi$  коэффициентъ тренія перваго рода между колесомъ и рельсомъ, а  $P$  нагрузка на колесо. Такимъ образомъ для возможности перемѣщенія необходимо, чтобы

$$F \leq \varphi P,$$

или для всѣхъ движущихъ осей

$$\Sigma F \leq 1000 \varphi P_k, \dots \dots \dots 1$$

гдѣ  $P_k$ —сѣнной вѣсъ въ тоннахъ, а  $\Sigma F$  въ килограммахъ. Это и есть первый законъ локомотивной тяги—*законъ сцепленія*. Коэффициентъ тренія перваго рода, какъ извѣстно, зависитъ отъ скорости. Въ частности по отношенію къ тренію между рельсами и колесами еще Пуаре (Poire, 1856) установилъ, что

$$\varphi = \frac{\varphi_0}{1 + 0,02 V}, \quad 1)$$

гдѣ  $\varphi_0$  коэффициентъ тренія при скорости равной нулю, а  $V$  скорость въ километрахъ въ часъ. Въ уравненіи 1, однако нужно всегда брать  $\varphi = \varphi_0$ , ибо реакція

$$X = \varphi P$$

приложена въ мгновенномъ центрѣ, т. е. въ точкѣ, гдѣ  $V=0$ .

§ 2. Уравненіе движенія поѣзда. Законъ сцепленія не даетъ намъ понятія о характерѣ движенія поѣзда, онъ лишь устанавливаетъ условія, при которыхъ это движеніе возможно. Для рѣшенія же тяговыхъ задачъ мы должны имѣть *уравненіе движенія поѣзда*, связывающее перемѣщеніе поѣзда съ временемъ. Такое уравненіе и является вторымъ основнымъ закономъ тяги. Его проще всего вывести изъ закона живыхъ силъ, гласящаго,

1) Annales des mines 1858, стр. 271 или Couche. Voie, materiel roulant et exploitation technique des chemins de fer. II (1873), стр. 267—273.

что приращение живой силы системы равно элементарной работѣ всѣхъ приложенныхъ къ ней силъ.

Съ динамической точки зрѣнія поѣздъ представляетъ изъ себя систему твердыхъ тѣлъ, связанныхъ между собою частью жесткими, частью упругими связями и ограниченныхъ въ своемъ движеніи рельсовымъ путемъ, какъ недерживающей преградой. Одни изъ этихъ тѣлъ—кузова, имѣютъ лишь поступательное движеніе, другіе—скаты, кромѣ того, и вращательное. Къ этой системѣ приложены слѣдующія силы:

- 1) касательныя усилія  $F$ , приводящія поѣздъ въ движеніе и приложенныя къ ободу нѣкоторыхъ скатовъ,
- 2) силы, сопротивляющіяся движенію поѣзда, какъ системы повозокъ; равнодѣйствующую этихъ силъ, приложенную въ центрѣ тяжести поѣзда, называютъ сопротивленіемъ поѣзда— $W_k$ ,
- 3) реакція между отдѣльными частями поѣзда и
- 4) реакція между скатами и рельсами.

Элементарное перемѣщеніе скатовъ и центра тяжести поѣзда равно

$$ds = Rda,$$

гдѣ  $R$  радиусъ ската, а  $a$  угловое его перемѣщеніе; поэтому элементарная работа силъ  $F$  и  $W_k$  есть

$$(\Sigma F - W_k) ds.$$

Элементарная же работа силъ (3) и (4) равна нулю; первыхъ потому, что каждой реакціи  $+P$  соответствуетъ реакція  $-P$ , а вторыхъ потому, что онѣ приложены въ мгновенномъ центрѣ и, слѣдовательно, ихъ перемѣщенія равны нулю.

Переходя теперь къ живой силѣ поѣзда, обратимъ прежде всего наше вниманіе на то обстоятельство, что въ то время, какъ живая сила каждаго кузова равна

$$\frac{m_k V^2}{2},$$

живая сила каждаго полускаата, т. е. колеса съ половиной оси равна

$$\frac{m_c V^2}{2} + \frac{I\omega^2}{2},$$

гдѣ  $I$  есть полярный моментъ инерціи полускаата, а  $\omega$  его угловая скорость. Поэтому живая сила всего поѣзда равна

$$\frac{MV^2}{2} + \sum \frac{I\omega^2}{2},$$

гдѣ

$$M = \Sigma m_k + \Sigma m_c$$



есть масса всего поезда, а  $V$  его угловая скорость. Выражение это превращается въ

$$\frac{MV^2}{2}$$

только въ случаѣ  $\omega = 0$ , т. е. тогда, когда колеса не катятся, а скользятъ по рельсамъ. Его можно еще преобразовать, пользуясь равенствомъ

$$V = R\omega.$$

Откуда для живой силы всего поезда мы получаемъ выражение

$$\frac{V^2}{2} \left( M + \sum \frac{I}{R^2} \right),$$

а для приращенія ея

$$VdV \left( M + \sum \frac{I}{R^2} \right).$$

Приравнивая это послѣднее выраженіе элементарной работѣ, мы получимъ равенство

$$VdV \left( M + \sum \frac{I}{R^2} \right) = (\Sigma F - W_k) ds,$$

или, замѣчая, что

$$V = \frac{ds}{dt},$$

$$\left( M + \sum \frac{I}{R^2} \right) \frac{dV}{dt} = \Sigma F - W_k \dots \dots \dots \text{II}$$

Это и есть уравненіе движенія поезда. При выводѣ его, такъ же какъ и при выводѣ закона сцѣпленія, мы не дѣлали никакихъ предположеній о родѣ той энергій, которая была потреблена на полученіе силъ  $F$ . Поэтому эти два закона являются общими для всякаго рода локомотивной тяги: паровой, газовой, электрической и т. п.

§ 3. Замѣна въ условіи сцѣпленія и въ уравненіи движенія поезда суммы касательныхъ усилій силою тяги. Въ той формѣ, какъ они написаны нами, законы эти, не смотря на ихъ общность, неудобны для практическаго примѣненія. Дѣло въ томъ, что въ нихъ вошла сумма касательныхъ усилій  $\Sigma F$ , которую только для электрической тяги можно считать постоянной въ теченіи оборота колесъ. Въ другихъ же локомотивахъ и въ частности въ паро-

возахъ  $\Sigma F$  рѣзко мѣняется въ зависимости отъ положенія машины т. е. отъ угла

$$\alpha = \omega t.$$

Иными словами въ общемъ случаѣ силы  $\Sigma F$  содержатъ въ себѣ время явнымъ образомъ, что какъ извѣстно чрезвычайно усложняетъ интегрированіе уравненій движенія системы. Чтобы избѣжать этихъ затрудненій, во всѣ расчеты вводится не мгновенное значеніе  $\Sigma F$ , а среднее значеніе этой суммы за оборотъ колеса

$$F_k = \frac{1}{\pi D} \int_0^{2\pi} \Sigma F ds, \quad \dots \dots \dots I$$

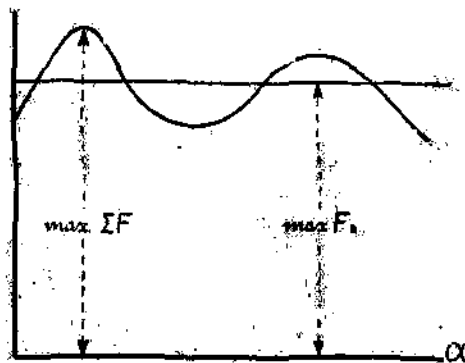
называемое *силой тяги*.

Въ уравненіе движенія поѣзда мы смѣло можемъ поставить вмѣсто  $\Sigma F$  величину  $F_k$ , ибо поѣздъ представляетъ изъ себя такой могучій маховикъ, что колебанія скорости въ предѣлахъ одного оборота, происходящія отъ того, что  $\Sigma F$  то больше, то меньше  $F_k$ , заключаются на практикѣ между  $1/300$  и  $1/100000$  средней скорости; между тѣмъ даже на прядильныхъ фабрикахъ и на электрическихъ станціяхъ коэффициентъ неравномерности маховиковъ въ  $1/200$  считается идеаломъ.

Что же касается условия сплывенія

$$\Sigma F \leq 1000 \varphi_n P_k, \quad \dots \dots \dots I$$

то здѣсь простая замѣна  $\Sigma F$  на  $F_k$  — невозможна. Дѣло въ томъ, что условіе I должно быть соблюдено для всѣхъ значеній  $\Sigma F$ , въ томъ числѣ и для максимальнаго. Между тѣмъ шах.  $\Sigma F$  завѣ-



Фиг. 2.

домо больше шах.  $F_k$ , именно мы можемъ считать, что

$$\text{шах. } \Sigma F = (1 + \mu) \text{ шах. } F_k,$$

гдѣ  $\mu$  правильная дробь; вставляя это выраженіе въ (1), мы видимъ, что для возможности поступательнаго движенія необходимо, чтобы

$$\text{Max. } F_k \leq 1000 \frac{\varphi_0}{1 + \mu} P_k,$$

или

$$\text{Max. } F_k \leq 1000 \psi_k P_k, \dots \dots \dots I_k$$

гдѣ

$$\psi_k = \frac{\varphi_0}{1 + \mu} \dots \dots \dots 2$$

называютъ *коэффициентомъ сцепленія*; онъ, очевидно, всегда меньше коэффициента тренія  $\varphi_0$ .

§ 4. Преобразование уравненія движенія поѣзда. Возвратимся къ уравненію движенія поѣзда, которое мы представили подъ видомъ

$$\left( M + \frac{I}{R^2} \right) \frac{dV}{dt} = F_k - W_k,$$

и продолжимъ его преобразование. Прежде всего замѣтимъ, что

$$\Sigma \frac{I}{R^2}$$

имѣетъ измѣреніе массы, и потому ее можно представить, какъ часть массы поѣзда, т. е. положимъ

$$\Sigma \frac{I}{R^2} = \gamma M.$$

Съ другой стороны

$$M = \frac{(P + Q)}{g} 1000,$$

гдѣ  $P$  вѣсъ локомотива въ тоннахъ,  $Q$  — вѣсъ вагоновъ, а  $g$  — ускореніе свободно падающаго тѣла. Поэтому уравненіе движенія поѣзда можно представить подъ видомъ

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{1000 (1 + \gamma)} \frac{F_k - W_k}{P + Q},$$

или

$$\frac{dV}{dt} = \xi (f_k - w_k), \dots \dots \dots \Pi_k$$

гдѣ

$$\xi = \frac{g}{1000 (1 + \gamma)} \dots \dots \dots 3$$

есть некоторый постоянный коэффициент, имѣющий измѣреніе ускоренія,

$$f_k = \frac{F_k}{P + Q}$$

сила тяги, отнесенная къ одной тоннѣ вѣса поѣзда, а

$$w_k = \frac{W_k}{P + Q}$$

сопротивленіе, отнесенное тоже къ тоннѣ вѣса поѣзда или, какъ говорятъ, удѣльное его сопротивленіе. Обѣ послѣднія величины имѣютъ нулевое измѣреніе, т. е. выражаются отвлеченными числами.

§ 5. Численное значеніе величины  $\zeta$ . Такъ какъ  $\gamma$ ,  $w_k$  и  $f_k$  суть отвлеченныя числа, то ускореніе поѣзда изъ формулы

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{1000(1 + \gamma)} (f_k - w_k)$$

получается выраженнымъ въ тѣхъ же единицахъ, въ какихъ выражено  $g$ . Въ физикѣ его выражаютъ обычно въ  $m/sec^2$ , но въ желѣзнодорожной практикѣ скорости движенія поѣзда выражаютъ въ  $km/h$  или въ вер/часъ, сообразно чему  $dV/dt$  и  $g$  приходится выражать въ  $km/h^2$  или вер./час<sup>2</sup>. Въ системѣ  $km$ ,  $kg$ ,  $h$ , которой мы будемъ держаться въ этой книгѣ,

$$g = 9,81 \left[ \frac{m}{sec^2} \right] = \frac{9,81 \cdot 3600^2}{1000} \left[ \frac{km}{h^2} \right] = 127,$$

сообразно чему

$$\zeta = \frac{127}{1 + \gamma} \dots \dots \dots 32$$

Въ системѣ же верста, часъ

$$g = \frac{15}{16} 127 = 119$$

и

$$\zeta = \frac{119}{1 + \gamma} \dots \dots \dots 36$$

гдѣ какъ и раньше

$$\gamma = \frac{g \sum \frac{l}{R^2}}{1000(P + Q)} \dots \dots \dots 4$$

Для усиленной русской вагонной оси

$$g \sum \frac{I}{R^2} = 420 \text{ [kgr]} = 25,6 \text{ [пуд]};$$

поэтому для двухосного вагона

$$g \sum \frac{I}{R^2} = 840 \text{ [kgr]} = 51,2 \text{ [пуд]}$$

$$\gamma = \frac{51,2}{q},$$

гдѣ  $q$  вѣсъ груза и тары въ пудахъ. Тара нормального русскаго вагона 420 пуд., предѣльная нагрузка 1000 пудовъ, поэтому для полногрузнаго нормального русскаго вагона

$$\gamma = \frac{51,2}{1420} = 3,6\%$$

а для порожняго

$$\gamma = \frac{51,2}{420} = 12,2\%$$

Что же касается паровозовъ, то по подсчетамъ Архангельскаго, произведенныхъ подъ руководствомъ проф. Жуковскаго для тендерныхъ осей

$$\frac{I}{R^2} = 50,$$

а для паровозныхъ

$$\frac{I}{R^2} = 19 + 100 R \text{ [m]}.$$

По этимъ даннымъ значенія

$$\frac{I}{R^2}$$

для современныхъ типовъ паровозовъ вмѣстѣ съ тендерами колеблятся между 5 и 6%; вслѣдствіе чего для полногрузныхъ товарныхъ поѣздовъ можно считать

$$\gamma \cong 4\%$$

$$\zeta \cong 124 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}^2} \right].$$

а для порожнихъ

$$\gamma \simeq 11\%$$

$$\zeta \simeq 114 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}^2} \right].$$

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что при равныхъ прочихъ условіяхъ полногрузный поѣздъ получить большія ускоренія

$$\frac{dV}{dt} = \zeta (f_k - w_k)$$

чѣмъ порожній; иными словами оказывается, что *порожній поѣздъ инертнѣе грузонаго*.

Для пассажирскихъ восьмиколесныхъ вагоновъ

$$g \sum \frac{I}{R^2} = 1600,$$

$$\gamma = \frac{1600}{40000} = 0,04,$$

и потому для пассажирскихъ поѣздовъ

$$\zeta \simeq 122 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}^2} \right].$$

Для приближенныхъ же расчетовъ можно брать

$$\zeta \simeq 120,$$

что, какъ мы увидимъ ниже, очень цѣнно для графическихъ построеній.

Для примѣра опредѣлимъ точное значеніе  $\zeta$  для поѣзда, состоящаго изъ паровоза Прери серіи С и 9 восьмиколесныхъ вагоновъ. Паровозъ С имѣетъ діаметръ колесъ передней тележечной оси = 1<sup>м</sup>, спаренныхъ колесъ 1<sup>м</sup>, 83 и задняго бѣгунка 1<sup>м</sup>, 16. Поэтому для него

$$\sum \frac{I}{R^2} = 5.19 + 500 + 3.919 + 58 = 476,$$

а для восьмиколеснаго тендера

$$\sum \frac{I}{R^2} = 4.50 = 200;$$

4) Кеснеръ. Курсъ паровозовъ, (литограф. изд.) 1913, стр. 351.

для вагоновъ же

$$\sum \frac{I}{R^2} = 9 \cdot 160 = 1440.$$

Такимъ образомъ общее

$$\sum \frac{I}{R^2} = 476 + 200 + 1440 \approx 2020,$$

откуда при вѣсѣ паровоза съ тендеромъ въ 125 тоннъ и каждаго вагона въ 40 тоннъ

$$\gamma = \frac{2020}{(125 + 360) 1000} \approx 0,0415$$

$$\zeta = \frac{127}{1 + \gamma} = 122,$$

какъ это мы имѣли и раньше.

§ 6. Сущность тяговыхъ расчетовъ и условія, необходимыя для ихъ производства. Какъ мы увидимъ ниже,  $f_k$  и  $w_k$  суть скорости; поэтому для интегрированія уравненіе движенія поѣзда удобнѣе представить подъ видомъ

$$dt = \frac{dV}{\zeta(f_k - w_k)}.$$

Интегрируя его первый разъ, мы получимъ

$$t - t_0 = \int_{V_0}^V \frac{dV}{\zeta(f_k - w_k)} \dots \dots \dots 5$$

или

$$V = \varphi(t) \dots \dots \dots 5a$$

Этотъ интегралъ позволяеть намъ опредѣлить время нужное для измѣненія, подъ вліяніемъ заданныхъ силъ, скорости поѣзда даннаго вѣса отъ  $V_0$  до  $V$ . Интегрируя уравненіе

$$V = \frac{ds}{dt} = \varphi(t)$$

еще разъ, мы получимъ

$$s - s_0 = \int_{t_0}^t \varphi(t) dt \dots \dots \dots 6$$

или

$$t = \chi(s) \quad \dots \dots \dots 6a$$

Этот интеграл позволяет определить время, нужное для прохождения поезда под действием заданных сил данного элемента пути. Пользуясь этим интегралом, можно решить самую трудную тяговую задачу — определение поперегонных временъ хода. Для этого надо раздѣлить расстояние между станціями на такіе участки, на которыхъ къ поезду приложены опредѣленныя силы. Вычисляя затѣмъ по формулѣ 6 для каждаго изъ такихъ участковъ  $l$ , мы найдемъ искомое время какъ  $\Sigma l$ .

Для рѣшенія же такихъ задачъ, которыя сводятся къ выясненію закона измѣненія скорости въ зависимости не отъ времени, а отъ пройденнаго пути, уравненіе движенія поезда можно представить подъ видомъ

$$V \frac{dV}{ds} = N \frac{dV}{dt} = \xi (f_k - w_k),$$

или

$$ds = \frac{V dV}{\xi (f_k - w_k)}.$$

Интегрируя это уравненіе, мы получимъ

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{V dV}{\xi (f_k - w_k)} \quad \dots \dots \dots 7$$

или

$$V = \psi(s), \quad \dots \dots \dots 7a$$

что и выражаетъ собой законъ измѣненія скорости въ зависимости отъ пройденнаго поездомъ расстоянія. Къ числу задачъ, сводящихся къ рѣшенію такого уравненія относятся всѣ тормазные расчеты, а также выясненіе вопроса можетъ ли поездъ преодолѣть данный подъемъ съ разгона или нѣтъ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что тяговые расчеты сводятся къ интегрированію уравненія движенія поезда

$$\frac{dV}{dt} = \xi (f_k - w_k) = \xi \frac{F_k - W_k}{P + Q}$$

или точнѣе къ квадратурамъ 5, 6 и 7. Поэтому, для возможности производить эти расчеты необходимо наличие трехъ условій:



- 1) знанія численнихъ значеній и законовъ измѣненія силы тяги паровоза,
- 2) тоже сопротивленія поѣзда, включая и сопротивленія отъ тормазовъ и
- 3) умѣніе выполнять квадратуры 5, 6 и 7.

Точно также и точность тяговыхъ расчетовъ обусловливается не только точностью выполнения квадратуръ 5, 6 и 7, но надежностью выбранныхъ значеній  $F_k$  и  $W_k$ . Къ изученію этихъ величинъ мы и переходимъ.

---

## ГЛАВА II.

### Сила тяги паровоза.

§ 7. Общее выражение силы тяги паровоза въ зависимости отъ размѣровъ цилиндровъ. Выше уже было отмѣчено, что законы, I и II общи для всѣхъ видовъ локомотивной тяги. Законы же измѣненія  $F_k$ , конечно, различны въ зависимости отъ того, какой родъ энергии потраченъ на реализацію этой силы. Что касается паровозовъ, то тамъ сила  $F_k$  является результатомъ дѣйствія пара въ цилиндрахъ. Однако, не вся работа, развиваемая въ нихъ, передается на колеса; часть ея поглощается внутреннимъ треніемъ машины. Поэтому для каждаго цилиндра касательное усиліе  $F$  представляетъ изъ себя равнодѣйствующую мгновеннаго усилія на поршень  $P_x$  и силъ внутренняго тренія. Такъ какъ силы эти приложены не къ одному твердому тѣлу, а къ системѣ ихъ, то для нахождения равнодѣйствующей мы должны воспользоваться принципомъ возможныхъ перемѣщеній, согласно которому элементарная работа равнодѣйствующей въ возможномъ перемѣщеніи равна суммѣ такихъ работъ составляющихъ. Возможнымъ перемѣщеніемъ силъ  $F$ , приложенной къ ободу, является  $ds$ , а силы  $P_x$  перемѣщеніе поршня  $dl$ . Поэтому для каждаго цилиндра

$$Fds = P_x dl - dT_m,$$

гдѣ  $dT_m$  есть элементарная работа внутренняго тренія. Для всѣхъ же цилиндровъ

$$\Sigma F = \Sigma P_x \frac{dl}{ds} - \frac{dT_m}{ds},$$

гдѣ  $dT_m$  обнимаетъ внутреннее треніе всего паровоза. Что же касается силы тяги

$$F_k = \frac{1}{\pi D} \int_0^{nd} \Sigma F ds,$$

т. е. среднего за оборотъ значения  $\Sigma F$ , то, согласно только что выведенныхъ формулъ,

$$F_k = \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \Sigma P_x dl - \frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} dT_m,$$

гдѣ интеграль

$$\frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} dT_m = W_m$$

представляетъ среднее за оборотъ колеса значеніе равнодѣйствующей всѣхъ силъ внутренняго тренія, т. е., то, что называется сопротивленіемъ паровоза какъ машины. Интеграль же суммы

$$\int_0^{\pi D} \Sigma P_x dl = \Sigma \int_0^{\pi D} P_x dl,$$

причемъ каждый изъ послѣднихъ интеграловъ представляетъ работу пара въ цилиндрахъ за оборотъ. Работа эта, какъ извѣстно, равна

$$2 \frac{\pi d^2}{4} p_i l,$$

гдѣ  $d$  діаметръ цилиндра,  $l$  ходъ поршня, а  $p_i$  среднее индикаторное давленіе. Поэтому

$$\frac{1}{\pi D} \int_0^{\pi D} \Sigma P_x dl = \frac{1}{2D} \Sigma d^2 p_i,$$

откуда

$$F_k = \frac{1}{2D} \Sigma d^2 p_i - W_m.$$

Если бы внутренняго тренія не было, то сила тяги была бы равна

$$F_k = \frac{1}{2D} \Sigma d^2 p_i, \quad \dots \dots \dots 8i$$

откуда

$$F_k = F_i - W_m \quad \dots \dots \dots 9$$

или

$$F_k = \eta F_t = \eta \frac{1}{2D} \Sigma d^2 p_i, \quad \dots \dots \dots 8_k$$

гдѣ

$$\eta = \frac{F_k}{F_t} = 1 - \frac{W_m}{F_t} \quad \dots \dots \dots 10$$

называютъ *коэффициентомъ внутренняго тренія*. Силу же  $F_t$ , которой равнялась бы сила тяги, если бы  $W_m = 0$ , называютъ *индикаторной силой тяги*. Въ отличіе отъ нея, истинную силу тяги  $F_k$  называютъ *верѣдко касательной силой тяги* или *силой тяги на ободѣ*. Усиліе же, съ которымъ паровозъ тащитъ поѣздъ, и которое можетъ быть измѣрено динамометромъ, помѣщеннымъ между тендеромъ и первымъ вагономъ, называютъ *полезной силой тяги* или *силой тяги на крюкъ*.

Формула 2 представляетъ наиболѣе общее выраженіе для силы тяги паровоза. Въ частности для двухцилиндроваго паровоза некомпанудъ

$$\Sigma d^2 p_i = 2 d^2 p_i,$$

откуда получается классическая формула,

$$F_k = \eta \frac{d^2 l}{D} p_i. \quad \dots \dots \dots 11$$

Что же касается паровозовъ компанудъ, то, какъ извѣстно, теоретически работа ихъ не измѣнится, если бы такое же расширеніе произошло въ одномъ большомъ цилиндрѣ. Поэтому для нихъ

$$F_k = \eta m \frac{d^2 l}{2D} p_i, \quad \dots \dots \dots 12$$

гдѣ  $m$  число большихъ цилиндровъ,  $d$  ихъ діаметръ, а  $p_i$  среднее индикаторное давленіе ренкинзированной діаграммы.

Среднее индикаторное давленіе  $p_i$  при всякой системѣ паровоза зависитъ отъ степени открытія регулятора и отъ отсѣчки; поэтому на первый взглядъ кажется, что, мѣняя эти послѣднія, машинистъ можетъ по своему произволу реализовать въ каждый моментъ любую силу тяги. Въ дѣйствительности, однако, этотъ произволь ограниченъ тремя обстоятельствами: во-первыхъ, во избѣжаніе баксованія, должно быть соблюдено условіе

$$F_k \leq 1000 \psi_k P_k;$$

во-вторыхъ, увеличеніе открытія регулятора и отсѣчки имѣетъ свои предѣлы, и послѣ того, какъ регуляторъ открытъ во всю, а переводный механизмъ совершенно спущенъ, увеличеніе силы тяги, даже независимо отъ баксованія, далѣе невозможно; въ

третьих, съ увеличеніемъ силы тяги будетъ возрастать и расходъ пара, а такъ какъ паровозная машина расходуетъ паръ только изъ своего котла, то произволъ машиниста въ смыслъ увеличенія силы тяги ограниченъ еще возможностью остаться безъ пара.

Разберемъ эти ограниченія подробнѣе.

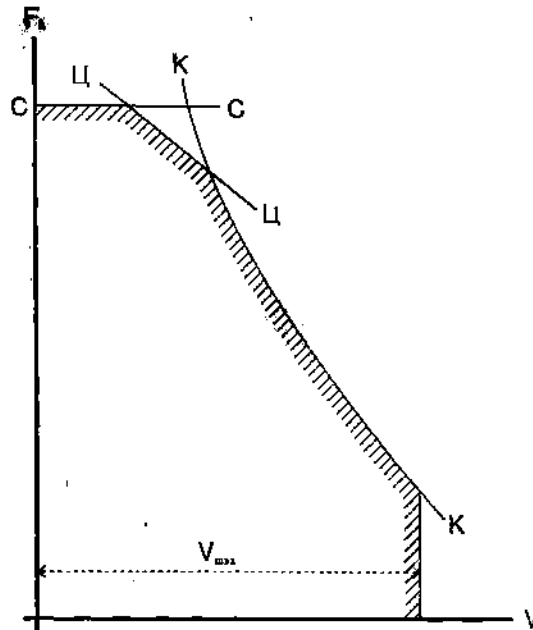
§ 8. Ограниченіе силы тяги по сцѣпленію. Предѣлъ силы тяги по сцѣпленію

$$\text{Max. } F_k = 1000 \psi_k P_k$$

опредѣляется сцѣпнымъ вѣсомъ  $P_k$  и коэффициентомъ сцѣпленія

$$\psi_k = \frac{\varphi_0}{1 + \mu}; \dots \dots \dots 2$$

$P_k$  для даннаго паровоза есть величина постоянная,  $\varphi_0$  зависитъ только отъ состоянія рельсъ, а  $\mu$  отъ формы диаграммы касательныхъ усилій. Поэтому въ функціи отъ скорости наибольшая воз-



Фиг. 3.

можная сила тяги по сцѣпленію представится въ видѣ горизонтальной прямой  $C$  на фиг. 3. Для практическихъ цѣлей, однако, недостаточно доказать, что

$$\text{Max. } F_k = 1000 \psi_k P_k$$

есть величина постоянная, надо еще умѣть опредѣлить численное ея значеніе. Что касается  $\varphi_0$ , то значенія его для разныхъ условий, согласно опытовъ Пуаре (1856) и Гальтона (1878) приведены въ таб. I.

Т а б л и ц а I.

Состояніе рельсовъ	$\frac{1}{\varphi_0}$	$\varphi_0$
Совершенно сухіе и абсолютно чистые . . .	3	0,33
Посыпанные пескомъ . . . . .	3,5	0,28
Сухіе пыльные или совершенно мокрые . .	4	0,25
Слегка влажные (роса) . . . . .	5	0,20
При морозѣ и инеѣ . . . . .	6	0,17
На станціонныхъ путяхъ и въ туннеляхъ . .	8	0,13
При гололедницѣ . . . . .	10	0,10

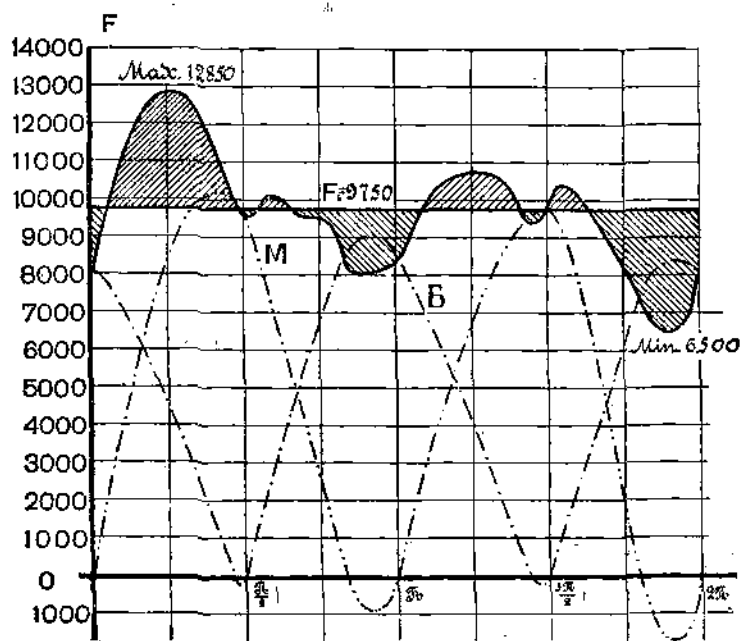
Въ исключительныхъ случаяхъ напримѣръ при смазываніи рельсовъ мыломъ, какъ это дѣлаютъ злоумышленники, при рельсахъ покрытыхъ полугнилыми листьями, саранчой, змѣями и т. п. коэффициентъ  $\varphi_0$  имѣетъ быть и ниже. Въ дѣлахъ борьбы съ подобными случайными уменьшеніями коэффициента  $\varphi_0$  предлагалось<sup>1)</sup> и предлагается очень много разныхъ средствъ, но изъ нихъ въ желѣзнодорожной практикѣ удержалось только одно простѣйшее—посыпаніе рельсъ пескомъ.

Это средство настолько распространено, что выборъ расчетнаго значенія  $\varphi_0$  сводится, собственно говоря, къ вопросу въ какой степени мы предполагаемъ пользоваться пескомъ. Если остановиться на  $\varphi_0 = \frac{1}{6}$ , то лѣтомъ песокъ можетъ потребоваться лишь въ исключительныхъ случаяхъ; если взять  $\frac{1}{4}$ , то по утрамъ на подъемы надо ѣздить съ пескомъ. Европейская практика и колеблется между этими предѣлами, въ Америкѣ же допускаютъ  $\varphi_0$  до  $\frac{1}{3}$ , т. е. употребленіе песка на подъемахъ дѣлаютъ хроническимъ. Въ частности у насъ въ Россіи при расчетахъ обычно берутъ лѣтомъ  $\frac{1}{\varphi_0} = 4,5 - 4,7$ , а зимой 5,0 — 5,5.

Что же касается величины  $\mu$ , показывающей насколько тах  $\Sigma F$  больше тах  $F_R$ , то она опредѣляется формой диаграммы каса-

<sup>1)</sup> См. Couche. Voie, materiel roulant et exploitation technique des chemins de fer. II, 1873. Стр. 279—289. Оттуда мы видимъ, что предлагающееся нынѣ намагничиваніе рельсовъ было испробовано еще въ 50-хъ и 60-хъ годахъ минувшаго столѣтія.

тельныхъ усилий для наибольшаго допускаемаго въ практикѣ наполненія цилиндра; чѣмъ эта послѣдняя (см. фиг. 4) ближе подходит къ прямой, тѣмъ  $\mu$  меньше. Поэтому въ паровозахъ съ симметричной машиной, гдѣ діаграмма  $\Sigma F$  получается путемъ сложения ординатъ двухъ идентичныхъ кривыхъ,  $\mu$  меньше, чѣмъ въ двухцилиндровыхъ компаундъ, гдѣ законы измѣненія давления въ обоихъ цилиндрахъ неодинаковы. Наименьшее же  $\mu$  получается у паровозовъ съ 4 шатунами. Правильнѣе всего величину



Фиг. 4.

$\mu$  для каждаго типа паровоза опредѣляютъ путемъ построения діаграммы касательныхъ усилий по снятымъ съ него индикаторнымъ диаграммам<sup>1)</sup>. Какъ образецъ такой діаграммы, на фиг. 4 приведена діаграмма для паровоза 0—4—0 Б<sup>7</sup> типа Армавирь-Туапсинской дороги (2 цилиндровой компаундъ съ перегрѣвомъ) при вполнѣ открытомъ регуляторѣ, впускѣ въ малый цилиндръ 0,6 и скорости 9 км/ч. Для этихъ условій согласно диаграммѣ  $\mu$  получилось равнымъ 0,32.

Для предварительныхъ же расчетовъ можно пользоваться средними значеніями  $\mu$  и  $\varphi$ , приведенными въ таблицѣ II и вы-

1) Подробности такого построения можно найти въ разныхъ учебникахъ, напр. см. Романовъ. Паровозы. 1903, стр. 45.

веденными на основаніи опытовъ съ разными типами паровозами лѣтомъ и зимой 1913 г. на Николаевской и М. Курской жж. дд.

Т а б л и ц а II.

Типъ паровоза	$1+\mu$	Значеніе $\frac{1}{\psi}$	
		лѣтомъ $1/\varphi_0 = 4,5$	зимой $1/\varphi_0 = 5,5$
Двухцилиндровый компаундъ . . .	1,3	6,0	7,0
Двухцилиндровый не компаундъ или 4 цилиндровый компаундъ съ двумя шатунами (Воксельъ, тандемъ). . .	1,2	5,5	6,5
Четырехцилиндровый съ 4 шатунами	1,1	5,0	6,0

§ 9. Ограниченіе силы тяги по размѣрамъ цилиндровъ. Формула 8 показываетъ, что сила тяги не можетъ быть больше

$$F_k = \eta_m \frac{1}{2D} \Sigma d^2 p_m = F_n,$$

гдѣ  $\eta_m$  и  $p_m$  суть наибольшія возможныя значенія коэффициента внутренняго тренія и средняго индикаторнаго давленія. Обычно у насъ наибольшее значеніе  $p_i$  опредѣляютъ или по формулѣ Петрова

$$p_i = 0,95 p_k \sqrt{(2 - \epsilon) \epsilon} - 1,5^1)$$

или изъ таблицъ фонъ Борриса, который даетъ для разныхъ типовъ паровозовъ наибольшія значенія

$$\alpha = \eta \frac{p_i}{p_k},^2)$$

гдѣ  $p_k$  есть давленіе въ котлѣ. И то, и другое безусловно невѣрно, ибо  $\eta$  и  $p_i$  для всѣхъ значеній открытія регулятора и отсѣчки суть функціи скорости. Это было указано еще Кларкомъ<sup>3)</sup> и

<sup>1)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д. (1889), стр. 360. Мухачевъ. Теорія и конструкція паровозовъ. Харьковъ. 1895. стр. 246.

<sup>2)</sup> Blum, von Borries, Barkhausen. Die Eisenbahn-Technik der Gegenwart. I. (1903). стр. 78.

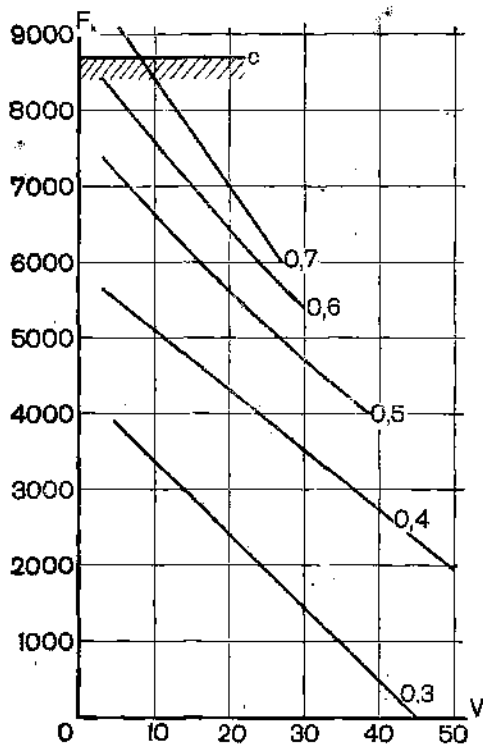
<sup>3)</sup> Clark. Railway Machinery. 1861. Стр. 67.



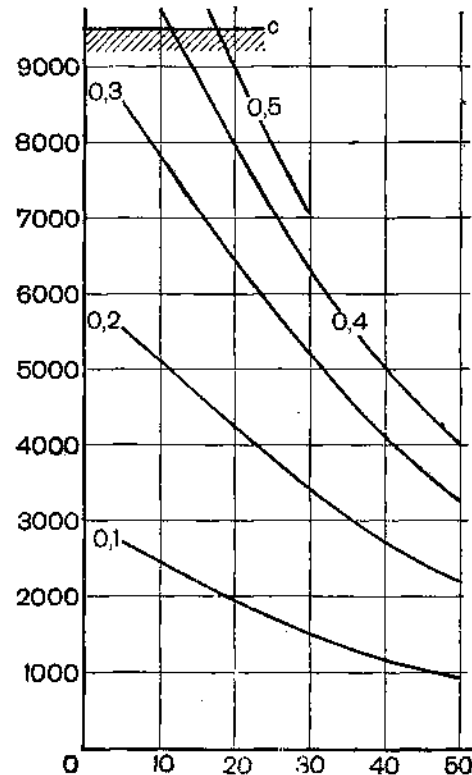
подтверждено всеми новейшими опытами <sup>1)</sup>. Для примѣра на фиг. 5—6 приведены опытные кривыя

$$F_k = \varphi(V)$$

для паровозовъ 0—4—0 нормального типа—компаундъ (сер. O<sup>н</sup>) и съ перегрѣвомъ не компаундъ (сер. O<sup>м</sup>); кривыя эти соотвѣтствуютъ полному открытію регулятора и впускамъ, написаннымъ на самыхъ кривыхъ. Изъ этихъ фигуръ мы видимъ что ограни-



Фиг. 5. 0—4—0 O<sup>н</sup>.



Фиг. 6. 0—4—0 O<sup>м</sup>.

ченіе силы тяги по цилиндрамъ выражается въ функціи скорости не горизонтальной прямой, какъ это слѣдуетъ изъ формулы Петрова, а рѣзко наклонной, какъ это изображено на фиг. 3 (Ц).

<sup>1)</sup> На стр. 195 моего „Опытнаго изслѣдованія паровозовъ компаундъ нормального типа“ приведена литература по этому вопросу. См. также: Четчтъ. Новый методъ расчета времени перегоновъ. 1910. Стр. 46. Теоретическое же обоснованіе паденія  $F_k$  вмѣстѣ со скоростью приведено въ печатающейся сейчасъ II части „Сравнительнаго изслѣдованія товарныхъ паровозовъ большой мощности“. Стр. 90, а равно въ моей книгѣ „Главнѣйшіе результаты изслѣдованія товарныхъ паровозовъ 0—4—0 и 1—4—0“. Стр. 34.

Точное построение такой прямой или вѣрнѣе кривой возможно только послѣ производства надъ даннымъ типомъ паровоза специальныхъ опытовъ, которые въ настоящее время уже выполнены надъ большинствомъ русскихъ паровозовъ. Результаты ихъ, необходимые для тяговыхъ расчетовъ, опубликованы въ видѣ литографированныхъ таблицъ <sup>1)</sup>, гдѣ приведены и кривыя  $F_k$  въ функціи скорости для разныхъ наполненій и открытій регулятора. Выбирая изъ нихъ кривую для полного открытій регулятора ( $q = 1$ ) и впуска  $\varepsilon = 0,7$ , мы найдемъ искомую кривую Ц. Для тѣхъ же паровозовъ, съ которыми не было произведено подобныхъ опытовъ, ее можно построить на основаніи таблицъ Надаля <sup>2)</sup> Брюкманна <sup>3)</sup> и др. Считать же  $F_k$  постоянной нельзя ни въ какомъ случаѣ, ибо такое предположеніе можетъ привести къ серьезнымъ ошибкамъ.

Впрочемъ надо имѣть въ виду, что ограниченіе силы тяги по цилиндрамъ имѣетъ реальное значеніе только для паровозовъ компаундъ, гдѣ впусками около 0,7 иногда приходится пользоваться. Размѣры же цилиндровъ у паровозовъ одиночнаго расширенія обычно выбираются такъ, чтобы наибольшая сила тяги соответствовала впускамъ 0,40—0,45. Сказанное хорошо иллюстрируется фиг. 5—6. У паровоза 0<sup>н</sup> даже впускъ 0,5 по сдѣленію возможенъ только при скоростяхъ выше 17 km/h.

**§ 10. Ограниченіе силы тяги по котлу.** Сущность этого ограниченія состоитъ въ томъ, что машина паровоза не можетъ продолжительное время расходовать пара болѣе, чѣмъ его даетъ котель. Иными словами, въ основу этого ограниченія положено равенство

$$U = zH, \dots \dots \dots 13$$

гдѣ  $U$  расходъ пара машиной,  $H$  поверхность нагрева, а  $z$  число килограммъ пара, получаемое съ одного квадратнаго метра этой поверхности. Если машина на полученіе одной паровой лошади расходуетъ  $U/N_k$  килограммъ пара, то  $U$  килограммъ пара даетъ

$$N_k = \frac{zH}{U/N_k}$$

паровыхъ лошадей, иными словами — съ одного метра поверхно-

<sup>1)</sup> Таблицы эти или, какъ ихъ называютъ „паспорта“, рассылаются казеннымъ дорогамъ Управленіемъ Ж. Д. и продаются въ складѣ изданій Института Инженеровъ Путей Сообщенія Императора Александра I.

<sup>2)</sup> Revue Générale. 1901. II S., стр. 216, 221, 225, 235.

<sup>3)</sup> Blum, v. Borries, Barkhausen. Die Eisenbahn-Technik der Gegenwart I. (1903). Стр. 330.

сти нагрѣва мы получимъ

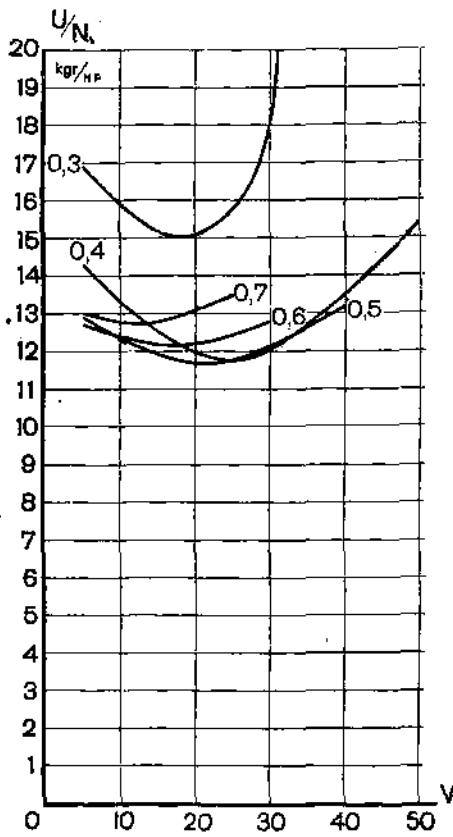
$$\frac{N_k}{H} = \frac{z}{U/N_k}$$

паровыхъ лошадей. Съ другой стороны, число паровыхъ лошадей

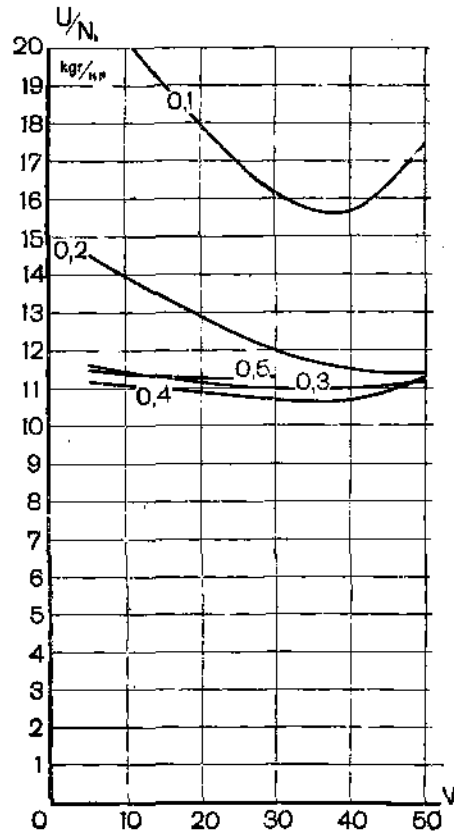
$$N_k = \frac{FV}{270}, \dots \dots \dots \text{III}$$

вслѣдствіе чего

$$F_k = \frac{270zH}{U/N_k} \frac{1}{V} \dots \dots \dots \text{IIIa}$$



Фиг. 7. 0—4—0 0.



Фиг. 8. 0—4—0 0<sup>a</sup>.

Если бы  $z$  и  $U/N_k$ , а значитъ и  $N_k$  были величинами постоянными, то, какъ показываетъ формула 10, сила тяги и скорость были бы связаны уравненіемъ равноплечей гиперболы.

Въ дѣйствительности, однако, этого никогда не бываетъ. Величину  $z$  при умѣломъ отопленіи паровоза можно поддерживать постоянной; но величина  $U/N_k$ , характеризующая совершенство работы паровоза измѣняется въ зависимости отъ скорости, открытія регулятора и отсѣйки. Это наглядно видно изъ фиг. 7—8,

гдѣ приведены кривыя  $UN_k$  въ функціи скорости для паровозовъ 0—4—0 при разныхъ наполненіяхъ и вполнѣ открытомъ регуляторѣ.

Съ другой стороны, такъ какъ часовой расходъ пара  $U$  есть тоже функція открытія регулятора  $q$ , отсѣчки  $\varepsilon$ , и скорости  $V$ , то условіе

$$U = zH \quad . . . . . 13$$

можно переписать подѣ видомъ

$$\varphi(q, \varepsilon, V, z) = 0 \quad . . . . . 13a$$

Кромѣ того, эти перемѣнныя связаны еще однимъ условіемъ

$$\psi(q, \varepsilon, V = 0) = 0 \quad . . . . . 14a$$

выражающимъ требованіе, чтобы машинистъ комбинировалъ  $q$  и  $\varepsilon$  наимыгоднѣйшимъ образомъ, т. е. чтобы при заданной работѣ

$$\frac{U}{N_k} = \min. \quad . . . . . 14$$

Исключая, помощью условій 13 и 14, изъ выраженія

$$\frac{U}{N_k} = \psi(q, \varepsilon, V).$$

$q$  и  $\varepsilon$ , мы получимъ, что

$$\frac{U}{N_k} = \psi_k(z, V);$$

иными словами, благодаря зависимостямъ 3 и 4, мы въ правѣ считать, что  $U/N_k$  зависитъ только отъ  $V$  и  $z$ .

Такимъ образомъ при заданномъ  $z$

$$F_k = \frac{270 zH}{U/N_k} \frac{1}{V}$$

удаляется отъ равноплечей гиперболы постольку, поскольку  $U/N_k$  зависитъ отъ скорости, и, надо сказать, что, несмотря на все разнообразіе типовъ паровозовъ, для всѣхъ нихъ кривая

$$F_k = \frac{270 zH}{U/N_k} \frac{1}{V},$$

ограничивающая силу тяги по котлу, имѣетъ (см. фиг. 3) ясно выраженный гиперболическій характеръ.

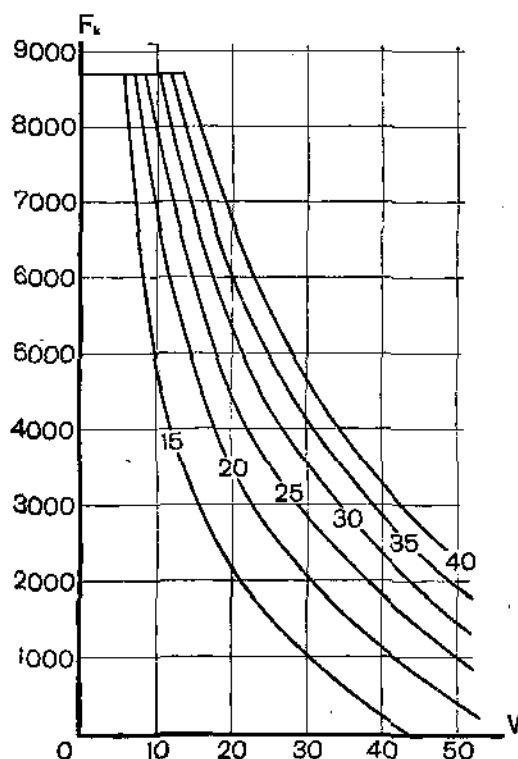
Получить точное очертаніе подобной кривой можно только на основаніи опытовъ съ даннымъ типомъ паровоза; для примѣра результаты такихъ опытовъ съ паровозами 0—4—0 нор-

мального типа приведены на фиг. 9, гдѣ цифры на кривыхъ означаютъ соответственныя  $z$ .

Какъ уже указывалось, большинство типовъ паровозовъ, употребляющихся на русской сѣти, прошло черезъ опыты и для нихъ кривыя

$$F_k = \varphi_k(z, V) \dots \dots \dots 15$$

приведены на литографированныхъ таблицахъ, о которыхъ рѣчь



Фиг. 9. 0—4—0, 0.

шла выше. Если же необходимо вести расчеты относительно паровоза, для котораго подобныя кривыя еще не получены, то волей-неволей приходится прибѣгать къ опытнымъ даннымъ, полученнымъ надъ подходящими типами, и къ эмпирическимъ формуламъ, выведеннымъ изъ этихъ опытовъ. Въ ряду такихъ формулъ наибольшей извѣстностью пользуются формулы Франка, который нашелъ, что паровозы Прусскихъ дорогъ при отопленіи ихъ вестфальскимъ углемъ при наибольшихъ практически возможныхъ  $z$  даютъ

$$\frac{N_k}{H} = A + BV^n,$$

гдѣ  $A$  и  $B$  суть постоянныя, а  $n$  число оборотовъ въ секунду <sup>1)</sup> Формула эта теоретически неправильна, ибо согласно ей при  $\Gamma = 0$

$$N_x = AH,$$

а не нулю, какъ это слѣдовало бы ожидать.

Эта неточность была исправлена Липецомъ, который показалъ, что данныя опытовъ Франка укладываются лучше въ формулу

$$\frac{N_x}{H} = \frac{a\sqrt{n}}{1 + \beta\sqrt{n}},$$

чѣмъ въ его собственную <sup>2)</sup>. Въ эту формулу очень хорошо укладывается и опыты другихъ изслѣдователей, что позволяетъ ею пользоваться, какъ общей для всѣхъ паровозовъ. Что же касается значеній  $a$  и  $\beta$ , то ихъ цѣлесообразнѣе всего для каждого паровоза и топлива опредѣлять изъ опыта; при отсутствіи же ихъ Липецъ, на основаніи опытовъ различныхъ изслѣдователей, предлагаетъ считать, что

$$a = \frac{6k(1 + 1,5\beta)}{1 + m\frac{H}{G}},$$

гдѣ  $G$  площадь колосниковой рѣшетки, а  $k$ ,  $\beta$  и  $m$  суть постоянныя, значенія которыхъ даны въ таблицѣ III. Тамъ же приведены и значенія  $a$ , подсчитанныя для пассажирскихъ паровозовъ при  $H/G = 60$  и для товарныхъ при  $H/G = 75$ .

Т а б л и ц а III. Липецъ.

Типъ паровоза			$k$	$m$	$\beta$	$a$
Назначеніе	П а р ь	Расширеніе				
Пассажирскій	Насыщенный	Простое . . .	1,00	0,016	0,10	3,6
		Компаундъ .	1,12	»	0,00	3,4
Товарный . .	Насыщенный	Простое . . .	1,00	0,018	0,07	2,8
		Компаундъ .	1,12	»	0,00	3,3

<sup>1)</sup> Hütte, II часть, русское изд. 1909 г., стр. 823.

<sup>2)</sup> Извѣстія Варшавскаго Политехническаго Института. 1901. II выпускъ.

Взаимъ формуль Франка, фонъ-Боррисъ предложилъ извѣстную таблицу, которая въ своемъ послѣднемъ изданіи<sup>1)</sup> при-

Т а б л и ц а IV. Значенія  $\frac{N_k}{H}$  по Боррису.

Типъ паровозовъ		Число цилиндровъ	Число оборотовъ движущихъ осей:										
Паръ	Расширеніе		1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0		
Пассажиры	Насыщенный	Одиночное	2	—	4,2	4,5	4,8	5,0	5,2	5,3	5,5	5,6	
		Компаундъ	2	—	4,5	5,1	5,6	6,0	6,4	6,7	6,9	7,0	
	Перегрѣтый	Одиночное	2	—	6,9	6,3	6,7	7,0	7,2	7,4	7,6	7,7	
		Компаундъ	2	—	7,0	7,5	8,0	8,3	8,8	9,0	9,2	9,3	
	»	»	Одиночное	2	—	7,5	8,5	9,3	10,0	10,7	11,2	11,5	11,7
			Компаундъ	4	—	9,8	10,5	11,2	11,7	12,0	12,3	12,6	12,8
Товарные	Насыщенный	Одиночное	2	3,5	3,8	4,1	4,3	4,5	—	—	—	—	
		Компаундъ	2	3,8	4,2	4,5	4,8	5,0	—	—	—	—	
	Перегрѣтый	Одиночное	2	6,4	7,0	7,5	7,9	8,2	—	—	—	—	
		Компаундъ	2—4	6,6	7,3	7,8	8,3	8,6	—	—	—	—	

ведена здѣсь полностью. Кромѣ того въ недавнее время была еще предложена формула Рихтера

$$\frac{N}{H} = 0,775 (a - 0,6n) \sqrt{n},$$

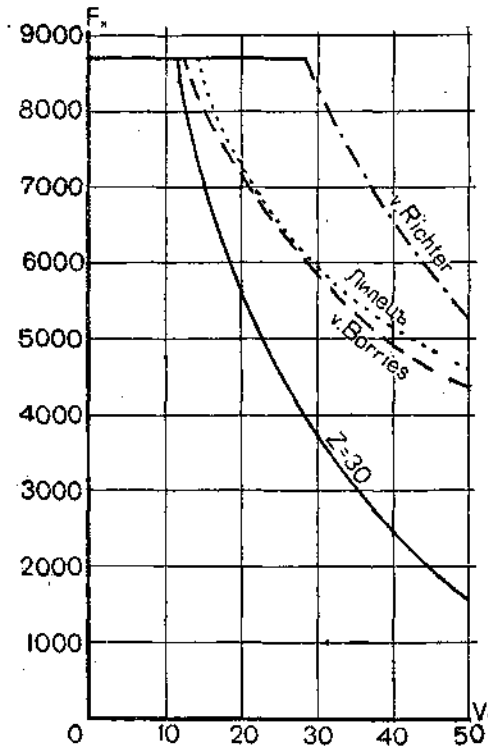
гдѣ  $a$  имѣеть значенія, показанныя въ таблицѣ V.

Т а б л и ц а V. Рихтеръ.

Паръ	Расширеніе	Число цилиндровъ	$a$
Насыщенный	Одиночное . . . . .	—	6,0
	Компаундъ . . . . .	2	6,5
	» . . . . .	4	7,5
Перегрѣтый	Одиночное . . . . .	—	7,0
	Компаундъ . . . . .	4	8,0

<sup>1)</sup> Lotter. Handbuch zum Entwerfen regelspuriger Dampf-Lokomotiven 1909. стр. 13.

Чтобы оценить всё эти формулы, на фиг. 10 сопоставлены кривые  $F_k$ , получаемые по нимъ для паровоза 0—4—0 нормального типа, съ опытной кривой для этого паровоза при  $z = 30$ , что для угольного отопления является не всегда достижимымъ



Фиг. 10. 0—4—0, 0°.

предѣломъ. Изъ этой фигуры мы видимъ, что данныя самыхъ распространенныхъ формулъ и таблицъ весьма далеки отъ дѣйствительности и потому ими слѣдуетъ пользоваться съ чрезвычайной осторожностью.

§ 11. Полученіе зависимости  $F_k = \varphi_k(z, V)$  изъ опытныхъ данныхъ. Получить эту зависимость рядомъ непосредственныхъ измѣреній нельзя, ибо на паровозахъ нѣтъ и не можетъ быть такого прибора, который бы показывалъ, какъ велико въ данный моментъ  $z$ . Поэтому для того, чтобы изъ опытныхъ данныхъ получить

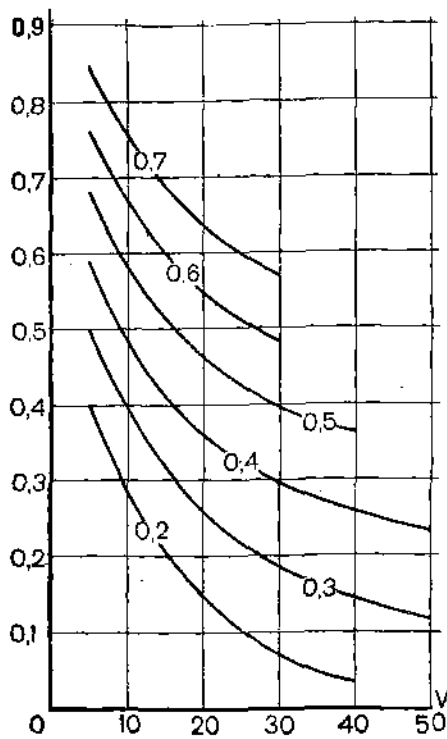
$$F_k = \varphi_k(z, V) \dots \dots \dots 15$$

ихъ надо переработать опредѣленнымъ образомъ. Такъ какъ съ одной стороны существуетъ не мало паровозовъ, подвергавшихся довольно полному опытному изслѣдованію, результаты котораго

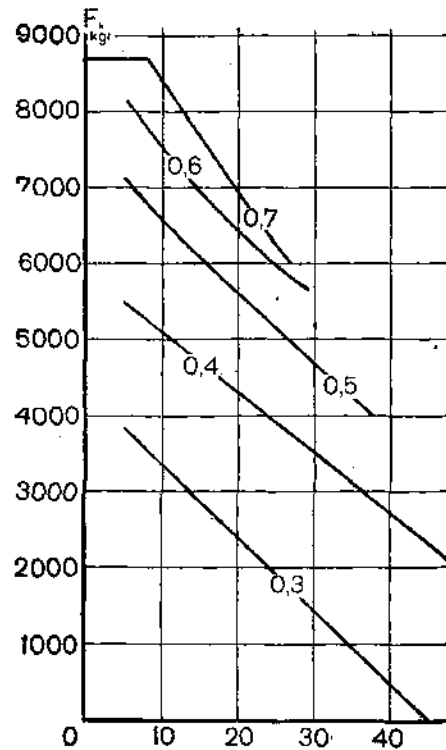


не прошли через такую обработку<sup>1)</sup>, а съ другой фиг. 10 наглядно показывает насколько полезно имѣть опытную кривую  $F_k$  по котлу, то здѣсь уместно указать основные приемы этой обработки.

Исслѣдованіе работы всякой паровой машины сводится къ измѣренію ея работы и расхода пара. Результаты такихъ измѣреній можно представлять въ самыхъ разнообразныхъ формахъ. Въ частности въ паровозахъ наиболѣе удобно эти данныя изображать для каждаго открытія регулятора въ видѣ двухъ пучковъ кривыхъ, приведенныхъ для паровоза 0—4—0 нормальнаго типа при полномъ открытіи регулятора на фиг. 11 и 12.



Фиг. 11. 0—4—0, 0°.



Фиг. 12. 0—4—0, 0°.

На второй изъ нихъ даны кривыя

$$F = \varphi(V)$$

<sup>1)</sup> Напримѣръ паровозы серии Г (2—3—0), Ш (1—4—0) и Д (2—2—0) Влж. ж. д., результаты опытовъ надъ которыми изложены въ приложеніи къ протоколамъ XXV С. Съѣзда сл. тяги подъ заглавіемъ „Исслѣдованія и опытныя данныя о работѣ паровозовъ трехъ новѣйшихъ типовъ Влж. ж. д.“ или паровозы серии Р (1—4—0 М. В. Р. ж. д.), опытныя данныя о которыхъ разбросаны въ трудахъ А. О. Чечотта.

для разныхъ наполненій, а на первой кривья расхода пара за одинъ ходъ поршня.

$$U = \psi(V)$$

для тѣхъ же наполненій. Задача обработки этихъ кривыхъ, о которыхъ сейчасъ идетъ рѣчь, состоитъ въ томъ, чтобы изъ перваго пучка представляющаго собой зависимость

$$F_k = \varphi(\varrho, \varepsilon, V)$$

помощью условій

$$\varphi(\varrho, \varepsilon, V, z) = 0 \quad \dots \dots \dots 13a$$

и

$$\psi(\varrho, \varepsilon, V) = 0 \quad \dots \dots \dots 14a$$

исключить отсѣчку  $\varepsilon$  и открытіе регулятора  $\varrho$  и получить зависимость

$$F_k = \varphi_k(z, V) \quad \dots \dots \dots 15$$

Какъ было указано выше, зависимость 13a представляетъ изъ себя ничто иное, какъ равенство

$$U = zH \quad \dots \dots \dots 13$$

между расходомъ пара машиной и паропроизводительностью котла. Подъ символомъ  $U$  въ этой формулѣ подразумѣвается часовая расходъ пара, а на фиг. 12 приведены значенія расхода пара за одинъ ходъ поршня  $u$ . Очевидно, между этими двумя величинами существуетъ опредѣленная зависимость. Именно

$$U = kux,$$

гдѣ  $k$  есть число ходовъ поршня за одинъ оборотъ движущихъ колесъ <sup>1)</sup>, а  $x$  число оборотовъ въ часъ. Въ свою очередь

$$x = \frac{10^6 V}{\pi D},$$

гдѣ  $D$  діаметръ движущихъ колесъ въ м/м; откуда

$$U = \frac{10^6 k V}{\pi D} u \quad \dots \dots \dots (16)$$

Приравнивая это выраженіе къ  $zH$ , мы видимъ, что въ координатахъ  $u$  и  $V$  условіе 13 приводится къ уравненію равноплечей

<sup>1)</sup> Для паровозовъ компаундъ о двухъ цилиндрахъ  $k = 2$ , для 4 цилиндровыхъ компаундъ и 2 цилиндриковыхъ не компаундъ—4, а для 4 цилиндриковыхъ не компаундъ—8.

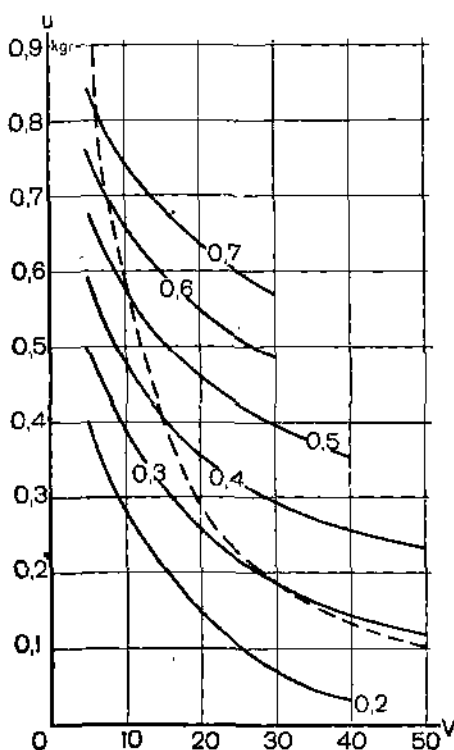
гиперболы

$$uV = \frac{zH\pi D}{10^2 \kappa} = \text{пост.} \dots \dots \dots 136$$

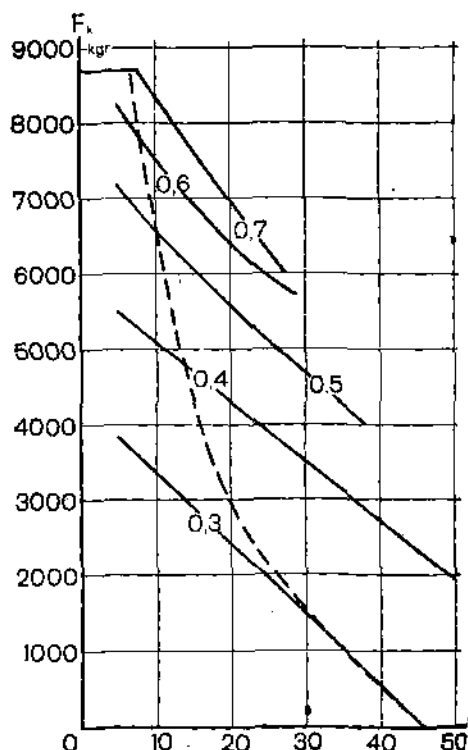
Для примѣра на фиг. 13 такая гипербола для  $z = 20$  нанесена на пучекъ кривыхъ

$$u = \psi(V),$$

изображенный на фиг. 12. Она показываетъ, какое количество пара на одинъ ходъ поршня должна расходовать машина при



Фиг. 13. 0-4-0, 0°.



Фиг. 14. 0-4-0, 0°.

разныхъ скоростяхъ, если требуется, чтобы ея расходъ точно равнялся паропроизводительности котла, и если эта послѣдняя равна 20 кгг. пара съ 1м<sup>2</sup> въ часъ. Взаимное же расположеніе этой гиперболы и кривыхъ

$$u = \psi(V)$$

указываетъ намъ, какъ надо измѣнять отсѣчку съ измѣненіемъ скорости, чтобы это равенство не нарушилось. Напримѣръ, если мы съ отсѣчкой  $z = 0,5$  поѣдемъ со скоростью  $V = 5$ , то очевидно машина будетъ расходовать пара меньше, чѣмъ даетъ ко-

тель при  $z = 20$ ; при скорости же 30 км/ч этой степени форсировки котла оказывается уже недостаточно для  $\varepsilon = 0,5$ ; при скорости же 10 км/ч, гдѣ кривая и для  $\varepsilon = 0,5$  пересѣкается съ гиперболой, расходъ пара машиной какъ разъ соотвѣтствуетъ  $z = 20$ .

Переносъ поэтому скорости, соотвѣтствующія такимъ пересѣченіямъ, на соотвѣтственныя кривыя фиг. 11, мы найдемъ такія значенія  $F_k$ , которыя при полномъ открытіи регулятора отвѣчаютъ  $z = 20$ . Соединяя же, какъ показано на фиг. 14, эти значенія  $F_k$  плавной кривой мы получимъ кривую

$$F_k = \varphi_1(z, V) \dots \dots \dots (*)$$

для вполне открытаго регулятора. Иными словами мы исключили изъ выраженія

$$F_k = \varphi(\varrho, \varepsilon, V)$$

помощью равенства

$$\Phi(\varrho, \varepsilon, V) = 0 \dots \dots \dots 13a$$

отсѣчку. Теперь намъ остается изъ (\*) исключить  $\varrho$  помощью равенствъ

$$\Psi(\varrho, \varepsilon, V) = 0 \dots \dots \dots 14a$$

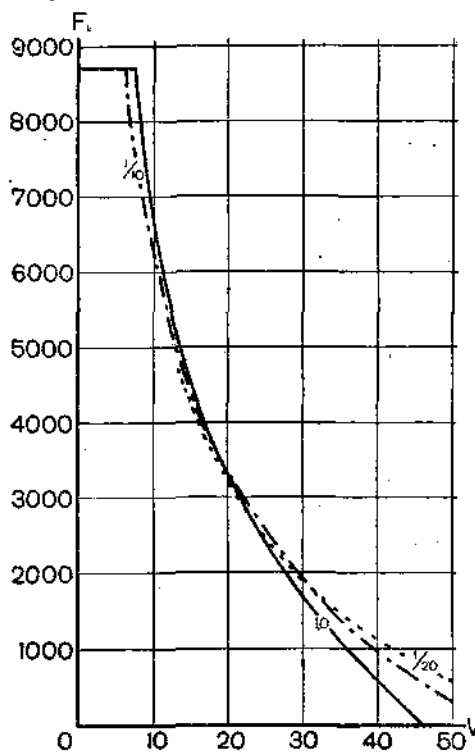
Для этой цѣли наносимъ на одинъ планшетъ кривыя

$$F_k = \varphi_1(z, V)$$

для  $z = 20$ , полученныя указаннымъ выше образомъ для разныхъ открытій регулятора, какъ это сдѣлано на фиг. 15. Такъ какъ всѣ эти кривыя соотвѣтствуютъ одному и тому же

$$U = zH,$$

то взаимное ихъ расположеніе для разныхъ  $\varrho$ , обуславливается исключительно тѣмъ, что, при одной и той же скорости для разныхъ  $\varrho$  значенія



Фиг. 15.

$$\frac{U}{N_k} = \frac{270 z H}{V F_k}$$

различны. Именно эта фигура показывает, что при  $z = 20$  и скоростях до 20 км/ч на паровозах нормального типа выгоднее всего входить с вполне открытым регулятором ( $q = 1$ ), ибо при том же расходе пара это открытие даст наибольшую работу. При скоростях же между 20 и 30 км/ч наивыгоднейшим открытием является  $1/10$ , а при скоростях больше 30 км/ч —  $1/20$  т. е. на малый клапанъ. Проводя поэтому на фиг. 15 объемлющую, мы получимъ искомую зависимость

$$F_k = \varphi(z, V)$$

для  $z = 20$ . Точно также получаются кривыя и для другихъ  $z$ .

§ 12. Распространение данныхъ, полученныхъ при опытахъ съ однимъ типомъ паровоза, на другой. Могутъ быть случаи, когда для типа паровоза, для котораго приходится производить тяговые расчеты не только нѣтъ, но и не можетъ быть опытныхъ данныхъ, напримѣръ при проектированіи новаго типа. Въ этомъ случаѣ приходится или пользоваться формулами и таблицами, приведенными на стр. 25—26 или распространять на новый типъ опытные данныя, полученные для какого либо близкаго къ нему стараго типа. Фиг. 10 и довольно удачное примѣненіе втораго приема къ паровозамъ, съ которыми затѣмъ производились опыты, заставляють отдать предпочтеніе этому послѣднему. Конечно нельзя данныя, полученные при опытахъ съ паровозомъ, работающимъ насыщеннымъ паромъ, распространять на паровозы съ перегрѣвомъ, или данныя, относящіяся къ обыкновенному золотниковому распредѣленію, на паровозы съ машиной Штумпфа. Если же два паровоза отличаются другъ отъ друга главнымъ образомъ размѣрами машины, а не системы ея, то этотъ приемъ заслуживаетъ полного довѣрія.

Вмѣсто того, чтобы подробно описывать, какъ слѣдуетъ пользоваться этимъ приемомъ на практикѣ, приведемъ въ видѣ примѣра построение кривой

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

при  $z = 50$  для непостроеннаго еще паровоза 2—3—1 Л. Влк. ж. д. на основаніи опытовъ съ паровозомъ 2—3—0 Ку М. Казанской ж. д.

Оба эти паровоза не компаунды съ высокоперегрѣтымъ паромъ, но у Ку два цилиндра діаметромъ 580 мм при ходѣ 650 мм, а у Л четыре діаметромъ 460 мм при ходѣ тоже 650 мм. Сверхъ того у Ку давленіе въ котлѣ 13 кгг/см<sup>2</sup> и діаметръ движущихъ колесъ 1880 мм, а у Л  $p_k = 12$  кгг/см<sup>2</sup> и

$D = 1840$  m/m. Поэтому сила тяги на ободѣ для перваго паровоза выражается формулой

$$F_k = \xi \eta \frac{d^2 l}{D} p_k \simeq 15000 \xi \eta,$$

гдѣ

$$\xi = \frac{p_i}{p_k}$$

есть отношеніе средняго индикаторнаго давленія къ давленію въ котлѣ, или такъ называемый *индикаторный* коэффициентъ, а для втораго формулой

$$F_k = \xi \eta 2 \frac{d^2 l}{D} \simeq 18000 \xi \eta;$$

съ другой стороны, въ то время какъ для паровоза К<sup>у</sup> зависимость между скоростью и числомъ оборотовъ въ секунду выражается формулой

$$V = \frac{\pi D}{278} n = 21,1 n,$$

для паровоза Л формулой

$$V = 20,0 n$$

Поэтому, если предположить, что въ обоихъ паровозахъ зависимость

$$\xi \eta = f(n)$$

тождественна, то для построенія кривыхъ

$$F_k = \varphi(q, \varepsilon, V)$$

для паровоза Л, по такимъ же кривымъ для К<sup>у</sup>, абсциссы этихъ послѣднихъ надо уменьшить въ отношеніи

$$\frac{20}{21,1} = 0,95,$$

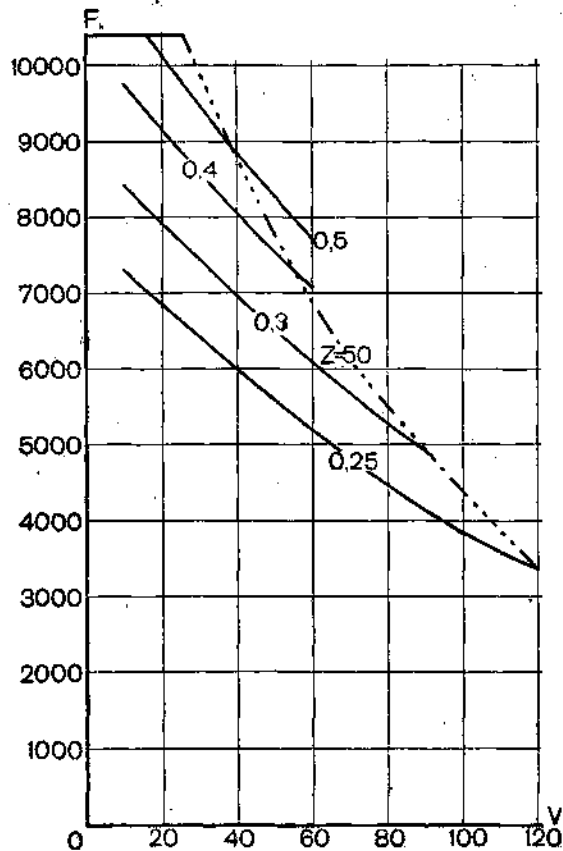
а ординаты увеличить въ отношеніи

$$\frac{18000}{15000} = 1,2.$$

Это и исполнено на фиг. 16 для наиболѣе употребительныхъ комбинацій  $q$  и  $\varepsilon$  въ скорой службѣ, а именно, для впусковъ 0,4, 0,3 и 0,25 при вполнѣ открытомъ регуляторѣ и для 0,25 при регуляторѣ открытомъ на  $\frac{1}{3}$  и  $\frac{1}{10}$ .

Что же касается расхода пара за одинъ ходъ поршня, то его при заданномъ наполненіи можно считать пропорціональнымъ объему цилиндровъ высокаго давленія и плотности пара при давленіи въ котлѣ т. е. считать что для паровоза К<sup>У</sup>

$$u = \beta \frac{\pi d^2}{4} l \delta_k = \beta d^2 l \delta_k = 154 \cdot 10^4 \beta$$



Фиг. 16.

а для Л

$$u = \beta 2 d^2 l \delta_k = 180 \cdot 10^4 \beta$$

Поэтому если считать, что зависимость

$$\beta = \varphi(n)$$

для обоихъ этихъ паровозовъ совершенно одинакова, то для перехода отъ кривыхъ

$$u = \psi(V)$$

полученных для  $K^2$  къ такимъ же кривымъ для  $\Pi$  ординаты первыхъ надо увеличить въ отношеніи

$$\frac{180}{154} = 1,17,$$

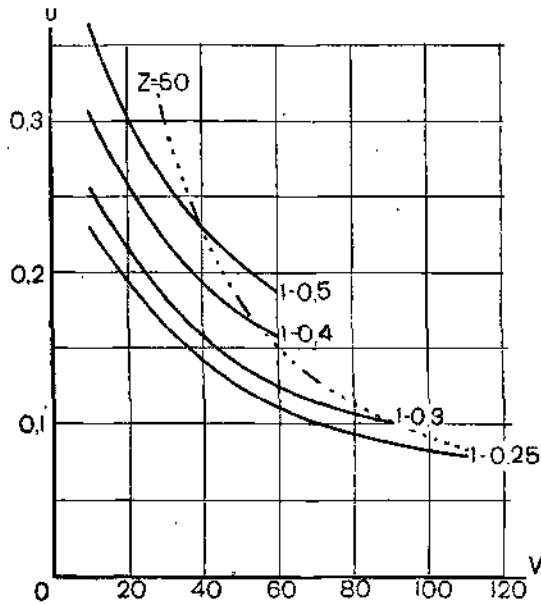
а абсциссы попережнему уменьшить въ отношеніи 0,95.

Кривыя

$$u = \psi(V)$$

можно построить и иначе. Именно допуская, что у обоихъ паровозовъ кривыя

$$\frac{U}{N_k} = f(V)$$



Фиг. 17.

тождественны, мы можемъ на основаніи зависимости

$$N_k = \frac{F_k V_k}{270} \dots \dots \dots \text{III}$$

построить для новаго паровоза

$$U = \Phi(V),$$

и затѣмъ на основаніи равенства

$$U = \frac{10^6 \pi V}{\pi D} u \dots \dots \dots 16$$

искомую зависимость

$$u = \psi(V).$$



Для того, чтобы построить искомую кривую

$$F_k = \varphi_k(z, V), \dots \dots \dots 15$$

мы должны были бы, какъ указано въ предыдущемъ §, построить кривыя  $F_k$  и  $u$  для нѣсколькихъ  $\rho$ , пересѣчь послѣднія гиперболой

$$uV = \frac{50 H \pi D}{10^6 \rho}$$

построить для  $z = 50$  и разныхъ  $\rho$  кривыя

$$F_k = \varphi_1(V)$$

и затѣмъ провести къ нимъ объемлющую. Однако для предварительныхъ расчетовъ можно примѣнять болѣе простой приемъ. Изъ опытовъ съ паровозомъ Ку выяснилось, что уменьшать впуски ниже 0,25 на немъ невыгодно; для реализаціи же малыхъ  $F_k$  слѣдуетъ прикрывать регуляторъ. Полагая, что для паровоза Л наивыгоднѣйшимъ окажется этотъ же приемъ управленія паровозомъ, мы можемъ считать, что пунктирная кривая фиг. 16, полученная путемъ пересѣченія кривыхъ фиг. 17 гиперболой

$$uV = \frac{50 H \pi D}{10^6 \rho}$$

и есть искомая кривая

$$F_k = \varphi_k(z, V).$$

### § 13. Выборъ $z$ . При пользованіи кривыми

$$F_k = \varphi_k(z, V), \dots \dots \dots 15$$

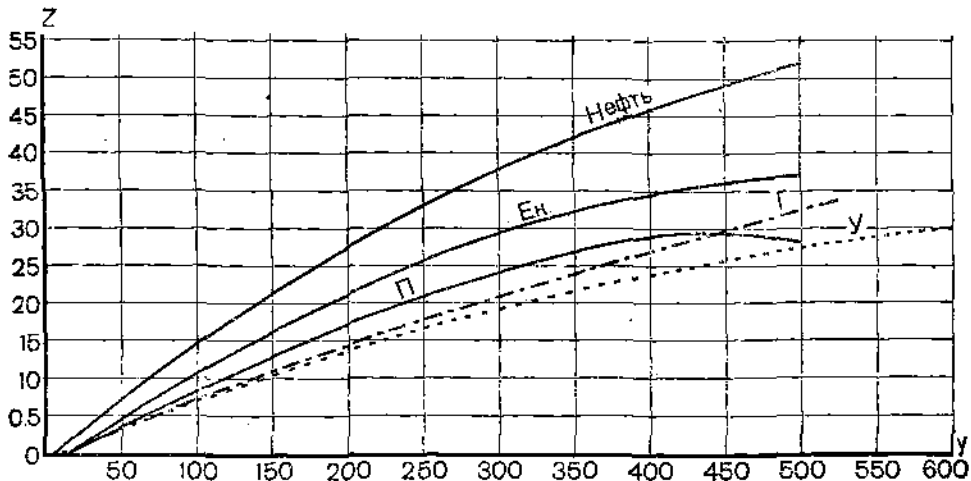
безразлично полученными ли для даннаго типа паровоза изъ непосредственнаго опыта или путемъ указаннымъ въ предыдущемъ §, мы неизбежно сталкиваемся съ вопросомъ, какимъ же  $z$  надлежитъ задаваться при расчетахъ.

Какъ известно, для каждаго паровоза и сорта топлива существуетъ вполне опредѣленная зависимость между расходомъ пара и топлива, или, что тоже, между  $z$  и числомъ килограммъ топлива  $y$ , сжигаемымъ въ часъ на 1 кв. метрѣ площади рѣшетки <sup>1)</sup>. Примѣромъ такой зависимости могутъ служить кривыя

<sup>1)</sup> Зависимости эти для разныхъ сортовъ топлива приводятся въ издаваемыхъ для русскихъ паровозовъ, прошедшихъ черезъ опыты, таблицахъ (паспортахъ). Изслѣдованію этой зависимости у нормальныхъ паровозовъ посвящена очень интересная брошюра инж. Крушевскаго: „Badania parownawcze wegla kamiennych z zagłebi Dambrowskiego, Donieckiego i Angielskich jako paliwa pod kotlem parowozowym. 1914.

фиг. 18, полученные во время опытов надъ паровозами 0—4—0 нормальнаго типа. Благодаря такой зависимости увеличение  $z$  неизбежно влечетъ за собой увеличение  $y$ , т. е. количества топлива сжигаемаго въ часъ. Съ другой стороны, какъ показываетъ фиг. 9, съ увеличеніемъ  $z$  возрастаетъ и сила тяги; иными словами поѣздъ даннаго вѣса можно вести по заданному участку съ разными скоростями, въ зависимости отъ того, сколько даннаго топлива мы будемъ сжигать въ часъ.

Такимъ образомъ задача о выборѣ  $z$  сводится къ выясненію, что выгоднѣе: везти поѣзда скорѣе или жечь меньше топлива. Вопросъ этотъ чисто коммерческій и рѣшеніе его находится въ зависимости не только отъ условій пропускной способности, размѣровъ издержекъ перевозки, но и отъ физическихъ свойствъ



Фиг. 18. 0—4—0, 0°.

Ек. Лучшій спекулюційся донецкій уголь; П—испекулюційся ниже середняго;  
Г—Добровскій; У—Западно-Уральскій.

перевозимыхъ продуктовъ. Естественно, что разсматривать его во всей поднобѣ въ настоящей чисто технической книгѣ было бы неумѣстно; и потому мы ограничимся лишь краткимъ изложеніемъ тѣхъ основныхъ выводовъ, къ которымъ привели спеціальныя изслѣдованія этого вопроса <sup>1)</sup>.

Прежде всего можетъ считаться доказаннымъ, что для всякаго типа паровоза и данныхъ условій перевозокъ существуютъ

<sup>1)</sup> Извѣстія Общаго Бюро Совѣтательныхъ Сѣздовъ. 1912. Стр. 1126. Ломоносовъ. „Научныя Проблемы.“ 1914, стр. 201.

своя наивыгоднѣйшая степень форсировки котла  $z$ , которая соответствуетъ наибольшей прибыли, получаемой дорогой. Величина такой форсировки съ одной стороны, помимо типа паровоза и условій пропускной способности, зависитъ въ значительной степени отъ цѣны топлива, а съ другой стороны оттого, насколько, въ зависимости отъ рода перевозки, кліенты дороги склонны оплачивать увеличеніе  $V$  и  $z$ , т. е. оттого въ какой мѣрѣ это увеличеніе можно компенсировать увеличеніемъ тарифовъ. Напримѣръ, при перевозкѣ руды или удобрительныхъ тукозовъ увеличеніе  $z$  за предѣлы, опредѣляемые минимумомъ себестоимости, очевидно не выгодно, ибо никто не согласится отправлять ихъ большой скоростью по повышенному тарифу; при перевозкѣ же высокоцѣнныхъ и скоропортящихся грузовъ, и особенно людей, увеличеніе скорости и  $z$  до извѣстнаго предѣла охотно оплачивается кліентами дороги. Независимо отъ сего, паровозы съ перегрѣтымъ паромъ вообще требуютъ большихъ  $z$ , чѣмъ съ насыщеннымъ. Нефть, какъ показываетъ фиг. 18, допускаетъ значительно большіе  $z$ , чѣмъ уголь; при одномъ и томъ же топливѣ, чѣмъ оно дороже, тѣмъ менѣе выгодно увеличивать  $z$ .

Изъ сказаннаго дѣлается яснымъ, что разысканіе наивыгоднѣйшаго  $z$  представляетъ изъ себя задачу чрезвычайно сложную и притомъ выходящую за предѣлы компетенціи тѣхъ инженеровъ, которымъ приходится вести тяговые расчеты. Къ счастью колебанія  $z$  вблизи наивыгоднѣйшаго ея значенія чрезвычайно слабо отражаются на величинѣ издержекъ перевозки. Поэтому нѣкоторая ошибка въ выборѣ  $z$  не влечетъ за собой серьезныхъ послѣдствій. Кромѣ того выборъ  $z$  въ значительной степени ограниченъ формой кривой

$$z = \varphi(y)$$

для даннаго топлива. Изъ фиг. 18, напримѣръ, очевидно, что, сколь бы выгодно не было форсировать котель, при неспекающихся донецкихъ и уральскихъ угляхъ, получить на нормальномъ паровозѣ  $z$  больше 28 — 30 kgr/m<sup>2</sup> h. — совершенно невозможно.

Все это даетъ мнѣ право для выбора  $z$  при расчетахъ, не претендующихъ на особую точность, предложить табл. VI. Цыфры, приведенныя въ ней обыкновеннымъ шрифтомъ, проверены специальными опытами и экономическими подсчетами, а цыфры, приведенныя курсивомъ взяты до извѣстной степени наугадъ, на основаніи опытовъ съ другими паровозами.

Т а б л и ц а VI.

Серія паровоза	Типъ паровоза	Нефть	Хорошіе доленкіе, сибирскіе и домбровскіе угли	Угли уральскіе, подмосковныя и шиханскіе
О <sup>д</sup> , О <sup>д</sup> , О <sup>в</sup>	0—4—0 нормального типа	23—40	23—30	22—25
О <sup>в</sup>	Тоже не компаундъ съ перегрѣвомъ . . . . .	25—40	25—35	23—28
Щ	1—4—0 вѣм. китайскаго типа	20—30	18—25	18—25
Щ <sup>в</sup>	Тоже не компаундъ съ перегрѣвомъ . . . . .	25—45	20—35	20—28
Ы	0—4—0 Армавирь—Туапсинской ж. д. съ перегрѣвомъ	25—40	25—35	23—28
Н <sup>д</sup> , Н <sup>в</sup> , Н <sup>у</sup>	1—3—0 типа Ник. ж. д. . . . .	40—60	35—50	30—35
С	1—3—1 Прери . . . . .	35—45	30—40	25—30
Б	2—3—0 типа Брянскаго зав. . . . .	35—50	30—40	20—25
К	Тоже Коломенскаго завода . . . . .	35—50	30—45	25—30
К <sup>у</sup>	Тоже М. Казанской ж. д. . . . .	35—50	30—45	—
У	2—3—0 типа де Глена безъ перегрѣва . . . . .	40—55	—	—
У <sup>у</sup>	Тоже съ перегрѣвомъ . . . . .	40—55	—	—

§ 14. Колебанія  $\varepsilon$ . Какъ бы мы ни опредѣляли наивыгоднѣйше  $\varepsilon$ , отъ него въ дѣйствительности постоянно приходится отказываться. Во первыхъ, по условіямъ расположенія станцій и развѣздовъ на затяжныхъ подъемахъ, очень часто оказывается, что уложитъ на графикъ требуемое число побѣдовъ возможно только при нѣкоторомъ увеличеніи скорости движенія по этимъ подъемамъ противъ той, которая опредѣляется наивыгоднѣйшимъ  $\varepsilon$ . Во вторыхъ, на площадкахъ и легкихъ уклонахъ наивыгоднѣйшее  $\varepsilon$  очень часто даетъ такія скорости, которыя превышаютъ дозволенныя по конструкціи пути и паровоза. Въ третьихъ, даже при возможности держаться наивыгоднѣйшаго  $\varepsilon$  на практикѣ, достигъ этого чрезвычайно трудно, ибо такой способъ управленія паровозомъ, особенно при волнистомъ профилѣ, требовалъ бы непрерывнаго измѣненія положенія регулятора и переводнаго механизма, что помимо прочаго отвлекало бы вниманіе

машиниста отъ пути и сигналовъ. Въ четвертыхъ, специальныя изслѣдованія показываютъ, что желательнѣе какъ можно шире пользоваться абсолютно наивыгоднѣйшими наполненіями, т. е. такими, для которыхъ

$$\frac{U}{N_k} = \min \dots \dots \dots 14$$

Иными словами оказывается, что сохраненіе наивыгоднѣйшаго  $z$  далеко не всегда возможно, а иногда даже и невыгодно.

А если такъ, то естественно возникаетъ вопросъ, правильно ли мы рѣшили задачу объ исключеніи изъ выраженій

$$\frac{U}{N_k} = \psi(\varrho, \varepsilon, V)$$

$$F_k = \varphi(\varrho, \varepsilon, V)$$

открытія регулятора  $\varrho$  и отсѣчки  $\varepsilon$  помощью условий

$$\Phi(\varrho, \varepsilon, V, z) = 0 \dots \dots \dots 13a$$

$$\Psi(\varrho, \varepsilon, V) = 0 \dots \dots \dots 14a$$

Именно мы пользовались ими въ томъ порядкѣ, какъ они написаны, т. е. сперва мы находили изъ перваго условія комбинаціи  $\varrho$ ,  $\varepsilon$  и  $V$ , соответствующія данному  $z$ , а затѣмъ изъ числа этихъ комбинацій брали тѣ, которыя давали наименьшія значенія  $U/N_k$ . Между тѣмъ, какъ согласно сказанному, представляется какъ будто болѣе правильнымъ сперва опредѣлить абсолютно наивыгоднѣйшія комбинаціи  $\varrho$ ,  $\varepsilon$  и  $V$  а затѣмъ изъ нихъ взять такія, которыя, во первыхъ, технически осуществимы, а во вторыхъ, которыя наилучшимъ образомъ удовлетворяютъ противорѣчивымъ требованіямъ пропускной способности, предѣльныхъ скоростей и коммерческихъ подсчетовъ о наивыгоднѣйшемъ  $z$ .

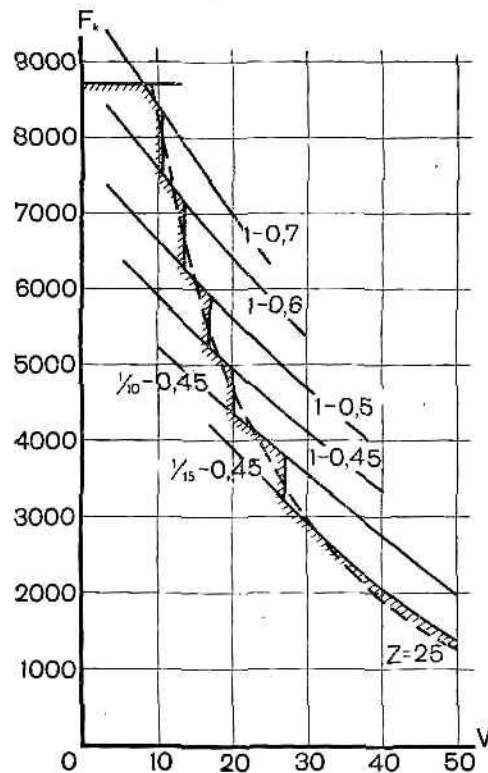
Для того, чтобы выяснитъ этотъ, очень для насъ важный, вопросъ, обратимся къ частному примѣру и посмотримъ, насколько та или иная послѣдовательность въ полученіи кривой

$$F_k = \varphi_k(z, V) \dots \dots \dots 15$$

можетъ отразиться на ея очертаніи.

Пусть на нѣкоторомъ участкѣ для паровоза 0—4—0 компаундъ нормального типа при отопленіи среднимъ донецкимъ углемъ допускающимъ  $z \leq 30$ , коммерчески наивыгоднѣйшей форсировкой котла является  $z = 25$ . Иными словами для этого слу-

чая по коммерческимъ соображеніямъ слѣдуетъ пользоваться кривой 25 фиг. 9, перенесенной въ видѣ пунктирной кривой на фиг. 19. Фактическое же осуществленіе такого требованія будетъ приближаться къ кривой, отмѣченной на этой фигурѣ штриховкой, ибо въ действительности измѣненіе  $\rho$  и  $\varepsilon$  будетъ производиться скачками, а не непрерывно. По идеѣ же обѣ эти линіи построены совершенно одинаково. Именно сперва были найдены такія комбинаціи, которыя удовлетворяютъ условію  $z = 25$ , а затѣмъ изъ нихъ отобраны тѣ, которыя сверхъ того удовлетворяютъ условію наивыгоднѣйшаго регулированія машины. Для даннаго



Фиг. 19.

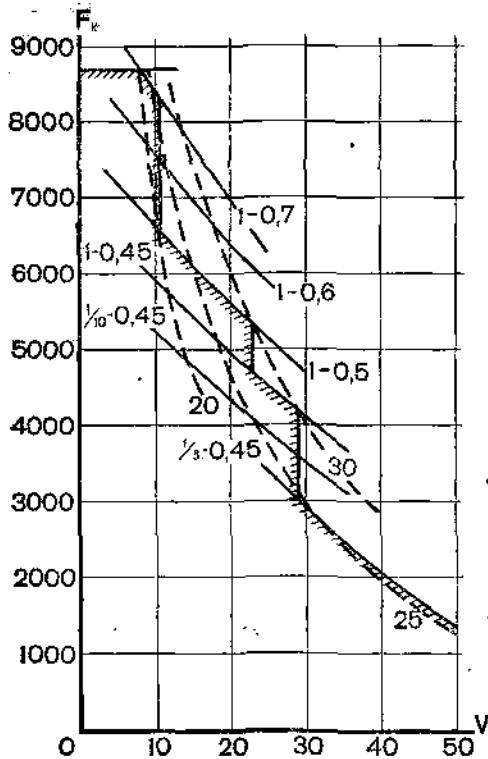
паровоза это послѣднее сводится къ тому, чтобы значенія силы тяги меньшей, чѣмъ даетъ при данной скорости  $\rho = 1$  и  $\varepsilon = 0,45$ , осуществлять не дальнѣйшимъ уменьшеніемъ отсѣчки, а прикрываніемъ регулятора.

Абсолютно же наивыгоднѣйшими комбинаціями для этого паровоза, какъ показывается фиг. 7 и другія подобныя для  $\rho < 1$ <sup>1)</sup>,

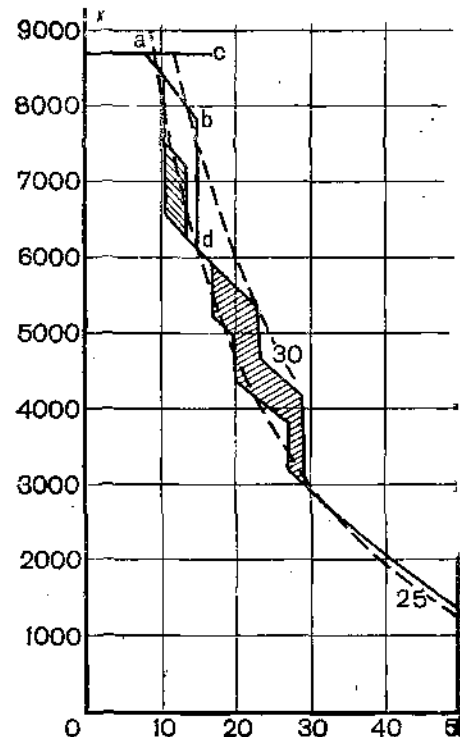
<sup>1)</sup> Эти кривыя легко получить изъ кривыхъ  $F_k$  и  $n$ , приводимыхъ въ „паспортахъ“, помощью формулъ III и 16.

для скоростей меньших 25 км/ч является  $1-0,5$ , т. е.,  $\rho = 1$ ,  $\epsilon = 0,5$ , а для  $V > 25$   $1-0,45$ . Пользуясь этими абсолютно невыгоднейшими комбинациями в пределах от  $z = 20$  до  $z = 30$ , мы получим для силы тяги эпюру, показанную на фиг. 20 заштрихованными линиями. Разница между этой эпюрой и той, которая приведена на фиг. 19, состоит в том, что на этой последней мы, как указано, сперва пользовались условием заданной форсировки котла,

$$\Phi(\rho, \epsilon, V, z) = 0,$$



Фиг. 20.



Фиг. 21.

и потом уже условием невыгоднейшего регулирования машины

$$\Psi(\rho, \epsilon, V) = 0,$$

а на фиг. 20 наоборот.

Сопоставим теперь, как это сделано на фиг. 21, эти эпюры между собой. Такое сопоставление, являясь ответом на поставленный нами вопрос, дает сверх того возможность сделать ряд чрезвычайно интересных выводов. Во первых, оно показывает, что разница между этими двумя эпюрами

не очень велика. Во вторых, изъ него очевидно, что если мы будемъ постепенно уменьшать величину допускаемыхъ колебаній  $z$ , то въ предѣлѣ обѣ ступенчатая кривыя сольются съ пунктирной кривой  $z = 25$ . Иными словами, вся разница между эюрами, представленными на фиг. 21, сводится къ тому, что на второй изъ нихъ мы допускаемъ большія колебанія  $z$ , чѣмъ на первой. Въ третьихъ, изъ той же фигуры слѣдуетъ, что ограниченія скорости по пропускной способности, напримѣръ, до 15 km/h, какъ это тамъ показано, еще болѣе сглаживаетъ разницу между обѣими эюрами, ибо обѣ онѣ въ этомъ случаѣ на протяженіи  $a$  и  $d$  сольются между собой.

Здѣсь, однако, возникаетъ новый вопросъ, осуществимо ли подобное очертаніе эюры силы тяги, пересекающее кривую

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

для предѣльнаго возможнаго по кривой

$$z = \phi(x)$$

значенія  $z$  (въ данномъ случаѣ  $z = 30$ ). Этому вопросу посвященъ слѣдующій §.

§ 15. Займы у котла. Только что поставленный вопросъ въ свою очередь сводится къ вопросу, въ какой мѣрѣ условіе

$$U \leq z_{max} H$$

имѣетъ абсолютный характеръ, или что тоже, можно ли хотя въ теченіи короткаго времени допускать значенія

$$U > z_{max} H.$$

Повседневная практика рѣшаетъ этотъ вопросъ въ положительномъ смыслѣ, ибо наши машинисты весьма часто на трудныхъ мѣстахъ расходуютъ, за счетъ пониженія уровня въ котлѣ, гораздо больше пара, чѣмъ его даетъ котель, и затѣмъ на легкихъ мѣстахъ „поправляются“, т. е., пополняютъ уровень воды въ стеклѣ за счетъ превышенія паропроизводительности котла надъ расходомъ пара машиной. Благодаря этому при волнистомъ профилѣ оказывается возможнымъ пользоваться абсолютно наилучшими комбинаціями далеко за предѣлами  $z = max$ , опредѣляемаго по кривой

$$z = \phi(y).$$

Вызываемый же этимъ перерасходъ пара покрывается съ одной стороны сохраненіемъ наилучшихъ комбинацій и при та-



ких скоростяхъ, при которыхъ по работѣ котла ихъ можно было бы увеличивать, а съ другой стороны широко пользуясь возможностью „поправляться“ на уклонахъ при закрытомъ регуляторѣ.

Для задачъ практики безразлично, какъ колеблется  $\varepsilon$  на перегонахъ, и насколько на отдѣльныхъ верстахъ нарушается условіе

$$U \leq \varepsilon_{\max} H;$$

нужно лишь, чтобы поѣздъ даннаго вѣса былъ перевезенъ по данному перегону въ теченіи нѣкотораго времени, опредѣляемаго пропускной способностью и коммерческими соображеніями, съ наименьшимъ расходомъ топлива, при чемъ скорости не должны превышать предѣльнаго, а уровень воды не падать ниже наивысшаго дозволеннаго. Между тѣмъ специальныя изслѣдованія этого вопроса <sup>1)</sup> и опыты, производившіеся авторомъ на Ек. (1908) и Ник. (1913) жж. дд., показываютъ, что въ отдѣльныхъ случаяхъ широкое использование возможности для машины дѣлать займы у котла можетъ значительно уменьшить при равныхъ прочихъ условіяхъ расходъ топлива на данномъ перегонѣ. Больше того не будетъ преувеличеніемъ сказать, что искусство управлять паровозомъ главнымъ образомъ сводится къ умѣнію дѣлать подобныя займы и своевременно отдавать ихъ обратно.

Такимъ образомъ въ дѣйствительности измѣненія силы тяги вовсе не слѣдуетъ тому сравнительно простому закону, который былъ установленъ въ §§ 7—14, да и вообще не слѣдуютъ никакому закону, а обуславливаются произволомъ машиниста, его опытностью, искусствомъ и даже настроеніемъ. А если это такъ, то возникаетъ коренной вопросъ какими же данными о силѣ тяги слѣдуетъ пользоваться при тяговыхъ расчетахъ и какую степень достовѣрности могутъ имѣть эти послѣдніе.

Разъ мы умѣемъ интегрировать точно уравненіе движенія поезда и имѣемъ надежныя данныя о сопротивленіи поезда, можно быть увѣреннымъ, что, какими бы значеніями о силѣ тяги мы не задались, для этихъ значеній мы получимъ правильное рѣшеніе любой изъ тяговыхъ задачъ. Вопросъ значитъ въ томъ, насколько можно быть увѣреннымъ, что въ дѣйствительности машинисты будутъ реализовать именно эти значенія силы тяги, а не другія. Можно, конечно, задаваясь разными законами ея измѣненія, путемъ ряда попытокъ, найти наивыгоднѣйшее рѣшеніе данной задачи и затѣмъ выдать машинистамъ подробную инструкцію управленія паровозомъ. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ

<sup>1)</sup> Чечотъ. Новый методъ расчета времени перегоновъ. 1910. Главы XXV — XXVI.

такой приём вполне целесообразен, но нельзя забывать, что онъ, во первыхъ, требуетъ весьма значительной затраты денегъ и труда на производство расчетовъ, а во вторыхъ, возможенъ только въ томъ случаѣ, когда для даннаго паровоза имѣются подробныя опытыя данныя о силѣ тяги.

Для расчетовъ же, не претендующихъ на особую точность, какъ, напримѣръ, всѣ расчеты для проектируемыхъ дорогъ, или расчеты временъ хода товарныхъ поѣздовъ для дорогъ, гдѣ пропускная способность еще не исчерпана, не только можно, но и должно пользоваться кривыми

$$F_k = \varphi_k(z, V),$$

или какъ говорятъ „вести расчеты по  $z^a$ “. Правда, въ дѣйствительности управление паровозомъ будетъ уклоняться отъ этихъ кривыхъ, но отклоненія эти будутъ направлены къ тому, чтобы выиграть или во времени или въ расходѣ топлива. Такимъ образомъ при расчетахъ по  $z$  мы имѣемъ увѣренность, не только въ томъ, что полученное нами рѣшеніе практически выполнимо, но и въ томъ, что въ немъ есть *скрытый запасъ на искусство машиниста*. благодаря которому можно будетъ при опозданіяхъ имѣть нагоны, а при нормальныхъ условіяхъ нѣкоторую экономію въ топливѣ. Наличіе же такой увѣренности съ хозяйственной точки зрѣнія имѣетъ значительную цѣнность.

§ 16. **Двойная тяга.** Вообще говоря, примѣненіе двойной тяги, какъ системы, осуждено современной желѣзнодорожной практикой. Однако въ отдѣльныхъ случаяхъ примѣненіе ея можетъ быть выгодно; и потому едва ли можно обойти молчаніемъ вопросъ, какъ въ томъ случаѣ слѣдуетъ строить энюру силы тяги.

Казалось бы, что по закону сложенія силъ общая сила тяги обоихъ паровозовъ  $F_k$  во всякомъ случаѣ равна суммѣ силъ тяги передняго  $F_k'$  и задняго  $F_k''$  паровозовъ. Однако условіе

$$F_k = F_k' + F_k''$$

далеко не всегда имѣетъ мѣсто. Дѣло въ томъ, что при сближеніи между машинистами только посредствомъ паровозныхъ свистковъ, достигъ согласованности въ дѣйствіяхъ обоихъ машинистовъ довольно трудно; а такъ какъ ведетъ поѣздъ передній машинистъ, а задній же лишь исполняетъ распоряженія, то его дѣйствія носятъ всегда нѣкоторый элементъ неувѣренности. Поэтому правильнѣе считать, что

$$F_k = F_k' + \beta F_k'', \quad \text{гдѣ } \beta \text{ — коэффициентъ согласованности.} \quad 17$$

гдѣ  $\beta$  есть правильная дробь, которую можно назвать коэффициентомъ согласованности.

Что же касается цифровой величины этого коэффициента, то она зависит от формы применения двойной тяги. Если оба паровоза идут в головѣ поѣзда, то  $\beta$  берутъ отъ 0,95 до 0,80 въ зависимости отъ качества балласта и скорости. Дѣло въ томъ, что при сильной пыли опасность нагрѣва во второмъ паровозѣ, настолько увеличивается, что реализовать на немъ большія усилія довольно рискованно.

При расположеніи же задвѣго паровоза въ хвостѣ, т. е. при подталкиваніи, когда ни о какой согласованности въ дѣйствіяхъ машинистовъ и рѣчи быть не можетъ,  $\beta$  благоразумнѣе брать между 0,7 и 0,8.

§ 17. Сила тяги при закрытомъ регуляторѣ. Паровозамъ въ отличіе отъ другихъ машинъ очень часто приходится двигаться безъ пара т. е. при

$$p_i = 0.$$

Въ этомъ случаѣ, очевидно, индикаторная сила тяги

$$F_i = \frac{1}{2D} \sum d^2 l p_i = 0;$$

но касательная сила тяги

$$F_k = F_i - W_m$$

не равна нулю, а принимаетъ отрицательное значеніе —  $W_m$ . Иными словами при закрытомъ регуляторѣ сила тяги на ободѣ движущихся колесъ равна сопротивленію паровоза, какъ машины съ обратнымъ знакомъ. Этотъ выводъ принадлежитъ Г. В. Лебедеву.

При этомъ надо имѣть въ виду что сопротивленіе паровоза, какъ машины при движеніи безъ пара больше чѣмъ съ паромъ, ибо въ первомъ случаѣ къ тренію въ частяхъ движущаго и парораспределительнаго механизмовъ прибавляется еще сопротивленіе воздуха, перекачиваемаго поршнями съ одной своей стороны на другую <sup>1)</sup>. Поэтому формулы для  $W_m$ , выведенныя для работы паровоза съ паромъ, не применимы для случая движенія паровоза съ закрытымъ регуляторомъ. Иными словами

$$(F_k)_0 = -W_m', \dots \dots \dots 9_0$$

гдѣ

$$W_m' > W_m$$

<sup>1)</sup> Ломоносовъ. Опытное изслѣдованіе товарныхъ паровозовъ компаніи нормальнаго типа. Кіевъ. 1907. Стр. 264.

Лебедевъ. Опытъ 1912 — 1913 гг. надъ сопротивленіемъ пассажирскихъ паровозовъ и вагоновъ Русской сѣти. СПб. 1914. Стр. 16 — 19.

## ГЛАВА III.

### Сопротивленіе поѣзда.

---

§ 18. Сопротивленіе отъ подъема и отъ кривой. Какъ известно, сопротивленіе поѣзда слагается изъ двухъ частей, а именно изъ сопротивленія на прямомъ и горизонтальномъ пути и изъ сопротивленія отъ подъема и кривой.

Что касается сопротивленія отъ подъема, то оно въ килограммахъ выражается совершенно точно теоретической формулой

$$(P + Q) i,$$

гдѣ  $P$  вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ тоннахъ,  $Q$  — вагоновъ а  $i$  — величина подъема въ тысячныхъ.

Правда, Барбье<sup>1)</sup> предлагалъ оцѣнивать сопротивленіе отъ подъема формулой

$$0,9 i,$$

но это предложеніе основано на недоразумѣніи. Дѣйствительно при движеніи на подъемъ общее сопротивленіе поѣзда, какъ это было отмѣчено еще Петровымъ, меньше, чѣмъ

$$w_0 + i,$$

а при движеніи подъ уклонъ больше

$$w_0 - i,$$

гдѣ  $w_0$  удѣльное сопротивленіе поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути; но эта разница обуславливается не тѣмъ, что сопротивленіе отъ подъема меньше  $i$ , а тѣмъ, что на подъемъ, благодаря

---

<sup>1)</sup> Revue Générale, 1897. I S. стр. 278. Романовъ. Паровозы, 1900, стр. 128.

<sup>2)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д. 1889, стр. 233.

туго натянутымъ упряжнымъ приборамъ, вліяніе вагоновъ меньше и потому та часть сопротивленія, которая не зависитъ непосредственно отъ подъема, меньше  $w_0$ . На уклонахъ напротивъ, благодаря нажатымъ буферамъ, вліяніе увеличивается и сопротивление, не зависящее прямо отъ подъема, дѣлается больше чѣмъ на площадкѣ.

Съ другой стороны формула Барбье

$$w_0 + 0,9 i$$

не можетъ быть признана правильной и для огульной оцѣнки сопротивленія поѣзда на подъемѣ, безъ раздѣленія на составныя части. Согласно ей уменьшеніе сопротивленія  $w_0$  отъ ослабленія вліянія

$$0,1 i$$

растетъ непрерывно съ  $i$  и при крутыхъ подъемахъ можетъ сдѣлаться больше  $w_0$ , что уже полная нелѣпость.

По моимъ наблюденіямъ надъ указаннымъ уменьшеніемъ  $w_0$ , оно довольно хорошо укладывается въ формулу

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

иными словами полное сопротивленіе на подъемѣ выражается формулой

$$w_0 + i - \frac{0,5 i}{i + 1} = w_0 + i \left( 1 - \frac{0,5}{i + 1} \right).$$

Поправка эта, однако, настолько незначительна, что обычно ее не дѣлають.

Что же касается сопротивленія поѣзда въ кривыхъ, то для него было предложено множество формулъ вида

$$(P + Q) k,$$

гдѣ  $k$  есть нѣкоторая функція радіуса кривой  $R$ . Изъ этихъ формулъ простѣйшей является Брауншвейгская формула

$$k = \frac{760}{R},$$

гдѣ  $R$  выражено въ метрахъ. Если же  $R$  выразить въ сажняхъ, то вмѣсто 760 мы должны написать 357; но такъ какъ наша колея нѣсколько шире заграничной, то правильнѣе это число

уменьшить до 350, т. е. считать, что

$$k = \frac{350}{R_{\text{(сак.)}}}$$

Формула эта, несмотря на свою простоту, дает по моимъ наблюденіямъ, особенно для товарныхъ поѣздовъ, результаты не только не менѣе точные, чѣмъ болѣе сложныя формулы, но даже какъ будто болѣе подходящія къ дѣйствительности, чѣмъ онѣ.

§ 19. Элементы сопротивленія поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути. Сопротивленіе поѣзда какъ ряда повозокъ, входящее въ уравненіе движенія поѣзда

$$\frac{P+Q}{g} (1+\gamma) \frac{dV}{dt} = F_k - W_k,$$

состоитъ, какъ мы сказали, изъ сопротивленія отъ подъема и кривой, выражаемаго формулой

$$(P+Q)(i+k)$$

и сопротивленія поѣзда *какъ ряда сцепленныхъ повозокъ* на прямомъ и горизонтальномъ пути. Въ свою очередь это послѣднее разбивается на сопротивленіе паровоза какъ повозки  $W_o'$  и сопротивленіе вагоновъ  $W_o''$ . Такимъ образомъ

$$W_o = W_k - (P+Q)(i+k) = W_o' + W_o''. \quad 18$$

и

$$\frac{P+Q}{g} (1+\gamma) \frac{dV}{dt} = F_k - W_o' - W_o'' - (P+Q)(i+k).$$

Обычно  $W_o'$  считаютъ пропорціональнымъ вѣсу паровоза съ тендеромъ, а  $W_o''$ —вагоновъ, т. е. считаютъ что

$$W_o' = w_o' P \quad 19$$

и

$$W_o'' = w_o'' Q, \quad 20$$

гдѣ  $w_o'$  называется *удѣльнымъ* сопротивленіемъ паровоза, какъ повозки, на прямомъ и горизонтальномъ пути, а  $w_o''$  *удѣльнымъ* сопротивленіемъ вагоновъ на такомъ же пути.

Какъ  $W_o'$  такъ и  $W_o''$  обуславливается однѣми и тѣми же причинами, а именно:

- 1) сопротивленіемъ воздушной среды,
- 2) треніемъ перваго рода въ шейкахъ осей,
- 3) треніемъ втораго рода на ободѣ колесъ,

4) трениемъ перваго рода тамъ же, вслѣдствіе вліянія вагоновъ и

5) потерями живой силы на стыкахъ и неровностяхъ пути.

Поэтому какъ  $W_0'$  такъ и  $W_0''$  можно разложить на пять элементарныхъ сопротивленій, которыя мы и рассмотримъ отдѣльно. При этомъ надо, однако, имѣть въ виду, что, такъ какъ поѣздъ не есть твердое тѣло, а система ихъ, то равнодѣйствующая всѣхъ силъ сопротивленія, приложенныхъ къ паровозу или вагонамъ, не равна суммѣ ихъ, а опредѣляется изъ закона возможныхъ перемѣщеній, согласно коему

$$W_0 ds = \Sigma W dx,$$

гдѣ  $W$  суть отдѣльныя силы сопротивленія, а  $x$  ихъ возможныя перемѣщенія; иными словами

$$W_0 = \sum \frac{dx}{ds} W. \dots \dots \dots 21$$

§ 20. Сопротивленіе воздуха. Поѣзду со стороны воздуха приходится испытывать сопротивленія двоякаго рода: во первыхъ, ему приходится какъ бы проталкивать для себя въ воздушной средѣ каналъ и бороться съ вихревыми движеніями между вагонами, а во вторыхъ, между нимъ и воздухомъ развиваются силы тренія. Равнодѣйствующая этихъ послѣднихъ силъ, какъ это всегда имѣетъ мѣсто при треніи твердаго тѣла о жидкое, пропорціональна смоченной поверхности и нѣкоторой функціи  $\varphi_1(V)$ . Смоченная поверхность паровоза и тендера зависитъ отъ ихъ конструкции, а вагоновъ кромѣ того пропорціональна ихъ числу.

Что же касается лобового сопротивленія паровоза, то оно, какъ извѣстно, выражается формулой вида

$$a' \Omega V^2,$$

гдѣ  $a'$  опытный коэффициентъ, а  $\Omega$  лобовая поверхность паровоза. Точно также и для каждаго вагона сопротивленіе отъ захлестыванія воздуха по опытамъ Франка <sup>1)</sup> выражается формулой вида

$$a'' \Omega'' V^2$$

гдѣ  $a''$  значительно меньше  $a'$ .

Поэтому полное сопротивленіе воздуха для паровоза и тендера имѣетъ видъ

$$W_1 = a' \Omega V^2 + S' \varphi_1(V) \dots \dots \dots 22$$

<sup>1)</sup> Organ. 1899. Стр. 147 — 148.

гдѣ  $S$  смоченная ихъ поверхность. Для вагоновъ же, если число ихъ равно  $n$ , мы имѣемъ

$$W_1'' = n \left[ a'' \Omega'' V^2 + S'' \varphi_1(V) \right] \quad \dots \quad 23$$

Возможное перемѣщеніе этихъ силъ совпадаетъ съ возможнымъ перемѣщеніемъ центра тяжести поѣзда и потому для нихъ поправки

$$\frac{dx}{ds} = 1.$$

Что касается функции  $\varphi_1(V)$ , то по теоретическимъ соображеніямъ Петрова <sup>1)</sup> она содержитъ только членъ съ первой степенью скорости; по Франку <sup>2)</sup> же все сопротивленіе воздуха пропорціонально квадрату скорости. Судя по опытамъ самого Франка, Госса <sup>3)</sup> и Эйфеля <sup>4)</sup>, правъ Франкъ, а не Петровъ. Поэтому окончательно можно считать, что

$$W_1' = A_1' V^2 \quad \dots \quad 22a$$

и

$$W_1'' = n A_1''' V^2, \quad \dots \quad 23a$$

гдѣ  $A_1'$  и  $A_1'''$  суть постоянныя, подлежащія опредѣленію экспериментальнымъ путемъ.

Сейчасъ, однако, намъ гораздо важнѣе отмѣтить, во первыхъ, то обстоятельство, что, благодаря вліянію члена  $a'' \Omega'' V^2$ , удѣльное сопротивленіе воздуха для паровоза значительно больше, чѣмъ для вагоновъ, а во вторыхъ, что сопротивленіе воздуха для вагоновъ пропорціонально ихъ числу. Первое замѣчаніе, однако, вѣрно только до тѣхъ поръ, пока паровозъ идетъ въ головѣ поѣзда, при движеніи же вагонами впередъ лобовое сопротивленіе оказывается приложеннымъ къ первому вагону.

§ 21. Сопротивленіе въ шейкахъ. Сила тренія въ каждой шейкѣ равна очевидно

$$\varphi R,$$

гдѣ  $R$  нагрузка на шейку, а  $\varphi$  коэффициентъ тренія. Сопротивленіе же, вызываемое каждой такой силой, равно

$$\frac{dx}{ds} \varphi R,$$

<sup>1)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д. 1889, стр. 48.

<sup>2)</sup> Zeitschrift des V. D. I. 1906. Стр. 593.

<sup>3)</sup> Railroad Gazette. 1898. Стр. 357.

<sup>4)</sup> Revue de Mécanique. 1907. Стр. 574.



причемъ

$$\frac{dx}{ds} = \frac{d}{D},$$

гдѣ  $d$  діаметръ шейки, а  $D$  — колеса. Полное же сопротивление этого рода для паровоза

$$W_1' = \varphi \sum \frac{d'}{D'} R',$$

а для вагоновъ

$$W_2'' = \varphi \sum \frac{d''}{D''} R'' = n \varphi x \frac{d''}{D''} R'',$$

гдѣ  $x$  число осей въ одномъ вагонѣ.

Формулы эти показываютъ, что, вообще говоря,  $W_2$  падаетъ съ увеличеніемъ діаметра колесъ, и потому для пассажирскихъ паровозовъ

$$w_2' = \frac{W_2'}{P}$$

не только всегда меньше, чѣмъ для товарныхъ, но можетъ быть даже меньше, чѣмъ соответственное удѣльное сопротивление вагоновъ.

Такъ какъ шейки всегда обильно смазываются, то, согласно гидродинамической теоріи тренія Петрова, опытамъ Рейнольдса и новѣйшимъ работамъ въ этой области <sup>1)</sup>,  $\varphi$  слѣдуетъ считать пропорціональнымъ скорости на окружности шейки

$$v = \frac{d}{D} V,$$

т. е. считать, что

$$\varphi = \beta \frac{d}{D} V,$$

Съ другой стороны для каждой оси

$$R = \Pi - p,$$

гдѣ  $\Pi$  нагрузка на рельсъ, а  $p$  вѣсъ колеса и  $1/2$  оси. Поэтому для вагоновъ

$$nx R'' = Q - nx p,$$

гдѣ

$$Q = nx \Pi$$

<sup>1)</sup> Вѣстникъ Общ. Технологовъ. 1914. Стр. 29 — 30.

есть вѣсь всѣхъ вагоновъ, и слѣдовательно

$$W_2'' = \frac{\partial^n}{D^n} \varphi Q - \frac{\partial^n}{D^n} \varphi x p n,$$

или

$$W_2'' = \frac{\partial^{n^2}}{D^{n^2}} \beta V Q - \frac{\partial^{n^2}}{D^{n^2}} \beta V x p n \quad . . . . . 24$$

Формулу эту можно представить также подъ видомъ

$$W_2'' = B_2'' V Q - B_2''' V n, \quad . . . . . 24a$$

гдѣ

$$B_2'' = \frac{\partial^{n^2}}{D^{n^2}} \beta \text{ и } B_2''' = x p B''$$

суть величины постоянныя.

Точно также для паровоза

$$W_2' = \frac{\partial'^2}{D'^2} \beta V P - \frac{\partial'^2}{D'^2} \beta V x p, \quad . . . . . 25$$

или приближенно

$$W_2' = B_2' V P. \quad . . . . . 25a$$

§ 22. Сопротивленіе перекачиванію. Для каждаго колеса сопротивленіе перекачиванію равно

$$\frac{a}{D} \Pi,$$

гдѣ  $a$  коэффициентъ перекачиванія или тренія 2 рода, имѣющій, какъ извѣстно, измѣреніе длины. Поэтому сопротивленіе перекачиванію паровоза съ тендеромъ

$$W_3' = a \sum \frac{\Pi}{D'}, \quad . . . . . 26$$

а вагона

$$W_3'' = \frac{a}{D''} Q. \quad . . . . . 27$$

А такъ какъ особенно для пассажирскихъ паровозовъ  $D'$  значительно больше  $D''$ , то

$$w_3' = \frac{W_3'}{P} = \frac{a}{P} \sum \frac{\Pi}{D'}$$

можетъ оказаться замѣтно меньше

$$w_3'' = \frac{a}{D''}$$

Что же касается коэффициента  $a$ , то по опытам Рейнольдса <sup>1)</sup> онъ не зависитъ отъ скорости, а опредѣляется исключительно соотношеніемъ между упругими свойствами катящагося предмета и опоры, т. е. въ нашемъ случаѣ колеса и рельса. Поэтому можно написать, что

$$W'_3 = C'_3 P \quad \dots \dots \dots 26a$$

и

$$W''_3 = C''_3 Q, \quad \dots \dots \dots 27a$$

причемъ вообще говоря

$$C'_3 < C''_3.$$

§ 23. Сопротивленіе отъ виліянія. Силы тренія перваго рода, развивающіяся на ободѣ колесъ при виліяніи подвижнаго состава пропорціональны, очевидно, нагрузкамъ  $P$ , коэффициенту тренія перваго рода  $\varphi$  и тѣмъ боковымъ импульсамъ, которые вызываютъ виліяніе. Иными словами сопротивленіе поступательному движенію колеса, вызываемое его боковыми перемѣщеніями, равно

$$e \varphi P,$$

гдѣ  $e$  есть коэффициентъ, характеризующій указанные боковые импульсы, и вызываемыя ими перемѣщенія колеса относительно рельса.

Поэтому для паровоза

$$W'_3 = e \varphi P, \quad \dots \dots \dots 28$$

а для вагоновъ

$$W''_4 = e'' \varphi Q. \quad \dots \dots \dots 29$$

Съ этимъ согласны и Петровъ <sup>2)</sup> и Франкъ <sup>3)</sup>, подвергавшіе этотъ вопросъ теоретическому изслѣдованію. Дальнѣйшія же ихъ разсужденія по отношенію къ вагонамъ не одинаковы: по мнѣнію Петрова, такъ какъ опыты Вебера установили, что виліяніе вагоновъ увеличивается вмѣстѣ со скоростью, то формулу (29) надо исправить прибавкой для каждаго вагона члена  $aV$ , а для всѣхъ, значить,  $naV$ ; иными словами, по его мнѣнію

$$W''_4 = e \varphi Q + naV.$$

Франкъ же, исходя изъ того же положенія, считаетъ, что

$$e = \beta V^2;$$

<sup>1)</sup> Радцигъ. Прикладная механика. Стр. 29.

<sup>2)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д., стр. 117—119.

<sup>3)</sup> Zeitschrift der V. D. I. 1903. Стр. 460.

откуда

$$W_4'' = \varphi \beta V^2 Q.$$

Нельзя не признать, что выводъ Франка логически правильнѣе Петрова, однако, по существу къ истинѣ ближе Петровъ. Въ самомъ дѣлѣ чѣмъ легче вагонъ, тѣмъ болѣе свободно совершается его виланіе, ибо ограничивающее его треніе колесъ о рельсы будетъ менѣе; поэтому правильнѣе считать, что

$$e\varphi'' = a'' + \frac{b''}{q}, \quad \dots \dots \dots (*)$$

гдѣ  $a''$  и  $b''$  суть нѣкоторыя функціи скорости, а

$$q = \frac{Q}{\mu} \quad \dots \dots \dots 30$$

есть вѣсъ одного вагона. Принимая же для  $e\varphi''$  выраженіе (\*) мы имѣемъ

$$W_4'' = a''Q + bn'',$$

какъ это получается и по формулѣ Петрова. Иными словами есть основанія считать, что сопротивленіе вагоновъ отъ виланія состоитъ изъ двухъ частей, изъ коихъ одна пропорціональна вѣсу вагоновъ, а другая числу ихъ.

Что же касается вида функцій  $a$  и  $b$  то существуютъ нѣкоторыя, но достаточно шаткія теоретическія основанія считать ихъ линейными. Правильнѣе же сказать, что вида ихъ мы не знаемъ, но для нашихъ довольно грубыхъ вычисленій признаемъ, что ихъ можно замѣнить параболическими зависимостями

$$AV^2 + BV + C,$$

т. е. считать, что

$$W_4'' = (A_4'' V^2 + B_4'' V + C_4'')Q + (A_4''' V^2 + B_4''' V + C_4''')n \quad \dots \quad 29a$$

Возвращаясь къ сопротивленію вслѣдствіе виланія паровоза и тендера необходимо отмѣтить, что тамъ это явленіе осложнено силами инерціи, растущими съ квадратомъ скорости, и потому въ этомъ случаѣ еще съ большимъ правомъ можно считать, что

$$e'\varphi = w_4' = A_4' V + B_4' V + C_4' \quad \dots \quad 28a$$

§ 24. Сопротивленіе отъ ударовъ на стыкахъ. Сущность этого сопротивленія состоитъ въ томъ, что на каждомъ стыкѣ и

на каждомъ вообще „толчкѣ“ пути теряется вѣкоторая часть живой силы поѣзда

$$\beta T$$

килограммометровъ. Этотъ эффектъ въ смыслѣ сопротивленія движенію эквивалентенъ тому, если бы къ поѣзду была приложена сила  $W'_5$ , опредѣляемая изъ равенства

$$W'_5 l = \beta T,$$

гдѣ  $l$  есть разстояніе между толчками.

Живая сила паровоза и тендера

$$T' = \frac{V^2}{2} \left( \frac{P}{g} + \sum \frac{P}{R^2} \right) = \frac{PV^2}{2g} (1 + \gamma),$$

откуда

$$W'_5 = \frac{\beta T'}{l} = \frac{(1 + \gamma) \beta}{2lg} V^2 P, \quad \dots \dots \dots 31$$

или

$$W'_5 = A'_5 V^2 P. \quad \dots \dots \dots 31a$$

Живая же сила вагоновъ

$$T'' = \frac{V^2}{2g} \left( Q + gxn \frac{I''}{R'^2} \right);$$

откуда

$$W''_5 = \frac{\beta V^2}{2gl} \left( Q + gxn \frac{I''}{R'^2} \right), \quad \dots \dots \dots 32$$

или

$$W''_5 = A''_5 V^2 Q + A''_5 V^2 n \quad \dots \dots \dots 32a$$

§ 25. Общія соображенія о сопротивленіи паровозовъ и вагоновъ на прямомъ и горизонтальномъ пути. Теоретическія соображенія, приведенныя въ предыдущихъ §§, показываютъ намъ во первыхъ, что сопротивленіе паровозовъ и вагоновъ зависитъ отъ скорости, причемъ эта послѣдняя должна входить въ выраженія для  $W'_5$  и  $W''_5$  какъ въ первой такъ и во второй степени. Это вытекаетъ непосредственно изъ формулъ

$$W'_5 = \Sigma W' = A'_1 V^2 + (A' V^2 + B' V + C') P \quad \dots \dots 33$$

и

$$W''_5 = \Sigma W'' = (A'' V^2 + B'' V + C'') Q + (A''' V^2 + B''' V + C''') n, \quad 34$$

гдѣ

$$\left. \begin{aligned}
 A' &= A_4' + A_5' \\
 B' &= B_2' + B_4' \\
 C' &= C_2' + C_3' + C_4' \\
 A'' &= A_4'' + A_5'' \\
 B'' &= B_2'' + B_4'' \\
 C'' &= C_2'' + C_3'' + C_4'' \\
 A''' &= A_1''' + A_4''' + A_5''' \\
 B''' &= B_2''' + B_4''' \\
 C''' &= C_2''' + C_4'''
 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (35)$$

Что же касается численных значений этихъ коэффициентовъ, то опредѣлить ихъ теоретически удалось пока далеко не всё. Поэтому для получения надежныхъ ихъ значений остается одинъ путь — путь научно обставленныхъ опытовъ. При этомъ для нашихъ цѣлей, т. е. для тяговыхъ расчетовъ, совершенно безразличны значения коэффициентовъ, входящихъ въ правую часть формулъ 35; для насъ интересны только значения суммовыхъ коэффициентовъ, стоящихъ въ лѣвой части. Для опредѣленія ихъ еще со временъ Стефенсона былъ произведенъ цѣлый рядъ опытовъ; но прежде чѣмъ привести ихъ результаты, сдѣлаемъ на основаніи теоретическихъ соображеній предыдущихъ §§ еще рядъ выводовъ, имѣющихъ для насъ большое практическое значеніе.

Прежде всего отмѣтимъ, что, согласно сказанному выше, значенія отдѣльныхъ коэффициентовъ въ нашихъ основныхъ формулахъ въ значительной степени зависятъ отъ типа и размѣровъ подвижного состава, какъ напримѣръ діаметра колесъ, числа осей, смачиваемой воздухомъ поверхности и т. п. Поэтому можно напередъ сказать, что общей формулы для сопротивленія подвижного состава быть не можетъ, и что формулы, выведенныя при опытахъ надъ однимъ типомъ подвижного состава, вообще говоря, нельзя примѣнять къ другимъ.

Затѣмъ напомнимъ, что, какъ это было отмѣчено въ § 20, сопротивленіе воздуха для паровоза, идущаго въ головѣ поѣзда, значительно больше, чѣмъ для вагоновъ. Съ другой стороны сопротивленіе въ шейкахъ, перекачиванію и отчасти на стыкахъ падаетъ съ увеличеніемъ діаметра колесъ, и потому для паровозовъ и въ особенности для пассажирскихъ эти сопротивленія на тонну вѣса всегда меньше, чѣмъ для вагоновъ. Въ итогѣ вслѣд-

ствіе этихъ причинъ и все удѣльное сопротивленіе паровоза съ тендеромъ, какъ повозки, можетъ оказаться меньше удѣльнаго сопротивленія вагоновъ. Иное дѣло, полное сопротивленіе паровоза на тонну вѣса

$$w'_0 + \frac{W_m}{P} :$$

оно всегда больше  $W'_0$ .

Но во всякомъ случаѣ, можно сказать, что удѣльное сопротивленіе вагоновъ и паровозовъ не равно. Поэтому надлежитъ признать, что всѣ тѣ формулы для удѣльнаго сопротивленія, которыя обнимаютъ и сопротивленіе паровоза и сопротивленіе вагоновъ и не содержатъ въ себѣ числа ихъ, теоретически неправильны. Изъ числа такихъ формулъ, въ основу которыхъ положена гипотеза

$$w'_0 = w''_0$$

наибольшимъ распространеніемъ пользуются въ Европѣ формула германскихъ инженеровъ

$$w_0 = 2,4 + \frac{V^2}{1000},$$

а въ Америкѣ формула завода Балдвина

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}.$$

Вопросъ о томъ, въ какой мѣрѣ ими допустимо пользоваться на практикѣ будетъ рассмотрѣнъ ниже.

§ 26. Формулы для сопротивленія двухосныхъ вагоновъ. Первые опыты надъ сопротивленіемъ вагоновъ были произведены Стефенсономъ и Уудомъ въ 1818 г., и затѣмъ на протяженіи почти столѣтія вопросъ этотъ привлекалъ вниманіе цѣлаго ряда изслѣдователей. Большинство ихъ работъ, однако, теперь имѣетъ только историческое значеніе, ибо какъ было только что указано сопротивленіе всякаго рода желѣзнодорожныхъ повозокъ въ значительной мѣрѣ зависитъ отъ ихъ устройства, а это послѣднее подвергалось непрерывнымъ измѣненіямъ. Поэтому для нашихъ чисто практическихъ цѣлей имѣютъ значенія только формулы выведенныя изъ опытовъ надъ современными типами вагоновъ.

Изъ числа такихъ формулъ относящихся къ двухоснымъ крытымъ вагонамъ наибольшимъ распространеніемъ пользуются формулы Петрова <sup>1)</sup>, Франка <sup>2)</sup>, Барбе <sup>3)</sup> и Надаля <sup>4)</sup>. Формулы

<sup>1)</sup> Мухачевъ. Теорія и конструкція паровозовъ. 1895. Стр. 57.

<sup>2)</sup> Zeitschrift des V. D. I. 1907. Стр. 25.

<sup>3)</sup> Revue Générale. 1897. I. S., стр. 283.

<sup>4)</sup> Nadal Locomotives à vapeur. 1908. Стр. 282.

эти можно разбить на двѣ категоріи: по однимъ сопротивление вагоновъ зависитъ только отъ скорости, а по другимъ, кромѣ того, и отъ числа вагоновъ въ поѣздѣ, или что тоже отъ средней ихъ нагрузки. Къ первой категоріи, теоретически неправильной, относятся формулы Барбье

$$w''_o = 1,6 + 0,46V \frac{V+50}{1000}$$

и Надаля

$$w''_o = 1,6 + 0,3V \frac{V+90}{1000};$$

а ко второй Петрова

$$W''_a = 1,2 Q + 0,9 nV + 0,03 (1 + 0,04 n)V^2$$

и Франка

$$W''_a = 2,5 Q + 0,0142 \left(\frac{V}{10}\right)^2 Q + 0,3 n \left(\frac{V}{10}\right)^2,$$

которыя можно представить также подъ видомъ

$$W''_a = a Q + bn + c,$$

гдѣ  $n$ —число вагоновъ въ поѣздѣ, а  $a$ ,  $b$  и  $c$ —нѣкоторыя функции скорости. Такъ какъ средняя нагрузка вагона брутто

$$q = \frac{Q}{n},$$

то формулы эти можно представить подъ видомъ

$$W''_a = a Q + \frac{Q}{q} b + c,$$

или подъ видомъ

$$w''_o = a + \frac{b}{q} + \frac{c}{Q}.$$

Такое преобразование приводитъ формулу Петрова къ виду

$$w''_o = 1,2 + \frac{0,9V}{q} + \frac{0,0012V^2}{q} + \frac{0,03V^2}{Q},$$

а формулу Франка къ виду

$$w''_o = 2,5 + \left(0,0142 + \frac{0,3}{q}\right) \left(\frac{V}{10}\right)^2.$$

Въ первой изъ нихъ, кромѣ того, можно пренебречь послѣднимъ членомъ, вслѣдствіе его крайней малости; тогда обѣ эти фор-



мулы получают видъ

$$w''_0 = a + \frac{b}{v}$$

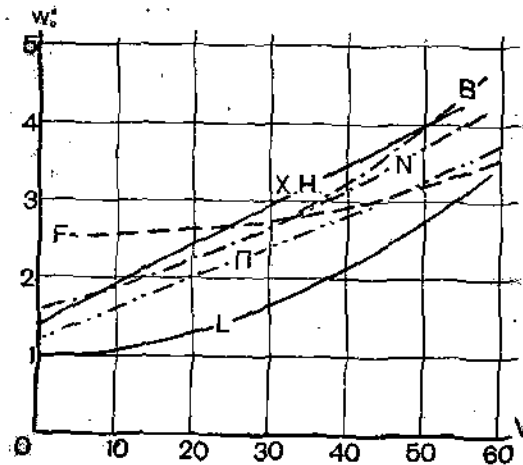
или

$$W''_0 = w''_0 Q = aQ + \frac{bQ}{v}, \quad \dots \quad 36$$

какъ это и принимаетъ въ своихъ расчетахъ большинство русскихъ дорогъ.

Къ этой же категоріи надо отнести и формулы, у которыхъ коэффициенты мѣняются въ зависимости отъ того, имѣемъ ли мы дѣло съ груженоми или порожними вагонами. Сюда относятся формулы X. Н. ж. д., дающія для груженоныхъ вагоновъ

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{18}$$



Фиг. 22. Крытые вагоны, груженные 1000 пуд.

и для порожнихъ

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{12},$$

а также новѣйшія формулы Лейтцмана<sup>1)</sup>: для груженоныхъ

$$w''_0 = 1,0 + \frac{V^2}{1455}$$

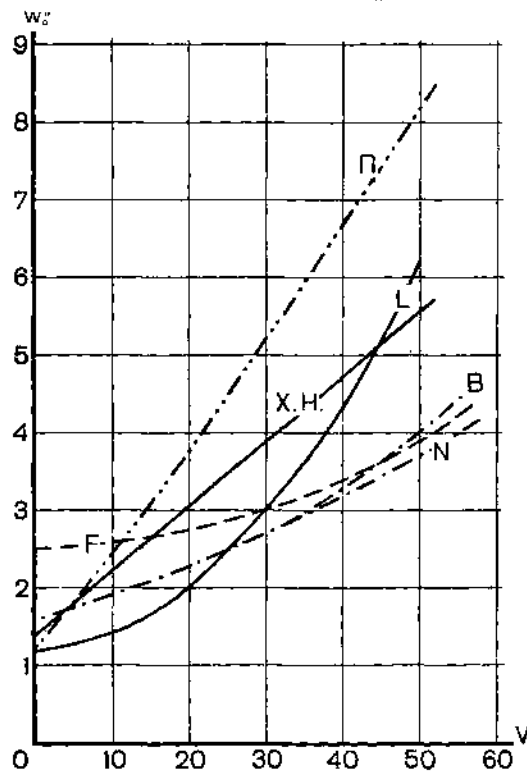
и для порожнихъ

$$w''_0 = 1,2 + \frac{V^2}{500}.$$

Для того, чтобы отдать себѣ отчетъ, насколько всѣ эти формулы даютъ согласные результаты на фиг. 22—23 онѣ сопоставлены

<sup>1)</sup> Leitzmann und von Borries. Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues. 1911. Стр. 343.

между собой; на первой для вагонов нагруженных 1000 пудами, а на второй для порожних. Из этих фигур мы видим, что для нагруженных вагонов формулы Петрова (П), Барбье (В), Надаля (N) и X. Н. ж. д. (X. Н.) дают больше или меньше тождественныя значенія  $w_0''$ , въ то время какъ по формулѣ Лейтцмана они получаются много меньше. Что же касается формулы Франка, то на фиг. 22—23 кривыя ея пересекаютъ всѣ остальные. Это заставляетъ сомнѣваться въ правильности ея структуры, а именно даетъ основаніе думать, что въ ней свободный отъ скорости членъ 2,5 преувеличенъ, а вліяніе скорости недооцѣнено. Въ



Фиг. 23. Порожніе крытые вагоны.

пользу такого предположенія говорить и тотъ общезавѣстный фактъ, что на 2 тысячномъ уклонѣ товарный вагонъ, выведенный изъ состоянія покоя самъ не останавливается, а продолжаетъ катиться со скоростью около десяти верстъ въ часъ.

Что же касается порожнихъ вагоновъ, то для нихъ, какъ показываетъ фиг. 23, указанныя формулы расходятся между собой гораздо больше, причемъ изъ всѣхъ формулъ, зависящихъ прямо или косвенно отъ  $q$ , наибольшія значенія для сопротивленія

порожняка даетъ формула Петрова (П), а наименьшія Франка (F). Кромѣ того, сопоставляя результаты, которые даютъ эти формулы для грузовыхъ и порожнихъ вагоновъ, мы видимъ, что въ то время какъ при  $V = 50$  увеличеніе сопротивленія порожняка составляетъ по Франку 22%, по Петрову оно достигаетъ 153%.

Такое противорѣчіе въ оцѣнкѣ вліянія  $q$  на  $w'_0$  требуетъ обстоятельнаго выясненія. Иначе при тяговыхъ расчетахъ мы рискуемъ впасть въ серьезные ошибки. Необходимо, кромѣ того, выяснить и еще одинъ вопросъ, вытекающій изъ самаго вида приведенныхъ выше формулъ, а именно можно ли въ формулахъ для  $w'_0$  пренебрегать членомъ съ квадратомъ скорости, какъ это имѣетъ мѣсто въ формулѣ X. Н. ж. д., или членомъ съ первой степенью скорости, какъ это дѣлаютъ Франкъ и Лейтцманъ. Этими вопросами мы сейчасъ и займемся.

§ 27. Вліяніе нагрузки двухосныхъ вагоновъ на ихъ сопротивленіе. Достаточно разъ проѣхать по любому участку съ двумя поѣздами одинаковаго вѣса, но составленными одинъ изъ порожнихъ, а другой изъ полногрузныхъ вагоновъ, чтобы убѣдиться что удѣльное сопротивленіе порожняго вагона больше полногрузнаго, иными словами, что

$$W'_0 = \left(a + \frac{b}{q}\right) Q = aQ + bn \dots \dots \dots 36$$

Что же касается относительнаго значенія послѣдняго члена, то оно оцѣнивается разными исследователями весьма различно. По опытамъ Саксонскихъ дорогъ <sup>1)</sup>, всѣ тѣ сопротивленія поѣзда, которыя зависятъ отъ скорости, пропорціональны и числу вагоновъ или осей. Исходя изъ этихъ опытовъ, проф. Петровъ въ своей формулѣ

$$w_n = 1,2 + \frac{0,9V}{q} + \frac{0,0012V^2}{q}$$

полагаетъ, что  $a$  вовсе не зависитъ отъ скорости, а  $b$ , напротивъ, не содержитъ члена, не зависящаго отъ скорости. Напротивъ Франкъ, на основаніи своихъ опытовъ и теоретическихъ соображеній, утверждаетъ <sup>2)</sup>, что часть сопротивленія, зависящаго отъ скорости, вовсе не зависитъ отъ числа вагоновъ или отъ средней нагрузки. Это очевидно и изъ его формулы

$$w_n = 2,5 + \left(0,0142 + \frac{0,3}{q}\right) \left(\frac{V}{10}\right)^2$$

<sup>1)</sup> Мухачевъ. Теорія и конструкція паровоза. 1895, стр. 41—47.

<sup>2)</sup> Zeitschrift des V. D. I. 1903, стр. 460.

Для того, чтобы разобраться въ этомъ вопросѣ, попробуемъ, во-первыхъ, освѣтить его теоретически, а во-вторыхъ, используемъ для этой цѣли данныя динамометрическихъ наблюдений, производившихся подъ моимъ руководствомъ на четырехъ дорогахъ (Х.-Н., Ек., Ташк. и Ник.).

Какъ было указано, сопротивленіе вагоновъ слагается изъ 5 частей:

- 1) сопротивленія воздушной среды,
- 2) тренія въ шейкахъ осей,
- 3) тренія второго рода на ободѣ колеса,
- 4) тренія первого рода тамъ же, вслѣдствіе виліянія вагоновъ и
- 5) потерь живой силы на стыкахъ и неровностяхъ пути.

Сопротивленіе воздуха мы приняли все пропорціональнымъ числу вагоновъ т. е. мы приняли, что

$$W_1'' = b_1 n,$$

гдѣ  $b_1$  есть функція скорости. Треніе въ шейкахъ напротивъ, какъ мы видѣли, падаетъ съ увеличеніемъ числа вагоновъ по закону

$$W_2'' = a_2 Q - b_2 n,$$

чего въ своихъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ не учитывали ни Франкъ ни Петровъ. Сопротивленіе перекатыванію вовсе не зависитъ отъ  $n$  и выражается формулой вида

$$W_3'' = a_3 Q.$$

Сопротивленіе отъ виліянія мы признали только отчасти зависящимъ отъ  $n$ , т. е. выражающимся формулой

$$W_4'' = a_4 Q + b_4 n,$$

въ то время какъ Франкъ считаетъ  $b_4 = 0$ , а Петровъ въ концѣ концовъ принималъ  $a_4 = 0$ . Сопротивленіе отъ ударовъ безспорно выражается формулой

$$W_5'' = a_5 Q + b_5 n,$$

либо живая сила вагоновъ

$$T'' = \frac{V^2}{2g} \left( Q + gx \frac{I''}{R^{n^2}} n \right),$$

причемъ второй членъ этого выраженія составляетъ отъ 4 до 12% перваго. Тѣмъ не менѣе Франкъ считаетъ  $b_5 = 0$ , а Петровъ, полагая сперва

$$W_5'' = a_5 Q + b_5 n,$$

въ окончательномъ своемъ выводѣ пренебрегаетъ величиной  $a_5$ , т. е. считаетъ все сопротивленіе отъ ударовъ пропорціональнымъ числу вагоновъ. Въ этомъ и состоитъ его ошибка, благодаря которой въ его формулѣ вліяніе  $n$  или точнѣе  $q$  значительно преоцѣнено.

Резюмируя сказанное, мы видимъ, что числу вагоновъ теоретически должно быть пропорціонально все сопротивленіе воздуха, часть сопротивленія отъ вліянія и отъ ударовъ  $n$ , кромѣ того въ этотъ же членъ входитъ отрицательная поправка отъ тренія въ шейкахъ. По мнѣнію же Франка, членъ  $b_5 n$  обвиняетъ собой только сопротивленіе воздуха, а по мнѣнію Петрова, все сопротивленіе отъ вліянія и ударовъ. Естественно поэтому ожидать, что въ смыслѣ оцѣнки вліянія числа осей на сопротивленіе поѣзда истина лежатъ гдѣ-то посреди между Франкомъ и Петровымъ. И дѣйствительно, динамометрическія наблюденія, производившія мною на разныхъ дорогахъ, вполне подтверждаютъ это предположеніе.

Наиболѣе интересная часть этихъ наблюденій была произведена лѣтомъ и осенью 1899—1900 г.г. на Харьковско-Николаевской дорогѣ. Опыты производились, какъ съ порожними, такъ и съ грузовыми вагонами, причемъ средній вѣсъ этихъ послѣднихъ вмѣстѣ съ тарой былъ около 1090 пуд.  $\approx$  18 тоннъ. Для подсчета сопротивленія мы брали только такія наблюденія, которыя имѣли мѣсто при вполне установившейся скорости и на такихъ точкахъ профиля, когда весь поѣздъ располагался на однородномъ подъемѣ. При такихъ условіяхъ

$$W_5'' = F_n - (t + k) Q,$$

гдѣ  $F_n$  сила тяги на крюкъ перваго вагона, измѣрявшаяся динамометромъ Теодоровича.

Результаты этихъ опытовъ въ видѣ точекъ, дающихъ величину

$$w_5'' = \frac{W_5''}{Q},$$

приведены на фиг. 24—25; на первой для грузовыхъ ( $q = 18$ ), а на второй для порожнихъ вагоновъ.

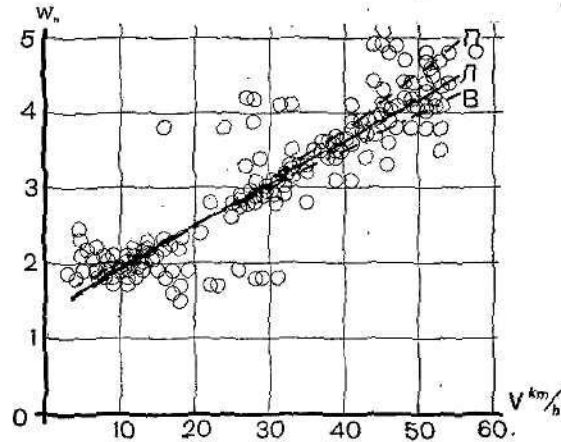
Всматриваясь въ фиг. 24, мы видимъ, что для скорости отъ 8 до 55 км/ч главная масса точекъ располагается между параболой

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{20} + \frac{V^2}{4000}, \quad \dots \dots \dots \text{ П}$$

изображенной мелкимъ пунктиромъ, и прямой

$$w''_0 = 1,5 + \frac{V}{20}, \quad \dots \dots \dots \text{ В}$$

представляющей изъ себя не что иное, какъ формулу Балдвина, по которой въ Америкѣ опредѣляютъ сопротивление всего поезда <sup>1)</sup>. Такимъ образомъ объ эти формулы можно признать



Фиг. 24. X. Н. ж. 3.

оправданными опытами надъ русскими вагонами и при русскихъ условіяхъ. Но еще лучше отвѣчаетъ этимъ обстоятельствамъ сплошная прямая, имѣющая уравненіе

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{18}, \quad \dots \dots \dots \text{ Л}$$

Теоретически формула эта неправильна, ибо у ней нѣтъ члена съ квадратомъ скорости, но практически это ея большое преимущество.

Переходимъ теперь къ сопротивленію порожнихъ вагоновъ т. е. къ фиг. 25.

На немъ ясно выражены два пучка точекъ—верхній и нижній; первый состоитъ почти исключительно изъ точекъ, полу-

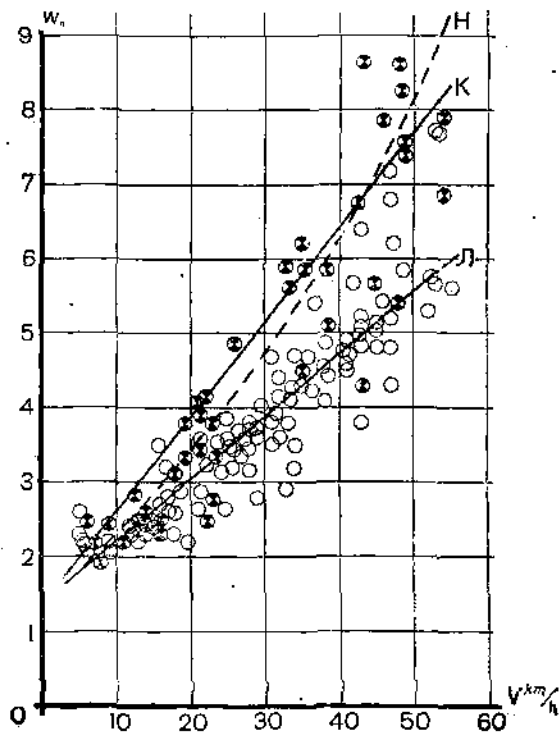
<sup>1)</sup> Railroad Gazette. 1897. Стр. 348.

ченыхъ въ августъ — ноябрѣ на Николаевскомъ участкѣ (онѣ залиты тушью накрестъ); а второй — изъ лучевыхъ лѣтомъ на разныхъ участкахъ Х. Н. ж. д. Точкамъ первого пучка удовлетворяетъ прямая

$$w'_0 = 1,4 + \frac{V}{8} \dots \dots \dots \text{Н}$$

приведенная въ книгѣ Чечотга<sup>1)</sup>, или еще лучше пунктирная парабола

$$w'_0 = 1,4 + \frac{V}{12} + \frac{V^2}{1000}; \dots \dots \dots \text{Н}$$



Фиг 25 Х. Н. ж. д.

точки же второго пучка лучше всего укладываются въ прямую

$$w'_0 = 1,4 + \frac{V}{12} \dots \dots \dots \text{Л}$$

Первоначально, до производства наблюдений на другихъ дорогахъ, я изъ осторожности рекомендовалъ первую изъ этихъ фор-

<sup>1)</sup> Чечотга. Новый методъ расчета времени перегоновъ. 1910, стр. 17.

муль<sup>1)</sup>; однако, динамометрическія наблюденія на Екатерининской, Ташкентской и Николаевской жж. дд. привели меня къ заключенію, что даже въ пустынях Средней Азіи формула

$$w'_0 = 1,4 + \frac{V}{8}$$

даётъ вѣрные результаты лишь при осеннихъ вѣтрахъ; въ средней же Россіи едва ли могутъ быть такія условія, при которыхъ сопротивленіе порожнихъ вагоновъ превышало продолжительное время

$$w'_0 = 1,4 + \frac{V}{12};$$

исключеніе составляютъ лишь бури и мятели, т. е. обстоятельства исключительныя, не характерныя для величины  $w''$ .

Формулы

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{18}$$

для грузонныхъ и

$$w''_0 = 1,4 + \frac{V}{12}$$

для порожнихъ вагоновъ укладываются въ одну общую формулу

$$w''_0 = 1,4 + \left(0,04 + \frac{0,32}{q}\right)V,$$

если  $q$  выражено въ тоннахъ, или въ

$$w''_0 = 1,4 + \left(0,04 + \frac{20}{q}\right)V,$$

если  $q$  выражено въ пудахъ, или наконецъ въ

$$W''_0 = \left(1,4 + \frac{V}{25}\right)Q + 0,32nV,$$

если мы предпочитаемъ имѣть дѣло не съ  $q$ , а съ  $n$ .

Формула эта называется обычно формулой X. Н. ж. д. Надо однако отмѣтить, что она вполне подтвердилась какъ при моихъ опытахъ на Ек. и Ник. ж. д., такъ и при опытахъ Липца на Ташк. ж. д. По своей природѣ она занимаетъ среднее мѣсто между формулами Петрова и Франка: съ одной стороны она имѣетъ членъ, зависящій отъ скорости, и не содержащій въ себѣ числа

<sup>1)</sup> Записки студентовъ по курсу эксплуатаціи жж. дд., читанному въ Кіевскомъ Политехническомъ Институтѣ проф. Ю. В. Ломоносовымъ. Литографированное изд. 1903/4 г., стр. 66.



вагоновъ, а съ другой, членъ, пропорціональный этому послѣднему, у нея больше, чѣмъ у Франка и чѣмъ это могло бы имѣть мѣсто вообще, если бы этотъ членъ оцѣнивалъ только сопротивление воздуха.

\* § 28. Вліяніе скорости на сопротивление двухосныхъ вагоновъ. Какъ было указано въ § 24, сопротивление вслѣдствіе ударовъ на стыкахъ пропорціонально квадрату скорости. Этого никто не оспаривалъ. Почти также безспорно и то, что сопротивление вслѣдствіе тренія въ шейкахъ выражается линейною функціею отъ скорости. Такимъ образомъ тотъ фактъ, что формулы для  $w_0''$  должны содержать и членъ со скоростью въ первой степени и въ квадратѣ, можетъ считаться установленнымъ, независимо отъ тѣхъ споровъ, которые могутъ вестись относительно сопротивления воздуха и тренія отъ вліянія. Поэтому надлежитъ признать, что формулы X. Н. ж. д. съ одной и Франка и Лейтцмана съ другой стороны теоретически неправильны.

Между тѣмъ фиг. 22—25 показываютъ намъ, что и чертаніе кривыхъ, построенныхъ по формуламъ, содержащимъ и  $V$  и  $V^2$  и опытыя точки по крайней мѣрѣ для скоростей до 50 km/h гораздо ближе подходятъ къ линейной формулѣ X. Н. ж. д. чѣмъ къ параболамъ Франка или Лейтцмана. Это объясняется тѣмъ, что, когда вагоны идутъ за паровозомъ, вліяніе члена съ  $V^2$  на общую величину  $w_0''$  при малыхъ скоростяхъ гораздо меньше вліянія члена съ  $V$ . Такъ напримѣръ изъ таблицы VII, гдѣ приведены значенія отдѣльныхъ членовъ формулы Петрова для вагоновъ груженыхъ 1000 пудами, видно, что по этой формулѣ для скоростей отъ 10 до 50 km/h изъ всей той части сопротивления, которое зависитъ отъ скорости, только, отъ 1—6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> пропорціональны квадрату ея. Поэтому пренебреженіе для этихъ условій членомъ съ  $V^2$  вноситъ гораздо меньшую ошибку, чѣмъ

Т а б л и ц а VII.

Скорость V km/h	10	20	30	40	50
Значеніа $\frac{0,9 V}{g} = \alpha$	0,39	0,77	0,16	1,54	1,93
Значеніе $0,12 \left(\frac{V}{10}\right) = \beta$	0,035	0,02	0,05	0,08	0,13
Сумма $\alpha + \beta$	0,40	0,79	1,21	1,62	2,06
Отношеніе $\frac{\beta}{\alpha + \beta}$	0,01	0,02	0,04	0,05	0,06

пренебрежение членомъ съ  $V$  въ первой степени. Болѣе того фиг. 22—24 даютъ право сказать, что линейныя формулы для товарнаго движенія могутъ дать результаты достаточно точныя для задачъ повседневной практики.

Чтобы закончить вопросъ о влияніи скорости на  $w''$ , отмѣтимъ, что, судя по расположенію точекъ на фигурахъ 24 и 25, сопротивленіе вагоновъ не только не уменьшается съ уменьшеніемъ скорости ниже 10 km/h, но какъ будто даже возрастаетъ. Это явленіе было указано еще Петровымъ<sup>1)</sup>, подтверждено Уиллингтономъ<sup>2)</sup>, Деннисомъ<sup>3)</sup> и извѣстно всякому, кто имѣлъ дѣло съ ручными маневрами вагоновъ. Теоретически же это явленіе недостаточно обосновано.

§ 29. Сравнительная оцѣнка формулъ для двухосныхъ вагоновъ. Выше мы нашли, что формулы Франка и Лейтцмана теоретически неправильны, ибо онѣ не содержатъ члена въ первой степени скорости. Правда Лейтцманъ предлагаетъ и трехчленныя формулы сопротивленія<sup>4)</sup>, а именно для грузовыхъ вагоновъ

$$w''_g = 0,7 + \frac{V}{40} + \frac{V^2}{3200}$$

и для порожнихъ

$$w''_e = 0,9 + \frac{V}{25} + \frac{V^2}{890},$$

но онѣ также, какъ и его двухчленныя формулы, даютъ явно преуменьшенные результаты. Формула же Франка, кромѣ своей теоретической неправильности, еще не дооцѣниваетъ влияніе на грузки вагоновъ на ихъ сопротивленіе. Напротивъ формула Петрова переоцѣниваетъ это влияніе и, давая очень хорошіе результаты для грузовыхъ вагоновъ, едва ли можетъ быть рекомендована для порожнихъ.

Остаются такимъ образомъ формулы Барбье

$$w''_g = 1,6 + 0,46 V \frac{V + 50}{1000},$$

Надаля

$$w''_e = 1,6 + 0,3 V \frac{V + 90}{1000}$$

<sup>1)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поезда на ж. д. 1889, стр. 351.

<sup>2)</sup> Wellington. The Economic Theory of the Location of Railway, VI изд. (1901), стр. 518.

<sup>3)</sup> Railroad Gazette, 1902, стр. 924.

<sup>4)</sup> Leitzmann und v. Borries Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues, 1911, стр. 341.

и Харьковско-Николаевской ж. д.

$$w''_0 = 1,4 + (0,04 + \frac{20}{q}) V^1).$$

Но первыя двѣ формулы не содержатъ въ себѣ  $q$ , вліяніе котораго, какъ мы видѣли, довольно значительно, и которое въ товарной службѣ колеблется въ весьма широкихъ предѣлахъ. Поэтому для товарныхъ вагоновъ я беру на себя смѣлость рекомендовать формулу Х. Н. ж. д., обладающую помимо всего прочаго тѣмъ неоспоримымъ достоинствомъ, что она выведена изъ опытовъ надъ русскими товарными вагонами и въ русскихъ условіяхъ ихъ службы.

Что же касается двухосныхъ и трехосныхъ пассажирскихъ вагоновъ, то для нихъ можно рекомендовать формулы Барбье и Надаля, которыя и получены при опытахъ съ пассажирскими двухосными вагонами. Этимъ и объясняется, почему они не содержатъ въ себѣ  $q$ , которое для пассажирскихъ вагоновъ колеблется въ гораздо меньшихъ предѣлахъ, чѣмъ для товарныхъ.

§ 30. Формулы для сопротивленія вагоновъ на тележкахъ. Все, что будетъ говоритья въ этомъ параграфѣ, относится къ пассажирскимъ вагонамъ на двухосныхъ тележкахъ. Восьмиколесныхъ товарныхъ вагоновъ у насъ очень мало, да и кромѣ того результаты опытовъ надъ ихъ сопротивленіемъ, произведенныхъ авторомъ въ 1908 г. на Ек. ж. д. мало надежны. Съ одной стороны они весьма малочисленны, а съ другой состояніе испытываемыхъ вагоновъ (Арбалетъ, Кушманъ) было весьма неудовлетворительно, что результаты этихъ опытовъ едва ли можно распространять на товарные восьмиколесные вагоны вообще.

Изъ числа формулъ, предложенныхъ для опредѣленія сопротивленія пассажирскихъ вагоновъ на тележкахъ, наибольшимъ распространеніемъ пользуются формулы Барбье<sup>2)</sup>

$$w''_0 = 1,6 + 0,456 V \frac{V+10}{1000},$$

Надаля<sup>3)</sup>

$$w''_0 = 1,4 + 0,2 V \frac{V+80}{1000},$$

и Франка<sup>4)</sup>

$$w''_0 = 2,5 + 0,03 \left( \frac{V}{10} \right)^2.$$

<sup>1)</sup>  $q$  въ пудахъ.

<sup>2)</sup> Revue Générale. 1897. I S; Стр. 283.

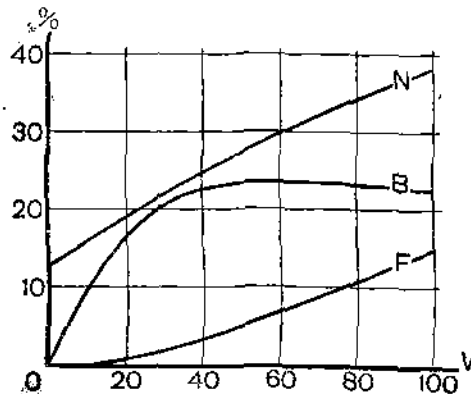
<sup>3)</sup> Nadal. Locomotives à vapeur. 1908. стр. 282.

<sup>4)</sup> Zeitschrift des V. D. I. 1907. стр. 95.

Всѣ эти формулы не содержатъ въ себѣ  $q$  и даютъ при одинаковыхъ скоростяхъ значенія  $w''$  меньше, чѣмъ формулы тѣхъ же авторовъ для двухосныхъ вагоновъ. Первое обстоятельство ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть поставлено имъ въ минусъ, ибо колебаніе вѣса 4-оснаго пассажирскаго вагона въ зависимости отъ числа вѣдущихъ пассажировъ еще меньше, чѣмъ двухоснаго. Даже для нашихъ вагоновъ III класса, вѣсящихъ 2200 пуд. и вмѣщающихъ 54 пассажира, колебаніе вѣса, считая 5 пудовъ на человѣка, не превосходитъ 12%, для вагоновъ же I класса это колебаніе составляетъ всего 3%.

Кромѣ этихъ формулъ, заслуживаютъ вниманія результаты опытовъ Коли (Cole) на Индійскихъ <sup>1)</sup> и завода Балдвина на американскихъ дорогахъ <sup>1)</sup>. Результаты эти выражены не въ видѣ формулъ, а въ видѣ кривыхъ, приведенныхъ на фиг. 27 (стр. 73).

Что же касается того обстоятельства, что удѣльное сопротивление восьмиколесныхъ вагоновъ по всѣмъ формуламъ оказывается меньше, чѣмъ четырехколесныхъ, то это объясняется съ одной стороны уменьшеніемъ сопротивленія воздуха вслѣдствіе уменьшенія числа лобовыхъ стѣнокъ, а съ другой уменьшеніемъ вліянія вагоновъ съ увеличеніемъ ихъ баазы. Нужно, однако, отмѣтить, что рассматриваемое уменьшеніе  $w''$  отъ указанныхъ формулъ далеко неодинаково. Это лучше всего видно изъ фиг. 26, гдѣ по оси ординатъ отложены значенія этого уменьшенія въ ‰.



Фиг. 26.

Такая расходимость подрываетъ довѣріе ко всѣмъ этимъ формуламъ, хотя во время опытовъ надъ типами пассажирскихъ

<sup>1)</sup> The Engineer. 1913. I., стр. 463.

паровозовъ выяснилось съ достаточной очевидностью, что при скоростяхъ отъ 50 до 100 km/h формула Надаля даетъ лѣтвомъ результаты очень близкіе къ дѣйствительности; зимой же напротивъ лучшіе результаты даетъ формула Барбье. Поэтому для полученія надежныхъ данныхъ о сопротивленіи восьмиколесныхъ пассажирскихъ вагоновъ русскихъ дорогъ былъ подвергнутъ специальной обработкѣ весь обширный динамометрической матеріалъ, собранный во время опытовъ съ пассажирскими паровозами. Работа эта для лѣтнихъ поѣздокъ (іюнь—августъ) была исполнена Любимовымъ и Дадаевымъ, предложившими формулу

$$w''_o = 1,2 + 0,3 V \frac{V+33}{1000}$$

а для зимнихъ поѣздокъ (ноябрь—декабрь) Лебедевымъ, остановившимся на формулѣ

$$w''_o = 1,5 + 0,5 V \frac{V+10}{1000} \text{ )}.$$

Надо однако имѣть въ виду, что формула Любимова и Дадаева, какъ выведенная для особо благоприятныхъ условий погоды не сравнима съ формулами Надаля и Барбье, относящимися къ *среднимъ* условиямъ, и по этой причинѣ требуетъ особой осторожности при своемъ примѣненіи. Кромѣ того, можно думать, что на опытахъ состояніе вагоновъ было выше средняго. Все это заставляетъ предполагать, что для среднихъ русскихъ условий благоразумнѣе пользоваться формулой

$$w''_o = 1,4 + \frac{V}{50} + \frac{V^2}{5000} = 1,4 + 0,2 V \frac{V+100}{1000},$$

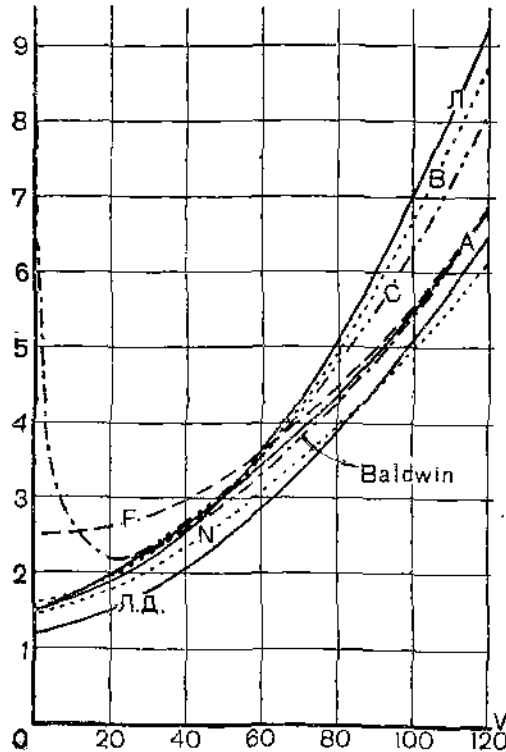
предлагаемой авторомъ. Въ пользу этой формулы говоритъ во-первыхъ то, что, какъ видно изъ фиг. 27, она (А) очень близко подходитъ къ кривой Коля (С), а во-вторыхъ что при большихъ скоростяхъ она сливается съ формулой Франка, (Е) оправданной для этихъ условий очень тщательными опытами<sup>2)</sup>.

Изъ этой фигуры видно также, что формула Лебедева (Л) очень близка къ формулѣ Барбье (В), а формула Любимова и Дадаева (Л. Д.)—къ формулѣ Надаля (N), какъ этого и слѣдовало ожидать послѣ сказаннаго въ началѣ этой страницы. Кромѣ того, эта

1) Лебедевъ. Опыты 1912—1913 гг. надъ сопротивленіемъ пассажирскихъ паровозовъ и вагоновъ Русской сѣти, СПб. 1914, стр. 20—21.

2) Вѣстникъ Общ. Технологовъ. 1908, стр. 96.

фигура показывает, что при малых скоростях формула Франка



Фиг. 27.

даёт неправдоподобно большие результаты.

§ 31 Формулы для полного сопротивления паровозовъ. Какъ уже было указано выше, полное сопротивление паровоза съ тендеромъ состоитъ изъ двухъ частей: сопротивления паровоза, какъ повозки  $W'_o$  и сопротивления паровоза, какъ машины  $W_m$ . Большинство исследователей, однако, не разделяютъ этихъ сопротивлений и даютъ свои формулы для полного удѣльнаго сопротивления паровоза вмѣстѣ съ тендеромъ

$$w'_o + w_m = \frac{W'_o + W_m}{P}.$$

Изъ числа такихъ формулъ наибольшимъ распространениемъ пользуются формулы: Петрова для пассажирскихъ паровозовъ

$$w'_o + w_m = 2,3 + 0,15 V + 0,001 V^2,$$

его же для товарных<sup>1)</sup>

$$w'_o + w_m = 4,3 + 0,15 V + 0,001 V^2,$$

Франка<sup>2)</sup>

$$w'_o + w_m = 2,5 + 0,067 \left( \frac{V}{10} \right)^2,$$

Барбье<sup>3)</sup> для пассажирских паровозов де Глена

$$w'_o = w_m = 3,8 + 0,9 V \frac{V + 30}{1000}$$

и Надаля<sup>4)</sup>, который дает для быстроходных паровозов 2—2—0

$$w'_o + w_m = 3,8 + 0,66 V \frac{V + 40}{1000},$$

для пассажирских 2—3—0

$$w'_o + w_m = 4 + V \frac{V + 30}{1000}$$

и для товарных 1—4—0

$$w'_o + w_m = 6,5 + 0,66 V \frac{V + 200}{1000}.$$

Кроме того, для паровозов 0—4—0 и 1—4—0 были предложены формулы: Вюртембергских ж. д.<sup>5)</sup>

$$w'_o + w_m = 3,7 + 0,0226 V + 0,00065 V^2,$$

и австрийской Южной дороги (Südbahn)<sup>6)</sup>

$$w'_o + w_m = 6,5 + 0,135 V + 0,00065 V^2,$$

причем последняя дает результаты совершенно тождественные с формулой Надаля.

Наконец в последнее время Занцынь<sup>7)</sup> и Лейтцмань<sup>8)</sup> предложили свои формулы вида

$$w'_o + w_m = AV^2 + BV + C$$

1) Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д. 1889. стр. 229—232.

2) Zeitschrift des V. D. I. 1907, 95.

3) Revue Générale, 1898. I. S. стр. 3, или Blum, von Borries, Barkhausen. Die Eisenbahntechnik der Gegenwart. I. 1903. стр. 66.

4) Nadal. Locomotives à vapeur. 1908, стр. 282.

5) Organ. 1908, стр. 415.

6) Чечотъ. Новый методъ расчета временъ перегоновъ. 1910, стр. 10.

7) Тамъ-же стр. 13.

8) Leitzmann und, v. Borries Theoretisches Lehrbuch des Locomotivbaues. 1911, стр. 283.

коэффициенты, которыхъ мѣняются, какъ показано въ таблицахъ VIII—IX, въ зависимости отъ типа паровозовъ. Такая зависи-

Т а б л и ц а VIII Sanzin.

Т и п ь	Приблизи- тельное $D$ .	Приблизи- тельное $P$ .	$C$	$B$	$A$
1—4—0	1300	120	5,0	0,050	0,00056
0—4—0	1200	90	5,6	0,057	0,00073
1—3—0	1700	90	4,3	9,038	0,00074
2—3—0	1700	115	3,8	0,034	0,00057
2—2—0	2000	90	3,0	0,028	0,00073

Т а б л и ц а IX Leitzmann.

Т и п ь	$D$	Система машины	$C$	$\frac{1}{B}$	$\frac{1}{A}$
2—2—0	1980	2 цил. компаундъ	2,4	80	2386
2—2—1	»	4 » »	3,0	29	1778
0—4—0	1250	2 » »	3,9	5,7	500

мость несомнѣнно имѣеть мѣсто въ дѣйствительности: съ одной стороны она объясняется тѣмъ, что, какъ мы видѣли на стр. 52—53, сопротивление паровоза, какъ новозки, должно возрастать съ уменьшеніемъ діаметра колесъ. Съ другой же стороны сопротивление паровоза, какъ машины, очевидно, зависитъ отъ числа спаренныхъ осей и отъ конструкціи движущаго и парораспредѣлительнаго механизмовъ.

Кромѣ указанныхъ выше формулъ, претендующихъ на распространительное примѣненіе, слѣдуетъ указать еще на формулы Лобушинскаго для двухъ типовъ паровозовъ Влж. ж. д. <sup>1)</sup> а именно для 2—3—0 серии Г

$$w'_g + w_m = 3,9 + 0,014 V + 0,0017 V^2$$

<sup>1)</sup> Исслѣдованія и опытные данныя о работѣ паровозовъ трехъ новѣйшихъ типовъ Влж. ж. д. 1906, стр. 340.

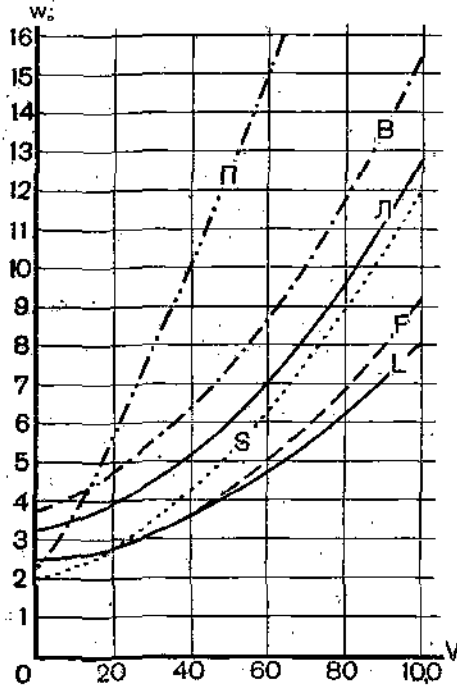


и для 2—2—0 серии Д

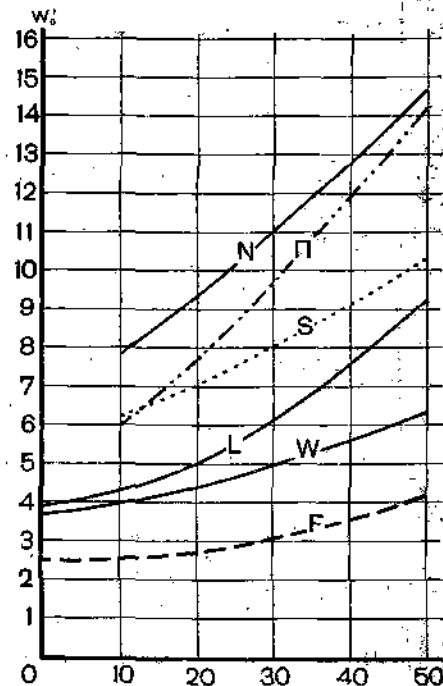
$$w'_v + w_m = 3,3 + 0,014 V + 0,0008 V^2.$$

Формулы имѣютъ для насъ особую цѣнность, ибо онѣ получены изъ весьма обстоятельныхъ опытовъ, произведенныхъ въ русскихъ условіяхъ и русскими типами паровозовъ.

Для сравнительной оцѣнки приведенныхъ формулъ на фиг. 28 сопоставлены тѣ изъ нихъ, которыя относятся къ пассажирскимъ паровозамъ съ двумя спаренными осями, а на фиг. 29 тѣ, которыя рекомендуется для товарныхъ паровозовъ съ 4 спаренными осями. Изъ этихъ фигуръ мы видимъ, что формулы для



Фиг. 28. Паровозы 2—2—0.



Фиг. 29 Паровозы 0—1—0 и 1—4—0.

сопротивленія паровозовъ расходятся между собой гораздо больше чѣмъ формулы для сопротивленія вагоновъ. Особенно любопытно, что наибольшая разница (до 300%) наблюдается между формулами Петрова и Франка, которыя обѣ претендуютъ на теоретическое обоснованіе.

Что касается пассажирскихъ паровозовъ (фиг. 28), то формулы для нихъ можно раздѣлить на три группы: наименьшіе результаты для  $w'_v + w_m$  даютъ формулы Франка и Лейтцмана, наибольшіе формула Петрова, а посреди лежатъ формулы Барбье.

Лопушинскаго и Занцина. Онѣ повидимому и заслуживаютъ наибольшаго довѣрія, особенно если принять тщательность опытовъ Барбье и Лопушинскаго и тотъ фактъ что производились они разными способами: Барбье опредѣлялъ  $w'_o + w_m$  помощью индикаторовъ и динамометра, а Лопушинскій путемъ скатыванія паровозовъ безъ пара.

Всматриваясь же болѣе внимательно въ фиг. 23 мы видимъ, что формулы для товарныхъ восьмиколесныхъ паровозовъ можно раздѣлить на двѣ категоріи: согласно однимъ (Франка, Лейтцмана, Вюртембергская) сопротивленіе паровоза съ тендеромъ при скоростяхъ около 10 km/h равно 2—4 kgr на тонну, а по другимъ (Надаль, Петровъ) 6—8 kgr. Къ истинѣ ближе, повидимому, формулы второй категоріи: въ этомъ насъ убѣждаютъ два факта: во-первыхъ, извѣстно, что нормальный паровозъ резервомъ по 5%<sub>00</sub> уклону безъ пара идти не можетъ, а во-вторыхъ, изъ опытовъ Х.-Н. ж. д. слѣдуетъ, что при обычныхъ условіяхъ работы сопротивленіе нормальныхъ паровозовъ на тонну вѣса вмѣстѣ съ тендеромъ достигаетъ 7—9 kgr<sup>1)</sup>.

§ 32. Формулы для сопротивленія паровозовъ какъ повозокъ. Всѣ приведенныя выше формулы обнимаютъ сопротивленіе паровоза и какъ машины, и какъ повозки. Между тѣмъ, если мы хотимъ пользоваться нашей основной формулой уравненія движенія поезда

$$\frac{dV}{dt} = \zeta \frac{F_k - W_k}{P + Q},$$

то въ сопротивленіе

$$W_k = Pw'_o + Qw''_o + (P + Q)(i + k)$$

надѣ включать только сопротивленіе паровоза, какъ повозки. Величину  $w'_o$  легко найти изъ опыта, измѣряя сопротивленіе паровозовъ со снятыми шатунами. Къ сожалѣнію, опыты эти производились въ сравнительно ограниченномъ размѣрѣ и полученные во время нихъ формулы обнимаютъ далеко не всѣ типы паровозовъ. Изъ заграничныхъ опытовъ этого ряда надѣ отмѣтить опыты Дедун<sup>2)</sup>, но главная масса ихъ была произведена въ Россіи при опытномъ изслѣдованіи разныхъ типовъ паровозовъ<sup>3)</sup>. На фиг. 30 представлены результаты этихъ опытовъ для пассажирскихъ паровозовъ разныхъ серій. Изъ нея мы видимъ, что  $w'_o$  для всѣхъ этихъ типовъ настолько мало отличается другъ

<sup>1)</sup> Ложновозъ. Опытное изслѣдованіе паровозовъ — компаундъ нормального типа. 1907, стр. 219.

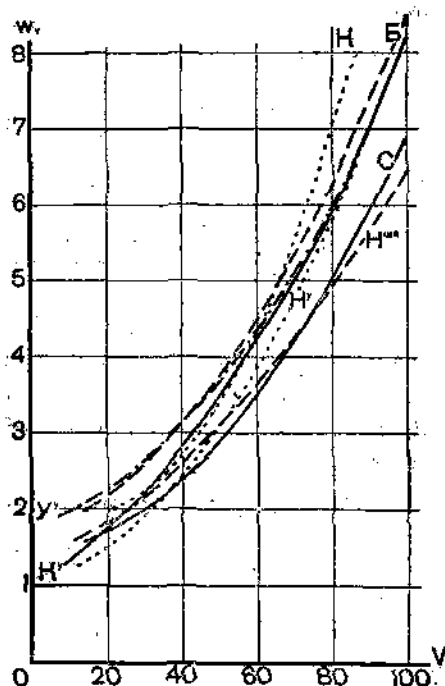
<sup>2)</sup> Revue Générale. 1890. I S., стр. 284—285.

<sup>3)</sup> Лебедевъ. Опыты 1912—1913 г.г. надъ сопротивленіемъ пассажирскихъ паровозовъ и вагоновъ Русской сѣти С.П.Б. 1914, стр. 1—15.

отъ друга, что всё они могутъ быть объединены одной формулой. Такая формула

$$w'_0 = 1,3 + 0,02 V + 0,0005 V^2$$

и была предложена Лебедевымъ<sup>1)</sup>. Широкое применение ея при



Фиг. 30.

- С 1—3—1 прери типа Сормовского завода.  
 К 2—3—0 типа Коломенского завода.  
 Б 2—3—0 типа Брянского завода.  
 К<sup>у</sup> 2—3—0 М. Казанской ж. д. (D = 1900).  
 У<sup>у</sup> 2—3—0 Р. У. ж. д. системы де Глена съ перегривомъ.  
 Н<sup>у</sup> 1—3—0 усиленного Николаевского типа.  
 Н<sup>'''</sup> 1—3—0 съ перегривомъ и машиной Штумпфа.

такъ называемыхъ опытахъ II цикла, когда тяговые расчеты подвергаются проверкѣ путемъ специально обставленныхъ опытныхъ поѣздокъ, показало полную ея надежность.

Что же касается товарныхъ паровозовъ 0—4—0 и 1—4—0 разныхъ типовъ а также паровозовъ системы маллета, то для

<sup>1)</sup> Впоследствии онъ разбилъ эту формулу на двѣ: для паровозовъ съ одной и для паровозовъ съ двухосной тележкой.

нихъ можно пользоваться формулой автора

$$w'_0 = 1,4 + 0,04 V + 0,0006 V^2$$

что сравнительно мало отличается отъ формулы Балдвина

$$w'_0 = w''_0 = 1,5 + \frac{V}{20},$$

по которой американцы опредѣляютъ полное сопротивленіе товарныхъ поѣздовъ, и которая, какъ показываетъ фиг. 24, очень хорошо выражаетъ сопротивленіе груженныхъ товарныхъ вагоновъ.

Это обстоятельство позволяетъ рекомендовать формулу Балдвина для опредѣленія сопротивленія

$$w'_0 \simeq w''_0$$

товарныхъ груженныхъ поѣздовъ. Совершенно иначе обстоитъ дѣло съ формулой германскихъ инженеровъ

$$w_0 = 2,4 + \frac{V^2}{1000}$$

примѣняемой и къ пассажирскимъ и къ товарнымъ поѣздамъ: отсутствіе члена съ 1-ой степенью скорости и преувеличенное значеніе коэффициента при  $V^2$  заставляютъ сомнѣваться въ возможности ожидать отъ нея сколько нибудь надежныхъ результатовъ.

Да и вообще гипотеза

$$w'_0 = w''_0$$

довольно близкая къ дѣйствительности для товарныхъ груженныхъ поѣздовъ, не всегда примѣнима для пассажирскихъ поѣздовъ, тамъ лучше подсчитывать отдѣльно  $w'_0$  и  $w''_0$ .

**§ 33. Сопротивленіе паровоза при закрытомъ регуляторѣ.** Сопротивленіе  $w'_0$  очевидно не зависитъ отъ дѣйствія пара въ цилиндрахъ, сопротивленіе же  $w_m$ , благодаря перекачиванію воздуха при закрытомъ регуляторѣ съ одной стороны поршня на другую больше, чѣмъ при открытомъ. Поэтому и полное сопротивленіе паровоза, идущаго безъ пара

$$w'_0 + w'_m > w'_0 + w_m.$$

Численное значеніе  $w'_m$ , а слѣдовательно и  $w'_0 + w'_m$  обуславливается размѣрами цилиндровъ и конструкціей приспособленій для уменьшенія перекачиванія воздуха. Такъ, по опытамъ 1913 г. <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Лебедевъ. Опыты 1912—1913 г.г. СПб. 1914, стр. 19.

для паровозовъ 0—4—0 компаундъ нормального типа, снабженнаго лишь клапанами Рикюра

$$w'_o + w'_m = 4,0 + 0,16 V + 0,002 V^2$$

для паровоза 1—3—1 С компаундъ съ байпассаами Зяблова

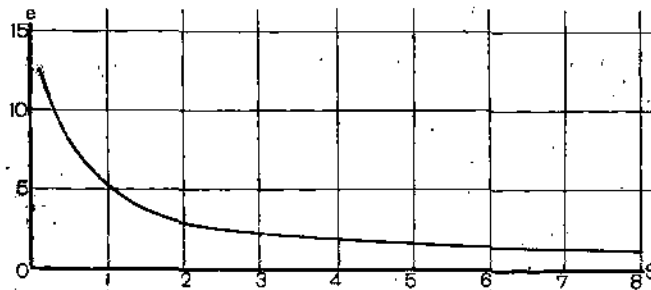
$$w'_o + w'_m = 3,0 + 0,04 V + 0,0006 V^2 + 0,000013 V^3$$

а для паровоза 2—3—0 К<sup>у</sup>, снабженнаго перепускными клапанами Мейнике

$$w'_o + w'_m = 2,0 + 0,06 V + 0,0004 V^2 + 0,000013 V^3.$$

Въ эти формулы скорость входитъ уже въ кубъ, что однако не представляетъ ничего неожиданнаго, такъ какъ Рёкель, а послѣ него Дедуи вводили въ формулы сопротивленія паровоза при закрытомъ регуляторѣ членъ съ  $V^3$ . Приэтомъ Дедуи отмѣчали, что этотъ членъ характеризуютъ именно сопротивленіе механизма паровоза <sup>1)</sup>

§ 34. Вліяніе погоды на сопротивленіе поѣздовъ. Выше было уже отмѣчено, что приведенныя формулы сопротивленія отно-



Фиг. 31.

сятся къ среднимъ условіямъ погоды. Лѣтомъ въ теплую и тихую погоду сопротивленіе поѣзда бываетъ нѣсколько меньше; зимой при морозахъ и вьюгахъ, какъ показываютъ фиг. 25 и 27, значительно больше. Увеличеніе сопротивленія поѣзда въ зимнее и осеннее время обусловливается тремя причинами: пониженіемъ температуры наружнаго воздуха, значительными вѣтрами, бывающими у насъ въ эти времена года, и лежащимъ иногда на рельсахъ слоемъ снѣга.

Пониженіе температуры наружнаго воздуха вызываетъ сгущеніе смазки въ буксахъ и увеличеніе коэффициента тренія въ шейкахъ. Особенно это чувствуется при троганіи съ мѣста состава, простоявшаго долго на морозѣ. Наглядной иллюстраціей этого явленія служитъ фиг. 31, относящаяся къ поѣзду съ

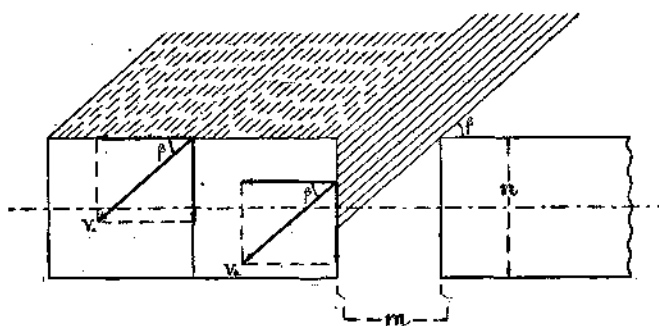
<sup>1)</sup> Романовъ. Паровозы. 1900, стр. 123.

даннымъ поѣздомъ вѣсомъ 425 тоннъ, послѣ того какъ онъ 6 часовъ простоялъ при температурѣ  $-15^{\circ}$  R. По оси абсциссъ на этой фигурѣ отмѣчены разстоянія въ верстахъ отъ станцій отпра- вленія, а по оси ординатъ удѣльное сопротивленіе вагоновъ сверхъ нормального, т. е.

$$w'_t = w'' - w''_0,$$

гдѣ  $w''$  удѣльное сопротивленіе, опредѣленное непосредственнымъ измѣненіемъ, а  $w''_0$  опредѣленное по формулѣ Лебедева. Изъ этой формулы мы видимъ, что въ моментъ троганія съ мѣста  $w''$  достигало 11 кгт на тонну т. е. превышало расчетное въ семь разъ, а затѣмъ оно постепенно падало и верстъ черезъ 25 во- шло въ норму. При очень сильныхъ морозахъ, какъ показали опыты Сибирской ж. д. <sup>1)</sup>, такого равновѣсія не достигается, и на протяженіи всего пути  $w''_t$  оказывается значительно больше нуля.

Что касается вліянія вѣтра, который можетъ быть и лѣтомъ, то оно складывается изъ четырехъ факторовъ. Во-первыхъ, при скорости



Фиг. 32.

вѣтра  $V_a$  km/h, составляющей съ направленіемъ движенія уголъ  $\beta$ , относительная скорость движенія лобовой поверхности паро- воза и воздушной среды будетъ уже не  $V$ , а

$$V + V_a \cos \beta$$

и, слѣдовательно, лобовое сопротивленіе не

$$a \Omega' V^2$$

а

$$a \Omega' (V + V_a \cos \beta)^2.$$

Во-вторыхъ, къ каждому вагону оказывается приложеннымъ допол-

<sup>1)</sup> Карташевъ. Опозданіе поѣздовъ вслѣдствіе недостатковъ и непра- вильнаго выбора смазочныхъ матеріаловъ СПб. 1911.

нительное лобовое сопротивление

$$a \Omega' V_a^2 \cos^2 \beta,$$

гдѣ

$$\Omega_a'' = \Omega' \frac{m \operatorname{tg} \beta}{n},$$

т. е. добавочное сопротивление равно

$$a \Omega' \frac{m}{n} \sin \beta \cos \beta,$$

которое обращается въ нуль при  $m=0$  т. е. при употребленіи гармоній во всю ширину вагона. Въ-третьихъ, при вѣтрѣ увеличивается треніе надвѣтренной стороны поѣзда отъ воздуха, такъ какъ съ этой стороны относительная скорость воздуха и поѣзда будетъ равна

$$V + V_a \cos \beta.$$

Наконецъ, въ-четвертыхъ, благодаря вѣтру, къ паровозу и каждому вагону съ надвѣтренной стороны оказывается приложенной сила

$$a \Omega_m V_a^2 \sin^2 \beta,$$

гдѣ  $\Omega_m$  боковая поверхность паровоза или вагона. Силы эти стремятся сдвинуть поѣздъ въ бокъ и тѣмъ вызывать увеличеніе тренія первого рода между колесами и рельсами.

Въ пустыняхъ Средней Азии скорость вѣтра достигаетъ до 100 км/ч, что вызываетъ увеличеніе удѣльнаго сопротивления на 5 и даже больше килограммъ, въ Европейской же Россіи увеличеніе удѣльнаго сопротивления отъ вѣтра не превосходитъ 2—3 килограммъ. Надо однако замѣтить, что столь сильныя вѣтры, которые правильнѣе называть ураганомъ (бураномъ, самумомъ) бываютъ сравнительно рѣдко и продолжаются обычно всего лишь нѣсколько часовъ. Поэтому выгоднѣе мириться съ тѣмъ замѣшательствомъ, которое они нерѣдко вносятъ въ движеніе, чѣмъ круглый годъ въ расчетъ на нихъ не пользоваться полною мощностью паровозовъ.

Переходимъ теперь къ добавочному сопротивленію отъ свѣта на рельсахъ. Сопротивленіе это при отсутствіи столь значительныхъ заносовъ, что въ нихъ подвижной составъ прямо завязаетъ, обуславливается увеличеніемъ тренія второго рода между колесами и рельсами. При толщинѣ слоя въ нѣсколько сантиметровъ это добавочное сопротивленіе можетъ быть весьма значительнымъ.

чительно. Но опять таки подобные, сравнительно рѣдкіе, случаи вводить въ расчеты было бы неправильно. Наличие же на рельсахъ слоя снѣга въ 2—3 м/м. вызываетъ увеличеніе  $w$  не болѣе 0,5 kgr на тонну.

Сказаннаго, полагаю, достаточно, чтобы выяснить физическую природу вліянія погоды на сопротивленіе поѣзда. Къ сожалѣнію для вашихъ прикладныхъ цѣлей этого еще не достаточно; намъ нужны опредѣленныя указанія, какъ это вліяніе слѣдуетъ учитывать въ тяговыхъ расчетахъ.

Что касается вліянія температуры, то Петровъ предложилъ его оцѣнивать формулой

$$w_t = 0,2 - 0,015 t, \quad 1)$$

гдѣ  $t$  вѣшняя температура въ градусахъ Цельсія. Формула эта при измѣненіи температуры отъ  $+20^\circ$  С до  $-20^\circ$  С даетъ увеличеніе удѣльнаго сопротивленія поѣзда только на 0,6 kgr, между тѣмъ, какъ при зимнихъ опытахъ 1912—1913 г.г. на Ник. и М.-К. ж. д. мы получали значительно большія цифры; кромѣ того она не учитываетъ увеличенія сопротивленія въ началѣ поѣздки, о чемъ говорилось на стр. 80. Для оцѣнки вліянія снѣга не было предложено вовсе формулъ. Вліяніе же вѣтра Петровъ оцѣниваетъ для вагоновъ формулой

$$w_w = 0,0045 \frac{V_a^2}{g}, \quad 1)$$

причемъ при выводѣ ея принималось только поперечное дѣйствіе силы

$$\alpha \Omega_m V_a^2 \sin^2 \beta, \quad 2)$$

Насколько формулы Петрова правильно оцѣниваютъ вліяніе температуры и вѣтра видно изъ фиг. 33 (стр. 84), гдѣ сплошными линиями показаны среднія мѣсячныя значенія полного удѣльнаго сопротивленія вагоновъ

$$w'' = w_0'' + i + k$$

на участкѣ Николаевъ-Долинская (А) и обратно (В), полученныя изъ почти ежедневныхъ поѣздовъ Теодоровича по этому участку съ его динамометромъ въ 1896 г.<sup>3)</sup>, а пунктирными—результаты подсчетовъ по формуламъ Петрова, послѣ подстановки въ нихъ дѣйствительныхъ температуръ воздуха и измѣренныхъ анемометромъ Козелли значеній скорости вѣтра.

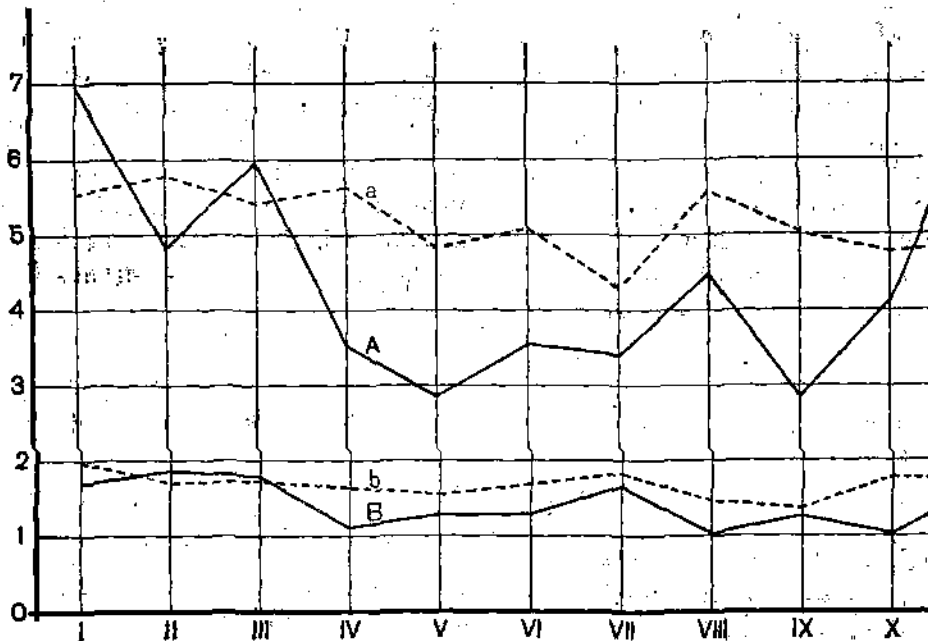
1) Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на ж. д. 1889, стр. 251—254.

2) См. Чечотъ. Новый методъ. . . . стр. 24—25.

3) Опыты эти къ сожалѣнію нигдѣ не опубликованы.



Позволительно, впрочем, думать, что предложить какую либо формулу для оцѣнки вліянія вѣтра вообще нельзя, ибо не говоря уже о рѣзкихъ измѣненіяхъ въ его силѣ, даже при совершенно равномерномъ движеніи воздуха вліяніе его на  $w$  весьма сильно зависитъ отъ его направленія; а это послѣднее въ криволинейныхъ частяхъ пути непрерывно мѣняется. Столь же неопредѣленной является и задача о вліяніи снѣга, которое зависитъ отъ толщины и плотности слоя его на рельсахъ. Все это заставляетъ сомнѣваться въ возможности опѣнить какой либо формулой вліяніе погоды вообще. Единственно правильнымъ путемъ для введенія въ тяговые расчеты надежныхъ данныхъ этого рода является поэтому производство на разныхъ участкахъ



Фиг. 33. Николаевъ-Долгинская. 1896.

дороги специальныхъ опытовъ въ разное время года. Но надлежитъ помнить, что результаты эти можно распространять на другія участки съ чрезвычайной осторожностью, ибо такія обстоятельства, какъ расположеніе около полотна лѣса, глубина выемокъ и пр., весьма замѣтно измѣняютъ вліяніе погоды и въ частности вѣтра.

Результаты такихъ опытовъ могутъ выражаться или въ видѣ формулъ, какъ это для пассажирскихъ поѣздовъ на участкѣ Тверь-Москва было сдѣлано Лебедевымъ, Любимовымъ и Дале-

свнмъ (фиг. 27) или въ видъ средней прибавки

$$e = w_1 + w_2 + w_3 \dots \dots \dots 37$$

для даннаго участка, какъ это дѣлалось при опытахъ Жебровскаго и Чечотта<sup>1)</sup> на Ташк. ж. д. Первый приемъ правильнѣе, ибо несомнѣнно вліяніе погоды при большихъ скоростяхъ сказывается сильнѣе, чѣмъ при малыхъ, но послѣднее удобнѣе.

(При отсутствіи же подобныхъ данныхъ для зимы въ предѣлахъ Европейской Россіи сѣвернѣе дуги большого круга, соединяющей Ригу и Астрахань можно считать

$$e = 1$$

какъ это и рекомендуется при расчетахъ расписаній воинскихъ поѣздовъ, а южнѣе

$$e = 0,5;$$

сверхъ того для первыхъ трехъ верстъ отъ начальной станціи полезно прибавлять

$$e' = 2,$$

а на слѣдующихъ пяти

$$e' = 1.$$

<sup>1)</sup> Опыты эти еще не опубликованы.

## ГЛАВА IV.

### Тормазное усиліе.

§ 35. Законы тренія между колесами и колодками. Помимо разсмотрѣнныхъ выше, такъ сказать, естественныхъ сопротивленій, для уменьшенія скорости поѣзда и возможности быстро остановить его, въ немъ возбуждаются искусственныя сопротивленія въ видѣ силъ тренія между нѣкоторыми колесами и тормазными колодками.

Равнодѣйствующая этихъ силъ  $B_k$  называется тормазнымъ усиліемъ. Такъ какъ, съ одной стороны, для каждаго тормазнаго колеса сила тренія равна

$$\varphi_k X,$$

гдѣ  $\varphi_k$  коэффициентъ тренія, а  $X$  сила нажатія колодки, а съ другой стороны, всѣ эти силы приложены къ ободу колесъ, вслѣдствіе чего для нихъ

$$\frac{dx}{ds} = 1,$$

то

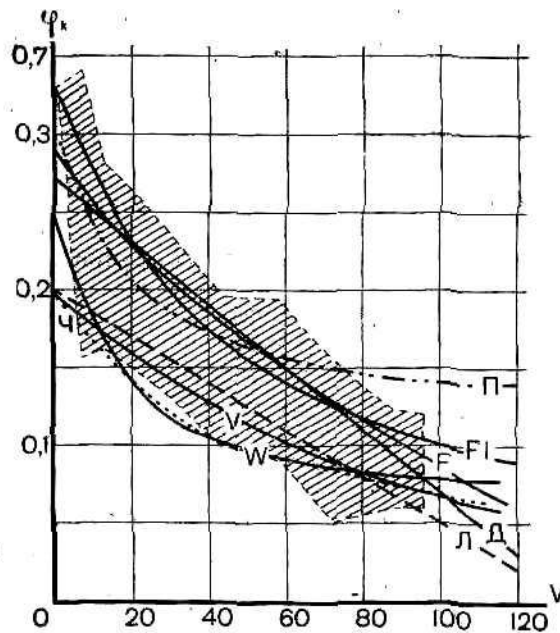
$$B_k = \varphi_k \Sigma X \dots \dots \dots 38.$$

Формула эта показываетъ, что изученіе тормазнаго усилія сводится къ изученію  $\varphi_k$  и  $X$ .

Коэффициентъ тренія перваго рода между двумя твердыми тѣлами не есть величина постоянная: какъ показали еще опыты Пуаре (1856), она падаетъ съ увеличеніемъ скорости. Для тормазовъ это обстоятельство имѣетъ чрезвычайно важное значеніе, ибо при равныхъ прочихъ условіяхъ оно дѣлаетъ ихъ менѣе дѣятельными именно тамъ, гдѣ отъ нихъ требуется особая надежность, т. е. при большихъ скоростяхъ. Поэтому для изученія

зависимости между  $\varphi_k$  и  $V$ , специально у тормазовъ, производились весьма обширные опыты, изъ которыхъ на первое мѣсто слѣдуетъ поставить опыты Гальтона <sup>1)</sup>, произведенные въ концѣ семидесятыхъ годовъ на англійской дорогѣ Лондонъ — Брайтонъ (London — Brighton and South Coast).

Результаты опытовъ Гальтона представлены на фиг. 34 въ видѣ заштрихованной площади, внутри которой расположились его точки, относящіяся къ стальнымъ баядажамъ и чугуннымъ колодкамъ. Значительная разбросанность этихъ точекъ объяс-

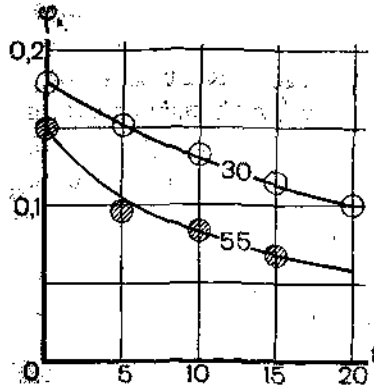


Фиг. 34. D. Galton.

няется тѣмъ, что величина  $\varphi_k$  кромѣ  $V$  зависитъ еще отъ цѣлаго ряда факторовъ, изъ которыхъ главными являются условія погоды и продолжительность нажатія колодокъ. Специальные опыты Гальтона показали, что прижатая колодка очень быстро пришлифовывается къ колесу, результатомъ чего является пониженіе  $\varphi_k$ . Для примѣра на фиг. 35 приведены результаты этихъ опытовъ для скоростей въ 30 и 55 километровъ въ часъ въ функціи продолжительности нажатія. При наличіи же влаги это пришлифованіе происходитъ еще болѣе интенсивно. Нако-

<sup>1)</sup> Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, 1878, стр. 467 590; 1879, стр. 170.

нецъ, при обледенѣвшихъ колодкахъ, что у насъ зимой особенно въ пассажирскихъ составахъ бываетъ нерѣдко,  $\varphi_k$  уменьшается еще больше.



Фиг. 35. Galton.

Самъ Гальтонъ въ виду всѣхъ этихъ обстоятельствъ не далъ для  $\varphi_k$  никакой эмпирической формулы; это на основаніи его опытовъ сдѣлали другіе, а именно Франкъ, предложившій формулу

$$\varphi_k = 0,29e^{-\frac{V}{50}},$$

Флигнеръ

$$\varphi_k = \frac{14,8}{45 + V} = \frac{0,33}{1 + 0,022V},$$

что очень близко подходит къ формулѣ Пуаре

$$\varphi_k = \frac{0,33}{1 + 0,02V},$$

приведенной на стр. 2 для тренія колесъ о рельсъ, и Дуаенъ

$$\varphi_k = 0,27 - 0,002V^2).$$

Всѣ эти формулы нанесены на фиг. 34, изъ которой мы видимъ, что всѣ онѣ даютъ результаты очень близкіе другъ къ другу. Это обстоятельство позволяетъ отдать рѣшительное предпочтеніе формулѣ Дуаена, какъ простѣйшей.

Съ другой стороны, та же фиг. 36 показываетъ намъ, что всѣ эти формулы располагаются въ верхней трети заштрихованной площади, т. е. соответствуютъ тѣмъ изъ опытовъ Гальтона, которые производились при сравнительно благоприятныхъ условіяхъ. Благодаря этому, при плохой погодѣ формулы Франка, Флигнера и Дуаена даютъ преувеличенныя значенія  $\varphi_k$ . Этимъ обстоятельствомъ и были вызваны послѣдующіе опыты надъ величиной  $\varphi_k$ , изъ числа которыхъ надо отмѣтить опыты Кассельской дирекціи Прусскихъ Государственныхъ дорогъ <sup>2)</sup>; опыты Вихерта <sup>3)</sup> и опыты

<sup>1)</sup> Чечоттъ (Новый методъ... стр. 133) неправильно называетъ эту формулу формулой Мухачева; послѣдній на стр. 537 своей книги „Теорія и конструкция паровозовъ“ (1895) самъ указываетъ, что она принадлежитъ Дуаену. Послѣдній опубликовалъ ее въ Revue Industrielle въ 1893 г.

<sup>2)</sup> Чечоттъ. Новый методъ... стр. 133.

<sup>3)</sup> Organ. 1889, стр. 72 и 122.

Сперри <sup>1)</sup> (последніе специально для электрических трамваевъ въ 1894 г.).

На основаніи Кассельскихъ опытовъ Союзъ Германскихъ Инженеровъ (Verein D. I.) предложилъ формулу

$$\varphi_k = 0,20e^{-\frac{V}{30}},$$

получающуюся изъ формулы Франка путемъ уменьшенія  $\varphi_k$  въ отношеніи

$$\frac{20}{29} \approx \frac{1}{3}.$$

Съ другой стороны, на основаніи тѣхъ же опытовъ Петровъ далъ свою формулу

$$\varphi_k = \frac{0,2}{1 + 0,0472V} + 0,104,$$

которая, какъ показываетъ фиг. 34 (кривая П), располагается при большихъ скоростяхъ выше всѣхъ остальныхъ формулъ и даже выходитъ изъ района точекъ Гальтона. Вихертъ же на основаніи своихъ опытовъ для неблагоприятныхъ условий погоды предложилъ формулу

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

представленную на фиг. 34 кривой W, которую Чечоттъ предлагаетъ исправить, какъ показано пунктиромъ изъ однихъ точекъ.

Резюмируя сказанное, мы видимъ, что, исходя изъ опытовъ Гальтона, для сравнительно благоприятныхъ условий можно рекомендовать формулу Дуаена

$$\varphi_k = 0,27 - 0,002V,$$

а для неблагоприятныхъ формулы Вихерта, Союза и очень близкую къ этой послѣдней формулу автора

$$\varphi_k = 0,20 - 0,0015V.$$

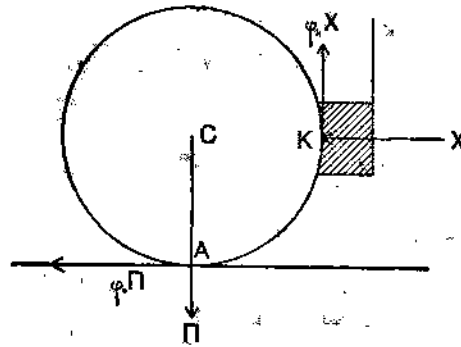
§ 36. Сила нажатія колодокъ. На первый взглядъ сила  $X$  всецѣло зависитъ отъ нашего произвола, и, увеличивая ее, мы можемъ безпредѣльно увеличивать тормазное усиліе. Въ дѣйствительности, однако, возрастаніе  $B$  вмѣстѣ съ  $X$  имѣетъ мѣсто

<sup>1)</sup> Blondel et Paul-Dubois. La traction électrique. II. (1898), стр. 732.

только до некоторого предѣла. Въ самомъ дѣлѣ, зависимость

$$B = \varphi_k X$$

имѣетъ мѣсто только до тѣхъ поръ, пока относительная скорость въ точкѣ К (фиг. 36) не равна нулю. Если же мы доведемъ  $X$  до



Фиг. 36.

такого предѣла, что колодка заклинитъ колесо, и оно начнетъ скользить по рельсу, то въ точкѣ К никакого тренія не будетъ, а тормозящимъ усилиемъ явится сила тренія колеса о рельсъ

$$B' = \varphi_0 P, \dots \dots \dots 39$$

приложенная въ точкѣ А. Поэтому, насколько бы мы ни увеличили силу  $X$  сверхъ предѣла, вызывающаго заклиниваніе колеса, тормозящее усиліе не увеличится.

Пока колесо катится, точка А (фиг. 36) является мгновеннымъ центромъ, и сила тренія между колесомъ и рельсомъ, препятствующая заклиниванію колеса, равна

$$\varphi_0 P,$$

гдѣ  $P$  нагрузка на колесо, а  $\varphi_0$  коэффициентъ тренія при скорости равной нулю. Очевидно, каченіе колеса будетъ имѣть мѣсто, пока

$$\varphi_k X < \varphi_0 P,$$

т. е. пока

$$X < \frac{\varphi_0}{\varphi_k} P.$$

Если же мы доведемъ  $X$  до значенія

$$X_0 = \frac{\varphi_0}{\varphi_k} P,$$

соответствующаго

$$B_0 = \varphi_0 \Pi,$$

то колесо заклинится и начнет скользить по рельсу, а тормазнымъ усилениемъ сдѣлается

$$B' = \varphi \Pi < B_0,$$

ибо, какъ мы видѣли, при любой скорости

$$\varphi < \varphi_0.$$

Такимъ образомъ зависимость между тормазнымъ усилениемъ  $B$  и нажатиемъ  $X$  имѣетъ видъ, указанный на фиг. 37: при

$$X < X_0$$

$B$  прямо пропорционально  $X$ , затѣмъ оно падаетъ сразу до значенія

$$B' = \varphi \Pi$$

и при дальнѣйшемъ увеличеніи  $X$  сохраняетъ это значеніе.

Здѣсь необходимо отмѣтить, что помимо уменьшенія  $B$  заклиниваніе тормазныхъ колесъ вызываетъ образованіе на нихъ выбоинъ, и, кромѣ того, уменьшаетъ сопротивленіе  $W_0$ , ибо при скольженіи колесъ по рельсамъ отсутствуютъ треніе въ шейкахъ и сопротивленіе перекатыванію. Благодаря этому, вмѣсто полного сопротивленія затормаженаго поѣзда

$$W_0 + B_k,$$

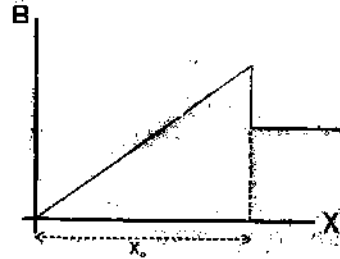
которое имѣетъ мѣсто на прямомъ и горизонтальномъ пути при катящихся колесахъ, при скользящихъ мы получимъ

$$W_0 + B_k - W_1 - W_2.$$

Отсюда ясно, что, не говоря уже о выбоинахъ, ради самаго эффекта тормаженія должно быть *всегда* выполнено условіе

$$X \ll \frac{\Pi \varphi_0}{\varphi_k},$$

и выполнено при томъ для каждой тормазной оси. Изъ сказан-



Фиг. 37



наго слѣдуетъ, что оно должно быть выполнено и для совпаденія наименьшаго  $\varphi_0$  съ наибольшимъ  $\varphi_k$ , т. е.

$$X \leq \frac{\min \varphi_0}{\max \varphi_k} \Pi \dots \dots \dots 40$$

Такъ какъ помощью песка  $\varphi_0$  всегда можно поддержать больше 0,25, то въ этой формулѣ  $\min \varphi_0$  можно считать равнымъ 0,25, наибольшее же значеніе  $\varphi_k$  по опытамъ Гальтона для среднихъ условій можно принять равнымъ 0,3. При этихъ цифрахъ неравенство 40 получаетъ видъ

$$X \leq 0,83\Pi \dots \dots \dots 40a$$

Этого соотношенія и придерживаются при проектированіи тормазныхъ передачъ товарныхъ вагоновъ, а также и пассажирскихъ, предназначенныхъ для горныхъ участковъ или для дачнаго движенія, гдѣ быстрота остановокъ имѣетъ особое значеніе. Для пассажирскихъ же вагоновъ дальняго слѣдованія, обращающихся по равниннымъ дорогамъ, максимумъ отношенія

$$\delta = \frac{X}{\Pi} \dots \dots \dots 41$$

берутъ обычно, во избѣжаніе безпокойства пассажировъ рѣшимаго тормаженіемъ, между 35 и 50%. Этихъ же нормъ во избѣжаніе значительнаго износа бандажей придерживаются и для движущихъ осей паровозовъ. Что касается тендеровъ, то по отношенію къ нимъ наблюдается два теченія. Съ одной стороны, нежелательныя послѣдствія образованія высоицъ на тендерныхъ осяхъ въ смыслѣ воздѣйствія на путь<sup>1)</sup> заставляютъ уменьшать  $\delta$  для тендеровъ до 55% отъ тары<sup>2)</sup>; а съ другой стороны, соображеніе, что тендера никогда совершенно пустыми съ поѣздами не ходятъ, даетъ право доводить для нихъ  $\delta$  до 100 и даже 130%, какъ это сдѣлано на 3-осномъ „усиленномъ“ тендерѣ нормальнаго паровоза. Заграничная и особенно американская практика придерживается втораго направленія. Оно имѣетъ для насъ за собой и то соображеніе, что въ товарныхъ поѣздахъ тендеръ является главнымъ тормазнымъ аппаратомъ въ поѣздѣ.

Указанныя нормы относятся къ проектамъ разныхъ видовъ подвижнаго состава. На паровозахъ, тендерахъ и пассажирскихъ вагонахъ, находящихся подъ непрерывнымъ техническимъ наблюденіемъ, они болѣе или менѣе сохраняются и въ условіяхъ по-

<sup>1)</sup> Васютынской. Наблюденія надъ упругими деформациями ж. д. пути 1896. стр. 78.

<sup>2)</sup> Приказъ Министра Путей Сообщенія 1899 г. № 65.

<sup>3)</sup> Протоколы XXIX Сов. Съѣзда сл. тяги; стр. 404.

вседневной службы. Совершенно иначе обстоятъ дѣло съ товарными вагонами, состояніе которыхъ у насъ заставляетъ желать много лучшаго. По специальнымъ опытамъ Борщова и Рубанова, надъ вагонами конвенціоннаго осмотра въ Нижне-Днѣпровскихъ мастерскихъ <sup>1)</sup> оказалось, что увеличеніе  $\delta$  для нормальныхъ вагоновъ свыше 50 — 60% отъ тары въ большинствѣ случаевъ, не представлялось возможнымъ, вслѣдствіе деформации частей вагона, соединенныхъ съ тормазной передачей. Кроме того для нѣкоторыхъ вагоновъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія этой передачи оказался настолько малъ, что даже при отсутствіи указанныхъ деформаций силы одного человѣка недостаточно для реализаціи  $\delta = 0,85$ , какъ это предвидѣно проектомъ.

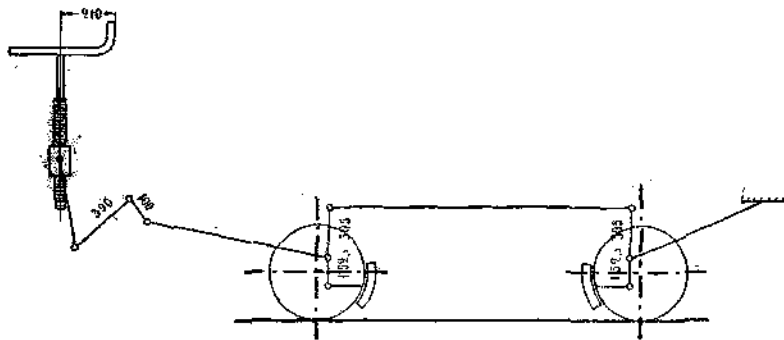
Въ виду всего сказаннаго принимать для русскихъ товарныхъ вагоновъ  $X$  больше 50% тары представляется весьма рискованнымъ.

Въ заключеніе въ видѣ примѣра приведемъ расчетъ  $\delta$  для русскаго нормальнаго вагона <sup>2)</sup>. Такія провѣрки для новыхъ типовъ паровозовъ и вагоновъ при тяговыхъ расчетахъ приходится производить довольно часто. Схема тормазной передачи этого вагона изображена на фиг. 38. Назовемъ средній діаметръ винта черезъ  $d$  ( $36\frac{1}{2}$  м/м), ходъ его черезъ  $h$  ( $9\frac{1}{2}$  м/м), уголъ винта черезъ

$$\alpha = \arctg \frac{h}{\pi d}$$

и діаметръ рукоятки черезъ  $D$  (420 м/м). Тогда передаточное число рукоятки

$$m_1 = \frac{D}{d} = \frac{420}{36\frac{1}{2}} = 11,5,$$



Фиг. 38.

<sup>1)</sup> Протоколы засѣданій 1-го Техническаго Совѣщанія старшихъ агентовъ сл. тяги Екатеринбургской ж. д. Е-славъ. 1904, стр. 17—24.

<sup>2)</sup> Протоколы XXIX Сов. Съѣзда сл. тяги, стр. 401—402.

где  $\eta_3$  коэффициент рычажной передачи, который можно принять равным 0,9. При этих цифрах

$$m_2 = \frac{1 - \frac{\varphi h}{\pi d}}{\frac{h}{\pi d} + \varphi} = \frac{\pi d - \varphi h}{h + \pi d \varphi} = \frac{3,14 \times 36,5 - 0,15 \times 9,5}{9,5 + 3,14 \times 36,5 \times 0,15} = 4,25$$

$$m_3 = 0,9 \frac{390}{100} = 3,5$$

а общее передаточное число

$$m = m_1 m_2 m_3 = 11,5 \times 4,25 \times 3,5 = 170.$$

При продолжительной работе усилие человека на рукоятку можно считать в среднем около  $12\frac{1}{2}$  килограмм<sup>1)</sup>; допуская же, при сравнительно кратковременной работе подтягивания тормоза, это усилие может быть утроено, мы получим наибольшее напряжение на все 4 оси вагона

$$\max \Sigma X = 3 \times 12,5 \times 170 = 6400 \text{ kgr.}$$

винта

$$m_2 = \frac{1}{\operatorname{tg}(a + \operatorname{arctg} \varphi)}.$$

где  $\varphi$  коэффициент трения, который при отсутствии смазки можно считать около 0,07, и который из осторожности мы примем равным 0,15, и рычагов

$$m_3 = \eta_3 \frac{390}{100}$$

Тара тормозного крытого вагона равна 450 пуд., или 7400 kgr., откуда для этого вагона теоретическое

$$\max \delta = \frac{64}{74} = 0,86,$$

что очень близко к нормам указанной на стр. 93. Во время же опытов Борщова и Рубанова при усилении на рукоятку в  $37\frac{1}{2}$  ки-

<sup>1)</sup> Романов. Подъемные машины. 1903. Стр. 76.

<sup>2)</sup> Радциг. Прикладная механика, стр. 56.

лограммы так  $\delta$  колебалось въ придѣлахъ отъ 45 до 65%, и въ среднемъ было ими принято въ 53%. Такимъ образомъ даже для лучшихъ вагоновъ дѣйствительное нажатіе составляло 75% отъ теоретическаго, а въ среднемъ оно равнялось всего 61% теоретическаго.

§ 37. Тормазное усиліе всего поѣзда. Если для каждой тормазной повозки значеніе

$$\delta = \frac{X}{P} \dots \dots \dots 41$$

извѣстно, то не трудно найти и общее тормазное усиліе всего поѣзда

$$B_k = \varphi_k \Sigma X = \varphi_k \Sigma \delta P \dots \dots \dots 42a$$

Обычно это усиліе представляютъ въ иномъ видѣ, а именно полагаютъ

$$\Sigma \delta P = \delta_k 1000 Q,$$

гдѣ  $Q$  есть тормазной вѣсъ поѣзда въ тоннахъ, т. е. тотъ вѣсъ его, который передается на оси, снабженныя тормазами, а

$$\delta_k = \frac{\Sigma \delta P}{1000 Q} \dots \dots \dots 42$$

средній коэффициентъ нажатія колодокъ. Кромѣ того, какъ мы увидимъ ниже для вычисленій удобнѣе  $B_k$  относить къ тоннѣ вѣса поѣзда. Такое удѣльное тормазное усиліе

$$= \frac{B_k}{P + Q} = 1000 \varphi_k \frac{Q}{P + Q} \delta_k,$$

или

$$b_k = 1000 \varphi_k \dots \dots \dots 43$$

гдѣ

$$s = \frac{Q}{P + Q} \delta_k \dots \dots \dots 44$$

есть отвлеченное число, называемое *тормазнымъ коэффициентомъ*.

Какъ видно изъ формулы 44, тормазной коэффициентъ, который по существу своему есть не что иное, какъ отношеніе суммы силъ нажатія колодокъ во всемъ поѣздѣ къ его вѣсу, выражается какъ произведеніе двухъ множителей. Первый изъ

нихъ

$$\frac{Q}{P+Q}$$

для данного поезда есть величина постоянная, второй же

$$\delta_k = \frac{\Sigma \Pi}{1000Q}$$

зависитъ отъ нашего произвола, ибо мы можемъ мѣнять  $\delta_k$  отъ 0 до указанныхъ въ предыдущемъ § нормъ. Въ товарной службѣ при ручныхъ тормозахъ эти колебанія  $\delta_k$  достигаются исключительно за счетъ тендернаго тормоза, ибо для кондукторовъ есть только два сигнала „тормазить“ и „отпустить тормоза“. При непрерывныхъ же тормозахъ, напротивъ, машинисты реализуютъ макс  $\delta_k$  лишь въ исключительныхъ случаяхъ, пользуясь обычно въ зависимости отъ числа тормозовъ въ поездѣ, т. е. отъ величины

$$\frac{Q}{P+Q}$$

значеніями  $\delta$  между 0,1 и 0,3 наибольшаго возможнаго. Такой способъ употребленія тормозовъ нельзя не признать вполне правильнымъ, ибо рѣзкое торможеніе беспокоитъ пассажировъ и отражается не выгодно и на рельсахъ и на подвижномъ составѣ.

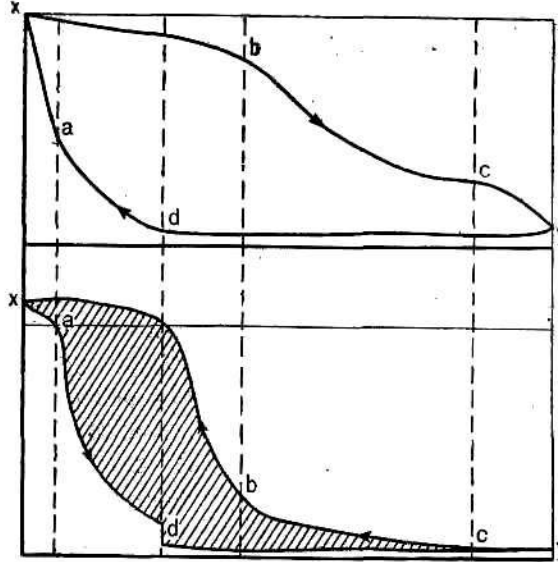
Поэтому при расчетахъ времени хода пассажирскихъ поездовъ *рекомендуется пользоваться, если это только по профилю* представляется возможнымъ, значеніями  $\delta$  около 0,1 макс. При расчетахъ же предѣльныхъ скоростей по тормозамъ надо пользоваться максимальными значеніями  $\delta$ , ибо они и имѣются въ запасъ именно на случай внезапной остановки.

§ 38. Контропарь. Кромѣ тормозовъ для регулированія скорости поезда примѣняется еще, какъ на судахъ, контропарь т. е. сообщеніе паровозу задняго хода при движеніи трубой впередъ и обратно передняго при движеніи назадъ <sup>1)</sup>. Въ прежнее время

<sup>1)</sup> Въ виду того, что въ русской литературѣ почти нѣтъ указаній о тѣхъ явленіяхъ, которыя имѣютъ мѣсто въ цилиндрахъ паровоза при контропарѣ, позволю себѣ нѣсколько остановиться на этомъ вопросѣ. При нормальномъ дѣйствіи пара индикаторная діаграмма имѣетъ видъ показанный на верхней фигурѣ, гдѣ *ab* есть впускъ, *bc* расширение, *cd* выпускъ *da* сжатіе. Представимъ себѣ теперь, что при тѣхъ же элементахъ распределенія мы даемъ контропарь т. е. выполняемъ діаграмму въ обратномъ порядкѣ (нижняя фигура), впуская паръ на нерабочую сторону поршня. При движеніи поршня отъ *x* до *a* паровпускной каналъ сообщенъ съ цилиндромъ

при отсутствіи непрерывныхъ тормазовъ надежной конструкціи, примѣненіе контропара было очень распространено, какъ въ то-

дромъ, и потому въ немъ происходитъ впускъ. Въ точкѣ *a* этотъ впускъ прекращается и до точки *d* цилиндръ остается разобшеннымъ, какъ и



на верхней діаграмѣ, отъ обоихъ каналовъ; благодаря этому то количество пара, которое было въ цилиндрѣ въ моментъ *a*, на пути *ad* подвергается расширенію. Въ точкѣ *d* происходитъ соединеніе цилиндра съ конусомъ, и давленія въ нихъ сравниваются; на пути *duc* это сообщеніе продолжается; на пути *cb* цилиндръ разобшенъ и отъ регулятора и отъ конуса. Въ точкѣ же *d* начинается впускъ пара на встрѣчу движущемуся поршню, какъ это имѣетъ мѣсто при обычной работѣ въ періодъ предваренія впуска (*ax* на верхней фиг.). Результатомъ удара пара о поршень является быстрое повышеніе его давленія, обычно даже выше давленія въ котлѣ. А такъ какъ этотъ паръ повышеннаго давленія выталкивается поршнемъ обратно въ котель, то давленіе въ немъ при контропарѣ тоже обычно начинаетъ повышаться. Это первая отрицательная сторона контропара. Второй слѣдуетъ признать засасываніе въ цилиндръ по пути *dy* изъ дымовой коробки продуктовъ горѣнія, повышающихъ температуру цилиндра и входящаго пара (перегрѣвъ), что отражается весьма разрушительно на сальникахъ и золотникахъ. Для устраниенія этихъ явленій Лешатель въ 1865 г. предложилъ при контропарѣ пускать въ цилиндръ не паръ, а смѣсь его съ водою. При такомъ „мокромъ“ контропарѣ теплота засасываемыхъ газовъ, а также теплота, развиваемая при ударѣ пара о поршень, идутъ не на перегрѣвъ пара, а на осушеніе его. Иными словами, идея Лешатель, осуществляемая посредствомъ его крана, состоитъ въ томъ, чтобы парализовать вредное дѣйствіе освобождающейся при контропарѣ теплоты за счетъ скрытой теплоты парообразованія.

варной, такъ и въ пассажирской службѣ<sup>1)</sup>). Въ настоящее же время съ пассажирскими поездами къ нему приходится прибѣгать лишь въ совершенно исключительныхъ случаяхъ. Въ товарной же службѣ, благодаря слабости нашихъ вагонныхъ тормозовъ, и понинѣ къ контропару приходится прибѣгать довольно часто, въ силу чего всѣ наши товарные паровозы снабжаются кранами Лешателье для мокрого контропара. Особенное же значеніе контропаръ имѣеть для обслуживания маневровымъ порядкомъ частныхъ вѣтокъ съ крутыми уклонами, гдѣ обезпеченіе передаваемыхъ составовъ тормазами и тормозильщиками обходится слишкомъ дорого.

Очевидно, что тормазное усиліе, вызываемое контропаромъ, зависитъ отъ положенія регулятора и переводнаго механизма. Иными словами, мѣняя эти факторы, мы можемъ мѣнять и силу контропара  $B_n$ . Въ данный же моментъ насъ интересуютъ главнымъ образомъ тѣ наибольшія значенія  $B_n$ , которыя можно получить отъ паровоза. Какъ и сила тяги,  $B_n$  по существу ограничена тремя условіями: размѣрами цилиндровъ, сѣпленіемъ и размѣрами котла. Практически, однако, послѣднее условіе для контропара не имѣеть значенія, ибо оно продолжается обычно сравнительно не долго, и потому о недостаткѣ пара для него говорить не приходится.

Сила контропара  $B_n$  выражается въ зависимости отъ размѣровъ цилиндровъ совершенно также, какъ и сила тяги. Именно для двучилиндроваго паровоза некомпаундъ

$$B_n = \eta \frac{d^2 l}{D} p_i = \eta \xi \frac{d^2 l}{D} p_i,$$

а вообще

$$B_n = \eta \frac{1}{2D} \sum d^2 l p_i. \quad (45)$$

причемъ какъ и при прямомъ дѣйствіи пара  $p_i$  и  $\xi$  уменьшающийся съ увеличеніемъ скорости<sup>2)</sup>. По опытамъ Саксонскихъ дорогъ въ 1870 г.<sup>3)</sup> при мокромъ контропарѣ и 2 оборотахъ движущихъ колесъ въ минуту

$$\max \xi \eta = \xi_n \eta_n = 0,6,$$

<sup>1)</sup> Couche. Voie, matériel roulant et l'exploitation technique des chemins de fer. III. (1876), стр. 427—439.

<sup>2)</sup> Couche. Тамъ же, стр. 451.

<sup>3)</sup> Heusinger von Walldeg. Handbuch für specielle Eisenbahntechnik. III. (1875), стр. 774.

а по новейшимъ опытамъ <sup>1)</sup> при 4 оборотахъ

$$\xi_n = 0,4.$$

Эти цифры какъ будто даютъ право предложить для  $\xi_n \eta_n$  очень простую формулу

$$\xi_n \eta_n = 0,8 - 0,11 n;$$

однако, диаграммы, снятыя мной съ паровоза 0—4—0 Русскаго общества, показываютъ, что благоразумнѣе считать

$$\xi_n \eta_n = 0,55 - 0,05 n.$$

Формула эта съ достаточной точностью применима и для паровозовъ компаундъ, если  $p_k$  относить къ большому цилиндру, т. е. если считать, что

$$B_n = \xi_n \eta_n \frac{m d^2 l}{2D} p_k, \quad \dots \dots \dots 45a$$

гдѣ  $m$  число большихъ цилиндровъ, а  $d$  ихъ діаметръ.

Переходя къ ограниченію  $B_n$  по сцепленію, прежде всего отмѣтимъ, что это ограниченіе вытекаетъ изъ тѣхъ самыхъ соображеній, какъ и при тормазакъ. Тамъ во избѣжаніе скольженія должно было для каждой тормазной оси выполнено условіе

$$B \leq \varphi_0 P,$$

а при контропарѣ для всѣхъ движущихъ осей паровоза —

$$B_n \leq \varphi_0 P_k$$

или, точнѣе, такъ какъ  $B_n$  мѣняется втеченіи оборота,

$$B_n \leq \psi_n P_k,$$

гдѣ

$$\psi_n < \varphi_0.$$

Въ случаѣ же тормаженія движущихъ осей паровоза изъ принципа сложения силъ мы имѣемъ

$$B'_k + B_n \leq \psi_n P_k,$$

<sup>1)</sup> Leitzmann und von Borries. Theoretisches Lehrbuch des Lokomotivbaues. 1911, стр. 415.



или, полагая  $\psi_k = \varphi_k$ ,

$$B'_k + B_k \leq \max F_k. \quad \dots \dots \dots 46$$

Иными словами, сумма тормозящих усилий на ободъ движущихся осей паровоза от контропара и тормазовъ ограничена тѣмъ же предѣломъ, какъ и сила тяги. Осторожнѣе, однако, во избѣжаніе скольженія при плохой погодѣ, брать при расчетахъ

$$\psi_k < \varphi_k,$$

напримѣръ около  $1/8$ .

ГЛАВА V.

Интегрирование уравнения движения поезда.

§ 39. Формы уравнения движения. Въ самомъ общемъ случаѣ, когда къ поезду приложена и сила тяги и тормазное усиліе, уравненіе его движенія имѣеть видъ

$$\frac{dV}{dt} = \zeta \frac{F_k - W_k - B_k}{P + Q},$$

или, подставляя вмѣсто  $F_k$  равную ей величину  $F_i - W_m$ ,

$$\frac{dV}{dt} = \zeta \frac{F_i - W_i - B_k}{P + Q},$$

гдѣ

$$W_i = W_k + W_m \dots \dots \dots 47$$

есть полное сопротивленіе поезда, включая и сопротивленіе паровоза какъ машины. Если назвать теперь, какъ это мы и дѣлали раньше,

$$\frac{F_k}{P + Q} = f_k,$$

$$\frac{F_i}{P + Q} = f_i,$$

$$\frac{W_k}{P + Q} = w_k = \frac{w_o P + w_o'' Q}{P + Q} + i_k + k + e,$$

$$\frac{W_i}{P + Q} = w_i = \frac{(w_k + w_o) P + w_o'' Q}{P + Q} + i_k + k + e,$$

то уравненіе движенія поезда получить видъ

$$\frac{dV}{dt} = \zeta (f_k - w_k - 1000 \varphi_k \vartheta), \dots \dots \dots II_k$$

или

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f_i - w_i - 1000 \varphi_k \vartheta), \dots \text{ II}$$

судя по тому, хотимъ ли мы имѣть дѣло съ касательной силой тяги, или съ индикаторной. Въ общемъ же видѣ можно написать, что

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f - w + 1000 \varphi_k \vartheta), \dots \text{ II'}$$

помня только, что  $f$  и  $w$  надо брать всегда съ одними индексами.

Этой послѣдней формулой уравненія движенія поѣзда мы и будемъ пользоваться въ дальнѣйшемъ изложеніи. При этомъ нужно помнитъ, что

$$w = w_0 + i + k + e, \dots \text{ 48}$$

гдѣ  $w_0$  выражаетъ сопротивленіе на прямомъ и горизонтальномъ пути,  $i$  — добавочное сопротивленіе отъ подъема,  $k$  отъ кривой,  $e$  — отъ погоды. Сопротивленіе отъ подъема и кривой всегда соединяють вмѣстѣ, называя *виртуальнымъ, расчетнымъ* или *приведеннымъ* подъемомъ величину

$$i_k = i + k. \dots \text{ 49}$$

Дополнительное же сопротивленіе отъ погоды, какъ было указано, или вводятъ въ  $w_0$  или присоединяють къ  $i_k$ , называя въ этомъ случаѣ

$$i_k = i + k + e. \dots \text{ 49a}$$

Въ обоихъ, однако, случаяхъ

$$w = w_0 + i_k, \dots \text{ 50}$$

какъ это мы и будемъ принимать въ дальнѣйшемъ.

§ 40. Изслѣдованіе уравненія поѣзда при равномерномъ его движеніи. Такъ какъ  $f$ ,  $w$  и  $\varphi_k$  суть функціи скорости, а  $f$ ,  $\vartheta$  и отчасти  $w$  кромѣ того и вѣса поѣзда  $Q$ , то мы въ правѣ уравненіе II переписать еще подѣ видомъ

$$\frac{dV}{dt} = f(V, Q) \dots \text{ По}$$

Предположимъ теперь, что поѣздъ движется равномерно со скоростью  $V$ . Въ такомъ случаѣ

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

и, слѣдовательно,

$$f(V, Q) = 0 \dots \text{ (*)}$$

Такое уравнение равномернаго движенія поѣзда даетъ возможность рѣшить двѣ задачи: 1) по заданному составу найти скорость, съ которой поѣздъ пойдетъ равномерно по данному подъѣзду, и 2) по заданной скорости и подъѣзду найти составъ поѣзда.

Аналитическое рѣшеніе второй задачи всегда возможно; аналитическое же рѣшеніе первой—только въ исключительныхъ случаяхъ. Въ самомъ дѣлѣ, если мы возьмемъ даже наиболѣе простыя формулы

$$N = A + B\sqrt{V}$$

$$W = C + D'V + E'V^2,$$

то уравненіе (\*) приметъ видъ

$$F = \frac{270N}{V} = \frac{A + B\sqrt{V}}{V} = (P + Q)(w_0 + i_k) = \\ = C + DV + EV^2,$$

или

$$A + B\sqrt{V} = CV + DV^2 + EV^3,$$

иными словами, намъ придется имѣть дѣло съ уравненіемъ шестой степени, которое, какъ извѣстно, въ общемъ случаѣ рѣшить нельзя.

Между тѣмъ графически уравненіе

$$f(V, Q) = 0$$

рѣшается очень просто при всякомъ видѣ зависимости

$$F = \varphi(V).$$

Для этого наносимъ на одинъ чертежъ кривыя  $f$  и  $w_0$ , т. е. кривыя удѣльныхъ силы тяги и сопротивленія на площадкѣ; онѣ будутъ имѣть видъ, показанный на фиг. 39, прибавляя теперь къ ординатамъ кривой  $w_0$  отрезки  $i_k$ , мы получимъ кривую

$$w = w_0 + i_k.$$

Очевидно тамъ, гдѣ эта кривая пересѣкается съ кривой  $f$ ,

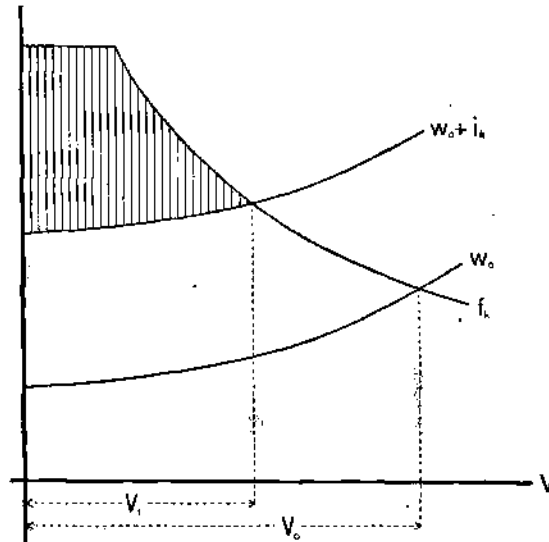
$$\frac{dV}{dt} = f(V, Q) - \xi(f - w) = 0,$$

т. е. пересѣченіе этихъ кривыхъ даетъ намъ прямо искомую  $V$ .

Можетъ быть, однако, такой случай, когда эти кривыя не пересѣкутся, т. е., когда корни уравненія

$$f(V, Q) = 0$$

будут минимыми. Это показывает, что поезд при данных условиях не имеет равномерной скорости  $V$ , т. е., что он



Фиг. 39.

должен остановиться. Такой случай будет иметь место всегда, когда

$$f < w + 1000 \varphi_k \mathcal{P}.$$

Для примера разберем случай торможения на уклон при закрытом регуляторе. В этом случае (фиг. 40)

$$f_i = 0,$$

и

$$i_k < 0;$$

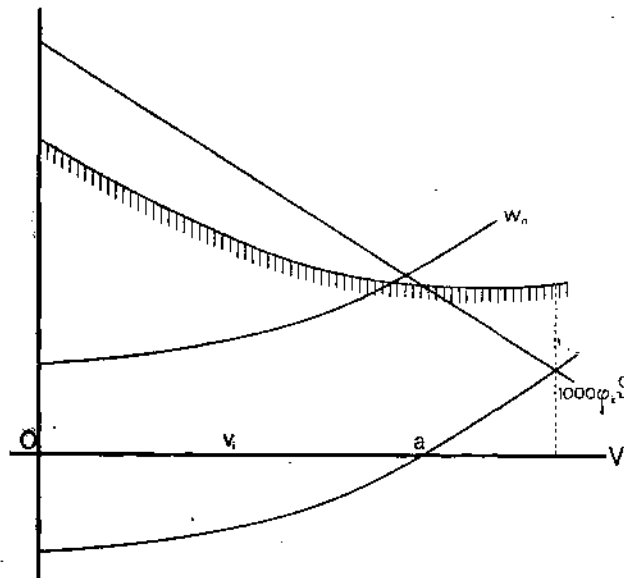
поэтому кривая  $f_i$  сольется с осью  $V$ , а кривая

$$w = w_0 + i_k + w'_m$$

расположится ниже  $w_0$ . Поэтому, если поезд предоставить самому себя, то он будет катиться вниз с равномерной скоростью  $V_i = 0$ . Если же мы введем действие тормоза, то сопротивление возрастет с  $w_i$  до  $w_i + 1000 \varphi_k \mathcal{P}$ , выражаемого заштрихованной кривой. Эта кривая не пересекается с  $f_i = 0$ , и, следовательно, поезд будет двигаться замедленно, пока не остановится.

§ 41. Исследование уравнения поезда при неравномерном его движении. Выше мы видели, что, исходя из предположения равномерного движения, по заданной скорости и подъему можно определить состав, и обратно—по заданному составу и подъему—скорость равномерного движения. Этого, однако, недостаточно

для нужд повседневной практики, которая выставляет ряд задач, совершенно исключая возможность применения гипотезы равномерности движения. Сюда относятся все задачи на тормоза и на преодоление подъемов за счет живой силы поезда. Кроме того, и самая распространенная задача, определение времени хода по перегону заданного профиля, может быть решена при помощи этой гипотезы лишь очень грубо, ибо предположение, что поезд мгновенно меняет скорость при переходе на участок другого профиля, очень далеко от истины. В действительности, как в том легко убедиться из любой ленты Гауссгелтера, поезд движется равномерно лишь в исключи-



Фиг. 40.

тельных случаях. Обычно же его движение, или замедленное, или ускоренное.

Введение в наши расчеты неравномерного движения сводит их к интегрированию уравнения

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = f(Q, V), \dots \dots \dots \text{По}$$

приводящегося, как мы видели на стр. 10—11, при первом интегрировании к квадратурам

$$t - t_0 = \int_{v_0}^v \frac{dV}{f(Q, V)} \dots \dots \dots 56$$

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{V dV}{f(Q, V)}, \dots \dots \dots 76$$

которыя можно представить подь видомь

$$V = \varphi(t) \dots \dots \dots 5a$$

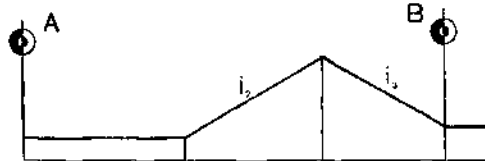
$$V = \psi(s) \dots \dots \dots 7a$$

и которыя при второмь интегрированіи дають зависимость

$$t = \chi(s) \dots \dots \dots 8a$$

Раньше, однако, чѣмъ перейти къ приѣмамъ выполнения этихъ квадратуръ, остановимся нѣсколько на общемъ изслѣдованіи уравненія Цо, не рѣшая пока его.

Предположимъ, что на ст. А стоитъ поѣздъ, готовый къ отправленію по участку АВ, профиль котораго представленъ на фиг. 41. Въ моментъ отправленія машинистъ можетъ реализиро-



Фиг. 41.

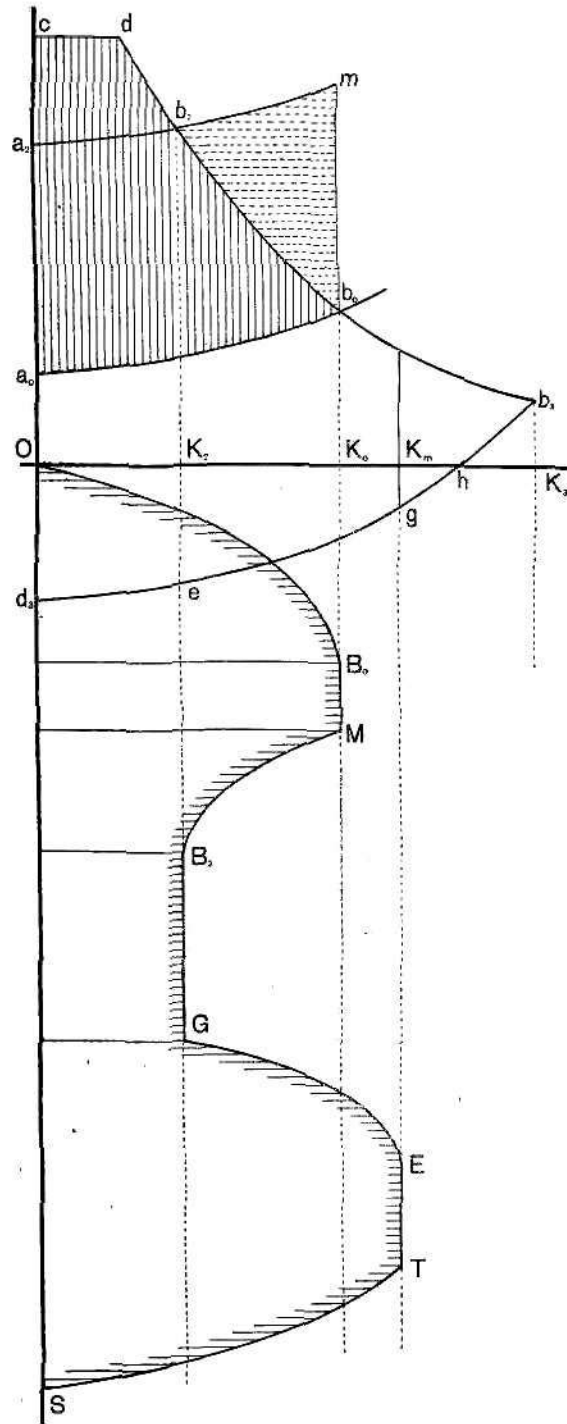
вать силу тяги, равную  $0c$  (фиг. 42), сопротивление же будетъ равно  $0a_0$ ; поэтому, согласно уравненія

$$\frac{dV}{dt} = \xi(f - w_0 - i_k),$$

или

$$f - (w_0 + i_k) = \frac{1}{\xi} \frac{dV}{dt},$$

отрѣзокъ  $ca_0$  выразить намъ въ нѣкоторомъ масштабѣ ускореніе поѣзда въ моментъ отправленія. Вообще же, пока поѣздъ идетъ по площадкѣ, ординаты [вертикально заштрихованной] площади  $a_0cda_0$  выражаютъ значенія ускоренія, соответствующія той или иной скорости. А такъ какъ эти ординаты убываютъ съ увеличеніемъ скорости, то, значить, кривая скоростей будетъ имѣть видъ  $OB_0$ ; когда же скорость достигаетъ значенія  $OK_0 = V_0$ , то ускореніе сдѣлается равнымъ нулю, и дальнѣе поѣздъ пойдетъ равномерно съ этой скоростью, что на кривой скоростей выразится прямой  $B_0M$ . Далѣе, если точка  $M$  соответвуетъ моменту входа



Фиг. 42.



на подъемъ, то ей соотвѣтствуетъ замедленіе  $mb_0$ , ибо при входѣ на подъемъ  $i_2$  со скоростью  $V_0$  сила тяги равна  $K_0b_0$ , а сопротивление  $K_0m$ . Подъ влияніемъ этого замедленія скорость начнетъ падать, но вмѣстѣ съ ней начнутъ падать и значенія замедленія, выражаемыя ординатами площади  $b_0mb_0$ . Когда же скорость упадетъ до  $OK_2 = V_2$ , то замедленіе сдѣлается равнымъ нулю, и далѣе поѣздъ пойдетъ равномерно съ этой скоростью. Пусть это равномерное движеніе продолжается до точки  $G$ , соотвѣтствующей моменту вступленія поѣзда на уклонъ —  $i_3$ . Въ этотъ моментъ поѣздъ получитъ ускореніе  $b_3e$  и начнетъ двигаться ускоренно, пока его скорость не достигнетъ величины  $OK_3 = V_3$ . Предположимъ, что эта скорость больше предѣльной допускаемой скорости  $V_m = OK_m$ . Если, однако, по достиженіи этой послѣдней скорости, машинистъ закроетъ регуляторъ, то поѣздъ будетъ всетаки двигаться ускоренно, пока не достигнетъ скорости  $V_n = Oh$ . Поэтому для того, чтобы двигаться по уклону съ равномерной скоростью  $V_m = OK_m$ , необходимо сообщить поѣзду дополнительное сопротивление  $K_mg$ , т. е. приложить къ нему силу тормаженія, равную этой величинѣ. Для того же, чтобы остановить поѣздъ, надо приложить силу тормаженія во много разъ большую.

§ 42. Допущенія, необходимыя для аналитическаго интегрированія. На стр. 10—11 и 105—106 было уже выяснено, что всѣ тяговые расчеты, относящіяся къ случаю неравномернаго движенія, сводятся къ выполненію квадратуръ

$$t - t_0 = \int_{V_0}^V \frac{dV}{f(Q, V)} \dots \dots \dots 56$$

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{VdV}{f(Q, V)}, \dots \dots \dots 76$$

къ которымъ мы сейчасъ и займемся.

Для возможности взять эти интеграллы необходимо прежде всего знать видъ функціи

$$f(Q, V) = \zeta(f - w_0 - i_k - 1000 \varphi_k \vartheta).$$

Удѣльное сопротивление  $w_0$  въ самомъ общемъ случаѣ можетъ быть представлено трехчленомъ скорости

$$w_0 = A_0V^2 + B_0V + C_0,$$

$i_k$  есть величина постоянная,  $\vartheta$  то же; что же касается величины  $\varphi_k$ , то на стр. 88 было указано, что съ достаточной для практики

точностью ее можно выражать линейною формулой

$$\varphi_k = C_k - B_k V.$$

Такимъ образомъ полное сопротивление

$$w_0 + i_k + 1000 \varphi_k = AV^2 + BV + C,$$

причемъ корни уравненія

$$AV^2 + BV + C = 0$$

при  $i_k > 0$  завѣдомо мнимы, а при  $i_k < 0$  могутъ быть и мнимы, и действительными.

Величина же  $f$ , какъ было указано въ гл. II, не представляетъ изъ себя определенной функціи отъ  $V$ , какъ это необходимо для интегрируемости нашего уравненія, а въ общемъ случаѣ выражается ломаною кривою, изображенною на фиг. 3. Чтобы устранить это препятствіе, Романовъ <sup>1)</sup>, а послѣ него Фламаншъ <sup>2)</sup>, Уберти и Стеваръ предложили замѣнить истинное очертаніе силы тяги параболою вида

$$f = C_f - B_f V - A_f V^2,$$

какъ показано на фиг. 43 пунктиромъ изъ однихъ тире. Такая замѣна обращаетъ

$$f(Q, V)$$

въ трехчленъ скорости

$$aV^2 + bV + c,$$

благодаря чему квадратуры

$$t - t_0 = \int_{V_0}^V \frac{dV}{f(Q, V)} = \int_{V_0}^V \frac{dV}{aV^2 + bV + c} \quad \dots \quad 5в$$

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{VdV}{f(Q, V)} = \int_{V_0}^V \frac{VdV}{aV^2 + bV + c} \quad \dots \quad 7в$$

берутся въ конечномъ видѣ. Позволительно, однако, думать, что эта интегрируемость достигается слишкомъ дорогою цѣной. Въ самомъ дѣлѣ, изъ фиг. 43, относящейся къ паровозу 0—4—0 нормального типа  $\alpha = 25$  видно, что замѣна опытной кривою паро-

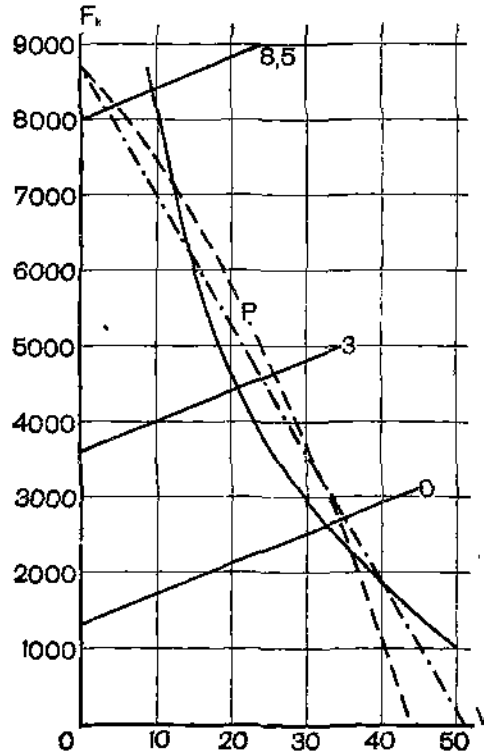
<sup>1)</sup> Романовъ. Паровозы. (1900), стр. 393.

<sup>2)</sup> Flamache, Huberti et Stéwart. Traité d'exploitation des chemins de fer. IV (1899), стр. 317.

болой

$$F_k = 8700 - 100V - 2,2V^2$$

уменьшает скорости, съ которыми поѣздъ стремится двигаться равномерно по подъемамъ, близкимъ къ предѣльнымъ, почти вдвое. Такъ, для поѣзда вѣсомъ 700 тоннъ на  $i_k = 8,5$  (прямая 8,5) опытная кривая даетъ  $V = 9\frac{1}{2}$ , а парабола  $V = 5$  км/ч. Поэтому при такой замѣнѣ времена прохождения перегоновъ, гдѣ  $8,5\%$  подъемы являются преобладающими, могутъ получиться при расчетѣ по параболѣ  $\%$  на 80 больше дѣйствительныхъ, что уже совершенно не допустимо. Еще худшіе результаты для такихъ



Фиг. 43.

перегоновъ даетъ замѣна опытной кривой прямой

$$F_k = 8700 - 170V,$$

которая, вообще говоря, подходитъ къ ней лучше параболы.

Еще ранѣе Романова, Петровъ<sup>1)</sup> и Ераковъ<sup>2)</sup> предложили замѣнять разность

$$F_k - W_0,$$

<sup>1)</sup> Петровъ. Сопротивленіе поѣзда на желѣзной дорогѣ. 1889, стр. 339.

<sup>2)</sup> Ераковъ. Сборникъ статей и записокъ. 1889, стр. 199.

прямой, что дѣлаетъ

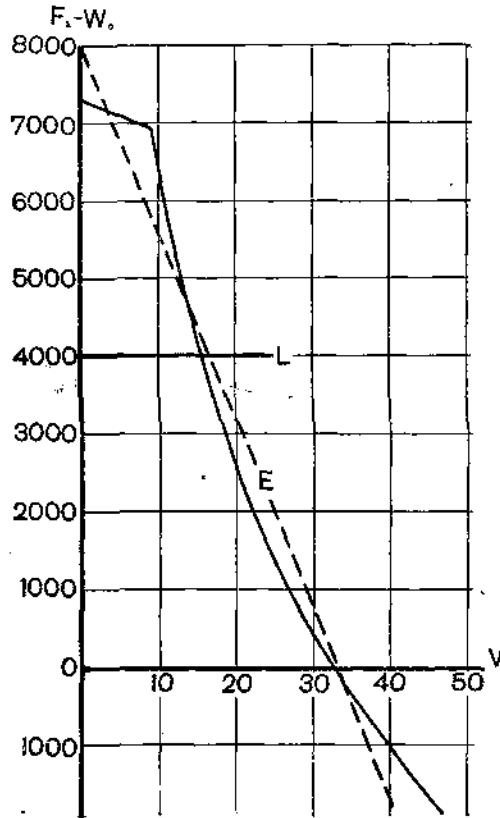
$$f(Q, V) = bV + c,$$

и, слѣдовательно, приводитъ интегралы 5б и 7 б къ виду

$$t - t_0 = \int_{V_0}^V \frac{dV}{bV + c} \dots \dots \dots 5в$$

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{VdV}{bV + c} \dots \dots \dots 7в$$

Эти интегралы берутся конечно значительно легче 5в и 7в, а съ



Фиг. 44.

другой стороны, какъ показываетъ фигура 44, относящаяся, какъ и фиг. 43, къ нормальному паровозу 0—4—0, при  $z = 25$  такое допущеніе даже вѣсколько ближе къ дѣйствительности, чѣмъ допущеніе Романова.

Совершенно иначе обстоит дѣло съ позднѣйшемъ предложеніемъ Лакнера<sup>1)</sup>, замѣнять, какъ это показано на фиг. 44, разность  $F_k - W_0$  прямой L, иными словами Лакнеръ считаетъ

$$F(Q, V) = C$$

т. е. сводить движеніе поѣзда къ равномерно ускоренному или равномерно замедленному. Подобное допущеніе настолько далеко отъ истины, что можно лишь удивляться, почему статью Лакнера сочли нужнымъ переводить на русскій языкъ. Впрочемъ, еще болѣе удивительно, что вообще есть сторонники аналитическихъ расчетовъ, требующихъ искаженія зависимости

$$F_k = \varphi_k(z, V),$$

въ то время, какъ эту задачу можно вполне правильно рѣшить графически.

Надо впрочемъ оговориться, что при расчетахъ по отсѣчкамъ (см. стр. 44—45) опытыя кривыя  $F_k = \varphi(q, \varepsilon, V)$  замѣняются очень точно параболами вида

$$F_k = C_f - B_f V - A_f V^2,$$

или даже прямыми

$$f_k = C_f - B_f V.$$

Аналитическое же интегрированіе уравненія движенія поѣзда при закрытомъ регуляторѣ и вовсе не требуетъ какихъ-либо допущеній, но зато оно весьма усложняется наличиемъ въ выраженіи для  $W'_m$  члена съ кубомъ скорости.

§ 43. Выполненіе аналитическаго интегрированія. Если считать, что

$$F(Q, V) = aV^2 + bV + c,$$

то интеграль 5 приводится, какъ мы видѣли, къ виду

$$t - t_0 = \int_{V_0}^V \frac{dv}{aV^2 + bV + c} \dots \dots \dots 5в$$

Интеграль этотъ какъ извѣстно берется различно къ зависимости отъ того, будутъ ли корни уравненія

$$aV^2 + bV + c = 0$$

<sup>1)</sup> Organ. 1899, стр. 209.

вещественны или мнимы. Въ первомъ случаѣ, т. е. когда

$$m = b^2 - 4ac > 0$$

подстановка

$$aV + \frac{b}{2} = \frac{z}{2} m$$

даётъ

$$t - t_0 = \frac{2}{m} \int_{V_0}^V \frac{dz}{1 + z^2},$$

или

$$t - t_0 = \frac{1}{m} \operatorname{lg}_e \frac{\frac{2aV + b - m}{2aV + b - m}}{\frac{2aV_0 + b - m}{2aV_0 + b - m}}, \quad \dots \quad 5к$$

гдѣ  $\operatorname{lg}_e$  есть знакъ гиперболическаго логарифма. Во второмъ же случаѣ, т. е. когда

$$m = b^2 - 4ac < 0,$$

подстановка

$$aV + \frac{b}{2} = -\frac{z}{2} m$$

даётъ

$$t - t_0 = -\frac{2}{m} \int_{V_0}^V \frac{dz}{1 + z^2},$$

или

$$t - t_0 = -\frac{2}{m} \left[ \operatorname{arctg} \frac{2aV + b}{-m} - \operatorname{arctg} \frac{2aV_0 + b}{-m} \right] \dots \quad 5м$$

Что же касается интеграла

$$s - s_0 = \int_{V_0}^V \frac{VdV}{aV^2 + bV + C}, \quad \dots \quad 7$$

то онъ легко берется по частямъ, давая, какъ при вещественныхъ, такъ и при мнимыхъ корняхъ

$$s - s_0 = \frac{b}{2a} (t - t_0) + \frac{1}{2a} \operatorname{lg}_e \frac{aV^2 + bV + C}{aV_0^2 + bV_0 + C} \dots \quad 7к$$

При вещественныхъ корняхъ оба эти интеграла можно взять и другимъ способомъ, болѣе удобнымъ для практическихъ примененій. Какъ извѣстно,

$$aV^2 + bV + C = (V - V') (V - V''),$$

гдѣ  $V'$  и  $V''$  суть корни этого уравненія. Поэтому, разлагая дробь

$$\frac{1}{aV^2 + bV + C}$$

$$\frac{V}{aV^2 + bV + C}$$

на простѣйшія, мы имѣемъ

$$t - t_0 = \frac{1}{V' - V''} \left[ \int_{V_0}^V \frac{dV}{V - V''} - \int_{V_0}^V \frac{dV}{V - V'} \right],$$

или замѣчая, что

$$V' - V'' = 2m,$$

и называя

$$\frac{b - m}{2a} = k,$$

$$\frac{b + m}{2a} = h,$$

$$t - t_0 = \frac{1}{m} \lg_e \frac{V + h}{V_0 + h} - \frac{1}{m} \lg_e \frac{V + k}{V_0 + k} \quad \dots \quad 5$$

Такимъ же путемъ для интеграла 7 можно получить

$$s - s_0 = \frac{h}{m} \lg_e \frac{V + h}{V_0 + h} + \frac{k}{m} \lg_e \frac{V + k}{V_0 + k} \quad \dots \quad 6$$

Преимущество этихъ формулъ передъ 5в и 7в состоитъ въ томъ, что, благодаря однородности ихъ конструкціи, совмѣстное пользованіе ими значительно облегчается.

Тѣмъ не менѣе нельзя не признать, что какъ формулы 5а, 5б и 7в, такъ и формулы 5д и 7д вообще очень неудобны для практическаго примѣненія, такъ какъ операціи съ Неперовымъ логарифмами и арктангенсами требуютъ много времени и особеннаго вниманія. Еще болѣе къ сложнымъ формуламъ приводитъ насъ второе интегрированіе уравненія движенія поѣзда т. е. рѣшеніе уравненія 5 относительно

$$V = \frac{ds}{dt}$$

и интегрированіе его. Для вещественныхъ корней мы тогда по-

лучаемъ

$$s - s_0 = \frac{-b + m}{2a} (t - t_0) - \frac{1}{a} \lg_e \frac{\frac{2aV_0 + b + m}{2aV_0 + b - m} e^{mt} - 1}{\frac{2aV_0 + b + m}{2aV_0 + b + m} e^{mt_0} - 1} \quad . \quad . \quad 6к$$

а для мнимыхъ формулу съ арктангенсами подъ знакомъ секанса, которую мы не приводимъ здѣсь потому, что она не имѣетъ совершенно никакого примѣненія.

Сложность приведенныхъ выше формулъ и весьма малая ихъ надежность для случая

$$F_i > 0$$

заставляетъ искать другихъ болѣе простыхъ приемовъ интегрированія уравненія поѣзда. Самымъ естественнымъ упрощеніемъ въ этомъ направленіи является предположеніе, что

$$a = 0,$$

т. е. что  $f(Q, V)$  выражается не трехчленомъ, а двухчленомъ скорости. Такое упрощеніе, какъ мы видѣли выше, въ нѣкоторыхъ случаяхъ даже увеличиваетъ точность расчетовъ и значительно упрощаетъ формулы 5, 6, и 7, которыя въ этомъ случаѣ принимаютъ видъ

$$t - t_0 = -\frac{1}{b} \lg_e \frac{bV + c}{bV_0 + c} \quad . \quad . \quad . \quad 5л$$

$$s - s_0 = \frac{V - V_0}{b} - \frac{c}{b} (t - t_0) \quad . \quad . \quad . \quad 7л$$

$$s - s_0 = c(t - t_0) - e^{-b(x-t)} + e^{-b(x-t_0)} \quad . \quad . \quad . \quad 6л$$

гдѣ

$$m = t_0 - \frac{1}{b} \lg_e (bV_0 + c).$$

§ 44. Преимущества графическаго интегрированія. Формулы, приведенныя въ предыдущемъ §, вообще говоря, очень громоздки и неудобны для практическаго примѣненія, такъ какъ помимо большой затраты времени, чѣмъ формулы сложнѣй, тѣмъ больше вѣроятность ариѳметическихъ ошибокъ. Съ другой стороны приходится признать, что, не смотря на такую сложность, для общаго случая, когда

$$F_i > 0,$$

онѣ даютъ мало надежныя результаты, ибо для возможности ихъ



примѣненія приходится дѣлать такія допущенія о зависимости

$$F = \varphi(V),$$

которыя иногда идутъ совершенно въ разрѣзъ съ дѣйствительностью.

Сказаннаго достаточно, чтобы понять, что графическіе приемы интегрированія, возможные при любомъ видѣ функціи

$$F = \varphi(V),$$

имѣютъ весьма серьезныя преимущества. Кромѣ того они, какъ мы увидимъ ниже, довольно просты, а главное, какъ всѣ графическіе приемы, наглядны, и потому при нихъ всякая ошибка бросается скорѣе въ глаза.

Въ виду всего сказаннаго представляется совершенно непонятнымъ, почему эти приемы, насчитывающіе болѣе пятнадцати лѣтъ своего существованія, и получившіе столь широкое распространеніе на электрическихъ трамваяхъ, въ желѣзнодорожной практикѣ почти не примѣняются. Особенно же непонятно игнорированіе ихъ на русскихъ дорогахъ, не смотря на то, что разработка ихъ въ значительной степени обязана русскимъ техникамъ <sup>1)</sup>.

Способовъ графическаго интегрированія уравненія движенія поѣзда было предложено очень много, но здѣсь подробно будутъ разобраны только способы Дедуи и Липеца, наиболѣе удобные для практическаго примѣненія. Хотя съ другой стороны нельзя не отдать должнаго остроумію и изяществу способа Дубелира и графоаналитическихъ приемовъ Чечотта, о которыхъ будетъ тоже сказано нѣсколько словъ.

§ 45. **Идея Дедуи.** Въ 1898 году Дедуи <sup>2)</sup> (Desdouits) предложилъ на основаніи диаграммы  $f$  и  $w$ , изображенной на фиг. 45

<sup>1)</sup> Ломоносовъ. Конспектъ курса паровозовъ (литограф. изд.). Кіевъ. 1903.  
Липецъ. Упрощенный способъ графическаго расчета хода поѣздовъ. Кіевъ. 1907.

Турчаниновъ. Пояснительная записка къ проекту лачнаго паровоза для Х. Н. ж. д. Кіевъ 1907.

Дубелиръ. Исслѣдованіе движенія вагоновъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ. Кіевъ. 1908.

Ломоносовъ. Тяговые расчеты и приложеніе къ нимъ графическихъ методовъ. СПб. 1912.

Вяземскій. Расчетъ наибольшаго вѣса товарнаго поѣзда, количества времени и воды для пробѣга поѣздовъ различныхъ составовъ. СПб. 1912.

Лебедевъ. Къ вопросу объ опредѣленіи времени хода. Журналъ М. П. С. 1913. книга II.

Липецъ. Упрощенные приемы расчета времени хода поѣздовъ. СПб. 1913.

<sup>2)</sup> Revue Générale. 1898. II S., стр. 397.

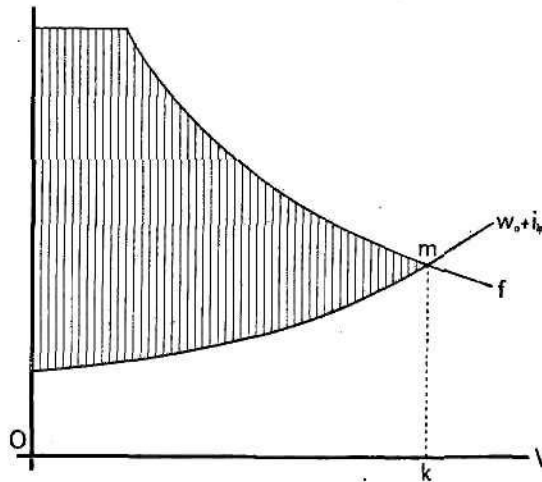
графически строить кривую

$$V = \varphi(t),$$

т. е. графически брать интеграль

$$t = \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f(V, Q)}$$

Его предложене основано на томъ фактѣ, что уголъ  $\alpha$ , (см. фиг. 46)



Фиг. 45.

составляемый касательной къ кривой

$$V = \varphi(t)$$

въ любой ея точкѣ съ положительнымъ направлениемъ оси времени, равенъ арктангенсу производной отъ  $V$  по  $t$ , иными словами,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2} = \operatorname{tga}.$$

Съ другой стороны

$$\frac{dV}{dt} = \xi [f - (w_0 + i_k + 1000 \vartheta \varphi_k)],$$

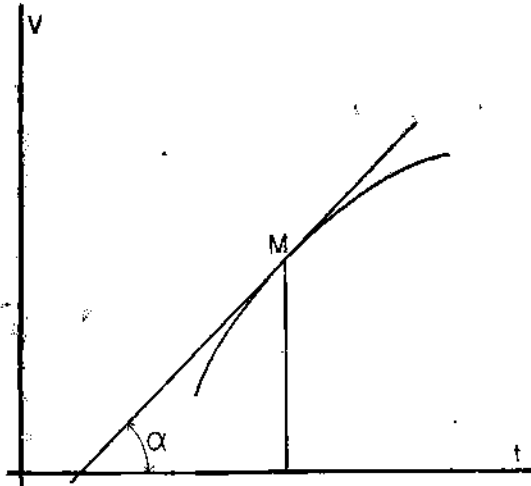
а потому

$$f - (w_0 + i_k + 1000 \vartheta \varphi_k) = \frac{1}{\xi} \operatorname{tga}, \dots \dots 51$$

т. е. тангенсы угловъ, образуемыхъ касательными къ кривой

$$V = \varphi(t),$$

съ осью времени пропорціональны ординатамъ той площади, которая на фиг. 45 выдѣлена штриховкой.



Фиг. 46.

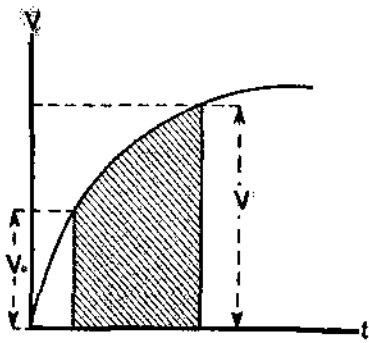
Что же касается второго интеграла уравненія движенія поѣзда, т. е. кривой

$$s = \chi(t), \quad \dots \quad 6a$$

то ее изъ кривой

$$V = \varphi(t) \quad \dots \quad 5a$$

Дедуи предлагалъ получать на основаніи того соображенія, что заштрихованная площадь фиг. 47 равна



Фиг. 47.

$$\int_{t_0}^{t_1} V dt = \int_{s_0}^{s_1} \frac{ds}{dt} dt = s - s_0.$$

Какъ осуществить на основаніи указанныхъ зависимостей построеніе кривыхъ

$$V = \varphi(t) \quad \dots \quad 5a$$

$$s = \chi(t), \quad \dots \quad 6a$$

гамъ Дедуи не показали. Другими же изслѣдователями было предложено нѣсколько такихъ построений, изъ числа коихъ я приведу здѣсь два, предложенныхъ мной, и примѣнявшихся съ большимъ успѣхомъ при работахъ со студентами Варшавскаго и Кіевскаго Политехническихъ Институтовъ (1901—1907 гг.).

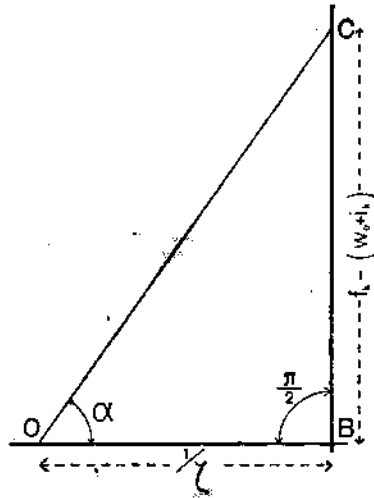
§ 46. Первый приемъ Дедуи-Ломоносова. Этотъ приемъ, напоминающій построение веревочнаго многоугольника въ графической статикѣ, основанъ на построеніи равенства

$$f - (w_0 + i_k) = \frac{1}{\xi} \operatorname{tg} a$$

или при действіи тормазовъ

$$f - (w_0 + i_k + 1000 \vartheta \varphi_k) = \frac{1}{\xi} \operatorname{tg} a,$$

способомъ указанномъ на фиг. 48.



Фиг. 48.

Для того, чтобы это построение примѣнить ко всей діаграммѣ, изображенной на фиг. 45, разобьемъ площадь, тамъ заштрихованную, на произвольное число частей и предположимъ, что въ предѣлахъ каждой изъ нихъ разность

$$f - (w_0 + i_k) = f - w$$

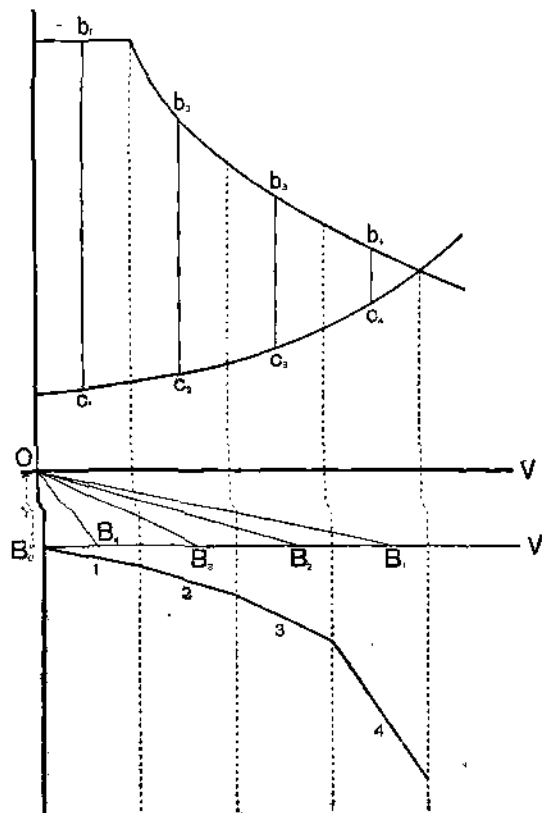
остается постоянной и равной средней ординатѣ. (Эти послѣднія на фиг. 49 отмѣчены сплошными линиями). Въ такомъ предположеніи для каждаго изъ нашихъ интерваловъ скорости, уголъ  $a$  будетъ постояннымъ. Значенія же его найдутся очень просто,

если на фиг. 49 внизъ отъ оси  $V$  мы отложимъ

$$OB_0 = \frac{1}{b},$$

а отъ  $B_0$  отръзки

$$\overline{B_1 B_0}, \overline{B_2 B_0}, \dots$$



Фиг. 49.

равные отръзкамъ

$$\overline{b_1 c_1}, \overline{b_2 c_2}, \dots$$

ибо тогда для любого интервала

$$\angle BOB_0 = \alpha.$$

Переносъ, теперь, для большей ясности чертежа, начало координатъ въ точку  $B_0$ , и проводя отсюда прямую 1 параллельно лучу  $OB_1$ , мы получимъ зависимость

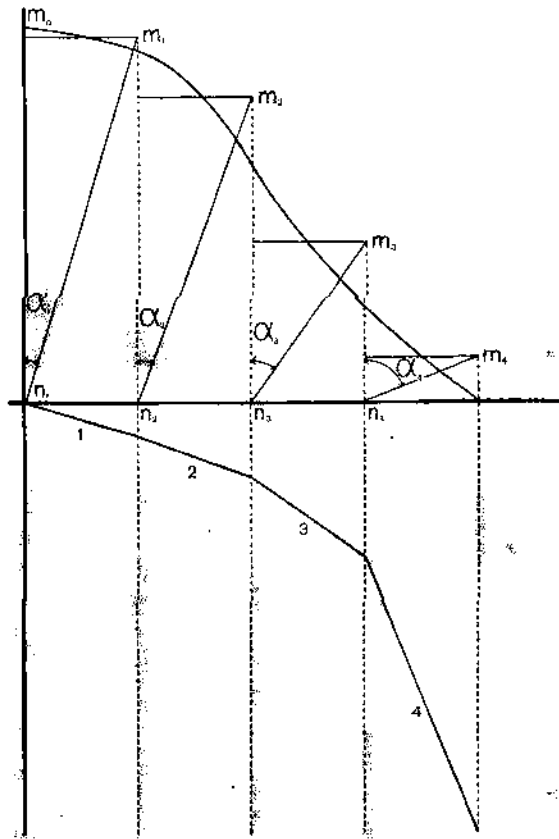
$$V = \varphi(t'),$$

существующую при наших предположеніях въ предѣлахъ перваго интервала скорости. Проводя же далѣе прямыя 2, 3. . . параллельно  $OB_2, OB_3, \dots$ , мы получимъ ломаную линію, которая при безконечномъ увеличеніи числа интерваловъ сольется съ истинной кривой

$$V = \varphi(t).$$

Для практическихъ цѣлей, однако, нѣтъ надобности слишкомъ увеличивать число интерваловъ  $V$ , ибо какъ показываетъ фиг. 49, при малыхъ скоростяхъ углы  $\alpha$  очень мало отличаются другъ отъ друга. Отсюда слѣдуетъ, что, желая сохранить точность построенія постоянной для всѣхъ  $V$ , интервалы ея нужно уменьшать съ ея увеличеніемъ. Поэтому тотъ фактъ, что разбираемое построеніе не требуетъ равенства интерваловъ скорости, слѣдуетъ отнести къ числу его достоинствъ.

§ 47. Второй пріемъ Дедуи - Ломоносова съ поправкой Лебедева. Этотъ способъ еще проще въ смыслѣ построенія, но какъ



Фиг. 56.

разъ лишенъ послѣдняго достоинства, ибо въ основу его положено равенство интерваловъ  $V$ . Сущность этого способа ясна изъ фиг. 50, на которую нанесены не  $f$  и  $w_0 + i_k$  отдѣльно, а сразу ихъ разность. Очевидно, что, считая эту разность въ предѣлахъ каждаго интервала постоянной, мы найдемъ

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{f - (w_0 + i_k)}{\Delta} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\Delta \xi} \frac{dV}{dt},$$

гдѣ  $\Delta$  есть величина интервала  $n_1 n_2 = n_2 n_3 \dots$ . Иными словами, если масштабъ времянъ измѣнить въ отношеніи  $1 : \Delta \xi$ , то углы  $\alpha$  будутъ равны угламъ, образуемымъ касательными къ кривой

$$V = \varphi(t)$$

съ осью времянъ. Поэтому, для полученія этой кривой, достаточно провести прямыя 1, 2, 3... перпендикулярно  $n_1 m_1, n_2 m_2, n_3 m_3, \dots$

Практическія преимущества этого приѣма при массовыхъ расчетахъ вызвали естественное желаніе распространить его и на случай неравныхъ интерваловъ. Задача эта была разрѣшена Лебедевымъ, предложившимъ, какъ показано на фиг. 51, проводить лучи не въ конецъ интервала, а въ конецъ отрѣзковъ  $km$  произвольной, но равной длины. Съ этой поправкой разсматриваемый приѣмъ является наиболѣе удобнымъ для полученія кривой

$$V = \varphi(t) \dots \dots \dots \text{ ба}$$

§ 48. Второй интегралъ при способѣ Дедуи. Выше было уже выяснено, что для практическихъ цѣлей недостаточно получить первый интегралъ уравненія движенія поѣзда

$$\dot{V} = \frac{ds}{dt} = \varphi(t), \dots \dots \dots \text{ ба}$$

а надо имѣть и второй

$$s = \int \varphi(t) dt + C = \chi(t). \dots \dots \dots \text{ ба}$$

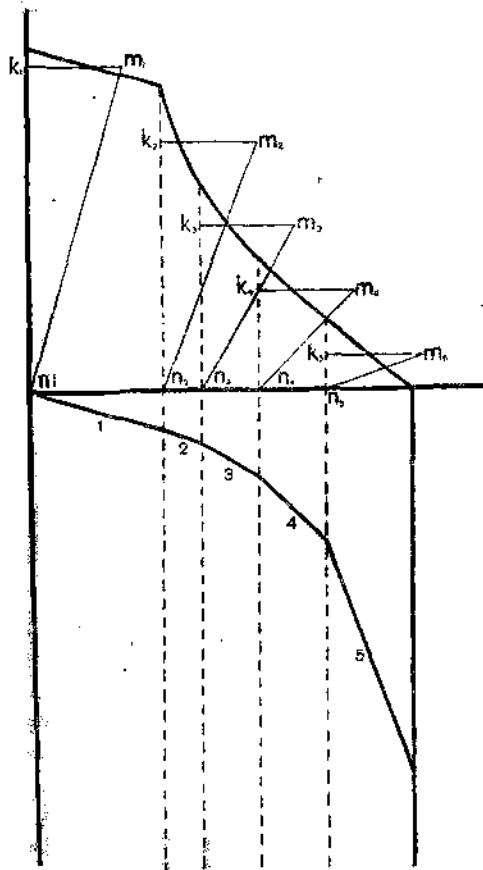
Этотъ второй интегралъ, какъ было указано на стр. 118, Дедуи предлагалъ находить, исходя изъ условія, что площадь диаграммы

$$V = \varphi(t)$$

между двумя ординатами

$$\int_{v_0}^{v_1} V dt = s - s_0.$$

Поэтому, раздѣливъ время на рядъ произвольныхъ интерваловъ,



Фиг. 51.

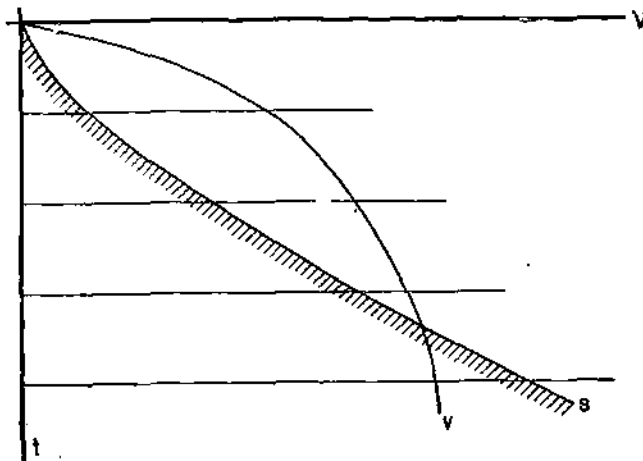
мы для каждаго изъ нихъ легко можемъ помощью планиметра найти величину перемѣщенія  $s$ . Откладывая же затѣмъ эти величины въ видѣ ординатъ, какъ показано на фиг. 52, мы получимъ кривую

$$s = \zeta(t). \dots \dots \dots 6a$$



Сверхъ того эту кривую можно получить совершенно тѣмъ же способомъ, какъ изъ кривой

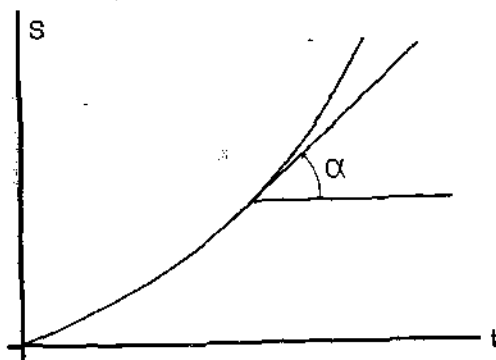
$$\frac{dV}{dt} = f(V)$$



Фиг. 52.

мы получили кривую

$$V = \frac{ds}{dt} = \varphi(t).$$



Фиг. 53.

Въ самомъ дѣлѣ, (см. фиг. 53) уголъ  $\alpha$ , образуемый касательной къ кривой

$$s = \chi(t), \dots 6a$$

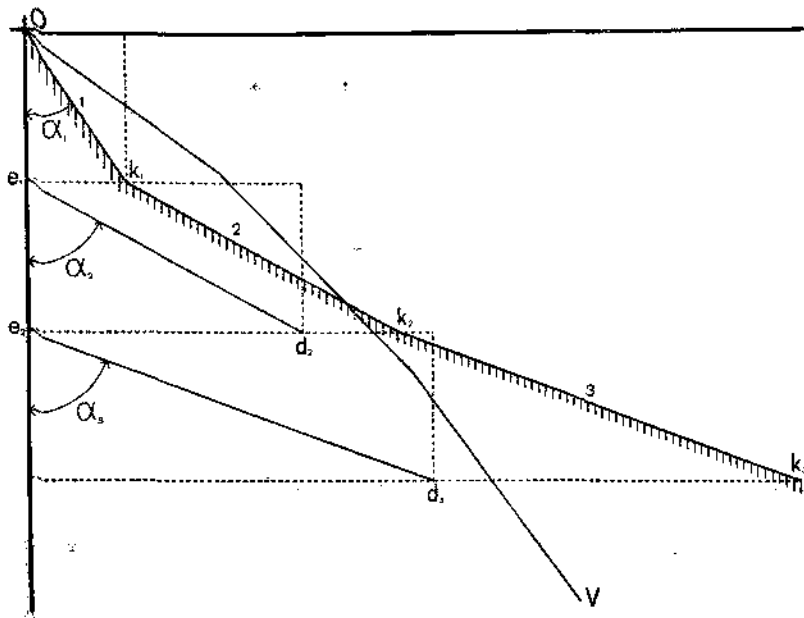
въ любой ея точкѣ равенъ

$$\arctg \frac{ds}{dt} = \arctg V.$$

Поэтому, раздѣливъ  $t$  на интервалы, равные единицѣ, и считая, что въ ихъ предѣлахъ  $V$  постоянно, мы найдемъ эти углы, какъ пока-

зано на фиг. 54; проводя же дальше  $k_1k_2 \parallel e_1d_2$ ,  $k_2k_3 \parallel e_2d_3$  и т. д., мы построим кривую

$$s = \chi(t) \dots \dots \dots 6a$$



Фиг. 54.

§ 49. Определение масштабовъ при способѣ Дедуи. При всѣхъ указанныхъ выше построенияхъ, какъ вообще при всякихъ графическихъ приемахъ, весьма важную роль играетъ выборъ масштабовъ и правильное ихъ примѣненіе.

Очевидно, что, начиная оперировать съ диаграммою

$$f - w = f(V),$$

мы можемъ задаться любыми масштабами для ея абсциссъ и ординатъ. Но на построенныхъ по ней диаграммахъ (фиг. 55)

$$V = \varphi(t) \dots \dots \dots 5a$$

и

$$s = \chi(t) \dots \dots \dots 6a$$

масштабы  $t$  и  $s$  получатся уже сами собой. Поэтому для возможности пользоваться этими построениями необходимо по масштабамъ  $V$  и  $f - w$  умѣть опредѣлять масштабъ  $t$  и  $s$ . Этимъ сейчасъ мы и займемся.

При способѣ Дедуи-Лебедева въ предѣлахъ одного интервала времени

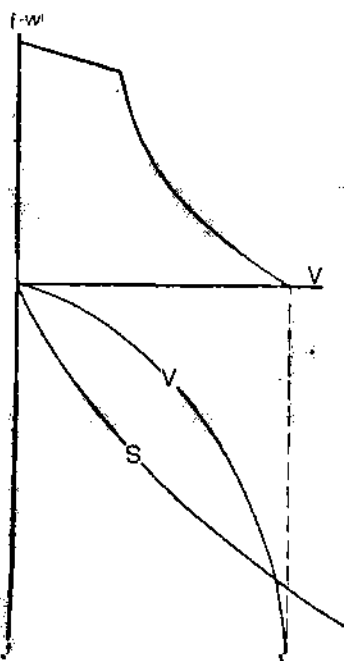
$$f - w = \text{пост} = c;$$

поэтому въ этихъ предѣлахъ диаграмма

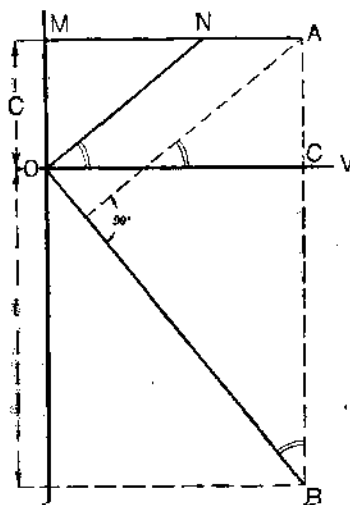
$$f - w$$

имѣеть видъ показанный на фиг. 55 и кривая

$$V = \varphi(t)$$



Фиг. 55.



Фиг. 56.

обращается въ прямую **OB**. Пусть на этой фигурѣ  $c$  отмѣчено въ масштабѣ  $1 \text{ kgr/t} = k \text{ m/m}$ , скорости въ масштабѣ  $1 \text{ km/h} = m \text{ m/m}$ , а произвольная длина **MN** (см. фиг. 51), равна  $A \text{ m/m}$ . Тогда

$$OC = mV \text{ [m/m]},$$

$$AC = kc \text{ [m/m]},$$

$$DC^1) = MN = A \text{ [m/m]}$$

$$CB = xt \text{ [m/m]},$$

гдѣ  $x$  искомый масштабъ времени. Но, такъ какъ треугольники

<sup>1)</sup> D есть точка пересѣченія пунктирной прямой съ осью **OC** (на фигурѣ она пропущена по ошибкѣ).

ACD и ОСВ подобны, то

$$\frac{AC}{OC} = \frac{DC}{CB}$$

или

$$\frac{kc}{mV} = \frac{A}{xt}$$

Съ другой стороны изъ уравненія движенія поѣзда

$$V = \zeta ct,$$

откуда

$$\frac{k}{m\zeta} = \frac{A}{x},$$

или

$$x = \frac{A\zeta m}{K} \dots \dots \dots 52$$

Напримѣръ, если принять

$$m = 2$$

$$k = 10$$

$$\zeta = 120$$

$$A = 15,$$

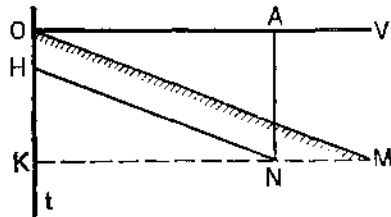
то

$$x = \frac{2400}{10} = 240$$

т. е. часъ будетъ выражаться 240 м/ш, а минута 4 м/ш.

Этотъ примѣръ показываетъ также, какое удобство въ смыслѣ масштабовъ даетъ  $\zeta = 120$ , Къ сожалѣнiю для товарныхъ поѣздовъ, какъ мы видѣли, это равенство далеко не всегда примѣнимо.

Переходя къ масштабу второго интеграла т. е. къ масштабу пути  $y$ , обращаемся къ фиг. 57, представляющей изъ себя часть фиг. 54 (см. стр. 125). На этой фигурѣ



Фиг. 57.

$$KM = ys [m/m],$$

$$OA = KN = mV [m/m],$$

$$AN = OK = xt [m/m],$$

$$HK = B [m/m],$$

гдѣ  $B$  произвольное число; но такъ какъ

$$\frac{HK}{OK} = \frac{KN}{KM},$$

то

$$\frac{B}{xt} = \frac{mV}{ys}$$

Съ другой стороны при постоянной скорости

$$s = Vt,$$

а потому

$$\frac{B}{x} = \frac{m}{y},$$

откуда на основаніи формулы 52

$$y = \frac{A \xi m^2}{B k}, \dots \dots \dots 53$$

Такъ какъ  $A$  и  $B$  суть числа совершенно произвольныя, то мы въ правѣ сказать, что назначеніе ихъ состоитъ въ томъ, чтобы въ цѣляхъ наглядности или компактности нашихъ построений исказить основные масштабы

$$x = \frac{\xi m}{k} \dots \dots \dots 52a$$

$$y = \frac{\xi m^2}{k} \dots \dots \dots 53a$$

которые получаются при

$$A = B = 1.$$

Формулы 52a и 53a можно получить и непосредственно изъ соображеній объ измѣреніяхъ тѣхъ именованныхъ чиселъ, съ которыми намъ приходится имѣть дѣло при тяговыхъ расчетахъ. Въ самомъ дѣлѣ любая ордината диаграммы

$$f - w = f(V),$$

имѣющая длину

$$k(f - w) [m/m]$$

изображаетъ собой нѣкоторое ускореніе

$$\xi(f - w) \left[ \frac{km}{h^2} \right],$$

Иными словами для ускореній мы имѣемъ масштабъ

$$1 \left[ \frac{km}{h^2} \right] = \frac{k}{\xi} \left[ m/m \right]; \dots \dots \dots$$

для скорости же мы задались

$$1 \left[ \frac{km}{h} \right] = m; \dots \dots \dots$$

откуда, дѣля (\*\*\*) на (\*), искомый масштаб времени

$$x = 1 \left[ \text{h} \right] = \frac{\zeta m}{k}; \dots \dots \dots 52a$$

точно также помножая (\*\*\*) на 52a находимъ

$$y = 1 \left[ \text{км} \right] = \frac{\zeta m^2}{k} \dots \dots \dots 53a$$

**§ 50. Способъ Дубелира.** Неудобство способа Дедуи состоитъ въ томъ, что онъ даетъ кривую скорости въ функціи времени, между тѣмъ какъ профиль намъ задается въ функціи пути. Поэтому, если мы хотѣли бы построить диаграмму скорости для цѣлаго перегона переменнаго профиля, то, пользуясь методомъ Дедуи, мы должны были бы для каждаго элемента этого перегона не только строить

$$V = \varphi(t), \dots \dots \dots 5a$$

но и

$$s = \chi(t), \dots \dots \dots 6a$$

что иначе нельзя опредѣлить тѣ  $t$ , которые соответствуютъ моменту вступленія поѣзда на слѣдующіе элементы профиля. Между тѣмъ какъ, если бы мы умѣли строить

$$V = \psi(s), \dots \dots \dots 7a$$

такое построеніе вполне исчерпывало бы нашу задачу.

Это соображеніе и заставило Дубелира предложить свой способъ графическаго построенія кривой

$$V = \psi(s)^1). \dots \dots \dots 7b$$

Въ основу этого построенія положенъ интеграль живыхъ силъ, который въ примѣненіи къ уравненію движенія поѣзда

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(f - w)$$

имѣетъ видъ

$$\frac{V^2 - V_0^2}{2} = \zeta \int_0^s f ds - \zeta \int_0^s w ds.$$

Если же назвать

$$\frac{\zeta}{g} \int_0^s f ds = H_f$$

<sup>1)</sup> Дубелиръ. Исслѣдованіе движенія вагоновъ электрическихъ желѣзныхъ дорогъ. Кіевъ, 1908.

$$\frac{\xi}{g} \int_0^s w ds = H_w,$$

и считать, что при  $t=0$   $V_0=0$ , то формула (\*) приметъ видъ

$$\frac{V^2}{2g} = H_T - H_w, \dots\dots\dots 54$$

В гдѣ сѣ входящія величины имѣють измѣреніе длины. Если бы мы сумѣли построить оба  $H$  въ функціи отъ  $s$ , то на основаніи равенства (54) находженіе величины

$$h_w = \frac{V^2}{2g},$$

а по ней и

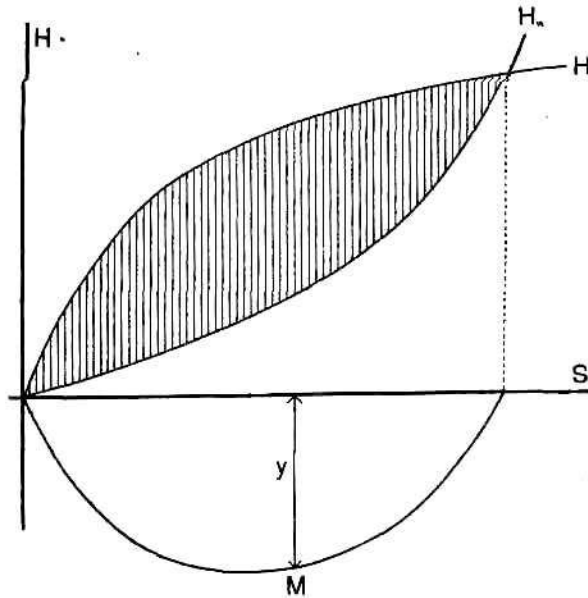
$$V = \sqrt{2gh_w} \dots\dots\dots 55$$

не представляло бы затрудненій. Иными словами, имѣя оба  $H$  въ функціи  $s$ , легко построить и

$$V = \psi(s), \dots\dots\dots 7a$$

что собственно и составляетъ нашу задачу.

Нельзя не признать, что такое рѣшеніе этой задачи нѣ-



Фиг. 58.

сколько громоздко и искусственно, но къ нему авторъ былъ при-

включень дѣйствительно изящной аналогіей, даваемой уравненіемъ (54). Представимъ себѣ, что мы построили оба  $H$  въ функціи отъ  $s$ , какъ показано на фиг. 58, и разницу ихъ ординатъ, т. е. ординаты кривой

$$h_v = \frac{V^2}{2g} = \Phi(s),$$

отложимъ внизъ отъ оси  $s$ . Представимъ дальше, что по этой кривой, расположенной въ вертикальной плоскости, движется тяжелая матеріальная точка  $M$ , къ которой никакихъ силъ, кромѣ силы тяжести и реакціи кривой, не приложено. Скорость этой точки въ любой моментъ, какъ извѣстно изъ механики, равна

$$v = \sqrt{2gy},$$

но такъ какъ

$$y = h_v = \frac{V^2}{2g},$$

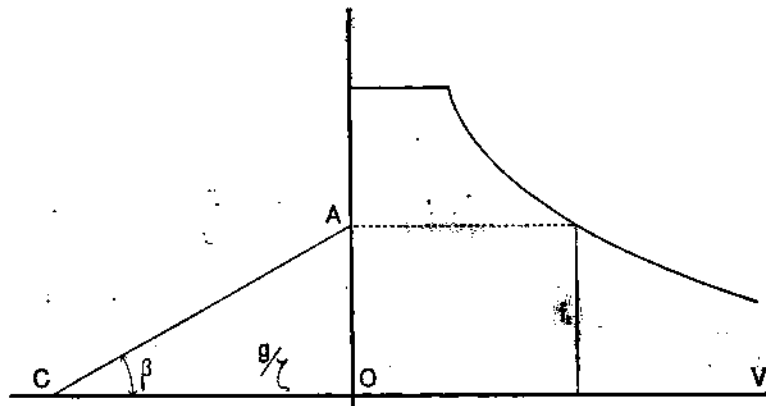
то, слѣдовательно,

$$v = V.$$

Иными словами, скорость движенія нашего поѣзда въ любомъ мѣстѣ пути равна скорости тяжелой точки, движущейся по кривой

$$h_v = \Phi(s).$$

Что же касается построения величинъ  $H_f$  и  $H_w$ , то оно осно-



Фиг. 59.

вано на томъ соображеніи, что уголъ, составляемый касательной къ кривой

$$H_f = \frac{V}{g} \int_0^s f ds = \Phi_f(s)$$



съ осью  $S$ ,

$$\beta = \operatorname{arctg} \frac{dH_f}{ds} = \operatorname{arctg} \frac{\xi}{g} f.$$

Поэтому, если мы влѣво отъ оси  $f$  діаграммы

$$f = \varphi(V)$$

отложимъ по оси  $V$  отръзокъ  $OC = g/\xi$  (см. фиг. 59) то

$$\angle ACO = \operatorname{arctg} \frac{\xi f}{g} = \beta;$$

то же самое справедливо, очевидно, и по отношенію кривой

$$H_w = \Phi_w(s),$$

пользуясь чѣмъ Дубелиръ и строитъ ихъ.

§ 51. Способъ Чечотта <sup>1)</sup>. Цѣль, преслѣдуемая этимъ методомъ, состоитъ тоже въ полученіи зависимости

$$V = \psi(s),$$

но достигается она не графически, а совмѣстнымъ примѣненіемъ какъ графическихъ, такъ и чисто аналитическихъ приѣмовъ.

Именно діаграмму

$$f - w = f(V)$$

Чечоттъ замѣняетъ ломаной линіей, и въ предѣлахъ каждаго прямого звена ея строитъ

$$V = \psi(s),$$

вычисляя ея ординаты по формулѣ

$$s - s_0 = \frac{V - V_0}{b} + \frac{c}{b^2} \operatorname{lg} \frac{bV + c}{bV_0 + c}, \dots \dots \dots 56$$

получаемой изъ соединенія формулъ 5л и 7л. Такимъ способомъ методъ Чечотта по своему существу есть способъ чисто аналитическій и отличается отъ предложенія Еракова и Петрова (стр. 110) только тѣмъ, что они примѣняли зависимость

$$\xi(f - w) = bV + c$$

<sup>1)</sup> Чечоттъ. Новый методъ расчета времени перегоновъ. СПб. 1910. Значеніе этой книги отнюдь, однако, не исчерпывается методомъ автора; напротивъ, по богатству собраннаго въ ней литературнаго матеріала и по глубинѣ разбросанныхъ въ ней мыслей, она является весьма цѣннымъ пособіемъ по всѣмъ отдѣламъ тяговыхъ расчетовъ.

отъ  $V = 0$  до  $V = V^{\max}$ , а Чечоттъ примѣняетъ ее въ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ.

Поэтому всѣ тѣ возраженія, которыя мы дѣлали противъ аналитическихъ приемовъ въ смыслѣ ихъ громоздкости и возможности при нихъ ошибокъ, казалось бы примѣнимы и къ методу Чечотта. Въ дѣйствительности, однако, Чечоттъ обходитъ эти затрудненія тѣмъ, что имъ составлены очень остроумныя графическія таблицы, дающія уже въ готовомъ видѣ кривыя

$$V = \psi(s, V_0)$$

для любыхъ значеній  $b$  и  $c$ . Графическій же характеръ этихъ таблицъ даетъ право и самъ способъ Чечотта назвать графо-аналитическимъ.

По идеѣ къ способу Чечотта очень близко подходитъ методъ Штраля<sup>1)</sup>, который замѣняетъ діаграмму силы тяги (фиг. 3) двумя прямыми: одной въ предѣлахъ ограниченія по сдѣвленію, а другой—по котлу, и затѣмъ интегрируетъ уравненіе движенія поѣзда аналитически.

§ 52. Способъ Фрея<sup>2)</sup>. Приѣмъ Фрея по существу отличается отъ приѣма Чечотта только тѣмъ, что въ нѣкоторыхъ сравнительно тѣсныхъ предѣлахъ онъ принимаетъ вмѣсто

$$\zeta(f-w) = bV + c$$

еще болѣе простую зависимость

$$\zeta(f-w) = c;$$

иными словами, методъ Фрея находится въ такомъ же отношеніи къ предложенію Лакнера (стр. 112), какъ методъ Чечотта къ предложенію Еракова и Петрова. Здѣсь необходимо отмѣтить, что примѣненіе гипотезы

$$f-w = c$$

въ достаточно тѣсныхъ предѣлахъ не представляетъ изъ себя ничего невозможнаго и что она же положена въ основу метода Дедун и, какъ мы увидимъ ниже, метода Липеца.

Интегрируя аналитически уравненіе.

$$\frac{dV}{dt} = c,$$

<sup>1)</sup> Glasers Annalen für Gewerbe und Bauwesen. 1913. II, стр. 89.

<sup>2)</sup> The Engineer. 1913. I, стр. 462. Есть и отдѣльная брошюра: L. H. Fry. Locomotive and Train Acceleration. 1913.

Фрей находитъ

$$t - t_0 = \frac{V - V_0}{c} \dots \dots \dots 57$$

и

$$s - s_0 = \frac{V^2 - V_0^2}{2c} \dots \dots \dots 58$$

Что же касается численныхъ значенийъ  $c$  для разныхъ интерваловъ скоростей, то Фрей предлагаетъ ихъ вычислять изъ уравненія движенія поѣзда

$$\frac{dV}{dt} = \zeta (f - w_0 - i_k),$$

пользуясь данными о силѣ тяги паровоза и сопротивленіи поѣзда. Иными словами, исходнымъ пунктомъ метода Фрея, какъ и метода Дедуи, является діаграмма

$$\zeta (f - w) = f(V),$$

замѣненная рядомъ ступенекъ, въ предѣлахъ которыхъ

$$f(V) = \frac{dV}{dt} = c.$$

Только Дедуи (1898) интегрированіе этого уравненія производитъ графически, а Фрей (1913) аналитически.

§ 53. Способъ Липеца<sup>1)</sup>. Построеніе Липеца такъ же какъ и приемы Дубелира и Чечотта имѣютъ цѣлью получить кривую

$$V = \psi(s),$$

но цѣль эта у Липеца достигается исключительно графическими приемами и притомъ гораздо проще, чѣмъ у нихъ. Приемъ Липеца вытекаетъ изъ того соображенія, что касательная къ кривой

$$V = \psi(s)$$

составляетъ съ осью  $s$  уголъ

$$\delta = \text{arctg} \frac{dV}{ds} = \text{arctg} \frac{dV}{dt} \frac{1}{V}; \dots \dots \dots 59$$

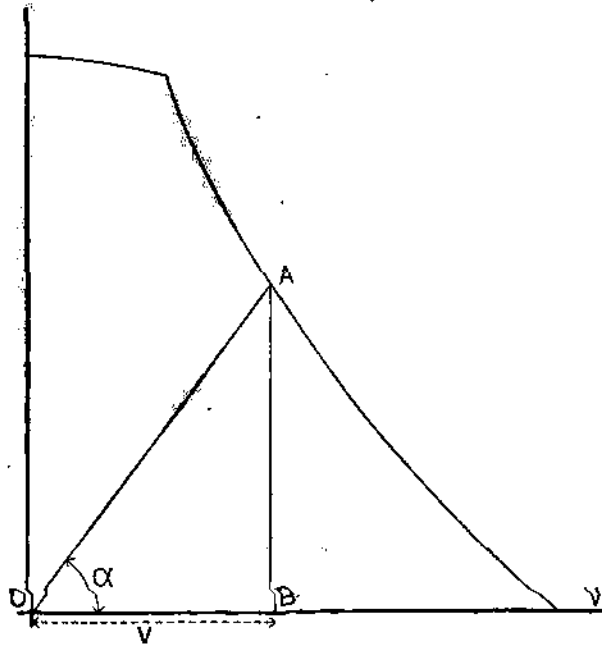
<sup>1)</sup> Самимъ Липецомъ способъ этотъ описанъ впервые въ Протоколахъ XXIX С. Съѣзда сл. тяги (1912) стр. 326, но еще раньше онъ былъ описанъ Чечоттомъ въ Желѣзнодорожномъ Дѣлѣ за 1911 г., стр. 134 и мной въ 1 изданіи „Тяговыхъ Разчетовъ“ (1912), стр. 62.

съ другой стороны, если къ любой точкѣ диаграммы

$$f - w = \frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt} = f(V)$$

(фиг. 60) провести лучъ изъ начала координатъ, то

$$\angle ABO = \operatorname{arctg} \frac{AB}{OB} = \operatorname{arctg} \frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt} \frac{1}{V}.$$



Фиг. 60.

Если же масштабы  $f - w$  и  $s$  въ диаграммѣ

$$V = \psi(s)$$

относятся, какъ  $\zeta : 1$ , то

$$\angle AOB = \delta.$$

Иными словами, для любого масштаба кривой

$$f - w$$

можно подобрать такой вполне определенный масштабъ для  $s$ , что

$$\angle AOB = \delta.$$

Исходя изъ этого соображенія, дѣлается очевиднымъ, что если разбить диаграмму

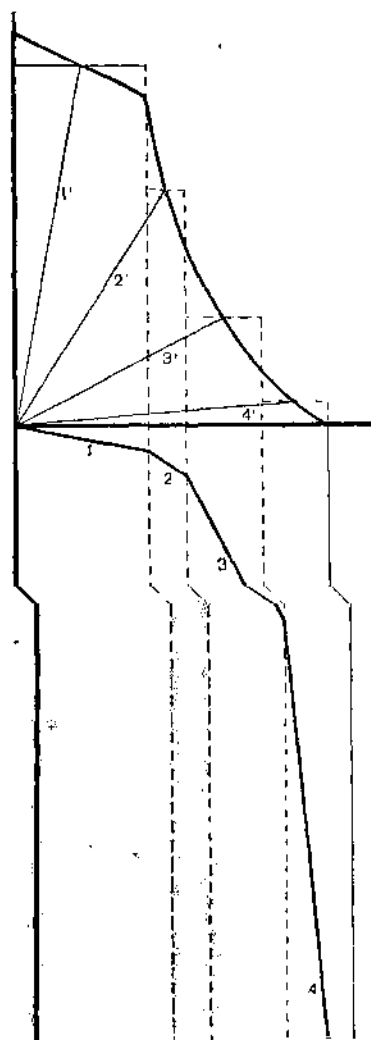
$$f - w = f(V)$$

на рядъ горизонтальныхъ элементовъ, какъ это мы дѣлали при способахъ Дедуи и Фрея, и провести прямыя

1, 2, 3 . . . . .,

(фиг. 61) перпендикулярныя лучамъ

1', 2', 3' . . . . .,



Фиг. 61.

соединяющимъ средину этихъ элементовъ съ началомъ координатъ. то мы получимъ диаграмму

$$V = \psi(s).$$

Нельзя не признать, что способъ Липца имѣетъ всѣ преимущества способа Дедуи; въ тоже время свободенъ отъ его основного неудобства: полученія скорости въ функции времени, а не пути. По сравненію же со способами Дубелира, Чечотта и Фрея онъ несомнѣнно проще.

Въ нѣмецкой литературѣ Унрейномъ<sup>1)</sup> (Ungein) было предложено построение по идеѣ совершенно тождественное съ построениемъ Липца.

§ 54. Масштабы при способахъ Дубелира, Чечотта и Липца. Если масштабы диаграммы

$$f - w = f(V)$$

намъ заданы, и если при построении кривой

$$V = \psi(V)$$

мы на ней хотимъ сохранить тотъ же масштабъ скоростей, какъ на диаграммѣ  $f - w$ , то тѣмъ самымъ мы задаемся и определеннымъ масштабомъ  $s$ ; масштабъ этотъ определяется, очевидно, только масшта-

<sup>1)</sup> Glasers Annalen. 1913. II., стр. 14.

бами  $V$  и  $f-w$  и совершенно не зависеть от того способа, которым получена диаграмма

$$V = \psi(s).$$

Въ самомъ дѣлѣ пусть масштабъ  $f-w$  равенъ  $k^m/m$  въ  $1^{km}/t$  а масштабъ скоростей  $m^m/m$  въ  $1^{km}/h$ . Тогда отръзокъ  $AB$  равенъ

$$k(f-w) [m/m];$$

но съ другой стороны, изъ уравненія

$$\frac{dV}{dt} = \zeta(f-w),$$

онъ изображаетъ также

$$\zeta(f-w) \left[ \frac{km}{h^2} \right].$$

Поэтому масштабъ ускореній у насъ таковъ, что

$$1 \left[ \frac{km}{h^2} \right] = \frac{K}{\zeta} \left[ \frac{m}{m} \right] \dots (*)$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ по заданію

$$1 \left[ \frac{km}{h} \right] = m \left[ \frac{m}{m} \right], \dots (**)$$

откуда возвышая (\*\*), въ квадратъ и дѣля на (\*)

$$y = 1 \left[ km \right] = \frac{\zeta m^2}{k}, \dots \dots \dots 53a$$

какъ это мы уже имѣли раньше. Иными словами, при способахъ Дубелира, Чечотта, Липеца и другихъ, дающихъ

масштабъ пути  $V = \psi(s),$

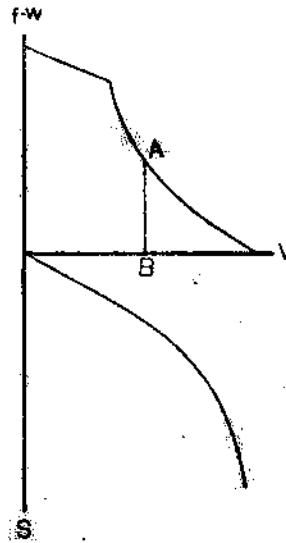
$$y = \frac{\zeta m^2}{k} \dots \dots \dots 53a$$

Если, напримѣръ

$$m = 2$$

$$k = 10,$$

$$\zeta = 120,$$



Фиг. 62.

то

$$y = \frac{120 \cdot 4}{10} = 48$$

т. е. 48 м/м составятъ 1 километръ.

Можно, конечно, задаться и обратно масштабами для  $V$  и  $s$  и искать масштабъ, въ которомъ должны быть отложены  $f-w$ . Пусть, на примѣръ, мы хотимъ имѣть 1 версту равной 100 м/м т. е.

$$y = \frac{15}{16} \cdot 100 = 93,7$$

и

$$m = 2;$$

тогда при  $\zeta = 120$

$$k = \frac{\zeta m^2}{y} = \frac{120 \cdot 4}{93,7} = 5,11.$$

Въ заключеніе еще разъ отмѣтимъ, что формула 53а вѣрна только при сохраненіи на діаграммахъ

$$f-w = f(V)$$

и

$$V = \psi(s)$$

одного масштаба скоростей.

§ 55. Второй интегралъ при способахъ Дубелира, Чечотта и Липеца. Очевидно, что приемы полученія изъ кривой

$$V = \psi(s)$$

кривой

$$s = \zeta(t)$$

совершенно не зависятъ отъ того, какъ была получена эта первая кривая. Поэтому любой изъ этихъ способовъ одинаково приложимъ какъ къ кривымъ, полученнымъ по способу Липеца, такъ и къ кривымъ, полученнымъ по способу Дубелира или Чечотта.

Способовъ полученія второго интеграла изъ кривой

$$V = \psi(s)$$

предложено два: одинъ Дубелиромъ<sup>1)</sup>, другой Лебедевымъ<sup>2)</sup>.

Способъ Дубелира состоитъ въ томъ, что по кривой

$$V = \psi(s)$$

<sup>1)</sup> Дубелиръ. Исследование движенія вагоновъ электрическихъ ж. д. Кіевъ. 1908, стр. 40.

<sup>2)</sup> Журналъ М. П. С. 1913. II кн., стр. 96.

онъ строить кривую

$$\frac{1}{V} = \psi(s),$$

площадь которой между двумя ординатами

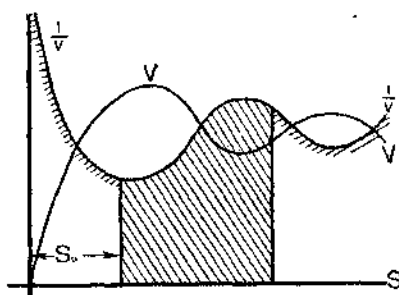
$$\int_{t_0}^t \frac{1}{V} ds = \int_{t_0}^t dt = t - t_0.$$

Благодаря этому равенству кривая

$$s = \zeta(t)$$

строится по кривой  $1/V$  совершенно также какъ на стр. 124 мы ее строили по кривой

$$V = \varphi(t).$$



Фиг. 63.

Недостатокъ этого способа состоитъ въ томъ, что въ случаяхъ когда  $V=0$  т. е. при остановкахъ и троганьѣ съ мѣста, кривая  $1/V$  уходитъ въ безконечность и потому въ опредѣленіи ея площади легко сдѣлать болѣе или менѣе серьезную ошибку. Для устранения этого неудобства Лебедевъ и предложилъ свой способъ. Въ основаніе его положена тотъ фактъ, что касательная къ кривой

$$s = \zeta(t)$$

составляетъ съ положительнымъ направлениемъ оси  $t$  уголъ

$$\phi = \arctg \frac{ds}{dt} = \arctg V.$$

Съ другой стороны, если кривую

$$V = \varphi(s)$$

разбить на рядъ интервалловъ и въ предѣлахъ каждаго изъ нихъ считать  $V$  постоянной, а затѣмъ отложить отрѣзки  $kn = 1/V$  [м/м] (фиг. 64), то углы  $k$  окажутся равными  $\phi$ . Поэтому, проводя прямыя  $1', 2', 3' \dots$  перпендикулярно лучамъ  $1, 2, 3 \dots$  мы получимъ кривую

$$s = \zeta(t).$$



Масштабъ времяъ для нея  $x$  опредѣлится изъ соотношеній

$$1 \left[ \frac{m}{m} \right] = m \left[ \frac{km}{h} \right],$$

$$1 \left[ \frac{m}{m} \right] = \frac{m^2}{\zeta k} \left[ km \right],$$

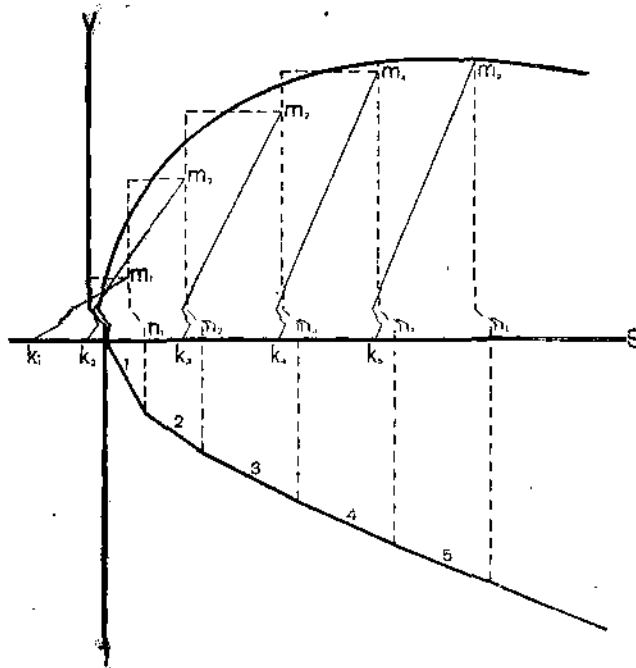
$$1 \left[ \frac{m}{m} \right] = y \left[ h \right],$$

откуда

$$\frac{m^2}{\zeta k x} = m,$$

или

$$x = \frac{m}{\zeta k} \dots \dots \dots 528$$



Фиг. 64.

Если же  $k_n$  отложить равнымъ  $\frac{\Delta'}{m}$  миллиметрамъ, то очевидно

$$x = \frac{m \Delta'}{\zeta k} \dots \dots \dots 526$$

Что же касается способа Дубелира, то тамъ для кривой

$$\frac{1}{V} = \Phi(s)$$

можно принимать произвольный масштабъ.

На этомъ мы и закончимъ наши общія соображенія объ интегрированіи уравненія движенія поѣзда и перейдемъ къ рѣшенію помощью его задачъ, выдвигаемыхъ желѣзнодорожной практикой.

## ГЛАВА VI.

### Тормазныя задачи.

§ 56. Сущность тормазныхъ задачъ. Работа тормазовъ характеризуется тремя величинами: 1) числомъ и силой ихъ, т. е. величиной  $\varphi$ ; 2) начальной скоростью  $V_0$ , при которой они были приведены въ дѣйствіе, и 3) тормазнымъ путемъ  $s_k$ , который пройдетъ поѣздъ подѣ дѣйствіемъ тормазовъ до остановки или до достиженія нѣкоторой заданной скорости  $V_k$ . Сообразно этому, задачъ на тормазъ четыре:

- 1) по  $V_0$  и  $\varphi$  найти  $s_k$ ,
- 2) по  $s_k$  и  $\varphi$  найти  $V_0$ ,
- 3) по  $s_k$  и  $V_0$  найти  $\varphi$ ,
- 4) по  $V_k = \text{пост.}$  найти  $\varphi$ .

Рѣшеніе послѣдней задачи, т. е. нахожденія тормазнаго условія, необходимаго для поддержанія равномерной скорости на крутыхъ уклонахъ, было уже приведено на стр. 108. Это рѣшеніе дается непосредственно уравненіемъ

$$\frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt} = w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta = 0,$$

или графическимъ его изображеніемъ въ видѣ діаграммы

$$w_0 + i_k = f(V).$$

Въ самомъ дѣлѣ при  $V_k = \text{пост.}$   $w_0$  и  $\varphi_k$  тоже являются величинами постоянными; поэтому искомое

$$\vartheta = \frac{i_k + w_0}{1000 \varphi_k} \dots \dots \dots 58$$

Остальные при задачи рѣшаются помощью уравненія движенія поѣзда

$$\frac{dV}{dt} = \zeta f - \zeta (w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta),$$

причемъ обычно индикаторную силу тяги считаютъ равной нулю. Въ самомъ дѣлѣ, даже при экстренномъ тормажени поѣзда изъ вагона, машинистъ, очевидно, немедленно закроетъ регуляторъ, какъ только замѣтитъ, что поѣздъ тормазятъ. Въ этомъ случаѣ уравненіе движенія поѣзда получаетъ видъ

$$-\frac{dV}{dt} = \zeta w_k,$$

гдѣ

$$w_k = w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta \quad 59$$

и

$$w_0 = \frac{(w'_0 + w'_m)P + w'_0 Q}{P + Q} \quad 60$$

есть удѣльное сопротивление всего поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ пути *при закрытомъ регуляторѣ*. Къ интегрированію этого уравненія однимъ изъ указанныхъ въ §§ 43—54 приѣмовъ и сводятся первыя три тормазныя задачи.

Что же касается ихъ относительной важности, то на практикѣ наиболѣе часто приходится имѣть дѣло съ второй задачей, т. е. съ нахожденіемъ предѣльной скорости движенія по тормазамъ, всходя изъ видимости сигналовъ

$$s'_k = s_k + l'_k V_0,$$

гдѣ  $l'_k$  то время, которое нужно затратить на приведеніе тормазовъ въ дѣйствиѣ.

§ 57. Аналитическій способъ. Для аналитическаго интегрированія уравненія

$$-\frac{dV}{dt} = \zeta (w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta) = \zeta w_k$$

прежде всего надо установить видъ зависимости его правой части отъ скорости. Какъ мы видѣли на стр. 88,  $\varphi_k$  съ достаточной точностью можно считать связаннымъ съ  $V$  линейной зависимостью

$$\varphi_k = 0,27 - 0,002 V;$$

виртуальный подъемъ  $i_k$  есть величина постоянная; что же касается  $w_0$ , то, какъ было указано на стр. 80, при закрытомъ

регуляторъ она выражается формулой вида

$$w_n = EV^3 + AV^2 + BV + C.$$

Поэтому

$$\frac{dV}{dt} = aV^3 + bV + c + eV^3,$$

гдѣ

$$a = \zeta A$$

$$b = \zeta (A - 2\vartheta)$$

$$c = \zeta (C + i_k + 270\vartheta)$$

$$e = \zeta E.$$

Интегрирование такого уравненія вполнѣ возможно, но въ результатѣ его получаются настолько сложныя формулы, что практическое примѣненіе ихъ почти невозможно. Правда, въ виду относительной ничтожности члена съ кубомъ скорости, коэффициентъ  $e$  можно считать равнымъ нулю, однако и въ этомъ случаѣ формула для тормазного пути получается еще всетаки слишкомъ сложной. Въ самомъ дѣлѣ, на стр. 113, интегрируя уравненіе

$$\frac{dV}{dt} = aV^2 = bV + c$$

для случая мнимыхъ корней, мы нашли, что

$$s - s_0 = -\frac{b}{2a}(t - t_0) + \frac{1}{2a} \lg_e \frac{aV^2 + bV + c}{aV_0^2 + bV_0 + c} \quad 7к$$

и

$$t - t_0 = \frac{2}{m} \left[ \operatorname{arctg} \frac{2aV + b}{m} - \operatorname{arctg} \frac{2aV_0 + b}{m} \right]; \quad 5м$$

поэтому для уравненія

$$\frac{dV}{dt} = -(aV^2 + bV + c),$$

при

$$s - s_0 = s_k$$

и

$$V = V_k,$$

$$s_k = \frac{1}{2a} \lg_e \frac{aV_0^2 + bV_0 + c}{aV_k^2 + bV_k + c} -$$

$$-\frac{b}{a} \frac{1}{-m} \left[ \operatorname{arctg} \frac{2aV_k + b}{-m} - \operatorname{arctg} \frac{2aV_0 + b}{-m} \right]. \quad 61$$

Сложность этой формулы исключает возможность ее широкого применения, и потому вполне понятно стремление свести уравнение заторможенного поезда къ виду

$$-\frac{dV}{dt} = bV + c,$$

т. е. считать

$$w_0 = BV + C, \dots \dots \dots (*)$$

что даетъ

$$s_k = \frac{V_0 - V_k}{b} - \frac{c}{b^2} \lg e \frac{bV_0 + c}{bV_k + c} \dots \dots \dots 62$$

Какъ мы видѣли на стр. 79, сопротивление товарныхъ поездовъ съ достаточной точностью укладывается въ формулу (\*), и потому къ нимъ выраженіе 62 можно примѣнять безъ всякихъ оговорокъ. Иное дѣло пассажирскіе поезда; ихъ сопротивление имѣетъ ясно выраженную параболическую форму, и при пользованіи формулой (\*) легко сдѣлать ошибку въ опредѣленіи  $w_0$  на 1—1½ килограмма на тонну. Вліяніе этой ошибки на величину  $dV/dt$  будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньшее значеніе имѣютъ прочіе члены правой части выраженія 59. Въ пассажирскихъ поездахъ на тормазныя оси передается не менѣе 2/3 всего вѣса поезда, и наибольшія нажатія колодокъ въ среднемъ равны 0,5 давленія на оси. Поэтому для экстреннаго тормаженія

$$\vartheta \geq 1/2,$$

что при скорости 80 km/h даетъ наименьшее

$$1000 \varphi_k \vartheta = \frac{1000}{3} (0,27 - 0,16) = 37,$$

или

$$w_0 \simeq 7.$$

Иными словами, даже при  $i = -10$

$$w_k = w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta = 34,$$

и ошибка при опредѣленіи  $w_0$  въ 1½ килограмма измѣняетъ замедленіе поезда на

$$100 \frac{1,5}{34} = 4,4\%.$$

При умѣренномъ же тормаженіи, т. е. при

$$\vartheta \simeq \frac{1}{3} \vartheta_m \simeq 0,1$$

эта ошибка возрастает до

$$4,4 \frac{10}{3} = 16,6\%,$$

съ чѣмъ далеко не всегда можно мириться.

Такимъ образомъ мы видимъ, что при расчетахъ тормозовъ товарныхъ поѣздовъ и при экстренномъ тормажении пассажирскихъ можно съ достаточной точностью пользоваться формулой 62; при плавномъ же тормажении пассажирскихъ поѣздовъ благоразумиѣе пользоваться формулой 61, несмотря на всю ея громоздкость.

Надо впрочемъ сказать, что при рѣшеніи первой задачи, т. е. при опредѣленіи тормазнаго пути  $s_k$ , на которомъ при заданномъ  $\vartheta$  скорость упадетъ съ  $V_0$  до  $V_k$ , видъ формулы для  $s_k$  сравнительно мало отражается на сложности вычисленій. Въ самомъ дѣлѣ въ этомъ случаѣ подъ знакомъ  $lg_e$  и  $arctg$  стоятъ постоянныя, вычисленіе которыхъ не представляетъ никакихъ затрудненій.

Иное дѣло, когда приходится опредѣлять  $V_0$  или  $\vartheta$ , входящее въ  $b$  и  $c$  т. е. рѣшать уравненія, въ которыхъ неизвѣстныя входятъ подъ знаками  $lg_e$  и  $arctg$ . Единственнымъ выходомъ изъ этого затрудненія является примѣненіе способа послѣдовательныхъ попытокъ. Способъ этотъ при опредѣленіи  $\vartheta$  или точнѣе числа тормазовъ въ поѣздѣ облегчается тѣмъ, что въ данномъ случаѣ приходится задаваться только цѣлыми значеніями этого числа. При опредѣленіи же предѣльной скорости по тормазамъ и это облегченіе непримѣнимо.

Чтобы лучше разъяснить сказанное, разберемъ нѣсколько цифровыхъ примѣровъ, взятыхъ прямо изъ жизни.

**Примѣръ 1.** Опредѣлить, исходя изъ длины тормазнаго пути въ 250 саж., предѣльную скорость товарнаго поѣзда вѣсомъ 720 тоннъ на уклонѣ 8‰ при 5 тормазильщикахъ и паровозѣ 1—4—9 Ш, у котораго тормазятся всѣ движущія колеса.

Сцѣпной вѣсъ этого паровоза 64,3 тонны, полный 75, вѣсъ тендера 53,8, тара его 23,8 т; поэтому, задаваясь  $\max \delta$  для

паровоза . . . . .	0,5
тендера . . . . .	0,9
вагоновъ . . . . .	0,5,

и помня, что тара товарнаго вагона въ среднемъ около 7 тоннъ, имѣемъ

$$\Sigma X = 0,5(5 \times 7 + 64,3) + 0,9 \times 23,8 \approx 71$$

$$\vartheta = \frac{71}{75 + 53 + 720} \approx 0,0725.$$

Спротивленіе поѣзда вычисляемъ по формулѣ

$$w_0 = 1,5 + 0,05 V,$$

коэффициентъ тренія по формулѣ Дуаена, что даетъ

$$1000 \varphi_k \vartheta = 72,5 (0,27 - 0,002 V),$$

откуда

$$w_k = w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta$$

при  $i_k = -8$  равно

$$(1,5 - 8 + 19,6) - (0,145 + 0,05) V = 13,1 - 0,095 V.$$

По заданію тормазной путь

$$s_k = 250 \text{ [саж.]} = 0,5 \text{ [вер.]}$$

Желая и искомую скорость получить въ верстахъ въ часъ мы должны

$$\zeta \approx 120 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}^2} \right]$$

выразить тоже въ русскихъ мѣрахъ, а такъ какъ

$$1 \left[ \text{km} \right] = \frac{15}{16} \text{ [вер.]},$$

то въ русскихъ мѣрахъ

$$\zeta = \frac{15}{16} 120 = 112.$$

Такимъ образомъ наша задача сводится къ интегрированію уравненія

$$\frac{dV}{dt} = bV + c,$$

гдѣ

$$b = -112 \times 0,095 = -10,6,$$

$$c = 112 \times 13,1 = 1467.$$

Интегрировать это уравненіе приходится, исходя изъ условія  $V_k = 0$ , что даетъ

$$s_k = \frac{V_0}{b} - \frac{c}{b^2} \lg_e \frac{bV_0 + c}{c},$$

или

$$V_0 = bs_k + \frac{c}{b} \lg_e \frac{bV_0 + c}{c}$$

или, наконецъ,

$$V_0 = bs_k + \frac{c}{bM} \lg_{10} \left( 1 + \frac{b}{c} V_0 \right),$$



гдѣ

$$M = 0,43429^1)$$

есть модуль десятичныхъ логарифмовъ. Иными словами наше уравненіе имѣетъ видъ

$$V_0 = A + B \lg_{10} (1 + cV_0),$$

гдѣ

$$A = b s_k = -10,6 \times 0,5 = -5,3,$$

$$B = \frac{c}{bM} = \frac{1467}{0,4343 \times 10,5} = -317,$$

и

$$C = \frac{b}{c} = \frac{10,6}{1467} = -0,0073.$$

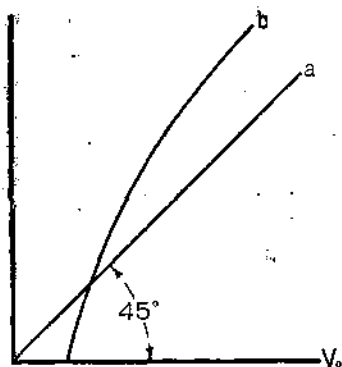
Рѣшеніе этого уравненія, какъ уже указывалось выше, возможно только методомъ послѣдовательныхъ приближеній, т. е. намъ приходится задаваться рядомъ значеній  $V_0$  и подставлять ихъ въ обѣ части нашего уравненія до тѣхъ поръ, пока онѣ не окажутся равны между собой. Методъ этотъ по существу своему ничѣмъ не отличается отъ совместнаго рѣшенія двухъ уравненій

$$y = V_0 \dots \dots \dots (a)$$

и

$$y = A + B \lg_{10} (1 + cV_0) \dots \dots \dots (b).$$

Рѣшеніе же такихъ уравненій лучше всего производить графически, какъ показано на фиг. 65, строя ихъ по точкамъ. Надо однако, замѣтить, что строить кривую  $b$  отъ нуля до  $V_0$  очень утомительно. Поэтому удобнѣе сперва выяснитъ, въ какихъ приблизительно предѣлахъ  $V_0$  лежитъ точка пересѣченія кривыхъ  $a$



Фиг. 65.

и  $b$  и затѣмъ построить кривую  $b$  только въ этихъ предѣлахъ. Иногда впрочемъ можно обойтись и безъ такого построенія. Такъ, въ нашемъ случаѣ, задаваясь въ видѣ перваго приближенія по указаніямъ практики  $V_0 = 25$ , мы получимъ для него, какъ показываетъ таблица

$$y_b = 22,23 < 25.$$

Задаемся далѣе  $V_0 = 30$ , для которой

$$y_b = 28,51 < 30,$$

<sup>1)</sup> Логарифмическо-тригонометрическое руководство барона Вега. 74 изд. (1893), стр. 574.

и  $V_0 = 35$ , для которой уже

$$y_b = 35,05 > 35.$$

Т а б л и ц а X.

$V_0$	25	30	35
$lg_{10} V_0$ . . . . .	1,39794	1,47712	1,54407
$lg_{10} Cg V_0$ . . . . .	1,25839	1,33757	1,40452
$cV_0$ . . . . .	0,18130	0,21755	0,25382
$1 - cV_0$ . . . . .	0,81870	0,78245	0,74618
$lg_{10} (1 - cV_0)$ . . . . .	1,91312	1,89345	1,87285
$-lg_{10} (1 - cV_0)$ . . . . .	0,08678	0,10655	0,12715
$lg \{-lg_{10} - (1 - cV_0)\}$ . . . . .	2,93842	1,02756	1,10432
$lg \{-B lg_{10} (1 - cV)\}$ . . . . .	1,44019	1,52933	9,06609
$-V lg_{10} (1 - cV)$ . . . . .	27,55	33,83	40,37
$y_b$ . . . . .	22,23	23,51	35,05

Эти цифры дают намъ право сказать, что искомая скорость лежитъ между 30 и 35 вер./час. и очень близко подходит къ этой послѣдней цифрѣ; а такъ какъ въ товарныхъ поѣздахъ при отсутствіи указателей скорости, ее можно регламентировать съ точностью только до 5 верствъ въ часъ, то на этомъ нашъ расчетъ можно и остановить, принявъ

$$V_0 = 35 \text{ вер./час.}$$

**Примѣръ 2.** Определить  $V_0$  для того же паровоза и поѣзда, но при условіи, что паровозъ не тормозится.

Въ этомъ случаѣ

$$\Sigma X = 0,5 \times 35 + 0,9 \times 23,8 = 33,9,$$

$$\vartheta = 0,04,$$

$$1000 \varphi_k \vartheta = 10,8 - 0,08 V,$$

$$w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta = 4,25 - 0,0296 V,$$

$$\zeta(w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta) = 476 - 3,35 V,$$

т. е.

$$b = 476$$

$$c = -3,35.$$

Рѣшеніе этой задачи, также какъ и предыдущей, сводится къ совмѣстному рѣшенію уравненій

$$y = V_0 \dots \dots \dots (a)$$

$$y = A + B \lg_{10}(1 + cV_0), \dots \dots \dots (b)$$

гдѣ

$$A = b s_k = -1,6575,$$

$$B = \frac{c}{bM} = -330,6,$$

$$C = \frac{c}{b} = 0,007.$$

Задаваясь  $V_0 = 20$ , мы по формулѣ **b** получаемъ

$$y_b = 19,88 < 20,$$

задаваясь  $V_0 = 25$  —

$$y_b = 25,83 > 25,$$

а задаваясь  $V_0 = 21$  —

$$y_b = 21,04 > 21.$$

Поэтому можно считать

$$V_0 = 20,7,$$

но объявить машинистамъ, конечно, надо

$$V_0 = 20.$$

Сопоставленіе результатовъ, получившихся при рѣшеніи 1 и 2 примѣра, показываетъ намъ, какое значеніе имѣетъ тормаз на ведущихъ колесахъ, бездѣйствующіе на нѣкоторыхъ дорогахъ изъ за экономіи на колодкахъ.

**Примѣръ 3.** Сколькимъ вагоннымъ тормазамъ эквивалентны паровозные тормазы паровоза 1—4—0 III?

Рѣшеніе этой задачи не требуетъ интегрированія уравненія движенія поѣзда. Оно дается непосредственнымъ сравненіемъ величины  $\Sigma X$  для паровоза и товарнаго вагона. У послѣдняго

$$\Sigma X = 0,5 \times 7 = 3,5 [t],$$

у паровоза же III

$$\Sigma X = 0,5 \times 64,3 = 32,1$$

ными словами паровозный тормазъ типа 1—4—0 Ш эквивалентенъ

$$\frac{32,1}{3,5} = 9,2$$

тормазнымъ товарнымъ вагонамъ.

§ 58. Способъ Дедуи. Какъ было указано на стр. 104 графическое изображение суммы

$$w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta = w_k$$

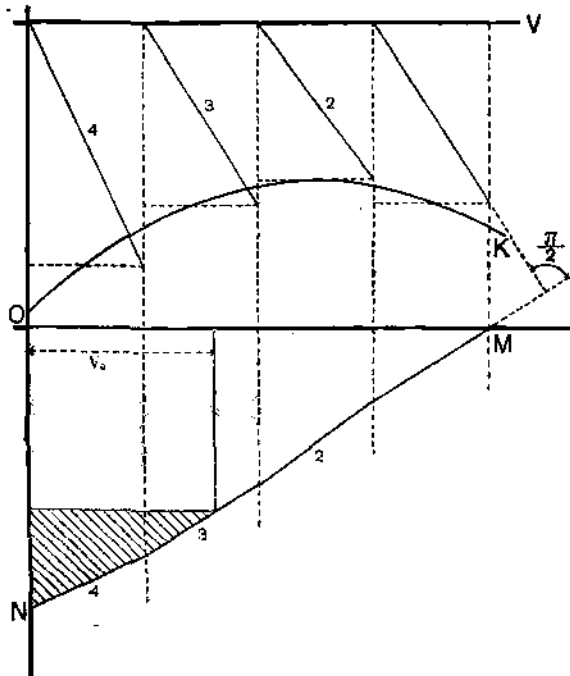
въ функціи отъ скорости имѣеть, вообще говоря, нѣсколько волнугое очертаніе. Поэтому, строя діаграмму

$$-\frac{dV}{dt} = \zeta(w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta) = f(V),$$

т. е. откладывая внизъ отъ оси  $V$  значенія

$$\zeta(w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta)$$

мы получимъ кривую, похожую на кривую К фигуры 66. При-



Фиг. 66.

меняя второй приемъ Дедуи-автора, раздѣлимъ  $V$  и на рядъ равныхъ интерваловъ, проведемъ лучи 1, 2, 3 . . . и отъ новой

оси  $V$  элементы 1, 2, 3 . . . . кривой

$$V = \varphi(t).$$

Очевидно, что при начальной скорости  $OM$ ,  $ON$  дает время, через которое поѣзд остановится, а площадь  $OMN$  — тормозной путь. Для любой же начальной скорости  $V_0$ ,  $s_k$  равно затрихованной площади. Поэтому для опредѣленія  $s_k$  по  $V_0$  и обратно при заданномъ  $\vartheta$ , нужно построить только одну діаграмму

$$V = \varphi(t),$$

и затѣмъ первая задача рѣшается проведеніемъ прямыхъ параллельныхъ оси  $t$  и опредѣленіемъ полученныхъ такимъ образомъ площадей, а вторая подборомъ этихъ площадей.

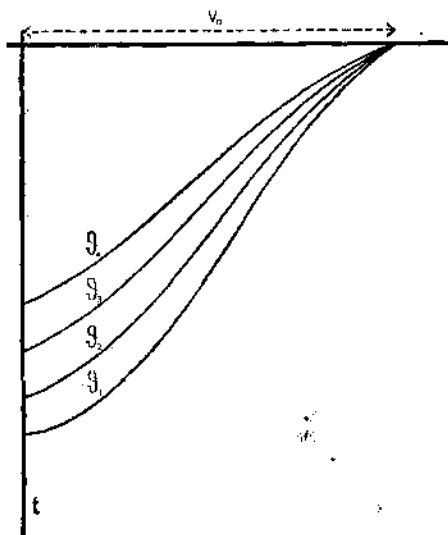
Само собой разумѣется, что, если бы вмѣсто

$$V = \varphi(t)$$

мы имѣли бы

$$V = \psi(s),$$

то ни съ какими площадями намъ не пришлось бы имѣть дѣла. Вотъ почему для тормозныхъ задачъ методы Чечотта, Дубелира и Липеца имѣютъ передъ методомъ Дедуи очевидное преимущество.



Фиг. 67.

Что же касается опредѣленія по заданнымъ  $V_0$  и  $s_k$  числа тормозныхъ вагоновъ  $n$ , то для рѣшенія этой задачи придется, задавшись рядомъ цѣлыхъ значеній  $n$ , по нимъ подсчитать соответственныя значенія  $\vartheta$ , и для каждаго  $\vartheta$  опредѣлить, какъ было указано выше значенія  $s_k$  (фиг. 67). Очевидно, что то  $n$  будетъ искомымъ, которое даетъ  $s_k$  ближайшее большее къ заданному.

Для лучшаго уясненія сказаннаго примѣнимъ способъ Дедуи къ рѣшенію тѣхъ же примѣровъ, которые въ предыдущемъ § мы рѣшали

аналитически, а также и еще къ одному, взятому изъ пассажирской службы.

**Примѣръ 1.** Принимая масштабъ для

$$w_0 + i_k + \varphi 1000 \vartheta \varphi_k = w_k$$

$$k = 7,$$

а для скоростей

$$m = 2,$$

мы получаемъ диаграмму полного удѣльнаго сопротивленія

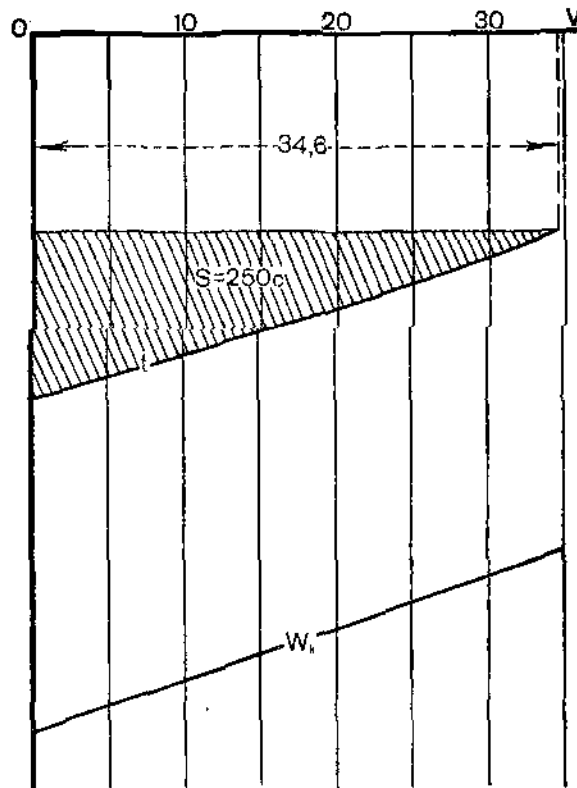
$$w_k = 13,1 - 0,095 V$$

на фиг. 68, въ видѣ прямой —  $w_k$ . Принимая далѣе въ способѣ Дедуи-Лебедева  $A = 25 \text{ m/m}$ , получаемъ масштабъ времени

$$x = \frac{25 \cdot 112}{7} = 800 \text{ [m/m]}$$

и пути (по площади)

$$y = mx = 1600 \text{ [m/m]}^2$$



Фиг. 68.

Поэтому, построивъ кривую  $t$ , какъ это было показано на фигурѣ 66, мы должны отсѣчь отъ нея площадь равную

1600 [м/м]<sup>2</sup>, что согласно фигурѣ 68, даетъ

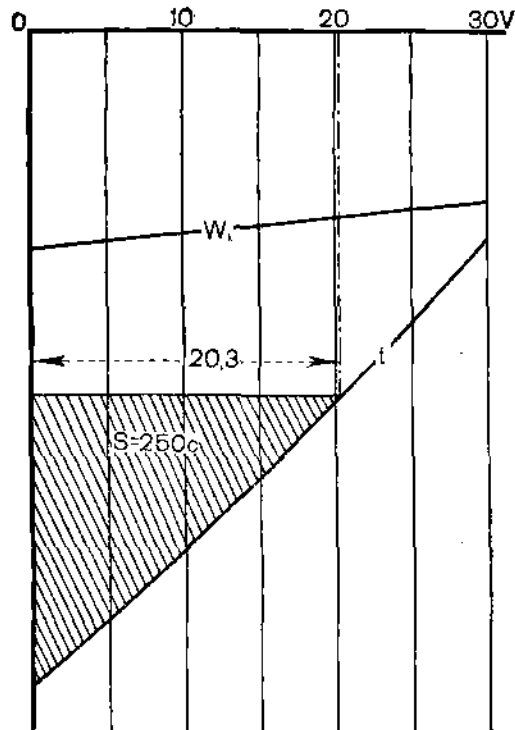
$$V_0 = 34,6.$$

При аналитическомъ же расчетѣ мы имѣли  $V_0 \approx 34,9$  т. е. на 1% больше. Сходимость эту для цѣлей практики надлежитъ признать болѣе чѣмъ достаточной.

**Примѣръ 2.** Для этого случая

$$w_k = 4,25 - 0,0296 V;$$

поэтому въ тѣхъ же масштабахъ прямая  $w_k$ , какъ показано на фиг. 69, будетъ лежать нѣсколько выше, чѣмъ на фиг. 68.



Фиг. 69.

Въ итогѣ же послѣ всѣхъ построений

$$V = 20,3;$$

въ то время, какъ при аналитическомъ методѣ мы имѣли  $V_0 = 20,7$ . Сходимость тоже вполне удовлетворительная.

**Примѣръ 4.** Требуется опредѣлить, на какомъ разстояніи и въ какое время можетъ быть остановленъ на 6‰ уклонѣ

курьерскій поѣздъ вѣсомъ 300 тоннъ, идущій со скоростью 100 km/h при паровозѣ 2-3-0 К съ трехоснымъ тендеромъ, если  $\delta$  тах. во всѣхъ вагонахъ равно 0,5

Свѣшной вѣсъ паровоза. . . . . 47,4 [t]  
 Вѣсъ порожняго тендера . . . . . 90,0 [t]  
 Вѣсъ паровоза съ тендеромъ . . . 11,5 [t].

Поэтому при  $\delta$  для паровоза 0,7 и тендера 0,9

$$\vartheta = \frac{47,4 \cdot 0,7 + 20,0 \cdot 0,9 + 300 \cdot 0,5}{300 + 113} = 0,485$$

Сопротивленіе паровоза при закрытомъ регуляторѣ беремъ по опытной формулѣ для паровоза  $K_v$  (см. стр. 80), сопротивленіе вагоновъ для безопасности по формулѣ Любимова-Дадаева, (стр. 72), а  $\varphi_k$  по формулѣ Дуаена (стр. 88).

Производя затѣмъ дальнѣйшія вычисленія, какъ показано въ таблицѣ XI, и откладывая отъ оси  $V$  внизъ вычисленныя тамъ значенія

$$-\frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt} w_0 + i_k + 1000 \vartheta \varphi_k = w_k,$$

Т а б л и ц а X I.

№	Скорость $V$ $\left[\frac{\text{km}}{\text{h}}\right]$	0	20	40	60	80	100
1	$P(w'_0 + w'_m)$ . . . . .	231	400	678	1140	1850	2890
2	$Qw''_0$ . . . . .	960	456	625	865	1175	1560
3	$(P + Q) 1000 \vartheta \varphi_k$ . . . . .	54377	46293	38220	30191	22135	14085
4	$\Sigma = (1) + (2) + (3)$ . . . . .	54935	47149	39523	32196	25160	18535
5	$(P + Q) i_k$ . . . . .	2493	2493	2493	2493	2493	2493
6	$\Sigma + (P + Q) i_k$ . . . . .	52442	44656	37030	29703	22667	16042
7	$w_k$ . . . . .	126,3	107,4	89,2	71,5	52,8	38,6

мы получимъ нашу основную кривую  $w_k$ , вычерченную на фиг. 70 въ масштабахъ

$$k = 0,5 \text{ m/m}$$

$$m = 0,5 \text{ m/m}.$$

Задаваясь далѣе

$$A = 25 \text{ m/m},$$

т. е. масштабомъ времени

$$x = \frac{25 \cdot 120 \cdot 0,5}{0,5} = 300 \text{ m/m}$$

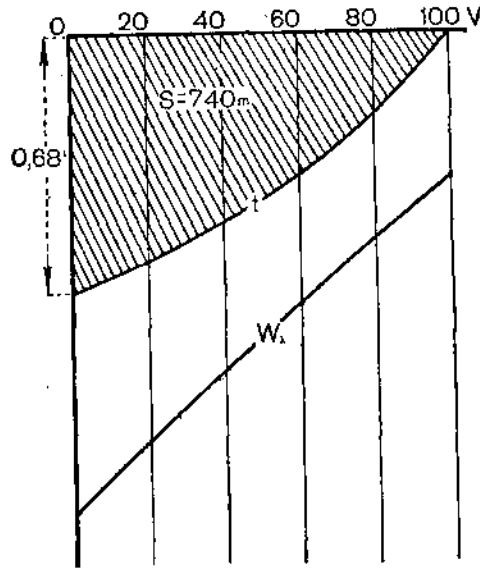


или  $50 \text{ m/m}$  минута, и пути

$$y = 0,5 \cdot 300 = 150 (\text{m/m})^2,$$

и производя построения, мы находимъ время тормажения

$$t_k = 0,68'$$



Фиг. 70.

непосредственнымъ измѣреніемъ и

$$s_k = 704 \text{ m} \simeq 420 \text{ саж.}$$

планиметрированіемъ заприхованной площади.

§ 59. Способъ Липца. Послѣ всего сказаннаго на стр. 135 — 139 построение для случая

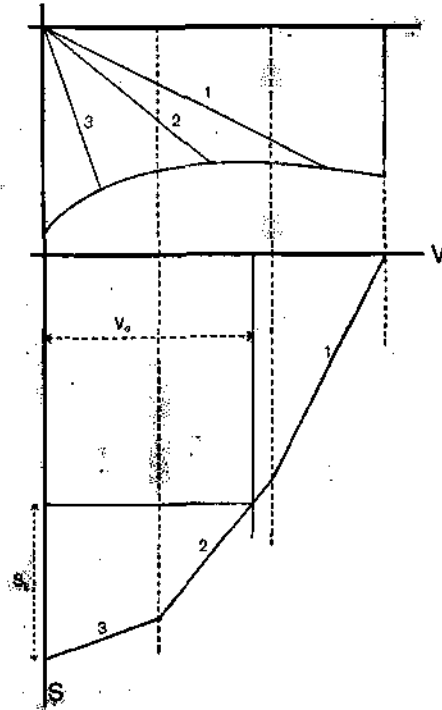
$$-\frac{dV}{dt} = \zeta(w_0 + i_k + 1000 \varphi_k \vartheta) = \zeta w_k$$

по способу Липца кривой

$$V = \varphi(s)$$

какъ показано на фиг. 71, не встрѣчаетъ никакихъ затрудненій. Нахождение же помощью этой кривой по заданной  $V_0$  тормазнаго пути и обратно не требуетъ ни добавочныхъ построений, ни помощи планиметра. Въ этомъ громадное преимущество способа Липца, а также и Дубелира.

Что же касается опредѣленія по  $V_0$  и  $s_k$  числа тормазовъ,



Фиг. 71.

то его, какъ и при способѣ Дедуи, можно производить только попытками.

Въ заключеніе примѣнимъ способъ Лицеа къ примѣрамъ 1, 2 и 4.

**Примѣръ 1.** Задаемъ масштабами

$$k = 7 \text{ м/м}$$

$$m = 2 \text{ м/м},$$

что даетъ

$$y = \frac{112 \cdot 4}{7} = 64 \text{ м/м}$$

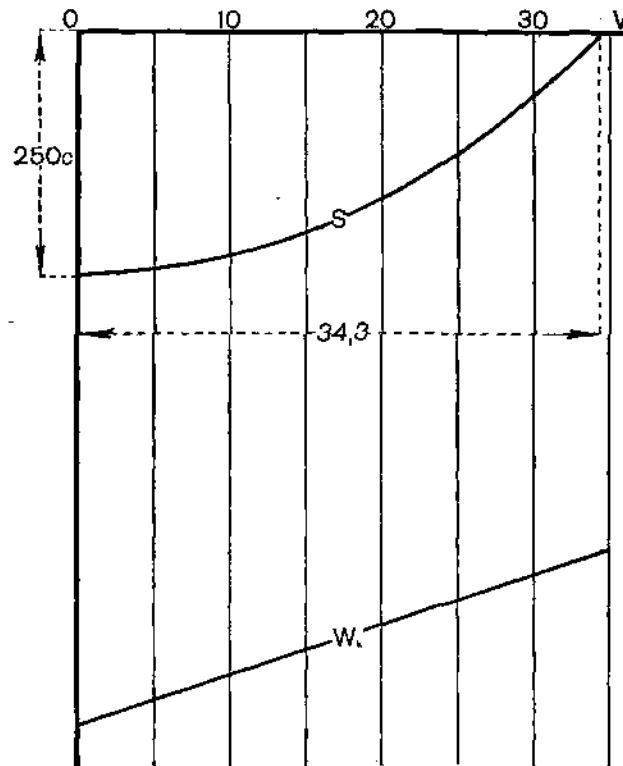
и строимъ, какъ было указано на стр. 153, діаграмму

$$w_k = w_0 + i_k + 1000 \vartheta \varphi_k = f(V),$$

Дѣлимъ эту діаграмму вертикальными прямыми на рядъ элементовъ; приводимъ къ среднему значенію  $w_k$  для каждаго

изъ этихъ элементовъ лучи изъ начала и затѣмъ, восстанавливая къ этимъ лучамъ перпендикуляры, получаемъ кривую

$$V = \psi(s),$$



Фиг. 72.

какъ это показано на фиг. 72. Изъ нея, задаваясь

$$s_k = 0,5 \text{ [вер.]} = 250 \text{ [саж.]},$$

мы находимъ непосредственно

$$V_0 = 34,3.$$

**Примѣръ 2.** При тѣхъ же масштабахъ для 2-го примѣра (см. фиг. 73) мы находимъ

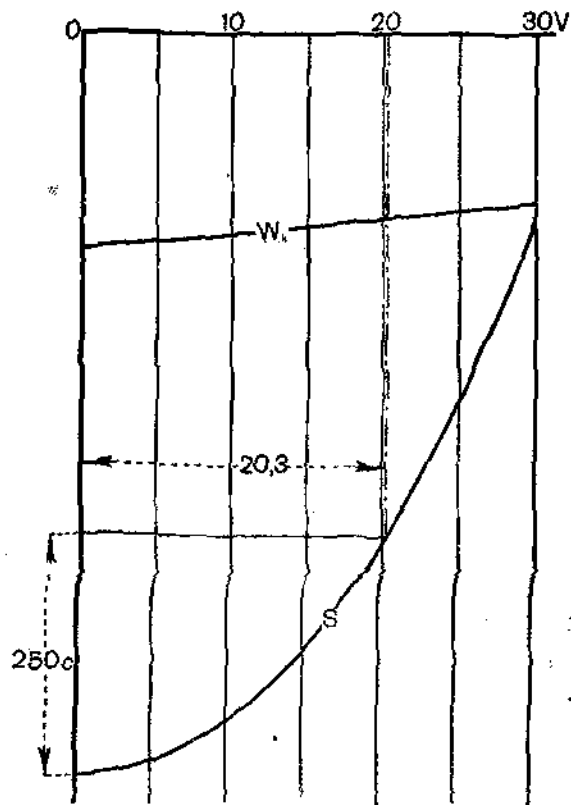
$$V_0 = 20,3.$$

Примѣръ 4. Задаваясь масштабами

$$k = 0,5 \text{ м/м}$$

$$m = 0,5 \text{ м/м}$$

$$y = 120 \cdot 0,5 = 60 \text{ м/м},$$



Фиг. 73.

изъ фигуры 74 находимъ

$$s_1 = 705 \text{ м} \approx 330 \text{ саж.};$$

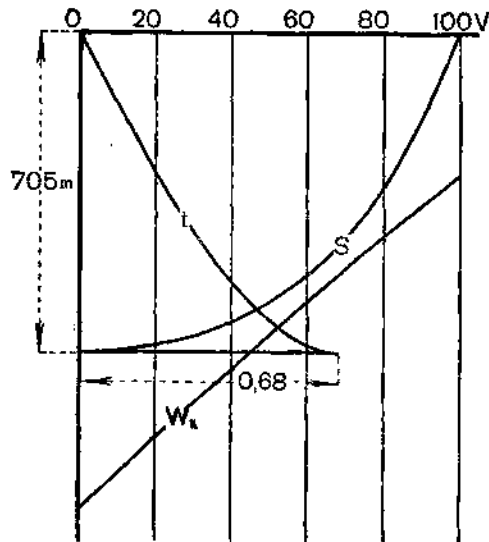
а строя кривую времени при  $A=25 \text{ м/м}$  т. е. въ масштабѣ

$$x = 300,$$

находимъ и

$$t_k = 0,68',$$

какъ мы имѣли и при способѣ Дедуи.



Фиг. 74.

#### § 60. Сравненіе разсмотрѣнныхъ способовъ между собой.

Какъ уже не разъ указывалось, аналитическое рѣшеніе тормазныхъ задачъ не требуетъ никакихъ допущеній, и потому въ смыслѣ точности всѣ три разсмотрѣнные способа можно считать одинаковыми. Именно, увеличивая число знаковъ при вычисленіяхъ и масштабы при построеніяхъ, мы можемъ достигъ любой точности. Однако, какъ тоже было уже отмѣчено, особая точность при рѣшеніи тормазныхъ задачъ и не требуется, ибо регламентация  $V_0$  производится обычно съ точностью до 5 вер./час.

Что же касается простоты и наглядности, то здѣсь безспорно преимущества на сторонѣ графическихъ приѣмовъ, ибо операціи съ Непервыми логарифмами и методомъ послѣдовательныхъ приближеній весьма утомительны и вѣроятность ошибокъ при нихъ довольно значительна.

Особенно же нагляднымъ и удобнымъ для тормазныхъ задачъ является способъ Липца, связывающій какъ разъ тѣ двѣ величины, зависимость между которыми и опредѣляетъ существо тормазныхъ расчетовъ, т. е. скорость и путь. Дѣло въ томъ, что въ подавляющемъ большинствѣ случаевъ время тормаженія для цѣлей практики безразлично и намъ приходится или по  $V_0$  опредѣлять  $s_k$ , или, обратно, по  $s_k$   $V_0$ . У Липца зависимость между этими величинами получается однимъ построениемъ, а у Дедуи двумя, или построениемъ и планиметрированиемъ.

## ГЛАВА VI.

### Расчеты времени хода поѣздовъ.

§ 61. Сущность задачи объ опредѣленіи времени хода. Исчисленіе времени хода поѣзда по перегону даннаго профиля по существу представляетъ изъ себя наиболѣе общую задачу механики поѣзда. Такъ какъ въ большинствѣ случаевъ профиль отъ станціи до станціи имѣетъ нѣсколько переломовъ, то задача эта сводится къ интегрированію уравненія движенія поѣзда въ предѣлахъ участковъ постояннаго профиля и въ суммированіи затѣмъ полученныхъ для каждаго изъ такихъ участковъ времени хода. Какъ это ясно изъ формулъ 5—7 (стр. 10—11, 108, 113—115), и фигуры 142 (стр. 107), время слѣдованія поѣзда по такому элементарному участку есть функція не только его длины, но и начальной скорости; поэтому при расчетахъ времени хода по перегонамъ необходимо не только опредѣлять для каждаго участка постояннаго профиля время, но и ту скорость которая будетъ имѣть мѣсто въ концѣ его. Иными словами по самому существу вопроса, одного второго интеграла уравненія движенія поѣзда для насъ недостаточно и помимо его мы должны пользоваться обязательно хотя-бы однимъ изъ первыхъ интеграловъ. Это уже предопредѣляетъ преимущество способа Линеца, дающаго

$$V = \psi(s),$$

передъ способомъ Дедуи, дающаго

$$V = \varphi(t),$$

ибо точки перелома профиля намъ задаются въ функціи пути, а не времени.

Съ другой стороны время слѣдованія поѣзда по участку постояннаго профиля находится въ тѣсной зависимости отъ тѣхъ значеній силы тяги, которыя мы будемъ на немъ реализировать. Поэтому при опредѣленіи времени хода, независимо отъ того способа, которымъ мы будемъ интегрировать уравненіе движенія поѣзда, мы всегда сталкиваемся съ вопросомъ о томъ, какими значеніями силы тяги мы должны задаваться. Въ общемъ видѣ на этотъ вопросъ отвѣтъ данъ на стр. 44—45. Если мы не претендуемъ на особую точность, то расчетъ времени хода надежнѣе всего вести по  $z$ , т. е. по кривымъ

$$F_k = \varphi_k(z, V).$$

Съ другой стороны надо помнить, что фактически равновѣсіе между работой котла и машиной, положенное въ основу такого расчета, наблюдается только въ томъ случаѣ, если по условію профиля и движенія приходится все время ѣхать съ паромъ. Если же благодаря частымъ остановкамъ или уклонамъ машинистъ имѣетъ возможность „поправляться“, то между закрытіями регулятора онъ можетъ безпрепятственно нарушать условіе  $U = zH$ . Поэтому въ подобныхъ случаяхъ, если мы хотимъ приблизиться къ дѣйствительности, то расчетъ времени хода благоразумнѣе вести по отсѣчкамъ, т. е. кривымъ

$$F = \varphi(\varrho, \varepsilon, V),$$

лишь повѣряя среднія значенія  $z$  между остановками, или строя кривую уровня воды въ котлѣ<sup>1)</sup>.

§ 62. Аналитическій способъ. Изъ сказаннаго ясно, что аналитическое опредѣленіе времени хода состоитъ въ томъ, чтобы интегрировать уравненіе движенія поѣзда

$$\frac{dV}{dt} = f(V)$$

последовательно на всѣхъ участкахъ, гдѣ  $f$  —  $w$  сохраняетъ свою непрерывность. Пусть длина ихъ будетъ

$$s_1, s_2, s_3 \dots$$

а видъ функции  $f$  на каждомъ изъ нихъ назовемъ

$$f_1, f_2, f_3 \dots$$

Далѣе скорость въ началѣ перваго элемента назовемъ  $V_0$ , въ концѣ перваго  $V_1$ , въ концѣ втораго  $V_2$  и т. д.

<sup>1)</sup> Чечотгъ. Новый методъ.... 1910, стр. 239.

Тогда интеграль 76 даетъ

$$\left. \begin{aligned} s_1 - s_0 &= \int_{V_0}^{V_1} \frac{V dV}{f_1(V)} \\ s_2 - s_1 &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{V dV}{f_2(V)} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 76$$

Пользуясь этими формулами мы опредѣляемъ скорости  $V_1, V_2, \dots$ , а затѣмъ помощью интеграловъ 56

$$\left. \begin{aligned} t_1 - t_0 &= \int_{V_0}^{V_1} \frac{dV}{f_1(V)} \\ t_2 - t_1 &= \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{f_2(V)} \\ &\dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 56$$

времена  $(t_1 - t_0), (t_2 - t_1), \dots$ . Искомое же

$$t_n - t_0 = \sum (t_i - t_{i-1}) \dots \dots \dots$$

Послѣ сказаннаго дѣлается понятнымъ, почему на стр. 114 уравненія 5 и 7 были приведены къ симметричному виду

$$t - t_0 = \frac{1}{m} \lg_e \frac{V+h}{V_0+h} - \frac{1}{m} \frac{V+k}{V_0+k} \dots \dots \dots 5д$$

$$s - s_0 = -\frac{h}{m} \lg_e \frac{V+h}{V_0+h} + \frac{k}{m} \frac{V+k}{V_0+k}, \dots \dots \dots 7д$$

гдѣ

$$m = b^2 - 4ac$$

$$h = \frac{b+m}{2a}$$

$$k = \frac{b-m}{2a}$$

при совмѣстномъ пользованіи интегралами 5 и 7 такая однотипность ихъ конструкціи представляетъ большія удобства въ смыслѣ сбереженія времени.



Не надо однако забывать, что аналитическое интегрирование уравнения

$$\frac{dV}{dt} = f(V)$$

при

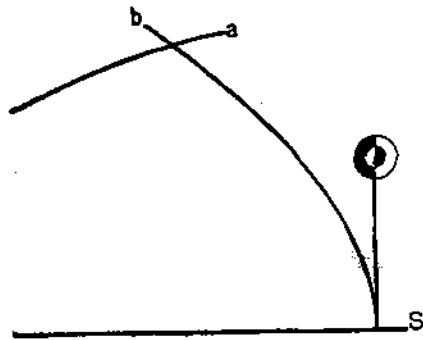
$$F_i > 0$$

возможно только при некоторых допущениях о видѣ той зависимости, которая существуетъ между силой тяги и скоростью. Именно для возможности интегрирования истинную кривую

$$F = \varphi(V)$$

приходится замѣнять параболой или прямой. Если такая замѣна совершается въ сравнительно тѣсныхъ предѣлахъ скорости, какъ это дѣлаетъ Чечоттъ (стр. 133) или по крайней мѣрѣ въ тѣхъ предѣлахъ, гдѣ  $F$  является опредѣленной функцией отъ  $V$ , какъ это дѣлаетъ Штраль (стр. 134) и какъ это дѣлаемъ мы при расчетахъ по отсѣчкамъ (стр. 112), то ошибка получается сравнительно небольшая. Если же одной параболой или прямой замѣнять и ту часть зависимости  $f(V)$ , которая обусловливается сдѣвлениемъ, и ту, которая характеризуетъ ограниченіе по котлу, какъ это предлагали Петровъ, Ераковъ, Романовъ и Стеваръ (стр. 108—109), то ожидать отъ аналитическаго интегрированія болѣе или менѣе правдоподобныхъ результатовъ едва ли возможно.

Между тѣмъ вычисленія, которыя приходится производить при немъ, весьма утомительны. Не говоря уже о Неперовыхъ логарифмахъ, съ которыми необходимо имѣть дѣло при примѣненіи формулъ 5д и 7д, при каждой остановкѣ, при каждомъ ограниченіи скорости приходится сталкиваться съ необходимостью



Фиг. 75.

рѣшать совмѣстно весьма неудобныя для этой цѣли уравненія. Въ самомъ дѣлѣ для опредѣленія той точки пути, въ которой надо закрыть регуляторъ и ввести въ дѣйствіе тормазъ для того, чтобы остановиться какъ разъ у пассажирскаго зданія или для того, чтобы въ заданномъ мѣстѣ имѣть назначенную скорость, мы должны, какъ показано на фиг. 75, рѣшать совмѣстно два уравненія

$$V = \varphi_a(s) \dots \dots \dots a.$$

и

$$V = \varphi_2(s), \dots \dots \dots \text{в}$$

изъ которыхъ первое относится къ дѣйствию пара, а второе тормазовъ. Въ общемъ случаѣ (при трехчленѣ скорости) первое уравненіе имѣеть видъ

$$s = -\frac{1}{m} \lg_e \frac{V+h}{V_0+h} - \frac{1}{m} \frac{V+k}{V_0+k},$$

а второе

$$s = +\frac{b}{ma} \left( \arctg \frac{b}{m} - \arctg \frac{2aV+b}{-m} \right) + \frac{1}{2a} \lg_e \frac{c}{aV^2 + bV + c},$$

что дѣлаеть ихъ совмѣстное рѣшеніе весьма затруднительнымъ. Нѣсколько проще обстоитъ дѣло, если для  $f(V)$  пользоваться линейными формулами. Въ этомъ случаѣ приходится рѣшать совмѣстно два уравненія вида

$$s = \frac{V-V_0}{b} + \frac{c}{b^2} \lg_e \frac{bV+c}{bV_0+c},$$

что впрочемъ тоже требуетъ примѣненіе метода послѣдовательныхъ приближеній.

**Примѣръ 5.** Опредѣлить наименьшее время хода дачнаго поѣзда въсомъ 425 тоннъ, составленнаго изъ восьмиколесныхъ вагоновъ по перегону Поворово-Крюково Ник. ж. д., при обслуживаніи его паровозомъ 2—3—0 К<sup>у</sup> типа Московско-Казанской ж. д. <sup>1)</sup> на нефти.

Какъ было указано на стр. 162, для дачнаго движенія, характеризующагося частыми остановками расчетъ времени хода правильнѣе вести по отсѣчкамъ, тѣмъ болѣе, что даже незначительный выигрышь во времени, благодаря займамъ у котла, для пригородныхъ поѣздовъ, гдѣ дорога каждая минута, какъ это и подчеркнута въ заданіи, является весьма цѣннымъ. Кромѣ того, для аналитическаго расчета примѣненіе кривыхъ

$$F_k = \varphi(\varrho, \varepsilon, V),$$

а не

$$F_k = \varphi_k(s, V)$$

имѣеть то преимущество, что для нихъ, какъ это было указано

<sup>1)</sup> Некомпаундъ съ высокопересрѣтымъ паромъ. Диаметръ цилиндровъ  $d = 575$  мм; ходъ поршня  $l = 650$  мм; диаметръ движущихъ колесъ  $D = 1900$  мм; давленіе въ котлѣ  $13$  кгт/см<sup>2</sup>; испаряющая поверхность нагрѣва  $180,8$  м<sup>2</sup>; полная  $228,2$  м<sup>2</sup>; площадь рѣшетки  $G = 3,18$  м<sup>2</sup>.

на стр. 112, всегда можно подобрать уравнения первого или второго порядка, очень близко подходящие къ даннымъ опыта, въ то время, какъ замѣна кривой

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

параболой, какъ было указано на стр. 110, нерѣдко можетъ дать значительную ошибку.

Но теперь возникаетъ вопросъ, какими же комбинаціями  $q$  и  $\varepsilon$  надо задаваться въ нашемъ частномъ случаѣ. Прежде всего надо отмѣтить, что при дачномъ движеніи на время хода весьма сильно отражается быстрота разгона. Поэтому, желая получить *наименьшее* время хода, мы при расчетѣ должны задаваться наибольшей возможной комбинаціей  $q$  и  $\varepsilon$ . При опытахъ съ паровозами серіи КУ выяснилось, что такой комбинаціей является 1—0,4 т. е. открытіе регулятора во всю и наполненіе въ 40%. При большихъ отсѣчкахъ на малыхъ скоростяхъ паровозъ сильно баксуетъ, а на большихъ теряетъ перегрѣвъ, вслѣдствіе «захлебывація» перегрѣвателя. Останавливаясь для разгона на этой комбинаціи, мы должны еще рѣшить, до какой скорости ея можно пользоваться. При опытахъ выяснилось, что при нефтяномъ отопленіи и тѣхъ размѣрахъ конуса и форсунки, которыя предвидѣны утвержденными чертежами этого паровоза, снимать съ 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрѣва пара больше чѣмъ 47 кгг. въ часъ представляется уже затруднительнымъ. Соответственная кривая

$$F_k = \varphi_k(z, V),$$

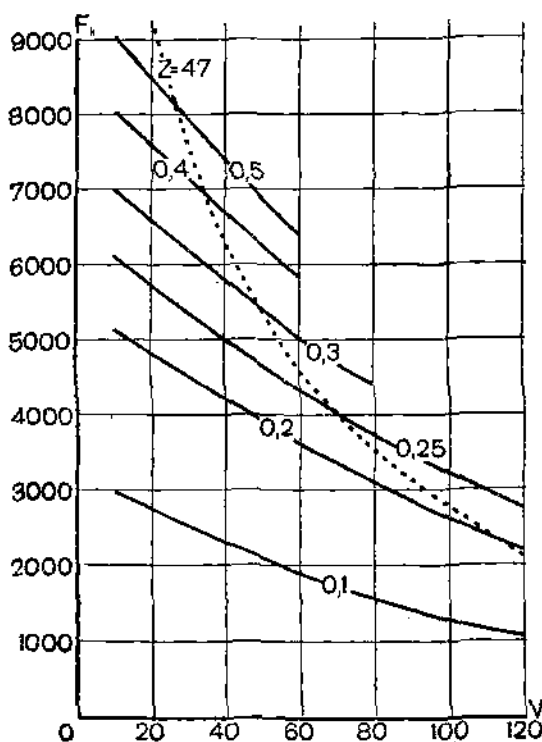
нанесена пунктиромъ на фиг. 76, гдѣ сплошныя кривыя представляютъ изъ себя зависимости

$$F_k = \varphi(q, \varepsilon, V),$$

полученныя для рассматриваемаго паровоза при  $q = 1$  опытнымъ путемъ. Изъ этой фигуры мы видимъ, что при максимальной форсировкѣ котла онъ можетъ обрабатывать комбинацію 1—0,4 только до  $V = 33$  km/h. Допуская же въ періодъ разгона нѣкоторое пониженіе уровня воды въ котлѣ, можно ѣхать на 1—0,4 и до  $V = 50$ , какъ это мы и примемъ для расчета.

Нѣсколько сложнѣй представляется вопросъ о томъ, какими комбинаціями слѣдуетъ задаваться для дальнѣйшаго движенія нашего поѣзда по расчетному перегону. Съ экономической точки зрѣнія, конечно, желательно держаться абсолютно невыгоднѣйшей комбинаціи (см. стр. 40), а съ точки зрѣнія удобства пассажировъ и нашего заданія такихъ, которыя дадутъ наименьшее

зремя. Въ данномъ случаѣ, однако, между этими двумя требованіями нѣтъ особенныхъ противорѣчій, ибо согласно опытовъ абсолютно невыгоднѣйшей комбинаціей для даннаго паровоза является  $1-0,25$ , для которой кривая  $F_k$  пересѣкаетъ (фиг. 76)



Фиг. 76.  $K^y, \rho = 1$ .

кривую  $z = 47$  при  $V = 70$  km/h. Поэтому переходя при  $V = 50$  съ  $1-0,4$  сразу на  $1-0,25$ , и поддерживая  $z = 47$  мы будемъ до  $V = 70$  пополнять запасъ тепла въ котлѣ; когда же скорость превыситъ 70 km/h, то машина опять начнетъ занимать тепло у котла. А такъ какъ дачные поѣзда Ник. ж. д., благодаря частымъ остановкамъ, очень рѣдко разгоняются свыше чѣмъ до 90 km/h, то можно съ увѣренностью сказать, что при такомъ способѣ ѣзды воды въ стеклѣ должно хватить.

Слѣдующій вопросъ, который намъ надо рѣшить, это, гдѣ намъ надо закрыть регуляторъ и начать тормажение. Последнее, какъ было указано, рѣшается расчетомъ; что же касается времени закрытія регулятора, то повседневная практика показываетъ, что въ виду расположенія ст. Крюково на кривой и плохой ви-

димости входнаго семафора со стороны Петрограда благоразумнѣе закрываться не позже начала 571 версты.

Такимъ образомъ, рѣшивъ вести нашъ расчетъ по отсѣчкамъ, мы задаемся слѣдующей программой управленія паровоза: отъ Поворова и до достиженія скорости 50 km/h  $1-0,4$ , далѣе до начала 571 версты  $1-0,25$ , и затѣмъ по инерціи до той точки пути, гдѣ надо начать тормаженіе.

Что же касается сопротивленія, то для сопротивленія паровоза Ку, какъ повозки, выпользуемся формулой

$$w_0' = 1 + 0,03 V + 0,0004 V^2,$$

выведенной изъ опытовъ надъ этимъ паровозомъ (см. фиг. 30 на стр. 78), для сопротивленія вагоновъ формулой Лебедева

$$w_0'' = 1,5 + 0,5 V \frac{V + 10}{1000}$$

(см. стр. 72), а для полнаго сопротивленіе паровоза при закрытомъ регуляторѣ формулой

$$w_0' + w_m = 2 + 0,06 V + 0,0004 V^2 + 0,000013 V^3,$$

полученной изъ специальныхъ опытовъ съ этимъ типомъ паровоза (см. стр. 80). Наконецъ для плавнаго тормаженія примемъ, какъ было указано на стр. 96,

$$\vartheta = 0,1.$$

При этихъ формулахъ и при кривыхъ  $F_k$ , приведенныхъ на фиг. 76, разность

$$f_k - w_0 = \frac{F_k - Pw_0' - Qw_0''}{P + Q}$$

для площадки при комбинаціяхъ  $1-0,4$  и  $1-0,25$  выражается сплошными кривыми фигуры 77. Изъ нея видно, что, не рискуя сдѣлать замѣтную ошибку, можно для  $1-0,4$  при скоростяхъ меньшихъ 50 km/h замѣнить истинную кривую  $f_k - w_0$  прямой

$$f_k - w_0 = 14,5 - 0,12 V,$$

нанесенной на эту фигуру пунктиромъ. Равнымъ образомъ для  $1-0,25$  при скоростяхъ большихъ 50 km/h сплошную кривую можно замѣнить пунктирной прямой

$$f_k - w_0 = 12 - 0,13 V.$$

Такимъ образомъ при вадѣ съ паромъ въ нашемъ случаѣ урав-

неніе движенія поѣзда можетъ быть представлено подь видомъ

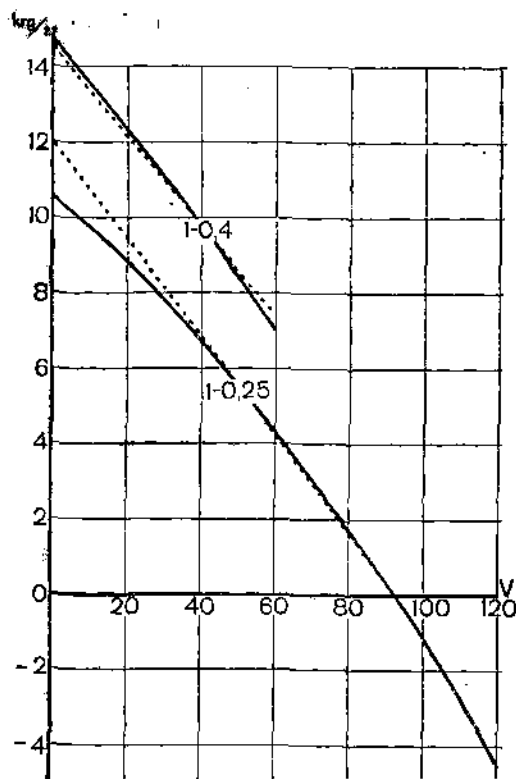
$$\frac{dV}{dt} = \zeta(f_k - w_0 - i_k) = \zeta(a - bV),$$

что даетъ интегралы

$$t - t_0 = -\frac{1}{\zeta b} \lg_e \frac{a - bV}{a - bV_0} \dots \dots \dots 6л$$

и

$$s - s_0 = -\frac{a}{\zeta b^2} \lg_e \frac{a - bV}{a - bV_0} - \frac{1}{\zeta b} (V - V_0), \dots \dots \dots 7л$$



Фиг. 77. Кч.  $Q = 425$ .

гдѣ  $a$  зависитъ отъ профиля и отъ комбинаціи, а  $b$  только отъ этой послѣдней.

Приступая на основаніи этихъ формулъ къ исчисленію времени хода даннаго поѣзда на перегонѣ Поворова-Крюково, прежде всего обратимся къ его профилю, представленному на фиг. 78.

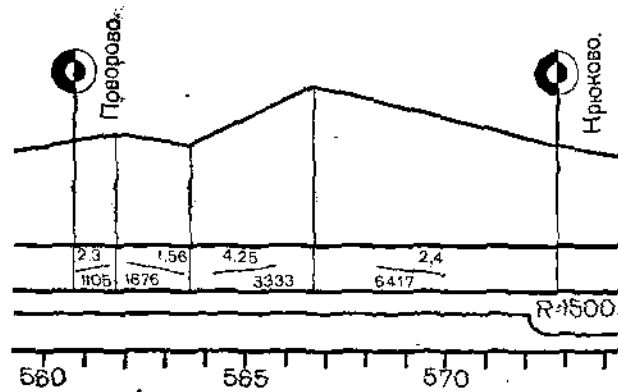
Профиль этот состоит из 4 элементов, причем из-за первого из них

$$i_k = 2,3$$

$$s - s_0 = 1,105 \text{ [km]}$$

$$V_0 = 0$$

$$t_p = 0,$$



Фиг. 78.

что при  $q = 1$  и  $e = 0,4$  т. е. при  $V < 50$  даеть

$$a = 14,5 - 2,3 = 12,2$$

$$b = 0,12,$$

или принимая  $\zeta \approx 120$

$$t = \frac{1}{120 \cdot 0,12} \lg_e \frac{12,2 - 0,12 V}{12,2} = 0,06944 \lg_e (1 - 0,00984 V) \quad 5,$$

и

$$s - s_0 = \frac{12,2 \cdot 0,06944}{0,12} \lg_e (1 - 0,00984 V) - 0,06944 V =$$

$$= -7,0602 \lg_e (1 - 0,00984 V) - 0,06944 V \quad 7.$$

Раньше чѣмъ помощью формулы 5, опредѣлить время хода по первому элементу мы должны опредѣлить по формулѣ 7, при  $s - s_0 = 1,105$ , скорость въ концѣ его; притомъ, если она окажется больше 50, по формулѣ же 7, надо найти такое  $s$  для котораго  $V = 50$ . Формулы 5, и 7, можно примѣнять только до этого  $s$ ; на остальной же части первого элемента мы должны въ этомъ случаѣ взять  $a$  и  $b$  соответствующія комбинаціи 1 — 0,25.

Рѣшить уравненіе 7, сразу относительно  $V$  нельзя и потому приходится прибѣгнуть къ способу послѣдовательныхъ прибли-

звѣній, для чего его удобнѣе представить подъ видомъ

$$V = -101,670 \lg_e(1 - 0,00984 V) - 15,91,$$

или для возможности пользованія десятичными логарифмами подъ видомъ

$$V = -234,10 \lg_{10}(1 - 0,00984 V) - 15,91,$$

какъ это получается изъ предыдущаго на основаніи зависимости

$$\lg_e x = 2,30258 \lg_{10} x.$$

Для перваго приближенія беремъ, какъ показано въ таблицѣ XII,  $V = 50$  и получаемъ

Т а б л и ц а XII.

Приближенія	1-ое	2-ое	3-ье
$V$ . . . . .	50	45	47
$0,00984 V$ . . . . .	0,4918	0,4426	0,4623
$1 - 0,00984 V = k$ . . . . .	0,5082	0,5574	0,5377
$\lg_{10} k$ . . . . .	-0,29397	-0,25385	-0,26945
$-234,10 k$ . . . . .	68,8	59,4	63,1
$V = -234,1 k - 15,9$ . . . . .	52,9	43,5	47,2

$$V = 52,9 > 50;$$

во второй разъ задаемся  $V = 45$  и получаемъ

$$V = 43,5 < 45.,$$

въ третій задаемся  $V = 47$  и получаемъ

$$V = 47,2 > 47;$$

однако эта послѣдняя разница настолько незначительна, что четвертаго приближенія можно и не дѣлать, а принять сразу въ концѣ перваго элемента

$$V_1 = 46,9.$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что онъ весь приходится при  $q = 1$  и  $\varepsilon = 0,4$  и потому для него можно сразу опредѣлить время



по формуль 5, которая получает видъ

$$t_1 = -0,06944 \lg_{10} (1 - 0,00984 \cdot 46,9),$$

или

$$t_1 = -0,1599 \lg_{10} 0,5377 = 0,0431 \text{ [h]}.$$

Переходимъ теперь ко второму элементу профиля; для него

$$i_k = -1,56$$

$$s - s_0 = 1,876$$

$$V_0 = V_1 = 46,9$$

$$t_0 = t_1$$

и для комбинаціи  $1 - 0,4$

$$a = 14,5 + 1,56 = 16,06$$

$$b = 0,12.$$

На этой комбинаціи мы условились ѣхать до  $V = 50$ ; поэтому длина той части второго элемента, на которой будетъ сохраняться эта комбинація, согласно формулы 7', равна

$$s'_2 - s_1 = -\frac{16,06 \cdot 2,30958}{0,0144 \cdot 120} \lg_{10} \frac{16,06 - 0,12 \cdot 50}{16,06 - 0,12 \cdot 46,9} - \frac{1}{120 \cdot 0,12} (50 - 46,9) = 0,118 \text{ [km]}.$$

Соответствующее же время

$$t'_2 - t_1 = -0,1599 \lg_{10} 0,96545 = 0,0024 \text{ [h]}$$

По достиженіи скорости  $V = 50$  мы условились ѣхать на  $1 - 0,25$ , что для  $i_k = -1,56$  даетъ

$$a = 12 + 1,56 = 13,56,$$

$$b = 0,13.$$

Поэтому для опредѣленія скорости  $V_2$  въ концѣ второго элемента профиля мы имѣемъ формулу 7л подъ видомъ

$$1,756 = -\frac{13,56 \cdot 2,30258}{0,13 \cdot 0,13 \cdot 120} \lg_{10} \frac{13,56 - 0,13 V_2}{13,56 - 0,13 \cdot 50} - \frac{1}{0,13 \cdot 120} (V_2 - 50).$$

или послѣ преобразованій подъ видомъ

$$V_2 = 22,604 - 240,177 \lg_{10} \frac{13,56 - 0,13 V_2}{7,06} \dots \dots \dots 7_2$$

Рѣшая это уравнение методомъ послѣдовательныхъ приближеній, какъ показано въ таблицѣ XIII, находимъ

$$V_2 = 69,7,$$

Т а б л и ц а XIII.

Приближенія	1-ое	2-ое	3-ье	4-ое
$V$ . . . . .	70	72	68	69,7
$m = \frac{13,56 - 0,13 V}{7,06}$ . . .	0,63173	0,5949	0,66866	0,63789
$lg_{10} m$ . . . . .	-0,18983	-0,22556	-0,17486	-0,19629
$240,177 lg_{10} m$ . . .	-47,9	-54,2	-42,0	-47,1
$V = 22,6 - 240,177 lg_{10} m$	70,5	76,8	64,6	69,7

откуда по формулѣ 5<sub>2</sub>

$$t_2 - t_2' = - \frac{2,30958}{0,13 \cdot 120} lg_{10} \frac{13,56 - 0,13 \cdot 69,7}{13,56 - 0,13 \cdot 50} = 0,0280 [h].$$

Для третьяго элемента профиля

$$i_k = + 4,25$$

$$s_3 - s_2 = 3,333$$

$$V_0 = V_2 = 69,7,$$

что при комбинаціи  $1 - 0,25$  даетъ

$$a = 12 - 4,25 = 7,75,$$

$$b = 0,13.$$

Скорость въ концѣ этого элемента  $V_3$  находится изъ уравненія 7л, принимающаго для него видъ

$$3,333 = - \frac{7,75 \cdot 2,30258}{0,13 \cdot 0,13 \cdot 120} lg_{10} \frac{7,75 - 0,13 V_3}{7,75 - 0,13 \cdot 69,7} - \frac{1}{120 \cdot 0,13} (V_3 - 69,7),$$

или

$$V_3 = - 187,269 lg_{10} \frac{7,75 - 0,13 V}{-1,35} + 18, \dots \dots \dots 7_3$$

который указывает, что скорость на этомъ элементѣ будетъ падать. Задаваясь рядомъ  $V_3$ , какъ указано въ таблицѣ XIV, находимъ

Т а б л и ц а XIV.

Приближенія	1-ое	2-ое	3-ье	4-ое
$V$ . . . . .	65	63	64	64,4
$m = \frac{7,75 - 0,13 V}{-1,35}$ . . . . .	0,53846	0,32593	0,42963	0,46074
$lg_{10} m$ . . . . .	-0,26884	-0,48688	-0,36689	-0,33654
$-137,269 lg_{10} m$ . . . . .	46,9	66,8	50,4	46,2
$V = 18 - 137,269 lg_{10} m$	54,9	84,8	68,4	64,2

$$V_3 = 64,4,$$

откуда по формулѣ

$$t_3 - t_2 = -\frac{2,30258}{0,13 \cdot 120} lg_{10} \frac{7,75 - 64,4 \cdot 0,13}{-1,35} = 0,0510.$$

Четвертый элементъ профиля, имѣющій

$$i_k = -2,4$$

$$V_0 = V_3 = 64,$$

мы должны разбить на три части: на первой отъ начала уклона до начала 571 версты мы условились ѣхать на  $1 - 0,25$ , на второй отъ начала 571 версты до нѣкотораго

$$s = s_4''$$

безъ пара, но и безъ тормазовъ, а на остальномъ пути до Крюкова на тормазавъ. Для первой части

$$s_4' - s_3 = 3,542$$

$$a = 12,0 + 2,4 = 14,4.$$

$$b = 0,13.$$

Поэтому скорость въ концѣ ея

$$\begin{aligned} V_4' &= -\frac{a}{b} lg_{10} \frac{a - bV_4'}{a - bV_3} - b\zeta(s_4' - s_3) + V_3' = \\ &= -255,055 lg_{10} \frac{14,4 - 0,13 V_4'}{6,041} = 12,0, \end{aligned}$$

или послѣ ряда послѣдовательныхъ подстановокъ указанныхъ въ таблицѣ XV,

Т а б л и ц а X V.

Приближенія	1-ое	2-ое	3-ье
$V$ . . . . .	90	85	87,2
$m = \frac{14,4 - 0,13}{6,041}$ . . . . .	0,44695	0,55464	0,50720
$\lg_{10} m$ . . . . .	-0,34975	-0,25607	-0,29482
$-255,055 \lg_{10} m$ . . . . .	88,2	65,4	75,196
$V = 255,055 \lg_{10} m + 12,0$ . . . . .	100,2	77,4	87,2

$$V'_4 = 87,2,$$

откуда

$$t'_4 - t_3 = \frac{2,30258}{15,6} \lg_{10} \frac{14,4 - 0,13 \cdot 87,2}{14,4 - 0,13 \cdot 64} = 0,0435.$$

Переходя къ второй части 4-го элемента профиля, на протяженіи котораго поѣздъ идетъ безъ пара и безъ тормазовъ, отмѣтимъ, что ни скорости ни разстоянія  $s''_4$  въ концѣ ея мы не знаемъ и должны ихъ опредѣлить какъ было указано на стр. 164 путемъ совмѣстнаго рѣшенія уравненій

$$V = \psi(s)$$

для второй и третьей части нашего элемента. Какъ показываетъ фиг. 79 (стр. 176) въ предѣлахъ отъ  $V=100$  до  $V=70$

$$w_0 = \frac{(w'_0 + w'_m)P + w''_0}{P + Q}$$

для даннаго случая довольно близко подходитъ къ пувктирной прямой

$$w_k = -5 + 0,155 V,$$

откуда при  $i_k = -2,4$

$$a = 7,4$$

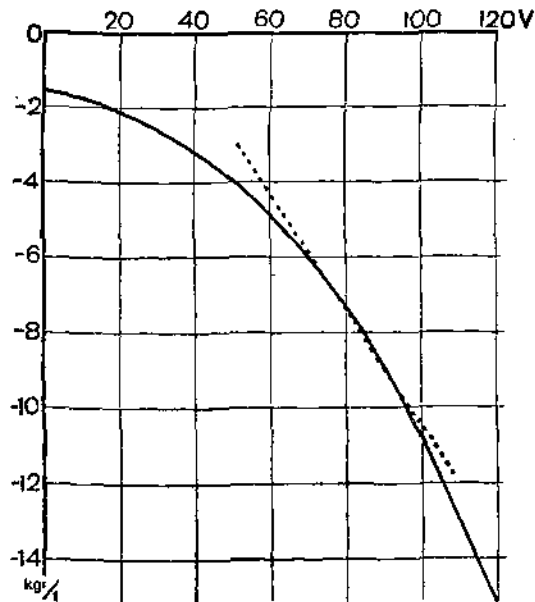
$$b = 0,155,$$

и слѣдовательно уравненіе

$$V = \psi(s).$$

для второй части 4-го участка имѣеть видъ

$$s - s'_4 = -5,91 \lg_{10} \frac{7,4 - 0,155 V}{-6,116} - 0,0538 (V - 87,2)$$



Фиг. 79.

Для третьей же части, т. е. при дѣйстви тормазовъ приведеніе  $w_k$  къ линейной формулѣ отъ  $V$  какъ было указано на стр. 146 не можетъ быть вообще говоря рекомендовано; однако, не желая имѣть дѣло съ аргументами, и принимая во вниманіе, что при подходахъ къ станціямъ характеръ тормаженія настолько зависитъ отъ опытности, характера и привычекъ машиниста, что принятое нами  $\vartheta = 0,1$  уже само по себѣ довольно произвольно, мы и для этого случая остановимся на двухчленной формулѣ, хотя нельзя не признать, что пунктирная прямая фигуры 80

$$w_k = -25,1 + 0,1 V$$

отличается очень рѣзко отъ сплошной кривой, представляющей изъ себя результатъ подсчетовъ по формуламъ, приведеннымъ на стр. 168.

Остонавливаясь тѣмъ не менѣе на пунктирной прямой, мы имѣемъ для послѣдней части 4-го участка

$$a = -27,5$$

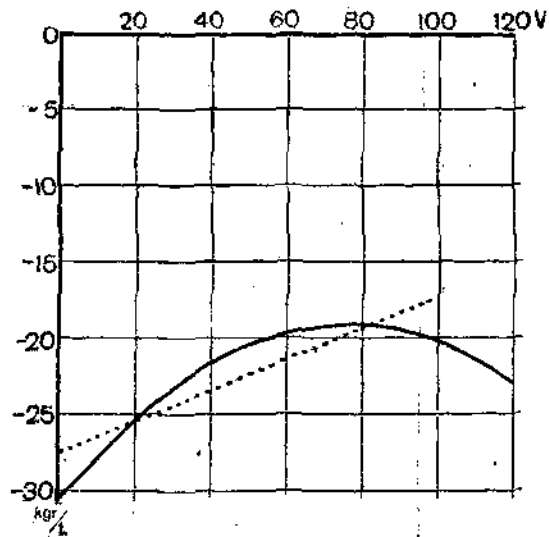
$$b = 0,1$$

$$V_0 = V'_4$$

$$V_k = 0,$$

откуда

$$s_4 - s'_4 = -0,0834 V''_4 - 52,7675 \lg_{10} \frac{27,5 - 0,1 V''_4}{27,5}$$



Фиг. 80.

Съ другой стороны, для второй части

$$s'_4 - s'_4 = -5,91 \lg_{10} \frac{7,4 - 0,155 V''_4}{-6,116} - 0,0538 (V''_4 - 87,2)$$

и, кромѣ того, согласно профиля

$$s_4 - s''_4 + s''_4 - s'_4 = s_4 - s'_4 = 2,875.$$

Поэтому для опредѣленія  $V''_4$  мы имѣемъ уравненіе

$$2,875 = -5,91 \lg_{10} \frac{4,7 - 0,155 V''_4}{-6,116} - 52,77 \lg_{10} \frac{27,5 - 0,1 V''_4}{27,5} - 0,01372 V''_4 + 4,6881.$$

Это уравненіе можно представить подъ видомъ

$$V''_4 = -43,087 \lg_{10} \frac{7,4 - 0,155 V''_4}{-6,116} - 384,670 \lg_{10} \frac{27,5 - 0,1 V''_4}{27,5} + 13,218.$$

Рѣшая его помощью послѣдовательныхъ приближеній, какъ по-

казано въ таблицѣ XVI находимъ

$$V_4'' = 73,2.$$

Т а б л и ц а XVI.

Приближенія	1-ое	2-ое	3-ье	4-ое
$V$ . . . . .	80	70	75	73,2
$m = \lg \frac{7,4 - 0,155 V_4''}{-6,116}$	0,81753	0,56409	0,69081	0,64193
$\lg m$ . . . . .	-0,08740	-0,24865	-0,16064	-0,19251
$-43,087 \lg m = p$ . .	3,766	10,714	6,921	8,295
$n = \lg \frac{27,5 - 0,1 V_4''}{27,5}$	0,70909	0,74546	0,72727	0,73382
$\lg n$ . . . . .	-0,14934	-0,12758	-0,13831	-0,13441
$-384,670 \lg n = q$ . .	57,444	49,076	53,203	51,703
$p + q + 13,218$ . . .	74,429	73,006	73,342	73,226

Итакъ, тормажение надо начинать при скорости, равной 73,2 [km/h]. Время отъ момента закрытія регулятора до достиженія этой скорости

$$t_4' - t_4 = -\frac{2,30258}{0,155 \cdot 120} \lg_{10} \frac{7,4 - 0,155 \cdot 73,2}{7,4 - 0,155 \cdot 87,2} = 0,0238.$$

Время же отъ начала тормажения до остановки

$$t_4 - t_4'' = -\frac{2,30258}{b\zeta} \lg_{10} \frac{bV_4'' - a}{-a} = -\frac{2,30258}{12} \lg_{10} 0,7342 = 0,0257.$$

Такимъ образомъ мы имѣемъ

$$t_1 = 0,0431$$

$$t_2 - t_1 = 0,0024$$

$$t_3 - t_2 = 0,0280$$

$$t_4 - t_3 = 0,0510$$

$$t_4' - t_4 = 0,0435$$

$$t_4'' - t_4' = 0,0238$$

$$t_4 - t_4'' = 0,0257,$$

$$t_4 = 0,2175$$

т. е. искомое время хода равно 0,2175 часа или 13,05 минуты.

Указанный на стр. 167 способ ѣзды съ  $Q = 425$  былъ испробованъ во время опытовъ II цикла надъ паровозомъ К7, причемъ время хода во время поѣздки № 222 (16 ноября 1913 г.) получилось равнымъ 13'33", а во время поѣздки № 276 (1 декабря 1913 г.)—13'23", что отличается отъ расчетнаго менѣе чѣмъ на  $\frac{1}{2}$  минуты.

§ 63. Способъ Дедуи. Какъ было указано на стр. 117—118, Дедуи предложилъ вмѣсто аналитическаго интегрированія уравненія движенія поѣзда строить графически кривую

$$V = \varphi(t).$$

Поэтому примѣненіе его метода къ опредѣленію времени хода сводится къ построенію такихъ кривыхъ для участковъ, въ предѣлахъ которыхъ

$$f - w$$

является непрерывной функціей скорости.

Предположимъ, на примѣръ, что намъ надо опредѣлить время хода по  $z$  для перегона, состоящаго изъ двухъ участковъ, имѣющихъ виртуальные подъемы  $i_b$  и  $i_c$ . Пусть далѣе длина этихъ участковъ равна  $s_b$  и  $s_c$  и на обѣихъ станціяхъ, ограничивающихъ нашъ перегонъ поѣздъ долженъ останавливаться. Примѣняя одинъ изъ способовъ, указанныхъ въ §§ 46—47, строимъ прежде всего кривую

$$V = \varphi(t)$$

для участка съ подъемомъ  $i_b$ . На фиг. 81 это построеніе произведено способомъ Дедуи—Лебедева (стр. 122) т. е. путемъ проведенія прямыхъ

$$OB_1 \perp b_1 a_1$$

$$B_1 B_2 \perp b_2 a_2$$

.....

Построеніе это должно продолжаться до тѣхъ поръ, пока  $s - s_b$  не сдѣлается равнымъ  $s_c$ . Для опредѣленія времени

$$t_b = OM',$$

нужнаго для того, чтобы поѣздъ, двигаясь по подъему  $i_b$ , прошелъ путь  $s_b$ , можно, какъ было указано въ § 48, воспользоваться двумя приемами: кривой

$$s = \chi(t),$$

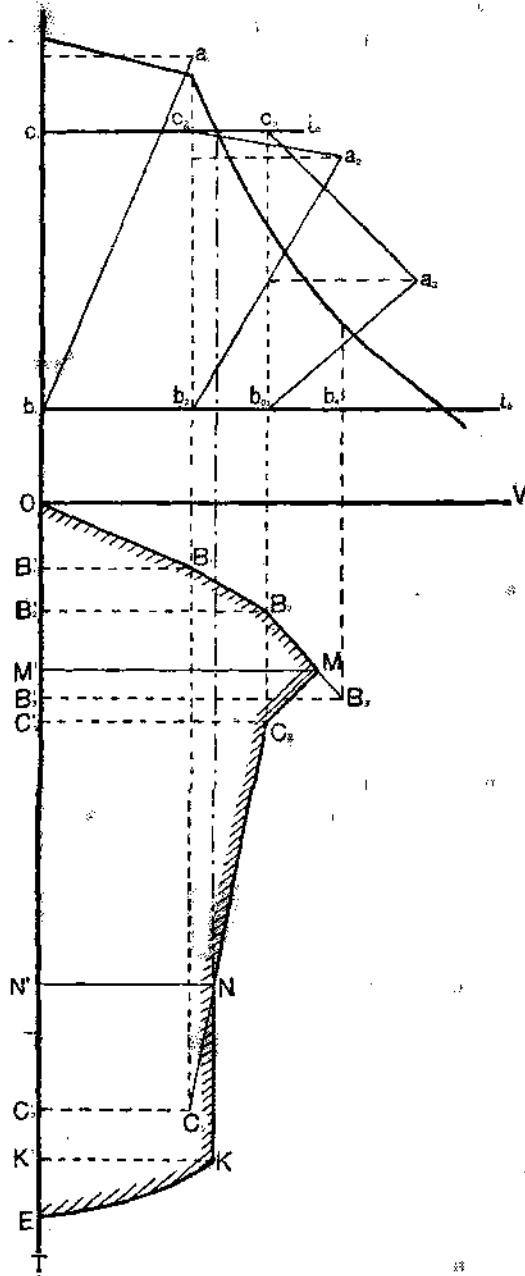
или подсчетомъ площадей

$$OB_1 B'_1, B_1 B_2 B'_2 B'_1 \dots \dots \dots$$



Если при применении второго способа

$$OB_2B' < s_b < OB_3B'_3,$$



Фиг. 81.

перестроить элемент  $B_2M$  по более точному значению  $f-w$ . На фиг. 81 это исправление не показано, чтобы не затемнять чертеж.

как это показано на фиг. 81, то время  $B'_2M' = x$  и скорость  $M'M = V_x$  можно найти из уравнений

$$\frac{x}{h} = \frac{V_x - V_2}{V_2 - V_2'}$$

$$s_2 + \frac{V_2 + V_x}{2} x = s_b,$$

где

$$h = B'_2B'_3,$$

$$V_2 = B'_2B_2,$$

$$V_3 = B'_3B_3$$

и

$$s_2 = \text{пл. } OB_2B'_2$$

известны из чертежа.

Полученное таким образом или определенное из кривой

$$s = \chi(t)$$

время  $t_b$ , нужное для прохождения участка с подъемом  $s_b$  можно рассматривать только как первое приближение, ибо при изменении скорости от  $V_2$  до  $V_x$  среднее значение

$$f-w$$

будет изображаться не прямой  $a_2$ , а некоторой прямой  $a'_2$  лежащей выше ее. Поэтому, найдя приблизительно точку  $M$ , необходимо затем

Съ переходомъ въ моментъ

$$t_b = OM'$$

на участокъ съ подъемомъ

$$i_c > i_b$$

начало координатъ діаграммы

$$f-w = \frac{1}{\xi} \frac{dV}{dt}$$

переносится въ  $c_1$ , и потому для построения кривой

$$V = \varphi(t),$$

соотвѣтствующей этому участку, мы должны строить

$$MC_3 \perp c_3 a_3$$

$$C_3 C_2 \perp c_2 a_2$$

.....

Такое построение надо вести до тѣхъ поръ, пока не наступитъ моментъ, когда нужно закрывать регуляторъ и тормазить, чтобы остановиться у станціи, или до тѣхъ поръ, пока не будетъ достигнута равномерная скорость

$$V_b = N'N.$$

На фиг. 81 показанъ именно этотъ второй случай.

Построение тормазной кривой  $EM$  было подробно описано на стр. 151. Что же касается нанесенія ея на фигуру 81, т. е. нахождения точки  $K$ , то для этого приходится прибѣгать къ методу попытокъ, двигая кривую  $EK$ , начерченную на калькѣ, вдоль по чертежу, пока площадь  $OMNKE$  не сдѣлается равной

$$s_a + s_b.$$

Эта операція при методѣ Дедуи является наиболѣе утомительной.

Искомое время на фиг. 81 выражается отрезкомъ  $OE$ .

Въ заключеніе необходимо отмѣтить, что при массовыхъ расчетахъ, когда длина кривыхъ

$$V = \varphi(t)$$

достигаетъ нѣсколькихъ метровъ, діаграмму  $f-w$ , т. е. верхнюю часть фиг. 81, приходится передвигать вдоль чертежа, для какой цѣли она вычерчивается отдѣльно на кускѣ кальки или прочной клѣтчатки. А такъ какъ незначительный перекосъ этого куска можетъ, очевидно, значительно отразиться на правильности по-

строений, то перекальвая его съ мѣста на мѣсто необходимо тщательно слѣдить за совпаденіемъ осей  $f-w$  и  $t$ . Этотъ переносный кусокъ кальки или клѣтчатки отнюдь не слѣдуетъ загрязнять проведеніемъ лучей  $ab$  и  $ac$ ; достаточно по нимъ установить треугольникъ (лучше всего прозрачный), и затѣмъ по другому треугольнику, прижатому къ первому, прочертить соответственный элементъ кривой

$$V = \varphi(t).$$

**Примѣръ 5.** Требуется опредѣлить время хода дачнаго поѣзда на перегонѣ Поворова-Крюково, согласно заданіямъ, изложеннымъ на стр. 165.



Фиг. 82.

мы получимъ кривую *Oabdefg*, которая по уменьшеніи въ 4 раза приведена на фиг. 82. Здѣсь *Oa* соответствуетъ вѣдѣ по подъему 2,3 на 1—0,4, *ab* по уклону 1,56 съ той же комбина-

При примѣненіи графическихъ приемовъ нѣтъ уже необходимости прибѣгать къ какимъ либо допущеніямъ относительно кривыхъ

$$f-w = \frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt},$$

какъ это намъ приходилось дѣлать на стр. 168—177. Иными словами при графическихъ методахъ мы можемъ пользоваться не пунктирными, а сплошными кривыми фигуръ 77, 79—80. Эти кривыя и перенесены на фиг. 82, гдѣ кривая *A* относится къ движенію безъ пара а кривая *B* къ тормаженію

Строя затѣмъ, какъ было указано выше, діаграмму скорости въ функціи времени въ масштабахъ

$$m = 2,$$

$$k = 10,$$

$$\zeta = 120,$$

$$A = 50,$$

$$x = 1200,$$

цией,  $ba$  по тому же уклону на  $1-0,25$ ,  $cd$ —съ этой комбинаціей по уклону  $2,4$ ,  $ef$  по этому уклону безъ пара, а  $fg$  на тормазяхъ.

Искомое время

$$T = Og = 13,3$$

минуты. При аналитическомъ же разчетѣ мы получили

$$T = 13,1,$$

а среднее изъ двухъ поѣздокъ

$$T = 13,5.$$

Сходимость болѣе чѣмъ достаточная.

§ 64. Способъ Липца. Подобно тому какъ розысканіе времени хода по способу Дедуи сводится къ построенію кривыхъ

$$V = \varphi(t)$$

для тѣхъ участковъ, гдѣ  $f-w$  является непрерывной функцией  $V$ , при способѣ Липца эта задача сводится къ построенію для такихъ участковъ кривой

$$V = \varphi(s),$$

и по ней кривой

$$t = \chi(s).$$

На фиг. 83 приведено построеніе первой изъ этихъ кривыхъ для того же теоретическаго перегона, для котораго на фиг. 81 мы строили

$$V = \varphi(t).$$

Именно, проводя

$$OB \perp b_1 a_1,$$

$$B_1 B_2 \perp b_1 a_2,$$

$$B_1 B_3 \perp b_1 a_3,$$

мы получимъ кривую разгона на подъемъ  $i_b$ . Кривая эта обрывается въ точкѣ  $M$ , для которой

$$OM' = s_b.$$

Проводя далѣе

$$MC_3 \perp c_1 a_3,$$

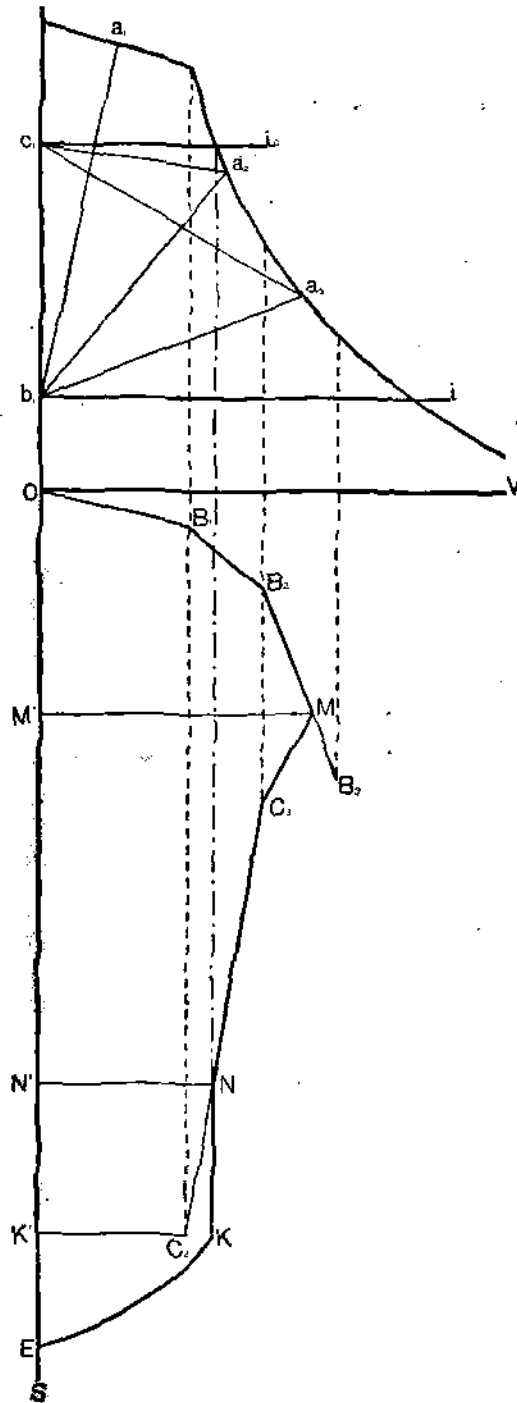
$$C_3 C_2 \perp c_1 a_2$$

до достиженія скоростью значенія

$$V_c = NN' = KK',$$

мы получимъ кривую

$$V = \varphi(s)$$



Фиг. 83.

на подъемъ  $\epsilon$ . Наконецъ; строя изъ точки **Е**, въ данномъ случаѣ намъ заданной условіемъ

$$OE = s_b + s_c,$$

кривую тормажения, какъ это было показано на стр. 157, мы получаемъ диаграмму

$$V = \psi(s)$$

для всего перегона.

Къ построению этой кривой по способу Липца примѣнимъ всѣ тѣ замѣчанія практическаго характера, которыя на стр. 181 — 182 мы сдѣлали относительно способа Дедуи. Также какъ и при немъ, если точка **М**, соответствующая перелому профиля, не совпадаетъ съ границей интерваловъ  $V$ , то интерваль, внутри котораго оказалась эта точка, надо уменьшить, и соответственно исправить направленіе элемента искомой кривой  $B_2M$ . Это исправленіе при способѣ Липца достигается значительно легче, чѣмъ при способѣ Дедуи, ибо здѣсь границы участковъ заранее известны, тогда какъ при способѣ Дедуи положеніе прямой  $MM'$  (фиг. 81) находится помощью подбора соответственной площади. Равнымъ образомъ при примѣненіи спо-

соба Липеца къ массовымъ разсчетамъ, диаграмму

$$f - w = \frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt},$$

какъ и при способѣ Дедуи приходится вычерчивать на отдѣльномъ кускѣ кальки или клѣтчатки и двигать вдоль чертежа, избѣгая при этомъ загрязненія ея карандашемъ, и примѣняя для построенія элементовъ кривой

$$V = \psi(s)$$

два треугольника.

По сравненіи съ способомъ Дедуи, способъ Липеца имѣеть то неудобство, что при немъ кромѣ кривой скоростей для нахождения времени хода приходится строить еще или кривую

$$t = \chi(s)$$

(стр. 140—141) или Дубелировскую кривую

$$\frac{1}{V} = \psi(s)$$

(стр. 139), площадь которой даетъ непосредственно искомое время хода. Надо, однако, сознаться, что отсутствіе необходимости непрерывно подсчитывать площади и искать попытками начало тормажения съ избыткомъ окупаютъ указанное неудобство. Вслѣдствіе этого и для разчета времени хода способъ Липеца приходится рекомендовать преимущественно передъ способомъ Дедуи.

**Примѣръ 5.** Опредѣлить по способу Липеца время хода дачнаго поѣзда на перегонѣ Поворово-Крюково, согласно заданіямъ, изложеннымъ на стр. 165—166.

Какъ и при способѣ Дедуи (стр. 182) мы можемъ пользоваться сплошными кривыми фиг. 77, 79—80, перенесенными на фиг. 84. Примѣняя масштабы

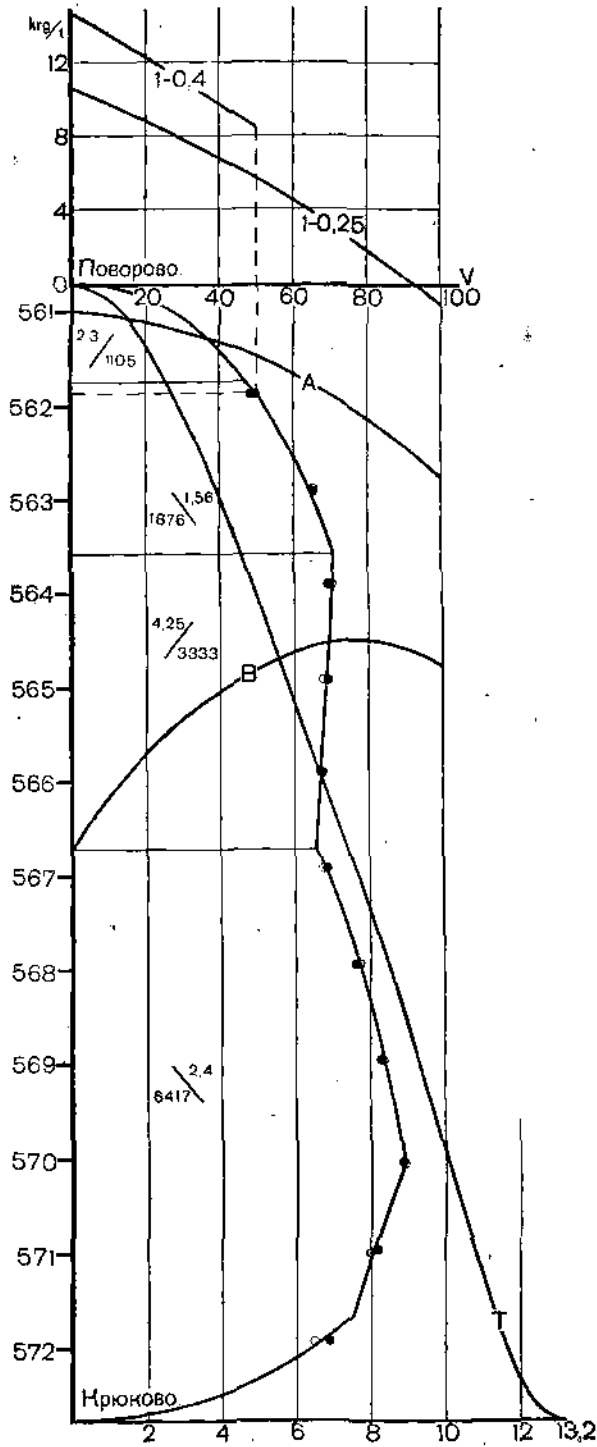
$$m = 2,$$

$$k = 10,$$

$$y = 48,$$

$$x = 1200,$$

мы получимъ для нашего перегона кривыя  $V$  и  $t$ , приведенныя по уменьшеніи въ 4 раза на фиг. 84. Кромѣ того на эту фигуру нанесены въ видѣ бѣлыхъ кружковъ значенія мгновенныхъ скоростей при прохожденіи мимо верстовыхъ столбовъ во время поѣздки № 222 (16 ноября 1913 г.) и въ видѣ черныхъ во время



Фиг. 84.

поѣздки № 276 (1-го декабря того же года). Искомое же время

$$T = 13,2$$

что хорошо согласуется, какъ съ результатами нашихъ расчетовъ (аналитическій—13,1', Дедуи—13,3'), такъ и результатами опытныхъ поѣздовъ (13,5').

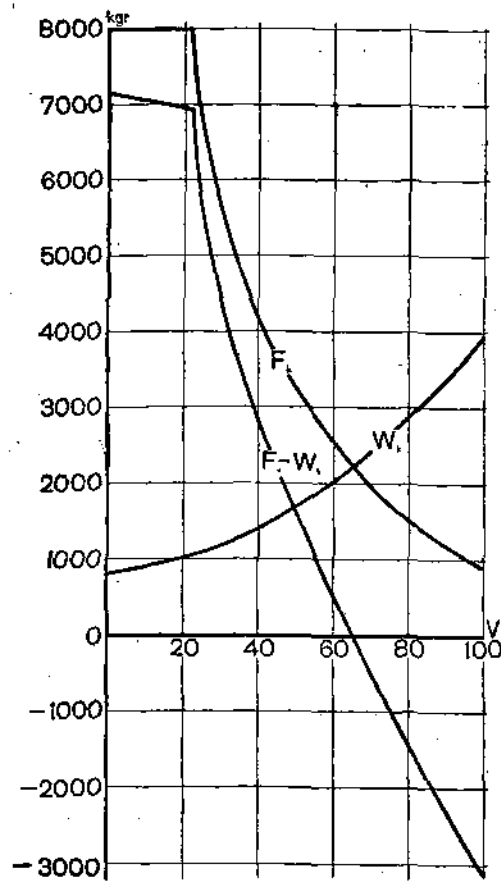
**Примѣръ 6.** Определить время хода дальняго скорого поѣзда вѣсомъ  $Q = 460$  тоннъ (№№ 5<sub>с</sub> и 5<sub>р</sub>) на участкѣ Серпуховъ-Тула Московско-Курской ж. д. при паровозѣ 1—3—0 Н<sup>у</sup><sup>1)</sup> на нефти при условіи, что остановки на этомъ участкѣ онъ долженъ имѣть на ст. Серпуховъ, Лаптево и Тула, что станціи онъ долженъ проходить со скоростью не свыше 50 км/ч, мостъ черезъ р. Оку на 98 вер.—не свыше 40 км/ч, а мостъ черезъ р. Упу на 180 вер.—не свыше 30 км/ч. Профиль этого участка изображенъ на листѣ I, приложенномъ въ концѣ книги.

Въ виду рѣдкихъ остановокъ и затяжныхъ подъемовъ расчетъ благоразумнѣе вести по  $z$ . Что же касается выбора этого  $z$  то онъ опредѣлился слѣдующими соображеніями: опытами съ паровозомъ Н<sup>у</sup> было выяснено, что при  $z = 50 - 60$  кгг/м<sup>2</sup>ч. парообразование на этомъ паровозѣ еще вполне надежно. При снятіи же съ 1 м<sup>2</sup> поверхности нагрѣва больше 60 кг пара въ часъ, мы имѣли нѣсколько случаевъ течи трубъ и при той форсункѣ, которая была поставлена на паровозѣ согласно утвержденнаго чертежа, значительное ухудшеніе горѣнія нефти, т. е. много сажи и окиси углерода. Такимъ образомъ подымать  $z$  выше 60 кгг/м<sup>2</sup>ч представляется неблагоприятнымъ въ смыслѣ обеспеченности своевременнаго слѣдованія поѣзда. Болѣе того для возможности выдерживать время хода при плохой погодѣ и мелкихъ неисправностяхъ въ паровозѣ, а при хорошей погодѣ имѣть возможность нагонять опазданія,  $z$  желательно брать нѣсколько менѣе 60. Съ другой стороны значительное пониженіе  $z$  отразилось бы неблагоприятно на коммерческой скорости; и при  $z = 40$ , которая при нефти, какъ указано въ таблицѣ VI (стр. 39), является наименѣе коммерчески выгодной для этого паровоза. форсировкой котла, время хода на рассматриваемомъ участкѣ оказалось бы больше, чѣмъ оно поддерживалось въ теченіи цѣлаго ряда лѣтъ для подобныхъ поѣздовъ паровозами 2—3—0 В системы Воклена. Между тѣмъ для экономической

<sup>1)</sup> Двухцилиндровый компаундъ:  $d_1 = 500$  мм;  $d_2 = 750$  мм;  $l = 650$  мм;  $D = 1900$  мм;  $p_k = 13$  кгг/см<sup>2</sup>;  $H = 156,8$  м<sup>2</sup>;  $G = 2,6$  м<sup>2</sup>;  $F_k = 48$ ;  $P = 100$ ; (тепдерь четырехосный).



жизни страны увеличеніе коммерческой скорости движенія пассажирскихъ поѣздовъ для такихъ пробѣговъ, какъ Петроградъ—Севостополь и Петроградъ—Ростовъ, имѣеть серьезное значеніе. Поэтому въ данномъ случаѣ отъ паровоза надо взять все, что онъ можетъ дать, безъ риска, однако, вызвать нарушеніе правильности движенія при плохой погодѣ и мелкихъ неисправностяхъ паровоза. Въ силу этихъ соображеній остановимся на  $z=50$ .



Фиг. 85.

Силу тяги паровоза 1—3—0 НУ для  $z=50$  беремъ изъ „паспорта“; она имѣеть видъ, показанный на фиг. 85. Значенія ея ординатъ переносимъ въ таблицу XVIII, гдѣ затѣмъ производимъ подсчетъ значеній сопротивленія поѣзда, какъ ряда по-возокъ на площадкѣ

$$W_0 = W'_0 + W''_0 = Pw'_0 + Qw''_0$$

по формуламъ

$$w'_0 = 1,3 + 0,02 V + 0,0005 V^2$$

(стр. 78) и

$$w''_0 = 1,5 + 0,5 V \frac{V+10}{1000}$$

Т а б л и ц а XVII. 1—3—0. НУ. Q = 460.

V	При открытомъ регуляторѣ							При закрытомъ				
	$F_k$	$w'_0$	$W'_0 = Pw'_0$	$w''_0$	$W''_0 = Qw''_0$	$W = W' + W''_0$	$F_k - W_0$	$f_k - w_0$	$w_0 + w'_m$	$W'_m = P(w'_0 + w'_m)$	$W''_m + W''_0$	$w'_1$
0	8000	1,30	130	1,50	690	820	7180	12,84	13,00	300	990	1,77
10	8000	1,55	155	1,60	736	891	7109	12,68	3,47	347	1083	1,94
19	8000	1,86	186	1,78	818	1004	6996	12,49	—	—	—	—
20	7700	1,90	190	1,80	828	1018	6682	11,94	4,14	414	1242	2,22
30	5650	2,35	235	2,10	966	1201	4449	7,95	5,09	509	1475	2,64
40	4250	2,90	290	2,50	1150	1440	2810	5,02	6,39	639	1789	3,20
50	3250	3,55	355	3,00	1380	1735	1515	2,71	8,13	813	2193	3,92
60	2550	4,30	430	3,60	1656	2086	464	0,83	10,37	1037	2693	4,81
70	2000	5,15	515	4,30	1978	2493	-493	-0,88	13,10	1310	3288	5,88
80	1500	6,10	610	5,10	2346	2956	-1456	-2,60	16,69	1669	4015	7,18
90	1050	7,15	715	6,00	2760	3465	-2415	-4,31	20,94	2094	4854	8,67
100	750	8,30	830	7,00	3220	4050	-3300	-5,90	26,00	2600	5820	10,55

(стр. 72), а также значенія *полнаго* сопротивленія поѣзда при закрытомъ регуляторѣ

$$W'_1 = (w_0 + w'_m)P + w''_0 Q,$$

вычисленные по формулѣ

$$w_0 + w'_m = 3,0 + 0,04V + 0,0006V^2 + 0,000013V^3,$$

полученной для паровоза 1—3—1 С. Значенія  $W_0$  и  $F_k - W_0$  нанесены также на фиг. 85.

Дѣлимъ теперь значенія  $F_k - W_0$  и  $W'_i$  на  $P + Q$  и получаемъ кривыя

$$f_k - w_0 = f(V)$$

$$-w'_i = f'(V),$$

по которымъ и ведемъ построенія кривыхъ

$$V = \psi(s)$$

$$t = \chi(s),$$

представленныхъ на листѣ I, приложенномъ въ концѣ этой книги. Значеніе изображенной тамъ заштрихованной кривой расхода пара будетъ объяснено въ слѣдующей главѣ.

На этомъ же листѣ въ видѣ точекъ нанесены значенія скоростей и времени хода, полученные во время опытной поѣздки II цикла № 36 22 ноября 1912 г. Эта поѣздка, помимо плохой погоды, интересна тѣмъ, что во время ея на паровозѣ НУ № 133 имѣлся уже значительный пропускъ пара черезъ правый цилиндрическій золотникъ весьма неудачной конструкціи. Пропускъ этотъ былъ настолько великъ, что черезъ одну поѣздку, послѣ разсмотрѣваемой, паровозъ пришлось отставить отъ „опытной“ службы для ремонта. Слѣдуетъ думать, однако, что въ повседневной службѣ ходятъ много паровозовъ этой серіи и съ большимъ пропускомъ. Не смотря на этотъ пропускъ и на неполнѣ точное соблюденіе скоростей, назначенныхъ на мостахъ и станціяхъ, совпаденіе кривыхъ надлежитъ признать достаточнымъ особенно если имѣть въ виду, что расчетъ велся по  $z$ , машинистъ же не имѣлъ ни указаній поддерживать его по возможности постояннымъ, ни определенной программы управленія паровозомъ, какъ это имѣло мѣсто при опытныхъ поѣздкахъ на переговѣ Поворово-Крюково, а ѣхалъ нормально, сообразуясь лишь съ общими указаніями опытовъ I цикла о наивыгоднѣйшихъ комбинаціяхъ. Насъ, однако, сейчасъ интересуетъ не столько сходимость кривыхъ

$$V = \psi(s),$$

которая при указанныхъ условіяхъ и не могла быть полной, сколько общій результатъ опредѣленія времени хода. По кривой

листа I

$$T = 109,5',$$

дѣйствительное же

$$T = 111,5',$$

а по дѣйствующему росписанію М.-Курской ж. д.

$$T_p = 115'.$$

Такимъ образомъ, не смотря на пропускъ черезъ золотникъ и плохую погоду, мы имѣли противъ расчета по  $z$  отпаданіе всего лишь въ 2' или 1,8%. Да и оно главнымъ образомъ объясняется приемомъ опытнаго поѣзда въ Тульѣ съ проводникомъ на товарные пути.

Результатъ этотъ, послѣ всего сказаннаго на стр. 45, не является неожиданнымъ. Но съ другой стороны нельзя не признать, что произведенное сравненіе расчета по

$$z = 50$$

съ результатами поѣздки, при которой это условіе вовсе не соблюдалось, едва ли можетъ служить для оцѣнки точности способа Липеца въ приложеніи къ расчету времени хода. Для этой цѣли можно сравнивать только результаты, полученные фактически и изъ расчета при однихъ и тѣхъ же заданіяхъ относительно измѣненій машинистомъ силы тяги. А такъ какъ во время опытныхъ поѣздовъ всѣ измѣненія въ положеніи регулятора и переводнаго механизма записываются, то представляется возможнымъ построить по способу Липеца кривыя скоростей и времени по тѣмъ именно отсѣчкамъ, которыми машинистъ фактически пользовался. Это и исполнено на листѣ I пунктиромъ изъ однихъ точекъ. Въ результатѣ такого расчета мы получили

$$T = 111,1',$$

что отличается отъ дѣйствительнаго

$$T = 111,5',$$

всего на 0,4' или 0,36%. Такое совпаденіе указываетъ съ одной стороны, какъ этого и слѣдовало ожидать, на весьма слабое вліяніе пропуска черезъ золотникъ на силу тяги паровоза, а съ другой на полную применимость способа Липеца для самыхъ деликатныхъ расчетовъ.

Въ заключеніе въ таблицѣ XVIII приведены значенія времени хода по отдѣльнымъ перегонамъ нашего участка, вычи-

Т а б л и ц а XVIII.

Станции	по $z$	по $\varepsilon$	поѣздка № 36
Серпуховъ . . . . .	—	—	—
Ога . . . . .	6,4	7,2	7,3
Свинская . . . . .	12,9	12,1	12,3
Тарусская . . . . .	18,8	18,0	17,8
Пахомово . . . . .	16,4	16,4	16,6
Шульгино . . . . .	6,5	6,7	6,7
Лаптево . . . . .	13,6	13,5	13,1
Ревякино . . . . .	17,4	18,9	18,9
Хомяково . . . . .	7,9	7,7	7,7
Тула . . . . .	10,2	10,6	11,1
Итого . . . . .	109,5	111,1	111,5

сленныя обоими способами и наблюдавшіяся во время опытной поѣздки № 36.

**Примѣръ 7.** Определить время хода товарнаго полногрузнаго поѣзда въсомъ 61000 пудовъ=1000 тоннъ по перегонамъ Гороваста-Черный Доръ-Осташковъ Полоцкой линіи Ник. ж. д. при паровозѣ 0—4—0 БГ<sup>1</sup> типа Армавиръ-Туапсинской ж. д. <sup>1)</sup> на нефти.

При цѣнѣ нефти около 50 коп. за пудъ и отсутствіи специализации товарнаго движенія на Полоцкой линіи, благодаря чему увеличеніе ходовой скорости очень слабо отражается на коммерческой, беремъ для  $z$  минимальную цифру, стоящую въ таблицѣ VI (стр. 39), т. е.  $z=25$ . Для этого  $z$  беремъ изъ «паспорта» кривую

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

и, раздѣливъ ея ординаты на

$$P + Q = 1100,$$

<sup>1)</sup> Двухцилиндровый компаундъ съ очень высокимъ перегрѣвомъ (350—400°C);  $d_1=550$  м/м,  $d_2=790$  м/м,  $l=650$  м/м,  $D=1200$  м/м,  $p_k=12$  кгг/см<sup>2</sup>; Испаряющая поверхность нагрева  $H=147,3$  м<sup>2</sup>, полная включая и перегревателя  $H+H_1=190,3$  м<sup>2</sup>,  $G=2,55$  м<sup>3</sup>; сѣдной вѣсъ  $P_k=61$  т, средній ходовой вѣсъ  $P=100$  т.

получаемъ кривую  $f$ , фигуры 86.

Переходя къ сопротивленію, воспользуемся для паровоза Ы формулой

$$w_0 = 1,4 + 0,04V + 0,0006V^2,$$

полученной для него путемъ скатыванія, а для вагоновъ формулой X. Н. ж. д.

$$w_0'' = 1,4 + \left(0,04 + \frac{20}{q9}\right)V,$$

которая для полногрузныхъ вагоновъ, т. е. для

$$q = 420 + 1000 = 1420;$$

превращается въ

$$w_0'' = 1,4 + 0,054V.$$

Въ результатъ для всего поезда мы имѣемъ формулу

$$w_0' = \frac{Pw_0' + Qw_0''}{P + Q} = 1,4 + 0,0527V + 0,000545V^2,$$

которая, какъ это видно изъ фигуры 86, очень мало отличается отъ формулы завода Балдвина

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20},$$

изображенной тамъ пунктирной прямой В. Для полного же сопротивленія паровоза при закрытомъ регуляторѣ принимаемъ формулу

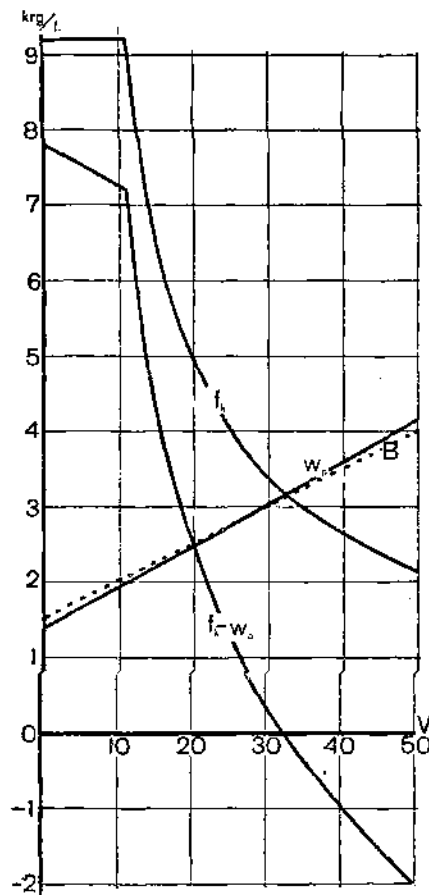
$$w_0' + w_m' = 4 + 0,16V + 0,002V^2,$$

найденную опытнымъ путемъ для паровоза нормального типа.

Пользуясь этими данными и профилемъ расчетнаго перегона, показаннаго на листѣ II, приложенномъ къ этой книгѣ, строимъ, какъ было указано выше, кривыя

$$V = \psi(s)$$

$$t = x(s).$$



Фиг. 86.

Для товарных поѣздовъ, двигающихся обычно со скоростями 20—30 вер./час., употреблявшіеся нами раньше масштабы оказываются слишкомъ мелкими и потому въ данномъ случаѣ мы беремъ

$$m = 5$$

$$k = 40$$

$$x = 600$$

$$y = 75.$$

Полученныя кривыя по уменьшеніи въ 5 разъ приведены на листѣ II, куда также нанесены кривыя скоростей и время, полученныя при трехъ опытныхъ поѣздкахъ, во время которыхъ машинистъ, пользуясь абсолютно наивыгоднѣйшими комбинаціями, стремился выдержать опредѣленное расчетомъ время. Въ общемъ это ему вполне удалось, ибо среднее время хода за 3 поѣздки

$$T = 88,3'$$

только на  $1\frac{1}{2}\%$  отличается отъ расчетнаго

$$T' = 87'$$

Но зато, благодаря абсолютно наивыгоднѣйшимъ комбинаціямъ, средняя интенсивность парообразования за эти поѣздки получилась равной всего  $21,5 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$ , что на  $14\%$  меньше  $z = 25$ , принятаго при расчетѣ. Если жъ бы обратно машинистъ выдерживалъ условіе

$$z = 25,$$

то, конечно, время хода получилось бы меньше расчетнаго, какъ это мы предвидѣли на стр. 45.

Что же касается сходимости между расчетной и дѣйствительными кривыми

$$V = \psi(s),$$

то ее слѣдуетъ признать вполне удовлетворительной, особенно если имѣть въ виду крупный масштабъ скоростей, подчеркивающей даже назначительное различіе между этими кривыми.

§ 65. Обыкновенный графо-аналитическій способъ. На ряду съ другими приемами расчета время хода, приближенный графо-авалитическій методъ пользуется у насъ наибольшимъ распространеніемъ, что дало Чечотту<sup>1)</sup> право назвать его «обык-

<sup>1)</sup> Чечоттъ. Новый методъ... стр. 70.

повешнымъ. Основаніемъ этого способа является предположеніе, что на каждомъ элементѣ пути однороднаго профиля повздъ движется равномерно съ тою скоростью, къ достиженію которой онъ стремится на данномъ подъемѣ, т. е. при которой

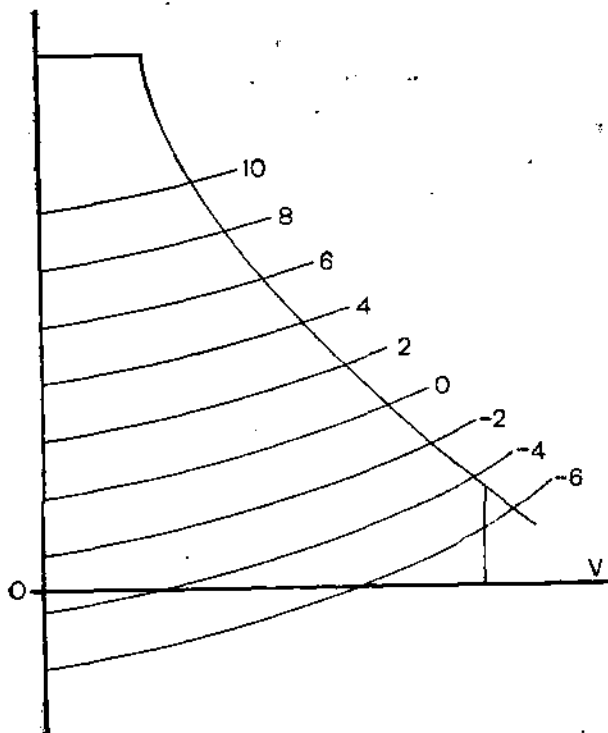
$$f = w_0 + i_k \dots \dots \dots \text{Пу}$$

Для нахожденія этихъ скоростей на одинъ планшетъ наносятъ кривыя  $f$  и  $w = w_0 + i_k$  для разныхъ  $i_k$ , какъ положительныхъ, такъ и отрицательныхъ. Это и есть графическая часть расчета, къ дальѣйшему же онъ ведется чисто аналитически. Именно, опредѣливъ скорости, соответствующія пересѣченію кривыхъ  $f$  и  $w$ , по нимъ подсчитываютъ времена

$$t = \frac{s}{V}$$

нужныя для прохожденія даннаго элемента пути, и затѣмъ время хода по перегону

$$T = \sum \frac{s}{V} + \Sigma \tau, \dots \dots \dots 63$$



гдѣ,  $\Sigma \tau$ , поправка на неравномѣрность движенія о которой будетъ рѣчь ниже.

Надо имѣть, однако, въ виду, что нанести на діаграмму фиг. 87 значенія всѣхъ подъемовъ, встрѣчающихся при массовыхъ расчетахъ, очень трудно и неудобно, въ смыслѣ затемненія чертежа. Гораздо практичнѣе поэтому на основаніи подобнаго чертежа построить діаграмму

$$V = \varphi(i_k)$$

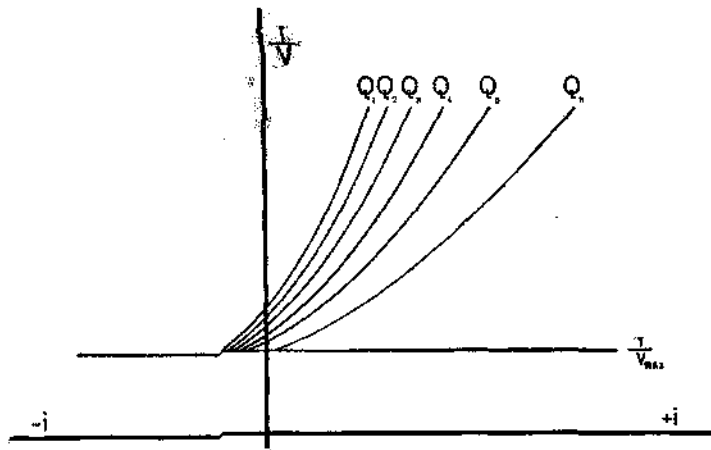
Фиг. 87.



или еще лучше диаграмму

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k);$$

при этом на одной планшете можно нанести значения, соответствующие целому ряду составов  $Q$ , как это и сделано на



Фиг. 88.

фиг. 88, отчего наглядность ее ничуть не уменьшилась. Самые же расчеты удобнее всего вести на печатных бланках следующей формы,

1	2	3	4	5	6	7	8
НАЗВАНИЕ СТАНЦИИ	Длина элемента пути	Профиль	60/V минут на 1 версту	$t = \frac{s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	$T$
Ст. А.	$s_1$	$i_1$					
	$s_2$	$i_2$					
	$s_3$	$i_3$					
Ст. Б.	$s_4$	$i_4$					
	$s_5$	$i_5$					
	$s_6$	$i_6$					
	$s_7$	$i_7$					
Ст. В.	$s_8$	$i_8$					

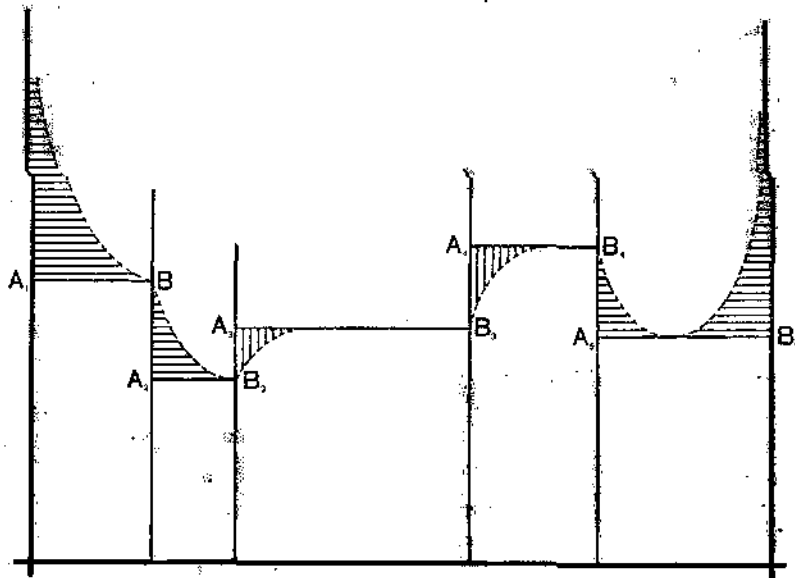
гдѣ значенія  $s$  и  $i_n$ , а также станціи отпечатаны заранее. На этихъ бланкахъ при расчетѣ прежде всего нужно заполнить графу 4, беря значенія изъ фиг. 88; затѣмъ перемножить эти значенія съ соответственными  $s$ , и, наконецъ, сложить полученныя  $t$  между собой и съ поправками  $\tau$ .

Переходимъ теперь къ величинѣ этихъ послѣднихъ. Не трудно понять, что точность рассматриваемаго метода опредѣляется именно правильнымъ выборомъ значеній этихъ поправокъ. Если бы мы сумѣли опредѣлять ихъ вполне точно, то формула

$$T = \sum \frac{s}{V} + \Sigma \tau \dots \dots \dots 63$$

давала бы тоже вполне точное время хода, и рассматриваемый способъ ничѣмъ не уступалъ бы другимъ способамъ, напримѣръ способамъ Дедуи и Липеца. Это обстоятельство заставляетъ насъ изучить болѣе подробно природу этихъ поправокъ, что всего удобнѣе сдѣлать при помощи кривой Дубелира

$$\frac{1}{V} = \Psi(s).$$



Фиг. 89.

Если бы дѣйствительно скорость поѣзда мгновенно мѣнялась съ вступленіемъ его на элементъ пути другого профиля, то кривая Дубелира имѣла бы видъ показанный на фиг. 89 сплош-

ными прямыми; въ действительности же эта кривая имѣетъ видъ, показанный пунктиромъ. Площадь этой послѣдней есть истинное время  $T$ , а сумма площадей прямоугольниковъ  $AB$  есть

$$\sum \frac{s}{V}.$$

Поэтому на этой фигурѣ  $\Sigma\tau$  изображается суммой заштрихованныхъ площадокъ, изъ которыхъ каждая является поправкой на переходъ отъ одной равномерной скорости къ другой. Положительныя поправки на фигурѣ 89 отмѣчены горизонтальной штриховкой, а отрицательныя вертикальной.

Всматриваясь въ эту фигуру, мы можемъ сдѣлать слѣдующія заключенія о природѣ поправокъ  $\tau$ :

1) При переходѣ отъ меньшей равномерной скорости къ большей поправки  $\tau$  положительны ( $A_1B_1$ ,  $B_1A_2$ ,  $B_4A_5$ ).

2) Напротивъ, при переходѣ отъ большихъ скоростей къ меньшимъ поправки  $\tau$  отрицательны ( $A_3B_2$ ,  $A_4B_3$ ).

3) Исключеніе составляютъ лишь поправки при подходѣ къ станціямъ или предупрежденіямъ, т. е. поправки на искусственное пониженіе скорости,—онѣ ( $B_2$ ) всегда положительны.

Кромѣ того изученіе значеній поправокъ  $\tau$  на большемъ числѣ примѣровъ дало Липеду <sup>1)</sup> право выказать еще два замѣчанія относительно этихъ поправокъ, а именно:

4) Съ точностью достаточной для практическихъ цѣлей можно считать, что поправка на ускореніе отъ любой скорости  $V_n$  до любой скорости  $V_m$  равна взятой съ обратнымъ знакомъ поправкѣ на замедленіе отъ  $V_m$  до  $V_n$ . Отсюда слѣдуетъ, что на фиг. 89

$$\text{пл. } A_1B_2 = \text{пл. } B_4A_5.$$

5) Съ точностью достаточной для практическихъ цѣлей можно считать, что поправка на переходъ отъ любой скорости  $V_n$  до любой скорости  $V_m$  не зависитъ отъ того совершился ли этотъ переходъ сразу или черезъ рядъ промежуточныхъ равномерныхъ скоростей, иными словами на фиг. 90.

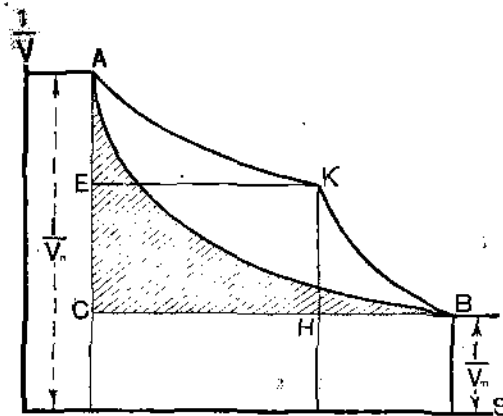
$$\text{пл. } ABC = \text{пл. } AKE + \text{пл. } KBH.$$

Изъ двухъ послѣднихъ положеній Липеда слѣдуетъ, что сумма всѣхъ поправокъ  $\tau$  на перегонѣ, за исключеніемъ поправокъ на разгонъ и подходъ къ станціи равна поправкѣ на переходъ отъ скорости, съ которой поѣздъ стремится идти равно-

<sup>1)</sup> Протоколы XXIX Сов. Съезда сл. тяги стр. 331.

мѣрно по первому элементу пути, до равномерной скорости, характерной для послѣдняго элемента. Назовемъ эту поправку черезъ  $\tau_c$ ; поправку на разгонъ черезъ  $\tau_o$ ; а поправку на подходъ къ станціи черезъ  $\tau_n$ . Тогда для любого перегона

$$\Sigma\tau = \tau_o + \tau_n + \tau_c; \dots\dots\dots 64a$$



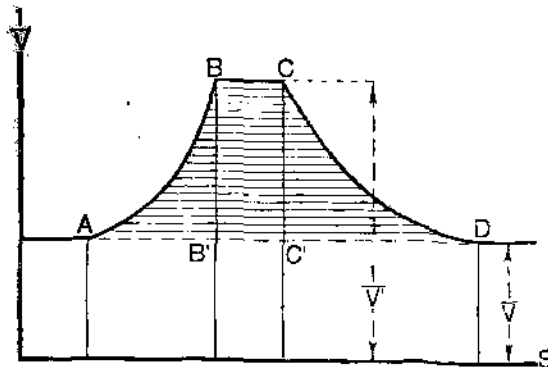
Фиг. 90.

причемъ, если обѣ станціи расположены на одинаковомъ подъемѣ, то

$$\tau_c = 0$$

Если же на перегонѣ, какъ показано на фиг. 91, есть предупрежденіе, то

$$\Sigma\tau = \tau_o + \tau_n + \tau_c + \tau', \dots\dots\dots 64b$$



Фиг. 91.

причемъ

$$\tau' = \text{пл. } ABCD.$$

Не трудно убѣдиться, что

$$\tau' = \tau'_n + \left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V} \right) s' + t'_0,$$

гдѣ

$$t'_n = \text{пл. } ABB'$$

есть потеря времени на замедленіе передъ предупреденіемъ,

$$t'_0 = \text{пл. } CCB'$$

на разгонъ послѣ него, а

$$\left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V} \right) s' = \text{пл. } BCC'B'$$

на слѣдованіе по участку

$$BC = s',$$

огражденному сигналами, съ назначенной скоростью  $V'$  вмѣсто скорости  $V$ , съ которой поѣздъ стремится двигаться равномерно по данному профилю. Поэтому

$$\Sigma\tau = \tau + \tau_0 + \tau'_0 + \tau'_n + \tau'_n + \tau_c + s' \left( \frac{1}{V'} - \frac{1}{V} \right) \dots 64$$

На всѣхъ русскихъ дорогахъ, кромѣ линіи Петроградъ — Москва, большинство станцій расположено на площадкахъ; предупреденія же у насъ вводятся въ описанія лишь въ исключительныхъ случаяхъ. Поэтому, если предположенія Липеца (п. 4 и 5 стр. 198) вѣрны, то для подавляющаго большинства случаевъ

$$\tau_c = \tau' = 0 \dots \dots \dots 65$$

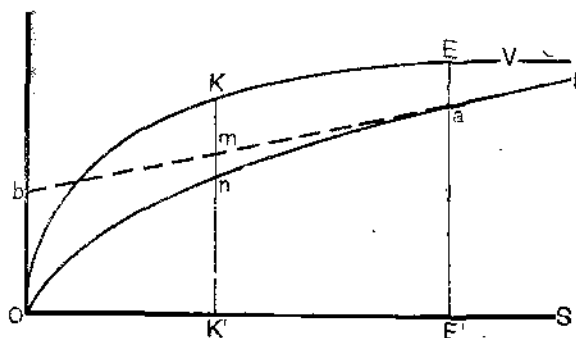
и

$$\Sigma\tau = \tau_0 + \tau_n, \dots \dots \dots 64b$$

т. е. опредѣленіе поправки  $\Sigma\tau$  сводится къ опредѣленію потери времени на разгонъ отъ нуля до равномерной скорости, съ которой поѣздъ даннаго вѣса стремится двигаться по площадкѣ, и на замедленіе отъ этой скорости до нуля. При вычисленіи этой посплѣдней поправки, для пассажирскихъ поѣздовъ надо брать  $\mathcal{S}$  около 0,1, а для товарныхъ тормаженіе только одного тендера, такъ какъ правильная остановка поѣзда, особенно у водоразборнаго крана возможна только при медленномъ подходѣ. Въ общемъ же случаѣ, при пользованіи формулой 64, приходится еще вычислять поправки на предупреденія и на расположеніе станцій на подъемахъ.

Что касается самого процесса вычисленія поправокъ, то его удобнѣе всего вести, какъ показано на фиг. 92, по способу Ли-

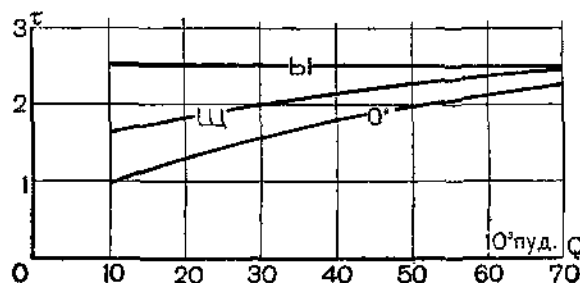
пеца-Лебедева, при которомъ величина  $\tau_0$  опредѣляется, какъ отръзокъ  $Ob$ , отсѣкаемый на оси времяя продолженіемъ прямолинейнаго участка кривой  $t$ , т. е. участка ея соответствующаго установившейся скорости  $EE'$ . Интересно отмѣтить, что изъ той



Фиг. 92.

же фигуры мы можемъ опредѣлить и поправку на разгонъ до скорости  $EE'$  отъ любой скорости  $KK'$ ; она выражается отръзкомъ  $mn$ .

Такимъ способомъ и были опредѣлены приведенныя на фиг. 92 поправки  $\tau_0$  для грузовыхъ товарныхъ поѣздовъ разнаго вѣса, при паровозахъ  $O^a$ ,  $Ы$  и  $Щ^1$ ). Что же касается поправокъ на оста-

Фиг. 93. Поправки на разгонъ;  $i_k = 0$ .

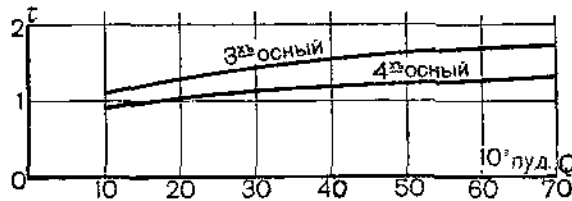
новку товарныхъ грузовыхъ поѣздовъ, то они даны на фиг. 94 для 3 и 4 оснаго тендера. Для порожнихъ поѣздовъ значенія  $\tau_0$  и  $\tau_n$ , приведенныя на этихъ фигурахъ, надо увеличить  $\%$  на 10, ибо какъ мы видѣли на стр. 9 порожній поѣздъ примѣрно на столько инертнѣе грузонаго.

Судя по фигурамъ 93—94, съ точностью достаточной для цѣлей практики можно считать, что для товарныхъ поѣздовъ,

$$\tau_0 + \tau_n = 4'.$$

<sup>1)</sup>  $O^a$  — паровозъ 0—4—0 нормальнаго типа,  $Ы$  0—4—0 типа Армавирь-Туапсинской ж. д., а  $Щ$  1—4—0 измененнаго китайскаго типа.

какъ это обычно и принимается. Надо, однако, отмѣтить, что при подходѣ къ водоразборной колоннѣ или при троганьи съ мѣста

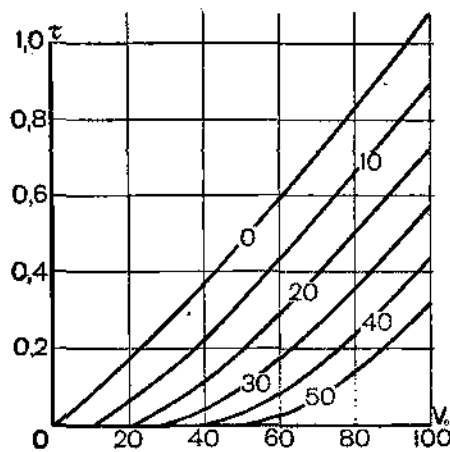


Фиг. 94. Поправки на остановку;  $i_k = 0$ .

„застоявшагося“ поезда (стр. 80) значеніе этой поправки получается значительно больше.

Что же касается пассажирскихъ поездовъ, то для нихъ поправку  $\tau_0$  надежнѣе находить построениемъ; поправку же  $\tau_n$  можно брать изъ фиг. 95, дающей ея значенія при  $\vartheta = 0,1$  на площадкѣ не только для конечной скорости равной нулю, но для случаевъ замедленія поезда отъ  $V_0$  до скоростей равныхъ 10, 20, 30, 40 и 50 км/ч (каждой такой скорости соответствуетъ отдѣльная кривая).

Въ заключеніе необходимо отмѣтить, что поправки  $\tau_0$  и  $\tau_n$  необходимо опредѣлять, исходя изъ значеній равномерныхъ скоростей, характерныхъ для даннаго профиля, совершенно не считаясь съ тѣмъ, достигаются ли эти скорости въ дѣйствительности или нѣтъ.



Фиг. 95.  $\vartheta = 0,1$ ;  $i_k = 0$ .

Дѣло въ томъ, что мы ищемъ поправки ко времени хода, опредѣленному по сплошнымъ прямоугольникамъ фиг. 89, не имѣющимъ никакого реального значенія, и потому при расчетѣ  $\tau$  должны считаться только со скоростями, соответствующими тамъ прямымъ  $A_1B_1$  и  $A_2B_2$ , а не съ тѣмъ, что имѣется въ дѣйствительности.

**Примѣръ 5.** Опредѣлить время хода дачнаго поезда по перегону Поворова-Крюково согласно заданія, изложеннаго на стр. 165.

При рѣшеніи этой задачи тремя предыдущими способами мы вели расчетъ по отсѣчкамъ т. е. силу тяги брали по кривымъ.

$$F_k = \varphi(\varrho, \varepsilon, V);$$

именно при  $V < 50$  мы задавались комбинацией  $1 - 0,4$ , а при  $V > 50$   $1 - 0,25$ . При таких условиях и  $V_{max} = 100$  диаграмма

$$f_k - w_0 = f_0(V)$$

имѣеть показанный на фиг. 96 сплошными линиями, перенесенными безъ измѣненія съ фиг. 82—84. Можно конечно и въ этомъ случаѣ вести расчетъ по  $\varepsilon$ , а именно по

$$\varepsilon = 47$$

см. стр. 167); тогда диаграмма  $f_k - w_0$  приметъ видъ, указанный на фиг. 96 пунктиромъ.

Кривая эта построена на основаніи пунктирной кривой  $F_k$  фиг. 76 совершенно также, какъ на фиг. 86 мы строили подобную кривую для паровоза БУ.

Въ виду того, что на нашемъ перегонѣ имѣется всего 3 перелома профиля, въ построеніи диаграммы

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k)$$

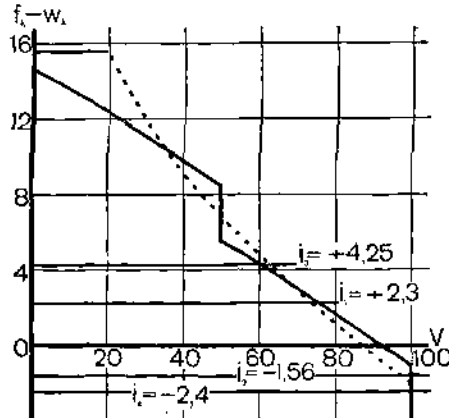
(см. фиг. 88 на стр. 196) нѣтъ надобности. Значенія же равномерныхъ скоростей характерныхъ для 4 элементовъ нашего профиля (см. фиг. 78 на стр. 170) мы находимъ проведеніемъ горизонтальныхъ прямыхъ

$$f_k - w_0 = i_k,$$

какъ показано на фиг. 96. Значеніе этихъ скоростей приведено въ таблицѣ XIX; тамъ же показаны и значенія  $60/V$ , т. е. числа минутъ, нужныхъ для прохожденія 1 километра.

Таблица XIX. Поворово-Крюково. Ну. Q = 425.

№№ участка	$i_k$	По отсѣчкамъ		По $\varepsilon = 47$	
		$V$	$\frac{60}{V}$	$V$	$\frac{60}{V}$
1	2,80	75	0,8	74,0	0,82
2	-1,56	100	0,6	96,6	0,62
3	+4,25	60	1,0	62,5	0,96
4	-2,40	100	0,6	100,0	0,60



Фиг. 96. Ну. Q = 425.



На основании этих данных можно заполнить бланк расчета приведенный на стр. 196, как это и исполнено в таблицах XX и XXI. Приведенная в них форма бланков и заголовков выработана практикой Ташкентской и Николаевской ж. д. и принята на опытах надъ типами паровозовъ.

Т а б л и ц а XX.

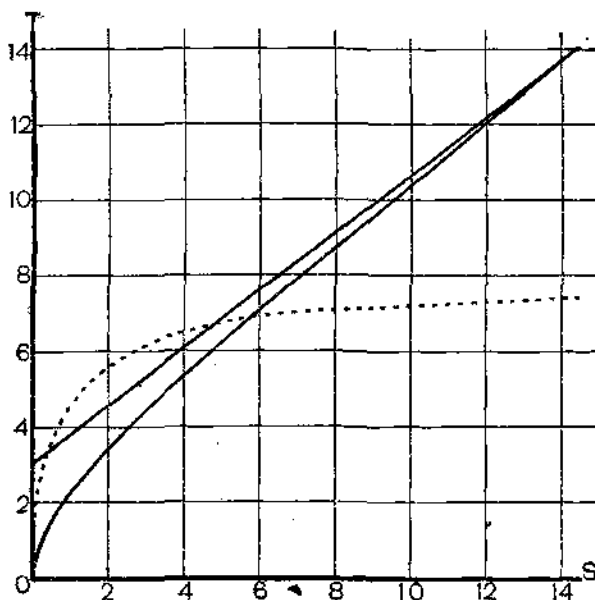
<i>Поездъ:</i> дачный. <i>Въсь паровоза съ тендромъ въсь вагоновъ</i> $P = 115$ <i>Паровозъ типа:</i> Ку. . . . . $Q = 425$ <i>Принято при расчетъ:</i> . . . . . $V < 50$ 1—0,4; $V > 50$ 1—0,25 $w'_0 = 1 + 0,03V + 0,0004V^2$ $w''_0 = 1,5V + 0,5V \frac{V+100}{1000}$								
Остановочные пункты	Длина элемента $s$	Виртуальный подъемъ $i_k$	60 минутъ на $\frac{60s}{V}$ километр	Время $t = \frac{60s}{V}$	$M$	Прибавка $\tau$	Полное время $T$	Примѣчанія
Поворово	1105	2,30	0,80	0,89	9,2	4,1	13,3	
	1876	-1,56	0,60	1,13				
	3333	4,56	1,00	3,33				
	6417	-2,40	0,60	3,85				
Крюково								

Т а б л и ц а XXI.

<i>Поездъ:</i> дачный . . . . . $P = 115$ <i>Паровозъ типа</i> Ку . . . . . $Q = 415$ <i>Принято при расчетъ</i> . . . . . $z = 47$ $w'_0 = 1 + 0,03V + 0,0004V^2$ $w''_0 = 1,5 + 0,5V \frac{V+100}{1000}$								
Остановочные пункты	$s$	$i_k$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	$T$	Прим.
Поворово	1105	2,30	0,82	0,91	9,1	4,1	13,2	
	1876	-1,56	0,62	1,16				
	3333	4,56	0,96	3,20				
	6417	-2,40	0,60	3,84				
Крюково								

<sup>1)</sup> Название дороги или учреждения, производившаго расчетъ.

Что же касается поправок  $\tau$ , приведенных в этих таблицах, то поправка на разгон  $\tau_0$  определена графически, как показано на фиг. 97 из условия разгона на подъем  $i_k = 2,3$  от 0 до  $V = 73$ , с которой наш поезд стремится идти по этому



Фиг. 97. №.  $Q=425^1$ ).

подъему равномерно; а поправка на остановку взята из фиг. 95. На это можно возразить, что там приведены поправки на остановку на площадях, станция же Крюково расположена на уклон  $i = 2,4\%$ . Однако, если принять во внимание, что при торможении всего поезда даже усилим, соответствующим  $\phi = 0,1$ , сопротивление от тормозов плюс  $w_0$  составляет 20 — 30 кгг на тонну то едва ли можно ожидать, чтобы изменение этого сопротивления на 2 кгг заметно изменить результат.

Возвращаясь к полученным в таблицах XX — XXI временам хода, мы видим, что разница между результатами расчета по  $s$  и по комбинациям в данном частном случае меньше 1%. Но особенно интересно то обстоятельство, что времена хода, полученные обыкновенным способом, в данном случае лежат, как показывает таблица XXII, в пределах тех цифр, которые мы получили, интегрируя уравнение движения поезда разными способами.

<sup>1)</sup> Пунктиром на этой фигуре нанесена кривая скоростей в масштабе  $1 \text{ m/m} = 2 \text{ km/h}$ , т. е. одна клетка = 20 km/h.

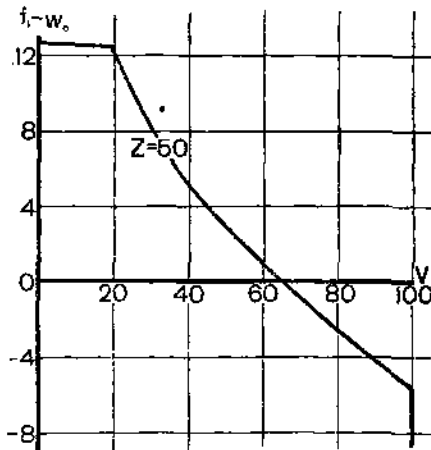
Таблица XXII. Поворово—Крюково. Ну. Q = 425.

СПОСОБЫ	T
Аналитическій . . . . .	13,1
Дедуи . . . . .	13,32
Липеца . . . . .	13,23
Обыкновенный по z . . . . .	13,2
Тоже по комбинаціямъ . . . . .	13,3
Среднее изъ 2 поѣздокъ . . . . .	13,5

Можно, однако, предполагать, что такое совпаденіе объясняется въ значительной степени малыми колебаніями скорости нашего поѣзда на перегонѣ; а это въ свою очередь обуславливается сравнительно ровнымъ профилемъ его и большой средней скоростью. Поэтому представляется особенно интереснымъ, посмотрѣть, насколько сойдется время хода, опредѣленные обыкновеннымъ способомъ и болѣе точными, для примѣровъ 6 и 7.

**Примѣръ 6.** Опредѣлить времена хода скорого поѣзда на участкѣ Серпуховъ—Тула согласно съ заданіями, изложенными на стр. 187.

*Раздѣлитъ ординаты фиг. 95 (стр. 187) на*



Фиг. 98. Ну; Q=460.

изображенную на фиг. 99.

$$P + Q = 560,$$

мы получаемъ діаграмму

$$f_k - w_0 = f_0(V)$$

для паровоза Ну при Q = 460, изображенную на фиг. 98. Пересѣкая ее затѣмъ рядомъ горизонтальныхъ прямыхъ

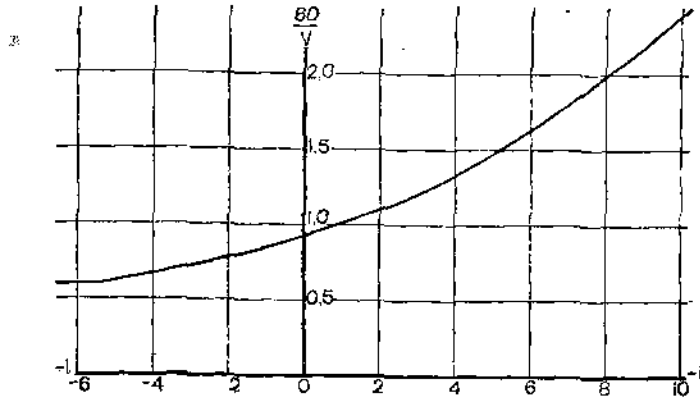
$$f_k - w_0 = i_k,$$

опредѣляемъ для разныхъ  $i_k$  значенія равномерныхъ скоростей V и по нимъ строимъ кривую

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k),$$

Пользуясь этой кривой и профилемъ, мы можемъ, какъ показано въ табл. XXII, вычислить значенія

$$60 \sum \frac{s}{t}$$



Фиг. II';  $s = 50$ ;  $Q = 460$ .

Для нахождения же время хода

$$T = 60 \sum \frac{s}{t} + \sum \tau \quad \dots \quad 646$$

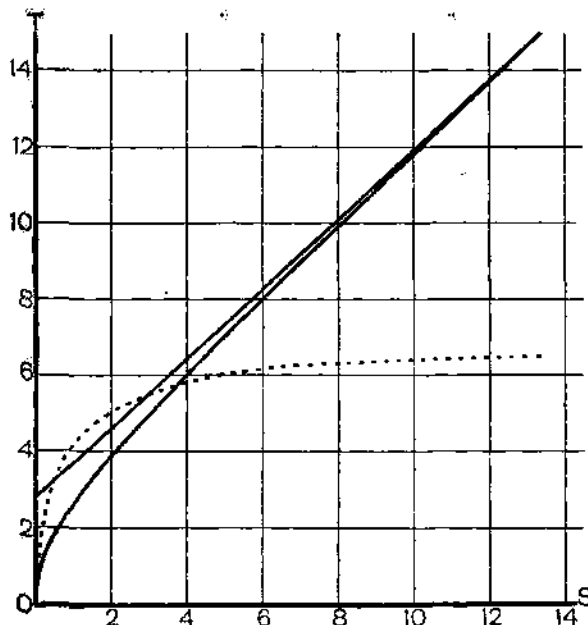
надо опредѣлить еще значенія поправок  $\tau$ , чѣмъ мы и займемся.

Хотя на спрямленномъ профилѣ участка Серпуховъ — Тула, приведенномъ на листѣ I приложения, нѣкоторыя станціи и мосты, гдѣ ограничена скорость, показаны расположенными на подъемахъ и уклонахъ, фактически всѣ они расположены на площадкахъ, иногда только на столь короткихъ, что ихъ не стоило, какъ мы увидимъ въ § 70, вводить въ расчетный профиль. А такъ какъ согласно указаній, сдѣланныхъ на стр. 202, поправки  $\tau$  надлежитъ вычислять, исходя изъ равномерныхъ скоростей движенія, независимо отъ того, достигаются ли они фактически или нѣтъ, то вычисленія всѣхъ  $\tau$  въ нашемъ примѣрѣ можно вести по площадкѣ. Всего намъ надо опредѣлить восемь  $\tau$ :

- 1) для разгона отъ 0 до равномерной скорости на площадкѣ  $V_0 = 65$ ;
- 2) для разгона отъ скорости  $V = 50$  установленной для прохождения станцій до  $V_0 = 65$ ;
- 3) для разгона до  $V_0 = 65$  отъ скорости  $V = 30$ , установленной для моста черезъ рѣку Упу;
- 4) для разгона до  $V_0 = 65$  отъ  $V = 40$ , установленной для моста черезъ р. Оку;

- 5) для замедления отъ  $V_0$  до 0;
- 6) для замедления отъ  $V_0$  до  $V = 50$ ;
- 7) для замедления отъ  $V_0$  до  $V = 40$ ;
- 8) для замедления отъ  $V_0$  до  $V = 30$ .

Для нахождения первыхъ четырехъ поправокъ строимъ кривыя  $V$  и  $t$  для разгона на площадкѣ, какъ показано на фиг. 100, которая даетъ



Фиг. 100.  $H^2$ ;  $Q = 460$ .

$$\tau_1 = 2,8$$

$$\tau_2 = 0,8$$

$$\tau_3 = 1,4$$

$$\tau_4 = 1,0;$$

что же касается поправокъ на замедленіе, то всѣ онѣ могутъ быть взяты изъ фиг. 95, согласно которой

$$\tau_5 = 0,7$$

$$\tau_6 = 0,1$$

$$\tau_7 = 0,1$$

$$\tau_8 = 0,2.$$

При валичии всёх этих поправок определение времени хода, какъ показано въ таблицѣ XXIII, не представляетъ никакихъ затруднений.

Таблица XXIII- Серпуховъ—Тула.

Станция	$s$	$i_k$	$V$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	$T$	Прим.
<p>Поездъ: скорый дальняго хода <math>\bar{P} = 100t</math>                      Паровозъ сери: НУ <math>\bar{Q} = 460t</math>                      Принято при расчетъ . . . . . <math>s = 50, V_{max} = 100</math>  <math>w'_0 = 1,3 + 0,02 V + 0,0005 V^2</math>  <math>w''_0 = 1,5 + 0,5 V \frac{V+10}{1000}</math></p>									
Серпуховъ . . . . .	1032	-0,54	69	0,87	0,90	4,1	2,8	7,0	
	3440	-8,0	100	0,60	2,06				
	427	-11,3	100	0,60	0,26				
	990	-0,9	71	0,86	0,85				
Ока . . . . .							0,1		$V = 401$
	1026	-0,90	71	0,825	0,85	13,2	1,0	14,3	
	6510	+7,50	32	0,89	12,30		0,1		
Свинская . . . . .							0,8		$V = 501$
	362	-2,10	78	0,775	0,28	18,8		19,7	
	8135	+7,80	31	1,92	15,60				
2845	+1,17	59	1,03	2,93					
Гарусская . . . . .							0,1		$V = 501$
	1042	+0,16	65	0,93	0,97		0,8		
	1250	-6,00	100	0,60	0,75				
	1937	+8,55	29	2,09	4,05				
	1730	-2,90	83	0,715	1,24				
4275	+1,00	60	1,00	4,28					

Станція	$s$	$i_k$	$V$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma r$	$r$	$T$	Прим.			
Пахомово	1067	+7,30	32,5	1,85	1,98	17,9	0,1	18,8	$V=501$			
	1812	+1,70	56	1,07	1,94							
	376	-4,00	90	0,67	0,25							
	1103	-7,00	10,0	0,60	0,66							
	500	-1,00	71,5	0,85	0,43							
	333	+8,00	31	1,98	0,66							
	542	+1,00	60	1,00	0,54							
	583	-5,50	100	0,60	0,32					6,4	0,8	7,3
1067	+6,00	37	1,63	1,74								
1067	+1,10	59,5	1,02	1,10								
1832	-7,90	100	0,60	1,10								
1270	+1,65	56,5	1,07	1,36								
604	+3,00	5,95	1,21	0,73								
208	+3,00	49,5	1,21	0,25	14,8	0,8	16,3	$V=501$				
3335	-8,15	100	0,60	2,00								
729	-1,00	71,5	0,85	0,62								
854	+10,00	25	2,40	2,05								
521	+7,00	33,5	1,80	0,94								
2860	+8,00	31	1,98	5,67								
937	-0,50	68	0,88	0,82								
1500	-8,60	100	0,60	0,90								
417	-5,65	100	0,60	0,25								
854	+0,10	65	0,93	0,79								
354	-5,00	96	0,62	0,22								
313	0,00	65,5	0,92	0,29					0,7			

Станция	s	i <sub>x</sub>	V	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	Σt	τ	T	Прим.
Далее	417	+0,7	62	0,98	0,41		2,8		
	1067	-6,45	100	0,60	0,64				
	417	+0,35	63,5	0,95	0,40				
	1270	+9,32	27	2,25	2,86				
	1250	+7,30	32,5	1,85	2,31				
	1562	+8,90	28	2,16	3,38				
	958	-4,45	92,5	0,65	0,64	28,4		21,3	
	1040	+4,90	41	1,46	1,52				
	396	-5,00	96	0,62	0,25				
	1353	-8,50	100	0,60	0,82				
	1353	-7,45	100	0,60	0,81				
	1457	+8,20	30	2,00	2,95				
	1478	0,00	65	0,92	1,36				
	Ревякино	2270	0,00	65	0,92	2,09		0,1	
2500		-6,35	100	0,60	1,5		0,8		
1312		+0,65	62	0,98	1,28				
1478		-7,50	100	0,60	0,89	7,7		8,6	
916		+6,00	37	1,63	1,50				
458		+0,35	63,5	0,95	0,44				
2270		0,00	65	0,92	2,09		0,1		
Хомяково	292	+0,35	63,5	0,95	0,28		0,8		V=50t
	875	-6,40	100	0,60	0,53				
	625	+4,10	45	1,35	0,85	8,0		11,1	
	8070	-7,73	100	0,60	5,85		0,2		
	1683	-0,55	67,5	0,88	1,48		1,4		V=30t
Тула						0,7			



Полученное таким образом полное время хода от Серпухова до Тулы

$$T = 124,4'$$

на 13,6% больше определенного по способу Линеца  $T = 109,5$ . Такая несходимость не является случайностью; обыкновенный способ при пересеченном профиле обычно дает время хода больше, чем интегрирование уравнения движения поезда.

**Примѣръ 7.** Определить время хода товарнаго поѣзда от Горовастницы до Осташкова согласно заданіямъ, паложеннымъ на стр. 2.

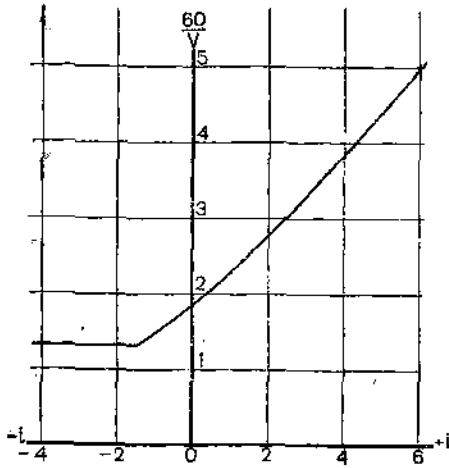
Пользуясь кривою

$$f_k - w_0 = f_0(V)$$

фигуры 86, строимъ кривую

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k),$$

изображенную на фиг. 101, и затѣмъ производимъ вычисления, какъ показано въ таблицѣ XXIV.



Фиг. 101. БЧ;  $Q = 1000$ ;  $\varepsilon = 25$ .

Таблица XXIV. Горовастница - Осташково.

* * * * * Поездъ: товарный <span style="float: right;"><math>P = 100</math></span> Паровозъ серіи: БЧ <span style="float: right;"><math>Q = 1000</math></span> Принято при расчетѣ: $\varepsilon = 25$ $w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}$									
Станціи	$s$	$i_k$	$V$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	$T$	Прим.
Горовастница . .	534	0	32,4	1,85	0,96		2,5		
	641	-5,5	40	1,5	0,96				
	1680	-0,13	33	1,82	3,06				

Станція	s	it	V	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	T	Прим.
	736	+5,15	13,4	4,48	3,27				
	427	-4,5	40	1,5	0,64				
	2725	+1,4	24,2	2,48	6,76				
	267	+6,0	12,2	4,96	1,33				
	2490	+1,45	24	2,50	6,24	41,13		46	
	1600	-0,48	35,7	1,68	2,69				
	480	-5,3	40	1,5	0,72				
	1920	0	32,4	1,85	3,55				
	427	-6,0	40	1,5	0,64				
	834	+0,75	27,6	2,17	1,81				
	2010	-4,7	40	1,5	3,02				
	427	0	32,4	1,85	0,78		2,1		
	641	+6,45	11,4	5,24	3,36				
	727	0	32,4	1,85	1,34				
Черная Дорь	1517	+0,34	30	2,00	3,04				
	310	+6,35	11,6	5,17	1,60		2,5		
	2760	+0,25	30,4	1,97	5,43				
	1067	-4,9	40	1,5	1,60				
	940	+3,71	16,3	3,68	3,46				
	652	-4,9	40	1,5	0,98				
	856	0	32,4	1,85	1,58				
	630	+4,6	14,3	4,18	2,63				
	3050	-4,0	40	1,5	4,17				
	620	+0,27	30,3	1,98	1,23				
	1820	+6,35	11,6	5,17	9,41				
	855	0	32,4	1,85	1,58	50,5		55	
	2470	-5,22	40	1,5	3,71				

Станція	$s$	$i_k$	$V$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma t$	$\tau$	$T$	Прим.
	727	+5,03	13,6	4,41	3,20				
	620	-4,04	40	1,5	0,93				
	610	+5,15	13,4	4,48	2,73				
	525	0	32,4	1,85	0,97				
	267	-4,9	40	1,5	0,40				
	983	0	32,4	1,85	1,82				
Осташково							2,1		

Согласно этой таблицѣ общее время хода

$$T = 101',$$

что на 16% больше

$$T = 87',$$

опредѣленнаго нами по способу Лицеца. Выше впрочемъ было уже отмѣчено, что обыкновенный способъ всегда даетъ время хода больше, чѣмъ способы, учитывающіе инерцію поѣзда. Наибольше рѣзко это обнаруживается на тѣхъ перегонахъ, гдѣ сравнительно крутые уклоны чередуются съ такими же подъемами; на нихъ, благодаря разгону, среднія скорости получаются гораздо больше тѣхъ, которыми мы задаемся при обыкновенномъ способѣ; особенно же это замѣтно для тяжелыхъ товарныхъ поѣздовъ. Такимъ образомъ разсматриваемый нами примѣръ и по составу и по профилю близокъ къ тѣмъ условіямъ, которыя даютъ наибольшее расхождение между обыкновеннымъ и точными способами расчета времени хода. Тѣмъ не менѣе одна возможность подобныхъ ошибокъ указываетъ уже на то, что гипотезы Лицеца о природѣ поправки  $\tau$ , изложенныя на стр. 198, довольно далеки отъ действительности. Повидимому, отрицательныя поправки на замедленіе больше соответственныхъ поправокъ на разгонъ.

**Примѣръ 8.** Опреѣлить, насколько увеличится коммерческая скорость товарныхъ поѣздовъ вѣсомъ 42000 пуд. при паровозѣ 0—4—0 0<sup>в</sup> на участкѣ Серпуховъ—Тула, если наибольшую скорость ихъ по тормазамъ поднять съ 35 вер./час. до 45, при условіи, что средняя величина простоевъ въ обоихъ случаяхъ равна 3½ часамъ, а  $\alpha = 30 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{h}$  (нефть).

Задача эта сводится къ опредѣленію времени хода въ обо-ихъ предположеніяхъ. Принимая для всего поѣзда

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20},$$

строимъ по даннымъ «паспорта» для паровоза 0<sup>в</sup> эшк<sup>р</sup>у

$$f_k - w_0 = f_0(i_k),$$

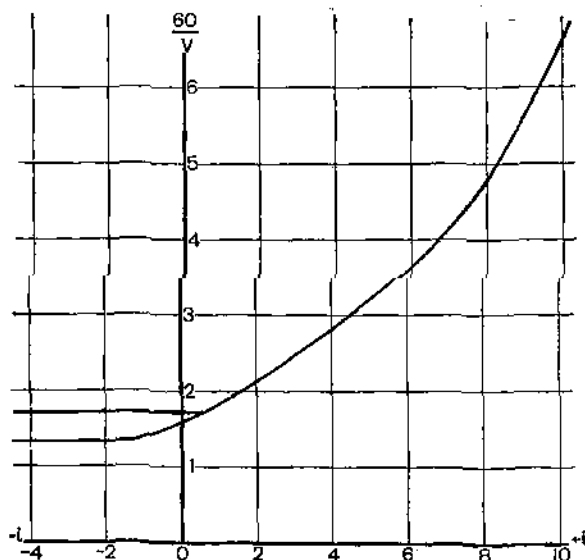
а по ней

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k),$$

изображенную на фиг. 102. Что же касается поправки  $\tau$ , то со-гласно фигурамъ 93—94, для  $Q = 42,000$  пуд. на  $i_k = 0$  при 3-хъ основъ тендерѣ

$$\tau_0 = 1,9'$$

$$\tau_n = 1,6';$$



Фиг. 102. 0<sup>в</sup>;  $\varepsilon = 30$ ;  $Q = 42000$  пуд.

мы же для осторожности примемъ, какъ это обычно дѣлаютъ,

$$\tau_0 + \tau_n = 4'.$$

Пользуясь всѣми этими данными, при наличіи тѣхъ же посто-янныхъ предупрежденій, которыя были указаны на стр. 187, полу-чаемъ цифры, приведенныя въ таб. XXV.



Станція	s	i <sub>x</sub>	V <sub>m</sub> = 35					V <sub>m</sub> = 45					
			$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma \frac{60s}{V}$	$\tau$	T	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma \frac{60s}{V}$	$\tau$	T	
Шульгано	583	-5,50	1,71	1,00				1,33	0,78				
	1067	+6,00	3,62	3,86				3,62	3,86				
	1067	+1,10	1,88	2,01	14	4	18	1,88	2,01	13	4	17	
	1832	-7,90	1,71	3,13				1,33	2,44				
	1270	+1,65	2,04	2,59				2,04	2,59				
	604	+3,00	2,45	1,48				2,45	1,48				
	208	+3,00	2,45	0,51				2,45	0,51				
3335	-8,15	1,72	5,71				1,33	4,44					
729	-1,00	1,71	1,24				1,33	1,02					
854	+10,00	6,66	5,68				6,66	5,68					
521	+7,00	4,13	2,16				4,13	2,16					
2360	+8,00	4,80	13,71	36	4	40	4,80	13,71	34	4	38		
937	-0,50	1,71	1,60				1,33	1,39					
1500	-8,60	1,71	2,57				1,33	2,00					
417	-5,65	1,71	0,71				1,33	0,56					
854	+0,10	1,71	1,46				1,33	1,39					
354	-5,00	1,71	0,61				1,33	0,47					
313	0,00	1,71	0,53				1,60	0,50					
Липове	417	+0,70	1,77	0,74				1,77	0,74				
	1067	-6,45	1,71	1,83				1,33	1,42				
	417	+0,35	1,71	0,71				1,69	0,71				
	1270	+9,32	6,00	7,62				6,00	7,62				
	1250	+7,3	4,33	5,42				4,33	5,42				
	1562	+8,90	5,64	8,82	45	4	49	5,64	8,82	43	4	47	

Станція	s	i <sub>k</sub>	V <sub>m</sub> = 35				V <sub>m</sub> = 45						
			$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma \frac{60s}{V}$	$\tau$	T	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$	$\Sigma \frac{60s}{V}$	$\tau$	T	
Ревязино	958	-4,45	1,71	1,64				1,33	1,27				
	1040	+4,90	3,16	3,28				3,16	3,28				
	396	-5,00	1,71	0,68				1,33	0,63				
	1355	-8,50	1,71	2,32				1,33	1,80				
	1355	-7,45	1,71	2,32				1,33	1,80				
	1457	+8,20	5,00	7,29				5,00	7,29				
	1478	0,00	1,17	2,53				1,60	2,36				
	2270	0,00	1,71	3,90				1,60	3,63				
2500	-6,35	1,71	4,30				1,33	33,3					
1312	+0,65	1,76	2,31				1,76	2,31					
1478	-7,50	1,71	2,53	17	4	21	1,33	1,97	15	4	19		
916	+6,00	3,33	3,05				3,33	3,05					
458	+0,35	1,71	0,78				1,70	0,78					
Хомяково	292	+0,35	1,71	0,50				1,70	0,50				
	875	-6,40	1,71	1,50				1,33	1,16				
	625	+4,10	2,84	1,77	20	6	26	2,84	1,77	17	6	23	
	8070	-7,73	1,71	13,80				1,33	10,73				
	1683	-0,55	1,71	2,88				1,49	2,51				
Тула													

Изъ нея мы видимъ, что при  $V_m = 35$  полное время хода

$$T = 293' = 4,88[h],$$

а при  $V_m = 45$

$$T = 279' = 4,65[h],$$

т. е. всего на 14' меньше; переходя же къ полному времени на-

хождения поезда на участокъ, въ первомъ случаѣ мы имѣемъ

$$T_c = 4,88 + 3,50 = 8,38 \text{ [h]}$$

и среднюю коммерческую скорость

$$V_c = 11,1 \text{ вер./час.},$$

а во второмъ

$$T_c = 4,65 + 3,50 = 8,15 \text{ [h]}$$

и

$$V_c = 11,6.$$

Иными словами, увеличеніе предѣльной скорости съ 35 до 45 вер. въ часъ, требующее въ данномъ случаѣ семь лишнихъ тормозильщиковъ, увеличиваетъ коммерческую скорость всего на 4%.

§ 66. Способъ эквивалентныхъ подъемовъ. Всмотриваясь въ кривыя

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k),$$

приведенныя на фигурахъ 99, 101 и 102, мы видимъ, что онѣ имѣютъ однообразное очертаніе. Возможность воспользоваться этимъ подобіемъ въ цѣляхъ сокращенія работы при расчетахъ давно уже привлекала разныхъ изслѣдователей. Такъ, Мееровичъ<sup>1)</sup> предложилъ для кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k)$$

эмпирическую формулу

$$\frac{1}{V} = AK^{i_k}$$

гдѣ  $K$  зависитъ только отъ паровоза, а  $A$ —отъ состава; Чечоттъ на основаніи этого подобія предлагалъ перспективный способъ построенія кривыхъ

$$V = \psi(s)^2;$$

но наиболѣе практичное въ этомъ направленіи предложеніе сдѣлалъ Линецъ.

Суть его предложенія, которое можно назвать способомъ эквивалентныхъ подъемовъ, состоитъ въ томъ, что онъ считаетъ возможнымъ сумму

$$\sum \frac{1}{V},$$

<sup>1)</sup> Желѣзнодорожное Дѣло 1902. стр. 120.

<sup>2)</sup> Чечоттъ. Новый методъ..., стр. 233.



входящую въ формулу времени хода

$$T = \sum \frac{s}{V} + \Sigma \tau,$$

опредѣлять не путемъ довольно утомительныхъ выкладокъ, которыми посвящены стр. 209—219, а изъ указаннаго подобія кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k),$$

онъ называетъ *эквивалентною скоростью* перегона величину

$$V_e = \frac{\Sigma s}{\sum \frac{s}{V}}$$

а *эквивалентнымъ подъемомъ*  $i_e$  подъемъ, соответствующій этой скорости на диаграммѣ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k).$$

На первый взглядъ кажется, что величина  $i_e$  для даннаго перегона будетъ различна въ зависимости отъ типа паровоза, форсировки котла и величины состава. Липецъ, однако, утверждаетъ, что по его многочисленнымъ подсчетамъ, для даннаго паровоза и  $s$ , т. е. для данной кривой силы тяги,  $i_e$  не зависитъ отъ состава. Больше того, по его мнѣнію, влияніе на значенія  $i_e$  типа паровоза и  $s$  настолько мало, что для многихъ случаевъ практики имъ можно пренебрегать.

А если это такъ, то, опредѣливъ разъ на всегда значенія  $i_e$  для всѣхъ перегоновъ, мы можемъ для любого изъ нихъ, и при томъ для любыхъ условий, найти значеніе

$$\frac{1}{V_e} = \frac{\sum \frac{s}{V}}{\Sigma s}$$

изъ кривой

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k),$$

соответствующей этимъ условіямъ. Иными словами, при методѣ эквивалентныхъ подъемовъ, вмѣсто формулы

$$T = \sum \frac{s}{V} + \Sigma \tau \quad . . . . . 646$$

мы пользуемся формулой

$$T = \frac{\Sigma s}{V_e} + \Sigma \tau, \dots \dots \dots 66$$

беря  $V_e$  прямо изъ кривой

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k),$$

т. е. сводя весь перегонъ къ одной строчкѣ таблицъ XX.-XXI, XXIII — XXV.

Такая простота способа эквивалентныхъ подъемовъ дѣлаетъ доступнымъ пользованіе имъ весьма широкому кругу желѣзно-дорожныхъ агентовъ. При немъ отъ того учрежденія, гдѣ на данной дорогѣ сосредоточено производство тяговыхъ расчетовъ, требуется только изданіе трехъ таблицъ:

- 1) значеніе  $i_e$  для всѣхъ перегоновъ
- 2) значеній

$$\frac{60}{V_e} = \psi(i_e)$$

для разныхъ паровозовъ, составовъ и  $z$  и

- 3) значеній поправокъ  $\tau$ .

Подсчетъ же по этимъ даннымъ времени хода для разныхъ частныхъ случаевъ можетъ производиться въ конторѣ движенія или даже въ конторахъ отдѣлений лицами безъ всякой технической подготовки. А это въ эксплуатационномъ отношеніи представляетъ большія удобства.

Для того, однако, чтобы рекомендовать этотъ способъ, недостаточно еще его простоты; нужно быть кромѣ того увѣреннымъ, что онъ даетъ болѣе или менѣе надежные результаты. Очевидно, что степень его точности находится въ прямой зависимости отъ того, насколько точно положенное въ его основу допущеніе о постоянствѣ  $i_e$  для данного перегона. Изученіемъ степени достовѣрности этого предположенія мы и займемся.

Предположимъ, что на фиг. 103 мы имѣемъ для двухъ различныхъ условій зависимости

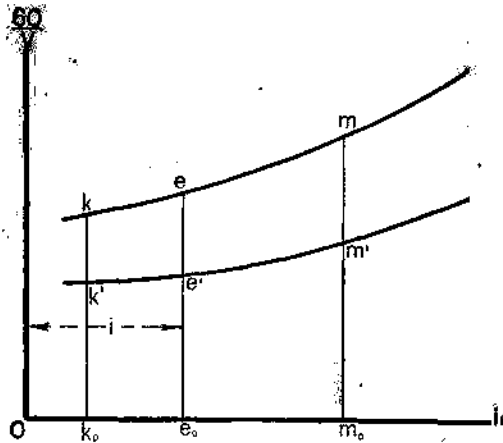
$$\frac{1}{V} = \psi(i_k)$$

$$\frac{1}{V'} = \psi'(i_k).$$

Пусть, далѣе, для первыхъ условій отрѣзокъ  $Om$  изображаетъ собой величину  $i_e$  для некотораго перегона. Въ этомъ случаѣ,

следовательно,  $e_0$  есть

$$\frac{1}{V_e} = \frac{\sum^s V}{\Sigma S} = \frac{1}{\Sigma S} (s_k k k_0 + s_m m m_0 + \dots)$$



Фиг. 103.

где  $s_k$ ,  $s_m$  и т. д. представляют изъ себя длины соответственных участковъ. Съ другой стороны, если предположеніе Липца вѣрно, и  $Oe_0$  изображаетъ собой эквивалентный подъемъ даннаго перегона для всякихъ условий, то для условий, характеризующихся нижней кривою,

$$e_0 e' = \frac{1}{V'_e} = \frac{1}{\Sigma S} (s_k k' k_0 + s_m m' m_0 + \dots);$$

отсюда слѣдуетъ, что

$$\frac{e_0 e}{e_0 e'} = \frac{s_k k k_0 + s_m m m_0 + \dots}{s_k (k' k_0 + s_m m m_0 + \dots)}$$

А такъ какъ подобное соотношеніе, согласно предположенія Липца, справедливо для всякаго перегона, т. е. для любой комбинаціи  $i_k$ , то мы въ правѣ утверждать, что практически оно сводится къ условию

$$\frac{e_0 e}{e_0 e'} = \frac{k k_0}{k' k_0} = \frac{m m_0}{m' m_0} = \dots = \text{пост.}$$

Такимъ образомъ оказывается, что предположеніе о постоянствѣ  $i_k$  для даннаго перегона эквивалентно допущенію, что отношеніе

между ординатами двухъ любыхъ кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k)$$

постоянно, или что всѣ эти кривыя имѣютъ уравненія вида

$$\frac{1}{V} = A \psi(i_k),$$

гдѣ отъ типа паровоза, состава и форсировки котла зависитъ только  $A$ . Насколько, однако, такое допущеніе правдоподобно?

Разсмотримъ болѣе большого числа кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k) \quad \dots \quad 67$$

приводитъ къ заключенію, что для одного и того же паровоза и состава, но для разныхъ  $\psi$  эти кривыя удовлетворяютъ условію 67 довольно хорошо; при переходѣ же къ другому составу пропорціональность между ихъ ординатами нѣсколько нарушается. Что же касается кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k)$$

для разныхъ паровозовъ, то между ними не только не наблюдается указанной пропорціональности, но нерѣдко онѣ даже пересѣкаются между собой. Такое явленіе, въ корнѣ опровергающее условіе 67, наблюдается даже для сравнительно близкихъ типовъ паровозовъ. Такъ на фигурѣ 104 сопоставлены кривыя

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k)$$

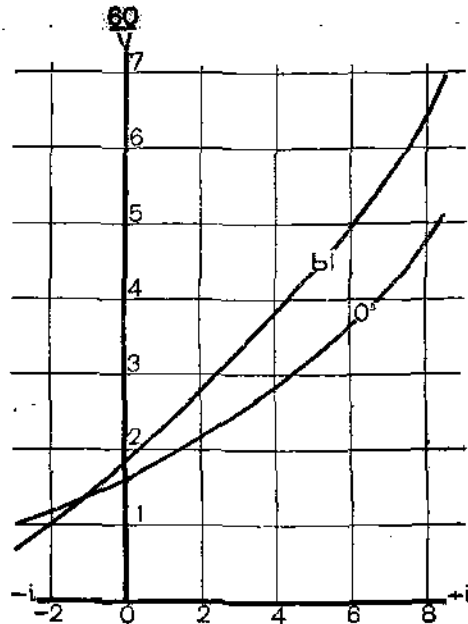
для паровозовъ 0—4—0 0<sup>в</sup> и БІ. приводившіяся на фиг. 101 и 102. Оба эти паровоза—двухцилиндровые компаундъ, тѣмъ не менѣе приведенныя кривыя пересѣкаются другъ съ другомъ.

Такимъ образомъ мы видимъ, что предположеніе о характерѣ кривыхъ

$$\frac{1}{V} = \psi(i_k),$$

положенное въ основу способа эквивалентныхъ подъемовъ, не вытекаетъ изъ природы этихъ кривыхъ и можетъ считаться болѣе или менѣе вѣрнымъ только для даннаго типа паровоза. При переходѣ же къ другому типу паровоза эти кривыя могутъ замѣтно измѣнить свое очертаніе. Въ виду этого можно предвидѣть,

что для того типа паровоза, по которому определены  $i_e$ , способ эквивалентных подъемов может дать довольно точные резуль-



Фиг. 104.

таты; при переходѣ же къ другому паровозу применение этого способа дѣлается нѣсколько рискованнымъ.

Кромѣ того надо имѣть въ виду, что даже въ томъ случаѣ, когда мы оперируемъ съ группой кривыхъ, удовлетворяющихъ уравненію

$$\frac{1}{V} = A\psi(i_k) \dots \dots \dots 67$$

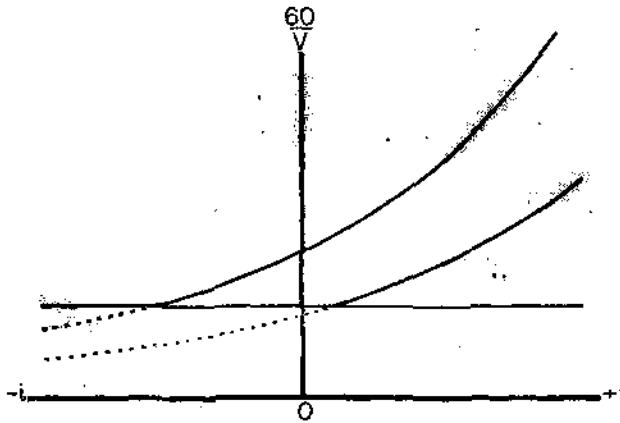
отъ способа эквивалентныхъ подъемовъ далеко не всегда можно ждать точныхъ результатовъ. Дѣло въ томъ, что въ дѣйствительности, какъ показываютъ фиг. 99, 101, 102 и 105, эти кривыя обрываются горизонтальной прямой

$$\frac{1}{V_{\max}}$$

и притомъ, для разныхъ паровозовъ, составовъ и  $z$ , на различныхъ подъемахъ. Поэтому для цѣлаго ряда ихъ пропорціональность ординатъ кривыхъ  $1/V$  заведомо нарушается. Между тѣмъ Ляпцевъ применяетъ способъ эквивалентныхъ подъемовъ и для та-

ких перегоновъ, въ составъ профиля которыхъ входятъ подъемы, гдѣ скорость ограничена. Можно было бы, конечно, въ этомъ случаѣ расчетъ вести по пунктирной части кривыхъ  $1/V$  (фиг. 105) и затѣмъ вводить поправку

$$\tau_m = s_m \left( \frac{1}{V_m} - \frac{1}{V} \right),$$



Фиг. 105.

но тогда намъ пришлось бы экстерполировать кривыя  $F$  далеко за предѣлы опыта, на примѣръ, для нормальнаго паровоза до  $V=100-120$ , что, конечно, исключаетъ какую либо надежность такихъ подсчетовъ. Поэтому представляется, наиболѣе правильнымъ для перегоновъ съ большимъ протяженіемъ элементовъ, гдѣ скорость ограничена, вовсе не пользоваться методомъ эквивалентныхъ подъемовъ, а вести расчетъ обыкновеннымъ способомъ.

Такъ или иначе способъ эквивалентныхъ подъемовъ не можетъ считаться способомъ точнымъ. Что же касается степени его неточности, то она можетъ быть установлена только изъ ряда примѣровъ для самыхъ разнообразныхъ условий, къ рѣшенію которыхъ мы и переходимъ.

**Примѣръ 9.** Найти эквивалентный подъемъ перегона Поворова — Крюково.

Изъ сказаннаго ясно, что эквивалентный подъемъ находится, исходя изъ какого либо опредѣленнаго времени хода. Естественно поэтому возникаетъ вопросъ, какимъ же паровомъ, составомъ и  $\varepsilon$  надо задаться для опредѣленія этого основнаго времени хода. Прежде всего надо отмѣтить, что для лучшей сравнимости результатовъ желательно опредѣленіе  $i_0$  вести по одному паровозу и составу; съ другой же стороны, болѣе точные расчеты желательно вести для наиболѣе часто встречающейся группы повозовъ. Исходя

изъ этихъ соображеній, мы будемъ вести всѣ расчеты  $i_k$  по нормальному паровозу при вѣсѣ поѣзда въ 42,000 пуд., что составляетъ наибольшій составъ для подъема въ 8‰ при совпадении съ кривой радиуса 300 саж., т. е. наибольшій составъ для русскихъ магистральныхъ условий. Что же касается  $\varepsilon$ , то зададимся  $\varepsilon = 30$ , что въ товарной службѣ является почти предѣломъ. Второй вопросъ, возникающій при опредѣленіи  $i_k$ , это вопросъ о предѣльныхъ скоростяхъ. Въ данномъ случаѣ будемъ вести опредѣленіе  $i_k$ , принимая во вниманіе ограниченіе скорости, какъ это предлагаетъ Липецъ. Что же касается самой величины  $V_m$ , то примемъ, какъ это установлено на Ник. ж. д.,  $V_m = 45$  вер./час.  $\approx 45$  km/h. Зависимость

$$\frac{60}{V} = \varphi(i_k)$$

для паровоза 0<sup>в</sup> при  $\varepsilon = 30$  и  $Q = 42,000$  пуд. дана на фиг. 102 (стр. 215). Беря оттуда значенія  $60/V$ , соответствующія профилю нашего перегона, и производя всѣ вычисленія, какъ показано въ таб. XXVI, получаемъ

Т а б л и ц а XXVI.

№ участка	$s$	$i_k$	$\frac{60}{V}$	$\frac{60s}{V}$
1	1105	+2,30	2,23	2,47
2	1876	-1,56	1,33	2,49
3	3333	+4,25	2,89	9,64
4	6417	-2,40	1,33	8,53
$\Sigma$	12731	—	—	23,13

$$\sum \frac{s}{V} = 23,13'$$

$$\frac{60}{V_k} = 1,82,$$

что на диаграммѣ фигуры 102 соответствуетъ

$$i_e = +0,9.$$

**Примѣръ 10.** Определить эквивалентные подъемы перегоновъ участка Серпуховъ — Тула.

Произведемъ этотъ расчетъ при  $V_m = 35$  и  $V_m = 45$ , для чего воспользуемся данными таблицы XXV. Вычисленіе помощи ихъ по кривой фигуры 102 величинъ  $i_e$ , какъ это показано въ таблицѣ XXVII, не представляетъ никакихъ затрудненій. Въ этой же таблицѣ приведены значенія для каждаго перегона величины

$$\sigma_m = \frac{\sum s_m}{\sum S},$$

Таблица XXVII. 0—4—0 0<sup>в</sup> Q=42000 пуд.

Станціи	$\sum S$ [m]	$\sigma_m$	$V_m = 35$			$V_m = 45$		
			$\sum \frac{60s}{V}$	$\frac{60}{V_e}$	$i_e$	$\sum \frac{60s}{V}$	$\frac{60}{V_e}$	$i_e$
Серпуховъ . . .	—	—	—	—	—	—	—	—
Ока . . . . .	5889	0,66	10	1,70	+0,6	8	1,46	—0,7
Свинская . . .	7736	0,0	30	5,23	+7,2	30	5,23	+7,2
Турусская . . .	11342	0,0	44	3,88	+6,4	44	3,88	+6,4
Пахомово . . .	15966	0,09	39	2,44	+2,8	37	2,32	+2,6
Шульгино . . .	6423	0,22	14	2,18	+2,2	17	2,76	+1,8
Ладтево . . . .	12882	0,44	36	2,80	+4,0	34	2,66	+3,5
Ревякино . . .	14020	0,37	46	3,22	+5,1	43	3,05	+4,6
Хомяково . . . .	8934	0,45	17	1,89	+1,4	15	1,68	+0,7
Тула . . . . .	11545	0,71	20	1,72	+0,6	17	1,47	—0,7

гдѣ  $s_m$  длина тѣхъ элементовъ профиля, на которыхъ, судя по обыкновенному способу, скорость ограничена условіемъ

$$V \leq V_m.$$

**Примѣръ 5.** Определить время хода дачнаго поѣзда по перегону Поворово — Крюково согласно заданій, изложенныхъ на стр. 165.



На предыдущей страницѣ для этого перегона мы нашли  $i_e = \dagger 0,9$ . Такому подъему по диаграммѣ фиг. 96 (стр. 203) при  $z = 47$  соответствуетъ

$$\frac{60}{V_s} = 0,74,$$

откуда при  $\Sigma s = 12731$  м

$$\sum \frac{60s}{V} = \frac{60\Sigma s}{V_s} = 9,43'.$$

Что же касается поправокъ, то на стр. 204—205 мы нашли, что онѣ для этого перегона равны 4,1'. Поэтому

$$T = \frac{60\Sigma s}{V_s} + \Sigma \tau = 13,5',$$

что очень хорошо согласуется какъ съ результатами опредѣленія  $T$  точными способами, давшими въ среднемъ 13,2', такъ съ непосредственными результатами поѣздокъ, давшими въ среднемъ тоже 13,5'. Особенно же интересенъ тотъ фактъ, что

$$60 \sum \frac{s}{V},$$

опредѣленная обыкновеннымъ способомъ и способомъ эквивалентныхъ подъемовъ, отличаются между собой всего на 0,3' или на 4%, въ то время какъ величина  $i_e$  была опредѣлена въ условіяхъ совершенно не сходныхъ съ нашимъ примѣромъ: съ одной стороны мы имѣемъ дачный поѣздъ, ведомый мощнымъ быстроходнымъ паровозомъ некомпанудъ съ перегрѣтымъ паромъ, а съ другой товарный поѣздъ при нормальномъ паровозѣ компанудъ. Такое совпаденіе дѣствительно пробуждаетъ вѣру въ возможность широкаго примѣненія способа эквивалентныхъ подъемовъ, не считаясь съ типами паровозовъ, хотя, конечно, сдѣлать такое заключеніе на основаніи только одного примѣра нельзя. Тѣмъ болѣе поэтому интересны слѣдующіе примѣры.

**Примѣръ 6.** Опредѣлить времена хода скорого поѣзда на участкѣ Серпуховъ — Тула согласно заданій, изложенныхъ на стр. 187.

Эквивалентные подъемы для этого участка въ двухъ предположеніяхъ подсчитаны въ таблицѣ XXVII (стр. 227); кривая

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k)$$

приведена на фиг. 98 (стр. 206), а поправки  $\tau$  на стр. 208. Пользуясь всѣми этими данными, не трудно подсчитать времена хода, какъ это и исполнено въ таблицѣ XXVIII. Въ ней, кромѣ того

Таблица XXVIII. НУ. Серпуховъ — Тула.

Станціи	Время хода		$\Sigma t$	$\Sigma s$	$\sigma_m$	$V_m = 35$			$V_m = 45$		
	По способу Липеца $\varepsilon = 50$	По обыкновенному способу				$i_e$	$\frac{60}{V_e}$	$T$	$i_e$	$\frac{60}{V_e}$	$T$
Серпуховъ . . . . .	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Опа . . . . .	6	7	2,8	5889	0,66	+0,6	0,98	9	-0,7	0,84	8
Свинская . . . . .	12	14	1,1	7735	0	+7,2	1,83	15	+7,2	1,83	15
Турусская . . . . .	19	20	0,9	11342	0	+6,4	1,70	20	+6,4	1,70	20
Пахомово . . . . .	16	19	0,9	15966	0,09	+2,8	1,18	20	+2,6	1,15	19
Шульгино . . . . .	7	7	0,9	6423	0,22	+2,2	1,11	8	+1,8	1,08	8
Лалгеево . . . . .	14	16	1,5	12882	0,44	+4,0	1,34	19	+3,5	1,27	18
Ревякино . . . . .	17	21	2,9	14020	0,37	+5,1	1,56	24	+4,6	1,42	23
Хомяково . . . . .	8	9	0,9	8934	0,45	+1,4	1,03	10	-0,7	0,99	10
Тула . . . . .	10	11	3,1	11545	0,71	+0,6	0,98	41	-0,7	0,84	13
Итого . . . . .	109	124	—	94736	—	—	—	139	—	—	134

приведены значенія  $T$ , полученные по способу Липеца при  $\varepsilon = 50$  и по обыкновенному. Сравнивая эти  $T$  съ тѣми, которыя мы получили по способу эквивалентныхъ подъемовъ, мы видимъ, что для всѣхъ перегоновъ эти послѣднія больше первыхъ, причемъ, что можно было впрочемъ и предвидѣть, эта разница больше для  $i_e$  опредѣленныхъ при  $V_m = 35$ . Въ общемъ время хода, опредѣленное по этимъ послѣднимъ подъемамъ, на 12% больше, чѣмъ мы имѣли при обыкновенномъ способѣ, и на 17% — чѣмъ при способѣ Липеца. Если же воспользоваться  $i_e$ , опредѣленными при  $V_m = 45$ , то эти цифры уменьшатся до 8 и 13%. Если же, какъ это было предложено на стр. 225, исключить изъ расчета по методу эквивалентныхъ подъемовъ тѣ перегоны, на которыхъ много уклоновъ, напиримѣръ, для которыхъ

$$\sigma_m > \frac{1}{3},$$

то мы получимъ, при расчетѣ другихъ перегоновъ по  $i_e$ , вычис-

леннымъ для  $V_m = 35$ ,

$$T = 127',$$

а при расчетѣ по  $i_e$ , вычисленнымъ для  $V_m = 45$ ,

$$T = 126',$$

что уже отличается отъ результатовъ, полученныхъ обыкновеннымъ способомъ всего на  $1\frac{1}{2} - 2\%$ .

Такимъ образомъ съ этой поправкой способъ эквивалентныхъ подъемовъ обладаетъ вообще почти той же точностью, какъ и обыкновенный, хотя и въ этомъ случаѣ онъ всетаки нѣсколько увеличиваетъ тотъ запасъ времени, который даетъ намъ предположеніе Линеца о компенсаціи  $\epsilon$ , положенное въ основу обыкновеннаго способа. Если же примѣнять способъ эквивалентныхъ подъемовъ безъ всякихъ поправокъ и для перегоновъ съ большимъ протяженіемъ уклоновъ, то запасъ времени можетъ оказаться слишкомъ большимъ. Это, конечно, безопасно, но едва ли экономно въ смыслѣ утилизаціи паровозовъ.

**Примѣръ 7.** Определить время хода товарнаго поѣзда въсомъ 61000 пуд. при паровозѣ 0—4—0 БГ<sup>ч</sup> на участкѣ Горовастаца—Осташковъ, согласно заданіямъ, установленнымъ на стр. 192.

Подсчитаемъ для этого случая значенія  $i_e$  по той же самой предѣльной скорости

$$V_m = 40,$$

которая установлена этими заданіями. Въ этомъ случаѣ, если принять къ тому же во вниманіе незначительную разницу въ  $z$  (25 и 30), мы въ правѣ будемъ сказать, что вся невязка между значеніями  $T$ , полученными обыкновеннымъ способомъ и способомъ эквивалентныхъ подъемовъ, обуславливается тѣмъ, что результаты опредѣленія  $i_e$  по одному паровозу перенесены на другой. Оба они товарные, типа 0—4—0, но за то у БГ<sup>ч</sup> зависимость

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

наиболѣе удаляется отъ того, что мы имѣемъ у нормальнаго паровоза. Именно у нормальнаго паровоза, какъ это видно изъ фигуръ 9 и 10 (стр. 24 и 27), при большихъ скоростяхъ  $F_k$  рѣзко падаетъ съ увеличеніемъ скорости почти по закону прямой; напротивъ, въ паровозѣ БГ<sup>ч</sup>, въ этой части кривыя  $F_k$  загибаются кверху и становятся почти параллельными оси  $V$ .

Опредѣляя  $i_e$  по нормальному паровозу при  $z = 30$ ,  $Q = 42000$  пуд.,  $V_m = 40$ , мы нашли ихъ значенія, приведенныя въ таб. XXIX.

Тамъ же приведены и расчеты  $T$ , изъ которыхъ слѣдуетъ, что въ данномъ случаѣ способъ эквивалентныхъ подъемовъ даетъ время хода на 9<sup>0</sup>/<sub>6</sub> большее, чѣмъ обыкновенный.

Таблица XXIX. 0—4—0 Ы<sup>ч</sup> Q = 1000.

Станция	Время хода		$\Sigma s$	$i_c$	$\frac{60 \Sigma s}{V_c}$	$\tau$	$T$
	по Липцу	обыкновеннымъ способ.					
Горовастца . . . .	—	—	—	—	—	—	—
Черный Доръ . . . .	40	46	18561	+1,2	44,1	4,6	49
Осташковъ . . . .	47	55	21209	+1,6	56,0	4,6	61
Итого . . . .	87	101	39770	—	—	—	110

§ 67. Сравненія указанныхъ выше способовъ. При одѣнкѣ всякаго способа расчета необходимо принимать во вниманіе не только степень точности получаемыхъ результатовъ, но ту затрату труда, которой покупается эта точность. Сообразно этому въ таблицахъ XXX — XXXII, гдѣ сведены результаты расчетовъ времени хода для нашихъ трехъ примѣровъ, указано также и то количество часовъ, которое потребовалось для производства этихъ расчетовъ. На основаніи этихъ таблицъ, а также тѣхъ замѣчаній, которыя мы привели въ предыдущихъ параграфахъ этой главы при разсмотрѣніи результатовъ нашихъ расчетовъ, мы приходимъ къ слѣдующимъ выводамъ:

Таблица XXX. Перегонъ Поворова-Крюково. Н<sup>ч</sup>. Q = 425.

Способъ расчета	Аналитическій	Деду	Липца	Обыкновенный	Эквивалентныхъ подъемовъ	Средн. изъ опытныхъ подъемовъ
Время хода въ минутахъ . . . .	13,1	13,2	13,3	13,1	13,5	13,5
Разница противъ результатовъ подъемовъ въ минутахъ . . . .	-0,4	-0,3	-0,2	-0,4	0	—
Тоже въ <sup>0</sup> / <sub>6</sub> . . . . .	-5,4	-4,0	-2,7	-5,4	0	—
Затрата труда въ часахъ . . . .	37,0	1,8	1,3	0,5	0,2	—

Таблица XXXI. Участок Серпуховъ — Тула. НЧ. Q = 460.

Способъ расчета	Липца	Обыкновенный	Эквивалентныхъ подъемовъ			Опытная поѣздка
			$V_m = 35$	$V_m = 45$	$s_m < 1/3$	
Время хода въ минутахъ . . . . .	109	124	139	134	127	112
Разница противъ результата поѣздки въ минутахъ . . . . .	-3	+12	+27	+27	+15	-
Тоже въ % . . . . .	-3	+11	+25	+20	+13	-
Затрата труда въ часахъ . . . . .	6,5	2,6	1,0	1,0	1,5	-

Таблица XXXII. Участокъ Горюватица-Осташковъ. БЧ. Q = 1000.

Способъ расчета	Липца	Обыкновенный	Эквивалентныхъ подъемовъ	Средн. изъ опытныхъ поѣздокъ
Разница противъ результатовъ поѣздокъ въ мин.	-1	+13	+22	-
Тоже въ % . . . . .	-1	+15	+25	-
Затрата труда въ часахъ . . . . .	4	1,2	0,3	-

Прежде всего, сравнивая описанные методы расчета времени хода по ихъ существу, мы можемъ ихъ раздѣлить на двѣ рѣзко отличающіяся другъ отъ друга группы. Расчеты первой группы (аналитическій, Дедуи, Липца, Дубелира, Чечотта, Фрея) даютъ не только время хода, но характеръ измѣненія скорости движенія поѣзда на перегонѣ; расчеты же второй только время хода. Расчеты первой группы представляютъ изъ себя лишь различные приемы интегрированія уравненія движенія поѣзда и по существу своему свободны отъ какихъ либо произвольныхъ допущеній о соотношеніяхъ, существующихъ между результатами этого интегрированія; расчеты же второй группы основаны на такихъ допущеніяхъ. Точность расчетовъ первой группы, если конечно не считаться съ точностью выбранныхъ нами значеній

$F$  и  $W$ , зависят исключительно от точности вычислений или построений, и может быть доведена до любой наперед заданной степени; точность результатов расчетов второй группы зависит от степени точности тех допущений, на которых они основаны; и так как эта последняя не может быть учтена теоретически, то сказать наперед какова будет степень точности этих расчетов, нельзя; ее можно определить только сравнительным путем. Все это позволяет назвать способы расчетов первой группы *точными*, а второй *приближенными*.

Как было уже указано, по существу все способы первой группы в смысл точности можно считать равноценными. Практически, однако, аналитический способ следует признать менее точным, чем способ Липеца, Дедуи и других, ибо во первых при вычислениях легче сделать ошибку, чем при построениях, а во вторых, аналитический способ требует замены опытной кривой

$$f_k - w_0 = f_0(V)$$

в довольно широких пределах линейными или параболическими формулами, что всегда вносит некоторую погрешность, и наконец, в третьих, способ последовательных приближений, которым приходится все время пользоваться, тоже дает известный % неточности. С другой стороны, аналитическое интегрирование уравнения движения поезда требует времени в 20 раз больше, чем графическое. Все это вместе взятое заставляет меня категорически предостеречь читателей от применения аналитического интегрирования к расчету времени хода: ничего кроме потери времени оно дать не может.

Переходим теперь к сравнению чисто графических приемов. Из числа их на стр. 136 мы отдали решительное преимущество способам Дедуи и Липеца, как наиболее наглядным и простым. Точность их и по существу и на основании таб. XXX следует признать почти одинаковой, но нельзя не признать, что способ Липеца, дающий изменения скорости непосредственно в функции профиля, удобнее способа Дедуи, за которым таким образом остается лишь историческое значение.

Переходя теперь к сравнению между собой приближенных способов, отметим прежде всего, что теоретически степень их точности далеко не одинакова: в основу обыкновенного способа положено лишь предположение о компенсации поправки  $\tau$  (стр. 198), а в основу способа эквивалентных подъемов кроме того еще и предположения о природе кривых

$$f_k - w_0 = f_0(V).$$

Съ другой стороны, нельзя упускать изъ вида, что даже для паровоза Б<sup>1</sup> расходимость между результатами расчетовъ по объемамъ приближеннымъ способамъ достигаетъ всего 9%, и что при вычисленныхъ уже значеніяхъ  $i_e$  способъ эквивалентныхъ подъемовъ требуетъ времени примѣрно раза въ 3 менѣе, чѣмъ обыкновенный. Поэтому приходится признать, что разъ по тѣмъ или инымъ соображеніямъ мы сочтемъ возможнымъ отъ точныхъ способовъ расчета перейти къ приближеннымъ, то игнорировать способъ эквивалентныхъ подъемовъ едва ли возможно. Повидимому, для близкихъ типовъ паровозовъ и особенно на участкахъ равниннаго профиля имъ можно пользоваться вплоть спокойно. Что же касается перегоновъ съ затяжными уклонами, то для нихъ расчетъ благоразумнѣе вести обыкновеннымъ образомъ.

Переходимъ къ вопросу о томъ, насколько близко сходятся результаты расчетовъ по точнымъ и приближеннымъ способамъ, и въ какой степени можно пользоваться на практикѣ этими послѣдними. Изъ таблицъ XXX—XXXII мы видимъ, что приближенные способы даютъ всегда время хода большее, чѣмъ способы, учитывающіе вліяніе инерціи поѣзда. Это происходитъ, повидимому отъ неправильности предположенія о компенсаціи поправки  $\epsilon$ , а именно оттого, что отрицательная поправка на замедленіе отъ скорости  $V_m$  до скорости  $V_n$  по своей абсолютной величинѣ больше, чѣмъ поправка на разгонъ отъ  $V_n$  до  $V_m$ . Въ товарной службѣ, на перегонахъ съ чередующимися подъемами и уклонами сравнительно небольшой длины, игнорированіе вліянія этого обстоятельства, какъ мы видимъ изъ таблицы XXXII, даетъ ошибку до 15%, съ чѣмъ уже трудно мириться. Въ пассажирской же службѣ эта ошибка не превышаетъ обычно 10%. Съ другой стороны нельзя не отмѣтить, что обыкновенный способъ требуетъ затраты времени, примѣрно, въ три раза меньшей, чѣмъ способъ Липеца, а это обстоятельство для дорогъ весьма существенно.

Да и кромѣ того расходимость между ихъ результатами, какъ указывалось, обуславливается не столько сущностью обыкновеннаго способа, сколько гипотезой компенсаціи поправки, молчаливо принимавшейся ранѣе большинствомъ дорогъ ради простоты и получившей въ рукахъ Липеца „теоретическое“ обоснованіе. Если же отъ этой гипотезы отказаться и поправку

$$\Sigma \tau = T - \sum \frac{60s}{V}$$

опредѣлять, по крайней мѣрѣ, для перегоновъ „перевалистаго

профиля, не по формулѣ

$$\Sigma \tau = t_0 + t_c + t_n \dots \dots \dots 64a$$

а непосредственно изъ опыта или изъ расчетовъ, произведенныхъ точнымъ образомъ, причемъ эти поправки могутъ быть и отрицательныя, то расходимость обыкновеннаго и точныхъ способовъ не превышаетъ 5—6%. Въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ такая точность по условіямъ эксплуатаціи достаточна, примѣненіе приближенныхъ способовъ съ указанной оговоркой вполне допустимо. Что же касается выбора между ними, то по соображеніямъ, изложеннымъ на стр. 221 симпатіи автора всецѣло на сторонѣ метода эквивалентныхъ подъемовъ, особенно если при опредѣленіи  $t_c$  для участковъ «перевалистаго» профиля время хода опредѣлять однимъ изъ точныхъ способовъ.

Что же касается тѣхъ сравнительно рѣдкихъ случаевъ, когда для нуждъ эксплуатаціи время хода нужно опредѣлить съ точностью до  $\frac{1}{2}$  минуты, или когда почему либо необходимо знать не только время хода, но и законъ колебанія скорости на перегонѣ, а также для опредѣленія поправки  $\tau$ , то тогда приходится прибѣгать къ способу Липеца.

§ 68. Сравненіе расчетовъ времени хода по отсѣчкамъ и по  $z$ . Въ §§ 14—15 (стр. 39—45) было уже отмѣчено, что машинисты не держатъ и не могутъ держать  $z$  постояннымъ. Во первыхъ, на паровозѣ нѣтъ, такого прибора, который бы показывалъ значенія  $z$  въ каждый моментъ, а во вторыхъ непрерывная измѣненія  $\rho$  и  $\epsilon$  отвлекали бы вниманіе машиниста отъ пути и сигналовъ. Такимъ образомъ фактически поѣзда возятся не по  $z$ , а по отсѣчкамъ, или точнѣе по комбинаціямъ  $\rho$  и  $\epsilon$ . Искусство машиниста въ томъ и состоитъ, чтобы подбирать въ предѣлахъ заданныхъ ему время ходъ и предѣльныхъ скоростей такія комбинаціи, которыя давали бы наименьшій расходъ топлива. Поэтому расчеты по отсѣчкамъ, учитывающіе это искусство, ближе подходятъ къ дѣйствительности, чѣмъ расчеты по  $z$ , по существу своему носящіе нѣсколько условный характеръ. Сказанное прекрасно иллюстрируется діаграммой листа I, приложеннаго въ концѣ книги, гдѣ приведены расчетныя и фактическія кривыя скоростей для нашего 6-го примѣра, т. е. для скорого поѣзда на участкѣ Серпуховъ—Тула: кривая

$$V = \psi(s),$$

разсчитанная по комбинаціямъ, почти сливается тамъ съ точками, полученными во время опытной поѣздки, тогда какъ кривая раз-



считанная по  $z$ , довольно часто уклоняется от того, что имѣло мѣсто на самомъ дѣлѣ.

Поэтому казалось бы, что разъ по условіямъ эксплуатаціи отъ разчета требуется степень точности, исключающая возможность пользоваться приближенными приѣмами, т. е. разъ мы должны прибѣгать къ способу Липеца, то разчетъ необходимо вести по комбинаціямъ. Съ другой стороны, однако, надо имѣть въ виду, что отличное совпаденіе разчетныхъ и исполненныхъ кривыхъ въ 5 и 6 примѣрахъ обусловливается тѣмъ, что при выполненіи опытныхъ поѣздокъ на перегонѣ Поворово — Крюково (примѣръ 5) машинистъ долженъ былъ строго выполнять ту программу управленія паровозомъ, которая была положена въ основу разчета, а въ примѣръ 6-мъ мы разчетъ произвели по тѣмъ комбинаціямъ, которыя фактически были осуществлены во время поѣздокъ. Въ обычныхъ же условіяхъ, когда разчетъ выполняется рапѣе фактическаго его осуществленія и машинисты никакой программы управленія паровозомъ не получаютъ, такого совпаденія можетъ и не быть. Болѣе того, возникаетъ вопросъ, можетъ ли оно быть. Конечно, предвидѣть, какъ будетъ управлять паровозомъ машинистъ нетрезвый, неразвитой, необученный, не знающій профиля или просто недостаточно ознакомленный съ особенностями даннаго типа паровоза, — невозможно. Но если машинисты достаточно обучены и ознакомлены съ указаніями опытовъ, какія комбинаціи для даннаго типа паровоза даютъ наименьшіе расходы топлива, то предвидѣть его программу ѣзды вполне возможно. Для этого нужно только считаться со всѣми мѣстными обстоятельствами, влияющими на дѣйствія машиниста, какъ то съ плохой видимостью нѣкоторыхъ сигналовъ, боковыми толчками на нѣкоторыхъ кривыхъ и т. п., какъ это мы и дѣлали при разчетѣ времени хода на перегонѣ Поворово — Крюково, по отношенію къ подходу къ этой послѣдней станціи (стр. 167—168).

Такимъ образомъ отъ разчета времени хода по отсѣчкамъ можно ожидать полнаго совпаденія съ дѣйствительностью, только при условіи, что лицо, ведущее разчетъ, хорошо знакомо со всѣми особенностями того участка, для котораго ведется разчетъ и съ психологіей машинистовъ вообще, и что эти послѣдніе будутъ фактически пользоваться хотя приблизительно той самой программой управленія паровозомъ, которая положена въ основаніе разчета. Если же эти два требованія не могутъ быть соблюдены, веденіе разчета по отсѣчкамъ безцѣльно и даже вредно, ибо, съ одной стороны, оно подрываетъ довѣріе къ разчетамъ вообще, а во вторыхъ требуетъ раза въ  $1\frac{1}{2}$  больше времени, чѣмъ разчеты по  $z$ .

Но имѣетъ ли смыслъ примѣнять точные приемы къ расчетамъ по  $z$ , и не проще ли, разъ веденіе расчета по комбинаціямъ невозможно, переходить къ обыкновенному способу или къ способу эквивалентныхъ подъемовъ? Дѣйствительно и точные расчеты по  $z$  и приближенные заключаютъ въ себѣ извѣстный элементъ условности. Однако условность эта разнаго порядка. При точныхъ расчетахъ по  $z$  мы лишь замѣняемъ ступенчатую зависимость между силой тяги и скоростью (фиг. 19 стр. 41) непрерывной, зная, что такая замѣна введетъ въ результаты нашихъ расчетовъ извѣстный запасъ времени. При обыкновенномъ же способѣ мы *сверхъ этой замѣны* дѣлаемъ нѣкоторыя довольно произвольныя допущенія о природѣ поправокъ  $\tau$ . Наконецъ при способѣ эквивалентныхъ подъемовъ мы дѣлаемъ, кромѣ того допущенія о природѣ зависимости

$$f - w_0 = f_0(V),$$

гораздо болѣе смѣлая чѣмъ, допущеніе о непрерывности этой функціи, положенной въ основу расчета по  $z$ .

Такимъ образомъ какъ въ смыслѣ точности, такъ и въ смыслѣ затраты времени рассматриваемые нами способы надо расположить въ такомъ порядкѣ

- 1) Липеца по комбинаціямъ
- 2) Липеца по  $z$ ,
- 3) обыкновенный,
- 4) эквивалентныхъ подъемовъ;

и исключить изъ числа рекомендуемыхъ способовъ второй изъ нихъ едва ли есть достаточныя основанія. Напротивъ, есть случаи, когда онъ имѣетъ преимущество передъ всѣми остальными. Сюда прежде всего надо отнести опредѣленіе поправокъ для 3 и 4-го способовъ: вести ихъ по отсѣчкамъ, разъ въ основу этихъ способовъ положена гипотеза о непрерывности зависимости

$$F = \varphi_k(z, V)$$

было бы неправильно. Затѣмъ построеніе Липеца по  $z$  можетъ быть рекомендовано, когда для такого построенія по отсѣчкамъ нѣтъ данныхъ, а время хода безъ кривой

$$V = \psi(s)$$

недостаточно еще для рѣшенія поставленной задачи, какъ это мы имѣемъ, наиримѣръ, при выясненіи вліянія предѣльной скорости движенія на время хода. Наконецъ къ этому способу можно

прибѣгать и для точныхъ расчетовъ на дорогахъ чрезвычайно однообразнаго профиля, когда ни о какихъ займахъ у котла и думать нельзя, какъ напримѣръ на участкѣ Долинская—Николаевъ Южн. ж. д. или Арысь—Казалинскъ Ташк. ж. д. Для главной же линіи Николаевской ж. д., гдѣ подъемы и уклоны въ 2—3 тысячныхъ чередуются довольно часто между собой, кривыя

$$V = \psi(s),$$

построенныя по  $s$  и по комбинаціямъ уже нѣсколько расходятся между собой.

§ 69. Вліяніе конечной длины поѣзда. Полнаго совпаденія расчетныхъ кривыхъ

$$V = \psi(s)$$

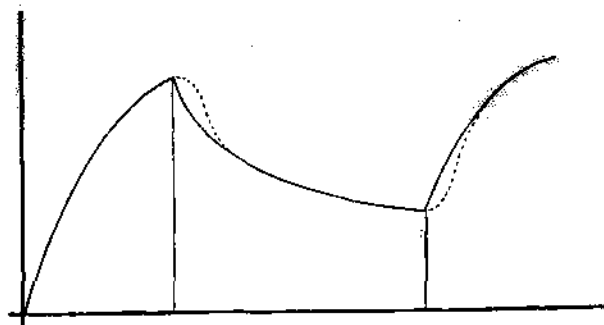
и полученныхъ изъ опыта не наблюдается впрочемъ и при самыхъ тщательныхъ расчетахъ по отсѣчкамъ. Именно, какъ показываютъ діаграммы, приложенныя въ концѣ книги, фактическія кривыя

$$V = \psi(s)$$

никогда не имѣютъ переломовъ въ мѣстахъ измѣненія профиля или комбинаціи, столь характерныхъ для расчетныхъ кривыхъ. Иными словами фактически зависимость

$$V = \psi(s)$$

получается всегда въ видѣ плавной кривой, какъ на фиг. 106



Фиг. 106.

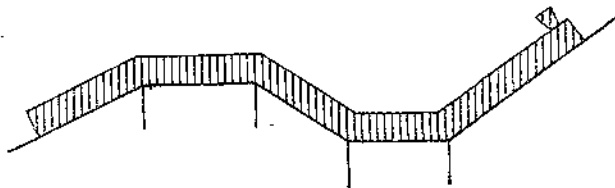
показано пунктиромъ, въ то время какъ при расчетѣ она получается въ видѣ ломаной кривой, какъ показано на той же фигурѣ сплошными линіями. Происходитъ это оттого, что при всѣхъ расчетахъ мы до сихъ поръ предполагали, что масса

поѣзда сосредоточена въ одной точкѣ. Въ самомъ дѣлѣ, только при этомъ предположеніи можно считать, что переходъ съ участка одного профиля на другой совершается мгновенно; въ дѣйствительности же переходъ этотъ совершается постепенно, какъ это ясно изъ фиг. 107. Выясненію того, какъ велика ошибка отъ такого допущенія, и посвященъ настоящій параграфъ.



Фиг. 107.

Раньше, однако, чѣмъ перейти къ этому вопросу по существу, отмѣтимъ, что онъ тѣсно связанъ съ вопросомъ, насколько грубо можно спрямлять профиль для расчета времени хода. Очевидно, чѣмъ меньше тѣ участки, въ предѣлахъ коихъ мы считаемъ профиль однороднымъ, тѣмъ больше нужно затратить времени и труда на расчетъ времени хода при всякомъ способѣ такого расчета. Съ другой стороны, какъ будто, чѣмъ эти участки будутъ ближе къ дѣйствительности, тѣмъ точнѣе будетъ нашъ расчетъ. Позволительно думать, однако, что это вѣрно только до нѣкотораго предѣла, ибо если мы раздробимъ расчетный перегонъ на столь мелкіе участки, что нашъ поѣздъ будетъ находиться одновременно на нѣсколькихъ изъ нихъ (фиг. 108),



Фиг. 108.

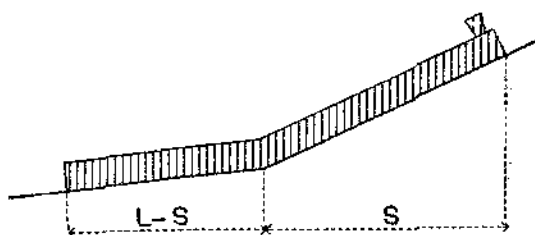
то едва ли такой дробностью, особенно при игнорированіи длины поѣзда самой по себѣ, мы увеличимъ точность расчета—скорѣе наоборотъ.

Выясненію этого послѣдняго вопроса будетъ посвященъ слѣдующій параграфъ. Сейчасъ же для насъ важно только отмѣтить связь между вопросами о спрямленіи профиля и о конечной длинѣ поѣзда. Переходя къ этому послѣднему, рассмотримъ

прежде всего, какимъ образомъ длина поѣзда  $L$  можетъ быть введена въ уравненіе его движенія.

Чтобы не усложнять слишкомъ наши формулы, предположимъ, что масса поѣзда распределена равномерно по длинѣ его, и что всѣ части его имѣютъ одинаковое удѣльное сопротивленіе. Въ этомъ случаѣ, принимая за начало координатъ точку перелома профиля, мы можемъ для случая

$$0 < s < L$$



Фиг. 109.

написать уравненіе движенія поѣзда подъ видомъ

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \zeta \left( f - w_1 \frac{L-s}{L} - w_2 \frac{s}{L} \right),$$

гдѣ  $w_1$  сопротивленіе на первомъ подъемѣ, а  $w_2$  на второмъ. Это уравненіе можно переписать подъ видомъ

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \zeta \left[ f - w_1 + \frac{s}{L} (w_1 - w_2) \right];$$

или, замѣчая, что

$$w_1 = w_0 + i_1$$

и

$$w_2 = w_0 + i_2,$$

$$w_1 - w_2 = i_1 - i_2,$$

откуда

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \zeta \left( f - w_1 - \frac{i_1 - i_2}{L} s \right), \dots \dots \dots 68$$

отмѣчая далѣе, что

$$\zeta (f - w_1) = f \left( \frac{ds}{dt} \right),$$

и называя

$$\zeta \frac{i_1 - i_2}{L} = K,$$

мы получимъ окончательно уравненіе движенія поѣзда при переходѣ съ одного подъема на другой подъ видомъ

$$\frac{d^2s}{dt^2} = f\left(\frac{ds}{dt}\right) - Ks.$$

Это есть уравненіе Риккати, которое интегрируется, какъ извѣстно, лишь въ исключительныхъ случаяхъ.

Такимъ образомъ оказывается, что разрѣшеніе поставленной нами задачи въ общемъ видѣ невозможно. Приближенно же она можетъ быть рѣшена съ любой напередъ заданной точностью, даже учитывая разницу въ сопротивленіи паровоза и вагоновъ. Въ самомъ дѣлѣ, назовемъ длину паровоза вмѣстѣ съ тендеромъ черезъ  $L'$ , а вагоновъ черезъ  $L''$  и раздѣлимъ эту послѣднюю длину на  $m$  равныхъ частей. Пока паровозъ не вошелъ еще на второй подъемъ, сопротивленіе всего поѣзда равно

$$W_1 = P(w'_0 + i_1) + Q(w''_0 + i_1);$$

когда же паровозъ и тендеръ окажутся на подъемѣ, сопротивленіе поѣзда будетъ равно

$$W'_1 = P(w'_0 + i_2) + Q(w''_0 + i_1),$$

что эквивалентно вступленію всего поѣзда на подъемъ  $i'_1$ , определяемый изъ уравненія

$$W'_1 = Pw'_0 + Qw''_0 + (P + Q)i'_1,$$

откуда

$$i'_1 = \frac{Pi_2 + Qi_1}{P + Q}.$$

Затѣмъ, когда на подъемъ войдетъ  $\frac{1}{m}$  часть вагоновъ, сопротивленіе поѣзда сдѣлается равнымъ

$$W'' = P(w'_0 + i_2) + Q\left(w''_0 + \frac{m-1}{m}i_1 + \frac{1}{m}i_2\right),$$

а соответственный подъемъ

$$i'' = \frac{Pi_2 + Q\left(\frac{m-1}{m}i_1 + \frac{1}{m}i_2\right)}{P + Q}.$$

Въ общемъ же случаѣ, когда на подъемѣ  $i_2$  находится  $\frac{x}{m}$  частей

длина вагоновъ

$$z^{(x)} = \frac{P i_2 + Q \left( \frac{m-x}{m} i_1 + \frac{x}{m} i_2 \right)}{P + Q}.$$

Поэтому мы вправѣ сказать, что вліяніе конечной длины поѣзда эквивалентно постепенному измѣненію подъема въ предѣлахъ длины поѣзда. Это обстоятельство и позволяетъ намъ дать приближенное рѣшеніе нашей задачи.

Въ самомъ дѣлѣ, принимая для  $z$  отъ 0 до  $L'$  удѣльное сопротивление поѣзда равнымъ

$$w_0 + \frac{i_1 + i_1''}{2},$$

для  $z$  отъ  $L'$  до  $L' + \frac{L''}{m}$

$$w_0 + \frac{i_1' + i_1''}{2},$$

для  $z$  отъ  $L + \frac{L''}{m}$  до  $L + 2 \frac{L''}{m}$

$$w_0 + \frac{i_1' + i_1''}{2}$$

и т. д., и интегрируя въ этихъ предѣлахъ любымъ способомъ уравненіе

$$\frac{dV}{dt} = \zeta_1 (f - w)$$

мы можемъ получить кривую

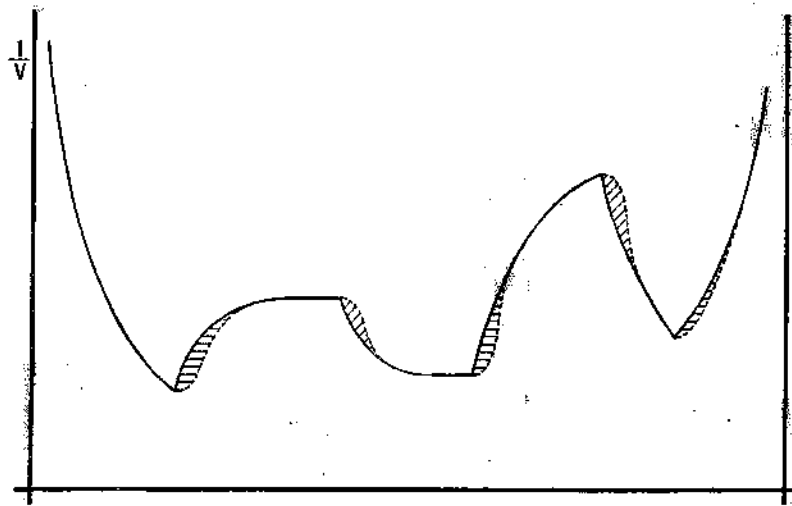
$$V = \psi(s)$$

для поѣзда данной длины, причемъ, очевидно, эта кривая тѣмъ ближе будетъ подходить къ дѣйствительности, чѣмъ больше мы возьмемъ  $m$ .

Итакъ вліяніе конечной длины поѣзда можетъ быть учтено; но теперь возникаетъ вопросъ, стоитъ ли производить такой учетъ при рѣшеніи задачъ, выдвигаемыхъ практикой и прежде всего при опредѣленіи поперегонныхъ временъ хода. На этотъ вопросъ можно отвѣтить только отрицательно. Въ самомъ дѣлѣ, на времени хода конечная длина поѣзда можетъ отразиться лишь настолько, насколько на площади Дубелировской кривой

$$\frac{1}{K} = \Psi(s)$$

отражаются тѣ пунктирныя поправки, которыя отмѣчены на фиг. 110. Всматриваясь въ исправленную такимъ образомъ Дубелировскую кривую, мы видимъ, что при каждомъ уменьшеніи скорости у



Фиг. 110.

насъ получается нѣкоторый выигрышь времени, отмѣченный горизонтальною штриховкой, а при каждомъ увеличеніи скорости нѣкоторая потеря, отмѣченная косою штриховкой. Поправки эти настолько мало вліяютъ на общую величину площади

$$\int \frac{1}{V} ds = t,$$

что ими вообще можно пренебречь; принимая же во вниманіе, что онѣ направлены притомъ въ разныя стороны, это можно дѣлать и безъ всякаго риска. Это лучше всего подтверждается тѣмъ, что результаты нашихъ точныхъ расчетовъ (примѣры 5—7) и безъ подобныхъ поправокъ дали болѣе чѣмъ достаточную сходимость съ результатами опытныхъ поѣздокъ

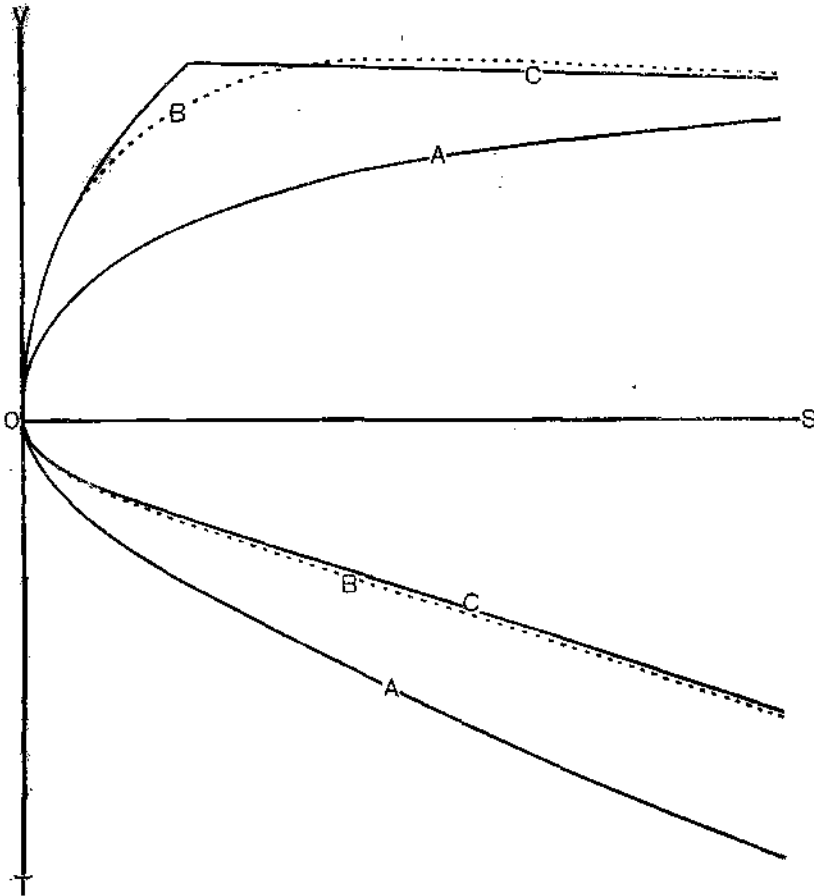
Нѣкоторымъ исключеніемъ изъ сказаннаго сейчасъ правила являются случаи расчета поѣздовъ на крутыхъ подъемахъ, слѣдующихъ сразу за станціонными площадками, гдѣ на первый взглядъ нельзя не считаться съ конечной длиной поѣзда, которая, въ этомъ случаѣ рѣзко измѣняетъ кривую скоростей. Чтобы проверить это разберемъ конкретный случай расчета товарнаго поѣзда вѣсомъ 43000 пуд. на подъемѣ 6<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, слѣдующемъ сразу



за станціонной площадкой, въ самомъ концѣ которой у начала подъема остановился паровозъ. Пусть это будетъ паровозъ серіи  $O^3$ , силу тяги для котораго при  $\rho = 1$ ,  $\varepsilon = 0,6$  беремъ изъ «паспорта»; (см. фиг. 5 на стр. 20) сопротивление же всего поѣзда на площадкѣ примемъ равнымъ

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}.$$

Примѣняя къ этимъ условіямъ способъ Липца—Лебедева, получаемъ для разгона на  $6\text{‰}$  подъемъ кривыя скоростей и времени, отмѣченныя на фиг. 105 буквой **A**. Если же длину вагоновъ разбить на 10 частей и построить эти кривыя, какъ было



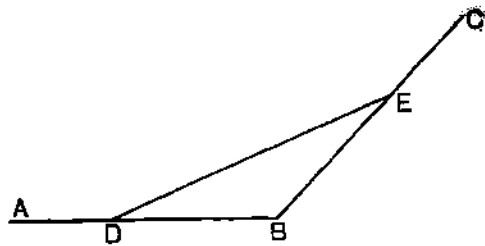
Фиг. 111.

указано на стр. 242, то онѣ примутъ очертаніе, указанное на фиг. 111 буквой **B**. Разница получается очень замѣтная. Но еще

вопросъ, обусловливается ли эта разница вліяніемъ конечной длины поѣзда или тѣмъ, что мы молчаливо приняли массу поѣзда сосредоточенной въ его головѣ. Для того, чтобы отвѣтить на этотъ послѣдній вопросъ, построимъ кривую разгона нашего поѣзда, не учитывая непосредственно длины его, но принимая его массу сосредоточенной въ серединѣ его, т. е. предполагая, что она до вступленія на подъемъ пройдетъ путь  $\frac{1}{2}L$  по площадкѣ. Результаты такого расчета приведены на фиг. 111 въ видѣ кривыхъ **C**, почти совпадающихъ съ кривыми **B**.

Такимъ образомъ мы видимъ, что, принимая массу поѣзда сосредоточенной въ серединѣ поѣзда, во всѣхъ случаяхъ, выдвигаемыхъ практикой, можно не считаться съ конечной длиной его. Несходимость же кривыхъ **A** и **B** по существу объясняется тѣмъ, что при построеніи первыхъ изъ нихъ мы пренебрегли вліяніемъ площадки, по которой сосредоточенная масса до вступленія на подъемъ успѣваетъ сдѣлать пробѣгъ равный половинѣ длины поѣзда. Иными словами, въ данномъ случаѣ суть дѣла заключается не въ конечной длинѣ поѣзда, а въ томъ или иномъ пользованіи профилемъ для тяговыхъ расчетовъ. Къ этому послѣднему вопросу мы и переходимъ.

§ 70. **Спряжленіе профиля.** Желая ввести въ учетъ конечную длину поѣзда, Чечоттъ<sup>1)</sup> предложилъ производить расчетъ времени хода по исправленному «тяговому» профилю, у котораго перекомы, какъ это показано на фиг. 112, были бы сглажены



Фиг. 112.

вставками

$$DE = L.$$

Такое измененіе профиля несомнѣнно приблизитъ расчетныя кривыя

$$V = \psi(s)$$

<sup>1)</sup> Чечоттъ, Новый способъ расчета времени перегоновъ. 1910, стр. 167.

къ дѣйствительнымъ, но тѣмъ не менѣе съ предложеніемъ Чечотта едва ли можно согласиться, ибо, какъ мы только что видѣли, вліяніе конечной длины поѣзда на время хода совершенно ничтожно; между тѣмъ введеніе въ расчетъ всякаго новаго элемента профиля значительно усложняетъ его. Болѣе того, это соображеніе заставляеть насъ нѣсколько остановиться на вопросѣ, нельзя ли уменьшить число элементовъ профиля, спрямляя его, какъ указано на фиг. 113, что, конечно, значительно уменьшить



Фиг. 113.

работу при расчетахъ. За такое спрямленіе высказывался еще Дедуи<sup>1)</sup>, и нельзя не признать, что оно имѣетъ глубокое основаніе, такъ какъ, благодаря инерціи поѣзда и его конечной длинѣ, измѣненія скорости на короткихъ горизонталяхъ настолько незначительны, что на площади кривой

$$\frac{1}{V} = \Psi(s)$$

они почти не отражаются. Болѣе того, если игнорировать конечную длину поѣзда, то при спрямленіи профиля до нѣкотораго предѣла кривая

$$V = \psi(s)$$

получается ближе къ дѣйствительной, чѣмъ до спрямленія. Если же даже, благодаря болѣе грубому спрямленію, эта кривая у насъ искажилась бы въ обратную сторону, то и это для нашихъ цѣлей представляется существеннымъ только въ томъ случаѣ если для насъ важно получить не только вѣрное значеніе времени хода

$$t = \int_0^s \frac{1}{V} ds,$$

но и правильное очертаніе кривой

$$V = \psi(s).$$

<sup>1)</sup> Revue Générale. 1898. II S. стр. 411.

При примѣненіи же обыкновеннаго способа, когда очертаніе этой кривой для насъ совершенно безразлично, спрямлять профиль можно до тѣхъ поръ, пока это не отразится замѣтнымъ образомъ на времени хода.

Изъ сказаннаго дѣлается яснымъ, что, вообще говоря, для точныхъ расчетовъ, когда насъ интересуетъ не только время, но и очертаніе кривой скоростей, смягченіе профиля надо вести гораздо осторожнѣй, чѣмъ при примѣненіи обыкновеннаго метода. Что же касается метода эквивалентныхъ подъемовъ, то онъ самъ по существу своему есть не что либо иное, какъ очень смѣлое спрямленіе профиля.

Дать какія либо теоретическія указанія для спрямленія профиля не представляется возможнымъ; это съ одной стороны вопросъ опытности и искусства лица ведущаго расчетъ, а съ другой стороны степени точности, съ которой мы хотимъ получить кривую

$$V = \psi(s).$$

Впрочемъ разъ мы ее строимъ, то вопросъ о смягченіи профиля рѣшается очень просто попытками. На первомъ перегонѣ обычно неопытному лицу приходится 3—4 раза передѣлывать свой расчетный профиль пока онъ не получитъ требуемой точности; дальше же по аналогіи, дѣло идетъ гораздо быстрѣй.

При приготовленіи же профиля для расчетовъ по обыкновенному способу приходится прибѣгать къ проверкѣ на 2—3 характерныхъ перегонкахъ того или иного способа смягченія, путемъ нахождения времени хода точными способами. Примѣры такихъ проверокъ приведены въ концѣ этого параграфа. Изъ нихъ и другихъ имъ подобныхъ можно вывести заключеніе, что на время хода то или иное смягченіе отражается очень мало и потому при обыкновенномъ способѣ расчета можно прибѣгать къ очень смѣлому смягченію. Въ частности для товарныхъ поездовъ при расчетѣ ихъ сопротивленія по формулѣ

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}$$

съ точностью не меньшей, чѣмъ точность этой формулы можно игнорировать элементы профиля длиной

$$s \leq \frac{2000}{\sqrt{(i_d - i_c)^2}} \text{ [саж.] } \dots \dots \dots (*)$$

гдѣ  $i_d$  дѣйствительный подъемъ этого элемента, а  $i_c$  получаю-

щейся послѣ смягченія. Формула эта эмпирическая и ни въ какое теоретическое обоснованіе не претендуетъ.

При расчетѣ обыкновеннымъ способомъ время хода пассажирскихъ поѣздовъ можно идти еще дальше, ибо у нихъ живая сила

$$T = (1 + \gamma) \frac{P + Q}{2g} V^2,$$

вообще говоря, значительно больше, чѣмъ у товарныхъ, измѣненія же скорости при переходѣ съ одного подъема на другой происходятъ при равныхъ прочихъ условіяхъ тѣмъ плавнѣе, чѣмъ больше  $J$ . Съ другой стороны, заготовлять расчетный профиль и бланки отдѣльно для пассажирскихъ и товарныхъ поѣздовъ очень не удобно, и потому формулой (\*) приходится пользоваться вообще для всѣхъ поѣздовъ. Какъ мы увидимъ изъ примѣровъ, это вполне допустимо.

Раньше чѣмъ перейти къ этимъ примѣрамъ, представляющимъ наиболѣе интересную часть настоящаго параграфа, необходимо сказать нѣсколько словъ о кривыхъ. На стр. 49 мы остановились для оцѣнки сопротивленія отъ нихъ на формулѣ

$$K = \frac{350}{R},$$

гдѣ  $R$  въ саженьяхъ; поэтому наибольшая длина кривой, которой при расчетѣ можно пренебрегать, согласно формулы (\*), равна

$$s_0 = \frac{3500}{350} = \frac{10}{7} R = 0,9 (2\pi R),$$

т. е. 0,9 полной окружности. А такъ какъ въ дѣйствительности длина кривыхъ почти никогда не достигаетъ такой величины, то мы въ правѣ сдѣлать отсюда заключеніе, что кривыя можно не выдѣлять въ отдѣльные элементы профиля.

Это еще не значитъ, конечно, что сопротивленіемъ въ нихъ можно вовсе пренебрегать. Напротивъ, въ каждый элементъ спрямленнаго профиля мы должны включить вліяніе кривыхъ; иными словами, мы должны сопротивленіе отъ тѣхъ кривыхъ, которыя встрѣчаются на протяженіи даннаго элемента профиля, распределить равномерно по всей его длинѣ. Такимъ образомъ, если спрямленный подъемъ равенъ  $i_c$ ‰, то къ расчету мы должны принять на этомъ участкѣ

$$i_k = i_c + \frac{T_k}{s_c},$$

гдѣ  $T_k$  — работа сопротивленія въ кривыхъ, расположенныхъ въ предѣлахъ спрямленнаго участка, отнесенная къ одной тоннѣ вѣса поѣзда.

Пользованіе этой формулой значительно облегчается тѣмъ обстоятельствомъ, что работа  $T_k$  явно не зависитъ отъ радіуса. Въ самомъ дѣлѣ:

$$T_k = \sum ks_k,$$

гдѣ  $s_k$  — длина кривыхъ, но

$$k = \frac{K}{R}$$

$$s_k = \alpha R,$$

гдѣ  $\alpha$  — уголъ данной кривой въ радіанахъ. Поэтому

$$T_k = K \sum \alpha,$$

и слѣдовательно

$$i_k = i_c + K \frac{\sum \alpha}{s_c} \dots \dots \dots 69$$

Такъ какъ на профилѣ углы задаются въ градусахъ, а не въ радіанахъ, то и въ этой формулѣ вмѣсто радіановъ желательно имѣть градусы. Какъ извѣстно, число градусовъ центрального угла

$$\beta \approx 57\alpha$$

откуда при  $K = 350$  и  $s_c$  въ саженьяхъ

$$K \frac{\sum \alpha}{s_c} \approx 6 \frac{\sum \beta}{s_c}$$

и

$$i_k = i_c + 6 \frac{\sum \beta}{s_c} \dots \dots \dots 69a$$

Формула 69 между прочимъ показываетъ, что спрямленный тяговой профиль будетъ неодинаковъ для четнаго и нечетнаго направленія, ибо, если въ четномъ направленіи мы имѣемъ  $+i_c$ , и слѣдовательно

$$i_k'' = i_c + 6 \frac{\sum \beta}{s_c}$$

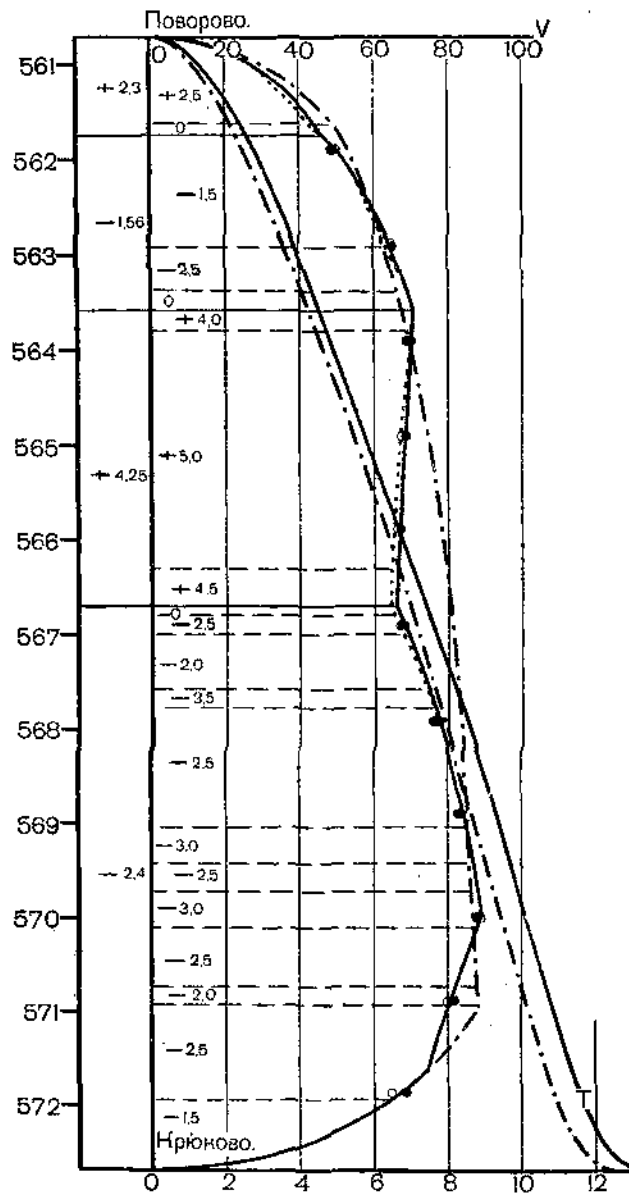
то въ нечетномъ —  $i_c$  т. е.

$$i_k' = -i_c + 6 \frac{\sum \beta}{s_c}$$

**Примѣръ 11.** Выяснить наиболѣе цѣлесообразный способъ смягченія профиля на перегонѣ Поворово—Крюково для расчета

времени хода дачного поезда, согласно заданий, изложенных на стр. 165.

На фиг. 114 в первой графѣ слева показанъ спрямленный



Фиг. 114.

профиль (фиг. 78), по которому мы вели всё наши расчеты: соответственные же кривыя  $V$  и  $t$ , построенныя на фиг. 84 по спо-

сосу Липеца-Лебедева, воспроизведены тамъ пунктиромъ изъ однихъ точекъ. Во второй графѣ показанъ истинный профиль этого перегона, по которому вновь были построены сплошныя кривыя  $V$  и  $t$ , совпавшія на всемъ почти протяженіи съ кривыми изъ однихъ точекъ. На той же фигурѣ пунктиромъ изъ тире и точекъ изображены кривыя  $V$  и  $t$  для полного спрямленія нашего перегона, т. е. для замѣны его профиля однимъ среднимъ подъемомъ.

Изъ этой фигуры видно, что время хода, подсчитанное по истинному профилю

$$T = 13,3'$$

по принятому нами раньше (пунктиръ изъ однихъ точекъ)

$$T = 13,3'$$

и по наиболѣе грубо спрямленному

$$T = 12,7'$$

Такимъ образомъ оказывается, что на время хода то или иное спрямленіе профиля перегона Поворово—Крюково, не исключая и самого грубаго, не оказываетъ замѣтнаго вліянія.

Совершенно иначе обстоитъ дѣло съ кривой

$$V = \psi(s).$$

Какъ мы видѣли на фиг. 84, кривая эта, построенная по расчетному профилю, почти сливается съ опытными точками, нанесенными на фигуру 114. Кривая, построенная по истинному профилю, подходит къ нимъ тоже очень близко; кривая же, соответствующая грубому спрямленію, имѣетъ совершенно другой характеръ. Поэтому, если намъ нужно получить только время хода и притомъ съ точностью не болѣе чѣмъ до  $\frac{1}{2}$  минуты, видъ же кривой

$$V = \psi(s)$$

намъ безразличенъ, то профиль даннаго участка можно спрямлять любымъ образомъ, хотя бы и самымъ грубымъ. Но въ такомъ случаѣ зачѣмъ же прибѣгать къ графическимъ построениямъ? Вѣдь время хода для этого случая, какъ мы видѣли изъ таблицы XXX (стр. 231), можно съ достаточной точностью определить и методомъ эквивалентныхъ подъемовъ, который по существу можно скорѣй считать особымъ способомъ спрямленія профиля, чѣмъ особымъ способомъ расчета времени хода.

Если же для насъ важно получить болѣе или менѣе правильное очертаніе кривой

$$V = \psi(s),$$



то идти такъ далеко въ спрямленіи профиля уже нельзя. Впрочемъ нѣкоторое спрямленіе и для этой цѣли полезно. Такъ изъ фигуры 114 мы видимъ что кривая изъ однѣхъ точекъ, построенная по тому профилю, который изображенъ на фиг. 78, и которой мы пользовались при всѣхъ предыдущихъ расчетахъ, во всякомъ случаѣ подходитъ къ опытнымъ точкамъ не хуже сплошной кривой, построенной по точному профилю. Между тѣмъ ея построение требуетъ раза въ два больше времени, чѣмъ пунктирной кривой.

Интересно отмѣтить, что спрямленіе, принятое на фиг. 114, и давшее въ примѣненіи къ *дачному* поѣзду столь благоприятные результаты въ смыслѣ кривой

$$V = \psi(s),$$

удовлетворяетъ формулѣ

$$s \geq \frac{2000}{V(i_a - i_c)} \dots \dots \dots (*)$$

Правда, на первый взглядъ оно представляется гораздо болѣе осторожнымъ, чѣмъ это допускается формулой (\*), ибо наиболѣе рѣзко спрямляемый элементъ (съ  $i = -2,5$  до  $i_b = -1,56$ ) имѣетъ  $s = 115$  саж. (563—564 вер.), въ то время какъ для такихъ значеній  $i_c$  и  $i_b$  формула (\*) даетъ

$$s = \frac{2000}{0,94} \cong 2100 \text{ [саж.]}$$

Съ другой стороны слѣдующимъ по грубости спрямленіемъ для нашего перегона является уже соединеніе отмѣтокъ обѣихъ станцій прямой, что уже выходитъ за предѣлы, допускаемые формулой (\*). Въ самомъ дѣлѣ при такомъ спрямленіи подъемъ  $i_k = +4,25$  саж. длиной 1560 саж. спрямляется до  $i_b = 0,2$  между тѣмъ какъ по формулѣ (\*) такое спрямленіе можно принять только для

$$s \leq \frac{2000}{4,05} \cong 500 \text{ [саж.]}$$

Никакого же средняго спрямленія между самымъ грубымъ и изображеннымъ на фиг. 78 придумать нельзя.

**Примѣръ 12.** Выяснить, какъ будутъ велики колебанія скорости опытнаго поѣзда I цикла вѣсомъ 1400 тоннъ, вѣдомаго паровозомъ 1—4—0 Ш<sup>н</sup> на участкѣ Тверь—Лихославль Ник. ж. д. при неизмѣнномъ сохраненіи комбинаціи 1—0,3.

Задача эта сводится къ возможно болѣе точному построению кривой

$$V = \psi(s),$$

и потому вопросъ о спрямленіи профиля для правильнаго ея рѣшенія приобретаетъ особую остроту.

Также какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, для этого случая на листѣ III приложенномъ въ концѣ книги построены кривыя  $V$  и  $t$  для трехъ профилей

- 1) дѣйствительнаго;
- 2) спрямленнаго примѣнительно къ формулѣ (\*) и
- 3) спрямленнаго въ одну линію.

Что же касается значеній  $V$ , наблюдавшихся во время испытанія комбинаціи 1—0,3, то, благодаря тому, что сопротивление опытнаго поѣзда при расчетѣ было значительно переоцѣнено, онѣ лежатъ значительно выше расчетныхъ; характеръ же измѣненія  $V$  наиболѣе подходит къ кривой 2, хотя повидимому нѣсколько болѣе грубое спрямленіе могло бы дать еще большее совпаденіе.

Что же касается времени хода, то самое грубое спрямленіе даетъ

$$T = 95',$$

а оба другихъ

$$T = 96'.$$

Нельзя, однако, не отмѣтить, что оба эти примѣра, судя по которымъ то или иное спрямленіе не отражается вовсе на времени хода, относятся къ главной линіи Николаевской ж. д., трассированной по преимуществу настолько мягкими подъемами, что естественно возникаетъ сомнѣніе, приложимы ли выводы, которые мы сдѣлали изъ нихъ, къ большинству русскихъ дорогъ. Это заставляетъ насъ разобрать еще одинъ примѣръ съ болѣе пересяченнымъ профилемъ.

**Примѣръ 13.** Выяснить наиболѣе цѣлесообразное смягченіе профиля порегона Баталино — Фирово Полоцкой линіи Николаевской ж. д. для расчета времени хода товарнаго поѣзда вѣсомъ 61000 пуд. при паровозѣ 0—4—0 БЧ.

Чтобы не затемнять чертежа построимъ кривыя  $V$  и  $t$  по способу Липеца-Лебедева только для двухъ спрямленій профиля, изъ которыхъ одно удовлетворяетъ формулѣ

$$s \leq \frac{650}{\sqrt{(i_0 - i_c)^2}}$$

что значительно строже нашей основной формулы

$$s \leq \frac{2000}{\sqrt{(i_0 - i_c)^2}} \quad \dots \dots \dots \text{C}$$

а другое формулѣ

$$s \leq \frac{4100}{\sqrt{(t_0 - t_c)^2}},$$

что представляетъ изъ себя уже болѣе грубое спрямленіе чѣмъ это позволяетъ формула (\*). Кривыя для перваго спрямленія нанесены на листѣ III, приложенномъ въ концѣ книги сплошными линиями, а для втораго — пунктиромъ изъ одѣхъ точекъ. Тамъ же пунктиромъ изъ тире и точекъ приведены и кривыя имѣвшія мѣсто во время четырехъ опытныхъ поѣздокъ.

Изъ этого чертежа видно, что для обоихъ спрямленій

$$T = 32'$$

среднее же изъ опытныхъ поѣздокъ

$$T = 34.$$

Что же касается кривыхъ  $V$  то для перваго спрямленія опытная кривая очень хорошо сходится съ расчетной, а для втораго рѣзко расходятся.

Такимъ образомъ и этотъ примѣръ подтверждаетъ сказанное на стр. 246 и 251. Для опредѣленія времени хода профиль можно спрямлять очень грубо. Для того же чтобы получить надежную кривую

$$V = \psi(s)$$

спрямленіе приходится производить въ гораздо болѣе тѣсныхъ предѣлахъ, однако и въ этомъ случаѣ вести расчетъ по реальному профилю нѣтъ никакого основанія. Не говоря уже о потерѣ времени надо помнить, что нѣкоторое спрямленіе профиля приближаетъ кривую скоростей къ дѣйствительности, а не удаляетъ отъ нея.

## ГЛАВА VIII.

### Опредѣленіе расхода воды и топлива.

§ 71. Сущность этихъ расчетовъ. Въ главѣ II въ достаточной степени было выяснено, что сила тяги паровоза или точнѣе степень форсировки котла  $z$  можетъ колебаться въ зависимости отъ произвола машиниста въ довольно широкихъ предѣлахъ. Въ предыдущей, главѣ было показано, какимъ образомъ, задавшись опредѣленнымъ закономъ измѣненія  $F$ , можно подсчитать время, нужное для прохода поѣзда даннаго вѣса отъ станціи до станціи. Очевидно, однако, что задаваясь разными законами для  $F$  мы тѣмъ самымъ измѣняемъ и среднее  $z$ , а слѣдовательно и расходъ топлива. Поэтому при выясненіи вопроса о наимыгоднѣйшемъ использованіи даннаго типа паровоза необходимо для разныхъ способовъ его утилизациі подсчитывать не только время хода, но и расходъ топлива.

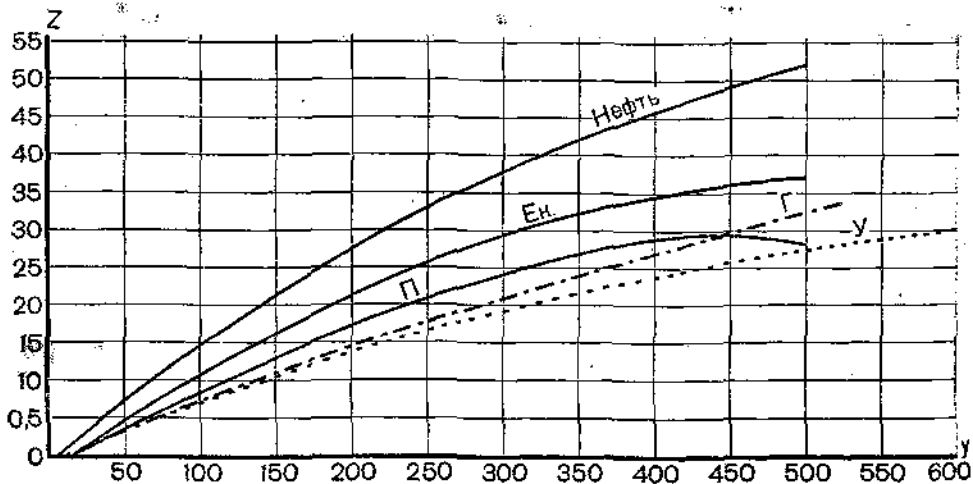
Эти же расчеты полезно производить и при установленіи нормъ на топливо, что, къ сожалѣнію, у насъ почти никогда не дѣлается. Въ этомъ случаѣ, конечно, надо задаваться среднимъ вѣсомъ поѣзда, опредѣляемымъ статистическимъ путемъ, и  $z$  соответствующимъ этому вѣсу и заданному расписаніемъ времени хода. Что же касается расхода воды, то его приходится опредѣлять, во первыхъ при расчетѣ водоснабженія, а во вторыхъ при выясненіи пунктовъ набора воды. Въ первомъ случаѣ приходится задаваться наибольшими возможными  $Q$  и  $z$ ; а во второмъ принятымъ въ эксплуатаціи  $Q$  и, на случай плохой погоды и оказаній, наибольшимъ  $z$ . Впрочемъ  $z$  вліяетъ на количество воды, расходуемой поѣздомъ даннаго вѣса на данномъ участкѣ, сравнительно мало.

Переходя къ приемамъ опредѣленія расхода воды и топлива, отмѣтимъ прежде всего, что послѣдній расходъ всегда опредѣ-

ляется по первому помощи зависимости

$$z = \phi(y), \dots \dots \dots 70$$

изображенной для нормального паровоза на фиг. 18. Опредѣливъ тѣмъ или инымъ способомъ среднюю форсировку котла за по-



Фиг. 18.  $O^B$ , (см. стр. 37).

ѣздку  $z_c$ , по ней, имѣя для данного топлива зависимость 70, легко найти и  $y_c$ . Искомый же расходъ топлива за поѣздку

$$E = y_c GT, \dots \dots \dots 71$$

гдѣ  $T$  соответственное время хода.

Противъ такого способа опредѣленія  $E$ , естественно, возникаетъ то соображеніе, что среднее за поѣздку  $z$  соответствуетъ на кривой

$$z = \phi(y)$$

среднему  $y$  только въ томъ случаѣ, если эта кривая обращается въ прямую. Дѣло, однако, въ томъ, что, во первыхъ, эти кривыя въ той части, которая соответствуетъ обычнымъ условіямъ практики, близки къ прямымъ, а во вторыхъ, что по способу своего построения онѣ въ сущности представляютъ изъ себя кривыя

$$z_c = \phi(y_c),$$

а не

$$z = \phi(y_c),$$

ибо на опытахъ опредѣляется расходъ пара и топлива за цѣлую

поѣздку т. е.  $z$  и  $y_p^3$  опредѣлить же мгновенныя значенія  $z$  и  $y$  невозможно.

Что же касается расхода пара и воды, то онъ опредѣляется ими по средней форсировкѣ или по комбинаціямъ  $q$  и  $v$ , въ зависимости отъ того, какъ опредѣлялась сила тяги при расчетѣ  $T$ .

§ 72. Расчетъ расхода пара по  $z_c$ . Если бы расчетная степень форсировки котла  $z_p$  оставалась дѣйствительно постоянной, то расходъ пара опредѣлялся бы очень просто изъ формулы

$$B = z_p HT \dots \dots \dots 72a$$

Дѣло, однако, въ томъ, что часть пути паровозъ проходитъ при закрытомъ регуляторѣ; поэтому въ формулу 72 во всякомъ случаѣ вмѣсто  $T$  надо поставить

$$t_n = T - t_0,$$

гдѣ  $t_n$  время хода съ открытымъ, а  $t_0$  съ закрытымъ регуляторомъ. Съ другой стороны и формула

$$B = z_p t_n H \dots \dots \dots 72b$$

не представляется точной, ибо, какъ это ясно изъ фигуры 115, относящейся къ индикаторной силѣ тяги при движеніи по подъемамъ отъ  $i_n$  до  $i_m$  съ предѣльной дозволенной скоростью  $V_m$  намъ по неволѣ приходится пользоваться значеніями

$$z < z_p,$$

поэтому среднее на всю поѣздку значеніе форсировки котла

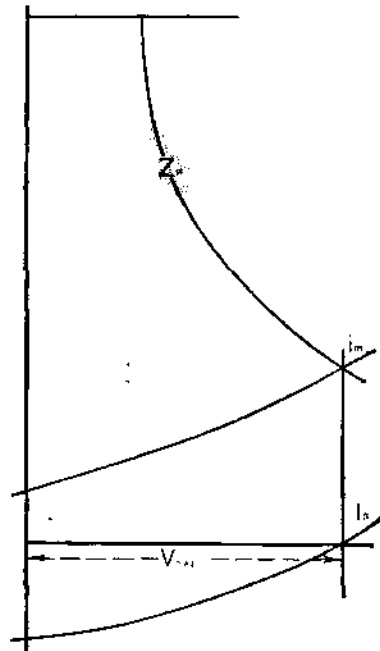
$$z_c < z_p$$

выражается формулой

$$z_c = \frac{\sum z t}{\sum t}, \dots \dots \dots 73$$

гдѣ  $t$  время, проходимое при опредѣленной форсировкѣ котла. Если суммирование распространено только на участки, проходимые съ открытымъ регуляторомъ, то

$$\sum t = t_n$$



Фиг. 115.

и въ этомъ случаѣ

$$B = z_c t_n H = H \Sigma z t \dots \dots \dots 74$$

Если же суммирование распространено и на участки, проходимые безъ пара, то

$$\Sigma z t = T$$

и

$$B = z_c H T; \dots \dots \dots 72$$

но такъ какъ  $\Sigma z t$  въ обоихъ случаяхъ остается безъ измѣненія, то за силой формулы 73 мы по старому имѣемъ

$$B = H \Sigma z t \dots \dots \dots 74$$

Наиболѣе удобный способъ подсчета  $\Sigma z t$  состоитъ въ томъ, что на основаніи фиг. 115 составляется для поѣзда данного вѣса кривая

$$z = \varphi(i_k) \dots \dots \dots 75$$

напоминающая собой по идеѣ кривую

$$\frac{60}{V} = \psi(i_k),$$

которую мы строили при расчетѣ времени перегоговъ обыкновеннымъ способомъ. Построеніе кривой  $\varphi$  проще всего вести, исходя изъ кривой

$$F = \varphi'(z),$$

построенной на основаніи кривыхъ

$$F = \varphi_k(z, V)$$

для наибольшей дозволенной скорости  $V_m$ . Дѣло въ томъ, что при постоянной скорости, полное сопротивленіе поѣзда данного вѣса

$$W = (w_0 + i_k)(P + Q)$$

есть функція только одного подъема. Поэтому, имѣя для  $V = V_m$  такую зависимость

$$W = f(i_k), \dots \dots \dots (*)$$

а также зависимость

$$F = \varphi'(z), \dots \dots \dots (**)$$

мы на основаніи уравненія установившагося движенія

$$F = W \dots \dots \dots \text{Пу}$$

легко можемъ получить искомую зависимость

$$z = \varphi(i_k) \dots \dots \dots 75$$

Совмѣстное рѣшеніе уравненій (\*) и (\*\*\*) графическимъ путемъ сводится къ пересѣченію кривой

$$F = \phi'(z)$$

горизонтальными прямыми

$$W = (w_0 + i_k)(P + Q)$$

для разныхъ  $i_k$  и  $V = V_m$ . Можно, конечно, всё эти операции производить и не съ абсолютными значеніями  $F$  и  $W$ , а съ удѣльными, т. е. исходить изъ нашей основной формы уравненія установившагося движенія

$$f = w_0 + i \dots \dots \dots \Pi_y$$

и засѣкать кривую

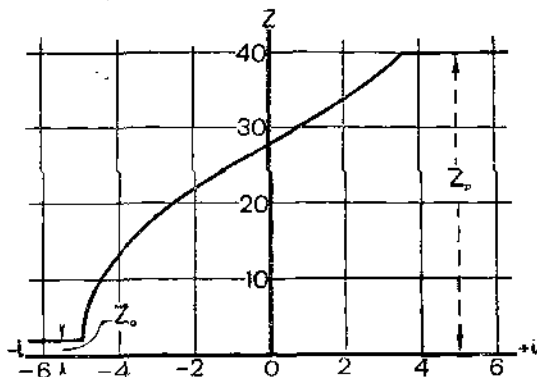
$$f = \phi(z)$$

при  $V = V_m$  горизонтальными прямыми  $w_0 + i_k$  для разныхъ  $z$ . Это однако менѣе удобно.

Такъ или иначе, но въ результатъ всѣхъ этихъ построеній мы получаемъ кривую

$$z = \varphi(i_k),$$

имѣющую очертаніе, показанное на фиг. 117. Заслуживаетъ вни-



Фиг. 117.

манія тотъ фактъ, что эта кривая не должна пересѣкать ось  $i_k$ ; при уменьшеніи же  $i_k$  за нѣкоторый предѣлъ она должна становиться параллельной оси абсциссъ. Иными словами даже на самыхъ крутыхъ уклонахъ мы имѣемъ

$$z = z_0 > 0.$$

Это объясняется тѣмъ, что и при закрытомъ регуляторѣ паровозъ расходуетъ въ часъ нѣкоторое количество пара

$$z_0 H$$



на сифонъ, тормазъ, форсунку, подогреваніе нефти и т. п.

Но если это такъ, то естественно возникаетъ вопросъ, имѣемъ ли мы право наше основное условіе постоянства  $z$  писать подъ видомъ

$$U = zH \dots \dots \dots$$

и не слѣдовало-ли бы его представить подъ видомъ

$$U = (z - z_0)H \dots \dots \dots$$

Это замѣчаніе совершенно правильно, и до сихъ поръ поправка на  $z_0$  не вводилась въ наши формулы только для того, чтобы этой мелочью ( $z_0 \simeq 2$ ) не отвлекать вниманіе читателя отъ существа разсматриваемыхъ явленій. Когда же по даннымъ опытовъ строятся кривыя

$$F_k = \varphi_k(z, V),$$

то кривыя

$$u = \psi(V)$$

фактически пересѣкаются не гиперболами

$$uV = \frac{\pi z HD}{10^6 z} \dots \dots \dots 136$$

(см. стр. 30), а гиперболами

$$uV = \frac{\pi D}{16^6 z} (z - z_0)H \dots \dots \dots 130$$

Надписи же, которыя стоятъ на кривыхъ

$$F_k = \varphi_k(z, V),$$

относятся къ котловому  $z$ , а не къ разности  $z - z_0$ , которую называютъ машиннымъ  $z$ , или  $z_m$ . Поэтому, пользуясь для расчетовъ кривыми, приведенными въ „паспортахъ“ намъ не надо дѣлать никакихъ поправокъ на  $z_0$ . Тѣмъ не менѣе значеніе этой величины намъ необходимо для построенія кривой

$$z = \varphi(\delta_k).$$

Дѣло, однако, усложняется еще тѣмъ, что величина  $z_0$  не постоянная, а растетъ съ увеличеніемъ  $z$  примѣрно по закону

$$z = a + b(z - z_0).$$

Для насъ впрочемъ сейчасъ интересно только  $z_0$  при  $z = 0$  т. е.

$$z_0 = \frac{a}{b},$$

что мы въ дальнѣйшемъ и будемъ понимать подъ символомъ  $z$ . Значенія этой величины для наиболѣе распространенныхъ русскихъ паровозовъ приведены въ таблицѣ XXXIII.

Таблица XXXIII. Значенія  $z_0$ .

Паровозъ Отопленіе	С	К	Ку	В	Уу	Ну	На	О	Щ	Ы*
Угольное и дровяное . .	0,5	0,5	—	0,5	—	0,7	0,7	0,7	0,4	—
Нефтяное лѣтомъ . . . .	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,5	1,5	1,5	—	0,5
Нефтяное зимой . . . . .	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	—	1,5

При наличіи кривой

$$z = \varphi(t_k) \dots \dots \dots 75$$

нахожденіе

$$B = H \sum z t \dots \dots \dots 74$$

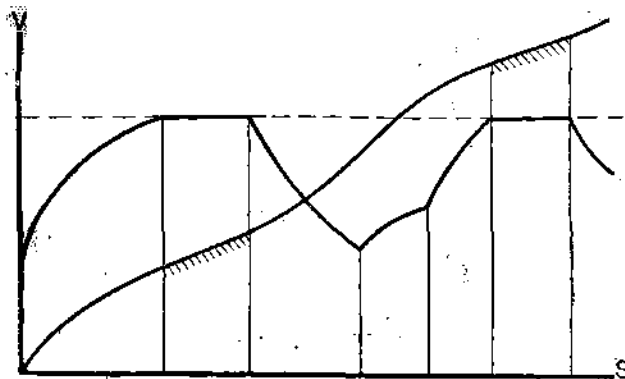
не представляетъ никакихъ затрудненій. Приэтомъ, если расчетъ ведется обыкновеннымъ способомъ, то значенія  $z$  изъ кривой 75 можно даже выписывать въ бланкъ расчета (стр. 196) для чего въ немъ надо прибавить три графы:  $z$ ,  $zt$  и  $B$ . Если же расчетъ ведется графически, то прежде всего надо, пользуясь кривыми

$$V = \varphi(s)$$

и

$$t = x(s),$$

выдѣлить, какъ показано на фиг. 118, тѣ элементы времени, для



Фиг. 118.

которыхъ скорость равна  $V_m$ , отмѣченной на этой фигурѣ пункти-

ромъ; и для нихъ затѣмъ подобрать  $z$ , сообразно тому, какими значеніями  $F$  на этихъ участкахъ пользовались при построении кривыхъ

$$V = \psi(s)$$

и

$$t = \chi(s).$$

**Примѣръ 14.** Построить диаграмму

$$z = \varphi(i_k)$$

для паровоза 1—3—1 С при обслуживаніи имъ курьерскаго поѣзда вѣсомъ 350 тоннъ съ предѣльной скоростью 100 km/h и  $z_p = 50$ .

Согласно фиг. 30 (стр. 78) удѣльное сопротивление паровоза 1—3—1 С при  $V = 100$

$$w'_0 = 6,9;$$

удѣльное же сопротивление восьмиколесныхъ вагоновъ при такой скорости согласно формулѣ автора (стр. 72)

$$w''_0 = 1,5 + 0,2 V \frac{V + 100}{1000} = 6,5.$$

Поэтому сопротивление всего нашего поѣзда, какъ системы повозокъ, при  $V = 100$  на площадкѣ

$$W_0 = Pw'_0 + Qw''_0 = 6,9 P + 6,5 \cdot 350;$$

а такъ какъ  $P = 125$  [т], то

$$W_0 = 3140.$$

На подъемѣ же  $i_k$

$$W = W_0 + (P + Q) i_k = 3140 + 475 i_k.$$

Съ другой стороны при установившемся движеніи

$$F_k = \varphi(z, V) = W$$

и потому въ нашемъ случаѣ  $i_k$  и  $z$  связаны уравненіемъ

$$\varphi'(z) = 3140 + 475 i_k. \quad \dots \quad 75x$$

Если бы зависимость

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

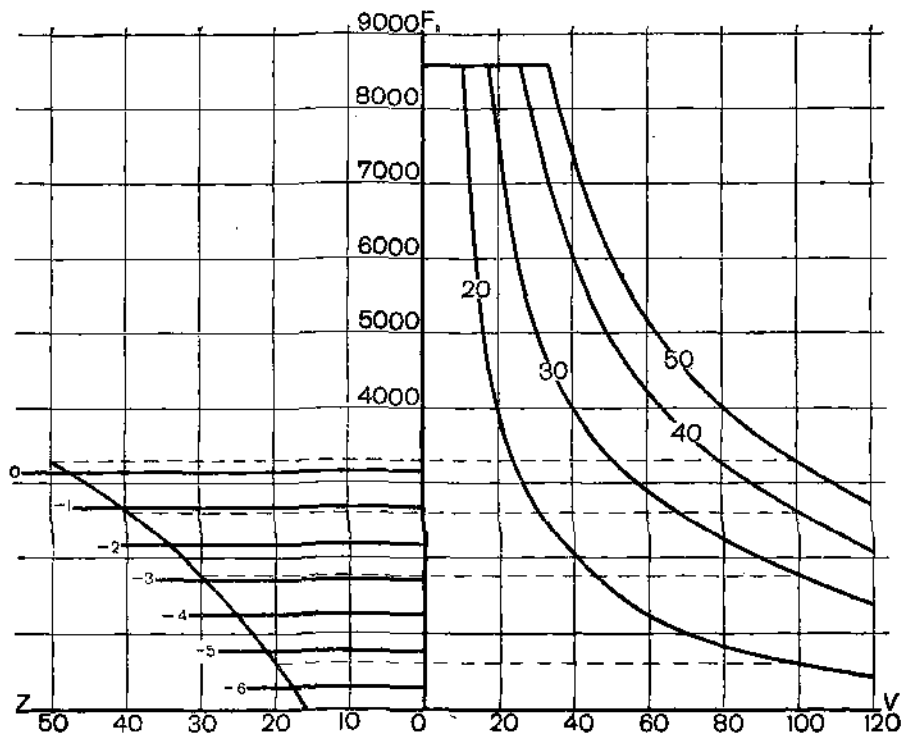
была намъ задана въ видѣ формулы, полученіе уравненія 75x исчерпывало бы нашу задачу. Дѣло однако въ томъ, что на «паспортахъ» зависимость

$$F_k = \varphi_k(z, V)$$

дается не въ видѣ формулы, а въ видѣ пучка кривыхъ. Въ частности для «Прери» онѣ имѣютъ видъ, показанный на правой сторонѣ фиг. 119. Впрочемъ построение на основаніи этихъ кривыхъ кривой

$$F_k = \phi'(z)$$

для  $V = 100$  не встрѣчаетъ никакихъ затрудненій. Для этого достаточно перенести значенія  $F_k$  для  $z = 20, 30, 40, 50$ , какъ это показано на фиг. 119 пунктиромъ, на соответственныя мѣста левой ея стороны, гдѣ за ось абсциссъ принята ось  $z$ .



Фиг. 119. 1—3—1 C; Q=350.

Для того же, чтобы отъ кривой

$$F_k = \phi'(z) \dots \dots \dots (**)$$

для  $V = 100$  перейти къ искомой зависимости

$$\varphi_k(z) = W = 3140 + 475 z_k$$

строимъ рядъ горизонтальныхъ прямыхъ

$$W = 3140 + 475 z_k \dots \dots \dots (*)$$

для  $i_k = -1, -2, \dots$  какъ показано на фиг. 119. Точки пересѣченія ихъ съ построенной нами кривой

$$F_k = \varphi_k(z)$$

для  $V = 100$ , удовлетворяя одновременно уравненіямъ (\*) и (\*\*), удовлетворяютъ тѣмъ самымъ и уравненію 75х. Такимъ образомъ путемъ измѣренія по фиг. 119 значений  $z$  соотвѣствующихъ этимъ точкамъ пересѣченія, мы получимъ для разныхъ  $i_k$  искомыя нами значенія  $z$ . Они приведены въ таб. XXXIV.

Т а б л и ц а XXXIV.

Уклонъ $i_k$	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
$W = 3140 + 475 i_k$ . . .	3140	2660	2190	1710	1240	760	290
$z$ . . . . .	47,5	40,0	34,3	29,4	25,0	21,4	17,5

Такъ какъ для  $z < 20$  опытныхъ данныхъ нѣтъ, то уже для опредѣленія  $z$  соотвѣствующаго 0,006 уклону приходится прибѣгать къ нѣкоторой экстерполяціи. Это обстоятельство на первый взглядъ дѣлаетъ невозможнымъ построеніе искомой нами кривой

$$z = \varphi(i_k)$$

для  $z < 17,5$ . Изъ этого затрудненія, однако, можно выйти, опредѣливъ тотъ уклонъ  $i_k$ , для котораго  $z = z_0$ , т. е. по которому нашъ поѣздъ пойдетъ съ  $V = 100$  при закрытомъ регуляторѣ. Для опредѣленія его мы имѣемъ уравненіе

$$F_i = (w'_0 + w'_m)P + w''_0 Q + (P + Q) i_n = 0,$$

причемъ для паровоза С согласно сказанному на стр. 80

$$w'_0 + w'_m = 3 + 0,04V + 0,0006V^2 + 0,000013V^3$$

послѣдняя формула при  $V = 100$  даетъ

$$w'_0 + w'_m = 26,$$

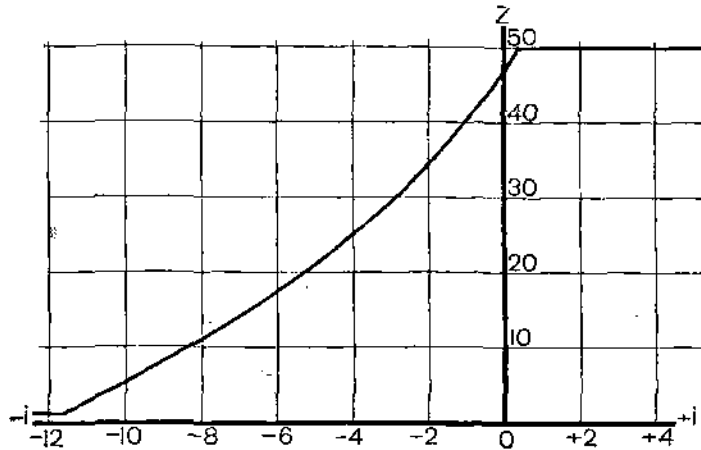
откуда

$$i_n = -11,6.$$

Такимъ образомъ для построенія кривой

$$z = \varphi(i_k)$$

мы имѣемъ 8 точекъ: 7 изъ таблицъ XXXIV и одну при  $i_k = i_n$ , т. е. при  $z = z_0$ . Построенная такимъ образомъ кривая приведена на фиг. 120. Противъ нея можно сдѣлать, однако, то возраже-



Фиг. 120. 1—3—1 C; Q=360.

ніе что въ ней отсутствуетъ скачокъ, который долженъ характеризовать закрытіе регулятора. Дѣло въ томъ, что въ этотъ моментъ непрерывность функции

$$W_0 = f(V)$$

нарушается и она сразу при томъ же  $V$  послѣ значенія

$$W_0' = (w_0' + w_m)P + w_0''Q$$

принимаетъ значеніе

$$W_0' = (w_0' + w_m')P + w_0''Q,$$

гдѣ

$$w_m' > w_m.$$

Практическое значеніе этого обстоятельства, впрочемъ, ничтожно, а главное у насъ нѣтъ опытныхъ данныхъ для его учета. Поэтому мы и впредь будемъ строить

$$z = \varphi(i_k)$$

безъ этого скачка, какъ и въ данномъ случаѣ.

**Примѣръ 15.** Определить расходъ воды и нефти паровозомъ № при обслуживаніи скорого поѣзда въсомъ 460 тоннъ на участкѣ Серпуховъ-Тула согласно заданій, изложенныхъ на стр. 187.

Такъ какъ расчетъ времени хода для этого участка при  $z = 50$  мы дѣлали и способомъ Липеца и обыкновеннымъ, то

расходъ воды подсчитаемъ примѣнительно къ обоимъ этимъ приемамъ. Начнемъ съ перваго. При построении кривыхъ

$$V = \psi(s)$$

и

$$t = \chi(s),$$

приведенныхъ на листѣ I, приложенномъ въ концѣ книги, на разу не пришлось пользоваться значеніями силы тяги, отвѣчающими

$$z < 50.$$

Иными словами на всемъ протяженіи отъ Серпухова до Тулы мы имѣли только два  $z = z = 50$  и  $z = z_0 = 2$ . Первому соответствуетъ  $t = 92,2'$ , а второму  $17'$ . Поэтому согласно формулы

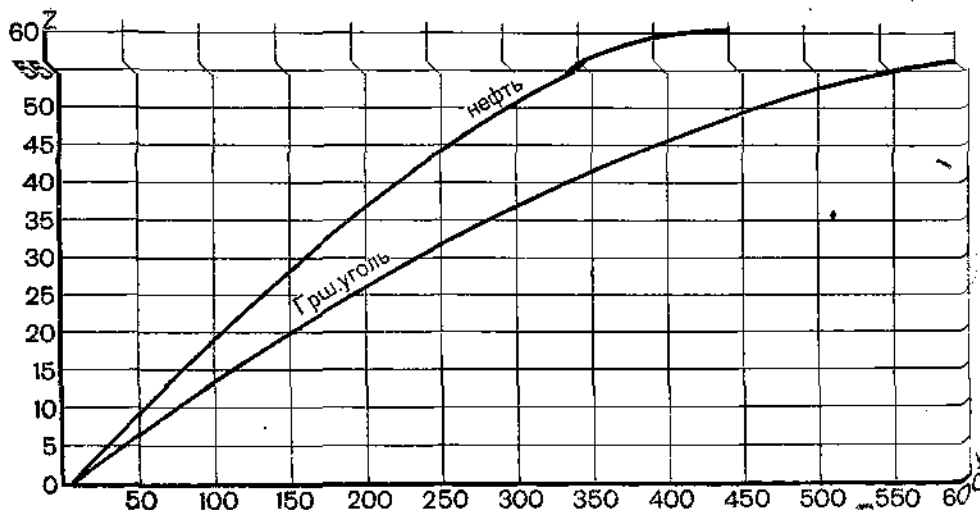
$$B = H \Sigma z t \dots \dots \dots 74$$

мы имѣемъ

$$B = \frac{156,8}{60} (50 \cdot 92,2 + 2 \cdot 17) = 12100 \text{ [kgf]}$$

$$z_c = \frac{60B}{HT} = \frac{60 \cdot 12100}{156,8 \cdot 109,2} = 42,2.$$

Что же касается расхода нефти, то согласно фиг. 121  $z_c = 42,2$  соответствуетъ



Фиг. 121. 1—3—0. Нв.

$$y_c = 240,$$

откуда

$$E = y_c GT = 1140 \text{ [kgf]}.$$

При опытной же поѣздкѣ № 36 непосредственное измѣрѣніе дало

$$B = 18100$$

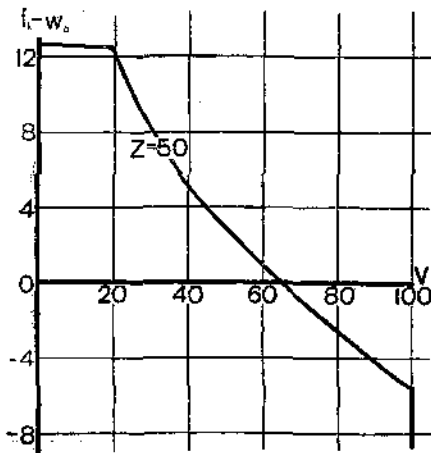
$$E = 1235$$

т. е. на 8% больше, что обуславливается значительнымъ пропускомъ пара во время этой поѣздки (см. стр. 190).

Опредѣлимъ теперь  $B$  и  $E$  вторично, пользуясь данными обыкновеннаго способа расчета времени хода. Для этого прежде всего надо построить кривую

$$z = \varphi(i_k),$$

а затѣмъ для разныхъ  $z$  подсчитать значенія  $zI$ . Изъ фиг. 98 видно, что  $V = 100$  въ нашемъ случаѣ достигается при  $z = 50$



Фиг. 98. Ну.

только на

$$i_m = -5,9.$$

Что же касается уклона  $i_n$  по которому нашъ поѣздъ пойдетъ съ  $V = 100$  безъ пара, то онъ найдется изъ уравненія

$$P(w'_0 + w'_m) + Qw'_0 + (P + Q)i_n = 0,$$

что при

$$w'_0 = 7,$$

$$P = 100,$$

и

$$w'_0 + w'_m = 26,$$

$$Q = 460,$$

дастъ

$$i_n = -10,5.$$

Такимъ образомъ въ нашемъ случаѣ уменьшенными  $z$  приходится пользоваться только при уклонахъ отъ 5,9 до 10,5 ‰. А такъ какъ ихъ въ этомъ случаѣ сравнительно не много, то, не рискуя впасть въ серьезную ошибку можно принять, что  $z$  въ этихъ предѣлахъ измѣняется по закону прямой. Такъ и построена діаграмма

$$z = \varphi(i_k),$$

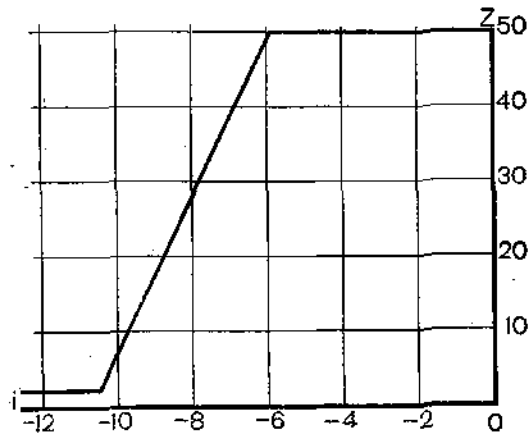
приведенная на фиг. 122.

Выищемъ теперь изъ таблицы времени хода по уклонамъ

$$i_k < -5,9$$



и по нимъ съ помощью фиг. 122 подсчитаемъ, какъ показано



Фиг. 122.  $H^y$ ;  $Q=460$ .

въ таблицѣ XXXV, величину

$$\sum zt$$

для элементовъ пути проходимыхъ съ

$$z < 50.$$

Т а б л и ц а XXXV.

Станція	$t_k$	$t$	$z$	$zt$
Серпуховъ . . . . .	-8,0	2,06	28	57,7
" . . . . .	-11,3	0,26	2	0,52
Ока . . . . .				
Свинская . . . . .				
Тарусская . . . . .	-6,0	0,75	49	36,7
" . . . . .	-7,0	0,66	38,5	25,4
Пахомово . . . . .	-7,9	1,10	28,5	81,3

Станция	$i_k$	$l$	$z$	$zt$
Шульгино . . . . .	-8,6	0,90	21,5	18,4
Лаптево . . . . .	-6,5	0,64	44	28,2
	-8,5	0,82	23	18,8
	-7,5	0,81	34	27,5
Ревякино . . . . .	-6,4	1,50	45	67,5
	-7,5	0,89	33	29,4
Хомяково . . . . .	-6,4	0,53	44,5	23,6
Туза . . . . .	-7,7	4,85	30,5	147,7
Итого . . . . .	—	17,9	—	517,0

На стр. 212 для этого участка мы нашли

$$T = 124,4,$$

откуда время хода при  $z = 50$

$$T' = 124,4 - 17,9 = 106,5$$

и соответственное

$$\Sigma zt = 5325.$$

Полное же

$$\Sigma zt = 5325 + 517 = 5840 \text{ [kgr]},$$

откуда

$$B = \frac{H}{60} \Sigma zt = 15150 \text{ [kgr]}$$

$$z_c = 47$$

$$y_c = 270$$

$$E = \frac{G y_c}{60} T = 1440 \text{ [kgr]}.$$

Таким образом расход пара и нефти при обыкновенном способе расчета времени хода получился у нас на 25—27%

больше чѣмъ при способѣ Липеца, или на 16—17% больше, чѣмъ мы имѣли во время поѣздки № 36 несмотря на пропускъ пара.

Этотъ примѣръ весьма наглядно показываетъ, насколько обыкновенный способъ преувеличиваетъ расходы воды и топлива. Этого, впрочемъ и слѣдовало ожидать, ибо, во первыхъ, онъ вовсе не учитываетъ искусство машиниста, а, во вторыхъ, при немъ расчетъ расходовъ идетъ отъ времени, которое въ свою очередь при этомъ способѣ всегда замѣтно преувеличено (см. стр. 234).

**Примѣръ 16.** Нужно ли при обслуживаніи паровозомъ 1—3—0 Ну скорого поѣзда вѣсомъ 460 тоннъ согласно заданій, изложенныхъ на стр. 187, производить на участкѣ Серпуховъ — Тула наборъ воды на промежуточныхъ станціяхъ?

Наибольшій изъ опредѣленныхъ нами расходовъ пара

$$B = 15150,$$

прибавляя къ этому расходу 5% на потерю воды инжекторами и 10% на всякія случайности получаемъ расходъ воды

$$B' = 17300 \text{ kgr.} \approx 17,3 \text{ m}^3.$$

Номинальная емкость 4-хъ оснаго тепдера Ну — 23 м<sup>3</sup>, полезная же, если считать, что послѣдній кубическій метръ можно израсходовать не при всякихъ инжекторахъ, — 22 м<sup>3</sup>, что больше  $B'$ . Поэтому наборъ воды безусловно не нуженъ.

**Примѣръ 17.** Можно ли выдержать росписаніе скорого поѣзда на участкѣ Серпуховъ — Тула, установленное въ таблицахъ XVIII и XXXI при отопленіи паровоза Ну Гришинскимъ, углемъ и какъ будетъ великъ эквивалентъ этого угля при такихъ условіяхъ по отношенію къ нефти?

Кривая

$$z = \phi(y)$$

для Гришинскаго угля приведенная на фиг. 121 пересекаетъ горизонталь  $z = 50$ , поэтому, вообще говоря, на первый изъ поставленныхъ вопросовъ надо отвѣтить удовлетворительно. Но съ другой стороны тотъ фактъ, что опытная кривая для нефти подымается за  $z = 60$ , а угольная только  $z = 57$  указываетъ, что степень надежности при выполненіи нашего росписанія будетъ различная, и дѣйствительно отъ поѣздки № 410, 14 іюля 1914 г. когда на Гришинскомъ углѣ было достигнуто  $z = 57$  у меня осталось такое впечатлѣніе, что это уже предѣлъ, который не только превзойти, но и достичь въ регулярной службѣ почти невозможно.

При  $z_c = 42,2$  на Гришинскомъ углѣ

$$y_c = 355,$$

откуда

$$E = yGT = 1690 \text{ [пуд.]},$$

что на 33% больше, чѣмъ мы имѣли для нефти. Поэтому для *рассматриваемыхъ условий* эквивалентъ Грипинскаго угля равенъ 138, т. е. 138 пуд. этого угля при обслуживаніи скорого поѣзда вѣсомъ 460 тоннъ на участкѣ Серпуховъ—Тула паровозомъ 1—3—0 Н<sup>у</sup> дають тотъ же эффектъ, какъ 100 пуд. нефтяныхъ остатковъ.

**Примѣръ 18.** Определить расходъ пара и нефти нормальнымъ паровозомъ при обслуживаніи на участкѣ Бологое II—Осташковъ Ник. ж. д. полногрузнаго поѣзда вѣсомъ 870 тоннъ при  $z_p = 20$ .

Пользуясь тѣми же самыми приемами, какъ и въ предыдущихъ примѣрахъ, формулой

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}$$

и определяя время способомъ Липеца, а также получаемъ цифры, приведенныя въ таблицѣ XXXVI. Тамъ же приведены и средніе изъ результатовъ 2 опытныхъ поѣздовъ,

Т а б л и ц а XXXVI.

	$z$	$t$	$B$	$E$
Расчетныя . . . . .	20	361	16750	1450
Среднія изъ поѣздовъ . . . . .	25	327	16055	1305
Разница въ % . . . . .	+20	-9	-4	-10

изъ которыхъ видно, что не смотря на нагонъ 34' противъ описанія, благодаря примѣненію невыгоднѣйшихъ комбинаціи мы имѣли 4% экономіи въ парѣ и 10% въ нефти.

**Примѣръ 19.** Определить расходъ пара и нефти тѣмъ же паровозомъ на перемѣщеніе поѣзда вѣсомъ 870 тоннъ изъ Осташкова въ Бологое II при  $z_p = 40$ .

Результаты расчетовъ, произведенныхъ тѣмъ же способомъ, какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ, и среднія изъ результатовъ 3-хъ поѣздовъ приведены въ таблицѣ XXXVII.

Оба эти примѣра наглядно показываютъ какую экономію въ топливѣ при «перевалистомъ» профилѣ можетъ дать нарушеніе

Т а б л и ц а XXXVII.

	<i>z</i>	<i>t</i>	<i>B</i>	<i>E</i>
Расчетная . . . . .	32	257	16530	1470
Средняя изъ поѣздокъ . .	32	242	12650	1060
Разница въ ‰ . . . . .	0	— 6	— 23	— 28

условія

$$z = \text{пост.}$$

§ 73. Расчетъ расхода пара по комбинаціямъ. Выше указывалось, что расходъ пара машиной въ часъ

$$U = \kappa \frac{10^6 V}{\pi D} u;$$

поэтому расходъ пара на 1 километръ пути равенъ

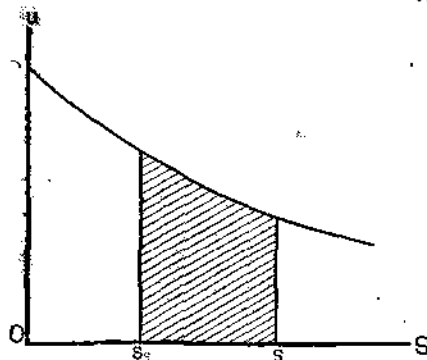
$$\frac{10^6 \kappa}{\pi D} u,$$

на элементъ *ds*

$$\frac{10^6 \kappa}{\pi D} u ds$$

и на протяженіи участка длиной *s — s<sub>0</sub>* километровъ

$$B_m = \frac{10^6 \kappa}{\pi D} \int_{s_0}^s u ds \dots \dots \dots 76$$



Фиг. 123.

Квадратура, входящая въ эту формулу, есть ничто либо иное какъ площадь кривой

$$u = \phi(s)$$

между двумя ординатами, соответствующими абсциссамъ *s<sub>0</sub>* и *s* (Фиг. 123). Величина же

$$\frac{10^6 \kappa}{\pi D} = C$$

для данного паровоза постоянна. Такимъ образомъ расчетъ расхода пара по комбинаціямъ

сводится къ построению

$$u = f(s)$$

для даннаго перегона.

Для возможности произвести такое построение необходимо знать, во первыхъ, въ какихъ мѣстахъ пути мѣняются комбинаціи и какъ именно, во вторыхъ, зависимость для каждой комбинаціи

$$u = \phi(V)$$

и, въ третьихъ, законъ измѣненія скорости на перегонѣ, т. е. зависимость

$$V = \psi(s).$$

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что рассматриваемый методъ опредѣленія  $B_m$  применимъ лишь къ случаю, когда время хода определялось по

$$F = \varphi(\rho, \varepsilon, V),$$

а не по

$$F = \varphi_k(x, V),$$

и кромѣ того, что его наиболее удобно применять при тѣхъ способахъ интегрированія уравненія движенія поѣзда, которые даютъ непосредственно

$$V = \psi(s).$$

При наличіи этой зависимости, построение въ предѣлахъ каждой комбинаціи по кривой

$$u = \phi(V)$$

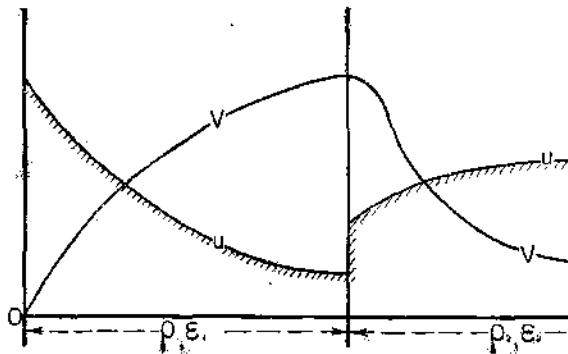
кривой

$$u = f(s)$$

и нахождение по ней

$$B_m = C \int_{s_0}^s u ds \dots \dots \dots 76a$$

не представляетъ никакихъ затрудненій.



Фиг. 121.

Насъ, однако, сейчасъ интересуетъ не расходъ пара машиной, а полное количество пара, образованное котломъ

$$B = B_m + \Sigma b, \dots \dots \dots 77$$

гдѣ  $\Sigma b$  сумма потерь пара на сифонъ, тормазъ, форсунку, подогреватель нефти и т. п. Зависимость 77 можетъ быть раскрыта опытнымъ путемъ. Въ частности, при опытахъ надъ типами русскихъ паровозовъ она дается подъ видомъ

$$z = a + bz_m, \dots \dots \dots 78$$

гдѣ  $a$  и  $b$  коэффициенты постоянные для даннаго типа. Помножая же всѣ члены уравненія на  $HT$ , мы получаемъ

$$B = aHT + bB_m \dots \dots \dots 78a$$

**Примѣръ 15.** Определить расходъ пара и нефти паровозомъ 1—3—0 Н<sup>у</sup> при обслуживаніи скорого поѣзда вѣсомъ 460 тоннъ согласно заданія, изложеннаго на стр. 187.

На листѣ I, приложенномъ въ концѣ этой книги, нанесена кривая

$$u = f(s)$$

въ масштабѣ

$$1 \text{ [km]} = 12 \text{ [m/m]}$$

$$1 \text{ [kgr]} = 25 \text{ [m/m]},$$

причемъ площадь этой кривой

$$\omega = 982 \text{ [m/m]}^2.$$

Отсюда слѣдуетъ, что въ системѣ km, kgr

$$\int_{s_0}^s u ds = \frac{982}{25 \cdot 12} = 3,27.$$

Что же касается величины

$$C = \frac{10^6 \kappa}{\pi D},$$

то для паровоза 1—3—0 Н<sup>у</sup> (системы компаундъ о 2 цилиндрахъ), у котораго

$$\kappa = 2$$

$$D = 1900 \text{ [m/m]},$$

$$C = \frac{2000000}{\pi \cdot 1900} = 335.$$

Поэтому

$$B_m = C \int_{z_0}^z u ds = 11000 \text{ [kgr]}.$$

Переходя къ  $B$ , воспользуемся указаниями опытовъ надъ паровозомъ Н<sup>у</sup>, согласно которымъ въ формулѣ

$$z = a + bz$$

$$a = 2$$

$$b = 1,$$

откуда при  $T = 111' = 1,84 \text{ [h]}$  и  $H = 156,8 \text{ [m]}^2$

$$B = aHT + bB_m = 580 + 11000 = 11580.$$

Это соотвѣтствуетъ

$$z_c = 38,5$$

$$y_c = 213$$

$$E = 1025.$$

При расчетахъ же по  $z_p = 50$  мы имѣемъ

$$B = 12100$$

$$E = 1140,$$

а во время опытной поѣздки № 36

$$B = 13100$$

$$E = 1235.$$

А такъ какъ кривая

$$u = f(s),$$

по которой мы дѣлали сейчасъ расчетъ, построена приближительно той программы управленія паровозомъ, которой машинистъ фактически держался во время поѣздки № 36, то можно считать, что величина

$$100 \frac{1235 - 1025}{1025} = 20,5\%$$

характеризуетъ вліяніе на расходъ нефти того *Пропуона* *Лорона* *золотякъ*, который имѣлъ мѣсто во время этой поѣздки (см. стр. 190).

**Примѣръ 20.** Какъ отразится на времени хода товарнаго поѣзда вѣсомъ 870 тоннъ при паровозѣ 0—4—0  $O^B$  повышение на участкѣ Вологое II—Осташковъ предѣльной скорости съ 30 до 50 км/ч, при условіи сохраненія того же расхода нефти?



Придерживаясь абсолютно невыгоднейших комбинаций и стремясь къ тому, чтобы въ обоихъ случаяхъ расходъ нефти былъ одинаковъ, строимъ по методу Липеца кривыя

$$V = \psi(s)$$

$$t = \chi(s)$$

и по способу, указанному въ этомъ §, кривую

$$u = f(s).$$

Затѣмъ, по этой послѣдней кривой находимъ  $B$ , а по нему, съ помощью фиг. 18 (стр. 37 и 256) и расходъ нефти  $E$ . Значенія этихъ величинъ приведены въ таблицѣ XXXVIII, гдѣ также даны и среднія изъ результатовъ пяти опытныхъ поѣздокъ, во время которыхъ точно выполнялась программа управленія паровозомъ, принятая при расчетѣ.

Т а б л и ц а XXXVIII.

	Расчетныя			Среднія изъ поѣздокъ			Разница въ %	
	$V_m = 30$	$V_m = 50$	Раз-ница %	$V_m = 30$	$V_m = 50$	Раз-ница %	$V_m = 30$	$V_m = 50$
$t$	312	264	-15,4	313	268	-14,3	-0,3	-1,7
$B$	15730	15860	+0,8	15170	15730	+4,0	+3,8	+0,5
$E$	1290	1295	0	1297	1285	-1,0	-0,5	+0,8

Изъ этой таблицы мы видимъ, что время хода, благодаря повышенію предѣльной скорости, безъ затраты топлива можетъ быть на нашемъ участкѣ уменьшено благодаря его «перевалистому» профилю на 15%. Это, конечно, выгодно, но только въ томъ случаѣ, если мы рискнемъ ѣздить съ такими скоростями по короткимъ уклонамъ безъ увеличенія числа тормазильщиковъ.

Въ данный моментъ, однако, заслуживаетъ вниманія не столько отвѣтъ на поставленный нами вопросъ сколько фактъ почти полнаго совпаденія расчетныхъ и опытныхъ данныхъ. Последнее особенно важно потому, что опытные поѣздки, о которыхъ сейчасъ идетъ рѣчь производились въ 1913 г. съ паровозомъ  $0^B$ , выстроеннымъ на Невскомъ заводѣ въ 1905 г., а опыты Цикла, по которымъ построенъ «паспортъ», производились въ 1908 г. надъ паровозомъ выстроеннымъ въ 1903 на Брянскомъ заводѣ.

Такая сходимость, однако, характерна только для расчетов по отсѣчкамъ и притомъ въ примѣненіи къ сравнительно исправнымъ паровозамъ. Какъ мы видѣли выше (см. стр. 194 и 275), при переходѣ къ расчетамъ по  $z$  мы, вслѣдствіе игнорирования искусства машиниста, уже замѣтно увеличиваемъ расходъ пара и топлива, при обыкновенномъ же способѣ расчета эта расходимость еще болѣе увеличивается въ силу увеличенія  $T$ , т. е. въ силу невѣрности предположеній Липца о природѣ поправокъ  $\tau$  (см. стр. 234). Наконецъ при неисправныхъ паровозахъ расходы увеличиваются еще вслѣдствіе неизбежныхъ при этомъ потерь, которыя не поддаются никакому учету, кромѣ непосредственнаго измѣренія.

§ 74. **Опредѣленіе расхода пара, воды и топлива паровозами, для которыхъ нѣтъ опытныхъ данныхъ.** Въ этомъ случаѣ, какъ и для полученія силы тяги надежнѣе всего распространить на паровозъ, о которомъ идетъ рѣчь, опытные данные, полученные для паровоза подходящаго типа. При этомъ для полученія кривыхъ  $u$ , какъ уже было указано на стр. 34, можно пользоваться однимъ изъ двухъ предположеній: или что у обоихъ паровозовъ для любой комбинаціи одинакова зависимость

$$\beta = \frac{u}{d^2 l \delta_k} = \varphi(n),$$

гдѣ  $n$  число оборотовъ въ секунду, или что у нихъ одинакова зависимость

$$\frac{U}{N_k} = \psi(q, \varepsilon, V).$$

Что же касается построенія по одному паровозу для другого зависимости

$$z = \phi(y)$$

для опредѣленнаго топлива, то его всего удобнѣе вести, исходя изъ предположенія, что у обоихъ паровозовъ одинакова зависимость между  $y$  и коэффициентомъ полезнаго дѣйствія котла

$$\eta_k \approx \frac{zHL}{yGK},$$

гдѣ  $L$  число калорій въ 1 kgr пара, а  $K$  теплотворная способность топлива.

Если же почему либо такой переносъ опытныхъ данныхъ съ одного паровоза на другой представляется неудобнымъ, или если расходъ воды и топлива требуется опредѣлить лишь приблизительно, то для этой цѣли можно воспользоваться найденными

изъ опыта надъ подходящими типами паровозовъ средними значеніями расхода пара на паровую лошадь въ часъ и средними значеніями испарительной способности даннаго топлива, т. е. средними значеніями  $U/N_k$  или  $U/N_i$  и  $U/C$ . Въ самомъ дѣлѣ, имѣя эти величины и работу, исполненную паровозомъ на данномъ участкѣ  $T \cdot 10^6$  кгг. м., мы получаемъ

$$B \simeq B_m = \frac{U \cdot T}{N \cdot 0,27} \dots \dots \dots 79$$

$$E = \frac{B \cdot C}{U} \dots \dots \dots 80$$

гдѣ 0,27 есть переводный коэффициентъ отъ миллионовъ кгг. м. къ паровымъ лошадямъ въ часъ<sup>1)</sup>.

Такъ какъ расчеты этого рода очень грубы, то и для опредѣленія работы, исполняемой паровозомъ на данномъ участкѣ, нѣтъ надобности прибѣгать къ точнымъ формуламъ сопротивленія. Это обстоятельство позволяетъ мнѣ въ данномъ случаѣ, и только въ немъ, рекомендовать и для пассажирскихъ поѣздовъ формулу

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20},$$

тѣмъ болѣе, что только при линейныхъ формулахъ среднее значеніе функціи соотвѣтствуетъ среднему значенію независимой переменнѣй. Поэтому, пользуясь этой формулой для опредѣленія ~~средняго  $w_0$  въ видѣ достаточна~~ подставить значеніе средней скорости.

Работу паровоза между двумя пунктами, гдѣ скорость поѣзда одинакова, можно представить себѣ состоящей изъ двухъ частей: работы, пошедшей на преодоленіе сопротивленія на площадкѣ и на преодоленіе силы тяжести. Вліяніемъ же кривыхъ при столь грубыхъ расчетахъ можно пренебрегать. Называя черезъ  $s$  длину всего нашего участка, а черезъ

$$w_c = 1,5 + \frac{V_c}{20}$$

среднее удѣльное сопротивленіе на площадкѣ, для работы на преодоленіе этого сопротивленія имѣемъ формулу

$$T_k = w_c \cdot s (P + Q);$$

<sup>1)</sup> Паровая лошадь есть мощность равная 75 килограммометровъ въ секунду. Паровая же лошадь въ часъ есть работа равная

$$60 \cdot 60 \cdot 75 = 270000 \text{ кгг. м.} = 0,27 \cdot 10^6 \text{ кгг. м.}$$

а для работы силы тяжести

$$T_k'' = 1000 (P + Q) h,$$

гдѣ  $h$  возвышеніе конечной точки пути надъ начальной въ метрахъ. Такимъ образомъ полная работа

$$T_k = (P + Q) \left[ \left( 1,5 + \frac{V_c}{20} \right) s + h \right] \dots \dots \dots 81$$

Формула эта, однако, вѣрна только въ томъ случаѣ, если мы не прибѣгаемъ къ помощи тормазовъ; въ противномъ случаѣ къ  $T_k$  надо еще прибавить работу тормазовъ

$$T_b = B s_b = 1000 \varphi_c \vartheta (P + Q) s_b,$$

гдѣ  $s_b$  путь, пройденный на тормазяхъ, а  $\varphi_c$  среднее значеніе  $\varphi$ , которое въ такихъ грубыхъ расчетахъ можно принять равнымъ 0,15. Если же, кромѣ того, считать  $\vartheta \approx 0,1$ , то

$$T_c \approx 15 s_b (P + Q),$$

и

$$T_k = (P + Q) \left[ \left( 1,5 + \frac{V_c}{20} \right) s + 1000 h + 15 s_b \right] \dots \dots 81a$$

Что же касается численныхъ значеній величинъ  $U/N_k$  и  $U/C$ , то для первой можно пользоваться таблицей XXXIX, а для второй значеніями

$$\frac{U}{C} = 6-7$$

для угля и

$$\frac{U}{C} = 11$$

для нефти.

Таблица XXXIX. Среднія значенія.  $U/N_k$  ( $L = 637$ )<sup>1)</sup>.

Расширеніе	П а р ь	Пассажи- рскіе	Товарные
Одвочное . . . . .	Насыщенный . . . . .	12—14	14—16
• . . . .	Перегрѣтый . . . . .	9—11	11—13
Компаундъ . . . . .	Насыщенный . . . . .	12—14	12—14
• . . . .	Перегрѣтый . . . . .	8—10	8—10

<sup>1)</sup> Иными словами, эта таблица даетъ расходъ въ „нормальномъ“ парѣ, что только и позволяетъ пользоваться ею для паровозовъ съ перегрѣвомъ.

**Примѣръ 19.** Пользуясь опытными данными для паровоза 0—4—0 0<sup>в</sup>, найти зависимость

$$z = f(y)$$

для паровоза 1—4—0 Ш при отопленіи его Прохоровскимъ углемъ.

Въ таблицѣ XL выписаны изъ фиг. 18 значенія  $z$  для паровоза 0<sup>в</sup>, соответствующія  $y = 100, 200$  и т. д.; тамъ же для  $L = 669$  и  $K = 7100$  подсчитаны значенія

$$\eta_k = \frac{zHL}{yGK}.$$

Принимая, что у паровоза Ш  $\eta_k$  будетъ имѣть тѣ же значенія, и зная, что у него

$$p_k = 14$$

$$L = 670$$

$$G = 2,8$$

$$H = 206,$$

по формулѣ

$$z = \frac{\eta_k y GK}{HL}$$

находимъ значенія  $z$ , показанныя въ таблицѣ XL. Тамъ же приведены и  $z$ , полученные изъ опыта надъ паровозомъ Ш. Сходи-

Т а б л и ц а X L.

	$y$	100	200	300	400	500
0 <sup>в</sup>	$z$	9,5	18,1	25,2	29,6	32,1
0 <sup>в</sup> , Ш	$\eta_k$	0,74	0,70	0,65	0,57	0,50
Ш	$z$	10,6	20,2	28,1	33,0	35,8
»	Опытное $z$	10,4	20,8	27,5	30,2	30,0
»	Разница %	+ 2	- 3	+ 2	+ 9	+ 19

мость между ними кромѣ  $y = 500$  вполне удовлетворительная.

**Примѣръ 15.** Определить грубо расходъ пара и топлива паровозомъ Н<sup>у</sup> при обслуживаніи скорого поѣзда вѣсомъ 460 тоннъ на участкѣ Серпуховъ—Тула, согласно заданіямъ, изложеннымъ на стр. 187.

На стр. 212 мы нашли, что время хода нашего поезда равно 124' или средняя скорость  $V_c = 51,9$  km/h, откуда

$$w_c = 1,5 + \frac{V_c}{20} = 4,1$$

$$T'_k = sw_c(P + Q) = 217 \cdot 10^6 \text{ kgr. m.}$$

Отмѣтка Серпухова 71,65 саж., а Тулы 70,42 саж., поэтому

$$h = -1,13 \text{ [саж.]} = -2,4 \text{ [m].}$$

Далѣе на стр. 267 мы видѣли, что безъ пара предѣльная скорость нашимъ поездомъ достигается только при

$$i_k < -10,5$$

Поэтому тормажение на этомъ участкѣ должно имѣть мѣсто лишь при подходахъ къ станціямъ и предупрежденіямъ. Считая для первыхъ  $s_c = 400^m$ , а для вторыхъ, принимая во вниманіе что они оба слѣдуютъ за уклонами,  $s_k = 800^m$ , имѣемъ общее

$$s_b = 6,400 + 2 \cdot 800 + 1000 = 5000,$$

гдѣ послѣдніе 1000<sup>m</sup> введены на остановку въ Лаптевѣ. При такихъ условіяхъ

$$T_b = 15 s_b(P + Q) = 42 \cdot 10^6 \text{ kgr. m.}$$

и

$$T_k = T'_k + (P + Q)h + T_b = 258 \cdot 10^6 \text{ kgr. m.}$$

Изъ осторожности для  $U/N_k$  беремъ наибольшее значеніе соответственной графы таблицы XXXIX, а именно

$$\frac{U}{N_k} = 14;$$

тогда

$$B = \frac{U}{N_k} \frac{T_k}{0,27} = 13400$$

и

$$E = \frac{B}{11} = 1220.$$

Опытная же поѣздка дала

$$B = 13100.$$

$$E = 1235,$$

что только на  $1\frac{1}{2}\% - 2\%$  меньше исчисленнаго нами столь грубымъ образомъ. Столь близкая сходимость объясняется, конечно, случайностью, но существу же этотъ способъ не можетъ претендовать на точность большую  $\pm 20\%$ .

## ГЛАВА IX.

### Расчеты составовъ.

§ 75. Расчетъ составовъ по установившейся скорости. Въ большинствѣ случаевъ расчетъ составовъ ведется въ предположеніи равномернаго движенія поѣзда на самомъ трудномъ подъемѣ даннаго участка. Последнее необходимо потому, что, въ противномъ случаѣ, у насъ не было бы увѣренности, что на этомъ подъемѣ поѣздъ не остановится. Что же касается предположенія о равномерности движенія, то на затяжныхъ подъемахъ оно всегда имѣетъ мѣсто въ дѣйствительности; на короткихъ же скорость, конечно, не успѣваетъ установиться. Поэтому, хотя у насъ рассматриваемый методъ примѣняютъ нерѣдко и къ подъемамъ сравнительно короткимъ, по существу онъ примѣнимъ лишь къ подъемамъ затяжнымъ. Для короткихъ же подъемовъ онъ даетъ преуменьшенные составы; въ смыслѣ безопасности движенія это, конечно, очень хорошо, но въ смыслѣ хозяйственной утилизаціи паровозовъ едва ли.

При установившейся скорости

$$\frac{dV}{dt} = 0$$

и слѣдовательно

$$F = (w_0 + i_k)(P + Q);$$

откуда

$$Q = \frac{F}{w_0 + i_k} - P \quad . . . . . 82$$

Если мы хотимъ имѣть дѣло съ индикаторной силой тяги, то

$$w_0 = \frac{(w'_0 + w_m)P + w''_0 Q}{P + Q}$$

и

$$Q = \frac{F_i - (w'_0 + w_m + i_k)P}{w''_0 + i_k}; \quad \dots \quad 82i$$

а если съ касательной, то

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q}$$

и

$$Q = \frac{F_k - (w'_0 + i_k)P}{w''_0 + i_k} \quad \dots \quad 82k$$

Пользуясь всѣми этими формулами, надо помнить, что оба  $F$  и всѣ  $w$  суть функции скорости, и потому, задаваясь на расчетномъ подъемѣ нѣкоторой равномерной скоростью  $V$ , мы должны ввести ее и въ  $F$  и въ  $w$ .

**Примѣръ 21.** Определить составъ пассажирскаго поѣзда, котораго паровозъ 1—3—1 С при  $z = 40$  можетъ везти на Веребьянскій подъемъ  $i_k = 6,3$  (длиной 20 верстъ) съ установившейся скоростью  $V = 50$  км/ч.

Удельное сопротивление 1—3—1 С, какъ повозки, при  $V = 50$ , согласно фиг. 30.

$$w'_0 = 2,9.$$

Сопротивленіе вагоновъ беремъ по формулѣ автора (см. стр. 72)

$$w''_0 = 1,5 + 0,2 V \frac{V + 100}{1000},$$

что для  $V = 50$  даетъ

$$w''_0 = 3,0.$$

Силу тяги для  $z = 40$  беремъ изъ «паспорта»; она имѣетъ видъ, показанный на фиг. 125, согласно которой при  $V = 50$

$$F_k = 5000.$$

Вѣсъ паровоза С съ тендеромъ равенъ 125 тоннъ. Такимъ образомъ въ нашемъ случаѣ

$$(w'_0 + i_k)P = (2,9 + 6,3)125 = 1150$$

$$w''_0 + i_k = 3,0 + 6,3 = 9,3$$

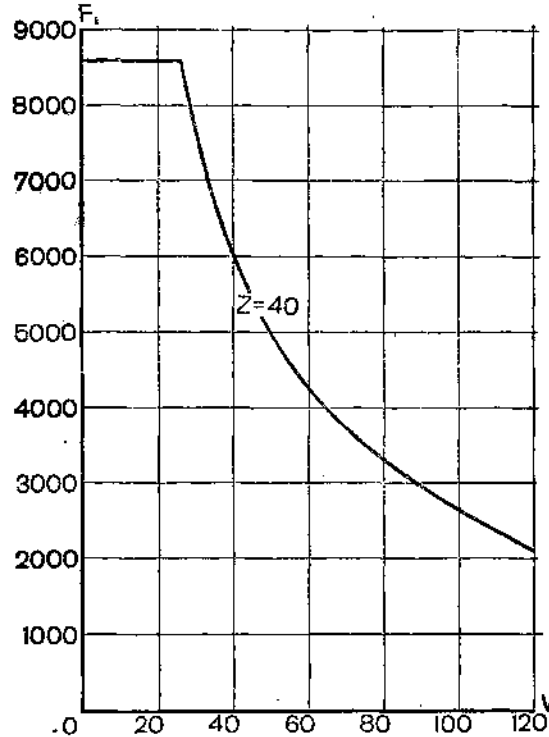
$$Q = \frac{3850}{9,3} = 414 [t].$$

Нельзя не отмѣтить, что въ данномъ примѣрѣ

$$w'_0 \simeq w''_0 \simeq 3;$$



поэтому расчетъ можно было вести по формулѣ



Фиг. 125. 1—3—1. С.

$$Q = \frac{F}{w_0 + i_k} - P,$$

что даетъ

$$Q = \frac{5000}{9,8} - 125 = 413.$$

**Примѣръ 22.** Определить составъ пассажирскаго поѣзда, который паровозъ 1—3—0 НУ можетъ везти при вполнѣ открытомъ регуляторѣ и впускѣ 0,6 въ малый цилиндръ на подъемѣ 10‰, совпадающій съ кривыми радиуса 350 саж. съ установившейся скоростью 30 km/h.

Беря удѣльное сопротивленіе паровоза НУ изъ фиг. 30 (стр. 78) для  $V = 30$  равнымъ 2,0 kg/t, силу тяги изъ «паспорта» для 1—0,6—30 равной 4800 kg, а для вагоновъ примѣняя формулу автора, имѣемъ

$$w'_0 = 2$$

$$w''_0 = 2,3$$

$$i_k = 10 + \frac{350}{R_k} = 11$$

$$w'_0 + i_k = 13$$

$$w''_0 + i_k = 13,3$$

$$F_k = 4800$$

$$Q = \frac{3500}{13,3} = 265.$$

**Примѣръ 23.** Определить составъ товарнаго поѣзда, который на  $i_k = 8,5$  можетъ везти паровозъ 0—4—0 нормальнаго типа при  $z = 25$  со скоростью, соответствующей одному обороту колесъ въ секунду, какъ то требовалось циркуляромъ 6. Управленія Каз. ж. д. отъ 11 августа 1890 г. за № 19243, и какъ то отстаивается нѣкоторыми специалистами.

При  $z = 25$  скорости

$$V = 3,6 \pi D = 13,6 \frac{\text{km}}{\text{h}},$$

соответствующей 1 обороту по эшюрѣ, приведенной на фиг. 9

$$F_k = 7500,$$

а  $w_0$  по формулѣ Балдвина

$$w_0 = 1,5 + \frac{V'}{20} = 2,2,$$

откуда при  $P = 100 \text{ t}$

$$Q = \frac{7500}{10,7} - 100 = 600 \text{ t}$$

или 37 тысячъ пудовъ.

**§ 76.** Выборъ установившейся скорости при расчетѣ состава. Въ предыдущемъ § остался невыясненнымъ вопросъ, какой же скоростью на расчетномъ подъемѣ надо задаваться при опредѣленіи состава. Между тѣмъ вопросъ этотъ заслуживаетъ особаго вниманія, ибо въ зависимости отъ того или иного рѣшенія его при равныхъ прочихъ условіяхъ величина состава будетъ колебаться въ очень широкихъ предѣлахъ.

Въ пассажирской службѣ задается обычно не эта скорость, а средняя коммерческая, т. е. число часовъ хода и стоянокъ между конечными пунктами. Вычитая изъ этого времени время нужное для коммерческихъ и техническихъ стоянокъ, получается

полное время хода  $T_0$ . Затѣмъ задаются рядомъ составовъ

$$Q_1 = qn_1$$

$$Q_2 = qn_2$$

.....

гдѣ  $n$  суть цѣлыя числа, и для нихъ находятъ полныя времена хода

$$T_1, T_2, \dots$$

То  $Q$ , которое даетъ  $T$  ближайшее къ  $T_0$ , и есть исконое. Иногда ищутъ  $T$  ближайшее не къ  $T_0$ , а къ

$$T_0 + T',$$

гдѣ  $T'$  есть нѣкоторый запасъ на нагонъ опозданій.

Въ послѣднее, впрочемъ, время съ развитіемъ прямыхъ безпересадочныхъ сообщеній составъ пассажирскихъ поѣздовъ и особенно курьерскихъ все чаще и чаще у насъ сталъ задаваться соображеніями договорнаго характера, т. е. необходимостью имѣть въ поѣздѣ опредѣленное число вагоновъ даннаго сообщенія. Въ этомъ случаѣ тяговые расчеты сводятся къ тому, чтобы по заданному  $Q$  подсчитать время хода, а иногда и подобрать подходящій типъ паровоза.

Въ тѣхъ же рѣдкихъ случаяхъ, когда выборъ скорости пассажирскихъ поѣздовъ на расчетномъ подъемѣ нитѣмъ не стѣсненъ, ею задаются обычно между 20 и 50 вер./час. въ зависимости отъ пропускной способности и назначенія даннаго поѣзда.

Напротивъ, въ товарной службѣ, гдѣ время хода не ограничено никакими соображеніями, кромѣ коммерческихъ, выборъ скорости на расчетномъ подъемѣ, находится въ рукахъ дороги. Очевидно, что чѣмъ большей скоростью мы зададимся, тѣмъ меньшій получится составъ. Такимъ образомъ выборъ скорости на расчетномъ подъемѣ въ товарной службѣ сводится къ основному вопросу, что выгоднѣе: возить скоро легкіе составы или медленно тяжелые. Вопросъ этотъ, привлекавшій вниманіе многихъ ученыхъ техниковъ<sup>1)</sup> и еще недавно возбуждавшій горячіе споры,

<sup>1)</sup> Карташевъ. Составленіе графиковъ движенія товарныхъ поѣздовъ съ наивыгоднѣйшею скоростью ихъ въ пути. Москва. 1890.

Петровъ. О наивыгоднѣйшей скорости товарныхъ поѣздовъ. СПб., 1892.

Henry. Freight Train Speed on the Northern Pacific R. Railroad Gazette.

1900, № 9.

Rühle von Lilienstein. Geschwindigkeit der Güterzüge. Organ. 1901, № 6.

Gostkowsky. Die günstigste Geschwindigkeit der Güterzüge. Organ. 1902, № 3.

нынѣ можетъ считаться, по крайней мѣрѣ, для условій русскихъ дорогъ окончательно рѣшеннымъ и теоріей и практикой въ пользу большихъ составовъ.

Такимъ образомъ въ товарной службѣ расчетъ составовъ въ большинствѣ случаевъ сводится къ опредѣленію наибольшаго возможнаго на данномъ участкѣ состава. На первый взглядъ задача получается неопредѣленная, ибо при непрерывномъ возрастаніи  $w$  вмѣстѣ съ  $V$  и непрерывномъ уменьшеніи  $F$  съ увеличеніемъ скорости наибольшій составъ получается какъ будто при безконечно медленной ѣздѣ по подъемамъ, что недопустимо ни по условіямъ пропускной способности, ни по соображеніямъ безопасности и срочности движенія. Въ дѣйствительности, однако, этой неопредѣленности не существуетъ. Дѣло въ томъ, что, какъ было уже указано на стр. 68,  $w_0$  при тѣхъ скоростяхъ, которыя применяются въ товарной службѣ на подъемахъ, можно считать постояннымъ и равнымъ 2; поэтому скорость влияетъ на составъ

$$Q = \frac{F}{w_0 + i_k} P$$

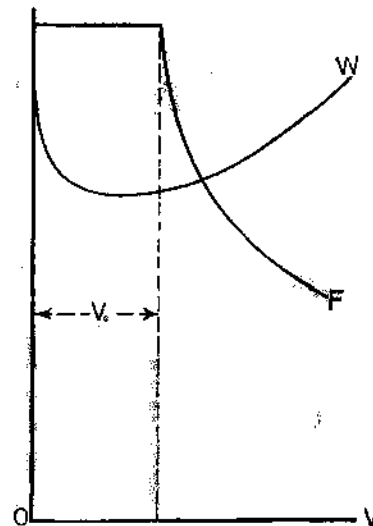
только постольку, поскольку отъ нея зависитъ  $F$ . Это же влияніе начинается, какъ это ясно изъ фиг. 126, только съ

$$V \geq V_c$$

При скоростяхъ же

$$V < V_c$$

сила тяги остается постоянной. Поэтому фактически составъ растетъ только при уменьшеніи скорости до  $V_c$ , при дальнѣйшемъ же ея уменьшеніи  $Q$  остается постояннымъ. Иными словами, дальнѣйшее уменьшеніе  $V$  совершенно бесполезно или вѣрнѣе вредно, ибо съ уменьшеніемъ скорости на подъемахъ растутъ затрудненія въ смыслѣ пропускной спо-



Фиг. 126.

Ihan. Die günstigste Geschwindigkeit der Güterzüge. Organ. 1902, № 11.

Ломоносовъ. Наивыгоднѣйшій составъ товарныхъ поѣздовъ. Инженеръ. 1904, № 2.

Щегловитовъ. Къ вопросу о наивыгоднѣйшихъ составахъ товарныхъ поѣздовъ. 1910.

Ломоносовъ. Научныя проблемы эксплуатаціи желѣзныхъ дорогъ. 1914.

способности, опасности остановокъ въ пути и разрывовъ при попыткахъ затѣмъ взять поѣздъ съ мѣста.

Вотъ почему при опредѣленіи наибольшаго состава мы должны задаваться скоростью  $V_c$ , т. е. той наибольшей скоростью, при которой еще возможно использовать всю силу тяги по сцепленію. При большихъ скоростяхъ мы теряемъ въ составѣ, при меньшихъ ничего не выигрывая, уменьшаемъ пропускную способность и увеличиваемъ вѣроятность остановки въ пути.

На загруженныхъ участкахъ бываетъ, однако, такія положенія, когда необходимость пропустить черезъ нихъ опредѣленное количество груза отодвигаетъ на задній планъ вопросъ о томъ, чтобы эту перевозку совершать наиболѣе дешевымъ способомъ. Иными словами иногда по условіямъ пропускной способности при расчетахъ составовъ приходится брать

$$V > V_c.$$

**Примѣръ 24.** Опредѣлить наибольшій составъ поѣзда, который паровозъ 0—4—0 нормальнаго типа можетъ везти на подъемѣ  $i_k = 8,5$ , при собственномъ вѣсѣ съ тепдеромъ 100 тоннъ.

Изъ опытныхъ данныхъ, приведенныхъ на фиг. 19 (стр. 24) беремъ

$$\text{Max } F_k = 8700 \text{ kgr},$$

а удѣльное сопротивленіе поѣзда сообразно сказанному на стр. 287

$$w_0 = 2,0.$$

Если же воспользоваться формулой Балдвина

$$w_0 = 1,5 + \frac{V}{20}$$

и вмѣсто  $V$  взять по фиг. 9 для  $z = 25$

$$V_c = 9,5,$$

то

$$w_0 = 1,98 \approx 2,0.$$

Сообразно этому

$$Q = \frac{\text{max } F}{w_0 + i_k} - P = \frac{8700}{10,5} - 100 = 720 \text{ [t]}$$

или 48 тысячи пудовъ.

Цыфра 8700 kgr соответствуетъ коэффициенту сцепленія

$$\psi_k = \frac{8700}{51006} = \frac{1}{5,8},$$

что достигается въ хорошую погоду безъ песка; если же по при-  
мѣру Америки на подъемахъ систематически ѣздить съ пескомъ,  
то  $\psi_k$  можно поднять до  $\frac{1}{5}$ . Это дастъ

$$\max F_k = \frac{51000}{5} = 10200 \text{ [kgr]}$$

и

$$Q = \frac{10200}{10,5} - 100 = 850 \text{ [t]}$$

или 52 тысячи пудовъ, т. е. на 18% больше. Какъ показывается  
фиг. 15, достигъ такихъ значений силы тяги у паровоза нормаль-  
наго типа можно только при впускахъ большихъ 0,7, т. е. при  
дѣйстви крана Лянднера, что по экономическимъ соображеніямъ  
недопустимо.

Кромѣ того надо имѣть въ виду, что какъ ни заманчиво на  
первый взглядъ увеличивать составы за счетъ песка, усиленное  
его примѣненіе имѣетъ и отрицательныя стороны. Во первыхъ,  
при немъ замѣтно ускоряется износъ паровозныхъ шинъ, а во  
вторыхъ песокъ не только увеличиваетъ сѣпленіе ведущихъ ко-  
лесъ паровоза, но и сопротивленіе всего поѣзда. Это увеличеніе,  
какъ показали спеціальныя опыты на дорогѣ Чикаго-Берлинг-  
тонъ въ С.-Америкѣ, выражается цифрой въ 7,5%<sup>1)</sup>.

Небезынтересно отмѣтить, что составъ

$$Q = 720 \text{ [t]}$$

опредѣленный при вполнѣ нормальныхъ условіяхъ работы паро-  
воза на 20% больше, чѣмъ составъ опредѣленный нами на стр.  
285, исходя изъ требованія одного оборота въ секунду, что еще  
недавно было обязательно для русскихъ дорогъ.

**Примѣръ 25.** Опредѣлить величину виртуальнаго подъема  
 $i_k$ , на которомъ два паровоза нормальнаго типа, одинъ въ головѣ  
и одинъ въ хвостѣ, могутъ вывезти составъ, являющийся пре-  
дѣльнымъ для  $i_k = 8,5$  при одиночной тягѣ.

На стр. 46 было указано, что при подталкиваніи силу тяги  
обоихъ паровозовъ благоразумнѣе брать равной 1,7 — 1,8 силы  
тяги одного паровоза. Остановившаяся на цифрѣ 1,75, мы имѣемъ  
уравненіе установившагося движенія на искомомъ подъемѣ подъ  
видомъ

$$1,75 F_k = (w_0 + i_k)(2P + Q);$$

<sup>1)</sup> The Engineer. 1900. № 26/1.

а такъ какъ при

$$V = V_0$$

$$F_k = 8700$$

$$w_0 = 2$$

$$P = 100$$

$$Q = 720,$$

то

$$i_k = \frac{1,75 F_k}{2P + Q} w_0 = 14,5$$

§ 77. Вліяніе на составъ поѣзда нагрузки вагоновъ. Въ § 27 мы установили, что удѣльное сопротивление товарныхъ вагоновъ находится въ явной зависимости отъ ихъ нагрузки, именно мы нашли, что

$$w'_0 = a + \frac{b}{q},$$

гдѣ  $q$  есть средняя нагрузка вагона, а  $a$  и  $b$ —нѣкоторыя функціи скорости. Поэтому теоретически представляется безспорнымъ, что

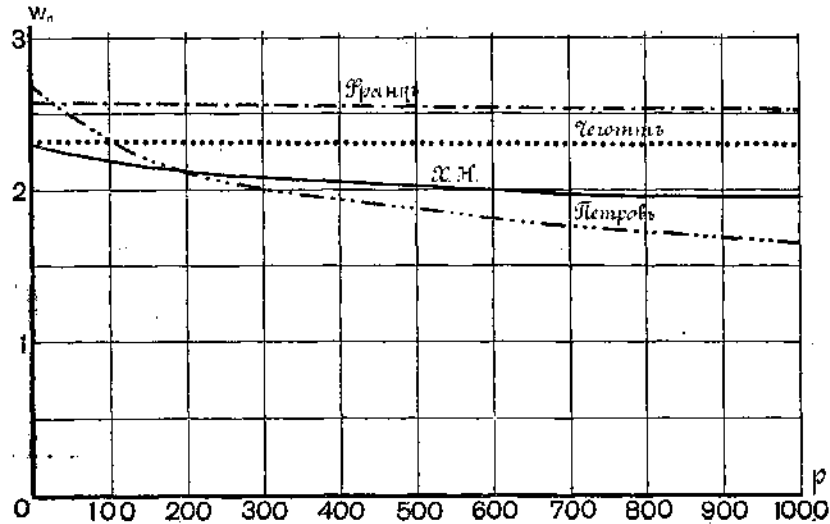
$$Q = \frac{F_k - (w'_0 + i_k)P}{w''_0 + i_k}$$

должно зависеть отъ  $q$ , или иными словами, что вѣсъ поѣзда нужно мѣнять въ зависимости отъ числа въ немъ осей. Съ другой стороны на стр. 66—67 мы видѣли, что вліяніе  $q$  на  $w''_0$  растетъ вмѣстѣ со скоростью, и при тѣхъ скоростяхъ съ которыми товарные поѣзда *наибольшаго вѣса* движутся по расчетнымъ подъемамъ, это вліяніе очень невелико. Поэтому естественно возникаетъ вопросъ, стоитъ ли осложнять *расчеты наибольшихъ составовъ*, расчеты довольно грубые по существу, учетомъ вліянія  $q$  на  $w''_0$ .

Для того, чтобы отвѣтить на этотъ вопросъ, прежде всего надо выяснитъ, какъ вліяетъ при  $V \simeq 10$   $q$  на  $w''_0$ . Съ этою цѣлью на фиг. 127 приведены значенія  $w''_0$  по разнымъ формуламъ въ функціи  $q$ . Изъ этой фигуры мы видимъ, что при измѣненіи нагрузки русскаго нормальнаго вагона отъ нуля до 1000 пудовъ, удѣльное его сопротивление мѣняется по формулѣ Петрова на 35%, по формулѣ Х. Н. ж. д.—на 15% и по формулѣ Франка—на 1%. Въ § 27 было выяснено, что наиболѣе надежной является формула Х. Н. ж. д., такъ какъ вліяніе  $q$  въ формулѣ Петрова завѣдомо переоцѣнено. Поэтому можно считать, что, пренебрегая вліяніемъ  $q$ , мы можемъ сдѣлать ошибку въ опредѣленіи  $w''_0$  на

15%, т. е. примерно на

$$0,15 \cdot 2 = 0,3 \left[ \frac{\text{kgf}}{\text{t}} \right],$$



Фиг. 127.

между тѣмъ какъ вліяніе погоды на эту величину (см. § 34) можетъ быть значительно больше. Кроме того нельзя забывать, что  $w_0''$  въ выраженіе 82 входитъ въ суммѣ съ  $i_k$ , которое у насъ обычно колеблется въ предѣлахъ отъ 6 до 12, поэтому ошибка въ 0,3 kgf/t по отношенію  $Q$  составляетъ всего 3—6%.

Эти соображенія позволяютъ отказаться отъ учета вліянія  $g$  при опредѣленіи предѣльныхъ составовъ товарныхъ поѣздовъ и даже отъ подсчета  $w_0$  по разнымъ формуламъ, пользуясь въ этомъ случаѣ значеніемъ

$$w_0' = w_0'' = 2,$$

что даетъ для наибольшаго состава

$$Q = \frac{\psi_k P_k}{2 + i_k} - P \dots \dots \dots 83$$

При хорошей погодѣ, особенно, если принять во вниманіе то уменьшеніе сопротивленія поѣзда на подъемахъ, о которомъ шла рѣчь на стр. 48, —  $w_0$  въ дѣйствительности меньше 2 (по моимъ опытамъ оно можетъ падать даже до 1,2). Но такъ какъ составы рассчитываютъ по среднимъ условіямъ, то нѣкоторый запасъ и на погоду и на большее число осей въ поѣздѣ безусловно необходимъ. Этотъ запасъ и имѣется въ формулѣ 83 въ видѣ  $w_0 = 2$ .



§ 78. Преодоление подъемов за счет разгона. На стр. 282 было уже отмечено, что в действительности равномерное движение устанавливается только на затяжных подъемах. Поэтому изложенный выше способ расчета применим лишь к подобным подъемам; на коротких же подъемах можно вывозить составы

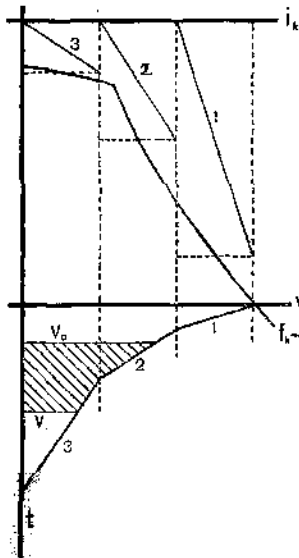
$$Q > \frac{\psi_k P_k}{w_0 + i_k} - P$$

за счет живой силы поезда.

Для того, чтобы отдать себе отчет, может ли поезд заданного состава проскочить с разгона данный подъем или он остановится на нем, мы должны построить на нем диаграмму скоростей и посмотреть, как велика будет скорость, с которой поезд сойдет с данного подъема. Если она будет больше 5—7 вер./час., то на поставленный вопрос можно ответить утвердительно; если 3—4, то пускать такой состав уже рискованно, ибо при такой скорости даже незначительное боксование неминуемо вызовет остановку.

Для построения кривой

$$V = \varphi(t)$$



по методу Дедуи, строимъ, какъ показано на фиг. 128, кривую

$$f_k - w_0$$

и затѣмъ проводимъ прямую  $i_k$ . Въ данномъ случаѣ она расположится выше кривой  $(f_k - w_0)$ . Разность ординатъ

$$i_k - (f_k - w_0) = -(f_k - w_0 - i_k)$$

дастъ намъ величину

$$\frac{1}{\zeta} \frac{dV}{dt},$$

и потому, применяя второй приемъ (§ 47), и проводя прямыя перпендикулярныя лучамъ 1, 2, 3 . . . ., мы получаемъ кривую

$$V = \varphi(t).$$

Фиг. 128.

Задаваясь, затѣмъ, скоростью вступленія на подъемъ  $V_0$  и подбирая заштрихованную площадь такъ, чтобы ея площадь равнялась длинѣ подъема  $z$ , мы найдемъ скорость  $V$ , съ которой поездъ оставляетъ подъемъ.

Еще проще эта задача решается по способу Липеца (см. фиг. 129); там длину  $s$  надо только отложить по оси пути.

Изъ фигуры 128—129 ясно видно, что решение вопроса о возможности или невозможности преодолеть подъемъ

$$i_k > \frac{\psi_k P_k}{P + Q} - w_0$$

за счетъ живой силы поезда зависит не только отъ крутизны и длины этого подъема, но и отъ скорости  $V_0$ , съ которой поездъ вступаетъ на данный подъемъ. И очень часто практическое решение данного вопроса сводится не къ определению  $V_1$ , а къ определению  $V_0$  необходимой для того, чтобы  $V_1 = 6 - 8$  [km/h]. Такая задача решается на кривой

$$V = \psi(s)$$

проведеніемъ 2 прямыхъ: сперва находится на этой кривой мѣсто  $V_1$ , затѣмъ откладывается  $s$  и проводится прямая  $V_0$ .

Чтобы закончить вопросъ о разгонѣ, необходимо отмѣтить, что обычно все преодоленіе подъема длится 10—15 минутъ; поэтому при рѣшеніи подобныхъ задачъ силу тяги можно брать не по кривой, а по наибольшей скорости, т. е. допускать во время преодоленія подъема нѣкоторое пониженіе уровня въ котлѣ. При этомъ надо, однако, имѣть въ виду, что при легко увлекающейся водѣ реализовать большіе впуски практически невозможно.

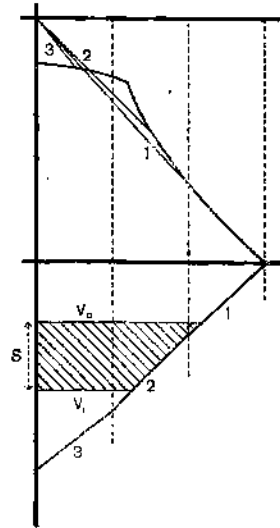
**Примѣръ 26.** Можетъ ли паровозъ 0—4—0 нормальнаго типа провести поездъ вѣсомъ 53000 пуд. по участку Торжекъ—Ржевъ Новоторжской линіи Ник. ж. д. при  $V_{max} = 50$  km/h?

Наиболѣе трудный подъемъ на этомъ участкѣ расположенъ за мостомъ черезъ р. Холохольню на 81 вер. отъ Лихославля. Онъ имѣетъ длину 1484 саж. и крутизну, какъ показано во второй снизу графѣ фиг. 130, отъ 1,5 до 10,9‰, причемъ наиболѣе трудной его частью являются первые 715 саж., гдѣ

$$i_k = 10,0 - 10,9.$$

Нормальный составъ для такого подъема

$$Q = \frac{8700}{2 + 10} - 100 = 630 [t] = 38000 [\text{пуд.}].$$



Фиг. 129.

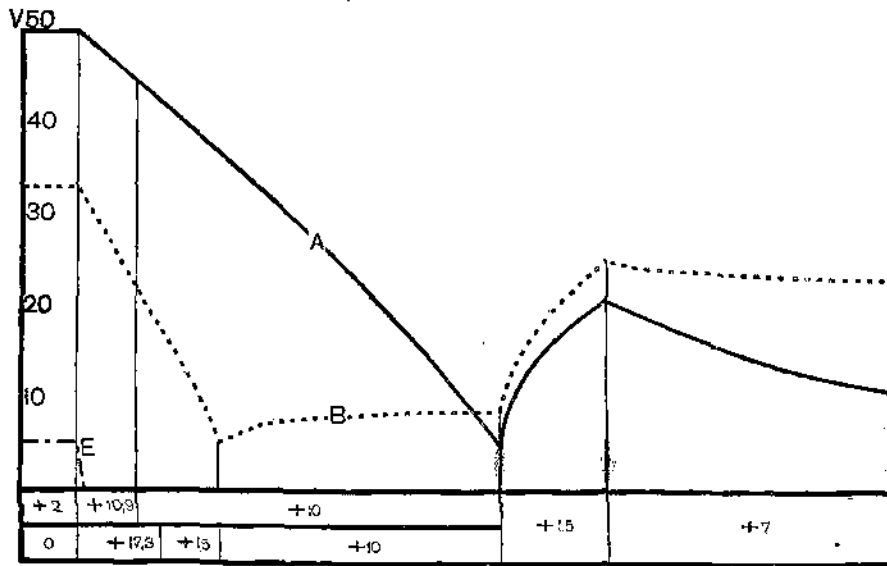
Для того же, чтобы выяснить, может ли этот подъем быть взят съ разгона, строимъ, какъ показано на фиг. 130 сплошной линіей, кривую

$$V = \psi(s)$$

для наибольшей возможной при крайъ Линдиера комбинаці  $i = 0,7$  и  $V_0 = 50$  въ масштабахъ

$$1 [km] = 37,5 [m/m]$$

$$1 \left[ \frac{km}{h} \right] = 1,25 \left[ \frac{m}{m} \right]$$



Фиг. 130.

Изъ нея мы видимъ, что въ концѣ труднаго мѣста скорость падаетъ до 5 (km/h), что лежитъ какъ разъ на границѣ допустимаго. Такимъ образомъ можно сказать, что при сухихъ рельсахъ, или, вѣрнѣй, при хорошей песочницѣ, и при скорости на мосту въ 50 km/h = 47 вер./час. данный подъемъ можетъ быть взятъ поѣздомъ въ 53000 пуд. съ разгона.

**Примѣръ 27.** Можно ли было выдерживать предупрежденіе объ ѣздѣ по обводному пути при перестройкѣ моста черезъ р. Холохольню со скоростью  $V = 5$  вер./час. съ нормальнымъ составомъ въ 38000 пуд.?

Такое положеніе имѣло мѣсто лѣтомъ 1911 г., причемъ вертикальный профиль обводнаго пути, на которомъ временный

мость была расположена на 1 саж ниже постоянного и на которомъ были допущены радиусы 150 саж., показанъ въ нижней графѣ фиг. 130.

Строимъ отъ  $V_0 = 5$  пунктиромъ кривую скорости Е. Она падаетъ ниже пуля черезъ нѣсколько сажень, что и имѣло мѣсто въ дѣйствительности. Къ машинистамъ же было предъявляемо требованіе вывезти нормальный составъ во чтобы то ни стало.

Поэтому пришлось поставить обратный вопросъ: насколько они должны были превышать 5 верстную скорость, чтобы исполнить это требованіе. Задаемся въ концѣ  $15\%$  подъема скоростью въ 5 вер./час. и затѣмъ въ обѣ стороны строимъ пунктиромъ изъ одной точки кривую

$$V = \psi(s).$$

Она показываетъ, что, для возможности вывезти составъ въ 38000 пуд. по обводному пути, на временномъ мосту необходимо было держать вмѣсто 5 вер./час.

$$V_0 = 33 \left[ \frac{\text{km}}{\text{h}} \right] \simeq 30 \left[ \frac{\text{вер.}}{\text{час.}} \right]$$

