

62. 16413

C27



1692

Н. И. Карташовъ.

Инженеръ-Технологъ.

K2

G2

ОПЫТНОЕ ИЗСЛѢДОВАНИЕ ПАРОВОЗОВЪ.

Съ атласомъ изъ 17 таблицъ.



Handwritten 'X' and '2' marks on the right side of the page.



ХАРЬКОВЪ.
Типографія и Литографія М. Зильбербергъ и С-вья.
(Рыбная улица, домъ № 30).



1902.

О г л а в л е н і е .

§§	Стр.
Предисловіе	1
Вступленіе	7
Таблица сокращенныхъ обозначеній	15

Часть I. Предварительныя свѣдѣнія.

1. Водяной паръ и его свойства	17
2. Количество теплоты, потребное для превращенія одного килогр. воды, взятой при 0° , въ паръ данной температуры t°	18
3. Процессы съ насыщеннымъ паромъ	20
4. Графическое изображеніе законовъ расширенія и сжатія	22

Часть II. Дѣйствіе пара въ паровозахъ.

5. Индикаторъ. Его идея. Индикаторная діаграмма	24
---	----

Измѣдованіе четырехъ періодовъ дѣйствія пара въ цилиндръ.

6. Періодъ впуска	27
7. Періодъ расширенія	31
8. Періодъ выпуска	34
9. Періодъ сжатія	35
10. Предварительный впускъ	39

Примѣненіе къ паровозамъ принципа двукратнаго расширенія пара (Compound).

11. Цѣль примѣненія системы Compound. Достоинства ея и недостатки	40
12. Идеальная діаграмма. Ранкинизированіе. Степень полноты. Характеристика	45

С и л а т я г и .

13. Общія замѣчанія	48
-------------------------------	----

1. Индикаторная сила тяги.

14. Теоретическое изслѣдованіе индикаторной работы паровоза	50
15. Среднес индикаторное и рабочее давленіе на поршень	55
16. Индикаторная сила тяги	63

§§	2. Касательная сила тяги.	Стр.
17.	Распределение действующих силъ въ паровозѣ	64
18.	Полярная діаграмма касательныхъ усилий	71
19.	Изслѣдованіе закона измѣненія величины силы тяги и индикаторной работы	73

3. Полезная сила тяги.

20.	Отношеніе индикаторной работы паровоза къ работѣ полезной силы тяги	76
21.	Работа силы тяги за время прохода участка пути	79

Часть III. Сопротивленіе поѣзда.

22.	Общее понятіе о сопротивленіи поѣзда	81
	A. Сопротивленіе отдѣльнаго вагона	83

I. Постоянныя сопротивленія.

23.	1) Сопротивленіе отъ тренія осевыхъ шеекъ въ подшипникахъ	83
24.	2) Сопротивленіе отъ тренія колесъ и ихъ закраинъ объ рельсы	84
25.	3) Сопротивленіе колесъ перекатыванію	85
26.	4) Сопротивленіе отъ ударовъ колесъ на стыкахъ и неровностяхъ пути	85
27.	5) Сопротивленіе воздуха и увеличеніе его отъ вѣтра	86

II. Сопротивленія, встречающіяся только на некоторыхъ частяхъ пути.

28.	6) Сопротивленіе, зависящее отъ кривизны пути	90
29.	7) Сопротивленіе на подъемахъ	92
30.	B. Сопротивленіе системы сцепленныхъ вагоновъ	92
31.	C. Сопротивленіе паровоза и тендера	96
32.	D. Сопротивленіе цѣлага поѣзда, т. е. системы сцепленныхъ вагоновъ съ паровозомъ и тендеромъ. Формула проф. Петрова	97
33.	Сопротивленіе отъ инерціи въ періоды измѣненія скорости	97
34.	Сопротивленіе отъ покрытія рельсовъ снѣгомъ	98
34bis.	Сопротивленіе при движеніи двойною тягою	98
35.	Наиболѣе употребительныя заграничныя формулы сопротивленія поѣздовъ: Clark'a, Frank'a и Barbier	99
36.	<i>Способы опредѣленія сопротивленій</i>	<i>102</i>
37.	Опредѣленіе величины сопротивленія отдѣльнаго вагона и системы сцепленныхъ вагоновъ	102
38.	Опредѣленіе коэффициентовъ въ формулѣ сопротивленія	107
39.	Опредѣленіе величины сопротивленія паровоза (съ тендеромъ)	107
40.	Сопротивленіе полнаго поѣзда и уравненіе его движенія	109
41.	Опредѣленіе добавочнаго сопротивленія, зависящаго отъ кривизны пути	110
42.	Способы опредѣленія сопротивленій, примѣненные Leitzmann'омъ, Albert Frank'омъ и Barbier	111

Часть IV. Паровозный котель.

§§	Стр.
43. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла и паровоза	120
44. Расходъ пара	131
45. Способъ Warington'a нахождения вѣса расходуемаго сухого насыщеннаго пара на 1 инд. лошадь въ часъ	134
46. Паропроизводительность котла	137
47. Количество пара, доставляемое котломъ	144

Часть V. Приборы, употребляемые при изслѣдованіи паровозовъ.

48. Общія замѣчанія	152
-------------------------------	-----

А. Приборы для изслѣдованія парового котла.

49. 1) Приборы для опредѣленія давленія пара въ котлѣ (манометры) и уровни воды (водомѣрные стекла)	154
50. 2) Приборы для изслѣдованія разрѣженія въ дымовой коробкѣ (тягомѣры)	156
51. Приборъ (тягомѣръ) Lochner'a	159
52. 3) Приборы для опредѣленія влажности пара (калориметры)	159
53. Способъ Leitzmann'a опредѣленія влажности пара	161
54. Калориметръ Peabody (Пибоди)	161
55. Калориметръ Heisler'a (Гейслера)	163
56. Калориметръ Barrus'a (Баруса)	163
57. 4) Приборы для анализа продуктовъ горѣнія (Орса и Фаленкампа)	164

В. Приборы для изслѣдованія паровой машины.

1) Индикаторы	168
58. Роль и раздѣленіе индикаторовъ	168
59. Обыкновенные и дифференціальные индикаторы	169
60. Непрерывные индикаторы	174
61. Передача движенія индикаторамъ отъ поршня паровой машины	175
62. Суммирующіе индикаторы	178
63. Приборы, употребляемые при изслѣдованіи индикаторныхъ діаграммъ (шпанометры)	180
64. Правила установки индикатора и снятія діаграммъ	182
65. Вліяніе различныхъ обстоятельствъ работы пара на внѣшній видъ діаграммъ	184
66. Средняя діаграмма	186
67. Золотниковыя діаграммы	186
68. Золотниковые эллипсы (профессора Frese)	187
69. Авто-индикаторъ	188
2) Приборы для изслѣдованія парораспределительнаго механизма паровоза	196
70. Приборъ инж. Форнея (Forney)	196
71. 3) Динамометры	199

С. Приборы для изслѣдованія паровоза какъ экипажа.

1) Приборы для наблюденія надъ колебательными движеніями паровозовъ	201
---	-----

§§		Стр.
72.	Общее понятие о неправильныхъ движенияхъ паровоза	201
73.	Приборъ Milne's'a и Mc. Donald'a	205
74.	2) Приборы для измѣренія скоростей	208
75.	Американскій приборъ системы Бойеръ (Boyer)	211
76.	Указатель скорости Гаусгельтера	214
77.	Приборъ системы A. Klose	215
78.	3) Приборы для измѣренія ускореній хода поѣзда	217
	Динамометръ инерціи Дедуи (Desdovits)	217

D. Различныя мелкія приборы.

79.	Пирометры	221
80.	Анеометры (вѣтромѣры)	221

Часть VI. Динамометрическія вагоны и ихъ спеціальныя приборы.

81.	Динамометрическія вагоны	223
82.	Динамометрическій вагонъ Сѣверныхъ французскихъ ж. д.	224
83.	Динамометрическій вагонъ ж. д. Paris — Lyon — Méditerranée (Парижъ — Лионъ — Средиземное море)	228
84.	Динамометрическій вагонъ Западныхъ французскихъ ж. д.	232
85.	Динамометрическій вагонъ Баварскихъ казенныхъ ж. дорогъ	241
86.	Динамометрическій вагонъ ж. дор. Illinois Central Railroad С ^о въ С. Америкѣ	242
87.	Динамометрическій вагонъ Юго-Западныхъ (русскихъ) ж. дорогъ	244
88.	Опытный вагонъ Харьковско-Николаевской ж. д. Непрерывный индикаторъ шж. Теодоровича	245
89.	Опытный вагонъ Владикавказской ж. д.	250
	Прибавленіе:	
90.	Индикаторъ скоростей, время и давленій системы Каптейна	250

Часть VII. Вліяніе различныхъ обстоятельствъ на работу паровоза.

92.	Вліяніе степени открытія регулятора	253
93.	Вліяніе объема паропроводныхъ трубъ и золотниковыхъ корбоекъ	258
94.	Вліяніе скорости	259
95.	Навыгоднѣйшая степень расширенія	264
96.	Вліяніе площади отверстія конуса	265
97.	Вліяніе паровыхъ рубашекъ	266
98.	Вліяніе давленія пара въ котлѣ	268
99.	Вліяніе величины хода золотниковъ	270
100.	Зависимость расхода пара отъ діаметра ведущихъ колесъ	271
101—104.	Примѣненіе принципа Compound къ паровозамъ	271—279
105—106.	Примѣненіе перегрѣтаго пара	280—283

Часть VIII. Производство опытовъ.

1. Подготовительный періодъ.

108.	Выборъ и приготовленіе паровоза	284
109.	Измѣреніе и калиброваніе паровоза	285
110.	Изученіе парораспредѣлительнаго механизма	286

§§	Стр.
111. Оборудование паровоза приборами	288
112. Вторая пробная поездка	289
Прибавление:	
113. Определение работы, потраченной на преодоление трения парораспределительного механизма	289
<i>2-й периодъ. Опытная поездка.</i>	
114. Личный составъ	293
115. Составъ опытного поезда и ж. дорожный путь	294
116. Определение расхода воды	295
117. Определение расхода угля	297
118. Опытные данные о расходѣ угля и воды	298
119. Потеря теплоты черезъ охлаждение паровоза при движеніи . .	301
120. Съемка индикаторныхъ диаграммъ	302
121. Нахождение зависимости между отсѣчкою ϵ и скоростью V .	302
<i>3-й периодъ. Обработка полученныхъ опытныхъ данныхъ.</i>	
123. Исследование парового котла	304
124—135. Калориметрическое исследование паровоза	310—321
136. Термическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины . . .	323
137. Совершенныя машины, предлагаемыя для сравненія (Carnot, Rankine'a)	325
138. Относительный термическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины	330
139. Расчетъ состава поездовъ и скорости движенія	332
140—141. Примѣръ исследования паровоза по способу Leitzmann'a .	333—338
142. Заключение. Программа опытнаго исследования паровоза . . .	343

Приложенія.

1. Вспомогательныя таблицы	III
2. Составъ и теплотворная способность различныхъ сортовъ горючаго .	XI
3. Списокъ литературныхъ источниковъ	XVII

ВАЖНѢЙШІЯ ОПЕЧАТКИ.

<i>Стр.</i>	<i>Строка</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
20	16 сверху	калфій	калорій
30	9 снизу	Карлисса	Корлисса
53	3 „	RmV ϵv	$\frac{RmV}{\epsilon v}$
54	8 „	$= p_a v (1 + m) +$	$= p_a v [1 - (r - m)] +$
—	3 „	$+ p_0 m v$	$= p_0 m v$
55	2 сверху } 5 „ }	$\left\{ 1 + m + \left(1 + \frac{\epsilon_3}{m} \right) \lg n \right.$	$\left. \left\{ 1 - \epsilon_3 + (\epsilon_3 + m) \lg n \right. \right.$
57	10 и 9 снизу	} e	} e_0
58	11, 10 и 8 св.		
59	3, 7, 16 и 17 св.		
—	6 снизу	наблюдать	соблюждать
187	6 сверху	, приводя	приводятъ
—	7 „	поршнятъ	поршня
204	8 „	наблюденіи	соблюденіи

В ъ А т л а с ъ:

<i>Фиг.</i>	<i>Напечатано</i>	<i>Должно быть</i>
91	M'	M_1
118	Должно быть обозначено названіе сосудовъ: F , E и D	
225	„ „ „ „	средней линіи: CD
289	Прерывъ	Прерыватель
Таб. XV.	Фиг. 323	Фиг. 328
376	Ходъ поршня	Ходъ золотника
385	$6 = 180$ и $6 = 270$	$G = 180$ и $G = 270$
387	CO	CO_2

Предисловіе.

Вопросомъ объ опытномъ изслѣдованіи паровозовъ инженеры занимались уже много десятилѣтій, начиная почти съ самаго возникновенія желѣзныхъ дорогъ. Но тѣмъ не менѣе техническая литература, обладающая цѣнными сочиненіями по изслѣдованію постоянныхъ паровыхъ котловъ и машинъ (Buchetti, Carpenter, Thurston), не имѣетъ ни одного спеціальнаго сочиненія по изслѣдованію паровозовъ, требующихъ, какъ извѣстно, вслѣдствіе особыхъ условій своей работы, спеціальныхъ методовъ и соответствующихъ приборовъ. Богатый матеріалъ сосредоточенъ главнымъ образомъ только въ иностранныхъ періодическихъ изданіяхъ, но онъ очень разбросанъ, этими изданіями не вездѣ и не всегда можно пользоваться въ достаточныхъ размѣрахъ и поэтому собираніе требуемыхъ свѣдѣній—крайне затруднительно и не всегда осуществимо. Насколько было возможно полное систематизированіе этихъ свѣдѣній, относящихся до опытнаго изслѣдованія паровозовъ, и соединеніе ихъ въ одно цѣлое—и составляетъ цѣль автора.

Для ознакомленія съ принятыми методами изслѣдованія въ различныхъ государствахъ на мѣстѣ—авторомъ было предпринято обширное путешествіе по Западной Европѣ, но результаты не всегда соответствовали ожиданіямъ, напр. въ Пруссіи давать иностранцамъ какія-бы то ни было свѣдѣнія изъ области желѣзнодорожнаго дѣла—запрещено правительствомъ. Въ другихъ мѣстахъ, давая очень любезныя устныя объясненія—отказывались снабдить чертежами, хотя-бы даже схематическими. Поэтому, къ сожалѣнію, о нѣкоторыхъ частностяхъ приходится упоминать только вскользь.

Съ другой стороны и размѣры книги позволяютъ примѣнять только сжатое изложеніе, но въ концѣ ея приведенъ списокъ соответствующихъ литературныхъ источниковъ, изъ которыхъ желающіе могутъ приобрѣсти болѣе обширныя свѣдѣнія *).

*) Чтобы не пестрить текста ссылками на источники, таковыя не дѣлались, но въ концѣ книги приложенъ списокъ источниковъ, который составленъ сообразно съ принятымъ планомъ изложенія и снабженъ указаніями на соответствующіе §§ книги, почему справки дѣлаются легко.

Приступая къ изложенію, считаю нужнымъ сдѣлать слѣдующія общія замѣчанія:

1) Изслѣдованіе паровозовъ можно произвести путемъ лабораторнымъ въ специально построенныхъ лабораторіяхъ, при чемъ паровозы изслѣдуются какъ постоянныя машины. Нѣсколько такихъ лабораторій уже построены въ С. Америкѣ и предполагается построить въ Дрезденѣ и въ Россіи—въ Кіевѣ. При этомъ паровозы изслѣдуются строго научно и весьма подробно, такъ какъ есть полная возможность: комбинировать условія ихъ работы по желанію, сохранять ихъ постоянными требуемое время, устранять тѣ изъ нихъ, которыя не желательны въ данный моментъ и такимъ образомъ точно изучить вліяніе многихъ обстоятельствъ на работу паровоза и получить цѣнные данныя. Особенно удобно дѣлать въ этихъ лабораторіяхъ сравнительные опыты, т. е. сравнивать между собою различныя типы паровозовъ, работающихъ при одинаковыхъ условіяхъ или наоборотъ—изучить работу одного паровоза, поставленнаго въ различныя условія. Но, понятно, устраняя вліяніе поѣзда и желѣзно-дорожнаго пути, заставляя паровозъ двигаться на каткахъ и слѣд. не принимая во вниманіе сопротивленіе воздуха при движеніи—мы становимъ паровозъ въ ненормальныя условія работы и поэтому получаемыя „лабораторныя“ данныя, будучи очень цѣнными сами по себѣ и разъясняя многія свойства даннаго паровоза, не всегда могутъ примѣняться на практикѣ безъ проверки ихъ путемъ опытныхъ поѣздокъ съ поѣздами, когда паровозъ работаетъ при своихъ нормальныхъ условіяхъ. При примѣненіи усовершенствованныхъ приборовъ и динамометрическихъ вагоновъ—эти опытыя поѣздки даютъ результаты достаточно точныя для практическихъ цѣлей.

Понятно—наиболѣе полное изслѣдованіе было-бы при соединеніи лабораторныхъ испытаній съ опытными поѣздками, но устройство лабораторій—вопросъ еще будущаго, въ настоящее-же время надлежащимъ образомъ обставленныя опытыя поѣздки—единственное средство испытанія паровозовъ, доступное желѣзно-дорожнымъ обществамъ, почему здѣсь и разсматриваются только послѣднія, результаты посредствомъ нихъ получаемые и способы ихъ организаціи.

2) Авторъ не ограничился перечнемъ однихъ только выводовъ и фактовъ, но, гдѣ необходимо, далъ мѣсто и теоріи, тѣмъ болѣе, что рѣшеніе многихъ вопросовъ возможно только путемъ одновременнаго, другъ друга дополняющаго, теоретическаго и практическаго изслѣдованія. Но съ другой стороны—тѣ отвлеченныя теоретическія изысканія, которыя, хотя и относятся къ данному вопросу, но даютъ результаты, не имѣющіе примѣненія на практикѣ—здѣсь опущены, чтобы не затемнять дѣла. Вместе съ тѣмъ, затрогивая многія важныя области, напр., разсматривая примѣненіе принципа Compond и пароперегрѣванія къ паровозамъ и проч., авторъ коснулся ихъ только по столько, по сколько это вызывается пред-

методъ книги; не вдаваясь въ детали и конструктивную часть, составляющую предметъ спеціальныхъ сочиненій о паровозахъ.

3) Чтобы имѣть извѣстный критерій для оцѣнки получаемыхъ опытныхъ результатовъ, необходимо знать, что было сдѣлано раньше въ области опытнаго изслѣдованія паровозовъ и къ какимъ выводамъ пришли экспериментаторы. Поэтому нѣкоторые главные выводы приведены въ отдѣльной главѣ (VII) и по возможности все подтверждено цифровыми данными, которыя краснорѣчивѣе словъ. Къ сожалѣнію не всегда можно было привести при этомъ описаніе тѣхъ обстоятельствъ, при которыхъ эти данныя были получены (что значительно понижаетъ ихъ цѣну), такъ какъ объ нихъ, почему-то, рѣдко упоминаютъ въ литературѣ.

Между тѣмъ при изученіи паровоза необходимо разсматривать все обстоятельства, сопровождающія его работу, въ общей ихъ совокупности, такъ какъ каждое изъ нихъ, взятое въ отдѣльности, не имѣетъ значенія; это видно изъ слѣдующихъ примѣровъ: выраженіе „паровозъ везъ поѣздъ со скоростью 90 километровъ въ часъ“—ничего не говоритъ желѣзнодорожному технику. Необходимо еще знать: въѣсъ этого поѣзда и время, въ теченіе котораго подобная скорость сохранялась, т. е. была-ли это средняя скорость движенія или она развивалась только въ теченіе короткаго времени. Сама-же по себѣ скорость движенія, разсматриваемая отдѣльно,—„не имѣетъ реального значенія“. Также мало говоритъ выраженіе: „паровозъ можетъ развить столько-то лошадиныхъ силъ“. Очень трудно точно измѣрить въ килограммометрахъ непрерывно мѣняющуюся работу паровоза. Быть можетъ паровозъ и можетъ развить 1000—1200 лощ. силъ; но только въ теченіе нѣсколькихъ секундъ и тогда это число не будетъ его мѣрою. Или наконецъ паропроизводительность котла—величина съ трудомъ уловимая, такъ какъ она зависитъ не только отъ поверхности нагрѣва котла и площади колосниковой рѣшетки, но и отъ качества топлива и интенсивности его сгорания. Въ зависимости отъ этихъ данныхъ—при одной и той же рѣшеткѣ—можно получить самое разнообразное количество пара и обратно—паровозы съ различною площадью колосниковой рѣшетки могутъ дать одно и тоже количество пара, напр. англійскіе паровозы, имѣющіе очень малую рѣшетку, но работающіе на превосходномъ углѣ, также производительны, какъ бельгійскіе, имѣющіе рѣшетку въ 1½ раза большую, но отапливаемые угольнымъ муссоромъ. Поэтому заявленіе, что рѣшетка даннаго паровоза мала или паровозъ даетъ мало пару—не имѣетъ никакой цѣны, разъ не будутъ указаны обстоятельства, при которыхъ это обнаружено, т. е. родъ топлива, величина работы паровоза и проч.

Замѣтимъ еще, что благодаря сложности явленій, сопровождающихъ работу паровоза, несовершенству приборовъ и невыработанности методовъ изслѣдованія—очень часто дѣлаются изъ однихъ и тѣхъ-же дан-

ныхъ противорѣчивые выводы, но для сравненія авторомъ приводятся иногда и таковыя.

4) Вслѣдствіе взаимной связи между собою тѣхъ явленій, которыя сопровождаютъ работу паровоза, автору приходилось иногда говорить объ одномъ и томъ-же вопросѣ, въ зависимости отъ обстоятельствъ, въ разныхъ мѣстахъ текста. Для облегченія нахожденія требуемыхъ справокъ—къ книгѣ приложенъ систематическій указатель.

Вопросъ объ опытномъ изслѣдованіи паровозовъ слишкомъ сложенъ и еще мало разработанъ. Поэтому предлагаемая книга отнюдь его не исчерпываетъ вполне и до полного рѣшенія этого вопроса остается сдѣлать еще очень много. Но, видя неотложныя потребности практической жизни, авторъ рѣшился печатать книгу, сознавая, что она является только незначительнымъ камнемъ въ фундаментъ того зданія, которое, безспорно, возведутъ въ будущемъ наши инженеры.

У читателя могутъ возникнуть новые вопросы, здѣсь не предусмотрѣнные или еще не разрѣшенные наукою и техникою, но это будетъ явленіемъ нормальнымъ и неизбежнымъ, такъ какъ при каждомъ научномъ изслѣдованіи, по мѣрѣ расширения знаній, будутъ возникать ряды новыхъ вопросовъ, требующихъ отвѣта и въ рѣшеніи ихъ и заключается сущность прогресса въ данной области. По образному выраженію Спенсера—знаніе похоже на шаръ, при расширеніи котораго увеличивается число точекъ соприкосновенія его съ окружающею темною средою. Это въ особенности относится къ желѣзнодорожной technikѣ, имѣющей еще такъ много темныхъ, не выясненныхъ сторонъ и передъ которою стоятъ еще многія не рѣшенныя задачи. Вспомнимъ хотя то, что къ паровозамъ еще почти не примѣнялись, за рѣдкими и часто неудачными исключеніями, пароперегрѣваніе, конденсація пара, паровыя рубашки, парораспределенія съ быстрою отсѣчкою и пр.

Съ другой стороны—техника развивается не по днямъ, а по часамъ; тѣ приборы, которые теперь во всеобщемъ употребленіи, какъ наилучшіе—можетъ быть завтра будутъ оставлены, какъ устарѣвшіе и замѣнены новыми, а вмѣстѣ съ тѣмъ могутъ измѣниться и методы изслѣдованія и тѣ выводы, которые теперь считаются неопровержимыми.

Желая не отставать отъ быстро идущей впередъ техники—авторъ предполагаетъ время отъ времени дѣлать дополненія къ книгѣ въ видѣ отдѣльныхъ выпусковъ, въ которыхъ, были-бы собраны всѣ новѣйшія свѣдѣнія о данномъ вопросѣ изъ иностранныхъ періодическихъ изданій, описанія новѣйшихъ опытовъ, приборовъ и пр. Поэтому, ввиду общей пользы, авторъ проситъ и своихъ читателей—указать на тѣ упущенія, ошибки и неточности, которыя окажутся въ данномъ трудѣ и которыя неизбежны въ каждомъ новомъ дѣлѣ, въ особенности при господствующихъ многочисленныхъ и часто различныхъ и противорѣчивыхъ взгля-

дахъ на одно и то-же явленіе и пока еще слабомъ обмѣнѣ мыслей, въ особенности у насъ въ Россіи; на тѣ приборы, которые быть можетъ оказались вполне удовлетворительными на практикѣ, но не упомянуты въ книгѣ; на тѣ позднѣйшіе выводы и наблюденія, которые очень интересны или важны, но еще не попали въ печать и слѣдовательно неизвѣстны техническому міру.

Главная-же задача заключается въ томъ, чтобы обратить вниманіе читателей на неотложную необходимость заняться тщательнымъ и энергичнымъ опытнымъ изслѣдованіемъ паровозовъ, на всю серьезность этого дѣла и важность его въ области желѣзно-дорожнаго хозяйства и авторъ сочтетъ себя вполне удовлетвореннымъ, если цѣль его будетъ, хотя отчасти, достигнута.

Н. Карташовъ.

Мюнхенъ.
Декабрь 1901.

Вступленіе.

„Факты, но не мнѣнія“.
Hirn.

Конецъ XIX вѣка, въ особенности начиная съ 1893 года—времени выставки въ Чикаго, ознаменовался новымъ вѣяніемъ въ области эксплуатаціи паровыхъ двигателей, а именно стремленіемъ къ широкому примѣненію научно обставленнаго, опытнаго ихъ изслѣдованія съ цѣлью найти средства къ повышенію коэффициента полезнаго дѣйствія, увеличенія ихъ экономичности и соответствующихъ улучшеній отдѣльныхъ деталей. Для нахождения рациональныхъ методовъ подобныхъ изслѣдованій и ознакомленія съ ними новыхъ поколѣній инженеровъ—въ настоящее время повсемѣстно за границею и въ Россіи при высшихъ учебныхъ техническихъ заведеніяхъ устроены или устраиваются инженерныя лабораторіи, которыя снабжаются наиболѣе часто встрѣчающимися типами котловъ, постоянныхъ паровыхъ машинъ, газовыхъ, керосиновыхъ и гидравлическихъ двигателей и электромоторовъ и всѣми приборами, необходимыми для полнаго ихъ изслѣдованія. И уже теперь этимъ лабораторіямъ техника обязана многими цѣнными вкладами въ науку, но особенно многого надо ожидать въ будущемъ, при дальнѣйшемъ ихъ развитіи. Съ своей стороны правительства не жалѣютъ на это средствъ, не безъ основанія считая, что прогрессъ техники и промышленности только тогда и можетъ быть обезпеченъ, когда онѣ основываются на научныхъ данныхъ, проверенныхъ посредствомъ тщательныхъ, научно обставленныхъ опытовъ.

Такимъ образомъ техника вступила теперь на путь, завѣщенный ей основателемъ современной экспериментальной теоріи машинъ знаменитымъ Нирномъ, который сказалъ, что „опытъ и только опытъ можетъ намъ дать отвѣты на массу вопросовъ, выдвигаемую практикой. Всякое заявленіе, касающееся машинъ, должно быть подтверждено фактами и всякая ихъ оцѣнка, внѣ точныхъ цифровыхъ данныхъ—не имѣетъ пракческаго значенія“.

Сообразно съ этимъ расширяется и усложняется и роль современнаго техника. Примѣняя научные выводы на практикѣ ему приходится

принимать въ соображеніе и изслѣдовать всѣ тѣ физическія, техническія и экономическія условія, которыя, вліяя одни на другія, дѣйствуютъ одновременно. Понятно—„легче рѣшить задачу при отвлеченіи отъ многочисленныхъ существующихъ условій, чѣмъ правильно разглядѣть ее сквозь массу скрывающихся ее обстоятельствъ и послѣ оцѣнки ихъ всѣхъ—рѣшить задачу съ отвѣтственностью за правильность. Но послѣднее и есть задача техники“... (Riedler). Отвлеченное-же, аналитическое, теоретическое рѣшеніе какого-нибудь технического вопроса—только математическое упражненіе; безъ соблюденія сказанныхъ условій—„нѣтъ техники, остается только бесплодная игра формулами“...

Но кромѣ того, при современномъ, гигантскомъ развитіи промышленности и конкуренціи—въ технику на первый планъ выступаетъ теперь самая важная и трудная область—„технической экономикѣ“. По словамъ проф. Riedler'a „въ концѣ инженернаго труда является достиженіе наибольшаго экономическаго результата при относительно возможно малой тратѣ техническихъ средствъ и при возможно малыхъ издержкахъ“. Поэтому и всѣ техническія изобрѣтенія и усовершенствованія въ настоящее время оцѣниваются главнымъ образомъ съ точки зрѣнія величины доставляемой ими экономіи.

Всѣ сказанное относится, тѣмъ болѣе, и къ паровозамъ, число которыхъ достигаетъ нѣсколькихъ десятковъ тысячъ (на русскихъ жел. дорогахъ къ 1-му января 1900 года числилось 1858 пассажирскихъ и 8716 товарныхъ паровозовъ) и которые доставляютъ во много разъ большее число лошадиныхъ силъ, чѣмъ всѣ остальные двигатели вмѣстѣ взятые. Ими расходуется ежегодно топлива на колоссальныя суммы (въ одной Россіи почти на 30 милліоновъ рублей) и слѣдовательно достигнутая экономія, выражаемая даже небольшимъ числомъ процентовъ, дастъ въ результатъ очень большую сумму. Очевидно—изслѣдованіе паровозовъ съ цѣлью увеличенія экономичности ихъ работы—имѣетъ первостепенное значеніе для желѣзно-дорожнаго хозяйства.

При этомъ замѣтимъ, что паровозы поставлены въ значительно худшія условія, чѣмъ постоянныя машины: 1) работа ихъ крайне не постоянна и непрерывно мѣняется отъ нуля до шахматной величины; 2) вслѣдствіе этого и паровозный котель находится не въ такихъ благоприятныхъ условіяхъ, какъ постоянные котлы, работающіе по большей части безъ особаго напряженія и дающіе достаточно сухой паръ. Въ то время, какъ для питанія постоянныхъ машинъ служитъ часто цѣлая батарея котловъ—здѣсь все замѣняется только однимъ котломъ, который долженъ давать паръ для машины иногда въ 1000—1300 лоп. силъ, сжигая огромное количество топлива и являясь поэтому всегда перегруженнымъ; 3) въ паровозахъ все приносится въ жертву простотѣ и сохраненію мѣста: до сихъ поръ, за единичными исключеніями, примѣняется

парораспределение простымъ коробчатымъ золотникомъ, крайне невыгоднымъ при употребленіи малыхъ отсѣчекъ; паровыя рубашки, конденсація мятаго пара—не примѣняются вовсе; цилиндрамъ нельзя дать желаемаго діаметра изъ-за размѣровъ габарита; ресиверъ, за неимѣніемъ мѣста, имѣеть форму узкой трубы; вся машина, развивая часто до 1200 лощ. силъ, должна занимать ничтожное по своей площади мѣсто, помѣщаясь подь котломъ и подвергаясь всѣмъ невгодамъ погоды. Но вмѣстѣ съ тѣмъ, двигаясь сама и везя за собою поѣздъ со скоростью нѣсколькихъ десятковъ верстъ, она должна быть прочна, такъ какъ иногда ничтожное поврежденіе служитъ причиною крушенія поѣзда со всѣми ужасными послѣдствіями; она должна быть экономна, такъ какъ незначительное повышение расхода топлива и воды—влечеть за собою въ общемъ большіе убытки.

Все это должно заставить желѣзно-дорожныхъ техниковъ обратить на паровозы особенное вниманіе и заняться самымъ тщательнымъ ихъ изученіемъ, тѣмъ болѣе, что повсемѣстное стремленіе къ увеличенію скорости движенія поѣздовъ можетъ быть удовлетворено только при высокой экономичности паровозовъ и вообще дальнѣйшій прогрессъ въ этомъ отношеніи существенно зависитъ отъ этого фактора, такъ какъ расходъ топлива и пара значительно возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости.

Вмѣстѣ съ тѣмъ передъ нами возникаетъ еще другая задача, также требующая тщательныхъ изслѣдованій въ самыхъ широкихъ размѣрахъ: необходимо обратить самое серьезное вниманіе на „индивидуализацію“ паровоза. Однообразіе ихъ должно быть допускаемо только въ предѣлахъ однообразія условій ихъ службы.

Каждая мѣстность съ своею рѣзкою особенностью: горныя области Кавказа и Урала, центральныя равнины Европейской Россіи и равнины Сибири, сѣверныя области съ 30-градусными морозами и дровянымъ отопленіемъ и Закаспійскій и Закавказскій края съ 50-градусными жарами и нефтянымъ отопленіемъ, всѣ онѣ должны обслуживаться паровозами съ точно изученными особенностями, размѣрами, соответствующими характеру движенія, топливу, климату и пр. Только тогда и можно надѣяться на многомилліонную экономію, на относительное сокращеніе числа паровозовъ и лучшее ихъ сохраненіе.

Безспорно—„нормальныхъ“ типовъ паровозовъ должно быть нѣсколько, какъ пассажирскихъ, такъ и товарныхъ, и нельзя всю Россію, начиная съ сѣверныхъ тундръ и кончая южными песками, всѣ ея сѣти съ самыми различными размѣрами движеній—обслуживать однимъ нормальнымъ типомъ, о чемъ одно время мечтали. Стремленіе нѣкоторыхъ желѣзнодорожныхъ обществъ выработать свои „мѣстные“ нормальные типы замѣчается уже и теперь.

Такимъ образомъ каждый паровозъ долженъ имѣть вполне определенное назначеніе и исполнять ту работу, которая наиболее соответствуетъ его силѣ и размѣрамъ, если только желаютъ, чтобы работа его была экономна. Следовательно—необходимо тщательно изучить тѣ условия, которымъ должны удовлетворять заказываемые паровозы и обратно—каждый существующій уже на дорогѣ типъ необходимо изслѣдовать и найти тѣ условия, при которыхъ его работа будетъ наиболее плодотворна, т. е. найти наиболее выгодную для него скорость, составъ поѣздовъ и пр.

Благодаря однообразному характеру мѣстности обширныхъ областей, Россія находится въ очень благоприятныхъ условияхъ и одни и тѣ-же выработанные типы могутъ обслуживать желѣзнодорожныя сѣти большихъ районовъ.

Наконецъ, по мѣрѣ необходимости, должны быть изслѣдованы еще и имѣющіеся на лицо паровозы для нахождения ихъ недостатковъ и причинъ, отъ которыхъ они зависятъ, чтобы устранивши таковые и измѣняя нѣкоторыя детали соответствующимъ образомъ—улучшить ихъ работу или, какъ говорятъ, „вылечить больные паровозы“.

При введеніи-же на дорогѣ новыхъ типовъ паровозовъ, а также при всякомъ важномъ нововведеніи, напр. при новомъ топливѣ, смазкѣ, при крупныхъ измѣненіяхъ въ подвижномъ составѣ и пр. должны быть произведены „сравнительные“ опыты для полученія практическихъ данныхъ, на основаніи которыхъ, сопоставляя ихъ съ бывшими результатами, можно узнать—выгодны-ли эти нововведенія или нѣтъ.

Изъ сказаннаго мы видимъ—на сколько важно тщательное изслѣдованіе паровозовъ и какъ должна быть серьезна и ответственна на желѣзной дорогѣ роль экспериментатора. Надлежащимъ образомъ обставленное изслѣдованіе—принесетъ выгоды, которыя даже трудно оцѣнить впередъ и наоборотъ—пренебреженіе къ нему повлечетъ за собою неизбежныя убытки.

Это считается за аксіому—и поэтому серьезное изслѣдованіе паровозовъ практикуется за границею уже нѣсколько десятилѣтій и если еще мало специальныхъ постоянныхъ инженерныхъ лабораторій, которыя встрѣчаются пока только съ С. Америкѣ *), то изслѣдованіе паровозовъ путемъ научно обставленныхъ опытныхъ поѣздовъ съ поѣздами—производилось и производится очень часто и въ широкихъ размѣрахъ и многія изъ нихъ, давшія цѣнные результаты, пользуются заслуженною извѣстностью.

Передъ русскими-же техниками—вопросъ объ организациі опытнаго изслѣдованія паровозовъ—встаетъ во всей своей силѣ и требуетъ немедленнаго разрѣшенія, такъ какъ наша желѣзно-дорожная сѣть быстро ро-

*) Напр. при университетѣ Purdue въ шт. Индіана.

стеть, движеніе по ней увеличивается не по днямъ, а по часамъ и новыхъ паровозовъ требуется въ годъ болѣе 1000 штукъ. Но... къ сожалѣнію—это дѣло у насъ находится въ полнѣйшемъ затонѣ, хотя уже 20 лѣтъ тому назадъ стараніями нашихъ просвѣщенныхъ инженеровъ Бородина и Леви была устроена испытательная станція въ Кіевѣ и производились обширные опыты съ поѣздами, результаты которыхъ обратили на себя вниманіе всего технического міра. Эти инженеры являются у насъ пионерами въ области научнаго изслѣдованія паровозовъ и исторія желѣзно-дорожнаго дѣла въ Россіи—не забудетъ ихъ именъ. Съ тѣхъ поръ къ ихъ трудамъ ничего не прибавлено новаго. Всюду замѣчается въ этомъ отношеніи, за рѣдкими исключеніями, полный индифферентизмъ и къ удивленію—автору приходилось часто встрѣчать желѣзно-дорожныхъ техниковъ не только не сознающихъ всю важность серьезнаго испытанія паровозовъ, но считающихъ его вопросомъ второстепеннымъ, рѣшать который „некогда, да и некому“, „лишнюю проволочку“... Впрочемъ, это печальное явленіе отчасти объясняется общимъ закономъ Д. С. Милля, по которому всякая реформа, въ какой-бы то ни было области, должна проходить черезъ три стадіи: „насмѣшку, испытаніе и усвоеніе“.

Подобное пренебреженіе къ общепринятымъ истинамъ и научнымъ выводамъ не могло пройти безслѣдно и дало уже свои результаты. Призмромъ въ высшей степени поучительнымъ по своей яркости и размѣрамъ, можетъ служить исторія съ нормальнымъ 8-колеснымъ товарнымъ паровозомъ—Comroud заказа 1893 года. При проектированіи его на одномъ изъ нашихъ первоклассныхъ паровозостроительныхъ заводовъ—были приняты, повидимому, всѣ мѣры къ достиженію благоприятныхъ результатовъ и этотъ типъ, прежде чѣмъ была сдѣлана хотя одна верста, былъ уже признанъ „нормальнымъ“ и паровозовъ этого типа заказали на заводахъ нѣсколько сотъ штукъ. Первые, выпущенные паровозы не были подвергнуты систематическому, научно-обставленному испытанію и соответствующимъ образомъ не были исправленъ проектъ. Паровозъ оказался... неудовлетворительнымъ. Жалобы раздавались со всѣхъ сторонъ и на основаніи собранныхъ отзывовъ были внесены нѣкоторыя улучшенія („типъ 1897 года“). Опять были заказаны многія сотни паровозовъ на десятки милліоновъ рублей, но не смотря на бывшій уже урокъ— снова не было серьезныхъ, тщательныхъ изслѣдованій. И вотъ теперь, когда этими паровозами снабжены многія желѣзно-дорожныя линіи, оказалось (по заявленію представителей желѣзныхъ дорогъ на XXII совѣщательномъ съѣздѣ инженеровъ подвижнаго состава и тяги), что „по сравненіи нормальныхъ паровозовъ съ обыкновенными 8-колесными паровозами простого парораспредѣленія, существующими на нѣкоторыхъ желѣзныхъ дорогахъ, нормальные паровозы, не отличаясь преимуществами:

а) требуютъ большаго расхода на ремонтъ;

- б) бóльшаго расхода смазки;
- в) не дают ощутительной экономіи въ топливѣ;
- г) не пригодны для маневровъ;
- д) берутъ поѣздъ съ мѣста труднѣе;
- е) не даютъ равномерной работы обоихъ цилиндровъ при разныхъ отсѣчкахъ;
- ж) обладаютъ недостаточною поверхностью нагрѣва и колосниковой рѣшетки;
- з) отличаются бóльшимъ вѣсомъ“.

Конструктивныхъ недостатковъ найдено 57, въ числѣ которыхъ, кромѣ указанныхъ въ пунктѣ Ж, находятся: слишкомъ узкое разстояніе между дымогарными трубками, не прочное укрѣпленіе цилиндровъ, не удовлетворительность конуса, инжекторовъ, предохранительныхъ клапановъ, уравновѣшенныхъ золотниковъ, взятой системы парораспределенія...

Благодаря малымъ котламъ и несоотвѣтствію площади рѣшетки съ расходомъ пара—пару не хватаетъ, котель слишкомъ перегруженъ, паръ получается очень влажный; треніе въ механизмѣ паровоза слишкомъ велико вслѣдствіе несоразмѣрности частей; движущіяся части уравновѣшены плохо и при движеніи качка паровоза очень велика и расширяется путь; размѣры топки, діаметръ цилиндровъ, колесъ, осей—не пропорціональны вѣсу паровоза...

Въ печать еще проникли слѣдующія данныя объ этомъ типѣ: по отчету одной изъ желѣзныхъ дорогъ нормальный паровозъ, везя 64,85 груз. осей расходуетъ на 1000 паровозо-версть 975,64 пуда угля, а обыкновенные паровозы, постройки 1870 г., везуть 75,57 груз. осей и расходуютъ только 860,16 пуда, т. е. на 13% меньше. Такимъ образомъ каждый паровозъ, дѣлая въ годъ 40.000 версть; даетъ сравнительно убытокъ— $(975,64 - 860,16) \times 40 \times 0,13$ —около 600 рублей.

Таковъ нашъ „нормальный типъ“, заполнившій многія изъ нашихъ желѣзныхъ дорогъ! Изъ трудовъ Высочайше утвержденной комиссіи для изслѣдованія желѣзно-дорожнаго дѣла въ Россіи (см. ея „докладъ о состояніи паровозовъ“, 1882 г.) видно, что и раньше поступали на желѣзные дороги „совершенно новые паровозы... весьма неудовлетворительной конструкціи и для службы не годные“. Прошло 20 лѣтъ, но прогрессъ не коснулся этой важной области желѣзно-дорожнаго хозяйства: правила пріемки, пренебреженіе къ предварительному изслѣдованію первыхъ выходящихъ партій паровозовъ и къ детальному изученію паровозовъ вообще—остались тѣ-же. Одинаковыя причины должны дать одинаковыя и слѣдствія, что мы и видимъ на приведенныхъ примѣрахъ.

И такъ—ошутное изслѣдованіе паровозовъ, совмѣстно съ изученіемъ мѣстныхъ условій, должно производиться со всею энергіею. Къ сожалѣнію, до сихъ поръ общіе методы изслѣдованія, общія руководящія начала—

обмѣна теплоты. Это случай теоретическій и на практикѣ только можетъ быть нѣкоторое приближеніе къ нему. Процессы, совершающіеся съ паромъ при такихъ условіяхъ, называются *адиабатическими*

Если паръ при этомъ расширяется и совершаетъ работу для преодоленія внѣшнихъ давленій, напр. двигаетъ поршень цилиндра, то, не имѣя возможности взять потребное количество теплоты извнѣ, онъ, для производства работы, будетъ брать теплоту отъ самаго себя, стущаясь въ воду. Т. о. *адиабатическое расширение сухого насыщеннаго пара necessarily сопровождается его конденсаціей* (т. е. при совершеніи внѣшней работы безъ подогреванія). Обратнo—если подъ вліяніемъ внѣшняго давленія насыщенный паръ *сжимается*, то выдѣляемая при этомъ теплота, не имѣя выхода, пойдетъ на нагрѣваніе пара, который и переходитъ въ *перегрѣтое состояніе*.

Но предположимъ теперь, что въ цилиндрѣ находится и вода, температура которой = t^0 , напр. въ видѣ примѣси къ пару (т. е. паръ имѣется влажный); ясно, что при расширеніи, когда давленіе пара уменьшится, вода выдѣлитъ избытокъ своей теплоты, которая и пойдетъ на образованіе новаго количества пара, т. е. *адиабатическое расширение влажнаго пара сопровождается испареніемъ воды* и слѣд. при этомъ одновременно—конденсируется паръ и испаряется вода. Поэтому-то при адиабатическихъ процессахъ съ влажнымъ паромъ—нельзя заранѣе сказать—какія будутъ происходить явленія: всё будетъ находиться въ зависимости отъ процентнаго содержанія въ смѣси воды и пара и преобладанія явленія конденсаціи или испаренія. Приблизительно можно сказать, что при содержаніи пара въ смѣси болѣе 50%—въ результатѣ расширеніе будетъ сопровождаться конденсаціей, сжатіе—осушеніемъ пара.

На сколько это наблюдается на практикѣ, будетъ указано дальше.

Законъ, по которому расширяется въ данномъ случаѣ паръ, совершая внѣшнюю работу, или сжимается, поглощая внѣшнюю работу, достаточно точно выражается эмпирическою формулою Лапласа и Пуассона

$$pv^n = \text{пост.} \dots \dots \dots (14)$$

гдѣ v —объемъ пара, p —соотвѣтствующее его давленіе и n —нѣкоторый показатель. Такимъ образомъ давленія обратнo пропорціональны n -ой степени объемовъ.

Для постоянныхъ газовъ и перегрѣтыхъ паровъ $n = 1,41$; для сухого насыщеннаго пара по Zeiner'у $n = 1,135$, по Greshofy = 1,14; по Rankine'у = 1,111.

Zeiner полагаетъ, что n измѣняется со степенью влажности пара:

$$n = 1,035 + 0,1 x \dots \dots \dots (15)$$

На практикѣ величина n мѣняется въ зависимости отъ обстоятельствъ (§ 7).

2) Если процессы совершаются *при постоянной температурѣ*, для поддержанія которой паръ долженъ быть сообщенъ съ источникомъ теплоты неизмѣнной температуры, то они называются *изотермическими*. Такъ какъ величины u , p , q и r опредѣляются температурою, то онѣ при этомъ остаются постоянными и мѣняется только сухость пара x .

Происходящія при этомъ явленія выражаются закономъ Мариотта

$$pv = \text{пост.} \dots \dots \dots (16)$$

т. е. при постоянной температурѣ—объемы пара обратно пропорціональны его давленіямъ. Этотъ законъ, впрочемъ, справедливъ только для постоянныхъ газовъ или сильно перегрѣтыхъ паровъ. Что касается до x , то при расширеніи, понятно, x будетъ увеличиваться и при сжатіи—уменьшаться, т. е. *процессъ изотермическаго расширенія стравоздается осушеніемъ пара, а изотермическаго сжатія—сгущеніемъ его въ воду.*

§ 4. Графическое изображеніе законовъ расширенія и сжатія.

1) Какъ видно изъ § 3, законъ изотермическаго расширенія и сжатія изображается въ видѣ ур-ія $pv = \text{пост.}$ (законъ Мариотта). Это ур-іе равносторонней гиперболы, имѣющей координатныя оси своими асимптотами. Она называется также „изотермой“ или „кривою Мариотта“. Изъ нѣсколькихъ способовъ вычерчиванія ея—приводимъ простѣйшій. (Ф. 1) OX —ось объемовъ v , OY —ось давленій p . Пусть A начальное состояніе, для котораго $p = p_1$ и $v = v_1$. Проводимъ прямыя Ax и Ay и потомъ $O1, O2, O3\dots$ Тогда пересѣченія вертикалей $1a, 2b, 3c\dots$ съ горизонталями $Ia, IIb, IIIc\dots$ дадутъ точки $a, b, c\dots$, принадлежащія гиперболѣ.

Если-же на пути отъ D до E тѣло сжимается, то кривую сжатія строимъ такимъ-же образомъ: проводимъ линіи $O1', O2', O3'\dots$ и пересѣченія вертикалей $1'a', 2'b', 3'c'\dots$ съ горизонталями $I'a', II'b'\dots$ дадутъ точки $a', b'\dots$, принадлежащія линіи (гиперболѣ) сжатія.

2) Законъ адиабатическаго расширенія или сжатія выражается ур-іемъ $pv^n = p_0v_0^n = \text{пост.}$, представляющемъ, подобно предыдущему, также гиперболу, называемую „адиабатою“ или „адиабатическою кривою“. Весьма простой способъ построения адиабаты предложенъ Брауер'омъ (ф. 2);

изъ ур-ія $pv^n = p_0v_0^n$ находимъ: $\frac{p}{p_0} = \left(\frac{v_0}{v}\right)^n$. Пусть точка, для которой координаты $= p_0$ и v_0 будетъ A . Замѣтимъ, что если взять абсциссы v гиперболы въ геометрической прогрессіи, напр. съ знаменателемъ k , то соответствующія ординаты p составятъ также геометрическую прогрессію

съ знаменателемъ $\left(\frac{1}{k}\right)^n$. Поэтому поступаемъ такимъ образомъ: беремъ какую-нибудь величину для k , напимѣрь $\frac{5}{4}$. Наносимъ рядъ абсциссъ v , составляющихъ геометрическую прогрессию съ знаменателемъ k , для чего возьмемъ напимѣрь величину $v = ob$ такимъ образомъ, чтобы $\frac{ob}{oa} = \frac{5}{4}$.

Проводимъ произвольную прямую черезъ b до пересѣченія съ Aa въ точкѣ a' и соединяемъ a' съ O прямою OX . Тогда, продолживъ ординату Vb до b' и проведя $b'c \parallel a'b$, находимъ новую абсциссу oc и т. д., такъ какъ $\frac{ob}{oa} = \frac{oc}{ob} = \dots = \frac{5}{4}$.

Чтобы найти соответствующія ординаты, найдемъ знаменатель $\left(\frac{1}{n}\right)^k$ отношенія между ними, который у насъ $= \left(\frac{4}{5}\right)^n$. Зная напимѣрь абсциссу v_0 и соответствующую ординату p_0 для точки A , находимъ для какой-нибудь новой абсциссы v — соответствующую ординату $p = \left(\frac{4}{5}\right)^n \cdot p_0$ *). Отложимъ теперь $ob_1 = p$; для нахождения другихъ ординатъ, составляющихъ прогрессию съ знаменателемъ $\left(\frac{4}{5}\right)^n$, поступаемъ по предыдущему, какъ при нанесеніи абсциссъ.

Пересѣченія этихъ абсциссъ $b_1B, c_1C \dots$ съ соответствующими ординатами $bB, cC \dots$ и дадутъ искомыя точки кривой.



*) Напр. для $n = 1,41$ находимъ $\left(\frac{4}{5}\right)^{1,41} = 0,73$ и $p = 0,73 p_0$.

ЧАСТЬ II-я.

Дѣйствіе пара въ паровозахъ.

§ 5. Индикаторъ. Его идея. Индикаторная діаграмма.

Паровозъ, какъ и каждая паровая машина, есть калорическій двигатель, задача котораго заключается въ превращеніи теплоты въ механическую работу. Посредникомъ является вода, которой, за счетъ сжигаемаго топлива, сообщается извѣстное количество теплоты, при чемъ вода превращается въ паръ извѣстной упругости. Этотъ паръ, входя въ паровой цилиндръ, дѣйствуетъ на поршень, приводитъ его, а слѣд. и паровую машину, въ движеніе и выходитъ въ атмосферу, обладая меньшей упругостью и температурою. Если-бы машина была идеальна, то весь излишекъ теплоты входящаго пара надъ выходящимъ былъ-бы превращенъ въ полезную работу, но фактически этого никогда не бываетъ. Термическія свойства стѣнокъ цилиндра и многія другія обстоятельства, о которыхъ будетъ сказано ниже, вліяютъ на потерю паромъ теплоты и упругости, а слѣд. и на величину произведенной работы. Всѣ эти обстоятельства чрезвычайно сложны и почти не поддаются аналитическимъ изслѣдованіямъ, хотя послѣднее время и появлялись попытки, напр. Nadal'я въ „Annales des mines“ 1897 г. Изученіе всѣхъ тѣхъ дѣйствительныхъ явленій, которыя происходятъ съ паромъ во время его работы въ паровомъ цилиндрѣ, дають главнѣйшій матеріалъ для сужденія о степени экономичности данной паровой машины и ея коэффициентъ полезнаго дѣйствія. Это изслѣдованіе можетъ быть произведено только при помощи прибора, называемаго *индикаторомъ*, изобрѣтеннаго знаменитымъ Уаттомъ въ 1790 г., безъ котораго дальнѣйшія усовершенствованія паровыхъ машинъ были-бы невозможны. Извѣстно, что малѣйшее измѣненіе обстоятельствъ работы пара въ цилиндрѣ, вызываетъ немедленно соотвѣтствующее измѣненіе его упругости; индикаторы и дають кривыя, называемыя *индикаторными діаграммами*, которыя представляютъ графическое изображеніе измѣненій упругости пара въ цилиндрѣ во время полного оборота вала машины.

Идея устройства индикатора Уатта заключается въ слѣдующемъ (Фиг. 3):

Къ приливу m или m' пароваго цилиндра машины прикрѣпляется небольшой металлическій цилиндрикъ A , въ которомъ ходитъ плотно пришлифованный поршень r ; штокъ его s , снабженный карандашемъ t , проходитъ черезъ верхнюю крышку. Между нею и поршнемъ помѣщена пружина u . Если открыть кранъ n , то паръ изъ пароваго цилиндра устремится подъ поршень r , сожметъ пружину u на величину, пропорціональную упругости пара, и слѣд. подниметъ его, со штокомъ и карандашемъ, на соотвѣтствующую величину вверхъ. Бумага k , которой касается карандашъ, получаетъ свое поступательное движеніе отъ штока l пароваго цилиндра B . Т. о. при совокупности этихъ двухъ движеній: вертикальнаго, пропорціональнаго давленію пара и горизонтальнаго, пропорціональнаго движенію поршня въ паровомъ цилиндрѣ, карандашъ t и начертитъ на бумагѣ вышеупомянутую индикаторную діаграмму. На этой же бумагѣ всегда наносится еще „атмосферная“ линия, соотвѣтствующая упругости подъ поршнемъ r равной одной атмосферѣ и которую начертитъ карандашъ t , если пространство подъ поршнемъ r , посредствомъ трехходоваго крана n , соединитъ съ наружнымъ воздухомъ. Въ современныхъ индикаторахъ, описанныхъ ниже, эта идея осталась безъ измѣненія.

И такъ, индикаторъ даетъ діаграмму, общій видъ которой представленъ на фиг. 4. Приступая къ ея изслѣдованію, проводятъ: 1. „вакуумъ-линію“ of (или „нулевую“), соотвѣтствующую абсолютной пустотѣ. Она проводится, параллельно «атмосферной» линіи rs , на разстояніи = величинѣ сжатія пружины u подъ давленіемъ = одному $\frac{kg}{cm^2}$. 2. „Линію вреднаго пространства“ op на разстояніи h_0 отъ начала хода поршня a , равномъ величинѣ вреднаго пространства соотвѣтствующей стороны цилиндра въ $\frac{0}{100}$ хода поршня. Эти двѣ линіи op и of принимаются за оси координатъ, начало которыхъ слѣд. будетъ въ точкѣ o . 3. „Линію котловаго давленія“ pn , которая проводится на разстояніи no , соотвѣтствующемъ давленію пара въ котлѣ (въ опредѣленномъ масштабѣ давленій) (см. ниже).

Тогда абсциссы, считаемыя отъ точки a , будутъ представлять, въ извѣстномъ масштабѣ, пути, пройденные поршнемъ отъ лѣвой мертвой точки, а соотвѣтствующія ординаты—давленія пара въ данные моменты на поршень, соотвѣтствующія квадратной единицѣ его площади (потому что давленія p относятся къ единицѣ площади). Разбивши теперь діаграмму ординатами на весьма большое число узкихъ полосъ, найдемъ, что площадь каждой изъ нихъ = произведенію изъ высоты на ширину или давленію пара на пройденный путь (элементарный) поршня, т. е. площади

ихъ будутъ изображать элементарныя работы пара, соответствующія квадратной единицѣ площади поршня, а слѣд. *площадь всей индикаторной діаграммы выражаетъ полную работу пара въ продолженіи одного хода поршня.*

Въ обыкновенныхъ современныхъ паровыхъ машинахъ различаютъ слѣдующіе *періоды дѣйствія пара въ цилиндрѣ*:

1. Въ началѣ хода поршня—въ цилиндрѣ будетъ входить свѣжій паръ изъ котла. Давленіе будетъ наибольшее и карандашъ находится въ точкѣ *A*. Этотъ „*періодъ впуска*“ продолжается до точки 1, гдѣ происходитъ такъ называемая „*отсѣчка пара*“ и впускъ прекращается. При этомъ будетъ описана линія *A1*, въ идеальномъ случаѣ—горизонтальная.

2. Въ точкѣ 1, когда поршень пройдетъ путь *ag*, впускъ, какъ сказано, прекращается, но такъ какъ поршень продолжаетъ двигаться впередъ и объемъ, занимаемый паромъ, будетъ увеличиваться, то наступаетъ его расширеніе. При этомъ давленіе пара будетъ падать и карандашъ, опускаясь, опишетъ кривую 1,2, называемую „*кривою расширенія*“; этотъ періодъ называется „*періодомъ расширенія*“.

3. Въ точкѣ 2 цилиндръ соединяется съ паровыпускнымъ каналомъ и паръ начинаетъ выпускаться раньше, чѣмъ поршень прійдетъ въ свою правую мертвую точку *f*. Получается, такъ называемое, „*предвареніе выпуска*“. При этомъ давленіе быстро падаетъ и карандашъ опишетъ кривую 2В. При обратномъ ходѣ поршня, на пути отъ *f* до *c*, паръ выпускается, давленіе въ цилиндрѣ достигаетъ своего *minimum'a* и линія выпуска почти всегда горизонтальна. Т. о. на пути *efc* имѣемъ „*періодъ выпуска*“.

4. Въ точкѣ 3 періодъ выпуска кончается и шаровыпускной каналъ закрывается, но такъ какъ поршень продолжаетъ двигаться влѣво и объемъ, занимаемый оставшимся паромъ, не успѣвшимъ выйти изъ цилиндра наружу, уменьшается, то онъ сжимается, и давленіе его повышается: наступаетъ „*періодъ сжатія*“ и карандашъ опишетъ кривую 3,4. Наконецъ

5. въ точкѣ 4, прежде чѣмъ поршень прійдетъ въ свою лѣвую мертвую точку, т. е. на пути *ba*, выпускается свѣжій паръ („*предвареніе выпуска*“). Давленіе пара быстро повышается и къ концу хода (въ идеальномъ случаѣ) карандашъ прійдетъ снова въ точку *A*, описавши такимъ образомъ замкнутую кривую. Этотъ періодъ можно разсматривать, какъ часть періода впуска.

Каждый изъ этихъ періодовъ имѣетъ весьма большое значеніе, оказывая существенное вліяніе на работу пара; между тѣмъ многія обстоятельства вліяютъ на правильное теченіе этихъ періодовъ и на виѣшнюю форму дѣйствительныхъ діаграммъ, которыя почти всегда значительно отличаются отъ нормальной ихъ формы, представленной на ф. 4. Но и

обратно имѣя такую діаграмму, мы можемъ заключить о всѣхъ ненормальностяхъ работы пара и парораспределенія и поэтому изученіе этихъ періодовъ очень важно въ практическомъ отношеніи.

Такъ какъ предметомъ нашего изслѣдованія служатъ исключительно современные паровозы, то мы сдѣлаемъ слѣдующія *допущенія*:

1. Отработавшій паръ выпускается всегда (черезъ конусъ) непосредственно въ атмосферу, не подвергаясь конденсациі въ холодильникахъ, которые еще не находятъ себѣ примѣненія въ паровозахъ. Опыты на желѣзной дорогѣ Paris-Lyon-Méditerranée надъ примѣненіемъ поверхностнаго охлажденія не имѣли успѣха. Сѣверныя французскія желѣзныя дороги имѣютъ намѣреніе предпринять подобные-же опыты, употребляя конденсацию путемъ смѣшиванія мятаяго пара съ водою и охлаждая конденсационную воду для новаго употребленія. Но это вопросъ будущаго, который, вѣроятно, будетъ разрѣшенъ удовлетворительно, такъ какъ поверхностная конденсациа примѣняется съ успѣхомъ, напримѣръ, для трамваевъ системъ Rowan и Serpollet.

2. Мы пренебрегаемъ: а) Живою силою входящаго въ цилиндръ пара, такъ какъ, при ударѣ его о стѣнки цилиндра, получается слишкомъ незначительное количество добавочной теплоты (не болѣе $\frac{1}{2}\%$).

б) Сопротивленіемъ пара при движеніи въ паропроводныхъ трубахъ, ввиду ихъ незначительной длины.

с) Теплотою, выдѣляемою вслѣдствіе тренія поршней о стѣнки цилиндра.

д) Объемомъ воды въ смѣси съ паромъ, сравнительно съ объемомъ послѣдняго.

е) Охлажденіемъ цилиндра черезъ лучеиспусканіе, какъ какъ, при защитѣ его непроводниками тепла, оно сравнительно незначительно (не превосходить $\frac{1}{2}\%$ общаго количества тепла).

3. Предполагаемъ, что пропуска пара черезъ золотники, поршни и сальники—нѣтъ. Это основное условіе экономіи пара и наличность пропуска показываетъ только на износъ паровоза или небрежное его содержаніе. Во всякомъ случаѣ эта величина должна быть очень мала и она опредѣляется опытно только приблизительно и съ большимъ трудомъ.

4. Предполагаемъ, что паровой рубашки нѣтъ, такъ какъ она почти совершенно не примѣняется въ паровозахъ (см. § 97).

Изслѣдованіе четырехъ періодовъ дѣйствія пара въ цилиндрѣ.

§ 6. Періодъ впуска.

Когда поршень находится въ мертвой точкѣ (въ началѣ хода), передъ нимъ уже устанавливается полное давленіе пара (p_1). Замѣтимъ,

что оно почти никогда не бывает равным давлению пара в котлѣ (p_0) и по Welkner'у потеря давленія составляетъ отъ 0,5 до 1,9 атм. Въ среднемъ около 6% (при вполне открытомъ регуляторѣ). Съ другой стороны при опытахъ Bauschinger'a—давленіе пара въ мертвой точкѣ колебалось между 52% и 100% котлового давленія (регуляторъ прикрывался). Вообще-же изъ многочисленныхъ опытовъ Leitzmann нашель, что эта потеря пропорціональна скорости поѣзда (v) и почти *не* зависитъ отъ степени наполненія цилиндра (величины отсѣчки). Для нормальныхъ прусскихъ пассажирскихъ паровозовъ о $\frac{2}{3}$ спар. ос. *) имѣ, напимѣрь, найдено, что потеря, въ % котлового давленія, выражается формулою

$$\frac{p_0 - p_1}{p_0} 100 = 0,22 v$$

Графически эти опытные данныя представлены на ф. 5.

Въ идеальномъ случаѣ, когда не происходитъ паденія давленія въ періодъ впуска, мы должны получить прямую $A, 1$ (ф. 6), параллельную оси абсциссъ, но въ дѣйствительности это можно наблюдать только въ тихоходящихъ постоянныхъ машинахъ. Обыкновенно-же къ концу впуска давленіе падаетъ и площадь индикаторной діаграммы уменьшается на величину заштрихованной площади и соответственно уменьшается и работа пара. Главныя причины этого явленія заключаются въ слѣдующемъ:

1. Въ началѣ впуска золотникъ открываетъ очень малую часть паровпускнаго окна и паръ, проходя черезъ узкую щель, понижаетъ свое давленіе: происходитъ, такъ называемое, „мятіе пара“. Это имѣетъ особенное значеніе при малыхъ отсѣчкахъ, когда при употребленіи обыкновеннаго коробчатаго золотника, паровпускныя окна открываются весьма мало и очень медленно. Для избѣжанія этого (хотя отчасти) употребляютъ теперь золотникъ Trick'a, который имѣетъ внутренній каналъ, открыва-

*) Такъ какъ дальше приходится часто ссылаться на опыты съ прусскими нормальными пассажирскими казенными паровозами, то припомнимъ ихъ размѣры: 2 снаренныхъ оси и 3-я поддерживающая спереди; расширеніе однократное. Діаметръ цилиндровъ $d = 400$ *mm.*, ходъ $h = 560$ *mm.*, діаметръ вѣдущ. колесъ $D = 1730$ *mm.* Поверхность нагрѣва $H = 103$ *m*², площадь колосниковой рѣшетки $R = 1,8$ *m*²; манометрическое давленіе въ котлѣ $p_0 = 12$ *atm*; число дымогарныхъ трубъ = 197; вѣсъ порожній = 33 *tn.* служебный = 37; сила тяги $Z = 3100$ *kg.*

Отношеніе поверхности нагрѣва къ площади рѣшетки = $\frac{H}{R} = 57$.

Число *kg* силы тяги съ 1 *m*² поверхности нагрѣва = $\frac{Z}{H} = 30$.

„ „ „ „ на 1 *tn.* служебнаго вѣса = $\frac{3100}{37} = 84$.

Кулисса Аллана.

Эти паровозы считаются одними изъ лучшихъ.

юшій для прохода пара вдвое большую площадь *). Кроме того придается паровпускнымъ окномъ возможно большее сѣченіе.

2. Но избѣгая такимъ образомъ сильнаго паденія давленія въ началѣ впуска, оказывается, что невозможно при золотниковомъ парораспредѣленіи избѣжать паденія давленія въ концѣ впуска, такъ какъ, по мѣрѣ приближенія поршня къ срединѣ хода, скорость его движенія возрастаетъ и одновременно съ тѣмъ золотникъ начинаетъ закрывать паровпускное окно. Слѣдовательно паръ, для заполнения открываемаго поршнемъ объема, долженъ проходить черезъ узкую щель все съ возрастающею скоростью и давленіе его неизбежно падаетъ. По этому-то и замѣчается всегда очень значительное паденіе линіи впуска въ томъ случаѣ, если паровозъ не соотвѣтствуетъ той скорости, съ которою онъ идетъ. Такимъ образомъ давленіе p_2 въ концѣ впуска всегда меньше, чѣмъ въ началѣ впуска p_1 и величина $\frac{p_1 - p_2}{\epsilon_1} \cdot 100$ (фиг. 4), гдѣ ϵ_1 — величина отсѣчки, равная ходу поршня ag , очевидно изображаетъ покатость линіи впуска $A1$. По опытамъ Leitzmann'a—это паденіе давленія или уклонъ линіи $A1$ —различно для разныхъ степеней наполненія ϵ_1 . На фиг. 7 представлена, напримѣръ, эта величина для нормальныхъ прусскихъ пассажирскихъ паровозовъ при $\epsilon_1 = 18\%$ какъ функція скорости поѣзда v и на фиг. 8 изображенъ рядъ кривыхъ, представляющихъ, при постоянныхъ скоростяхъ, измѣненіе этихъ величинъ въ зависимости отъ измѣненія ϵ_1 . Изъ этого мы видимъ, что: а) при той-же отсѣчкѣ ϵ_1 —потеря давленія при впускѣ тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость и б) при той-же скорости v —потеря давленія тѣмъ больше, чѣмъ меньше наполненіе.

Въ концѣ впуска, наблюдается въ паровозахъ обыкновенно расширеніе пара, такъ что въ діаграммахъ особенно при большихъ скоростяхъ кривая впуска постепенно, безъ перегиба, переходитъ въ кривую расширенія (линія m , фиг. (6). Это, вѣроятно, происходитъ отъ того, что черезъ служенное отверстіе въ концѣ впуска уже не проходитъ достаточное количество пара, необходимое для наполненія всего открываемаго объема.

Въ данномъ отношеніи значительное улучшеніе дѣйствія пара можно ожидать отъ парораспредѣленій съ быстрою отсѣчкою, что и подтверждено опытомъ.

*) Замѣтимъ, что мѣтнія относительно золотниковъ съ каналами Trick'a различны. Къ недостаткамъ ихъ надо отнести—большой вѣсъ и паденіе давленія пара при проходѣ черезъ узкій каналъ.

По опытамъ въ Эрфуртѣ видно, что каналы Trick'a даютъ тѣмъ большую экономію, чѣмъ больше наполненіе цилиндровъ и скорость поѣзда. Они вообще при данномъ наполненіи—увеличиваютъ среднее давленіе пара въ цилиндры и слѣдовательно работу машины и наоборотъ—при данной работѣ—уменьшаютъ наполненіе (отсѣчку).

3. Но особенно большое значение на экономичность работы паровоза, какъ и всякой паровой машины, оказываетъ *конденсація пара при выпускѣ* (такъ называемая „*начальная*“) вслѣдствіе охлаждающаго дѣйствія стѣнокъ цилиндра, температура которыхъ при выпускѣ становится значительно ниже температуры входящаго пара. Значеніе конденсаціи общеизвѣстно: разъ паръ обращается въ воду, онъ не производитъ никакой работы и для заполнения того-же объема требуется притокъ новаго количества пара изъ котла. Является такимъ образомъ „*перерасходъ пара*“ и поэтому всѣ старанія техниковъ должны быть направлены къ возможному уменьшенію этой конденсаціи и путемъ тщательныхъ опытовъ выяснитъ тѣ условія, при которыхъ это уменьшеніе возможно, такъ какъ она и является главнѣйшею изъ причинъ незначительной экономичности большинства паровыхъ машинъ.

Явленіе начальной конденсаціи, доказанное знаменитымъ Нирн'омъ, впервые теоретически точно изслѣдовано проф. Kirsch'омъ. Имъ найдено, что *начальная конденсація*: а) почти не зависитъ отъ степени наполненія цилиндра, такъ какъ боковая поверхность цилиндра почти не вліяетъ на конденсацію, которая главнымъ образомъ происходитъ на поверхности вреднаго пространства *) Поэтому величину вреднаго пространства надо по возможности уменьшать, дѣлая паровые каналы болѣе широкими и короткими и увеличивая ходъ поршня, сравнительно съ его діаметромъ, который вообще слѣдуетъ, съ этой точки зрѣнія, уменьшать. б) Такъ какъ для обмѣна тепла между паромъ и стѣнками требуется извѣстное время, то при большомъ числѣ оборотовъ въ ед. времени, т. е. болѣе высокой скорости, это время сокращается и конденсація уменьшается. Слѣдовательно увеличивать скорость выгодно и Kirsch нашелъ теоретически, что перерасходъ пара долженъ быть обратно пропорціоналенъ $\sqrt{\quad}$ изъ числа оборотовъ машины n въ минуту, что для высокихъ давленій блестяще подтверждено опытами Willans'a. При малыхъ давленіяхъ—перерасходъ пара скорѣе обратно пропорціоналенъ числу оборотовъ.

Ввиду крайне важнаго вопроса о конденсаціи привожу еще данныя изъ доклада проф. Thurston'a въ American Assatiation объ опытахъ Gately и Kletzch'a. Для опытовъ была куплена специальная машина въ 250 HP системы Гаррисъ-Карлисса, безъ паровой рубашки, но съ холодильникомъ. Діаметръ цилиндра 18", ходъ 42". Опыты производились съ холодильникомъ и безъ него, при разныхъ отсѣчкахъ, разныхъ давленіяхъ и проч. На основаніи этихъ многочисленныхъ и точныхъ опытовъ найдено:

*) Kirsch считаетъ за поверхность вреднаго пространства тѣ площади, которая омываются однимъ и тѣмъ-же паромъ въ теченіи полного оборота, т. е. крышка цилиндра, поршень, часть штока поршня, поверхность пароваго канала и боковая поверхность зазора между крышкой и поршнемъ въ мертвой точкѣ.

1) *Общая конденсация* быстро увеличивается съ расширеніемъ пара и приблизительно пропорціональна $\sqrt{\quad}$ изъ степени расширенія (напр. при отсѣчкѣ въ 58,9⁰/₀—конденсация = 22,73⁰/₀; при 13,1⁰/₀—конденсация = 50,07⁰/₀); 2) конденсация увеличивается съ уменьшеніемъ давленія въ котлѣ и 3) конденсация увеличивается съ уменьшеніемъ числа оборотовъ машины, напримѣръ при числѣ оборотовъ въ 1 минуту — 63; 50 и 34, конденсация была = 24,40; 28,75 и 33,50⁰/₀.

Кромѣ сказаннаго — конденсация зависитъ отъ разности температуръ входящаго пара и стѣнокъ цилиндра, почему при употребленіи системы Compound, когда цилиндръ высокаго давленія никогда не соединяется съ атмосферой, а цилиндръ низкаго давленія—съ котломъ—эта разница далеко меньше и конденсация значительно уменьшается. Уменьшенію этой разницы способствуетъ и примѣненіе сжатія въ концѣ обратнаго хода поршня (см. ниже).

Кромѣ того желательно устройство выпуска независимаго отъ выпуска черезъ отдѣльные каналы, для уменьшенія въ нихъ конденсаци. Всѣ эти условія отчасти соблюдены въ новѣйшихъ системахъ Bonnefond'a и Durant et Lencachez, которыя и даютъ поэтому значительную экономію топлива.

Конденсация особенно сильна при началѣ хода паровоза, когда цилиндры еще холодны и ихъ стѣнки не прогрѣты. Поэтому при первыхъ оборотахъ колесъ получается большое количество конденсационной воды и для выпуска ея необходимо открывать продувные краны.

Замѣтимъ, что при опытахъ съ паровозами часто наблюдается, что потеря давленія при впускѣ значительно больше для передней стороны цилиндра, чѣмъ для задней. Напримѣръ при опытахъ на Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогахъ при большихъ скоростяхъ эта разница доходила иногда до одной атмосферы. Такъ какъ паропроводные каналы были одинаковы, то это явленіе надо приписать исключительно бѣльшей конденсаци въ передней сторонѣ, которая болѣе подвержена охлаждающему дѣйствію воздуха при движеніи. Поэтому необходимо переднія крышки также тщательно предохранять отъ охлаждения *).

§ 7. Періодъ расширенія.

Какъ сказано, въ періодъ выпуска значительная часть свѣжаго пара конденсируется, покрывая стѣнки цилиндра и поршня росой, при чемъ за счетъ освобождающейся при этомъ теплоты—эти стѣнки быстро нагрѣваются до температуры пара. Во время расширенія паръ, совершая виѣшнюю работу безъ подогрѣванія (что и имѣетъ мѣсто въ паровозахъ,

*) Начальной конденсаци совсѣмъ нѣтъ, если примѣнять достаточно перегрѣтый паръ (см. § 105).

въ которыхъ нѣтъ паровыхъ рубашекъ) — также конденсируется и его давленіе и температура падаетъ. Наконецъ наступаетъ моментъ, когда температура пара станетъ ниже температуры стѣнокъ и тогда осѣвшая конденсаціонная вода начнетъ снова испаряться, отнимая такимъ образомъ уже теплоту отъ стѣнокъ и увеличивая въ концѣ расширенія упругость, а слѣдовательно и полезную работу пара. Наступаетъ, такъ называемое, „вторичное испареніе“. Хотя такимъ образомъ „начальная“ конденсація при впускѣ отчасти покрывается вторичнымъ испареніемъ при расширеніи, но если-бы даже (въ идеальномъ случаѣ) въ этотъ періодъ вся, потраченная при конденсаціи, теплота была возвращена — потеря работы никогда вполнѣ не вознаградится, такъ какъ паръ, выдѣляющійся при вторичномъ испареніи имѣетъ меньшее давленіе, чѣмъ при впускѣ и произведенная имъ работа также будетъ меньше. Но кромѣ того это испареніе не кончается во время расширенія, но продолжается и дальше во время выпуска, иногда вплоть до сжатія, при чемъ не только вся, отнятая отъ стѣнокъ, теплота уносится бесполезно въ атмосферу, но увеличивается и вредная работа, вслѣдствіе увеличенія давленія со стороны выпуска при обратномъ ходѣ поршня. Такимъ образомъ во время расширенія, благодаря термическимъ свойствамъ стѣнокъ цилиндра — происходятъ очень сложныя явленія, такъ какъ въ концѣ расширенія, на вновь открываемыхъ поршнемъ холодныхъ стѣнкахъ цилиндра все таки происходитъ конденсація одновременно съ вторичнымъ испареніемъ въ другихъ частяхъ цилиндра и окончательный результатъ въ концѣ расширенія будетъ зависѣть отъ преобладанія того или другаго процесса. Ввиду этого подыскать точный законъ расширенія пара въ паровыхъ цилиндрахъ — невозможно. Остается только посмотрѣть, какой изъ извѣстныхъ законовъ расширенія болѣе другихъ подходитъ къ нашему случаю. Изъ § 3 видно, что общій законъ расширенія и сжатія газовъ и паровъ выражается ур-іемъ

$$pv^n = \text{пост.}$$

гдѣ показатель n зависитъ отъ того, берется-ли постоянный газъ, насыщенные пары и т. д., адиабатическій процессъ или изотермическій. Но явленія, происходящія въ дѣйствительности, какъ мы видѣли, рѣзко отличаются отъ теоретическихъ, такъ какъ указанный законъ относится къ теплонепроницаемымъ сосудамъ; но какъ-бы обыкновенный цилиндръ не былъ хорошо защищенъ, онъ останется теплопроводнымъ и процессы съ работающимъ паромъ будутъ болѣе или менѣе значительно отличаться отъ адиабатическихъ и изотермическихъ процессовъ. Тѣмъ не менѣе, съ достаточною точностью указанный законъ можно примѣнить и для расширенія и сжатія въ паровыхъ цилиндрахъ, но только выбирая показатель n сообразно съ обстоятельствами въ каждомъ частномъ случаѣ. На

практикѣ, на основаніи дѣйствующихъ діаграммъ, n колеблется отъ 0,5 до 1,3 (по Hallauer'y). Reiche изъ опытовъ нашель, что для хорошо устроенныхъ машинъ *безъ* паровыхъ рубашекъ и охлажденія $n = 1,033$. Но вообще *въ лучшихъ паровыхъ машинахъ вышнее проявленіе закона расширенія* (т. е. кривыя расширенія въ индикаторныхъ діаграммахъ) *весьма близко соглашаются съ закономъ Мариотта* (т. е. кривыя расширенія почти совпадаютъ съ кривою Мариотта), почему этотъ законъ и принимаютъ за критеріумъ для сравненія; поэтому, сравнивая дѣйствительныя индикаторныя кривыя расширенія съ Мариоттовскою кривою послѣднюю вычерчиваютъ на изслѣдуемой діаграммѣ.

Въ обыкновенныхъ паровозахъ—Мариоттовская кривая также ближе всего подходитъ къ получаемымъ кривымъ расширенія, но, обыкновенно, въ первой части (благодаря усиленной конденсаціи) послѣдняя лежитъ ниже первой, во второй-же части (благодаря вторичному испаренію) она поднимается выше Мариоттовской кривой. Въ паровозахъ-же Compound—очень часто кривая расширенія дѣликомъ лежитъ ниже кривой Мариотта, т. е. расширеніе происходитъ по закону $p^n = \text{const.}$, гдѣ $n > 1$. Напр. Leitzmann нашель изъ опытовъ, что для паровозовъ Compound $n =$

	Цилиндры вы- сокаго давленія	Цилиндры низ- каго давленія
Для двухцилиндровыхъ пассажирскихъ паровозовъ	1,08—1,04	0,93
Для двухцилиндровыхъ товарныхъ паровозовъ		
Для четырехцилиндровыхъ паровозовъ.		

Замѣтимъ, что 1) если n меньше единицы, то это указываетъ, что при расширеніи пара происходитъ очень значительное вторичное испареніе или-же золотники не плотны и пропускаютъ паръ. При этомъ кривая лежитъ выше Мариоттовской гиперболы; 2) если n больше единицы, то кривая лежитъ ниже Мариоттовской гиперболы и это указываетъ, что происходитъ потеря пара черезъ его конденсацію или паръ теряется черезъ неплотности поршня. Такимъ образомъ величины n указываютъ на тѣ или другія явленія, происходящія въ цилиндрахъ и поэтому знать ихъ желательно.

Вообще говоря—величина n переменна и зависитъ отъ сухости пара, защиты цилиндра отъ охлажденія и пр. Имѣя индикаторную діаграмму, снятую при данныхъ обстоятельствахъ—подбираютъ гиперболу, наиболѣе подходящую къ кривой расширенія и такимъ образомъ находятъ приблизительную величину указателя n .

Если-бы паръ расширялся по закону Мариотта, т. е. $p v = p_0 v_0 =$ пост., то давленіе въ концѣ расширенія p'_3 нашли бы изъ ур-ія (ф. 4)

$$(p'_3 + 1)(\epsilon_2 + h_0) = (p_2 + 1)(\epsilon_1 + h_0) \text{ или } p'_3 = \frac{(p_2 + 1)(\epsilon_1 + h_0)}{\epsilon_2 + h_0} - 1.$$

гдѣ p_2 —давленіе въ концѣ впуска или въ началѣ расширенія.

Но на самомъ дѣлѣ, по указаннымъ выше причинамъ, этого не бываетъ и конечное давленіе p_3 отличается отъ p'_3 и $\frac{p_3 - p'_3}{p_3} 100$ представляетъ разницу фактическаго конечнаго давленія p_3 отъ рассчитаннаго p'_3 въ % давленія p_3 . Эта разниця зависитъ и отъ скорости движенія поршня (т. е. отъ числа оборотовъ, а слѣдовательно и отъ скорости поѣзда), такъ какъ отъ этого зависитъ продолжительность времени обмѣна тепла между стѣнками и паромъ. Какъ примѣръ, на фиг. 9 изображены кривыя, представляющія графически эту величину какъ функцію отсѣчки ϵ , выведенныя Leitzmann'омъ изъ его опытовъ надъ прусскими нормальными пассажирскими паровозами простаго расширенія для различныхъ скоростей поѣзда v . Мы видимъ, что для этого частнаго случая, дѣйствительное конечное давленіе выше рассчитаннаго только при отсѣчкахъ меньшихъ 30% и при очень большихъ или очень малыхъ скоростяхъ. Въ остальныхъ-же случаяхъ—оно ниже рассчитаннаго.

§ 8. Періодъ выпуска.

Обыкновенно паръ начинаютъ выпускать до конца прямого хода, чтобы, по приходѣ поршня въ мертвое положеніе—паръ уже имѣлъ возможно малое давленіе и не было возвышенія противодавленія при обратномъ ходѣ. Это называется *«предварительнымъ выпускомъ»* и онъ долженъ начинаться тѣмъ раньше, чѣмъ быстрее ходъ машины, такъ какъ для надлежащаго паденія давленія—необходимо нѣкоторое время. Поэтому-то при увеличеніи скорости даннаго паровоза—давленіе въ концѣ хода всегда повышается, при чемъ, понятно, оно будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше отсѣчка, что ясно видно изъ фиг. 10, на которой изображены кривыя давленія въ концѣ хода для различныхъ скоростей, какъ функція отсѣчекъ ϵ (по опытамъ Leitzmann'a надъ прусскими нормальными пассажирскими паровозами).

Если-бы расширеніе продолжалось до конца хода, а не прерывалось (фиг. 11), то отъ точки 2 и до конца мы имѣли-бы абсолютную полезную работу, измѣряемую площадью $2Bfe$, теперь-же (при предварительномъ выпускѣ) полезная работа $= 2Bfe$ и слѣдовательно является потеря работы, измѣряемая площадью $2B'B$. При большихъ скоростяхъ (выше 60 km/h) вторичное испареніе и „мягкіе“ выходящаго пара на столько повышаютъ кривую $2B$ въ паровозныхъ діаграммахъ, что „точку перегиба“ 2 (какъ и въ началѣ расширенія) также трудно бываетъ опредѣ-

лить, давление Bf повышается, точка B приближается къ B' и площадь $2B'B$ значительно уменьшается.

Во время выпуска давление сравнительно очень мало и поэтому происходит *чрезвычайно энергичное „вторичное“ испарение* конденсационной воды; этотъ паръ уже не производитъ при обратномъ ходѣ полезной работы, уносясь въ атмосферу черезъ паровыпускное окно, но кромѣ того на пути fe (фиг. 11) повышаетъ давление выходящаго пара и слѣдовательно увеличиваетъ вредную работу противодействия. Но самое важное явление, здѣсь происходящее, заключается въ охлажденіи стѣнокъ цилиндра, за счетъ теплоты которыхъ и происходитъ упомянутое вторичное испарение. *Слѣдовательно—чѣмъ меньше конденсационной воды находится въ цилиндрѣ въ началѣ выпуска, тѣмъ меньше будетъ охлаждение стѣнокъ въ теченіе этого періода и поэтому тѣмъ меньше будетъ начальная конденсация при впускѣ.* И если-бы въ началѣ выпуска совсѣмъ не было въ цилиндрѣ воды, то охлаждение его стѣнокъ было-бы очень незначительно, такъ какъ воплѣтѣ сухой паръ имѣеть очень малую теплопроводность и обмѣнъ тепла между нимъ и стѣнками былъ-бы незначителенъ *). Только въ цилиндрахъ высокаго давления машинъ системы Comround этихъ потерь нѣтъ (или вѣрнѣе — они значительно меньше), такъ какъ отработавшій (мятый) паръ, а слѣдовательно и унесенная имъ теплота, не выпускается въ атмосферу, а переносится въ цилиндръ низкаго давления и слѣдовательно все выше сказанное приложимо больше къ послѣднему цилиндру.

Мяtie пара и увеличение давления наблюдается и въ концѣ выпуска, начиная съ m' (фиг. 11), когда паровыпускной каналъ начинаетъ закрываться. Происходящая при этомъ потеря работы измѣряется площадью $m'dz$. Эта потеря и давление Ze будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ медленнѣе будетъ закрываться окно и наоборотъ. При быстрыхъ отсѣчкахъ она почти = 0 и сжатіе начинается съ точки d .

§ 9. Періодъ сжатія.

Какъ извѣстно—цѣль сжатія заключается въ слѣдующемъ:

1. Образовать упругую подушку („тормазъ“) для смягченія, неизбежныхъ въ концѣ хода поршня, ударовъ.

2. Уничтожить вліяніе вреднаго пространства, а именно:

а) На его заполненіе и поднятіе въ немъ давления до требуемой величины тратится лишнее количество свѣжаго пара, при чемъ этотъ паръ работаетъ только расширеніемъ, тогда какъ паръ, поступающій потомъ, въ періодъ впуска, дѣйствуетъ и расширеніемъ и полнымъ давле-

*) Проф. Kirsch доказываетъ, что тотъ перерасходъ пара, который получается при впускѣ, равенъ *всему количеству воды, испарившемуся при впускѣ.*

ніемъ и поэтому желательно, чтобы это количество пара, идущее на заполненіе вреднаго пространства—было возможно меньше. Но при сжатіи пара—давленіе его повышается и чѣмъ оно будетъ выше, тѣмъ меньше будетъ указанный расходъ пара и наконецъ, если довести сжатіе до давленія свѣжаго пара (такъ наз. „полное сжатіе“), то этотъ расходъ будетъ = 0 и машина будетъ работать какъ-бы безъ вреднаго пространства (что впервые доказано Zeuner'омъ).

б) Кромѣ того при сжатіи температура пара значительно повышается и онъ, за счетъ потраченной на его сжатіе работы, нагрѣваетъ стѣнки цилиндра передъ впускомъ свѣжаго пара и слѣдовательно уменьшаетъ начальную конденсацію (опыты Derrez и др.). Bauschinger, дѣлая опыты въ 60-хъ годахъ надъ паровозами съ различными системами парораспределеній, нашелъ, что парораспределеніе системы Мойера, при которомъ сжатіе было почти = 0, менѣе выгодно, чѣмъ парораспределеніе кулиссоу Стефенсона, что онъ и приписалъ сжатію, которое всегда есть при дѣйствіи кулиссъ. Вообще сжатіе должно быть особенно выгоднымъ для паровозовъ, у которыхъ нѣтъ паровыхъ рубашекъ и вредныя пространства велики и поэтому польза сжатія, въ глазахъ всѣхъ изслѣдователей паровыхъ машинъ, признавалась безспорной. Но въ 1897 г. проф. Dwelshauvers-Dequ произвелъ точные опыты надъ выясненіемъ пользы сжатія (надъ опытною машиною въ университетѣ въ Льежѣ) и при этомъ оказалось, вопреки общераспространенному мнѣнію, что *по мѣрѣ увеличенія сжатія—расходъ пара растетъ*, такъ какъ на нагрѣваніе стѣнокъ тратится больше тепла (и работы), чѣмъ его выигрывается вслѣдствіе уменьшенія начальной конденсаціи свѣжаго пара *). Этотъ выводъ подтвержденъ въ послѣднее время многими опытами, напр. Карпентера надъ машиною Корлисса (въ Америкѣ). Напр. при впускѣ въ 21% и сжатіи на 11,5% хода поршня—расходъ на 1 HP былъ = 14,06 kg. при сжатіи-же на 25% и 35%—14,19 и 14,37% kg. Проф. Doerfe (Германія) съ своей стороны говоритъ: „въ общемъ можно сказать, что уменьшеніе давленія сжататаго пара приносить выгоду или убытокъ въ зависимости отъ обстоятельствъ, но получасмая разница не превосходитъ 2%, обыкновенно-же значительно ниже этого предѣла“.

Что касается вліянія сжатія на полезный расходъ пара (т. е. производящаго полезную работу), то его весьма ясно можно видѣть изъ такого теоретическаго примѣра: пусть мы имѣемъ идеальную диаграмму (фиг. 12) безъ сжатія, при давленіи впуска = 5 atm. и противодавленіи $p_0 = 1$ atm. Работа пропорціональна площади диаграммы F , которая = 39,7 см². Для полученія этой работы, нѣкоторое количество пара пойдетъ на заполненіе объема, соответствующаго отсѣчкѣ AB , и другая часть—для поднятія давленія во вредномъ простран-

*) При этомъ паровая рубашка не дѣйствовала.

ствѣ до нормального и которая будетъ пропорціональна AD , при чемъ точка D получается, проведя кривую сжатія отъ точки C до линіи выпуска, т. е. количество израсходованнаго пара M —пропорціонально $AD + AB = 39,5$. Слѣд. расходуется пара на 1-цу работы $K_1 = \frac{M}{F} = \frac{39,5}{39,7} = 0,99$.

Если теперь, оставляя ту-же работу (т. е. площадь діаграммы F) и всѣ прочія обстоятельства, доведемъ сжатіе до 3 atm. (фиг. 13), то M уменьшится до 35 и $K_2 = \frac{M}{F}$ будетъ $= 0,88$. Наконѣцъ при „полномъ“ сжатіи (фиг. 14)—для получения той-же работы M должно быть $= 38,7$ и $\frac{M}{F} = K_3 = 0,98$. Полагая $K_2 = 1$, находимъ $K_3 = 1,11$ и $K_1 = 1,13$, т. е. *полезный расходъ пара на 1HP* въ часть при полномъ сжатіи на 11% больше (въ данномъ случаѣ), чѣмъ таковой-же при среднемъ сжатіи и на 2% меньше, чѣмъ въ машинѣ безъ сжатія. Для другихъ обстоятельствъ получимъ другія отношенія, но вообще — есть, слѣдовательно, такая степень сжатія, при которой полезный расходъ пара на 1HP будетъ наименьшей. На основаніи сказаннаго есть полное основаніе предполагать, что польза сжатія вообще не такъ значительна, какъ думали раньше.

Въ паровозахъ-же мы еще сталкиваемся со слѣдующимъ явленіемъ: во избѣжаніе большой потери работы — сжатіе не должно превосходить давления свѣжаго пара, но это-то, къ сожалѣнію, почти всегда замѣчается въ паровозахъ при употребляемыхъ кулисныхъ механизмахъ, что и составляетъ одну изъ главныхъ причинъ малой экономичности паровозовъ, особенно при употребленіи малыхъ отсѣчекъ. Для уменьшенія этого крупнаго недостатка паровозовъ:

а) Даютъ золотникамъ *отрицательную внутреннюю перекрышу*, величина которой въ быстроходныхъ паровозахъ достигаетъ 3—6 мм. Хотя при этомъ увеличивается и предвареніе выпуска, но потеря отъ этого значительно меньше, чѣмъ выгода отъ уменьшенія сжатія. Внутренняя отрицательная перекрыша должна быть тѣмъ меньше, чѣмъ больше ходъ золотниковъ и чѣмъ меньше предвареніе выпуска. Но вообще ее необходимо опредѣлить *опытнымъ* путемъ (въ особенности для быстроходныхъ паровозовъ при скоростяхъ большихъ 40 km/h), посредствомъ индикаторныхъ изслѣдованій, добиваясь получения пологой кривой сжатія и увеличивая ее до тѣхъ поръ, пока площадь индикаторной діаграммы, при нормальной работѣ паровоза, будетъ увеличиваться. На фиг. 15 и 16 представлены для примѣра совмѣщенныя индикаторныя діаграммы прусскаго назеннаго пассажирскаго паровоза $0 \frac{2}{3}$ спар. ос. при скоростяхъ въ 5 km/h и 20 km/h , при чемъ діаграммы a сняты при внутренней перекрышѣ (+1,5) мм. а b при (—5,0) мм. Замѣтимъ, что увеличеніе внутренней отрицательной перекрыши должно дѣлаться очень осторожно, такъ какъ при ве-

личинахъ ея, превосходящихъ извѣстный предѣлъ, снова замѣчается увеличеніе противодавленія и вообще указанное увеличеніе по большей части выгодно только для большихъ скоростей.

Какъ яркій примѣръ—привожу еще индикаторныя діаграммы, снятыя съ быстроходнаго американскаго паровоза (поверх. колос. рѣш. = 2,1 м²., общая поверх. нагрѣва = 170 м²., отношеніе площадей цилиндровъ = 1:2,5, давленіе въ котлѣ 13 atm.) системы Compound. Діаграммы, представленныя на фиг. 17, снятыя при скорости = 119^{km}/ч, числѣ оборотовъ = 296, отсѣчкѣ = 53% и открытіи регулятора = 1/2, дали большія петли, значительно уменьшавшія работу въ большомъ цилиндрѣ. Причиной было слишкомъ большое сжатіе, какъ результатъ незначительной внутренней перекрыши, а именно: при внѣшней перекрышѣ = 39 мм., внутренняя въ маломъ цилиндрѣ = (—5 1/2) мм. и въ большомъ цилиндрѣ = 0. При этомъ работа въ маломъ цилиндрѣ = 197,00 *HP* и въ большомъ цилиндрѣ = 386,67 *HP*, всего-же 583,67 *HP*. Поэтому увеличили отрицательныя внутреннія перекрыши соответственно до (—8) мм. и (—5 1/2) мм.*) и получили діаграммы, представленныя на фиг. 18, при скорости въ 113^{km}/ч, томъ же наполненіи 53% и открытіи регулятора = 2/3. Петель уже нѣтъ, работа значительно увеличилась и уравнилась и стала равной 436 *HP* и 478 *HP*, всего-же 914 *HP*. При этомъ и расходъ пара на 1 *HP* уменьшился.

б) Примѣняютъ послѣднее время (на французскихъ желѣзныхъ дорогахъ) механизмы съ быстрой отсѣчкой системъ Bonnefond'a и Lencaschez et Durant, въ которыхъ сжатіе мятая пара постоянно.

Что касается до вида кривой сжатія, то приблизительно и здѣсь за критеріумъ для сравненія можно принять кривую Мариотта, подобно кривой расширенія, такъ какъ законы расширенія и сжатія одинаковы, или же берутъ адиабату, выбирая *n* въ зависимости отъ степени сухости пара. По большей части въ паровозахъ сначала кривая сжатія уклоняется отъ Мариоттовской кривой вверхъ, вѣроятно вслѣдствіе продолжающагося испаренія остатковъ воды, а въ концѣ сжатія, когда температура пара значительно выше температуры стѣнокъ цилиндра, къ низу отъ кривой Мариотта.

По опытамъ Leitzmani'a сжатіе въ паровозахъ происходитъ по закону $p v^n = \text{const.}$, при чемъ *n* =

	Цилиндръ вы- сокаго давленія	Цилиндръ низ- каго давленія
1) Въ обыкновенныхъ паровозахъ	0,98—0,92	
2) Въ пассаж. паровоз. сист. Compound	1,08—1,027	1,04—1,29
3) Въ товарныхъ	ниже	1,02—1,56
4) Въ 4-хъ-цилиндровыхъ	1,03	1,00

*) Наружнюю перекрышу въ большомъ цилиндрѣ при этомъ уменьшили до 37 мм.

Иногда во время сжатія происходит конденсація пара (которую проф. Dwelshauvers-Dery назвалъ „предварительной конденсаціей“), вызывающей къ концу сжатія пониженіе давленія и тогда кривая сжатія имѣеть видъ, показанный на фиг. 19.

При употребленіи золотниковъ съ каналами Trick'a—кривая сжатія имѣеть характерную извилистость къ верху, которая вызывается тѣмъ, что во время сжатія пространство передъ поршнемъ соединяется на короткое время съ золотниковымъ каналомъ, въ которомъ находится паръ котлового давленія и поэтому происходитъ внезапное повышеніе давленія. Оно, понятно, тѣмъ больше, чѣмъ больше емкость канала.

Вообще изслѣдованіе колебанія давленія во вредномъ пространствѣ въ концѣ сжатія (для различныхъ обстоятельствъ) имѣеть большое значеніе, такъ какъ потеря пара, потраченного на заполненіе вреднаго пространства, понятно, пропорціональна разности этого давленія и давленія свѣжаго пара. Какъ примѣръ, на фиг. 20 представлены въ kg/cm^2 эти давленія для прусскихъ нормальныхъ пассажирскихъ паровозовъ простого расширенія, взятыя изъ индикаторныхъ діаграммъ, снятыхъ Leitzmann'омъ. Какъ видимъ—для этого паровоза указанное давленіе увеличивается съ увеличеніемъ скорости поѣзда (для тѣхъ-же отсѣчекъ ϵ) и увеличивается съ уменьшеніемъ ϵ —для тѣхъ-же скоростей v .

§ 10. Предварительный выпускъ.

Наконецъ, въ концѣ обратнаго хода поршня, начинается, такъ называемый, „предварительный выпускъ пара“ (и такимъ образомъ начинается „періодъ выпуска“) съ цѣлью заполнить свѣжимъ паромъ вредное пространство къ началу прямого хода. Чѣмъ сжатіе меньше и вредное пространство больше (а также—чѣмъ быстроходнѣе машина, такъ какъ для этого заполнения необходимо нѣкоторое время), тѣмъ, понятно, предварительный выпускъ долженъ начинаться раньше.

По мнѣнію Quegneau въ паровозахъ предварительный выпускъ долженъ быть возможно меньшимъ, лишь-бы только къ началу выпуска было достаточно открыто паровпускное окно, такъ какъ упругая подушка и безъ того достигается сжатіемъ, а между тѣмъ слишкомъ большое давленіе передъ началомъ прямого хода—тормазитъ машину, увеличиваетъ треніе въ подшипникахъ, уменьшаетъ силу и скорость паровоза и плавность хода. Поэтому, въ зависимости отъ конструкторці паровоза, надо выбрать величину предварительнаго выпуска такимъ образомъ, чтобы получить максимумъ работы, что должно быть изслѣдовано при индикаторныхъ опытахъ. Напр. въ Америкѣ, при сравнительныхъ опытахъ, съ одного и того же паровоза при тѣхъ-же условіяхъ и при той-же скорости $88\frac{1}{2} \text{ km/h}$ были сняты діаграммы, представленныя на фиг. 21, 22 и 23, при чемъ пред-

варительный выпуск мѣнялся и былъ соответственно равенъ 8,7 мм., 7,1 мм. и 5,6 мм., изъ которыхъ видно, на сколько, при уменьшеніи предварительнаго выпуска, улучшилась работа паровоза и видъ діаграммъ.

Въ Германіи при кулиссахъ Джоя и Гакворта даютъ предвареніе выпуска при золотникахъ Trick'a = 3—4 мм., при обыкновенныхъ—5 мм. (во Франціи—5 мм., въ Англии—5—6 мм.).

Замѣтимъ, что время заполнения вреднаго пространства паромъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше скорость поѣзда и поэтому предвареніе, достаточное для малыхъ скоростей и большихъ наполненій—не достаточно для большихъ скоростей и малыхъ наполненій. Поэтому оно должно-бы возрастать при приближеніи переходнаго рычага къ серединѣ. Въ Европѣ предвареніе выпуска поэтому устанавливають соответственно большимъ скоростямъ.

Примѣненіе къ паровозамъ принципа двукратнаго расширенія пара (Compound).

§ 11. Цѣль примѣненія сист. Compound. Достоинства ея и недостатки.

Изъ машинъ многократнаго расширенія къ паровозамъ почти исключительно примѣняются только машины Compound*).

Главная цѣль примѣненія—увеличить степень расширенія пара, для чего заставляютъ его расширяться послѣдовательно въ двухъ цилиндрахъ**). Пусть у насъ имѣется одноцилиндровая машина, работающая безъ сжатія, идеальная діаграмма которой $ABEFGA$ (фиг. 24). Раздѣлимъ ея работу на двѣ части линіею DC и вообразимъ себѣ машину Compound, у которой объемы цилиндровъ пропорціональны величинамъ h_1 и h ***) и которые соединены промежуточнымъ резервуаромъ („ресиверомъ“; онъ въ паровозахъ замѣняется соединительною трубою, но мы будемъ ее называть также ресиверомъ) съ давленіемъ p_r .

Въ 1-й цилиндръ будемъ впускать свѣжій паръ съ давленіемъ p (при отсѣчкѣ $= AB$), доведемъ его расширеніе до C и выпустимъ паръ не наружу, а въ ресиверъ. Линія выпуска будетъ DC и діаграмма этого цилиндра (называемаго „цилиндромъ высокаго давленія“ или „малымъ

*) Случай примѣненія машинъ трехкратнаго расширенія—единичны (проектъ Rickie и др.).

***) Къ паровозамъ примѣняются еще сдвоенныя машины Compound; къ нимъ примѣняются тѣ-же разсужденія.

****) Обыкновенно объемъ цилиндра высокаго давленія берутъ пропорціональнымъ не h_1 , а $h_1' = Dn_1$. При этомъ теряется работа, пропорціональная площади mCn_1 , но она невелика и для сохраненія ея не стоить увеличивать объемъ цилиндра на величину $h_1 - h_1' = n_1 C$.

цилиндромъ“) приметъ видъ $ABCD$. Во 2-й цилиндръ („большой“ или „низкаго давленія“) будемъ впускать парь уже не изъ котла, а изъ ресивера съ давленіемъ p_r съ отсѣчкою $= DC$ и расширение его доведемъ до E . Тогда при давленіи выпуска $= p_e$ получимъ діаграмму 2-го цилиндра $DCEFGD$. Очевидно—работа пара давленія p и объема пропорц. AB , совершаемая въ двухъ сказанныхъ цилиндрахъ, равна работѣ нашей идеальной одноцилиндровой машины (впервые доказано Ранкинъ). Это справедливо и въ томъ случаѣ, если есть и сжатіе въ обоихъ цилиндрахъ, но которое, начинаясь отъ H и K дадутъ въ результатѣ одну кривую сжатія HKI . Тогда діаграммы цилиндровъ высокаго и низкаго давленія будутъ $ABCKA$ и $KCEFHK$.

Но въ дѣйствительности—индикаторныя діаграммы часто весьма рѣзко отличаются отъ этого идеальнаго вида, что происходитъ по слѣдующимъ причинамъ:

1) При впускѣ начальное давленіе p , вслѣдствіе конденсаціи и мятія пара падаетъ къ концу впуска.

2) Расширеніе, какъ и раньше, не слѣдуетъ закону Мариотта и дѣйствительная кривая расширенія болѣе или менѣе отличается отъ кривой Мариотта BE .

3) При впускѣ пара изъ цилиндра высокаго давленія въ ресиверъ—необходимо преодолѣть нѣкоторое сопротивленіе и поэтому выходящій парь имѣетъ давленіе большее p_r .

4) Давленіе въ ресиверѣ, объемъ котораго всегда очень ограниченъ, никогда не бываетъ постоянно $= p_e$, но колеблется, повышаясь при впускѣ пара изъ цилиндра высокаго давленія и понижаясь при впускѣ въ цилиндръ низкаго давленія.

5) Вредныя пространства большаго и малаго цилиндра не всегда равны, кака предполагалось при построеніи діаграммъ фиг. 24.

6) Въ обоихъ цилиндрахъ есть предваренія впуска и выпуска и т. д.

Вообще машину Compound можно разсматривать, какъ двѣ отдѣльныя машины съ однимъ и тѣмъ-же ходомъ поршней, но съ объемами цилиндровъ пропорціональными h_1 (или h_1') и h , съ различными давленіями свѣжаго пара $= p$ и p_r и съ давленіями выпускаемаго пара $= p_r$ и p_e . Поэтому къ изученію діаграммъ, снятыхъ съ обоихъ цилиндровъ, можно примѣнить тѣ-же методы изслѣдованія и почти всѣ выводы и замѣчанія, которые относятся къ діаграммамъ одноцилиндровыхъ машинъ. Тѣ особенности, которыя относятся спеціально къ машинамъ Compound, будутъ выяснены ниже.

Система Compound имѣетъ цѣлый рядъ безспорныхъ достоинствъ:

а) Уменьшеніе начальной конденсаціи, которая, какъ мы видѣли раньше, пропорціональна разности температуръ входящаго пара и стѣенокъ цилиндра. Въ паровозныхъ цилиндрахъ простого расширенія, по

опытамъ Bauschinger'a, при начальномъ давленіи въ 7 atm., вслѣдствіе конденсаціи въ концѣ впуска ввидѣ воды остается отъ 35 до 42% всего израсходованнаго пара *). Въ машинахъ-же Compound—цилиндръ высокаго давленія никогда не соединяется съ атмосферою, цилиндръ-же низкаго давленія не соединяется съ котломъ, почему разница входящаго пара и стѣнокъ цилиндра здѣсь значительно меньше, что и влечетъ за собою уменьшеніе конденсаціи, которая, по мнѣнію Кемп'а, въ машинахъ Compound вдвое меньше, чѣмъ въ машинахъ съ однократнымъ расширеніемъ. Какъ примѣръ (и вмѣстѣ съ тѣмъ способъ изслѣдованія колебанія температуръ стѣнокъ цилиндра) приводимъ фиг. 26—39. На фиг. 26 и 39 представлены діаграммы, снятыя съ товарнаго паровоза Compound о $\frac{2}{3}$ спар. ос. прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ при теоретическихъ отсѣчкахъ 30 и 43% (діаметры цилиндровъ 460 и 650 mm. и ходъ 630 mm.) и на фиг. 27 съ такого-же паровоза однократнаго расширенія, при теоретической отсѣчкѣ въ 25%. Начальное давленіе при впускѣ было одно и тоже = 10, 7 atm. и скорость 40^{km}/ч. Построимъ, пользуясь приведенною въ концѣ книги таблицю Fligner'a (№ 1-й), кривую зависимости между давленіемъ и температурою (фиг. 28), которая вообще полезна при индикаторныхъ изслѣдованіяхъ. Имѣя ее—строимъ діаграммы, показывающія законъ измѣненія теплоты пара въ цилиндрѣ высокаго давленія (фиг. 31) двукратнаго расширенія и въ цилиндрѣ однократнаго расширенія (фиг. 32), откладывая по оси абсциссъ пути, соответствующіе не ходу поршня, а ходу кривошипа (фиг. 29)**), а по оси ординатъ—температуры (беря изъ ихъ фиг. 28), которыя соответствуютъ давленіямъ въ цилиндрахъ въ эти моменты, даваемымъ индикаторными діаграммами. Такъ какъ паръ, дѣйствующій на поршень по одну его сторону, никогда не соприкасается съ противоположною стороною цилиндра, закрываемою въ концѣ хода тѣломъ поршня (шириною = x фиг. 30), то кривыя теплоты пара для обѣихъ сторонъ цилиндра раздвинуты на x одна относительно другой. По этимъ кривымъ можно построить для точекъ a , b , c и d (фиг. 29) кривыя измѣненія въ нихъ температуры для одного оборота кривошипа (фиг. 33, 34, 35 и 36). Найдя среднія температуры, откладываемъ ихъ на фиг. 37 и 38. Изъ нихъ мы видимъ, что для цилиндра высокаго давленія Compound средняя температура пара не падаетъ ниже 142°,8, тогда какъ въ цилиндрѣ однократнаго расширенія она понижается до 119°,6 и минимальная температура въ первомъ = 138°, а во 2-мъ—106° при одной и той-же температурѣ свѣжаго пара = 185°,8. Также—при выпускѣ средняя температура пара въ

*) Считаю и увесенную съ паромъ воду въ капельножидкомъ состояніи.

**) Это сдѣлано съ цѣлю изобразить промежутокъ времени, въ теченіе котораго стѣнки цилиндра подвергаются вліянію различныхъ температуръ.

Compound = отъ 158° до 145°, при однократномъ расширеніи = отъ 140°,26 до 122°,7 и т. д. *).

Поэтому-то кривыя впуска и расширенія въ паровогахъ Compound по большей части выше, чѣмъ въ паровогахъ однократнаго расширенія (что видно и на фиг. 26—27 и 39).

2) Польза значительнаго расширенія пара—общеизвѣстна; поэтому въ паровогахъ съ однократнымъ расширеніемъ пара желательно употреблять малыя отсѣчки. Однако, оказывается, что при употребляемыхъ кулисныхъ механизмахъ—малыя отсѣчки (меньшія 25%) крайне не выгодны, такъ какъ золотникъ открываетъ паровыя окна весьма мало и давленіе пара при впускѣ понижается; съ другой-же стороны—сжатіе пара очень велико. Происходящія при этомъ потери обратно пропорціональны отсѣчкамъ, что ясно видно напр. изъ фиг. 25, на которой совмѣщены четыре діаграммы, полученныя при опытахъ въ Эрфуртѣ съ товарнымъ паровозомъ при скорости = 30^{km/h} и отсѣчкахъ = 10, 25, 40 и 70%. Соотвѣтствующія потери работъ, сравнительно съ теоретическою (сравнит. съ идеальными діаграммами) = 41,3; 34,4; 25,5 и 21,9%. Поэтому пользоваться отсѣчками меньшими 25% не слѣдуетъ, а въ случаѣ необходимости—предпочтительно уменьшать давленіе при впускѣ, прикрывая регуляторъ. Такимъ образомъ при однократномъ расширеніи максим'альное расширеніе не превосходитъ 4-хъ и экономія пара не велика.

Между тѣмъ въ паровогахъ Compound—расширеніе происходитъ въ двухъ цилиндрахъ и напр. при отсѣчкѣ въ маломъ цилиндрѣ на $\frac{1}{3}$ хода, а въ большомъ на $\frac{1}{2}$ хода, при отношеніи ихъ объемовъ 1:2—расширеніе будетъ уже въ 6 разъ. При малой работѣ, дѣлая соотвѣтственно отсѣчки = $\frac{1}{4}$ и $\frac{1}{3}$, получимъ расширеніе въ 12 разъ.

3) На основаніи сказаннаго—въ паровогахъ Compound можно пользоваться большими отсѣчками, черезъ что значительно улучшается кулисное парораспределеніе и, что крайне важно, уменьшается сжатіе пара. Это улучшеніе, вмѣстѣ съ бoльшимъ расширеніемъ, способствуетъ болѣе экономной работѣ пара.

4) Вслѣдствіе меньшей разности давленій по обѣ стороны поршней—уменьшается потеря пара отъ ихъ неплотностей (а также отъ неисправности золотниковъ) и поэтому-же давленіе на поршень и всѣ части передаточныхъ механизмовъ колеблются въ значительно меньшихъ предѣлахъ (по изслѣдованіямъ Кемп'а на $\frac{1}{3}$), чѣмъ для паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ, черезъ что уменьшается работа тренія машины.

*) Этотъ паровозъ Compound имѣлъ индикаторный расходъ пара = 6,76^{kg/h} и слѣдовательно давалъ, сравнительно съ расходомъ для паровоза съ однократнымъ расширеніемъ = 8,40^{kg/h}, экономію въ 19,3%.

5) Большое расширение и лучшее распределение—позволяют принимать парь высшего давления.

6) Вследствие меньшого расхода пара—паровозы Compound, при той-же паропроизводительности котла, могут поддерживать наибольшую скорость болѣе продолжительное время.

7) Поэтому-же—тяга слабѣе *), горѣніе менѣе энергично, почему полезное дѣйствіе котла увеличивается и количество вылетающихъ искръ изъ трубы и увлекаемой воды въ цилиндры—уменьшается и т. д.

Но съ другой стороны можно указать и на недостатки этихъ паровозовъ:

1) Работа въ обоихъ цилиндрахъ обыкновенно неравна; изъ опытовъ напр. обнаружено, что иногда въ быстроходныхъ паровозахъ и при большихъ скоростяхъ, большіе цилиндры доставляютъ всего $\frac{1}{4}$ работы. Въ товарныхъ паровозахъ—наоборотъ: нерѣдко работа большого цилиндра доходитъ до $\frac{3}{5}$ всей работы. Поэтому

а) движеніе паровозовъ Compound болѣе извѣстно;

б) изнашивание обѣихъ сторонъ паровоза неравномѣрно.

2) Механизмъ паровоза Compound болѣе сложенъ и слѣдовательно болѣшая вѣроятность поломокъ.

3) Массивныя движущіяся части большого цилиндра (поршень, золотникъ и пр.) трудно уравновѣсить надлежащимъ образомъ.

4) Вследствие значительной поверхности большого цилиндра, въ немъ происходитъ большая конденсація входящаго пара.

5) При большихъ скоростяхъ—давленіе мятаго пара на нерабочую сторону поршня оказываетъ значительное вредное сопротивленіе.

6) При переходѣ пара изъ малаго цилиндра въ большой происходитъ потеря пара и его давленія и пр.

Но указанныя достоинства на столько существенны и превосходятъ недостатки, что малый успѣхъ въ нѣкоторыхъ странахъ паровозовъ Compound надо приписать не принципу, а плохому ихъ конструированію и несоотвѣтствію размѣровъ цилиндровъ, поверхности нагрѣва котла и пр. съ требуемою силою тяги и скоростью поѣзда. Большое значеніе, по мнѣнію Worries'a, имѣютъ величины отсѣчекъ большого и малаго цилиндровъ, неудовлетворительность дѣйствія конуса и парораспределенія. При надлежащемъ выборѣ размѣровъ частей, при устраненіи крупныхъ, уже выясненныхъ, недостатковъ, при принятіи мѣръ противъ конденсаціи (защита отъ охлажденія золотниковыхъ коробокъ и особенно тщательная обшивка большого цилиндра) и при улучшеніи, путемъ тщательнаго опытнаго изслѣдованія, уже построенныхъ паровозовъ—паровозы Compound

*) Такъ какъ вмѣсто 4-хъ ударовъ пара за одинъ оборотъ ведущаго колеса—здѣсь ихъ только два.

не могут не дать экономии. Только там, где топливо дешево (Англия, Бельгия), или где экономия топлива играет второстепенную роль (Америка)—паровозы Compound могут быть заброшены, но лучшею имъ рекомендаціею долженъ служить фактъ возрастанія съ каждымъ годомъ ихъ числа въ тѣхъ странахъ, гдѣ топливо дорого.

Опытныя данныя и результаты эксплуатаціи паровозовъ—Compound— см. § 101.

§ 12 Идеальная діаграмма. Раннизирование. Степень полноты. Характеристика.

Вообразимъ себѣ идеальную паровую машину, въ цилиндрѣ которой свѣжий паръ при выпускѣ не понижаетъ своего давленія; послѣ отсѣчки онъ расширяется по закону Мариотта до конца хода, затѣмъ его давленіе сразу падаетъ до атмосфернаго и подъ этимъ давленіемъ совершается весь обратный ходъ поршня; наконецъ, въ концѣ обратнаго хода—давленіе сразу повышается до давленія свѣжаго пара. Такимъ образомъ нѣтъ теперь потерь работы отъ мятія пара, преждевременнаго выпуска, сжатія и т. д. Индикаторная діаграмма такой машины будетъ имѣть видъ, представленный на ф. 40 и называется „теоретической“ или „идеальной“ діаграммой. Какъ мы знаемъ—въ дѣйствительности такихъ діаграммъ никогда не получается и являются „неправильности“, уклоненія, по причинамъ частью описаннымъ выше*), и о которыхъ будетъ сказано при описаніи соответствующихъ отдѣловъ. Чтобы имѣть возможность судить о степени неправильности дѣйствительныхъ діаграммъ—ихъ сравниваютъ съ идеальной, отнесенной къ аналогичнымъ обстоятельствамъ, и для удобства сравненія—совмѣщенной съ первой на одномъ чертежѣ.

Что-же касается до паровозовъ Compound, то работа ея, какъ доказано выше, также можетъ быть сравниваема съ работою соответствующей одноцилиндровой идеальной машины, діаграмма которой *ABEFGA* изображена на фиг. 24. Но въ машинахъ Compound паръ послѣдовательно расширяется въ двухъ цилиндрахъ, слѣдовательно, работа его изображается двумя діаграммами и для сравненія ея съ работою пара въ идеальной машинѣ—необходимо предварительно обѣ эти діаграммы соединить надлежащимъ образомъ на одномъ чертежѣ. Описанный ниже способъ соединенія діаграммъ, по имени знаменитаго англійскаго ученаго Rankine'a, впервые его предложившаго, называется „ранкинизированіемъ“.

Замѣтимъ, что эти діаграммы двумя индикаторами съ обѣихъ цилиндровъ снимаются одновременно и при томъ обязательно съ соответствующихъ сторонъ, смотря по ходу пара (см. § 64). Такъ какъ въ этихъ цилиндрахъ давленіе пара различное, то пружины *n* индикаторовъ (фиг. 3)

*) Сюда встрѣчающихся неправильностей діаграммъ—см. § 65.

выбираютъ разныхъ упругостей, сообразно съ обстоятельствами, чтобы не получить ординаты діаграммы слишкомъ малыми или большими; следовательно пружины будутъ сжиматься на разныя величины подь однимъ и тѣмъ-же давленіемъ, т. е. мы получаемъ діаграммы съ различными масштабами давленій. Кромѣ того діаграммы получаютъ одинаковой длины, но такъ какъ объемы цилиндровъ разные, то следовательно и масштабъ объемовъ (абсциссы) также получается различный. Наша цѣль и заключается въ приведеніи обѣихъ діаграммъ къ одному масштабу. Это можно сдѣлать различнымъ образомъ, напр. такъ: пусть на фиг. 41 и 42 представленныя діаграммы, снятыя съ большаго и малаго цилиндровъ машины Comround. Проводимъ ось объемовъ ov и давленій op (фиг. 43), откладываемъ величину $ov_0 = h_0 =$ вредному пространству малаго цилиндра. За масштабъ давленій обыкновенно берутъ масштабъ давленій для большаго цилиндра и въ этомъ масштабѣ откладываютъ величины ординатъ діаграммы a , оставляя ихъ абсциссы безъ измѣненія. Такимъ образомъ получаютъ діаграмму (a). Для діаграммы большаго цилиндра оставляютъ масштабъ давленій безъ измѣненія, но масштабъ объемовъ увеличиваютъ во столько разъ, во сколько объемъ большаго цилиндра больше объема малаго цилиндра, въ каковомъ масштабѣ и откладываютъ величину $ov'_0 = h'_0 =$ вредному пространству большаго цилиндра и абсциссы діаграммы b , оставляя его ординаты безъ измѣненія и такимъ образомъ получаютъ діаграмму (b). Полученная „соединенная“ діаграмма называется „комбинированной“ или „ранкинизированной“. Иногда діаграмму малаго цилиндра оставляютъ безъ измѣненія, и соответствующимъ образомъ измѣняютъ масштабы для діаграммы большаго цилиндра и т. д. *).

Теперь остается полученную такимъ образомъ комбинированную діаграмму сравнить съ идеальной діаграммою, которая вполне опредѣляется положеніемъ кривой Мариотта, входящей въ ея очертаніе. Эту кривую проводятъ: 1) черезъ точку m (фиг. 43)—т. е. черезъ точку такъ называемой „теоретической отсѣчки“, которая указываетъ положеніемъ перекидного рычага и стоитъ въ діаграммахъ надъ точкою I (конецъ впуска) на линіи Am давленія свѣжаго пара p_1 (фиг. 44). Этотъ способъ одинъ изъ наиболее употребительныхъ и легкихъ, но не вполне точенъ, такъ какъ въ цилиндръ никогда не входитъ количество пара пропорціональное величинѣ Am **) вслѣдствіе мятія пара въ концѣ впуска (см. § 6) и следовательно расширяется меньшее количество пара. Поэтому правильнѣе 2) проводить кривую Мариотта черезъ начальную точку расширенія I

*) Замѣтимъ, что вообще способовъ ранкинизированія діаграммъ очень много и здѣсь приводится только наиболее распространенный. Остальные—см. статью Otto Müller'a въ Z. d. Ing. 87 г.

**) Точка A соответствуетъ началу впуска, какъ указано на фиг. 4.

(фиг. 44. и 45). Продолжая тогда эту кривую до линии An —находимъ точку m_1 и, слѣдовательно, величину Am_1 , пропорціональную дѣйствительному, такъ называемому „индикаторному“, расходу пара. Такъ какъ точки m_1 и I лежатъ на кривой Мариотта, то $(p_2 + 1) \cdot (\varepsilon_1 + h_0) = (p_1 + 1) \cdot (Am_1 + h_0)$, откуда находимъ числовую величину Am_1 . Точка I по большей части легко опредѣляется, такъ какъ въ ней происходитъ „переломъ кривыхъ“, потому что вслѣдствіе прекращенія притока свѣжаго пара—кривая сразу идетъ къ низу (напр. въ фиг. 43). Но въ діаграммахъ быстроходныхъ паровозовъ, снятыхъ при большихъ скоростяхъ—часто этотъ переходъ совершается вполне плавно и точку перелома найти трудно. 3) Иногда кривую Мариотта проводятъ черезъ конечную точку кривой расширения пара (въ діаграммахъ Compound—паровозовъ—черезъ конечную точку кривой расширения малаго цилиндра), такъ какъ эта точка соответствуетъ наибольшему всовому количеству пара, которое встрѣчается въ данной діаграммѣ (Польгаузенъ) и проч. Замѣтимъ, что въ идеальной діаграммѣ часто давленіе свѣжаго пара берутъ = давленію въ котлѣ, проводя кривую Мариотта черезъ точку, лежащую надъ начальной точкой расширения на высотѣ котлового давленія. Противодавленіе, какъ сказано, берутъ = 1 atm. Вычертивши такимъ образомъ идеальную діаграмму на одномъ чертежѣ съ дѣйствительными—мы сразу увидимъ всѣ потери. Отношеніе-же площади дѣйствительной діаграммы (или суммы площадей комбинированной діаграммы машины Compound) къ площади идеальной діаграммы—называется „степенью (или коэффициентомъ) полноты“ ея и можетъ служить мѣриломъ для сравненія діаграммъ между собою.

Какъ примѣръ изъ практики привожу ранжированныя діаграммы, полученныя при сравнительныхъ опытахъ на Московско-Казанской желѣзной дорогѣ надъ паровозами Ab —правительственнаго нормальнаго типа 0 $\frac{1}{4}$ сп. ос. и надъ паровозами An —Compound типа Московско-Казанской желѣзной дороги 0 $\frac{1}{4}$ сп. ос. *)—фиг. 44 (коэффициентъ полноты = 0,69) и на фиг. 45 (коэффициентъ полноты = 0,64) **. По мнѣнію инженера Экарева меньшій коэффициентъ полноты діаграммъ паровоза Ab объясняется болышимъ сжатіемъ въ цилиндрѣ низкаго давленія и одинаковой степенью наполненія въ обоихъ цилиндрахъ.

*) Размѣры почти всѣ одинаковы—нормальнаго правительственнаго типа. Отношеніе объемовъ цилиндровъ 2,13; діам. малаго цилиндра = 500 мм., большаго цилиндра = 730 мм. ходъ поршня = 650 мм., при чемъ Ab —система Ливнера; кулисса Дюжя, наружныя перекрыши = + 33, внутреннія для цилиндра высокаго давленія (—2), низкаго давленія (+ $\frac{1}{2}$). An —система Борриса, кулисса Стефенсона, наружныя перекрыши = 22 мм., внутреннія для цилиндра высокаго давленія = (—6 мм.), низкаго давленія = 0.

**) На фиг. 48 и 47 представлены въ натуральную величину соответствующія діаграммы паровоза Ab до ранжированія ихъ.

Обыкновенно въ цилиндръ низкаго давленія наполненіе дѣлается бѣльшимъ. Дѣйствительно (фиг. 46)—если наполненіе сдѣлать одинаковымъ, на примѣръ $\epsilon_1 = \frac{1}{2}$ и $\epsilon_2 = \frac{1}{2}$, то кривая расширенія въ большомъ цилиндръ будетъ bd и потеря противъ теоретической диаграммы будетъ = площади $abcd$. Если-же наполненіе въ большомъ цилиндръ сдѣлать больше, на примѣръ, на величину eb , то потеря будетъ = только площади abe и слѣдовательно коэффициентъ полноты повысится.

Чтобы не затемнять индикаторной диаграммы при ея изслѣдованіи, профессоръ Doefel совѣтуетъ вмѣсто построенія кривой Мариотта—пользоваться слѣдующимъ приѣмомъ: пусть (фиг. 49) начальная точка расширения B , дѣйствительная кривая расширения $Babcd$ и кривая Мариотта— Ba, bc, d_1 . Проведемъ прямыя $a1, b2, c3 \dots$ и черезъ начало координатъ прямыя $O1, O2, O3 \dots$, пересѣченіе которыхъ съ вертикалями $aa', bb' \dots$ дасть рядъ точекъ $a', b', c' \dots$, опредѣляющихъ кривую $Ba'b'c'd'$, названную Doefel'емъ „характеристикой“. Для кривой Мариотта—характеристика совпадаетъ съ прямою Bx , что ясно изъ способа построенія кривой (см. фиг. 1). Если характеристика проходитъ надъ горизонталью Bx , то слѣдовательно дѣйствительная кривая лежитъ выше Мариоттовской и показатель $n < 1$ (форм. 14); если-же, наоборотъ, она проходитъ ниже Bx , то $n > 1$ и дѣйствительная кривая расширения лежитъ ниже Мариоттовской. Такимъ образомъ по вышнему виду характеристики—можно сразу видѣть—какъ шло дѣйствительное расширеніе пара въ цилиндрахъ *).

Сила тяги.

§ 13. Общія замѣчанія.

Приступая къ изученію вопроса о силѣ тяги паровоза, замѣтимъ, что необходимо различать 2 случая работы паровоза: при троганіи съ мѣста и во время хода. Въ первомъ случаѣ приходится приложить статическое усиліе, необходимое для преодоленія кромѣ начального тренія и проч. еще и инерцію поѣзда. Здѣсь должна быть приложена наибольшая сила паровоза, напр. должна быть утилизирована вся сила его сцѣпленія. Во время-же хода преодолевается сопротивленіе движенію, по большей части, значительно меньшее и можетъ быть утилизирована только часть силы сцѣпленія, т. е. не весь полезный вѣсъ паровоза.

Но въ настоящее время замѣчается повсемѣстно стремленіе къ увеличенію скорости, а поэтому паровозы должны и во время хода развивать очень большую силу, такъ какъ сопротивленіе поѣзда, какъ извѣстно, возрастаетъ со скоростью, почему и во время хода приходится утилизировать бѣльшую часть силы сцѣпленія. Но силу тяги нельзя увеличивать

*) Очень интересный способъ проф. Hartmann'a одновременнаго вычерчиванія кривой $p \cdot v$ = пост. и характеристики—см. Z. d. Ing. 95. № 7.

выше известнаго предѣла, такъ какъ приходится считаться съ паропроизводительностью котла: общій расходъ пара, съ увеличеніемъ скорости, возрастаетъ и поэтому (при томъ-же полезномъ вѣсѣ паровоза и объемѣ цилиндровъ) при этомъ необходимо придавать котлу большіе размѣры. Но 1) въ тѣхъ паровозахъ, которые утилизируютъ для сцѣпленія весь свой вѣсъ (напр. товарные), это увеличеніе котла можетъ идти только до тѣхъ поръ, пока не будетъ превзойдена предѣльная допускаемая нагрузка на оси, и такіе паровозы, не имѣя возможности имѣть котлы, соотвѣтствующіе высокимъ скоростямъ, не могутъ двигаться съ этими скоростями и, будучи кромѣ того мало гибкими, не употребляются для скорыхъ поѣздовъ. 2) Для послѣднихъ-же къ паровозамъ прибавляютъ еще одну или двѣ поддерживающія оси, что позволяетъ увеличить котель и такой паровозъ, при томъ-же диаметрѣ цилиндровъ, можетъ развивать и поддерживать значительно большую скорость, чѣмъ предыдущіе, утилизирующіе весь свой полезный вѣсъ. Хотя при этомъ прибавка поддерживающихъ осей дѣлается въ ущербъ полезному вѣсу паровоза, который здѣсь меньше, чѣмъ у паровоза со всѣми спаренными осями, но развивая при троганіи съ мѣста меньшую силу, онъ скоро сравняется со вторымъ и при высокихъ скоростяхъ будетъ его превосходить, везя болѣе тяжелые поѣзда съ тою-же скоростью или тѣ-же поѣзда съ болѣею скоростью, благодаря болѣею паропроизводительности своего котла.

Такимъ образомъ съ увеличеніемъ скорости движенія должно увеличиваться отношеніе поверхности нагрѣва и площади рѣшетки къ объему цилиндровъ и къ полезному вѣсу паровоза.

Demoulin приводитъ два примѣра, какъ крайности: 8—10 колесные товарные паровозы со всѣми спаренными осями и полнымъ полезнымъ вѣсомъ и англійскіе быстроходные паровозы со свободными осями и полезнымъ вѣсомъ не превосходящимъ 18 t. Послѣдніе имѣютъ такіе-же котлы, какъ товарные паровозы (съ полезнымъ вѣсомъ болѣе, чѣмъ въ два раза большимъ) и развиваютъ одну и ту-же среднюю работу (т. е. произведеніе силы тяги на среднюю скорость—у нихъ одно и то-же).

Слѣдовательно теперь стремятся не только увеличивать полезный вѣсъ паровозовъ, что раньше составляло главную задачу строителей, но и усилить котель и только подобнымъ образомъ можно развить требуемую силу тяги и удовлетворить современнымъ требованіямъ желѣзно-дорожной эксплуатаціи—везти поѣзда съ высокою среднею скоростью.

Свѣжій паръ, входящій въ цилиндры, производитъ нѣкоторую работу, величина которой пропорціональна площади соотвѣтствующей индикаторной діаграммы и которая называется „индикаторной работой“ и сила тяги паровоза, опредѣляемая на основаніи индикаторныхъ діаграммъ, называется „индикаторной силой тяги“. Она, посредствомъ передаточнаго механизма, переносится на ободъ ведущихъ колесъ, вра-

шая которая и производить требуемую работу, т. е. двигает паровозъ. Эта сила называется „касательною“ и такъ какъ при этомъ перенесеніи на пути необходимо преодолѣть еще внутреннее сопротивленіе при движеніи поршней, треніе сочлененій шатуновъ, эксцентриковъ, золотниковъ и пр. до тренія шеекъ движущихъ осей, то она приблизительно на 10—15% меньше индикаторной силы тяги. Условимся называть эту силу „касательною силою тяги“.

Часть этой силы тратится на внѣшнія сопротивленія паровоза при движеніи (сопротивленія воздуха, тренія колесъ о рельсы и пр.), другая часть на приведеніе въ движеніе тендера и слѣдовательно въ результатѣ на упряжной крюкъ паровоза передается только оставшаяся часть ея, которая называется „силою тяги на крюкъ“. Она тратится на приведеніе въ движеніе собственно поѣзда; это есть, такъ сказать, эксплуатируемая часть силы паровоза и поэтому имѣетъ особенное значеніе. Задача техники и заключается въ возможномъ увеличеніи именно этой величины. Условимся ее называть—„полезною силою тяги“.

Такимъ образомъ мы можемъ различить

- 1) *Индикаторную силу тяги*
- 2) *Касательную силу тяги*
- 3) *Полезную силу тяги* *).

Разсмотримъ каждую въ отдѣльности.

1. Индикаторная сила тяги.

§ 14. Теоретическое изслѣдованіе индикаторной работы паровоза.

Предположимъ, что сжатіе и расширеніе происходятъ по закону Мариотта, т. е.

$$pv = p_0v_0 = \text{const.}$$

Если начальное давленіе = p_0 , конечное = p и паръ измѣняетъ свой объемъ отъ v_0 до v , то, по законамъ для упругихъ жидкостей, соответствующая работа будетъ равна

$$A = \int_{v_0}^v p \cdot dv = \int_{v_0}^v \frac{p_0v_0}{v} \cdot dv = p_0v_0 \int_{v_0}^v \frac{dv}{v} = p_0v_0 \lg n \cdot \frac{v}{v_0} = p_0v_0 \lg n \cdot \frac{p_0}{p}. \quad (17)$$

гдѣ $\lg n$ —натуральный логарифмъ.

- 1) Пусть мы имѣемъ *одноцилиндровую машину*.

Обозначимъ черезъ:

p_0 —абсолютное давленіе впуска

p_e — „ „ „ въ концѣ расширенія

*) Забѣгнемъ, что термины эти вполнѣ условны и часто полезною силою тяги называютъ силу, обозначенную у насъ „касательною“.

p_a —абсолютное давленіе выпуска

v —объемъ цилиндра, котораго вредное пространство = $m \cdot v$

ϵ —степень наполненія въ $\%$ хода поршня и ϵv —количество пара для одного наполненія

v_e —объемъ количества пара ϵv въ концѣ расширенія, когда давленіе = p_e

p_e —конечное давленіе сжатія.

Если *вреднаго пространства и сжатія нѣтъ*, то теоретическая индикаторная діаграмма будетъ имѣть видъ, представленный на фиг. 40. При этомъ свѣжій паръ на пути cd производитъ работу A_1 , измѣряемую площадью $abcd$, т. е. *)

$$A_1 = p_0 \cdot \epsilon \cdot v \dots \dots \dots (18)$$

Работа расширения A_2 на пути de , по формулѣ (17) равна

$$A_2 = p_0 \cdot \epsilon v \cdot \lg n \frac{p_0}{p_e} \dots \dots \dots (19)$$

Работа противодавленія

$$A_3 = p_a \cdot v_e \dots \dots \dots (20)$$

сѣдовательно полная работа

$$T' = A_1 + A_2 - A_3 = p_0 \epsilon v \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a v_e \dots \dots (21)$$

Расходъ пара

$$M = \epsilon v \dots \dots \dots (22)$$

Работа на единицу объема пара, т. е. величина = $\frac{T'}{M}$, называемая „относительною работою“ =

$$= T'_1 = p_0 \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - \frac{p_a v_e}{\epsilon v} \dots \dots \dots (23)$$

Если *есть вредное пространство, но нѣтъ сжатія*, то на заполненіе его пойдетъ количество пара = mv , которое, участвуя въ расширеніи, произведетъ положительную работу, изображенную на фиг. 50 и = площади $agkia$ =

$$= p_0 m v \cdot \lg n \frac{p_0}{p_e}$$

Такъ какъ соответствующая работа противодавленія = $p_a \cdot v_z$ (**), то дѣйствительная работа количества пара mv =

$$A_4 = p_0 m v \cdot \lg n \frac{p_0}{p_e} - p_a \cdot v_z \dots \dots \dots (24)$$

*) Ибо, если F —площадь поршня, то давленіе на него = движущей силѣ = $p_a \cdot F$ и работа = произведенію силы на путь, т. е. = $p_0 F \cdot cd$ и такъ какъ $T' \cdot cd$ = $\epsilon \cdot v$, то работа = $\epsilon \cdot v \cdot p_0$.

**) Объемъ $v_z = v \cdot z$, гдѣ $z = \epsilon h$ (фиг. 50—51) и представляетъ (также, какъ и величины r и s , ниже упомянутыя) нѣкоторую дробь.

Очевидно, общая работа количества пара $\epsilon v + mv = v(m + \epsilon)$ машины съ вреднымъ пространствомъ равна

$$T'' = A_1 + A_2 + A_4 - A_3 = \text{пл. } abcdhga + aghea = \text{пл. } abcdea \text{ (ф. 51)} = \\ = \left\{ p_0 \epsilon v \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a v_e \right\} + \left\{ p_0 m v \lg n \frac{p_0}{p_e} - p_a v_z \right\} \quad . \quad . \quad (25)$$

Паръ объема mv не производитъ работы полнымъ давлениемъ и поэтому, понятно, относительная работа общего количества $v(m + \epsilon)$ меньше, чѣмъ для машины безъ вреднаго пространства. Ввиду этого паръ сжимають, чтобы уменьшить невыгодный (въ смыслѣ производства работы) расходъ пара mv . Съ этой точки зрѣнія—наивыгоднѣйшее сжатіе будетъ „полное“, когда $\alpha = 1$. При полномъ сжатіи увеличивается противодавленіе и полная работа пара уменьшается на величину площади $afea$ (фиг. 51), равную

$$A_5 = p_0 m v \lg n \frac{p_0}{p_a} - p_a v (r - m) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (26)$$

При этомъ происходитъ потеря работы Δ количества пара $\epsilon v =$ площади hgf , которая = площади $afea$ безъ площади $aghea$ или

$$\Delta = p_0 m v \lg n \cdot \frac{p_e}{p_a} - p_a v (r - s).$$

Такъ какъ $\frac{r}{s} = \frac{p_e}{p_a}$,

$$\text{то} \quad \Delta = p_0 \cdot m \cdot v \left\{ \lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 + \frac{p_a}{p_e} \right\}. \quad (27)$$

Эта потеря называется „потерю сжатія“. Она зависитъ отъ p_0 , вреднаго пространства mv и отношенія $\frac{p_e}{p_a}$ и будетъ = 0 при $p_e = p_a$, т. е. если расширеніе будетъ продолжено до давленія выпуска.

Такимъ образомъ индикаторная работа идеальной паровой машины съ вреднымъ пространствомъ, объемомъ цилиндра $v = v_e + v_z$ *) и при полномъ сжатіи = площади $abcdfa$

$$T = A_1 + A_2 + A_4 - A_3 - A_5 = p_0 \epsilon v \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a v (1 + m) - \\ - p_0 m v \left(\lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (28)$$

*) Мы видимъ, такимъ образомъ, что вредное пространство не только уменьшаетъ относительную работу, но увеличиваетъ также дополнительный расходъ на сооруженіе, такъ какъ объемъ цилиндра долженъ быть на $\frac{100 \cdot v_z}{v_e}$ % больше.

и относительная работа

$$T_1 = \frac{T}{\epsilon v} = p_0 \left(1 + \lg \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a \left(\frac{1+m}{\epsilon} \right) - p_0 \frac{m}{\epsilon} \left(\lg \frac{p_e}{p_a} - 1 \right). \quad (29)$$

2) *Двухцилиндровая машина Compound.*

Если произвести для нея такой же расчетъ, то найдемъ, что Δ здѣсь меньше, чѣмъ для такого же расхода пара и при тѣхъ же обстоятельствахъ въ одноцилиндровыхъ машинахъ.

Пусть, кромѣ указанныхъ обозначеній, относящихся здѣсь къ цилиндру высокаго давленія, имѣемъ:

R = давленію въ ресиверѣ,

n = отношенію объемовъ цилиндровъ,

V = объему цилиндра низкаго давленія, котораго вредное пространство = mV и въ которомъ отсѣчка = ϵ_1

$\frac{V}{n}$ = объему цилиндра высокаго давленія, котораго вредное пространство = $\frac{V}{n} \cdot m$.

Предположимъ, что паденія давленія въ ресиверѣ нѣтъ, тогда, при полномъ сжатіи, діаграммы этой машины примутъ видъ, представленный на фиг. 52 и 53.

Работа цилиндра высокаго давленія = площади $abcd$ =

$$= A_b = p_0 \epsilon v \lg n \cdot \frac{p_0}{R}.$$

Работа цилиндра низкаго давленія, равная площади

$$efghie = A_n = R \cdot \epsilon_1 V \left(1 + \lg n \frac{R}{p_e} \right) - p_a V (1+m) - RmV \left(\lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 \right).$$

Такъ какъ $p_0 \cdot \epsilon v = R \cdot \epsilon_1 V$, то общая работа

$$T = A_b + A_n = p_0 \epsilon v \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a V (1+m) - RmV \left(\lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 \right) \quad (30)$$

Расходъ пара $M = \epsilon v$, слѣдовательно относительная работа

$$T_1 = \frac{T}{M} = p_0 \left(1 + \lg n \frac{p_0}{p_e} \right) - p_a V \left(\frac{1+m}{\epsilon v} \right) - \frac{RmV}{\epsilon v} \left(\lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 \right) \quad (31)$$

Потеря отъ сжатія Δ , измѣряемая площадью

$$ikl \text{ (фиг. 53)} = RmV \left(\lg n \frac{p_e}{p_a} - 1 + \frac{p_a}{p_e} \right) \dots \dots \dots (32)$$

Вычитая (28) изъ (30) и (27) изъ (32). получимъ выгоду примѣненія системы Compound.

По выведеннымъ формуламъ можно разсчитать теоретическую индикаторную работу идеальной машины въ каждомъ данномъ случаѣ.

Итакъ, какую-бы мы діаграмму не имѣли (однократнаго расширения или какого-нибудь изъ цилиндровъ машины Compound), мы можемъ ее разсматривать какъ разность двухъ площадей, соответствующихъ: прямому ходу поршня, когда совершается нѣкоторая *положительная работа* и обратному ходу его, когда совершается „*работа противодѣйствія*“, напр. на фиг. 51—площадью *abclia* и *dfaild*.

Положительная работа A состоитъ изъ работы свѣжаго пара объема ϵv полнымъ давленіемъ (фор. 18) + работа расширения объема ϵv (фор. 20) и объема $m\epsilon v$ (фор. 24), т. е. она равна:

$$p_0 v \left[\epsilon + (m + \epsilon) \lg n \frac{p_0}{p_e} \right].$$

По закону Мариотта имѣемъ:

$$p_0 (\epsilon v + m\epsilon v) = p_e (v + m\epsilon v) \quad \text{или} \quad \frac{p_0}{p_e} = \frac{1 + m}{m + \epsilon},$$

слѣдовательно положительная работа равна:

$$p_0 v \left\{ \epsilon + (m + \epsilon) \lg n \left(\frac{1 + m}{m + \epsilon} \right) \right\} = A.$$

Вообразимъ нѣкоторое среднее давленіе пара p_m на „*рабочую сторону поршня*“ (т. е. при прямомъ ходѣ), такъ чтобы $A = p_m \cdot v$, тогда, очевидно,

$$p_m = p_0 \left\{ \epsilon + (m + \epsilon) \lg n \left(\frac{1 + m}{m + \epsilon} \right) \right\} \quad \dots (33)$$

Также найдемъ *отрицательную работу* (на „*нерабочую сторону поршня*“, т. е. сумму противодавленій во время выпуска и сжатія при обратномъ ходѣ поршня) =

$$= p_a v (1 + m) + p_0 m v \lg n \frac{p_0}{p_a} = B.$$

Предположимъ, что сжатіе полное и оно начинается за $\epsilon_3 \%$ до конца обратнаго хода поршня, т. е. $\epsilon_3 =$ „*отсѣкъ сжатія*“. Такимъ образомъ начнетъ сжиматься объемъ пара $\epsilon_3 v + m\epsilon v$ съ давленіемъ p_a до объема $m\epsilon v$ съ давленіемъ p_0 , слѣдовательно

$$p_a (\epsilon_3 v + m\epsilon v) + p_0 m\epsilon v$$

или

$$\frac{p_0}{p_a} = \frac{\epsilon_3 + m}{m}$$

и слѣдовательно

$$B = p_a \cdot v \left\{ 1 + m + \left(1 + \frac{\epsilon_3}{m} \right) \lg n \left(\frac{\epsilon_3 + m}{m} \right) \right\}.$$

Если теперь вообразимъ нѣкоторое среднее давленіе q_m на нерабочую сторону поршня такъ, чтобы $B = q_m \cdot v$, то найдемъ

$$q_m = p_a \left\{ 1 + m + \left(1 + \frac{\epsilon_3}{m} \right) \lg n \left(\frac{\epsilon_3 + m}{m} \right) \right\}. \quad (34)$$

Полная-же работа за одинъ оборотъ, пропорціональная площади индикаторной діаграммы, равна

$$P = A - B = p_m v - q_m v = (p_m - q_m) v = p_i \cdot v,$$

гдѣ величина

$$p_i = p_m - q_m \quad (35)$$

называется „среднимъ индикаторнымъ давленіемъ“ на поршень. Такимъ образомъ площадь діаграммы $abcdfa$ (фиг. 51) замѣняется площадью $etude$. Для теоретическихъ діаграммъ— p_i точно опредѣляется для каждаго частнаго случая изъ формулъ (33), (34) и (35).

Таблицы Игбака для расчета p_i приведены въ концѣ книги (для $m = 0,06—0,08$), но онѣ имѣютъ приближительную точность и могутъ служить только для сравненій или предварительныхъ подсчетовъ.

§ 15. Среднее индикаторное и рабочее давленіе на поршень.

Въ предыдущемъ § выведены формулы для расчета средняго индикаторнаго давленія, зная которое, весьма легко найти теоретическую индикаторную работу силы тяги. Но въ дѣйствительности, какъ извѣстно, законы расширенія и сжатія не происходятъ точно по закону Мариотта, діаграммы имѣютъ неправильный видъ и примѣнять выведенныя формулы къ дѣйствительнымъ машинамъ нельзя, но также нельзя вывести и новыя формулы для дѣйствительныхъ машинъ, такъ какъ это давленіе существенно зависитъ отъ такихъ, трудноуловимыхъ величинъ, какъ влажность пара и его конденсація. Поэтому найти среднее индикаторное давленіе p_i возможно только путемъ непосредственнаго измѣренія діаграммъ, найдя среднюю ординату данной индикаторной кривой, что точно производится посредствомъ специальныхъ инструментовъ, называемыхъ планиметрами и ростатами и описанныхъ въ § 63.

Знать, однако, законъ измѣненія величины p_i , въ зависимости отъ обстоятельствъ—крайне важно, такъ какъ сила паровой машины пропорціональна этой величинѣ. Какъ сказано, найти такой *общій* законъ—невозможно, но для *даннаго* паровоза, работающаго при извѣстныхъ нормальныхъ условіяхъ (напр. везушаго поѣздъ нормального состава на дан-

номъ участкѣ), это исполнѣ возможно, такъ какъ влажность пара и проч. остаются при этомъ болѣе или менѣе постоянными.

Такимъ образомъ, вообще, можно найти, хотя и приближительный, но достаточно точный для практики, законъ измѣненія для паровоза даннаго типа. Какъ примѣръ—привожу данныя, найденныя Leitzmann'омъ для прусскихъ нормальныхъ пассажирскихъ паровозовъ. Выведенныя имъ диаграммы очень интересны и поучительны и желательно, чтобы подобныя диаграммы строились при изслѣдованіи каждаго типа. По эмпирической формулѣ Welkner'a

$$\left. \begin{aligned} p_i &= p_m - q_m = p_0 (0,111 \sqrt{\varepsilon} - 0,2444) \text{ и } \\ q_m &= p_0 \left(\frac{V \cdot h \cdot n}{2072 \cdot D} + \frac{\varepsilon}{540} \right) + 1, \end{aligned} \right\} \dots (36)$$

гдѣ p_0 —маном. давленія въ котлѣ, p_m и q_m —абсолютныя среднія давленія при прямомъ и обратномъ ходѣ, V —скорость поѣзда въ km/h , D —диаметръ ведущаго колеса и h —ходъ поршня. Для прусскихъ казенныхъ пассажирскихъ паровозовъ $h = 0,56$; $D = 1,73$ и $n = \frac{400^2}{120^2} = 11$ и $p_0 = 12$, слѣд. $q_m = p_0 \left\{ \frac{V}{582} + \frac{\varepsilon}{540} \right\} + 1$.

Предположимъ, что при выпускѣ въ цилиндръ котловое давленіе падаетъ на 5%, т. е. абсолютное давленіе въ началѣ выпуска = $0,95p_0 + 1$, тогда $f = \frac{p_m \cdot 100}{0,95p_0 + 1}$ даетъ процентное отношеніе средняго давленія пара p_m къ начальному давленію выпуска. Находимъ

$$f = \frac{p_0 (0,111 \sqrt{\varepsilon} - 0,2444) + q_m}{0,95p_0 + 1} \cdot 100 \dots (36)$$

или для нашего случая

$$f = 8,0645 (1,332 \sqrt{\varepsilon} - 2,933 + q_m)$$

На основаніи формулъ (36) можно, предварительно, съ нѣкоторымъ приближеніемъ найти для различныхъ значеній v и ε величины: q_m , p_i и $p_m = p_i + q_m$, а слѣдовательно

$\frac{p_m}{p_0 + 1} \cdot 100 = f_2$, т. е. среднее давленіе на рабочую сторону поршня въ % абсолютнаго котловаго давленія,

$\frac{q_m}{p_0 + 1} \cdot 100 = f_3$, т. е. то же для средняго противодавленія,

$\frac{p_i}{p_0 + 1} \cdot 100 = f_4$, т. е. то же для средняго индикаторнаго давленія.

На фиг. 54 представлено графическое изображение изменения величины f_2 на основании опытных данных (т. е. индикаторных диаграмм) для указанного паровоза, а на фиг. 55—то же для величины f_3 , причем пунктиром нанесены кривые для той же величины на основании предварительного расчета по приведенным формулам. Разница не велика. Какъ видимъ, 1) для малыхъ отсѣчекъ f_3 почти не зависитъ отъ скорости и въ среднемъ = 17,50%; 2) для каждой скорости есть такая степень расширения, для которыхъ q_m достигаетъ своего minimum'a, а именно для

V	= 10	30	50	70	90 км/ч
q_m	= 11	12,2	15,0	16,5	17,50%
при ϵ	= 55	50	40	30	200%.

Наконецъ, на фиг. 56 представлено (также на основании опытовъ—сплошныя линіи и по расчету—пунктирь) изменение величины f_4 въ зависимости отъ V и ϵ . Очевидно, $f_4 = f_2 - f_3$. Изъ этого частнаго примѣра мы видимъ, что p_i зависитъ отъ ϵ и V и увеличиваясь съ увеличеніемъ отсѣчки ϵ —уменьшается съ увеличеніемъ скорости V , что и понятно.

Формулы Welkner'a даютъ только приблизительныя величины и понятно непригодны для точныхъ расчетовъ и изслѣдованія возможны только на основаніи опытныхъ данныхъ и путемъ составленія диаграммъ, подобно приведеннымъ (фиг. 54—56).

Во всякомъ случаѣ ясно, что величина $\frac{p_i \cdot 100}{p_0 + 1}$ есть нѣкоторая функція ϵ и V , т. е.

$$\frac{p_i \cdot 100}{p_0 + 1} = f(\epsilon, V) \dots \dots \dots (37)$$

или

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \cdot f(\epsilon, V) = c \cdot f(\epsilon, V) \dots \dots \dots (37^{bis})$$

гдѣ c —величина постоянная для даннаго паровоза. Этой функціи $f(\epsilon, V)$ желательно придать нѣкоторый общій видъ. Но предварительно замѣтимъ, что ϵ и V также находятся въ извѣстной зависимости одна отъ другой. Дѣйствительно: чтобы поддержать извѣстную, требуемую скорость поѣзда, необходимо, чтобы котелъ давалъ такое количество пара, какое потребляется паровою машиною паровоза, т. е. приходъ пара былъ = его расходу. Тогда движеніе будетъ установившееся и не будетъ колебаній давленія и уровня воды въ котлѣ. Если поверхность нагрѣва котла = Hm^2 и паропроизводительность (наибольшая) = k кг съ m^2 , то котелъ мо-

жетъ дать въ часъ Hk кг пару. Расходъ-же пара въ часъ*), при отсѣчкѣ ϵ , всѣхъ m^3 пара котлового давления γ и числѣ оборотовъ n въ секунду (пренебрегая вреднымъ пространствомъ, что, приблизительно, ввиду большаго сжатія, можно допустить) =

$$M^1 = 4 \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h \cdot \epsilon}{100} \cdot \gamma \cdot n \cdot 60 \cdot 60 \text{ кг.}$$

Такъ какъ при скорости поѣзда V км/ч имѣемъ

$$n = \frac{V \cdot 1000}{\pi \cdot D \cdot 60 \cdot 60},$$

гдѣ D диаметръ ведущаго колеса, то

$$M^1 = 10 \cdot \frac{d^2 \cdot h \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot V}{D} = 10 \cdot u \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot V, \text{ гдѣ } \frac{d^2 \cdot h}{D} = u.$$

Слѣдовательно находимъ

$$10 \cdot u \cdot \epsilon \cdot \gamma \cdot V = H \cdot k$$

или

$$\epsilon = \frac{H}{10 \cdot u \cdot \gamma} \cdot \frac{k}{V} = c'' \cdot \frac{k}{V} \dots \dots \dots (38)$$

гдѣ

$$c'' = \frac{H}{10 \cdot u \cdot \gamma} \dots \dots \dots (38^{\text{bis}})$$

величина постоянная для даннаго паровоза. Такимъ образомъ $\epsilon =$ функции V и $\epsilon \cdot V = c'' \cdot k$ зависитъ отъ паропроизводительности котла, а слѣдовательно отъ нея зависятъ и сила тяги, о чемъ сказано раньше.

Поэтому формулу $p_i = c \cdot f(\epsilon, V)$ мы можемъ написать въ видѣ

$$p_i = c \cdot f\left(\epsilon, \frac{c'' \cdot k}{\epsilon}\right) = c \cdot f''(\epsilon)$$

или въ видѣ

$$p_i = c \cdot f'\left(V, \frac{c'' \cdot k}{V}\right) = c \cdot f'''(V) \dots \dots \dots (39)$$

Leitzmann, на основаніи многочисленныхъ опытовъ, нашелъ, что видъ функции $f''(\epsilon)$, наиболѣе соответствующій практическимъ даннымъ, будетъ

$$a - \frac{b}{\epsilon} + \frac{c}{\epsilon^2}, \text{ что и } = f(\epsilon, V) \dots \dots \dots (40)$$

*) Беремъ машину однократнаго расширенія. Для машины Compound—разсчитать тотъ-же самый.

Постоянные коэффициенты a , b и c находятся опытно, сравнивая формулу

$$p_i = c \left(a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2} \right). \quad (41)$$

съ данными, выводимыми из снятых индикаторных диаграмм. Если считать ε въ $\%$ хода поршня, то Leitzmann предлагает брать $a = 1$, $b = 20$ и $c = 130$, т. е.

$$p_i = 100 \cdot c \left(1 - \frac{20}{\varepsilon} + \frac{130}{\varepsilon^2} \right) \quad (42)$$

что очень хорошо удовлетворяет практикѣ *).

Напр. для

1) Прусскаго пассажирскаго нормальнаго паровоза новаго типа о $\frac{2}{3}$ спар. ос.	$k = 40$	$\varepsilon V = 1240$
2) Такого-же стараго типа	$k = 38$	$\varepsilon V = 1106$
3) Прусс. нормальн. товарн. паров. о $\frac{3}{3}$ сл. ос.	$k = 30$	$\varepsilon V = 707$
4) Прусс. тендеръ паровоза о $\frac{3}{3}$ спар. ос.	$k = 36$	$\varepsilon V = 526$

Для этихъ паровозовъ, при всевозможныхъ скоростяхъ и отсѣчкахъ, зная $c = \frac{p_0 + 1}{100}$, найдены величины $f(\varepsilon, V)$ изъ диаграммъ, такъ какъ

$$f(\varepsilon, V) = \frac{p_i}{c} = \frac{100 \cdot p_i}{p_0 + 1}. \quad (40 \text{ bis.})$$

и сравнены съ величинами, рассчитанными по формулѣ (42) для соответствующихъ отсѣчекъ. Результаты представлены въ нижеприводимой таблицѣ (см. стр. 60), откуда мы видимъ, что для наиболѣе употребительныхъ отсѣчекъ отъ $\varepsilon = 20$ до $\varepsilon = 60\%$ разниа не превосходитъ 3% , для среднихъ-же отсѣчекъ, равныхъ $30—40\%$, она равна только $1,5\%$, понижаясь даже до $0,2\%$, не смотря на разнообразіе типовъ.

При этомъ надо имѣть въ виду, что величина паропроизводительности котла k соответствуетъ максимальной работѣ паровоза. Задача изслѣдованія паровоза и заключается въ нахожденіи тѣхъ условій, при которыхъ паровозъ можетъ дать максимумъ работы и затѣмъ надо стараться на практикѣ, по возможности, наблюдать эти условія. При этомъ т. е. при производствѣ максимальной работы, и существуетъ найденная

*) Эти значенія для коэффициентовъ найдены Leitzmann'омъ для нижеуказанныхъ паровозовъ однократнаго расширенія. Для паровозовъ—Compound коэффициенты будутъ имѣть другую величину и могутъ быть найдены по предыдущему опытному пути.

		Пассажирскіе паровозы				Товарный		Тендеръ		f (ε, V)		
		Новый		Старый		паровозъ		паровоза		Средня значенія изъ опыта	Расчитанія по формулѣ $\frac{130}{20} + \frac{130}{100} \left(1 - \frac{v}{e}\right)$	Развѣна въ %
ε =	v	f(ε, V)	v	f(ε, V)	v	f(ε, V)	v	f(ε, V)	—			
12	—	—	—	—	—	—	—	44	21,0	21,0	23,0	+ 9,5
14	—	—	79	19,0	—	—	—	38	25,5	22,5	23,4	+ 4,0
16	—	—	69	22,5	—	—	—	33	29,0	26,0	25,8	— 0,8
18	69	24,5	61	25,5	39	31,0	29	33,0	28,5	29,0	29,0	+ 1,8
20	62	28,0	55	29,5	35	34,0	26	36,0	32,0	32,5	32,5	+ 1,6
30	41	43,5	37	45,0	24	49,0	18	50,0	47,0	47,7	47,7	+ 1,5
40	31	56,0	28	57,0	18	59,0	13	59,5	58,0	58,1	58,1	+ 0,2
50	25	65,5	22	66,0	14	67,5	—	—	66,5	65,2	65,2	— 2,0
60	21	72,5	18	73,0	—	—	—	—	72,5	70,3	70,3	— 3,0
70	18	78,0	16	78,5	—	—	—	—	78,0	74,1	74,1	— 5,0

строгая зависимость между ε и V и движеніе поѣзда называется „установившимся“ *).

Приведенныя значенія для коэффициентовъ, которыя, какъ видимъ, вполне пригодны для указанныхъ типовъ заграничныхъ паровозовъ, могутъ не вполне подходить къ новымъ изслѣдуемымъ типамъ и требуютъ поправки. Поэтому можно поступить такимъ образомъ: найдя нѣсколько (возможно больше) значеній p_i изъ діаграммъ для данныхъ отсчетовъ ε, изъ формулы (37) получаемъ величину $f(ε, V)$ и изъ ур-я (40) находимъ коэффициенты a, b и c, приблизительноя величины которыхъ даны Leitzmann'омъ. Тогда, слѣдовательно, будетъ извѣстенъ искомый законъ измѣненія средня индикаторнаго давленія въ зависимости отъ обстоятельствъ съ точностью, достаточною для практики. Если величины p_i и $p_{i_1} = p_i' + \frac{d_{11}^2}{d_1^2} p_i''$ (для паровозовъ Compound см. § 16) будутъ найдены для различныхъ ε и v, то можно построить рядъ кривыхъ фиг. 57-- 60, представляющихъ средня индикаторнаго давленія какъ функціи ε при v = пост.

*) При дальнѣйшемъ изслѣдованіи надъ названіемъ „установившееся движеніе“ мы и будемъ подразумѣвать таковое, удовлетворяющее сказаннымъ условіямъ.

и функции ϵ при $\epsilon = \text{пост.}$ Эти кривые очень полезны при определении силы тяги.

Кроме того, из индикаторных диаграмм можно найти закон изменения „рабочего давления P на поршень“. Пусть на фиг. 61 нанесены две диаграммы, одновременно снятые с обеих сторон поршня двумя индикаторами. Прямой ход поршня (для левой стороны цилиндра) от a_1 до b_1 соответствует обратному ходу для правой стороны и тогда как для первой стороны закон изменения давления пара выражается кривою ACB —в то же время на левой стороне изменение давления выражается кривою DEF и, очевидно, действительное, рабочее, движущее давление P —получается, вычитая из ординат первой кривой ординаты второй. Откладывая их от оси абсцисс, получим кривую $A_1C_1B_1$, представляющую изменение рабочего давления P на поршень на пути от a_1 до b_1 . Таким же образом получим подобную кривую и для обратного хода от b_1 до a_1 . Для положения поршня в d_1 —рабочее давление $= 0$ и дальше на пути d_1b_1 , давления отрицательны, т. е. на этом пути давление пара действует как сопротивление и происходит торможение машины.

При точных исследованиях машины, необходимо еще принять во внимание влияние сил инерции перемещающихся взад и вперед масс, т. е. поршня со штоком и кривокопфом, вѣсъ которых обозначим через G_1 , и отчасти шатуна (вѣсъ— G_{11}). Инерция их масс в началѣ хода действует как сопротивление, так как на приведение в движение этих частей поглощается некоторая работа движущих сил; в концѣ же хода, наоборот, инерция этих масс действует как движущая сила, отдавая накопленную ими живую силу. Поэтому силы инерции не оказывают влияния на *полную* работу пара, так как сумма работ их за полный оборот оси $= 0$, но они оказывают влияние на рабочее давление пара P на поршень, уменьшая или увеличивая его величину в зависимости от положения поршня и оказывая влияние поэтому на давление на цапфу кривошипа. С точностью достаточной для практики, наклонном шатуна можно пренебречь и тогда принимают за вѣсъ G движущихся частей величину $= G_1 + \frac{2}{3}G_{11}$. Если g —ускорению тяжести, ω —угловой скорости вращения, r —радиусу кривошипа, F —площади поршня и α —углу поворота кривошипа, то добавочное давление (в $\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$ или в атм.) на единицу площади поршня от сил инерции будет $= p = \frac{G}{g \cdot F} \cdot \omega^2 r c s \alpha$.

Величина $r c s \alpha = x$ —пути, пройденному поршнем от его среднего положения; $\frac{\omega^2 r}{g}$ приблизительно $= \frac{n \cdot c}{60}$, гдѣ n —числу оборотов, c —сред-

ней скорости поршня $= \frac{2nh}{60}$ (обозначая ход поршня через h), следовательно

$$p = \frac{G}{F} \cdot \frac{n \cdot c}{60} \cdot x \dots \dots \dots (43)$$

Какъ видимъ, законъ измѣненія p , въ зависимости отъ x , выражается прямой ab (фиг. 63), ординаты которой для мертвыхъ точекъ, т. е. для $x = 1$ и $x = -1$, будутъ $= bb_1 = p_1 = \frac{G}{F} \frac{nc}{60}$ и $aa_1 = p_2 = \frac{G}{F} \frac{nc}{60}$ и которая проходитъ черезъ среднюю точку o хода поршня *). Для обратнаго хода эта прямая будетъ наклонена въ противоположную сторону.

Соединяя теперь силы инерціи съ давленіями пара, найдемъ вмѣсто кривой $A_1C_1B_1$ (фиг. 62) давленій P , кривую $A_{11}C_{11}B_{11}$, которая и изобразитъ законъ измѣненія дѣйствительныхъ движущихъ усилій P на пути поршня отъ a_1 до b_1 . Какъ видимъ, силы инерціи отчасти выравниваютъ эти усилія и следовательно способствуютъ равномерности хода машины и тѣмъ болѣе, чѣмъ вѣсъ G и скорость движенія больше. Но когда паровозъ идетъ безъ паровъ, то происходитъ обратное явленіе и такъ какъ идти безъ паровъ приходится очень часто, то эти движущіяся части стараются дѣлать возможно болѣе легкими.

*) Если отношеніе радіуса кривошипа r и длины шатуна L велико, то нужно принять во вниманіе и наклонъ шатуна, измѣняя ординаты прямой ab (фиг. 63). При этомъ имѣемъ $p = -\frac{Q \cdot \omega^2 r}{g} \left(c \cos \alpha - \frac{r}{L} c s 2\alpha \right)$. Для множителя въ скобкахъ — найдемъ:

при $\alpha = 0^\circ \dots - \left(1 - \frac{r}{L} \right)$	и пренебрегая	при $\alpha = 0^\circ \dots - 1$
$\alpha = 45^\circ \dots - \sqrt{1/2}$	величиною $\frac{r}{L}$	$\alpha = 45^\circ \dots - \sqrt{1/2}$
$\alpha = 90^\circ \dots - \frac{r}{L}$		$\alpha = 90^\circ \dots 0$
$\alpha = 135^\circ \dots + \sqrt{1/2}$		$\alpha = 135^\circ \dots + \sqrt{1/2}$
$\alpha = 180^\circ \dots + \left(1 - \frac{r}{L} \right)$		$\alpha = 180^\circ \dots + 1$

Такимъ образомъ для $\alpha = 45^\circ$ и 135° , которымъ соотвѣтствуютъ положенія поршня g_1 и h_1 , поправокъ не требуется. Предположимъ, напр., что $\frac{r}{L} = 1/6$, тогда ординату aa_1 надо уменьшить на $2/6$, а bb_1 увеличить на $1/6$, давленіе же въ o будетъ $= 1/6$ первоначальнаго давленія aa_1 . Получимъ вмѣсто прямой ab — ломаную прямую $a_{11}g_1o_1h_1b_{11}$, достаточно точно изображающую законъ измѣненія силъ инерціи для прямого хода поршня и для построения которой всего проще слѣдовать сказанному: построить сначала прямую ab и затѣмъ измѣнить ея ординаты.

§ 16. Индикаторная сила тяги.

Обозначимъ черезъ:

p_i кг/см²—среднее индикаторное давленіе на поршень

d (см) —діаметръ цилиндра; ходъ поршня = h (м)

D (м) —діаметръ ведущаго колеса

v м/се —средняя скорость поршня и V км/ч—скорость поѣзда,

тогда индикаторная работа силы тяги двухцилиндровыхъ паровозовъ однократнаго расширенія за одинъ оборотъ колеса (не принимая во вниманіе силъ инерціи, работу которыхъ за полный оборотъ оси, какъ сказано, можно принять = 0)

$$L = \frac{2 \cdot p_i}{75} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot v \text{ лошадиныхъ силъ} \dots (44)$$

Но $v = \frac{2h \cdot n}{60}$, гдѣ n = числу оборотовъ оси въ минуту =

$$= V \cdot \frac{1000}{\pi \cdot D \cdot 60},$$

следовательно

$$L = 2 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_i \cdot \frac{2h}{75} \cdot \frac{V \cdot 1000}{60 \cdot 60 \cdot \pi D} = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{p_i \cdot V}{270} \text{ лошади. силъ} \dots (45)$$

Для двухцилиндровыхъ паровозовъ—*Сотроинд*, обозначая соответственно для большаго и малаго цилиндра діаметры черезъ d_1 (см) и d_{11} (см) и индикаторныя давленія черезъ p'_i и p''_i , находимъ

1) работа въ маломъ цилиндрѣ

$$L_1 = \frac{d_1^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{p'_i \cdot V}{540}$$

2) работа въ большомъ цилиндрѣ

$$L_{11} = \frac{d_{11}^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{p''_i \cdot V}{540}$$

и полная индикаторная работа въ *HP* равна

$$L = L_1 + L_{11} = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{V}{540} \left\{ p'_i + \frac{d_{11}^2}{d_1^2} p''_i \right\} = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{p_{i_1} \cdot V}{540} \dots (46)$$

гдѣ

$$p_{i_1} = p'_i + \frac{d_{11}^2}{d_1^2} \cdot p''_i.$$

Эта работа, определяемая формулами (45) и (46), называется иногда „валовой“ работой паровоза*).

Совместное исследование индикаторной и касательной силы тяги— см. § 17.

2. Касательная сила тяги.

§ 17. Распределение действующих сил въ паровозѣ.

Дѣйствующей силой въ паровозѣ является рабочее давление пара P въ цилиндрѣ, опредѣленіе величины котораго указано въ § 15 и которое въ цилиндрѣ передается во всѣ стороны **). Сила P (фиг. 6-1) через шток передается на крейцкопфъ A и затѣмъ разлагается на двѣ силы: одна изъ нихъ $= P/cs\beta$ идетъ по шатуну и дѣйствуетъ на цапфу кривошипа B , другая $= Ptg\beta$ передается на параллели и идетъ всегда вверхъ при переднемъ ходѣ и внизъ при заднемъ ходѣ. Сила $P/cs\beta$ разлагается въ свою очередь на двѣ: одна $= EB$ идетъ по кривошину, другая $= BF$ будетъ касательна къ окружности, описываемой цапфою кривошипа.

Приложимъ въ центрѣ ведущей оси двѣ разныя и прямопротивоположныя силы $= P/cs\beta$, т. е. CH и CN .

Первую CH можно разложить на двѣ: CG , которая, очевидно, $= P$ и вмѣстѣ съ силою $P_1 = P$ (дѣйствующею на крышку цилиндра) будетъ сжимать раму паровоза при переднемъ ходѣ и растягивать при заднемъ и CJ , которая дѣйствуетъ перпендикулярно къ рельсу и $= Ptg\beta$. Она вмѣстѣ съ силою $P.tg\beta$, давящею на параллели, образуетъ пару силъ, приподнимающую переднюю часть паровоза при переднемъ ходѣ и опускающую ее при заднемъ.

Силу CN разложимъ на: CU , которая $= EB$ и будетъ сжимать кривошипъ и $CS = T = BF$. Эти двѣ силы, и образуютъ пару, вращающую ось и моментъ которой $= BF \cdot CB = P \cdot \frac{Sn(\alpha + \beta)}{cs\beta} \cdot r$, гдѣ r = радіусу кривошипа $= CB$.

По основному свойству пары—эту пару, безъ измѣненія ея дѣйствія, можно замѣнить какою угодно другою парю, дѣйствующею въ той-же плоскости, но съ тѣмъ-же моментомъ.

Возьмемъ за плечо пары—радіусъ ведущаго колеса $\frac{D}{2}$, тогда оче-

*) Что же касается собственно до „силы тяги“, то по численной своей величинѣ она тождественна съ работою, совершаемой на протяженіи единицы пути (въ данномъ случаѣ 1 м, если работа выражается въ kgm и сила въ kg).

**) Предполагаемъ, что паровозъ идетъ впередъ и цилиндры горизонтальны.

видно, движущую силу Z , дѣйствующую касательно къ ободу колеса, найдемъ изъ равенства

$$Z \cdot \frac{D}{2} = P \cdot \frac{\text{Sn}(\alpha + \beta)}{\text{cs}\beta} \cdot r$$

и слѣдовательно

$$Z = \frac{2Pr}{D} \cdot \frac{\text{Sn}(\alpha + \beta)}{\text{cs}\beta} = \frac{P \cdot h}{D} \cdot \frac{\text{Sn}(\alpha + \beta)}{\text{cs}\beta} \dots \dots \dots (47)$$

гдѣ h = ходу поршня. Для обратнаго хода поршня найдемъ такимъ-же образомъ

$$Z = \frac{Ph}{D} \cdot \frac{\text{Sn}(\alpha - \beta)}{\text{cs}\beta} \dots \dots \dots (47^{\text{bis}})$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что сила P , дѣйствующая на поршень, вызываетъ, кромѣ вращенія колеса парюю $Z \cdot \frac{D}{2}$, еще цѣлый рядъ силъ, сжимающихъ и растягивающихъ различныя части паровозовъ, и знагъ которыя необходимо при провѣркѣ ихъ прочности.

Эта-то сила Z , приложенная къ окружности ведущихъ колесъ, и есть „движущая сила“, такъ какъ она, вращая колеса, и совершаетъ требуемую работу, т. е. двигаетъ паровозъ и поѣздъ, преодолевая работу ихъ сопротивленій. Поэтому, говоря о силѣ тяги паровоза, имѣютъ ввиду эту силу Z , работа которой должна быть равна работѣ пара въ цилиндрѣ за вычетомъ той части ея, которая пошла на преодоленіе внутреннихъ сопротивленій паровоза, на что идетъ отъ 10 до 15%. Но обыкновенно, для удобства разсчета, эти сопротивленія относятъ къ вѣшнымъ, т. е. считаютъ, что работа индикаторной силы тяги = работѣ касательной силы тяги Z . Такимъ образомъ, если площадь поршня, на которую дѣйствуетъ паръ = $\frac{\pi d^2}{4}$ (при ходѣ поршня впередъ—безъ площади поперечнаго сѣченія штока), p_i = среднее индикаторное давленіе и Z_1 kg „средняя касательная сила тяги“ (такъ какъ Z —величина переменная и зависитъ отъ угловъ α и β), то получаемъ равенство работъ за одинъ оборотъ оси:

1) для паровозовъ однократнаго расширения

$$Z_1 \cdot \pi \cdot D = 4 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_i \cdot h$$

или

$$Z_1 = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_i \dots \dots \dots (48)$$

2) для паровозовъ Compound:

$$Z_1 \cdot \pi D = 2 \left\{ \frac{\pi d^2}{4} \cdot p'_i \cdot h + \frac{\pi d^2}{4} \cdot p''_i \cdot h \right\}$$

или

$$Z_1 = \frac{d_1^2 \cdot h}{2D} \left\{ p'_i + \frac{d_{11}^2}{d_1^2} \cdot p''_i \right\} \dots \dots \dots (49)$$

Обозначая же $p'_i + \frac{d_{11}^2}{d_1^2} p''_i$ через p_i , находимъ

$$Z_1 = \frac{d_1^2 \cdot h}{2D} \cdot p_i \dots \dots \dots (49^{bis})$$

По этимъ формуламъ, подставляя вмѣсто p_i , p'_i и p''_i соответствующихъ величины изъ индикаторныхъ диаграммъ и находятъ обыкновенно среднюю силу тяги паровоза за данный оборотъ оси, хотя на самомъ дѣлѣ эту величину необходимо умножить на нѣкоторый коэффициентъ полезнаго дѣйствія механизма паровоза α ($= 0,85-0,90$), т. е., напр., для паровоза съ однократнымъ расширеніемъ $Z_1 = \alpha \cdot \frac{d_1^2 \cdot h}{D} \cdot p_i$ и т. д. Средняя сила тяги Z , такимъ образомъ обратно пропорціональна D и прямо пропорц. объему цилиндровъ ($d^2 h$) и p_i . Поэтому въ зависимости отъ требуемой силы тяги и берутъ эти величины *).

Эта сила тяги, при установившемся равномерномъ движеніи, должна преодолѣвать сопротивленіе W поѣзда и паровоза, т. е. Z должно быть $= W$. Если же $Z > W$, то движеніе будетъ ускоренное и наоборотъ.

Для правильнаго движенія—максим'альная величина силы тяги Z должна быть $= 1,2$ наибольшаго (при нормальныхъ условіяхъ) сопротивленія поѣзда W , чтобы въ случаѣ крайности (сильный вѣтеръ, заносы и т. д.) можно было преодолѣть являющееся добавочное сопротивленіе. Поэтому знаніе сопротивленія поѣзда крайне важно и разсмотрѣніе этого вопроса составляетъ предметъ §§ 22—42.

Замѣтимъ, что колеса паровоза будутъ катиться по рельсамъ, а не скользить по нимъ (боксованіе), только въ томъ случаѣ, если касательная сила тяги въ точкахъ соприкосновенія колесъ съ рельсами встрѣтитъ достаточное сопротивленіе, заключающееся въ *сцепленіи колесъ съ рельсами*, которое равно $f \cdot Q$, гдѣ Q = нагрузка на шаренныя оси, а f = коэффициентъ тренія. Чтобы не было боксованія необходимо, чтобы

$$Z \geq f \cdot Q \dots \dots \dots (50)$$

*) Если напр. давленіе пара дано, то для получения значительной силы тяги придаютъ цилиндрамъ большій діаметръ, увеличиваютъ $h : D$ и работаютъ при большихъ наполненіяхъ. Такимъ условіями характеризуются товарные паровозы. Для пассажирскихъ паровозовъ, которые при значительной скорости движенія развиваютъ сравнительно небольшую силу тяги—берутъ, наоборотъ, малые цилиндры, большія ведущія колеса и работаютъ при малыхъ наполненіяхъ.

Величина f берется въ Европѣ = $\frac{1}{8}$ зимою и $\frac{1}{6}$ лѣтомъ. Въ среднемъ— $\frac{1}{7}$. Въ Америкѣ часто берутъ $\frac{1}{5}$ и даже $\frac{1}{4}$. Въ сырую погоду, гололедицу и т. д. f понижается до $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{12}$ и даже до $\frac{1}{20}$.

Условію (50) легче удовлетворить при переднемъ ходѣ паровоза, такъ какъ тогда къ вѣсу Q прибавляется сила $= Ptg\beta = CJ$ (фиг. 64) и труднѣе при обратномъ ходѣ, когда эта величина вычитается изъ Q .

Сила тяги Z , при установившемся движеніи находится въ зависимости отъ скорости поѣзда V . Дѣйствительно:

$$Z_1 = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_i;$$

если возьмемъ всѣ размѣры въ m , а p_i въ $\frac{kg}{cm^2}$, то

$$Z_1 = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_i \cdot 100^2 = 100^2 \cdot u \cdot p_i,$$

гдѣ

$$u = \frac{d^2 \cdot h}{D}.$$

Но по формуламъ 37 и 39

$$\frac{p_i \cdot 100}{p_0 + 1} = f(\epsilon, V) = f\left(\frac{c'' \cdot k}{V}, V\right) = f''(V)$$

или

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \cdot f''(V),$$

слѣдовательно

$$Z_1 = 100 (p_0 + 1) \cdot u \cdot f''(V) = c' \cdot f''(V) \dots \dots (51)$$

гдѣ

$$c' = 100 (p_0 + 1) \cdot u = 100 \cdot \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot (p_0 + 1) \dots \dots (52)$$

величина постоянная для данного паровоза.

Идея выразить силу тяги Z_1 какъ функцію скорости V —имѣеть серьезное основаніе, такъ какъ формула сопротивленія поѣзда движенію W на преодоленіе котораго и тратится работа силы тяги, какъ мы увидимъ ниже, имѣеть общій видъ

$$W = A_1 + B_1 V + C_1 V^2$$

Безспорно, и въ общей формулѣ для Z_1 , выражающей зависимость ея отъ V , должны быть члены съ V въ первой и второй степени. Но съ другой стороны—паровозъ представляетъ ту особенность, что съ увеличеніемъ скорости—сила тяги уменьшается и увеличеніе работы, для преодоленія увеличивающагося сопротивленія, достигается путемъ увеличенія

числа оборотовъ колесъ. Такимъ образомъ, хотя работа машины въ теченіе одного оборота уменьшается, но, благодаря увеличенію числа оборотовъ, общая работа увеличивается. Слѣдовательно, очевидно, одинъ изъ членовъ, зависящихъ отъ V въ формулѣ для Z_1 , долженъ быть отрицателенъ, чтобы, съ увеличеніемъ скорости, вліяніе этого члена уменьшало Z_1 надлежащимъ образомъ; такимъ образомъ можно предложить три вида для Z_1 , а именно:

$$Z_1 = A \pm BV \pm CV^2 \dots \dots \dots (53)$$

т. е.

$$Z_1 = A' - B'V + C'V^2; \quad Z_1 = A'' + B''V - C''V^2$$

или

$$Z_1 = A''' - B'''V - C'''V^2 \dots \dots \dots (53^{bis})$$

Leitzmann, опредѣляя указанную зависимость Z_1 отъ V , остановился на первомъ видѣ и нашелъ для прусскихъ нормальныхъ казенныхъ паровозовъ однократнаго расширения (пассажирскій, товарный и тендеръ-паровозъ), соответствующія величины коэффициентовъ A' , B' и C' . Но какъ мы видѣли, сила тяги прямо пропорціональна среднему индикаторному давленію p_i , слѣдовательно, очевидно, и величина p_i подобнымъ-же образомъ должна зависѣть отъ скорости V , т. е., останавливаясь на первомъ видѣ для Z_1 изъ трехъ формулъ 53^{bis}, находимъ общую зависимость p_i отъ V

$$p_i = c_0(a - b_1 V + c_1 V^2) \dots \dots \dots (54)$$

гдѣ C коэффициентъ пропорціональности.

Какъ извѣстно, уменьшеніе силы тяги достигается уменьшеніемъ отсѣчки ε , которая, на основаніи предыдущаго, должна уменьшаться съ увеличеніемъ скорости V (что и есть всегда на практикѣ); это видно и изъ формулы 38, по которой

$$\varepsilon = \frac{c'' \cdot k}{V} \quad \text{или} \quad V = \frac{c'' \cdot k}{\varepsilon}$$

Поэтому

$$p_i = c_0 \left(a - b_1 \cdot \frac{c'' \cdot k}{\varepsilon} + c_1 \cdot \frac{c''^2 \cdot k^2}{\varepsilon^2} \right) = c_0 \left(a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2} \right) \dots (54^{bis})$$

гдѣ

$$b = b_1 \cdot c'' \cdot k \quad \text{и} \quad c = c_1 \cdot c''^2 \cdot k^2.$$

Получаемъ формулу 41, виду которой такимъ образомъ дается логическое объясненіе.

Идя обратно, находимъ:

по формулѣ (51) $Z_1 = c' \cdot f''(V)$, но по формуламъ (39) и (40) имѣемъ:

$$f''(V) = f \left(V, \frac{c'' \cdot k}{V} \right) = f(V, \varepsilon) = f'(\varepsilon) = a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2}$$

Такъ какъ $\varepsilon V = c''k$, гдѣ

$$c'' = \frac{H}{10.u.\gamma} = \text{пост.}$$

то

$$f(\varepsilon, V) = a - \frac{b}{\frac{c'' \cdot k}{V}} + \frac{c}{\frac{c'' \cdot k^2}{V^2}} = a - \frac{b \cdot V}{c'' \cdot k} + \frac{c \cdot V^2}{c''^2 \cdot k^2}$$

и слѣдовательно

$$Z_1 = c' \left(a - \frac{b \cdot V}{c'' \cdot k} + \frac{c \cdot V^2}{c''^2 \cdot k^2} \right) = A - BV + CV^2 \quad \dots (55)$$

гдѣ

$$A = c'a; \quad B = \frac{bc'}{c'' \cdot k} \quad \text{и} \quad C = \frac{c' \cdot c}{c''^2 \cdot k^2}.$$

Эти величины легко найти, зная a , b и c . Напр., какъ указано раньше, для прусскихъ нормальныхъ пассажирскихъ паровозовъ — $a = 1$, $b = 20$ $c = 130$, $d = 0,4$ м.; $h = 0,56$ м.; $D = 1,73$ м., слѣд. $u = \frac{d^2 \cdot h}{D} = 0,0518$. $H = 104$ м². и $p_0 = 12$, слѣдовательно $c' = 100(p_0 + 1) \cdot u = 6734$ $c'' = \frac{H}{10.u.\gamma} = 31$. Для этихъ паровозовъ найдено $k = 40$ кг. съ м². поверхности нагрѣва, слѣд. $A = 6734$; $B = 108,6$; $C = 0,57$, слѣд.

$$Z_{1\text{кг}} = 6734 - 108,6 V + 0,57 V^2.$$

Видъ—очень удобный для практики *).

Такимъ образомъ мы видимъ, что величина касательной силы тяги есть функція скорости V .

Для сравненія привожу таблицу № I—v. Borries'a, показывающую работу паровоза въ HP съ 1 м². поверхности нагрѣва H при разныхъ скоростяхъ, выведенную по формуламъ (48) и (49), при чемъ R —обозначаетъ площадь колосниковой рѣшетки въ м² и C —объемъ въ куб. метрахъ одного цилиндра (при Compound—высокаго давленія). При этомъ:

- 1) Уголь предполагается хорошей. При лучшемъ или болѣе плохомъ—работа будетъ больше или меньше на 10%.
- 2) Работа увеличивается—съ возрастаніемъ p_0 .
- 3) При увеличеніи $\frac{C}{H}$ работа увеличивается при малыхъ и уменьшается при большихъ скоростяхъ.

*) Эгогь частный примѣръ приводится для указанія метода, примѣннаго Leitzmann'омъ. Примѣняя его къ другимъ частнымъ случаямъ, придется измѣнить въкоторыя частности, въ зависимости отъ обстоятельствъ, но сущность метода останется, понятно, та-же.

4) При одновременномъ увеличеніи p_0 и $\frac{C}{H}$, при хорошемъ углѣ и системѣ Compound—можно получить съ m^2 . поверхности нагрѣва $8-9 HR$.

5) Въ Англии (благодаря прекрасному углю) и въ Америкѣ (благодаря болѣе сильной работѣ конуса) достигаютъ большей работы.

6) На короткое время (10—15 минутъ), для работы на сильныхъ подъемахъ, можно рассчитывать на большія работы, если можно подготовить топку, а послѣ подъема возстановить уровень воды въ котлѣ.

Вообще-же на работу оказываетъ особенное вліяніе конусъ и парораспределение.

ТАБЛИЦА I.

Родъ паровоза	Опредѣлители			Число оборотовъ ведущихъ колесъ въ 1 секунду =						
	$\frac{H}{R}$	p_0 at	$\frac{C}{H}$	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
Курьерск. и пассажир.:										
1) съ однократнымъ расширеніемъ	55	12	0,75	3,5	4,1	4,7	5,1	5,5	5,8	6
2) съ двукратнымъ расширеніемъ			0,85	3,5	4,4	5,2	5,9	6,3	6,7	7
Товарные:										
3) съ малой колосн. рѣшетк.	80	10	0,80	2,6	3,1	3,6	4,0	4,2	—	—
4) съ большой колосн. рѣшет.	60	10	0,90	3,0	3,6	4,1	4,5	4,8	—	—
5) съ малой колосн. рѣшетк. и двукрат. расширеніемъ.	75	12	1,00							
6) съ большой колосн. рѣшет. и двукрат. расширеніемъ.	60	12	1,00	3,3	4,0	4,6	5,1	5,5	—	—
7) Танкъ-паровозы	50	12	0,88	3,4	3,8	4,1	4,3	4,5	—	—

Иногда, для предварительныхъ расчетовъ силы тяги, пользуются формулами:

1) для обыкновенныхъ паровозовъ однократнаго расширенія

$$Z_i = a \cdot p_0 \cdot \frac{d^2 \cdot h}{D} \text{ kg} (56)$$

2) Для паровозовъ Compound съ двумя цилиндрами

$$Z_1 = \alpha_1 \cdot p_0 \cdot \frac{d_1^2 \cdot h}{2D} \text{ кг} \dots \dots \dots (57)$$

и 3) для паровозовъ Compound съ 4 цилиндрами

$$Z_1 = \alpha_1 \cdot p_0 \cdot \frac{d_1^2 \cdot h}{D} \text{ кг} \dots \dots \dots (58)$$

предполагая, что для обыкновенныхъ паровозовъ степень отсѣчки = = 30—40%, а для Compound = 50—60% въ цилиндры высокого давленія, при чемъ α и α_1 берутъ изъ таблицы II.

Таблица II.

Системы паровозовъ	α	α_1 при отношеши объемовъ цилиндровъ					
		1	1	1	1	1	1
		2	2,2	2,4	2,5	2,9	3
Выстроходные и пассажирскіе . .	0,50	0,42		0,38		0,33	
Товарные	0,60	0,50		0,45		0,385	

§ 18. Полярная діаграмма касательныхъ усилій.

Какъ сказано въ предыдущемъ §, касательное усиліе (сила тяги) вращающее ведущую ось

$$Z = \frac{P \cdot h}{D} \cdot \frac{\text{sn}(\alpha \pm \beta)}{c\text{sn}\beta}$$

или, отнесенное къ окружности, описанной цапфой кривошипа

$$T = P \cdot \frac{\text{sn}(\alpha \pm \beta)}{c\text{sn}\beta}.$$

Но изъ фиг. 64 находимъ

$$\frac{\text{sn}(\alpha + \beta)}{c\text{sn}\beta} = \frac{CM}{r} \text{ и } \frac{\text{sn}(\alpha - \beta)}{c\text{sn}\beta} = \frac{CM_1}{r}$$

слѣдовательно

$$Z = \frac{P \cdot h}{D} \cdot \frac{CM}{r} \text{ и } T = P \cdot \frac{CM}{r} \dots \dots \dots (59)$$

Такимъ образомъ величины Z и T очень легко найти для каждаго положенія кривошипа, при переднемъ и заднемъ ходѣ поршня, беря величину P изъ чертежа (фиг. 62), напр. по кривой $A_{11}C_{11}B_{11}$.

Возьмемъ теперь на линіи AB (фиг. 65) точку O , которую примемъ за полюсъ. Опишемъ окружность и примемъ ее за путь, описываемый цапфою кривошипа.

Проведемъ теперь рядъ радіусовъ векторовъ надъ разными углами. Найдя положенія поршня, соотвѣтствующія этимъ направленіямъ кривошипа, составляемъ слѣдующую таблицу, пользуясь предыдущими формулами.

Таблица III.

Передній ходъ поршня				Задній ходъ поршня			
Полож. кривош.	P	$\frac{h \operatorname{Sn}(\alpha + \beta)}{D \cdot \operatorname{cs} \beta}$	Z	Полож. кривош.	P	$\frac{h \operatorname{Sn}(\alpha - \beta)}{D \cdot \operatorname{cs} \beta}$	Z

При этомъ, обыкновенно, для простоты считаютъ, что индикаторныя діаграммы для обѣихъ сторонъ цилиндра, тождественны и пренебрегаютъ вліяніемъ тренія механизма. Хотя оно, какъ извѣстно изъ предыдущаго, уменьшаетъ величину касательныхъ усилій Z (или T) на 10—15%, но въ данномъ случаѣ это не имѣетъ существеннаго значенія.

Найденныя такимъ образомъ величины для Z въ какомъ-нибудь масштабѣ отложимъ на соотвѣтствующихъ радіусахъ и, соединивши нанесенныя точки, получимъ кривыя M и N (1-я для передняго хода поршня, 2-я для задняго), представляющія законъ измѣненія силы тяги для одного (напр. праваго) изъ цилиндровъ паровоза.

Если паровозъ однократнаго расширенія, то для лѣваго цилиндра мы должны получить совершенно тождественныя кривыя M' и N' , по повернутыя на 90° , такъ какъ обыкновенно въ паровозахъ, при движеніи впередъ, правая машина опережаетъ лѣвую на $\frac{1}{4}$ оборота. Сложивши теперь эти усилія, идущія по совпадающимъ радіусамъ, мы получимъ кривую S' (фиг. 66), показывающую законъ измѣненія „полной силы тяги“ паровоза и благодаря которой величину ея можно найти для каждаго положенія ведущей оси.

Если имѣется паровозъ Compound, то вторая пара кривыхъ M' и N' будетъ отличаться отъ первой и для нахождения ихъ, силу P

необходимо рассчитывать, принимая во внимание соответствующія индикаторныя давленія.

Какъ видимъ, полученная *полярная диаграмма* не симметрична и слѣдовательно движущее усиліе не постоянно и поэтому, даже при постоянномъ сопротивленіи, движеніе не равномерно: происходятъ при усиленіи силы тяги—ускоренія и при уменьшеніи ея—замедленія хода, что выражается подергиваніями паровоза. Для уменьшенія подергиванія стараются принимать *мѣры къ регулированію величины касательныхъ силъ*. Какъ примѣръ, привожу данныя изъ опытовъ инженера *Garbier* на Сѣвер. фр. ж. д. съ 4-цилиндровымъ быстроходнымъ паровозомъ *Compound*. Для полученія болѣе равномернаго вращающаго момента, кривошипъ съ одной и той-же стороны разнятся здѣсь на 162° , а не на 180° , какъ обыкновенно (фиг. 67). Для среднихъ условій хода, при которыхъ снята диаграмма—фиг. 68, соответствующая диаграмма касательныхъ усилій представлена на фиг. 69. Если среднее касательное усиліе (изображенное окружностью m) принять за единицу, то maximum и minimum будетъ = 1,15 и 0,82.

Интересны диаграммы, полученныя при открытіи регулятора = 0,60 и выполнѣ открытомъ и при отсѣчкахъ выбранныхъ такимъ образомъ, чтобы площадь индикаторныхъ диаграммъ не мѣнялась, а именно—въ первомъ случаѣ отсѣчка = $\frac{50}{80}$, во второмъ $\frac{45}{88}$. Соответствующія диаграммы касательныхъ усилій представлены на фиг. 70 и 71; первая гораздо правильнѣе, чѣмъ вторая, при той-же почти средней величинѣ касательныхъ усилій. Поэтому, съ точки зрѣнія увеличенія равномерности вращающаго момента, слѣдуетъ прикрывать регуляторъ и увеличивать отсѣчку въ малыхъ цилиндрахъ.

Такимъ-же образомъ можно строить диаграммы и для усилій T , вмѣсто Z , такъ какъ $Z = T \cdot \frac{h}{D}$ и слѣдовательно разница будетъ только въ масштабахъ, такъ какъ Z пропорціонально T .

Для полного обезпечиванія хода поѣзда Z_{\max} (наибольшее значеніе силы тяги), находимое изъ этихъ диаграммъ, не должно превосходить силы сцепленія ведущихъ колесъ съ рельсами.

§ 19. Изслѣдованіе закона измѣненія величины силы тяги и индикаторной работы.

Сила тяги (касательная) по формулѣ (48)

$$Z_1 = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_i = u \cdot p_i$$

для паровозовъ *Compound*

$$Z_1 = \frac{d_1^2 \cdot h}{D} \cdot p_i = u_1 \cdot p_i.$$

и по § 18 общее выражение будет (при установившемся движении)

$$Z_1 = c' \cdot f(\epsilon_1 V) = A - BV + CV^2,$$

гдѣ скорость поѣзда $V \text{ km/h}$ и отсѣчка ϵ связаны отношеніемъ $\epsilon V = c'' \cdot k$.

Maximum Z_1 соотвѣтствуетъ наибольшей допускаемой отсѣчки ϵ_{\max} и слѣдовательно скорости поѣзда $V_1 = \frac{c'' \cdot k}{\epsilon_{\max}}$.

Чтобы найти minimum Z_1 , замѣтимъ, что $Z_1 = f_1(V)$ и слѣдовательно значенія для V , соотвѣтствующія $Z_{1\min}$, находимъ изъ выраженія $\frac{dZ_1}{dV} = 0$, т. е. $-B + 2CV = 0$ или $V = V_{11} = \frac{B}{2C}$. Очевидно, кривая, изображающая законъ измѣненія Z_1 , парабола, ось которой соотвѣтствуетъ абсциссѣ $= V_{11}$ и средняя точка имѣетъ ординату $= Z_{1\min} = A - BV_{11} + CV_{11}^2$.

Напр. для прусскихъ пассажирскихъ нормальныхъ паровозовъ по опытамъ Leitzmann'a, какъ указано выше,

$$Z_1 = 6734 - 108,6 V + 0,57 V^2 = A - BV + CV^2.$$

При $\epsilon_{\max} = 75\%$, слѣдовательно соотвѣтствующая величина

$$V_1 = \frac{c'' \cdot k}{\epsilon_{\max}} = \frac{1240}{75} = 16,5 \text{ и } Z_{1\max} = 5097 \text{ kg,}$$

Также

$$V_{11} = \frac{B}{2c} = \frac{108,6}{2 \cdot 0,57} = 95 \text{ km}$$

и

$$Z_{1\min} = 6734 - 108,6 \cdot 95 + 0,57 \cdot 95^2 = 1560 \text{ kg.}$$

Соотвѣтствующая величина $\epsilon = \frac{1240}{95} = 13\%$, въ то время, какъ ϵ_{\min} , допускаемая конструкціею паровоза $= 10\%$.

При этомъ замѣтимъ, что maximum'a Z_1 , который *можетъ дать паровозъ*, на практикѣ не всегда можетъ достигнуть, такъ какъ высшій предѣлъ опредѣляется силою сцепленія $f \cdot Q$ (стр. 67), гдѣ f и Q величины переменныя, измѣняющіяся въ зависимости отъ обстоятельствъ (направленія хода, погоды и пр.). Поэтому построивши кривыя (фиг. 72 и 73) измѣненія Z_1 , мы найдемъ точки m и m_1 соотвѣтствующія $Z_{1\max} = f \cdot Q$ и дальше $Z_{1\max}$ даже при уменьшеніи V или увеличеніи ϵ —увеличиваться не можетъ и кривая обратится въ прямую, параллельную оси абсциссъ.

Индикаторная работа силы тяги по формулѣ (45)

$$\times L = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_i \cdot \frac{V}{270} = \frac{u}{270} \cdot p_i \cdot V = \text{функции } p_i \text{ и } V.$$

Но такъ какъ

$$Z_1 = \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot p_v \text{ то } L = \frac{Z_1 \cdot V}{270} \text{ лошадиныхъ силъ . . . (60)}$$

Поэтому, зная для данного V величину Z_1 , найдем и L и можем построить соответствующую кривую (фиг. 72 и 73). Для величин L , соответствующих $Z_{1\max}$, находим

$$L = \frac{Z_{1\max} \cdot V}{270} = \alpha \cdot V, \text{ где } \alpha = \frac{Z_{1\max}}{270} = \text{пост.}$$

и кривая обращается в прямую on (или on_1).

Для установившегося движения

$$L = \frac{Z_1 \cdot V}{270} = \frac{(A - BV + CV^2) V}{270} \text{ лошадиных сил}$$

Максимум L будет при $\frac{dL}{dV} = 0$, т. е. при $A - 2BV + 3CV^2 = 0$ или при

$$V' = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}$$

Таким образом L не увеличивается безгранично, а достигает при некоторой скорости V' своего максимума и при дальнейшем увеличении которой — начинает уменьшаться. Для наилучшей утилизации паровоза и желательно, чтобы его нормальная скорость соответствовала этой величине.

Напр. для сказанного примера

$$V' = \frac{108,6 \pm \sqrt{108,6^2 - 3 \cdot 6734 \cdot 0,57}}{3 \cdot 0,57} = 73 \text{ и } 54 \text{ km.}$$

Из найденных величин L_{\max} соответствует скорость $V' = 54 \text{ km/h}$, для которой $\frac{d^2L}{dV^2} < 0$ и для которой находим $L_{\max} = 506 \text{ HP}$.

Следовательно, заставивши этот паровоз ходить со скоростью 54 km/h и тративши при этом наибольшее количество пара $= H \cdot k = 104,40 = 4160 \text{ kg/h}$, мы получим максимальную работу паровоза в 506 HP , выше которой паровоз дать не может. При этом расход пара на $1 \text{ HP} = \frac{4160}{506} = 8,2 \text{ kg/h}$. Заставим теперь этот паровоз возить товарные поезда со скоростью 25 km/h , тративши тоже количество пара 4160 kg/h , соответствующее максимальной паропроизводительности $k = 40 \text{ kg/h}$ с m^2 . При этом он будет развивать только 405 HP , т. е. $\frac{405}{506} \cdot 100 = 83\%$ первой и расход пара на 1 HP будет $\frac{4160}{405} = 10,3 \text{ kg/h}$. Таким образом мы теряем 17% только потому, что заставляем паровоз исполнять не свойственную ему работу. Поэтому-то очень не выгодно приме-

нять для двойной тяги съ товарными поѣздами пассажирскіе паровозы или заставлятъ напр. быстроходные курьерскіе паровозы возить обыкновенные пассажирскіе поѣзда съ небольшою скоростью и т. д.

3. Полезная сила тяги.

§ 20. Отношеніе индикаторной работы паровоза къ работѣ полезной силы тяги.

Указанное отношеніе, которое обозначимъ черезъ R , совершенно не поддается предварительнымъ вычисленіямъ (такъ же какъ и опредѣленіе силы тяги на крюкъ, т. е. идущей на преодоленіе сопротивленія поѣзда), такъ какъ это отношеніе мѣняется въ зависимости отъ весьма многихъ обстоятельствъ, не поддающихся учету: типа паровоза, его состоянія, вѣса поѣзда, скорости движенія и т. д. Силу тяги на крюкъ точно можно опредѣлить только посредствомъ особыхъ приборовъ, называемыхъ динамометрами и описанныхъ ниже; сравнивая полученныя величины съ данными, даваемыми индикаторными диаграммами, можно найти величину R , и, слѣдовательно, ту потерю, которая пошла на преодоленіе внѣшнихъ (сопротивленіе при движеніи) и внутреннихъ (треніе механизма и пр.) сопротивленій паровоза. Чтобы судить о возможныхъ предѣлахъ для коэффиціента R , привожу нѣкоторыя данныя, выведенныя изъ опытовъ извѣстныхъ желѣзныхъ дорогъ при различныхъ условіяхъ.

1. Опыты *C^o du chemin de fer de l'Est* во Франціи. Они дѣлались при помощи динамометрическаго вагона, описаннаго ниже, въ 1888 и 1889 г. съ паровозами-тендерами мѣстнаго движенія о $\frac{3}{4}$ сл. ос. Изъ многочисленныхъ опытовъ приводимъ, напр., слѣдующіе:

Поѣздъ въ 15 вагоновъ. Вѣсъ (безъ паровоза) = 180 t.

Профиль mm <i>i</i>	Скорость $V^{km/h}$	Отсѣчка ε %	Индикат. работа L въ HP	Работа силы тяги на крю- къ HP	Отношеніе утилизируе- мой силы тяги къ развивае- мой въ сек. (R)
Горизонт. .	16	33	233,4	162,8	0,697
—	17	33	234,4	166,7	0,711
—	33	33	423,1	268,6	0,638
Подъемъ 3,48	60	33	759,0	410,7	0,541
Спускъ 3,64	55	25	616,0	345,9	0,562
— 0,1 .	62	15	561,1	275,3	0,491
— 0,35. .	65	15	526,5	252,5	0,480

Въ другомъ случаѣ, при поѣздѣ вѣсомъ въ 271 t. и составѣ поѣзда изъ 24 вагоновъ, изъ которыхъ 15 въ 2 этажа, найдено

<i>i</i>	<i>V</i>	ε	<i>L</i>	Работа силы тяги на крюкъ въ <i>HP</i>	<i>R</i>
Подъемъ 3,29	11,5	80	213,4	159,6	0,747
— 6,01	17,0	80	355,3	262,0	0,734
Горизонт. .	28	80	477,3	347,1	0,727

и т. д.

Вообще величина *R* колебалась отъ 0,52 до 0,75 для поѣзда въ 24 вагона и между 0,42 и 0,72 для поѣзда въ 15 вагоновъ. Изъ этихъ опытовъ выяснено, что а) *R* находится въ зависимости отъ скорости *V* и есть предѣлъ, перейдя который *R* понижается очень низко и, слѣдовательно, такія скорости не выгодны. Напр., для даннаго паровоза при діам. колесъ = 1,56 m. скорости выше 55 km/h уже очень не экономны. б) При данной скорости—*R* увеличивается съ увеличеніемъ вѣса поѣзда, когда сила тяги возрастаетъ. Напр., при скорости $V = 40 \text{ km/h}$ для поѣзда вѣсомъ въ 180 t., развито на горизонтали 398,8 *HP* въ цилиндрѣ и 244,2 на крюкъ, т. е. $R = 0,612$, тогда какъ для поѣзда въ 278 tn.— $R = 0,707$ и т. д. с) Наконецъ замѣчено, что работа, поглощаемая сопротивленіями паровоза, пропорціонально тѣмъ больше, чѣмъ вѣсъ поѣзда меньше, что и понятно.

2. Опыты *S^o du chemin de fer d'Orléans* въ 85 г. Паровозы съ 4 спаренными осями типа желѣзныхъ дорогъ для поѣздовъ вѣсомъ въ 240 t.—Найдено для 2-хъ такихъ паровозовъ

$V \text{ km/h}$	57	57
Работа, развиваемая въ цилиндрѣ <i>HP</i> =	574,300	536,600
” ” на крюкъ <i>HP</i> =	344,600	322,000
	$R = 0,609$	0,602

3. Опыты *S^o du chemin de fer du Nord*. Быстроходные паровозы Compound съ 4 цилиндрами. Поѣздъ вѣсомъ въ 180 t.

Скорость $V \text{ km/h}$	80,40	75,80
Индикаторная работа <i>HP</i> =	948,00	784,00
Работа на крюкъ =	445,00	403,00
	$R = 0,47$	0,51

Эти результаты можно считать удовлетворительными, принимая во внимание высокую скорость и то обстоятельство, что паровозъ снабженъ тяжелымъ и сильно нагруженнымъ тендеромъ.

4. Опыты на желѣзныхъ дорогахъ Cincinnati, Hamilton and Dayton. Эти опыты очень интересны по условіямъ работы: паровозъ съ 4 спаренными осями везъ товарный поѣздъ въ 660 t. съ малою скоростью, по горизонтали, на дистанціи 92 km. Найдено:

Индикаторная работа $HP = 292,00$	369,00	389,00
Работа на крюкъ $HP = 245,60$	311,00	327,00
$R = 0,83$	0,85	0,84

Такой высокій коэффициентъ надо приписать незначительной скорости и очень малымъ отношеніемъ вѣса паровоза къ вѣсу поѣзда (только 10%).

5. Опыты C^o du chemin de fer du Gothard (94 г.). Пассажирскіе паровозы Compound новаго типа. Подъемы очень велики—отъ 22 до 26 mm. и при скорости отъ 32 до 42 km/h развивалась индикаторная сила отъ 716 до 810 HP и R было = 0,52—0,54. Надо замѣтить, что при этомъ вѣсъ поѣзда былъ очень малъ сравнительно съ вѣсомъ паровоза и тендера и поэтому R надо считать очень значительнымъ.

6. Наконецъ приводимъ опыты на желѣзной дорогѣ Caledonian Railway. Паровозъ съ 4 спаренными осями. Вѣсъ паровоза съ тендеромъ = 77 t. Поѣздъ express, регулярный, вѣсъ только 153 до 246 t. Найдено

для NV машинъ	76	77	78	79
Скорость V km/h	77	75	78	82
Индикаторная работа въ HP —	1025,30—924,00—1085,00—1090,00			
Работа на крюкъ въ HP —	715,20—652,00—739,90—775,60			
R —	69,76—70,54—68,76—71,12			

Принимая во вниманіе сказанныя условія (большая скорость, тяжелый паровозъ), величина R очень велика.

Такимъ образомъ, въ зависимости отъ условій, R мѣняется въ предѣлахъ отъ 0,40 до 0,80 и для машинъ хорошей конструкціи и для большихъ скоростей = приблизительно 0,60. Но если вѣсъ паровоза, сравнительно съ вѣсомъ поѣзда, великъ или паровозъ представляетъ исключительное сопротивленіе, то R можетъ понизиться до 0,40. При тяжелыхъ поѣздахъ и такой скорости, при которой паровозъ развиваетъ всю свою силу, на горизонтальномъ пути R можетъ подняться до 0,76 и для товарныхъ поѣздовъ даже до 0,85. Вообще R болѣе значительно для тендеръ-паровозовъ, чѣмъ для паровозовъ съ отдѣльными тендерами, потому что ихъ общій вѣсъ менѣе значителенъ сравнительно съ вѣсомъ поѣзда.

Въ заключеніе привожу таблицу приблизительныхъ величинъ индикаторной силы тяги для новѣйшихъ паровозовъ (за исключеніемъ американскихъ).

Таблица IV.

Системы паровозовъ	Давленіе ат.	Отношеніе объема цил. высок. давл. въ cm^3 къ общей поверх.ности нагрѣва въ m^2	Отношеніе поверх. нагрѣва въ m^2 къ вѣсу паровоза въ рабочемъ состояніи въ t	Отношеніе силы тяги паров. въ kg къ общей поверх. нагрѣва въ m^2 (сила тяги на $1 m^2$ поверх. нагрѣва)	Отношеніе силы тяги паровоза въ kg къ полезному вѣсу паровоза (т. е. къ нагрузкѣ на ось сиварши. ведун. осей) (сила тяги на $1 t$ служебнаго вѣса)
<i>Быстроход. пас. паровозы.</i>					
Обыкновенные . . .	12	0,75—0,80	2,4—3,3	27—36	115—145
Compound . . .	12	0,85—0,90	2,6—3,4	28—38	120—155
<i>Товарные 8-колес. паровозы.</i>					
Обыкновенные . . .	10	0,80—1,00	2,6—3,7	35—50	130—170
Compound . . .	12	1,00—1,05	2,5—3,5	45—60	150—185

§ 21. Работа силы тяги за время прохода участка пути.

При движеніи поѣзда по данной части пути съ опредѣленнымъ профилемъ, является, теоретически говоря, нѣкоторое опредѣленное сопротивленіе движенію, на преодоленіе работы котораго и идетъ развиваемая при этомъ паровозомъ работа силы тяги.

На основаніи предыдущаго, мы можемъ найти, зная изъ опыта среднюю скорость при прохожденіи данной части пути, соответствующую среднюю силу тяги въ $kg.$, а умноживши ее на длину пути въ m , получимъ работу силы тяги въ $kg. m$. Еще удобнѣе для этой цѣли пользоваться ниже приводимыми формулами для опредѣленія сопротивленія поѣзда и паровоза (которое должно быть равно силѣ тяги).

Если вычислить такимъ образомъ работу для каждаго профиля пути и прибавить работу „на разгонъ“, которую принимаютъ среднимъ числомъ =

$$= \frac{G}{20} \cdot \frac{V}{3,6} \text{ kg.km} \dots \dots \dots (61)$$

гдѣ G —полный вѣсъ поѣзда въ t и V —скорость поѣзда въ km/h , то получимъ въ суммѣ полную работу силы тяги за весь перегонъ въ kg. m , а дѣля эту работу на число секундъ, потребленныхъ на данный пробѣгъ, и на 75, получимъ среднюю индикаторную работу (или среднюю работу на крюкѣ, смотря по обстоятельствамъ) въ паровыхъ лошадяхъ.

Подобные расчеты очень кропотливы и даже не всегда возможны и на практикѣ часто ограничиваются расчетомъ силы тяги и ея работы для нѣкоторой средней скорости при прохожденіи наибольшаго и наибольшаго подъема и силу тяги при прохожденіи участковъ пути, имѣющихъ какое нибудь особенное значеніе.

Въ данномъ случаѣ чрезвычайно полезны кривыя, даваемыя динамометрами (§ 71) и приборами динамометрическихъ вагоновъ (§§ 81—89), показывающія законы измѣненія силы тяги въ зависимости отъ времени или пройденнаго пути. Нахожденіе тогда указанной полной работы силы тяги производится весьма легко.

ЧАСТЬ III-я.

Сопротивленіе поѣзда.

§ 22. Общее понятіе о сопротивленіи поѣзда.

Своему движенію по рельсамъ подвижной желѣзно-дорожный составъ, въ зависимости отъ обстоятельствъ, представляетъ большее или меньшее сопротивленіе, преодоленіе которыхъ и составляетъ назначеніе паровоза, какъ движущаго механизма. Необходимая для этого сила, развиваемая паровозомъ и равная, при равномерномъ движеніи, указанному сопротивленію поѣзда, называется силою тяги. Изученіе сопротивленія поѣзда имѣетъ весьма большое значеніе для практики, такъ какъ, зная, напр., сопротивленіе движенію вагоновъ даннаго типа, мы можемъ найти составъ поѣзда, который можетъ везти данный паровозъ при извѣстныхъ условіяхъ по данному участку и наоборотъ—если требуется везти извѣстнаго состава поѣздъ по данному участку съ извѣстной скоростью, то, зная сопротивленіе движенію этого состава, мы найдемъ, какую силу долженъ развивать тотъ паровозъ, который повезетъ этотъ поѣздъ.

Такимъ образомъ знаніе сопротивленія поѣзда необходимо для составленія желѣзнодорожныхъ графиковъ, при заказѣ новыхъ паровозовъ, удовлетворяющихъ извѣстнымъ мѣстнымъ требованіямъ и проч., почему изученіе его составляло предметъ многочисленныхъ опытовъ, начавшихся при самомъ возникновеніи желѣзныхъ дорогъ и продолжающихся до настоящаго времени. Для удобнаго примѣненія на практикѣ результатовъ опытовъ, экспериментаторы на основаніи ихъ выводили болѣе или менѣе простыя формулы сопротивленія поѣзда, каковыя и примѣняются не только на данной дорогѣ, но и на другихъ дорогахъ, которыя не могли произвести самостоятельныхъ, точныхъ опытовъ.

Замѣтимъ, что сопротивленіе поѣзда слагается изъ слѣдующихъ отдѣльныхъ элементовъ:

I. *Постоянныя сопротивленія*, т. е. всегда сопровождающія движеніе поѣзда, къ каковымъ относятся:

1. Сопротивленіе отъ тренія шеекъ осей подвижнаго состава въ подшипникахъ.

2. Сопротивленіе отъ тренія колесъ и ихъ краинъ объ рельсы.

3. Сопротивленіе колесъ перекатыванію.
4. Сопротивленіе отъ неровностей рельсъ и бандажей и происходящихъ отсюда ударовъ на стыкахъ и выбоннахъ.

5. Сопротивленіе воздуха.

II. *Сопротивленія, встречающіяся только на некоторыхъ частяхъ пути*, а именно:

6. Сопротивленіе, зависящее отъ кривизны пути.

7. Сопротивленіе движенію, зависящее отъ подъемовъ.

III. *Сопротивленія случайныя*:

8. Сопротивленіе отъ вѣтровъ (боковыхъ, встрѣчныхъ или попутныхъ).

9. Сопротивленіе отъ покрытія рельсовъ снѣгомъ.

IV. *Сопротивленія отъ инерціи въ періоды измѣненія скорости*.

Но зная даже сопротивленія отдѣльныхъ вагоновъ и паровоза, оказывается, что нельзя точно знать сопротивленіе поѣзда, т. е. системы сцепленныхъ вагоновъ, такъ какъ подвижной составъ связывается сцепными приборами, почему вагоны не могутъ двигаться независимо одинъ отъ другого и на сопротивленіе поѣзда оказываетъ вліяніе еще и степень натяженія винтовыхъ стяжекъ.

Изъ одного только перечисленія причинъ, отъ которыхъ зависитъ сопротивленіе поѣзда, мы видимъ, что нѣтъ никакой возможности объять всю ихъ совокупность въ какой-нибудь точной формулѣ. Такія неуловимыя обстоятельства, какъ измѣненіе коэффициента тренія на осевыхъ шейкахъ въ зависимости отъ свойствъ смазки и температуры, состояніе пути и подвижного состава и пр. могутъ существенно измѣнить сопротивленіе поѣзда. Поэтому понятно, что формулы могутъ быть только болѣе или менѣе приближительныя и, будучи достаточно точны для данныхъ обстоятельствъ, даютъ невѣрныя результаты для другихъ условій, а между тѣмъ невѣрныя рѣшенія этого вопроса, будучи причиною движенія на желѣзныхъ дорогахъ слишкомъ малыхъ поѣздовъ, влекутъ за собою не полную эксплуатацію пропускной ихъ способности и какъ результатъ—огромные недочеты въ доходахъ дороги.

Не смотря на крайнюю сложность данного вопроса и чрезвычайную трудность точнаго его изученія, ввиду первостепенной важности удовлетворительнаго его разрѣшенія—хотя провѣрочные опыты для каждой желѣзной дороги безусловно необходимы; если не выводъ новыхъ формулъ (которыхъ и такъ много), то хотя провѣрка тѣхъ опытныхъ коэффициентовъ, которые входятъ въ общія, признанныя за наиболѣе точныя, формулы, должна составлять прямую обязанность инженеровъ, заведующихъ подвижнымъ составомъ желѣзныхъ дорогъ. При данныхъ: извѣстнаго типа паровозахъ и вагонахъ, находящихся въ удовлетворительномъ состояніи и безъ крупныхъ недостатковъ; извѣстнаго профиля пути, средней скорости движенія, опредѣленномъ смазочномъ матеріалѣ и пр.—

сопротивленіе поѣзда—есть величина приблизительно одна и та же и путемъ сопоставленія результатовъ, по возможности, многочисленныхъ опытовъ—можно найти достаточнo точныя данныя для *мысленныхъ условий движенія* и слѣд. не впадать въ болѣе или менѣе грубыя ошибки и *только при невозможности этого сдѣлать*—можно пользоваться нижеприведенными формулами, *не расчитывая уже на особенную точность.*

Изъ предыдущаго ясно, почему теоретическіе расчеты сопротивленій очень сложны *) и при невозможности принять во вниманіе всѣхъ обстоятельствъ движенія—даютъ результаты, не примѣнимые на практикѣ, почему мы ихъ опускаемъ, отсылая интересующихся къ специальнымъ сочиненіямъ, напримѣръ проф. Петрова — „сопротивленіе поѣзда на желѣзной дорогѣ“.

Здѣсь-же мы только укажемъ на наиболѣе употребительныя формулы, способы производства опытовъ и пр. и на результаты опытовъ, указывающихъ на *относительное* значеніе тѣхъ причинъ, отъ которыхъ зависитъ сопротивленіе поѣзда. Последнее очень важно, такъ какъ позволяетъ *найти тѣ условия, при которыхъ сопротивленіе поѣзда уменьшается*, что составляло и должно составлять главную заботу желѣзнодорожныхъ инженеровъ, такъ какъ очевидно—чѣмъ сопротивленіе меньше, тѣмъ при данномъ паровозѣ и на данномъ участкѣ пути можетъ быть больше вѣсъ поѣзда или его скорость (или то и другое вмѣстѣ) или при данномъ поѣздѣ и скорости—тѣмъ меньше будетъ расходъ топлива.

И эти заботы инженеровъ увѣнчались уже большимъ успѣхомъ: тогда какъ въ началѣ развитія желѣзно-дорожнаго дѣла—сила, необходимая для перемѣщенія вагона съ небольшою скоростью по горизонтальному пути, составляла около 10 kg. на 1 t. вѣса вагона, теперь, при скоростяхъ отъ 10 до 15 $\frac{\text{km}}{\text{ч}}$, сопротивленіе вагоновъ, при обыкновенныхъ условіяхъ, колеблется отъ 1,5 до 3 kg. на 1 t.

А. Сопротивленіе отдѣльнаго вагона.

І. Постоянныя сопротивленія.

§ 23. І) Сопротивленіе отъ тренія осевыхъ шеекъ въ подшипникахъ.

Назовемъ черезъ: d —діаметръ шейки, D —діаметръ колеса по кругу вѣтанія, f_1 —коэффициентъ тренія и p —нагрузку на обѣ шейки оси, тогда некоторое сопротивленіе k_1 для одной оси будетъ равно **)

$$k_1 = f_1 \cdot \frac{d}{D} \cdot p \cdot \dots \dots \dots (62)$$

*) Они однако очень полезны, указывая, какія части сопротивленія поѣзда зависятъ отъ первой или отъ второй степени скорости движенія и пр., почему результаты ихъ и приводятся ниже.

**). Отнеся работу тренія къ окружности колеса (т. е. къ пути, проходимому колесомъ).

При постоянномъ p , для уменьшения k_1 необходимо:

1) Уменьшить f_1 . Для этого слѣдуетъ наблюдать, чтобы шейки были хорошо отполированы и пригнаны къ подшипникамъ; смазка должна быть обильная, такъ какъ, по изслѣдованіямъ проф. Петрова, треніе возрастаетъ при уменьшеніи толщины смазывающаго слоя. Кромѣ того—оно понижается при возрастаніи температуры, почему треніе всегда больше въ первыя мгновенія послѣ троганія съ мѣста, чѣмъ при установившемся движеніи, тѣмъ болѣе, что вначалѣ еще не образуется смазывающій слой достаточной толщины.

На практикѣ величина f_1 мѣняется въ весьма значительныхъ предѣлахъ, напримѣръ при опытахъ Vuillemin, Guebard и Dieudonné, въ зависимости отъ нагрузки, f_1 мѣнялось отъ 0,0052 до 0,0112. При другихъ опытахъ онъ повышался до 0,026 и даже болѣе. Въ среднемъ, при хорошей непрерывной и аккуратной смазкѣ и хорошемъ состояніи трущихся поверхностей, можно принять $f_1 = 0,01$.

2) Уменьшить отношеніе $\frac{d}{D}$, примѣненіемъ для осей наиболѣе прочныхъ матеріаловъ (стали) и увеличеніемъ діаметра колесъ.

Напримѣръ, для русскихъ нормальныхъ товарныхъ вагоновъ $\frac{d}{D} = \frac{100}{1050}$ и $k_1 = 0,01 \cdot \frac{100}{1050} \cdot p =$ приблизительно $\frac{1}{1050}$ нагрузки на ось, т. е. 0,95 kg. на тонну вѣса вагона (безъ осей) съ грузомъ.

§ 24. 2) *Спротивленіе отъ тренія колесъ и ихъ краинъ объ рельсы.*

Это сопротивленіе зависитъ отъ очень многихъ причинъ и складается изъ слѣдующихъ частей:

- а) Спротивленія, зависящаго отъ неправильной установки осей.
- б) Спротивленія, зависящаго отъ конической формы поверхностей катанія колесъ.
- в) Спротивленія, являющагося слѣдствіемъ извилистаго движенія вагона.
- г) Спротивленія отъ неодинаковаго изнашиванія обоихъ колесъ одной и той-же оси и пр.

Какъ видимъ, на это сопротивленіе вліяютъ такія обстоятельства, которыя нельзя предусмотрѣть и ввести въ вычисленія въ видѣ определенныхъ величинъ или коэффиціентовъ. Теоретическія-же формулы, сюда относящіяся, имѣютъ по нѣскольку неопредѣлимыхъ практически коэффиціентовъ и поэтому нами не приводятся.

Замѣтимъ только, что одна часть этого сопротивленія обратно пропорціональна діаметру колесъ D и пропорціональна нагрузкѣ на шейки оси p_1 + вѣсъ самой оси p_2 и вторая часть его измѣняется пропорціонально

скорости, такъ какъ извилистость движенія, по опытамъ Weber'a, при увеличеніи скорости возрастаетъ.

§ 25. 3) *Сопротивленіе колесъ перекатыванію.*

Изъ обширныхъ опытовъ Coulomb'a и Morin'a, произведенныхъ для опредѣленія этого сопротивленія k_3 , была найдена формула

$$k_3 = (p_1 + p_2) \frac{f_2}{D} \dots \dots \dots (63)$$

Poirée и Sauvage, а также Redtenbacher считаютъ болѣе правильною слѣдующую формулу

$$k_3 = (p_1 + p_2) \frac{f_2}{\sqrt{D}} = \delta (p_1 + p_2) \dots \dots \dots (63^{bis})$$

гдѣ f_2 , коэффициентъ тренія катящагося тѣла, зависитъ отъ свойствъ матеріала соприкасающихся колесныхъ шинъ и рельсовъ и тѣмъ меньше, чѣмъ ихъ металлъ тверже. Слѣдовательно, сталь должна быть признана самымъ лучшимъ матеріаломъ для этой цѣли, уменьшающимъ сопротивленіе k_3 .

По опытамъ Wood'a—величина δ для вагонныхъ колесъ (когда $D =$ около 1000 mm.) = 0,001. По изслѣдованіямъ-же Rambour'a, вычитавшаго изъ опытныхъ данныхъ сопротивленіе воздуха, болѣе точное значеніе $\delta = 0,00032$.

Вообще эта величина зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ, напр. степени исправности пути и тогда какъ по опытамъ Wood'a k_3 равнялось (для вагонныхъ колесъ) 1 kg. на 1 t. давленія на рельсы $p_1 + p_2$, по опытамъ Кельнъ-Минденской ж. д. она равнялась только 0,25 kg на 1 t.

§ 26. 4) *Сопротивленіе отъ ударовъ колесъ на стыкахъ и неровностяхъ пути.*

Это сопротивленіе k_4 изучено очень мало и создать точную формулу невозможно. На основаніи теоретическихъ соображеній формула для этого сопротивленія должна имѣть видъ

$$k_4 = \frac{p_1 + p_2}{l} (\xi v + \eta v^2) \dots \dots \dots (64)$$

гдѣ коэффициенты ξ и η уменьшаются съ улучшеніемъ состоянія пути; $l =$ длинѣ рельса. Такимъ образомъ k_4 тѣмъ меньше, чѣмъ длинѣ рельса больше, что и понятно, такъ какъ при этомъ уменьшается число стыковъ, слѣдовательно и ударовъ.

На сопротивленіе поѣзда вообще, какъ мы видимъ, состояніе пути вызываетъ большое вліяніе и по мнѣнію Clark'a на дурно ремонтируемыхъ пути оно можетъ увеличиться на 40%.

§ 27. 5) *Сопротивленіе воздуха и увеличеніе его отъ вѣтра.*

Сопротивленіе воздуха k_3 имѣетъ наиболѣе серьезное значеніе, въ особенности при большихъ скоростяхъ движенія, составляя самую большую часть всего сопротивленія поѣзда и поглощая значительнѣйшую часть работы паровоза, почему на изученіе этого сопротивленія всегда обращалось большое вниманіе.

До послѣдняго времени предполагали, что величина k_3 пропорціональна квадрату скорости движенія, полагаясь на теоретическую формулу Ньютона для сопротивленія движущейся плоской поверхности:

$$k_3 = \alpha \cdot A \cdot v^2 \dots \dots \dots (65)$$

гдѣ A —площадь поверхности въ m^2 и v —скорость въ km/h . При опытахъ старались найти только коэффициентъ α .

Но здѣсь не было принято во вниманіе треніе боковыхъ поверхностей поѣзда о воздухъ, которое пропорціонально его длинѣ и скорости движенія поѣзда. Поэтому проф. Петровъ находитъ, путемъ теоретическихъ разсужденій, что полное сопротивленіе воздуха движенію вагона должно было выражено формулою

$$k_3 = av + bv^2 \dots \dots \dots (66)$$

гдѣ a и b —нѣкоторые, опытно находимые, коэффициенты.

Однако изслѣдованія послѣдняго времени показали, что при очень большихъ скоростяхъ, превышающихъ $70 km/h$, это сопротивленіе воздуха повидимому пропорціонально не v^2 , а только v . Это слѣдуетъ изъ опытовъ Crosby и въ особенности изъ опытовъ американскаго инженера Angus Sinclair'a и французскаго инженера Desdout. Напр., опыты Sinclair'a всегда показывали, что при скоростяхъ отъ 60 до $120 km/h$ сопротивленіе k_3 всегда выражаются формулою $a + bv$. Опыты, произведенные во Франціи инженеромъ Desdout, также показали, что при скоростяхъ, превышающихъ $40 km/h$, сопротивленіе возрастаетъ, какъ линейная функція скорости. Имъ также найдено, напр., что сопротивленіе паровоза съ тендеромъ въ предѣлахъ отъ 0 до $80 km/h$ —возрастаетъ какъ гиперболическая функція скорости: $a + \sqrt{b + cv^2}$.

Но всѣ обстоятельства движенія совершенно мѣняются при вѣтрѣ. Сильный вѣтрѣный вѣтеръ настолько увеличиваетъ сопротивленіе поѣзда, что иногда движеніе его становится невозможнымъ. Боковой вѣтеръ также увеличиваетъ сопротивленіе, прижимая закраины бандажей къ рельсамъ. Наоборотъ—попутный вѣтеръ представляетъ силу, способствующую движенію поѣзда. Но вообще съ вѣтромъ необходимо считаться, въ особенности въ тѣхъ мѣстностяхъ, гдѣ господствуютъ сильные, періодическіе вѣтры, такъ какъ они очень часто служатъ единственною причиною опозданія поѣздовъ, излишняго расхода топлива и чрезмѣрнаго износа бандажей и рельсъ.

Силу вѣтра можно найти по слѣдующей метеорологической скалѣ:

Таблица V.

№	Сила	Скорость въ <i>m/sec</i>	Внѣшнія проявленія
0	Тихо . .	0	Дымъ поднимается прямо вверхъ.
1	Слабо. .	4	Волнуетъ вымпелъ *).
2	Умѣренно	6	Вытягиваетъ вымпелъ. Шевелить листья деревьевъ
3	Свѣжо .	9	Волнуетъ вѣтви.
4	Сильно .	14	Волнуетъ большія вѣтви.
5	Штормъ .	21	Волнуетъ все дерево (и стволъ).
6	Ураганъ .	30—40	Разрушающее дѣйствіе.

Или по международной скалѣ Бофорга.

Таблица V bis.

№	Означеніе вѣтра	Скорость <i>m/sec</i>	Давленіе въ <i>kg</i> на <i>1 m²</i> поверхности, перпендикулярной къ направленію вѣтра
0	Штиль или самый легкій вѣтеръ	0—1,3	0—0,2
1	Весьма легкій вѣтеръ	3,6	1,5
2	Легкій вѣтеръ	5,8	4,1
3	Слабый "	8,0	7,7
4	Средній "	10,3	12,6
5	Свѣжій "	12,5	18,9
6	Сильный вѣтеръ	15,2	27,9
7	Весьма сильный вѣтеръ	17,9	38,7
8	Вѣтеръ, приближ. по силѣ къ бурѣ	21,5	55,6
9	Буря	25,0	75,6
10	Сильная буря	29,1	102,5
11	Весьма сильная буря	33,5	135,7
12	Ураганъ	40,2	195,5

*) Длинный, узкій флагъ.

При точныхъ опытахъ—скорость вѣтра v_2 опредѣляется посредствомъ особыхъ приборовъ (анемометровъ—см. § 80). Для опредѣленія сопротивленія вѣтра движенію поѣздовъ могутъ служить формулы, приведенныя выше; только слѣдуетъ для скорости v принять сумму скоростей поѣзда v_1 и вѣтра v_2 (или при боковомъ вѣтрѣ подъ $\angle \alpha — v_2 \cdot \sin \alpha$) въ секунду, т. е. $v = v_1 + v_2$ или $v = v_1 + v_2 \sin \alpha$.

На югѣ Россіи вѣтры часто достигаютъ силы „сильныхъ“ и „весьма сильныхъ вѣтровъ“ и новые паровозы заказываются, принимая уже это во вниманіе. Замѣтимъ при этомъ, что сопротивленіе легкихъ вагоновъ возрастаетъ значительно быстрее, чѣмъ груженыхъ; легкіе поѣзда при сильномъ боковомъ вѣтрѣ могутъ быть даже опрокинуты, что напр. и было на желѣзной дорогѣ Görlitz въ декабрѣ 1869 года.

Насколько вообще сопротивленіе воздуха возрастаетъ со скоростью движенія, видно изъ слѣдующей таблицы:

При скорости поѣзда въ km/h	Сопротивленіе въ kg . на 1 m^2 лобовой по- верхности поѣзда
40	10
60	35
80	60
100	100
108	123

Если принять лобовую поверхность = только 6 m^2 , то при скорости движенія $v = 100 \text{ km/h}$ сопротивленіе будетъ = 600 kg . Такъ какъ, въ среднемъ, при передвиженіи 1000 kg . груза по горизонтали требуется при хорошемъ пути усиліе тяги = 3 kg ., то слѣдовательно, сопротивленіе въ 600 kg . эквивалентно грузу въ 200.000 kg ., т. е. большому, чѣмъ вѣсъ обыкновеннаго пассажирскаго поѣзда *). Поэтому въ настоящее время, особенно для быстроходныхъ поѣздовъ, примѣняютъ всѣ средства для уменьшенія этого сопротивленія, напримѣръ:

1. Придѣлываютъ къ паровозу вѣтрорѣзные приспособленія, т. е. клиновыя поверхности отъ дымогарной коробки, трубы, будки машиниста и пр. съ наклономъ боковъ къ направленію движенія въ отношеніи 3 : 4. Опыты Ricca и Desdouts показали, что сопротивленіе при этомъ значительно уменьшается.

2. Въ промежуткахъ между вагонами образуются вихри, такъ называемыя „переродки сопротивленія“, также увеличивающія сопротивленіе движенію. Гармоніи, т. е. закрытые переходы между вагонами, значительно ослабляютъ вліяніе этихъ вихрей. По опытамъ Бессемера на

*) См. также результаты опытовъ Barbier—§ 42.

передвиженіе поѣзда въ 10 вагоновъ, идущихъ со скоростью 50 км/ч, но безъ гармоній, нужно такое же усиліе, какое требуется на передвиженіе 20 вагоновъ со скоростью 60 км/ч, если они соединены гармоніями.

3. Уничтожаютъ, по возможности, всё выдающіяся части и составляютъ поѣзда изъ вагоновъ одного поперечнаго сѣченія. На американской желѣзной дорогѣ Baltimore and Ohio R.R. были произведены опыты въ 1900 г. съ такимъ „*поѣздомъ наименьшаго сопротивленія*“. Всѣ выдающіяся части (вентиляціонныя трубы и пр.) были уничтожены, крышамъ придана полуциркулярная форма, наружная обшивка вагоновъ продолжена ниже пола и оканчивалась только на 8" выше рельсъ, двери и окна были сдѣланы въ одну плоскость съ боковыми поверхностями и проч., такъ что поѣздъ, состоящій изъ 6 вагоновъ, представлялъ какъ бы одинъ гибкій, длинный вагонъ. Сопротивленіе его оказалось далеко меньшимъ и при меньшемъ расходѣ пара — онъ значительно выигралъ въ скорости.

Въ заключеніе замѣтимъ, что для упрощенія опытныхъ изслѣдованій и вычисленій—въ настоящее время большинство экспериментаторовъ принимаютъ, что реакція давленія воздуха на плоскую поверхность выражается формулою

$$p = 0,123 v^2 \cdot F \dots \dots \dots (67)$$

гдѣ F —проекція площади въ m^2 , подверженной давленію воздуха (напр. передняя площадь паровоза) на плоскость, перпендикулярную движенію и v —скорость поѣзда въ m/sc . Это можно считать за сопротивленіе воздуха при движеніи паровоза, пренебрегая треніемъ о воздухъ его боковыхъ поверхностей.

Работа сопротивленія въ HP на одинъ m^2 будетъ при этомъ равна

$$\frac{N}{F} = 0,123 v^2 \cdot \frac{v}{75} = 0,00164 v^3 \dots \dots \dots (68)$$

Если напр. $v = 10 m/sc$ ($36 km/h$) и площадь $F = 8 m^2$, то $p = 0,123 \cdot 10^2 \cdot 8 =$ около 110 kg . и полная работа $N = 0,00164 \cdot 10^3 \cdot 8 = 13,12 HP$. При увеличеніи скорости до $v = 30 m/sc$ ($108 km/h$) находимъ: $p =$ около 1000 kg . и работа $N = 0,00464 \cdot 30^3 \cdot 8 = 354,4 HP$, т. е. около $1/3$ всей работы паровоза. Слѣдовательно въ данномъ случаѣ при увеличеніи скорости съ $36 km/h$ до $108 km/h$ работа сопротивленія воздуха возрастаетъ съ 13 HP до 354 HP , т. е. въ 27 разъ.

Французскіе изслѣдователи, напр. Barbier (§ 42), принимаютъ иногда давленіе воздуха на плоскую поверхность $= 0,1Fv^2$. Но при расчетахъ сопротивленія поѣздовъ, боковая поверхность которыхъ очень велика, пренебрегать ею нельзя и тогда къ формулѣ (67), предпологая, что ею выражается сопротивленіе воздуха для одного паровоза, необходимо, какъ ска-

зано выше, прибавить еще и сопротивление, вследствие трения боковых поверхностей, перейдя напр. къ виду (66), предложенному проф. Петровымъ. Упомянемъ еще, что проф. Goss, на основаніи обширныхъ опытовъ, произведенныхъ имъ въ 1895—96 гг. въ лабораторіи университета Ригіе, нашелъ, что сопротивление воздуха движению поѣзда можно также выразить формулою вида

$$(a + bL) V^2 \quad (69)$$

гдѣ a и b численные коэффициенты, опредѣляемые опытно и L —длина поѣзда.

II. Сопротивленія, встрѣчающіяся только на нѣкоторыхъ частяхъ пути.

§ 28. 5) Сопротивленіе, зависящее отъ кривизны пути.

Этотъ вопросъ до сихъ поръ еще очень мало изслѣдованъ. Главная причина заключается въ неопредѣленности положенія вагонныхъ осей при прохожденіи кривыхъ, почему точное опредѣленіе сопротивленія невозможно. Можно только предположить, что это сопротивление должно зависеть отъ скорости движенія вагона. Такъ Voelm предлагаетъ формулу

$$k_6 = \frac{290}{R} \cdot Z \cdot (p_1 + p_2) \quad (70)$$

гдѣ R —радіусъ кривизны пути и Z —нѣкоторая функція скорости, на примѣръ по опытамъ французскихъ восточныхъ желѣзныхъ дорогъ $Z = 1,65 + 0,5v$, гдѣ v въ km/h .

Также по опытамъ Лопушинскаго на Моршанско-Сызрянской желѣзной дорогѣ

$$k_6 = \frac{800}{R} \left\{ 0,808 + 0,0023 (v - 37)^2 \right\} (p_1 + p_2) \quad (71)$$

Такимъ образомъ сопротивление k_6 обратно пропорціонально радіусу R , что и понятно.

Но обыкновенно въ формулы для k_6 скорость v совсѣмъ не входитъ, такъ какъ предполагають, что насколько сопротивление на кривыхъ возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости, настолько-же оно уменьшается, вследствие отсутствія извилистости. Но это одни предположенія.

Вообще величина k_6 зависитъ отъ слѣдующихъ обстоятельствъ:

1) Отъ величины скользящаго тренія закранинъ бандажей о рельсы. Поэтому на многихъ дорогахъ эти закранны (по крайней мѣрѣ для паровозовъ) смазываются и тогда, какъ бандажи, такъ и рельсы—изнашиваются меньше.

2) Отъ длины поѣзда, что выяснено при опытахъ на южно-австрійской желѣзной дорогѣ: при двойномъ числѣ вагоновъ (13 и 26)—величина k_6 увеличилась съ 10% до 18%.

3) Отъ базы (разстоянія между крайними осями) вагона или паровоза, увеличиваясь съ увеличеніемъ ея. Поэтому величина k_6 особенно велика для паровозовъ и поэтому у быстроходныхъ паровозовъ примѣняются поворотныя тележки или направляющія оси для уменьшенія этой величины.

4) Отъ непараллельной установки вагонныхъ осей.

5) Отъ центробѣжной силы, развивающейся при прохожденіи кривыхъ.

6) Наконецъ, замѣчается связь между сопротивленіемъ k_6 и разстояніемъ между рельсами. Вопросъ этотъ еще не выясненъ, но предполагается, что чѣмъ больше уширеніе пути, тѣмъ меньше сопротивленіе.

Очевидно, единственный способъ найти вліяніе кривыхъ — это опыты, которые и производились неоднократно. Изъ нихъ упомянемъ о слѣдующихъ:

а) На баварскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогахъ близъ Мюнхена въ 70-хъ годахъ были произведены опыты на специально уложенныхъ горизонтальныхъ кривыхъ различныхъ радіусовъ (отъ 100 до 1000 м.). Результаты опытовъ Röckl выразилъ формулою

$$k_6 = \frac{650}{R-55} \text{ kg на 1 t вѣса поѣзда} \dots \dots \dots (72)$$

гдѣ R радіусъ кривизны въ м. Эта формула имѣетъ большое распространеніе въ Германіи.

б) Изъ опытовъ на саксонскихъ желѣзныхъ дорогахъ (въ началѣ 80-хъ годовъ) Hoffmann вывелъ формулу

$$k_6 = 21 \frac{4L + L^2}{R-45} \text{ kg на 1 t} \dots \dots \dots (73)$$

гдѣ L —разстояніе между крайними осями вагона. Эта формула признана одною изъ наиболѣе точныхъ, но, повидимому, она не вполне пригодна для кривыхъ съ очень малыми радіусами, что выяснилось изъ опытовъ на Закавказской и Пермь-Тюменской ж. д. (опыты инж. Славинскаго).

Для вагоновъ на тележкахъ („пульмановскихъ“) это сопротивленіе значительно меньше (отъ 2 до 3 разъ), что и понятно.

в) Наконецъ изъ опытовъ на Брауншвейгскихъ ж. д. выведена формула добавочнаго сопротивленія k_6 на 1 kg. вѣса поѣзда

$$k_6 = \frac{760}{R} \text{ kg} \dots \dots \dots (74)$$

Она даетъ результаты, почти не отличающіеся отъ предыдущей формулы при $R = 300 - 800$ м. и разстояніи между осями вагона = 4 м.

§ 29. 7) *Сопротивленіе на подъемахъ.*

Это единственное сопротивление, точно опредѣляемое по теоріи. Если величина подъема = i мм., т. е. подъемъ на каждый метръ горизонтальнаго пути = i мм., то изъ ф. 74 найдемъ, что при вѣсѣ вагона = $p_1 + p_2$, составляющая $(p_1 + p_2) \sin \alpha$, дѣйствуетъ какъ сопротивление при движеніи вверхъ и какъ движущая сила при движеніи внизъ. Но $\angle \alpha$ всегда очень малъ и можно считать $\cos \alpha = 1$, а слѣдовательно $\sin \alpha = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l}$. Если $l = 1$ м., то $h = i$ и слѣдовательно искомое сопротивление

$$k_7 = \pm i (p_1 + p_2) \dots \dots \dots (75)$$

т. е. равняется $\pm i$ кг. на каждую тонну полнаго вѣса вагона (или паровоза). При спускѣ, такимъ образомъ, мы получаемъ добавочное усиліе, а не сопротивление, что вознаграждаетъ потери при подъемахъ, но при значительныхъ уклонахъ всегда приходится поѣздъ тормозить и слѣдовательно спуски утилизируются не вполне.

Замѣтимъ, что на подъемахъ сцепные приборы натягиваются очень сильно и поѣздъ менѣе отклоняется отъ прямого поступательнаго движенія, при спускахъ-же, наоборотъ—сцепные приборы ослабѣваютъ и поѣздъ подвергается большимъ качательнымъ движеніямъ; поэтому предполагаютъ, что вліяніе подъемовъ скорѣе выражается величиною $0,9i$, а не i , что и подтверждается новѣйшими опытами (напр. опытами Barbier на сѣверной французской ж. д.). Вліяніе подъемовъ очень велико и по справедливымъ словамъ Du-Bousquet—„подъемы—наши враги“, которыхъ, при постройкѣ дорогъ, надо избѣгать насколько возможно, во избѣжаніе удорожанія эксплуатаціи. Какъ велико ихъ вліяніе, видно изъ того, что даже подъемъ въ $\frac{5}{1000}$ причиняетъ сопротивление = 5 кг. на 1 т. вѣса поѣзда. Если напр. этотъ вѣсъ = 200 т., то дополнительное усиліе, которое долженъ на подъемѣ развивать паровозъ, должно быть = 1000 кг. Предположимъ, что при этомъ надо ѣхать со скоростью $120 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ или $33,33 \frac{\text{m}}{\text{sc}}$, то дополнительная работа, вызываемая единственно сопротивленіемъ на подъемѣ, будетъ = 33333 кгм. въ sec. или 44 пар. л. Но это еще безъ паровоза. Если-же и его принять во вниманіе, то дополнительная работа отъ подъема будетъ = 622 пар. л.!

В. Сопротивленіе системы сцепленныхъ вагоновъ.

§ 30. Въ предыдущихъ §§ говорилось преимущественно о сопротивленіи отдѣльнаго вагона, но движеніе поѣзда не вполне одинаково съ движеніемъ отдѣльныхъ вагоновъ, главнымъ образомъ вслѣдствіе вліянія сцепныхъ приборовъ, почему при движеніи давленія буферовъ всегда бываютъ неодинаковы и несимметрично расположены относительно центра

тяжести вагоновъ. Въ результатѣ являются пары силъ, стремящіяся вращать вагонъ около вертикальной и поперечной горизонтальной осей. Поэтому вагоны принимаютъ не то положеніе на рельсахъ, каковое они имѣли-бы при свободномъ, независимомъ другъ отъ друга, движеніи и это особенно замѣтно въ пассажирскихъ поѣздахъ, въ которыхъ сѣбные приборы стягиваются весьма туго. Но и при слабомъ натяженіи ихъ, напр. въ товарныхъ поѣздахъ, при движеніи, особенно на подъемахъ, сѣбные приборы сильно натягиваются, стремясь сохранить общее прямолинейное направленіе и при выходѣ почему-либо какого нибудь вагона изъ правильнаго положенія—сейчасъ-же являются силы, стремящіяся возвратить ихъ въ прежнее положеніе.

Теоретически изслѣдуя этотъ вопросъ, проф. Петровъ пришелъ къ заключенію, что, въ общемъ, сопротивление системы вагоновъ должно зависеть отъ тѣхъ-же обстоятельствъ, какъ и отдѣльнаго вагона, т. е. сопоставляя всё сказанное выше, можно заключить, что въ общей формулѣ, представляющей искомое сопротивление W , должны быть члены:

1. Не зависящіе отъ скорости.
2. Зависящіе отъ скорости въ первой степени, и
3. Зависящіе отъ скорости во второй степени, поэтому

$$W_1 = \alpha Q + \beta v + \gamma v^2 *) (76)$$

гдѣ Q вѣсъ поѣзда, а α , β и γ —нѣкоторые коэффициенты, для нахождения которыхъ *единственнымъ средствомъ* является *только опытъ*, такъ какъ численныя значенія ихъ нельзя найти никакими вычисленіями, вслѣдствіе полной невозможности дать точное опредѣленіе тѣмъ обстоятельствамъ, которыя способны оказать существенное вліяніе на полную величину сопротивленія поѣзда, почему мы здѣсь всѣ теоретическіе выводы и опускаемъ. Для нахождения этихъ коэффициентовъ производились неоднократно очень обширные опыты, дававшіе, въ зависимости отъ обстоятельствъ, самые разнообразныя результаты, которые были различны не только на разныхъ дорогахъ, но и на одной и той-же дорогѣ и не только у разныхъ наблюдателей, но и у одного и того-же лица. Это и понятно при томъ безконечномъ разнообразіи въ сочетаніи обстоятельствъ, при которомъ можетъ происходить движеніе поѣзда. Поэтому-то опыты должны быть очень многочисленны и очень тщательно обставлены, чтобы результаты ихъ заслуживали довѣрія, а главное—повторяю снова: *каждая дорога для полученія наиболее правильныхъ формулъ должна производить самостоятельныя опыты для своихъ специальныхъ условий*. Мы въ

*) Формулою этого вида сопротивленіе вагоновъ движенію впервые выражено Scott Russell'емъ, при чемъ коэффициенты были опредѣлены на основаніи опытовъ Harding'a, почему и сама формула извѣстна подъ именемъ „формулы Harding'a“.

данное время, въ силу необходимости, принуждены пользоваться данными наиболѣе извѣстныхъ опытовъ западно-европейскихъ желѣзныхъ дорогъ, напримѣръ французской восточной, саксонскихъ дорогъ и другихъ, но у нихъ подвижной составъ, путь, мѣстныя условія—всѣ отличается отъ нашихъ условій и поэтому формулы, ниже приводимыя и на основаніи этихъ опытовъ выведенныя, *безъ проверки ихъ численныхъ коэффиціентовъ*—намъ *не пригодны*; онѣ могутъ служить только какъ „первое приближеніе“, какъ образцы наиболѣе вѣроятнаго ихъ вида, т. е. служить образцомъ при выводѣ собственныхъ формулъ для данной дороги и пр. и въ случаѣ только крайности, при неимѣніи возможности произвести свои самостоятельныя опыты, ими можно пользоваться для вычисленія сопротивленія поѣздовъ. Это относится ко всему описанному нами ниже.

Какъ сказано, наиболѣе извѣстны опыты французскихъ восточныхъ желѣзныхъ дорогъ, произведенные инженерами Vuillemin'омъ, Guebhart'омъ и Dieudonné, и саксонскихъ желѣзныхъ дорогъ. Беря изъ нихъ тѣ данныя, которыя заслуживаютъ наибольшаго довѣрія, сопоставляя ихъ съ данными другихъ опытовъ и подвергнувши критикѣ, проф. Петровъ вывелъ свою, нижеприводимую, формулу, которая пользуется наибольшимъ распространеніемъ въ Россіи.

Обозначимъ черезъ:

Q —полный вѣсъ вѣсхъ вагоновъ въ t .

n —число ихъ (предполагаемъ, что поѣздъ состоитъ изъ однообразныхъ вагоновъ).

v —среднюю скорость поѣзда въ $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

$\pm i$ —подъемъ въ тысячныхъ доляхъ горизонтальнаго пути.

R —радіусъ кривизны въ m .

L —разстояніе между осями, неизмѣняющими относительнаго положенія въ вагонѣ, въ m .

t —температура вѣшняго воздуха въ градусахъ Цельсія.

На основаніи сказаннаго въ §§ 23—29 находимъ:

1. Коэффиціентъ α формулы (76) представляетъ (въ kg) сопротивленіе на 1 (тонну вѣса поѣзда) перекатыванію + сопротивленіе отъ тренія на осевыхъ шейкахъ и отъ тренія колесъ о рельсы, и слѣдовательно, его можно считать равнымъ сопротивленію на 1 тонну вѣса вагона при самыхъ малыхъ скоростяхъ, едва отличающихся отъ нуля. Этотъ коэффиціентъ опредѣлялся часто и его величина принималась самую разнообразную, начиная съ $\alpha = 0,3013$ (опыты желѣзныхъ дорогъ праваго берега Рейна) до $\alpha = 4,0$ (австрійская сѣверо-западная желѣзная дорога). Среднія величины для отдѣльнаго вагона даютъ $\alpha = 1,56 \text{ kg}$. и для поѣзда $\alpha =$ отъ 1,0 до 1,4 (напр. Polonceau для $v = 15 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ нашель $\alpha = 1,435$). Наибольшаго довѣрія заслуживаетъ цифра $\alpha = 1,2 \text{ kg}$., найденная при опытахъ французскихъ восточныхъ желѣзныхъ дорогъ въ безвѣтренную погоду.

2. Второй членъ βv формулы (76) выражаетъ сопротивление отъ извилистости и ударовъ и обуславливается состояніемъ пути и подвижнаго состава и взаимодействіемъ вагоновъ. На основаніи опытовъ восточныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ эта величина $\beta = 0,6$ *n* для пассажирскихъ поѣздовъ и $\beta = 0,9$ *n* для товарныхъ.

3. Третій членъ γv^2 зависитъ, главнымъ образомъ, отъ сопротивленія воздуха, дѣйствующаго на переднія стѣнки вагоновъ и отъ ударовъ колесъ на стыкахъ и неровностяхъ пути. Понятно, оно должно быть пропорціонально числу вагоновъ. Замѣтимъ, что если для одного отдѣльнаго вагона это сопротивление $= av^2$, то въ поѣздѣ находимъ уже другія величины: первый вагонъ отчасти прикрытъ паровозомъ и, слѣдовательно, его сопротивление должно быть $= y.a.v^2$, гдѣ *y*—нѣкоторая дробь; для каждаго же изъ остальныхъ вагоновъ, прикрытыхъ переднимъ вагономъ, сопротивление должно быть $= i.y.a.v^2$, гдѣ *i*—также нѣкоторая дробь, т. е. для всего поѣзда находимъ сопротивление, равное

$$\gamma v^2 = y.a.v^2 + i.y.a.v^2(n-1) = ayv^2[1 + i(n-1)].$$

Проф. Петровъ, подыскивая для коэффициентовъ *a*, *y* и *i* величины, наиболѣе согласныя съ опытами, принялъ ихъ равными: $i = 0,04$ и $ay = 0,03$, т. е. $\gamma v^2 = 0,03(1 + 0,04n)v^2$.

Такимъ образомъ находимъ *сопротивленіе системы сцепленныхъ вагоновъ на прямоли, горизонтальномъ пути*

$$W'_1 = \alpha Q + \beta v + \gamma v^2 = 1,2Q + \frac{0,6}{0,9}nv + 0,03(1 + 0,04n)v^2 \text{ *) (77)}$$

Но къ этому еще надо прибавить:

- а) сопротивление на подъемахъ $= \pm i$ kg. на 1 t. вѣса поѣзда;
- б) добавочное сопротивление при движеніи по кривымъ, которое по § 28 можно принять $= 21 \frac{4L + L^2}{R - 45}$ kg. на 1 тонну и

в) добавочное сопротивление, зависящее отъ вѣшней температуры, такъ какъ сопротивление движенію зимою не равно сопротивленію движенію лѣтомъ, вслѣдствіе увеличенія жесткости пути и измѣненія коэффициента тренія на осевыхъ шейкахъ. Оно проф. Петровымъ принимаетъ

*) При примѣненіи этой формулы на практикѣ, разность между истинною и вычисленною величинами сопротивленія иногда можетъ доходить, въ различныхъ частныхъ случаяхъ, до 10—20%, но въ общемъ результаты примѣненія ея достаточно удовлетворительны.

ся = 0,2 — 0,015 t. и слѣдовательно *полное сопротивление системы сцепленных вагоновъ* будетъ равно

$$W_1 = \left\{ 1,2 \pm i + 21 \frac{4L + I^2}{R - 45} + (0,2 - 0,015 t) \right\} Q + \frac{0,6}{0,9} n \cdot v + 0,03 (1 + 0,04 n) v^2 \dots \dots \dots (78)$$

Къ этому остается еще прибавить сопротивление паровоза и тендера.

С. Сопротивление паровоза и тендера.

§ 31. Это сопротивление очень сложно, такъ какъ зависитъ не только отъ сопротивленія движению ихъ какъ экипажа, но сюда еще прибавляется сопротивление паровоза, какъ паровой машины, вслѣдствіе тренія въ передаточномъ механизмѣ, добавочнаго давленія на шейки осей и пр. и наконецъ паровозъ обладаетъ несравненно болѣе извилистымъ движениемъ (см. § 72). И здѣсь—опытъ является единственнымъ средствомъ найти это сопротивление, такъ какъ никакихъ формулъ, имѣющихъ какое-нибудь практическое значеніе, не можетъ быть составлено. Въ общемъ можно предположить, что такъ какъ паровозъ подвергается, подобно вагонамъ, вліянію тѣхъ-же обстоятельствъ (треніе въ шейкахъ осей, сопротивление воздуха, сопротивление перекатыванію отъ ударовъ, на кривыхъ и пр.), то формула его сопротивленія должна имѣть также видъ

$$W_2 = a + bv + cv^2 \dots \dots \dots (79)$$

въ kg. на 1 t. вѣса паровоза съ тендеромъ, гдѣ коэффициенты *a*, *b* и *c*, подобно *α*, *β* и *γ* формулы (76), находятся только изъ опытовъ. Подобные опыты производились многими лицами: Pombour'омъ, Harding'омъ, Guéhard'омъ, Desdouits, Albert Frank'омъ и др. Сопоставляя данныя этихъ опытовъ, проф. Петровъ беретъ: 1) *a* = 2,35—2,4 для пассажирскихъ паровозовъ и *a* = 4,3 для товарныхъ (для шестиколесныхъ товарныхъ паровозовъ Frank нашель *a* = 3,71, Desdouits—*a* = 4,73. Для восьмиколесныхъ *a* = 4,29), 2) *b* = 0,15 и 3) *c* = 0,001, т. е. для *горизонтальнаго, прямого пути сопротивление паровоза и тендера равно:*

$$W_2 = \frac{2,35}{4,3} + 0,15 v + 0,001 v^2 \dots \dots \dots (80)$$

Получаемые результаты отличаются отъ опытныхъ данныхъ приблизительно на ± 10%.

Замѣтимъ при этомъ, что данная формула даетъ числа, довольно близко подходящія къ практикѣ, только до скоростей 70 км/ч, такъ какъ

*) При этомъ нѣтъ необходимости обращать вниманіе на увеличеніе тренія въ частяхъ передаточнаго механизма подъ давленіемъ пара.

она составлена проф. Петровымъ въ то время, когда опыты съ паровозами ограничивались только указанною скоростью и поэтому примѣнять ее при скоростяхъ, превышающихъ эту, нельзя. Въ последнее время инженеръ Privat произвелъ обширные опыты со скоростями, доходящими до 97,5 км/ч и на основаніи ихъ найдено, что эта формула даетъ преувеличенные результаты и что для высокихъ скоростей вычисленные результаты надо уменьшить на 20%.

Впрочемъ это относится до желѣзной дороги Р. Л. М., подвижной составъ и желѣзно-дорожный путь которой стоятъ на высокой степени совершенства и такъ какъ при состояніи нашихъ дорогъ, по климатическимъ и другимъ условіямъ, могутъ явиться болѣе значительныя сопротивленія, чѣмъ на дорогѣ Paris-Lyon-Méditerranée, то формула (80) едва-ли дастъ и для высокихъ скоростей очень преувеличенные результаты.

Полагая-же полный вѣсъ паровоза съ тендеромъ = Q_1 и предполагая, для простоты, съ малою ошибкою, что величина L одинакова для паровоза и вагоновъ, найдемъ полное сопротивление паровоза съ тендеромъ

$$W_2 = \left[\left(\begin{matrix} 2,35 \\ 4,3 \end{matrix} + 0,15v + 0,001v^2 \right) \pm i + 21 \frac{4L + L^2}{R-45} + 0,2 - 0,015t \right] Q_1 \quad (81)$$

D. Сопротивленіе цѣлаго поѣзда, т. е. системы сцепленныхъ вагоновъ съ паровозомъ и тендеромъ.

§ 32. Оно, очевидно, будетъ равно $W = W_1 + W_2$ или

$$W = \left[\begin{matrix} 2,4 \\ 4,3 \end{matrix} + 0,15v + 0,001v^2 \right] Q_1 + 1,2Q + \begin{pmatrix} 0,6 \\ 0,9 \end{pmatrix} n \cdot v + 0,03(1 + 0,04n)v^2 + \\ + \left(\pm i + 21 \frac{4L + L^2}{R-45} + 0,2 - 0,015t \right) (Q + Q_1) \dots \quad (82)$$

гдѣ числа 2,4 и 0,6 относятся къ пассажирскимъ, а 4,3 и 0,9 къ товарнымъ поѣздамъ. Эта формула и извѣстна подъ именемъ „формулы профессора Петрова“. Для облегченія разсчета по ней, въ концѣ книги приведены таблицы, составленныя инженеромъ фонъ-Раабенъ.

§ 33. Сопротивленіе отъ инерціи въ періоды увеличенія скорости.

До сихъ поръ мы разсматривали только движеніе установившееся, равномерное, со скоростью v . Но при троганіи съ мѣста, т. е. при увеличеніи скорости отъ 0 до v , необходимо преодолѣть нѣкоторое добавочное сопротивленіе k_3 отъ инерціи поѣзда, которое, по теоретическимъ разсчетамъ проф. Петрова, выражается слѣдующей формулой (для отдѣльнаго вагона)

$$k_3 = \frac{p + 1,54p_1}{g} \cdot \frac{v}{t} \dots \dots \dots (83)$$

гдѣ p —нагрузка на колесо вагона, p_1 —вѣсъ самаго колеса, $g = 9,81$ м. и t —время, въ теченіи котораго должна быть приобретена заданная скорость v . Очевидно, k_8 тѣмъ больше, чѣмъ меньше t и больше v , поэтому оно не велико для товарныхъ поѣздовъ, для которыхъ время t не имѣетъ особаго значенія и можетъ быть увеличено и скорость v не велика и наоборотъ—для курьерскихъ и скорыхъ поѣздовъ, когда поѣздъ долженъ въ возможно короткое время развить очень большую скорость, сопротивление k_8 достигаетъ большой величины и паровозъ долженъ развивать такую силу, чтобы имѣть возможность преодолѣть и это добавочное сопротивление.

Если въ пути скорость мѣняется отъ v_0 до v , за время $t-t_0$, то

$$k_8 = \frac{p + 1,54 p_1}{g} \cdot \frac{v-v_0}{t-t_0} \dots \dots \dots (83^{bis})$$

§ 34. *Сопротивленіе отъ покрытія рельсовъ снѣгомъ.*

Оно зависитъ отъ толщины слоя снѣга и отъ того, мягкій ли онъ и свѣжій, или твердый и подмороженный. По опытамъ инженера Яловецкаго на Ростово-Владикавказской желѣзной дорогѣ, добавочное сопротивление при движеніи по рельсамъ, покрытымъ снѣгомъ, на прямомъ, горизонтальномъ пути, составляетъ слѣдующую часть сопротивления поѣзда (при благоприятной погодѣ)

при высотѣ въ м.

слоя мягкаго снѣга	0,025	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,200	0,250
около ‰	2‰	3‰	5‰	8‰	13‰	20‰	38‰	60‰

При большей толщинѣ — поѣздъ можетъ двигаться только на короткихъ промежуткахъ и при толщинѣ выше 0,65 м. — движеніе невозможно. Если снѣгъ замороженный, но разсыпчатый — сопротивление больше въ 1,25 раза; при твердомъ, сжавшемся, обледенѣломъ — въ 3 раза. Но это сопротивление случайное, на которое вообще рассчитывать нельзя и оно изучено еще недостаточно.

§ 34^{bis}. *Сопротивленіе при движеніи двойною тягою.*

При этомъ къ сопротивленію поѣзда, опредѣляемому по предыдущимъ формуламъ, надо прибавить еще сопротивление второго паровоза. Такъ какъ онъ идетъ сзади перваго тендера, то его сопротивление будетъ меньше, вслѣдствіе нѣсколько меньшаго сопротивления воздуха. Считая площадь второго паровоза, не прикрытую первымъ тендеромъ, въ половину, можно принять вмѣсто формулы (80)—слѣдующую формулу его сопротивления:

$$W_2^n = \frac{2,35}{4,3} + 0,15 v + 0,0007 v^2 \dots \dots \dots (84)$$

§ 35. Наибольше употребительныя заграничныя формулы сопротивленія поѣздовъ.

Кромѣ упомянутой формулы проф. Петрова --западно-европейскими инженерами предложено очень большое число, болѣе или менѣе точныхъ формулъ сопротивленія поѣздовъ. Большинство изъ нихъ, выведенныхъ на основаніи раньше произведенныхъ опытовъ, даютъ для современнаго, болѣе усовершенствованнаго, подвижнаго состава и рельсоваго пути — преувеличенные результаты и потому должны быть оставлены. Таковы, напр., формулы Pambour'a, Harding'a, Gooch'a, Redtenbacher'a, Vuillemin'a, Guebbard'a, Dieudonné и другихъ. Изъ формулъ же, наиболѣе распространенныхъ въ настоящее время, приводимъ формулы Clark'a, Frank'a и французскую, выведенную Barbier. Замѣтимъ, что одно изъ основныхъ стремленій западно-европейскихъ инженеровъ --придавать формуламъ простой видъ, удобный для скорыхъ вычисленій на практикѣ, чего нельзя сказать про формулу проф. Петрова.

1. *Формула Clark'a*

$$W = 2,4 + \frac{v^2}{1000} \dots \dots \dots (85)$$

гдѣ W — сопротивленіе отъ движенія въ кг. на 1 тону полнаго вѣса всего поѣзда (вагоновъ и паровоза) и v — скорость въ km/h .

Принимая во вниманіе вліяніе подъемовъ и сопротивленіе отъ кривыхъ, которое берется по формулѣ Rüsckl'я въ кг. на 1 т. полнаго вѣса поѣзда, находимъ полное сопротивленіе

$$W(\text{kg/t}) = 2,4 + \frac{v^2(\text{km/h})}{1000} \pm i + \frac{650}{R-55} \dots \dots \dots (86)$$

Эта формула очень распространена въ Германіи, но она даетъ слишкомъ преувеличенные результаты, особенно для скоростей, превосходящихъ 70 km/h .

2. *Формула Frank'a* также очень употребительна и даетъ сопротивленіе въ кг. на 1 т. вѣса поѣзда

$$W = \frac{1}{Q + Q_1} \left[a \cdot Q_1 + 2,5 Q + (b + c) \frac{v^2}{1000} \right] \dots \dots \dots (87)$$

гдѣ

Q — вѣсъ вагоновъ въ т.

Q_1 — вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ т.

a — вѣшнее сопротивленіе, приходящееся на 1 т. вѣса паровоза, которое для паровоза $\frac{2}{3}$ спарен. ос. = 3,2 kg. на 1 т.

„ „ $\frac{3}{3}$ „ „ = 3,9 kg. „ 1 т.

b — наибольшая площадь поперечнаго сѣченія паровоза въ m^2 ., равная $8 m^2$.
c — сумма чиселъ, отвѣчающихъ сопротивленію воздуха движенію отдѣльныхъ вагоновъ, которое зависитъ отъ размѣровъ ихъ поперечнаго сѣченія и принимается:

для 1 багажнаго вагона	1,7 m^2 .
„ каждаго пассажирскаго или крытаго товарнаго вагона .	0,5 m^2 .
„ „ некрытаго негруженаго вагона	1,0 m^2 .
„ „ „ груженаго вагона	0,4 m^2 .
„ „ пассажирскаго или крытаго товарнаго вагона, слѣдующаго за некрытымъ	1,0 m^2 .

Сумма этихъ величинъ, взятая для вагоновъ всего поѣзда, даетъ значеніе *c* въ m^2 . Такимъ образомъ въ этой формулѣ принять во вниманіе и составъ поѣздовъ, что составляетъ ее безспорное достоинство.

Многочисленные опыты прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ дали результаты, достаточно хорошо согласующіеся съ результатами, даваемыми этою формулою для малыхъ и среднихъ скоростей, но для большихъ скоростей — формула Franck'a даетъ преувеличенные результаты, также, какъ и формула Clark'a. Это объясняется еще и тѣмъ, что выражаемое ими сопротивленіе воздуха растетъ пропорціонально v^2 , тогда какъ при большихъ скоростяхъ (см. § 27) сопротивленіе растетъ, приблизительно, пропорціонально v , а не v^2 .

На основаніи предыдущаго мы видимъ, что эти формулы не могутъ быть еще потому вполне точны, что не содержатъ членовъ съ v въ первой степени, тогда какъ есть такія обстоятельства, влияющія на сопротивленія поѣзда, которыя прямо пропорціональны скорости.

Формула Clark'a кромѣ того не отдѣляетъ сопротивленія паровоза отъ сопротивленія вагоновъ, въ чемъ ея крупный недостатокъ.

3. *Французская формула*, выведенная на основаніи обширныхъ и тщательныхъ опытовъ *Barbier* на сѣверной французской желѣзной дорогѣ, несравненно точнѣ предыдущихъ двухъ и особенно цѣнна тѣмъ, что ея коэффициенты выведены для скоростей, доходящихъ до $120 km/h$. Производство опытовъ при такихъ высокихъ скоростяхъ и полученіе тѣхъ точныхъ результатовъ, которые даны опытами *Barbier*, возможно только при примѣненіи авто-индикатора, прибора, описаннаго въ § 69.

Имъ найдено сопротивленіе въ kg . на 1 t . вѣса паровоза и тендера

$$w_m = 3,8 + 0,027 v + 0,0009 v^2 = 3,8 + 0,9 v \left\{ \frac{v + 30}{1000} \right\} \dots (88)$$

Сопротивленіе въ kg . на 1 t . вѣса 4-колесныхъ вагоновъ

$$w_v = 1,6 + 0,46 v \left\{ \frac{v + 50}{1000} \right\} \dots (89)$$

Сопротивленіе въ kg. на 1 т. вѣса 8-колесн. вагоновъ на тельжахъ

$$w_w = 1,6 + 0,456 v \left\{ \frac{v + 10}{1000} \right\} (90)$$

Добавляя еще сопротивленіе на подъемахъ и кривыхъ, получимъ полное сопротивленіе поѣзда

$$W_{kg} = w_m \cdot Q_1 + w_w Q \pm i(Q_1 + Q) + \frac{0,65}{R-55} (Q_1 + Q) . . (91)$$

Для облегченія разсчета W служить слѣдующая таблица:

ТАБЛИЦА VI.

Скорость v въ км/ч	w_m	w_w	
		4-хъ колес- ные вагоны	8-ми колес- ные вагоны
20	4,70	2,24	1,87
30	5,50	2,75	2,14
40	6,32	3,25	2,52
50	7,46	3,85	2,97
60	8,66	4,63	3,52
70	10,13	5,50	4,14
80	11,70	6,38	4,86
90	13,70	7,48	5,68
100	15,50	8,50	6,58
110	17,80	9,72	7,62
120	20,00	10,98	8,71

Изъ этой таблицы видно, что 8-колесные вагоны значительно выгоднѣе 4-колесныхъ; въ общемъ, паровозъ можетъ, при той-же силѣ тяги, но при употребленіи 8-колесныхъ вагоновъ, перевозить грузъ на 14% большій. Замѣтимъ, что нѣкоторые изслѣдователи вводятъ въ формулы сопротивленія еще члены со скоростью въ 3-й степени, напр. Desdovits этимъ членомъ выражаетъ добавочное сопротивленіе, обусловленное треніемъ золотника при движеніи поѣзда.

Формула Barbier, какъ заслуживающая наибольшаго довѣрія при опытахъ съ большими скоростями, начинаетъ распространяться и въ Гер-

мані. Между прочимъ *Borgies*, примѣняя ее при послѣднихъ своихъ сравнительныхъ опытахъ въ Ганноверѣ въ 1901 году для курьерскихъ поѣздовъ (*D-Zug*), состоящихъ изъ 8-колесныхъ вагоновъ, вмѣсто формулы (90) беретъ

$$w_w = 1,6 + 0,3 v \left\{ \frac{v + 50}{1000} \right\} (90^{bis})$$

Такъ какъ при высокихъ скоростяхъ сопротивление воздуха измѣняется какъ линейная функція v , то значенія, даваемая формулою (90^{bis}), ближе подходятъ къ опытнымъ даннымъ.

Способы опредѣленія сопротивленій.

§ 36. Въ § 30 сказано уже о необходимости самостоятельныхъ опытовъ для опредѣленія сопротивленій отдѣльнаго вагона, паровоза и цѣлаго поѣзда. Вполнѣ научно обставленные опыты производились въ разное время на многихъ желѣзныхъ дорогахъ и ихъ результаты опубликованы въ періодической литературѣ. Особенно извѣстны опыты сѣверной и восточной французскихъ, баварскихъ, эльзасъ-лотарингскихъ, саксонскихъ и другихъ дорогъ. Имѣя динамометрическіе вагоны, снабженные надлежащими приборами, описанными ниже, производство подобныхъ опытовъ не представляетъ особенныхъ затрудненій, хотя и требуетъ настойчивости и труда. Но при недостаткѣ приборовъ, вопросъ значительно усложняется и получаемые результаты обыкновенно не точны.

Для этихъ опытовъ долженъ быть выбранъ такой участокъ, на которомъ находится длинный, постоянный подъемъ. Еще лучше, если есть еще въ распоряженіи и другіе, наиболѣе часто встрѣчаемые подъемы. Составъ поѣзда также долженъ быть выбранъ соответствующимъ образомъ (см. § 115) и агентамъ службы движенія и тяги—даны необходимыя инструкціи (§ 114).

§ 37. Опредѣленіе величины сопротивленія отдѣльнаго вагона и системы сцепленныхъ вагоновъ.

Способы опредѣленія величины сопротивленія одного вагона или нѣсколькихъ, сцепленныхъ вмѣстѣ, по существу своему не отличаются другъ отъ друга, почему, описывая эти способы для одного вагона, будемъ помнить, что они относятся и къ системѣ вагоновъ*), только тогда требуется сдѣлать соответствующія замѣны, напр., вѣсъ одного вагона замѣнить вѣсомъ системы ихъ и пр.

Для опредѣленія полного сопротивленія вагона или поѣзда можно пользоваться однимъ изъ слѣдующихъ приѣмовъ:

*) Которую здѣсь (и въ дальнѣйшемъ изложеніи) назовемъ прямо „поѣздомъ“.

I. Найти его непосредственнымъ измѣреніемъ, опредѣляя ту силу, которую необходимо приложить къ вагону или поѣзду для поддержанія на данномъ пути постоянной (или мало измѣняющейся, т. е. почти постоянной) скорости или

II. Опредѣлить ускоренія, которыя изучаемая сила можетъ сообщать вагону или поѣзду при различныхъ скоростяхъ и затѣмъ найти величину сопротивленія путемъ вычисленій.

I. Для непосредственнаго измѣренія сопротивленія можно поступать однимъ изъ слѣдующихъ способовъ:

а) Прицѣплять вагонъ или поѣздъ къ динамометру (§ 71) или динамометрическому вагону съ соответствующимъ приборомъ (§§ 81—90) и, сообщая имъ разныя скорости, наблюдать по динамометру тѣ силы, которыя указывались имъ при изучаемыхъ скоростяхъ. Этотъ приѣмъ наиболее совершененъ и самый употребительный въ данное время; онъ позволяетъ комбинировать условія движенія произвольнымъ образомъ и непосредственно получать результаты ихъ вліянія на величину сопротивленій. Такимъ образомъ, напр., легко найти, опредѣливши сопротивление вагона или поѣзда на прямомъ горизонтальномъ пути, увеличеніе ихъ сопротивленій на кривыхъ, на подъемахъ и пр. Погрѣшности, которыя здѣсь могутъ явиться, зависятъ отъ слѣдующаго: динамометръ чертитъ кривую, абсциссы которой пропорціональны величинамъ пройденнаго пути, а ординаты—пропорціональны сопротивленіямъ вагона или поѣзда въ каждый соответствующій моментъ. Но сопротивление подвергается, въ зависимости отъ скорости и другихъ обстоятельствъ, непрерывнымъ измѣненіямъ и кривая получается не плавная, но состоящая изъ зигзаговъ. Для насъ представляетъ интересъ среднее сопротивление вагона или поѣзда при данныхъ обстоятельствахъ, для чего надо измѣрить возможно большее число ординатъ кривой и взять ихъ среднюю арифметическую. Но это очень затруднительно и поэтому на кривой чертятъ по зигзагамъ нѣкоторую среднюю линію, ограничиваясь опредѣленіемъ ея ординатъ; провести эту среднюю линію можно тѣмъ точнѣе, чѣмъ зигзаги меньше, т. е. ординаты кривой должны быть меньше, что и достигается на практикѣ путемъ соответствующаго устройства динамометровъ. Такимъ образомъ мы уменьшаемъ ординаты, а, слѣдовательно, и масштабъ для сопротивленій и при этомъ каждый см. будетъ соответствовать сопротивленію въ сотни kg., что, при измѣреніи, можетъ повлечь за собою довольно значительныя относительныя ошибки.

Впрочемъ, это измѣреніе очень облегчается и точность его повышается при примѣненіи планиметра (§ 63).

б) Вагонъ (или поѣздъ) заставляютъ спускаться подъ вліяніемъ собственнаго вѣса Q , по постоянному уклону, котораго уголъ наклона $= \alpha$, причемъ опредѣляютъ ту скорость, съ которою вагонъ спускается, дви-

гаясь почти равномерно. Здѣсь единственная движущая сила $= Q \cdot \sin \alpha$ тоннъ или $1000 \cdot Q \cdot \sin \alpha$ kg. Если сопротивление на 1 тонну при измѣренной скорости $= w$, то

$$Q \cdot w = 1000 \cdot Q \cdot \sin \alpha$$

или

$$w = 1000 \cdot \sin \alpha \dots \dots \dots (92)$$

с) Вагону (или поѣзду), спуская его по наклонному пути, примыкающему къ горизонтальному участку, даютъ нѣкоторую скорость (незначительную) и заставляютъ двигаться дальше безпрепятственно по горизонтальному пути до остановки. Такъ какъ скорость здѣсь не велика, то предполагаютъ, что вся работа силы тяжести поглощается работою сопротивления вагона. Если его центръ тяжести опустился во время опыта на H и путь, пройденный вагономъ (вѣсъ котораго $= Q$), былъ L , то

$$1000 \cdot Q \cdot H = w \cdot Q \cdot L,$$

следовательно, сопротивление на 1 тонну вѣса вагона

$$w = 1000 \cdot \frac{H}{L} \dots \dots \dots (93)$$

Оно соответствуетъ средней скорости, взятой для всего разсмотрѣннаго передвиженія.

д) Посредствомъ паровоза сообщаютъ вагону (или поѣзду) нѣкоторую скорость v и, отцѣпивъ паровозъ, предоставляютъ вагону двигаться до остановки. Движеніе вагона продолжается до тѣхъ поръ, пока не исчезнетъ весь запасъ живой силы.

Если Q = числу тоннъ полного вѣса вагона (или поѣзда), v = скорости въ $\frac{m}{sc}$, w = сопротивленію въ kg. на 1 тонну вѣса, L = пути, пройденному вагономъ послѣ его отцѣпки до остановки, g = ускоренію силы тяжести; J = полярному моменту инерціи колесъ и r = радиусу колесъ въ m., то

$$\frac{1000 \cdot Q}{2g} \cdot v^2 + \frac{J \cdot v^2}{2 \cdot r^2} = w \cdot Q \cdot L \dots \dots \dots (94)$$

Откуда находимъ величину w .

Способы b , c d доставляютъ результаты достаточной точности только при незначительныхъ скоростяхъ v , такъ какъ находимое сопротивление w относится къ нѣкоторой средней скорости между 0 и v , а не къ средней арифметической и найти ее можно сравнительно точно только тогда, когда разность между наибольшею и наименьшею скоростью незначительна, другими словами—когда скорость v мала. Правильности наблюдений здѣсь еще мѣшаютъ взаимодѣйствіе вагоновъ и тѣ, иногда большія, колебанія, которыя развиваются при переходѣ съ уклона на горизонталь.

II. *Определение сопротивления вагона (или поезда) путем определения ускорений.* Вагонъ, предоставленный самому себѣ и двигающийся по прямолинейному и горизонтальному пути, подъ влияніемъ дѣйствующихъ на него сопротивленій, получаетъ нѣкоторое (отрицательное) ускореніе u . Если масса вагона (или поезда) $= M = \frac{1000 \cdot Q}{g}$, то, по законамъ механики, сила, сопротивляющаяся движению (т. е. $=$ сопротивленію) равняется массѣ, умноженной на ускореніе, т. е.

$$W = \frac{1000 \cdot Q}{g} \cdot u = M \cdot u \dots \dots \dots (95)$$

Если сопротивление на 1 тонну $= w$, то

$$w \cdot Q = \frac{1000 \cdot Q}{g} \cdot u, \text{ т. е. } w = \frac{1000}{g} \cdot u \dots \dots \dots (96)$$

Такимъ образомъ, зная ускореніе u , мы можемъ найти сопротивленіе w или W для каждого момента движенія и наоборотъ—для нахождения w и W —достаточно знать u въ разные моменты движенія вагона (или поезда).

Величину u можно найти такимъ образомъ:

При движениі вагона (или поезда) записываютъ моменты, въ которые онъ проходитъ мимо предметовъ (напримѣръ, верстовыхъ или телеграфныхъ столбовъ), разстояніе между которыми извѣстно, и такимъ образомъ получаютъ таблицу, представляющую зависимость пройденныхъ путей отъ времени. Откладывая теперь (фиг. 75) по оси абсциссъ времени, а по оси ординатъ соотвѣтствующіе пути x , находимъ кривую $abc\dots$ ур-іе которой

$$x = f(t).$$

Для нахождения скорости вагона въ каждое данное мгновеніе, достаточно взять на кривой точку, соотвѣтствующую этому мгновенію или данному пути, и провести черезъ нее къ кривой касательную, составляющую съ осью абсциссъ уголъ α , тогда

$$tg\alpha = \frac{dx}{dt} = v.$$

Эту величину можно найти и изъ чертежа, если раздѣлить катетъ, противолежащій углу α и выраженный въ единицахъ для измѣренія путей на катетъ, прилежащій этому углу и выраженный въ единицахъ времени.

Если найдемъ такимъ образомъ скорости для возможно большаго числа точекъ и отложимъ найденныя величины по соотвѣтствующимъ

ординатамъ кривой abc , то получимъ рядъ новыхъ точекъ, опредѣляющихъ новую „кривую скоростей“ $a'b'c'$..., которой уравненіе будетъ

$$v = \varphi(t).$$

Эту кривую можно получить и непосредственно при помощи особыхъ приборовъ, называемыхъ измѣрителями скоростей (§§ 74—77), которые ставятся въ вагонѣ или на паровозѣ и автоматически ее вычерчиваютъ.

Совершенно такимъ-же образомъ отъ кривой скоростей $a'b'c'$... переходимъ къ „кривой ускореній“ $a''b''c''$..., которой уравненіе

$$u = \frac{dv}{dt} = \psi(t).$$

Ординаты ея прямо даютъ ускореніе u въ каждый моментъ движенія вагона и, зная ее по ур-ямъ (95) и (96), находимъ сопротивленія W и w .

Теоретически говоря, этотъ способъ *наибольше совершененъ*, но ошибки могутъ быть благодаря множеству графическихъ построеній. Для устраненія этого французскій инженеръ Desdoutis построилъ особый аппаратъ, названный имъ „динамометромъ инерціи“ (см. § 78), который даетъ возможность прямо опредѣлить ускореніе того вагона, въ которомъ онъ поставленъ, такъ какъ онъ прямо чертитъ кривую, у которой абсциссы пропорціональны временамъ, а ординаты пропорціональны соответствующимъ ускореніямъ, т. е. ур-іе которой будетъ $u = \psi(t)$.

Опредѣленіе тогда сопротивленій производится очень просто по ур-ямъ (95) и (96).

Для того, чтобы по этой кривой (фиг. 76) найти скорости въ каждый данный моментъ (соответствующія даннымъ ускореніямъ), замѣтимъ, что

$$\frac{dv}{dt} = u \text{ или } dv = u \cdot dt,$$

слѣдовательно

$$v = \int u \cdot dt + c.$$

Если скорости, соответствующія временамъ t_2 и t_3 , означимъ черезъ v_2 и v_3 , то

$$v_2 = v_3 + \int_{t_2}^{t_3} u \cdot dt$$

и тогда интегралъ представитъ площадь $t_2 u_2 u_3 t_3$, заштрихованную на чертежѣ. Если предѣлами будутъ произвольно выбранное время t и время t_n , соответствующее концу движенія, когда скорость $v_n = 0$, тогда

$$v = \int_t^{t_n} u \cdot dt$$

величина которой представляет всю площадь, ограниченную кривою, осью абсцисс и ординатами tu и $t_n u_n$. Таким образом получаем скорость для момента t , соответствующую ускорению tu .

Определивши таким образом для различных ускорений соответствующія скорости и откладывая первыя по оси абсцисс, а вторыя по оси ординатъ, мы получимъ точки, опредѣляющія кривую, дающую зависимость между u и v , т. е. $u = \varphi(v)$.

Всѣ указанные способы применялись на практикѣ.

§ 38. Опредѣленіе коэффиціентовъ въ формулѣ сопротивленія.

Выше найдено (§ 30), что общій видъ формулы сопротивленія движению вагона (или поѣзда) слѣдующій:

$$W_{kg} = \alpha Q + \beta v + \gamma v^2, \text{ что должно быть } = M.u$$

или

$$w_{kg}/t = A + Bv + Cv^2, \text{ что должно быть } = \frac{1000.u}{g} . . . (97)$$

гдѣ

$$A = \alpha, B = \frac{\beta}{Q} \text{ и } C = \frac{\gamma}{Q}.$$

Опредѣливши, какъ указано въ предыдущемъ §, сопротивленіе поѣзда для различныхъ скоростей (путемъ напр. нахождения ускореній), строимъ кривую, представляющую эту зависимость графически, откладывая для этого по оси абсциссъ скорости, по оси ординатъ соответствующія сопротивленія w и соединяя получаемыя такимъ образомъ точки. Коэффиціенты A , B и C (а слѣдовательно и α , β и γ) должны быть найдены такъ, чтобы для одинаковыхъ величинъ v результаты, даваемые формулою (97), не отличались или представляли возможно малую разницу отъ данныхъ упомянутой кривой, полученной на основаніи опытнаго изслѣдованія.

Одинъ изъ коэффиціентовъ, а именно $A = \alpha$, лучше всего найти посредствомъ опыта, опредѣляя сопротивленіе при такихъ малыхъ скоростяхъ, чтобы величиною двухъ послѣднихъ членовъ можно было пренебречь сравнительно съ первымъ членомъ; тогда формула обратится въ

$$w_1 = \frac{1000.u}{g} = A (98)$$

39. Опредѣленіе величины сопротивленія паровоза (съ тендеромъ).

Здѣсь могутъ прилагаться тѣ-же пріемы, которые применяются къ вагонамъ и поѣздамъ. Но работа пара, производимая паровою машиною паровоза, позволяетъ применять и другіе способы, изъ которыхъ употреблялись на практикѣ слѣдующіе:

1. Паровозъ приводятъ въ равномерное движеніе съ нѣкоторою опредѣленною скоростью. Опредѣливши его работу съ помощью индикатора и раздѣливши на пройденный путь, находимъ искомую среднюю величину сопротивленія для данной скорости.

2. Спускаютъ паровозъ безъ дѣйствія пара по наклонному пути и заставляютъ идти по горизонтали до остановки—см. § 37 способъ *c*.

3. Сообщаютъ, дѣйствіемъ пара, паровозу нѣкоторую опредѣленную скорость и, прекративъ работу пара въ машинѣ, предоставляютъ затѣмъ двигаться ему по горизонтали до остановки, см. § 37 способъ *d*. За среднюю скорость принимали половину начальной скорости. Сопротивленіе, получаемое такимъ образомъ по способу 2 и 3, больше истиннаго, такъ какъ при движеніи паровоза съ закрытымъ регуляторомъ происходитъ всасываніе газовъ изъ дымовой коробки въ паровые цилиндры и выталкиваніе ихъ, вслѣдствіе чего сопротивленіе движенію увеличивается. Поэтому эти опыты (по способу 2 и 3) должны производиться съ возможно меньшею скоростью, такъ какъ вліяніе этого обстоятельства увеличивается со скоростью.

4. Заставляютъ двигаться паровозъ по уклону, опредѣляя попытками ту скорость, при которой онъ можетъ двигаться безъ паровъ равномерно—см. § 37 способъ *b*.

5. Примѣняютъ способъ опредѣленія сопротивленія, путемъ нахождения ускореній (см. § 37, II), для чего сообщаютъ напр. паровозу нѣкоторую опредѣленную скорость и, закрывши регуляторъ, при дальнѣйшемъ его движеніи находятъ зависимость между пройденнымъ пространствомъ и временемъ.

6. Везутъ паровозъ другимъ паровозомъ, помѣщая между ними динамометръ. Находимое такимъ образомъ сопротивленіе не точно, такъ какъ второй паровозъ идетъ съ закрытымъ регуляторомъ и воздухъ представляетъ меньшее сопротивленіе, чѣмъ при обыкновенномъ его движеніи во главѣ поѣзда.

7. Испытываемый паровозъ заставляютъ везти поѣздъ, помѣщая между ними динамометрическій вагонъ, снабженный необходимыми приборами: для опредѣленія скорости движенія, проходимыхъ пространствъ, динамометромъ и пр. Работу пара въ цилиндрахъ опредѣляютъ съ помощью индикатора. Вычитая изъ нея работу сопротивленія поѣзда, опредѣляемую посредствомъ динамометра или другимъ способомъ, находимъ въ видѣ разности—сопротивленіе паровоза. Этотъ способъ наиболее совершененъ и чаще всего примѣняется въ настоящее время, такъ какъ даетъ наиболѣе точные результаты, но для этого необходимо имѣть большія средства (динамометрическій вагонъ) и обработка, добываемыхъ такимъ образомъ результатовъ, требуетъ много времени и труда.

§ 40. Сопротивленіе полнаго поѣзда и уравненіе его движенія.

Если масса всего поѣзда $M_1 = \left(\frac{Q_1 + Q}{g}\right) 1000$, гдѣ Q_1 —вѣсъ паровоза съ тендеромъ и Q —вѣсъ вагоновъ въ топнахъ; Z —сумма движущихъ усилий (напр., отъ дѣйствія пара въ цилиндрахъ); W —искомая сумма вѣсхъ сопротивленій движенію всего поѣзда (отнеся къ нимъ и внутреннія сопротивленія паровоза, какъ паровой машины) и u — ускореніе движенія въ данный моментъ, то предполагая, что вѣс части поѣзда движутся только поступательно, находимъ ур-іе движенія поѣзда

$$M_1 \cdot u = Z - W^* \dots \dots \dots (99)$$

Такимъ образомъ, для нахождения полнаго сопротивленія W , достаточно знать Z , что находится съ помощью индикатора, и ускореніе u , величину котораго въ данный моментъ находимъ по предыдущему.

Если поѣздъ идетъ по горизонтали и безъ пара, т. е. съ закрытымъ регуляторомъ, то $Z = 0$. При движеніи по уклону i подъ дѣйствіемъ силы тяжести $Z = 1000 \cdot (Q + Q_1) i$ kg. При движеніи по подъему i —величина $Z = Z_1 - 1000 \cdot (Q + Q_1) i$, гдѣ Z_1 — усилие въ kg отъ дѣйствія пара въ цилиндрахъ и т. д. Но при этомъ замѣтимъ, что кромѣ поступательнаго движенія, нѣкоторыя части паровоза (колесные скаты) имѣютъ вращательное движеніе. Если

I = моменту инерціи одного колеснаго ската относительно его оси вращенія,

r = радіусу колесъ,

ω = угловой скорости вращенія,

то кинетическая энергія вращенія ската будетъ равна

$$I \frac{\omega^2}{2} = \frac{Iv^2}{2r^2},$$

такъ какъ скорость движенія v (въ m/sec) = $r\omega$ (если нѣтъ скольженія).

Элементарное приращеніе живой силы вращенія для вѣсхъ колесныхъ скатовъ будетъ

$$v dv \sum \frac{I}{r^2} \text{ и слѣдовательно вмѣсто ур-ія } \dots \dots \dots (99^{bis})$$

$$M_1 \cdot v \cdot dv = (Z - W) ds$$

*) Такъ какъ $u = \frac{d^2s}{dt^2}$, гдѣ $s(m)$ —пройденному пути во время $t(sec)$, то $u = v \cdot \frac{dv}{ds}$ и слѣдовательно находимъ ур-іе движенія $M_1 \cdot v \cdot dv = (Z - W) ds \dots \dots \dots (99^{bis})$

мы будем имѣть ур-іе движенія поѣзда

$$M.v.dv = (Z - W) ds$$

или

$$M.v.\frac{dv}{ds} = M.u = Z - W,$$

гдѣ

$$M = M_1 + \sum \frac{I}{r^2} \dots \dots \dots (100)$$

Добавочный членъ $\sum \frac{I}{r^2}$ составляетъ около 7—10% отъ M_1 и его не всегда принимаютъ во вниманіе, хотя эту поправку слѣдуетъ дѣлать.

Приблизительно можно принять:

для вагоннаго колеснаго ската

$$\frac{I}{r^2} = 40$$

для шестиколесныхъ паровозовъ съ такими же тендерами

$$\sum \frac{I}{r^2} = 400.$$

Вообще для паровоза съ тендеромъ, если обозначимъ Σq —вѣсъ ихъ колесныхъ скатовъ въ kg., приблизительно

$$\sum \frac{I}{r^2} = \frac{\Sigma q}{20}.$$

§ 41. Что касается до *опредѣленія добавочнаго сопротивленія, зависящаго отъ кривизны пути*, то найдя, однимъ изъ указанныхъ пріемовъ, величину сопротивленія при проходѣ по кривой даннаго радіуса и зная сопротивленіе того же подвижнаго состава на прямомъ горизонтальномъ пути при той же скорости, находимъ добавочное сопротивленіе на кривыхъ, равное ихъ разности.

При опытахъ на баварскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогахъ съ этою цѣлью были уложены спеціальныя, горизонтальныя кривыя съ радіусами въ 100, 150, 200, 300, 400, 500, 750 и 1000 м. Вдоль путей былъ уложенъ телеграфный проводъ съ прерывателемъ черезъ каждые 20 м. и при помощи хронографа получалась искомая зависимость между временемъ и проходимымъ пространствомъ. При подобныхъ опытахъ иногда, вмѣсто увеличенія, наблюдалось уменьшеніе сопротивленія на кривой, напр., при опытахъ на Кельнъ-Минденской желѣзной дорогѣ. Это приписывается центробѣжной силѣ, благодаря которой на кривыхъ боковыя качанія вагоновъ и удары закраинъ ихъ бандажей о рельсы будутъ меньше, что

имѣть особенное значеніе для порожнихъ вагоновъ, болѣе подвержен-ныхъ качаніямъ, чѣмъ груженые вагоны.

Такимъ же образомъ можно опредѣлить добавочное сопротивленіе и подъ вліяніемъ какихъ-нибудь другихъ обстоятельствъ, напр., подъ вліяніемъ вѣтра, снѣжныхъ заносовъ и пр.

§ 42. Способы опредѣленія сопротивленій, примененные Leitzmann'омъ, Albert Frank'омъ и Barbier.

Какъ примѣры къ вышесказанному, опишемъ тѣ приемы, которые употребляли упомянутые изслѣдователи при своихъ опытахъ надъ опредѣленіемъ сопротивленій.

1. *Leitzmann* бралъ формулу сопротивленія вида $a + b v^2$, какъ наиболѣе употребительную въ Германіи. При движеніи по уклону, является добавочное сопротивленіе $= \pm i$, т. е. полное сопротивленіе

$$W = a + b v^2 \pm i \dots \dots \dots (101)$$

Сначала одинъ паровозъ, безъ пара и тормаженія, спускали съ уклоновъ i_1 и i_2 и находили попытками тѣ скорости v_1 и v_2 , при которыхъ его движеніе было равномерное. Тогда находимъ:

$$\begin{aligned} a_1 + b_1 v_1^2 - i_1 &= 0 \\ a_1 + b_1 v_2^2 - i_2 &= 0 \end{aligned}$$

Откуда

$$a_1 = i_1 - \frac{i_2 \cdot v_1^2}{v_1^2 - v_2^2} \text{ и } b_1 = \frac{i_1 - i_2}{v_1^2 - v_2^2} \dots \dots \dots (102)$$

Повторяя этотъ опытъ возможно большее число разъ, находили такимъ образомъ a_1 и b_1 для формулы сопротивленія одного паровоза. Потомъ находили коэффициенты a_2 и b_2 для формулы сопротивленія поезда, для чего къ изслѣдованному уже паровозу, вѣсъ котораго $= Q_1$, т. е. для котораго a_1 и b_1 найдены, прицѣпляли поезда двухъ составовъ и вѣсовъ Q' и Q'' и спуская съ уклона i_1 (лучше съ одного изъ прежнихъ) находили опять попытками скорости равномернаго движенія v_3 и v_4 . Находимъ:

$$\left. \begin{aligned} Q_1(a_1 + b_1 v_3^2 - i_1) + Q'(a_2 + b_2 v_3^2 - i_1) &= 0 \\ Q_1(a_1 + b_1 v_4^2 - i_1) + Q''(a_2 + b_2 v_4^2 - i_1) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots (103)$$

Здѣсь неизвѣстны только величины a_2 и b_2 , которыя и находимъ.

Понятно этотъ методъ можетъ быть приложимъ также при взятіи формулъ сопротивленія вида $a + b v + c v^2$, только тогда прійдется сдѣлать большее

число наблюдений, чтобы получить соответствующее число ур-ий, для нахождения коэффициентов a , b и c для паровозов и поѣздов.

Эти опыты должны производиться, понятно, при тихой погодѣ.

При этомъ сопротивление паровоза выходитъ преувеличеннымъ (см. § 39) и поэтому его сопротивление еще находили подъ парами, заставляя его двигаться равномерно со скоростью V км/ч. Такъ какъ при равномерномъ движеніи сопротивление W = силѣ тяги, то слѣдовательно

$$\frac{W \cdot 1000 \cdot V}{3600} = \frac{W \cdot V}{3,6}$$

выражаетъ индикаторную работу паровоза, а слѣдовательно соответствующее число лошадиныхъ силъ равно

$$N = \frac{W \cdot V}{3,6 \cdot 75} = \frac{W \cdot V}{270}$$

и искомое сопротивление

$$W = \frac{270 \cdot N}{V} \dots \dots \dots (104)$$

Такимъ образомъ, найдя N посредствомъ индикатора и V —при помощи измѣрителя скоростей, опредѣляемъ и W .

2. По большей части — начальная скорость при движеніи по уклону не равна скорости равномернаго движенія, но больше или меньше ея. Поэтому движеніе поѣзда или паровоза (безъ паровъ) будетъ замедленное или ускоренное до тѣхъ поръ, пока сопротивление не будетъ равно движущей силѣ тяжести; разъ это произошло, дальнѣйшее движеніе поѣзда будетъ равномерное. Но уклоны рѣдко бывають такой длины, чтобы движеніе поѣзда установилось; въ такомъ случаѣ *скорость равномернаго движенія, соответствующую даннымъ обстоятельствамъ*, можно опредѣлить *по способу Albert Frank'a*, примененному имъ при опытахъ на Эльзась-Лотарингскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

Обозначимъ черезъ: M —массу всего поѣзда, состоящаго изъ паровоза, вѣсъ котораго = Q_1 и вагоновъ—вѣса Q ; v_0 —скорость въ нѣкоторый моментъ движенія, которая, по прохожденіи пути s , обращается въ скорость V ; c —искомую скорость равномернаго движенія.

При спускѣ съ уклона i , движущая сила

$$k = Q_1(a_1 + b_1 v^2 - i) + Q(a_2 + b_2 v^2 - i) = (Q + Q_1) i - [a_1 Q_1 + a_2 Q + (Q_1 b_1 + Q b_2) v^2] \dots \dots \dots (105)$$

При равномерномъ же движеніи $k = 0$ и $v = c$ [форм. (103)], слѣдовательно

$$(Q + Q_1) i = a_1 Q_1 + a_2 Q + (Q_1 b_1 + Q b_2) c^2 \dots \dots \dots (106)$$

При неравномерномъ движеніи k больше или меньше нуля въ зависимости отъ того, происходитъ ли ускоренное или замедленное движеніе и для бесконечно-малаго пути ds , приращеніе живой силы будетъ:

$$\frac{M}{2}(v + dv)^2 - \frac{M}{2}v^2 = k \cdot ds$$

или

$$M \cdot v \cdot dv = k \cdot ds$$

или

$$M \cdot v \cdot dv = [(Q + Q_1) i_1 - \{a_1 Q_1 + a_2 Q + (Q_1 b_1 + Q b_2) v^2\}] ds.$$

Но изъ ур-я (106)

$$(Q + Q_1) i_1 - a_1 Q_1 - a_2 Q = (Q_1 b_1 + Q b_2) c^2,$$

слѣдовательно

$$M \cdot v \cdot dv = (Q_1 b_1 + Q b_2) (c^2 - v^2) ds = B \cdot ds,$$

гдѣ

$$B = Q_1 b_1 + Q b_2.$$

Тогда

$$\frac{v \cdot dv}{c^2 - v^2} = \frac{B}{M} \cdot ds$$

или

$$\frac{2v \cdot dv}{v^2 - c^2} = - \frac{2B}{M} \cdot ds = - A \cdot ds,$$

гдѣ

$$A = \frac{2B}{M} = \frac{2(Q_1 b_1 + Q b_2)}{M}.$$

Взя движеніе отъ его начала, для котораго $s = 0$ и $v = v_0$, до момента, когда $v = V$ получимъ

$$\int_{v_0}^V \frac{2v \cdot dv}{v^2 - c^2} = - A \int_0^s ds$$

или

$$\lg \frac{v_0^2 - c^2}{V^2 - c^2} = A \cdot s.$$

Отсюда

$$\frac{v_0^2 - c^2}{V^2 - c^2} = 10^{A \cdot s},$$

слѣдовательно

$$c^2 (10^{A \cdot s} - 1) = V^2 \cdot 10^{A \cdot s} - v_0^2 \dots \dots (107)$$

Здѣсь неизвѣстны величины c и A , величины же s , v_0 и V находятя изъ опыта.

Прямымъ наблюденіемъ изъ опыта можно найти сколько угодно значеній $s_1, s_2, s_3 \dots$ и соотвѣтствующія имъ скорости $V_1, V_2 \dots$, а по этому и рядъ ур-ій

$$c^2(10^{A \cdot s_1} - 1) = V_1 \cdot 10^{A \cdot s_1} - v_0^2$$

$$c^2(10^{A \cdot s_2} - 1) = V_2 \cdot 10^{A \cdot s_2} - v_0^2 \text{ и т. д.}$$

Изъ каждой пары ур-ій можно найти неизвѣстныя c и A и такъ какъ, вслѣдствіе не исполнѣ точныхъ наблюденій, эти величины получаются различныя, то, сдѣлавши возможно больше наблюденій и опредѣленій c и A , берутъ среднюю ариѳметическую изъ полученныхъ величинъ.

Примѣняя этотъ методъ предварительно къ изслѣдованію одного паровоза, находимъ: $M = M_1 =$ массѣ паровоза, $Q = 0$, и слѣдовательно, $A = \frac{2 \cdot Q_1 \cdot b_1}{M_1}$, откуда находимъ $b_1 = \frac{A \cdot M_1}{2Q_1}$, а тогда изъ ур-ія $a_1 + b_1 c^2 - i = 0$ находимъ, зная c , и величину $a_1 = i - b_1 c^2$. Опредѣливши такимъ образомъ предварительно a_1 и b_1 , находимъ $b_2 = \frac{A \cdot M - 2Q_1 b_1}{2Q}$ и изъ ур-ія (106) и величину a_2 . Формула сопротивленія Albert Frank'a, полученная имъ указаннымъ способомъ, какъ мы видѣли изъ § 35, точно также имѣетъ видъ $a + bv^2$ и, какъ сказано, достаточно точна для скоростей до 60 км/ч.

Замѣтимъ при этомъ, что подобнымъ путемъ опредѣляется сопротивление паровоза, двигающагося съ закрытымъ регуляторомъ. Frank считаетъ, что сопротивление паровоза, идущаго подъ парами, болѣе значительно, вслѣдствіе возрастанія тренія на шейкахъ ведущихъ осей и между всѣми частями передаточнаго механизма подъ давленіемъ пара. Предполагая, что всѣ сопротивленія передаточнаго механизма, независяція отъ давленія пара, приняты уже въ расчетъ въ выше упомянутыхъ формулахъ, Frank нашель, что добавочное сопротивление отъ давленія пара въ испытанномъ имъ пассажирскомъ паровозѣ $0 \frac{2}{3}$ спар. ос. = почти 5% индикаторной работы пара и въ товарномъ паровозѣ $0 \frac{3}{3}$ спар. ос. = 6%. Увеличеніе сопротивленія имъ было найдено теоретическимъ путемъ.

III. Въ заключеніе упомянемъ о способѣ опредѣленія сопротивленія, примененномъ инж. Barbier въ 1897 г., какъ о самомъ усовершенствованномъ. Опыты производились на сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогахъ съ 4-цилиндровымъ быстроходнымъ паровозомъ Compound при помощи авто-индикатора (§ 69) и динамометрическаго вагона, при чемъ скорость движенія доходила до 120 км/ч. Опыты дали чрезвычайно цѣнные данныя и послужили для вывода формулъ, приведенныхъ выше (§ 35, III). Большое число снятыхъ индикаторныхъ діаграммъ (числомъ до 600) позволило построить кривыя, представленныя на фиг. 78, выражающія зависимость индикаторной и полезной работы отъ скорости на прямомъ гори-

горизонтальномъ пути. При проходѣ-же кривыхъ наблюдений не дѣлали, чтобы исключить ихъ вліяніе. Кривыя *a* и *b* относятся къ товарному поѣзду (вѣсомъ 680 t.), *c* и *d*—къ пассажирскому (вѣсомъ 160 t. Вѣсъ паровоза 85 t.). Ординаты кривыхъ *a* и *c*, выражающія полную индикаторную работу въ паров. лоц. въ 4-хъ цилиндрахъ, опредѣлялись по формулѣ

$$T_m = T_1 \cdot \frac{n}{75} \cdot \dots \dots \dots (108)$$

гдѣ *n*—число оборотовъ въ sec., *T*₁—работа въ kg., совершенная во всѣхъ 4-хъ цилиндрахъ за одинъ оборотъ и опредѣляемая по площади индикаторныхъ діаграммъ планиметромъ. Но эта формула справедлива только для горизонтальнаго пути и равномернаго движенія, т. е. для діаграммъ, снятыхъ при постоянной скорости. Но такихъ наблюдений, особенно при большихъ скоростяхъ, сдѣлать много было невозможно, такъ какъ и скорость была не постоянна и путь не горизонталенъ, поэтому наблюденія, полученныя въ остальныхъ случаяхъ, приводили къ сказаннымъ условіямъ путемъ поправокъ, вычитая (алгебраически) величины добавочной работы вѣса поѣзда на подъемахъ и добавочной работы, затраченной на сообщеніе поѣзду ускоренія при измѣненіи скорости.

Первая поправка равна

$$\pm \frac{p \cdot v}{75} \cdot i \dots \dots \dots (109)$$

гдѣ *i* число тысячныхъ подъема (+) или уклона (—), *p*—вѣсъ всего поѣзда въ t. и *v*—скорость въ m/sec.

Вторая поправка въ случаѣ неравномернаго движенія, если скорость мѣняется отъ *v*₀ до *v* въ теченіи *t* секундъ, будетъ равна

$$\frac{p}{2g} \left(\frac{v^2 - v_0^2}{t \cdot 75} \right) \dots \dots \dots (110)$$

Здѣсь эта поправка тѣмъ необходимѣе, что снятіе діаграммъ при помощи авто-индикатора требуетъ нѣкотораго времени (*t* sec.), въ теченіе котораго скорость можетъ измѣниться.

Затѣмъ посредствомъ динамометра находили полезное усиліе тяги ϵ_u на крюкѣ тендера въ kg., тогда работа на крюкѣ въ лошадахъ будетъ равна

$$T_u = \frac{\epsilon_u \cdot v}{75} \dots \dots \dots (111)$$

и на діаграммѣ выражается ординатами кривыхъ *b* и *d*. Для этой работы при движеніи по подъему или уклону и при неравномерномъ движеніи дѣлали поправки подобныя предыдущимъ, принимая *p* = только вѣсу въ тоннахъ однихъ вагоновъ въ поѣздѣ.

Разность $(T_m - T_n)$ представляет ту работу, которая поглощается сопротивлением паровоза съ тендером + сопротивление воздуха. Беря разность ординат кривых a и b , а также c и d , получим кривую ee (фиг. 79). Чтобы определить, какая часть этой работы зависит от сопротивления паровоза и какая поглощается сопротивлением воздуха, за неимением прямых опытов, ограничились расчетом, полагая, как это вообще почти вездѣ принято для упрощения, что нормальная реакция воздуха на плоскую поверхность выражается параболической функцией вида $k \cdot s \cdot v^2$, гдѣ v —скорость въ $\frac{m}{sc}$, s —проекция поверхности, подверженной давлению воздуха, на плоскость, перпендикулярную къ направлению движения и k —коэффициент, величина котораго по опытамъ Rambouga, Roncelet и др. принята = 0,1 *). Тогда работа этого сопротивления въ лошадахъ выразится такимъ образомъ

$$T_a = \frac{k \cdot s \cdot v^2 \cdot v}{75} \dots \dots \dots (112)$$

Если замѣнить v черезъ $\frac{V}{3,6}$, гдѣ V —скорость въ $\frac{km}{h}$, то такъ какъ здѣсь S было равно 7,90 m^2 , находимъ

$$T_a = 0,000225 V^3.$$

Графически эти величины для скоростей отъ 0 до 125 $\frac{km}{h}$ представлены на фиг. 79 кривою g . Вычтя изъ ординатъ кривой e —ординаты кривой g —получимъ кривую f , представляющую законъ изменения величины $T_m - T_n - T_a$, т. е. сопротивления на горизонтальномъ участкѣ паровоза съ тендеромъ (при данномъ пассажирскомъ поѣздѣ).

Если W сопротивление въ $kg.$, то, какъ извѣстно, оно = $\frac{T \cdot 75}{v}$ или = $\frac{T \cdot 270}{V}$, гдѣ T въ лошадахъ, слѣдовательно мы можемъ найти:

Сопротивление всего поѣзда (паровозъ + вагоны) = индикаторной силѣ тяги = $\frac{270 \cdot T_m}{V}$.

Сопротивление однихъ вагоновъ = $\frac{270 \cdot T_n}{V}$ и

Сопротивление воздуха = $\frac{270 \cdot T_a}{V}$ и т. д.

Чтобы имѣть представление объ относительныхъ величинахъ этихъ сопротивлений, привожу данныя опытовъ Wagbier для данного паровоза **).

*) Нѣкоторые изслѣдователи берутъ $k = 0,123$.

**) Изслѣдуемый паровозъ имѣлъ слѣдующіе размѣры:

Площадь рѣшетки—2,30 m^2 ; полная поверхность нагрева = 175,58 m^2 ; манометр. давленіе въ котлѣ = 15 $at.$; макс. давленіе въ ресиверѣ = 6 $at.$; діаметръ вдувшихъ ко-

Работа сопротивления воздуха впереди паровоза.

Скорость въ km/h	20	40	60	80	100	120
T_a въ <i>HP</i>	0,18	14,4	48,6	115,2	225	388,8
$\frac{T_a}{T_m - T_u}$	0,006	0,18	0,30	0,40	0,47	0,51

Распределение индикаторной работы.

Скорость въ km/h	Индикатор. работа T_m <i>PH</i>	Полезная работа T_u	Разность $T_m - T_u$	Работа сопр. воздуха T_a	Работа сопрот. паровоза $T_m - T_u - T_a$
70	450	235	215	77	138
90	770	395	375	164	211
110	1230	625	605	300	305

Сопротивления (вѣсь поѣзда 160 t., горизонталь).

Скорость V km/h	Индик. сила тяги $\frac{270 \cdot T_m}{V}$	Усиліе тяги па крюкъ $\frac{270 \cdot T_u}{V}$	Сопротивл. воздуха $\frac{270 \cdot T_a}{V}$	Сопротивл. паровоза и тендера	
				Включая сопротивленія воздуха	Безъ сопротивленія воздуха
70	1735 kg.	905	297	830	533
90	2310	1185	492	1125	633
110	3020	1535	736	1485	749

десь = 2,130 m; диаметры цилиндровъ высокаго давленія = 340 mm, низкаго = 530 mm., ходъ поршней = 640 mm. Отношеніе объемовъ цилиндровъ = 2,43.

Вѣсь паровоза въ рабочемъ состояніи 50,4 t, вполнѣ нагруженнаго тендера = 41,04 t.

Паровозъ новѣйшей конструкціи.

Мехавизмы цилиндровъ—(два наружныхъ высокаго давленія и два внутреннихъ—низкаго давленія) дѣйствуютъ на двѣ отдѣльныя оси.

Осей—двѣ спаренныхъ и впереди двухосная тележка. При опытахъ вѣсь паровоза и тендера принятъ = 85,5 t, принимал во вниманіе измѣненіе ихъ вѣса, въ зависимости отъ расхода воды и топлива въ пути.

Для получаемыя отсюда величины на вѣсъ паровоза и вагоновъ въ т., получимъ сопротивленія въ kg. на 1 т. вѣса:

R_1^1 —сопротивленіе паровоза и тендера;

R_a —сопротивленіе воздуха, которое равно

$$\frac{k.s.V^2}{p_1} = \frac{k.s.V^2}{85,5} = 0,000713 V^2;$$

$R_1 = R_1^1 + R_a$ —полное сопротивленіе паровоза и тендера.

$V^{km/h}$	$R_1 = R_1^1 + R_a$	R_a	R_1^1
оченьмалая	3,80	0	3,80
60	8,65	2,55	6,10
70	10,10	3,50	6,60
80	11,70	4,55	7,15
90	13,50	5,75	7,75
100	15,50	7,15	8,35
110	17,65	8,60	9,05
120	20,00	10,25	9,75

На фиг. 80 дано графическое изображеніе этихъ величинъ.

Кривая для R_a —очевидно парабола.

По предыдущему-же ур-іе кривыхъ C и A для R_1^1 и R_1 должны быть вида $A + Bv + Cv^2$. Коэффициенты A , B и C находятся, какъ сказано выше и такимъ образомъ получено:

$$R_1^1 = 3,8 + 0,027 V + 0,000187 V^2 \text{ и } R_1 = 3,8 + 0,027 V + 0,0009 V^2$$

Точно также поступаютъ и для вагоновъ и находятъ сопротивленіе ихъ R на 1 т. вѣса. Коэффициенты, найденные такимъ образомъ, оказались вполне удовлетворительными и результаты, даваемые формулами, хорошо сходятся съ опытными данными.

Замѣтимъ при этомъ, что сопротивленія паровозовъ и вагоновъ рѣзко отличаются одни отъ другихъ, что и понятно, поэтому совершенно не рационально устанавливать одну формулу, дающую сопротивленіе въ kg. на одну тонну вѣса полнаго поезда, включая и паровозъ съ тендеромъ, что постоянно дѣлалось раньше. Формулы должны давать отдѣльно: 1) сопротивленіе для даннаго паровоза (извѣстной конструкціи) и

желательно по числу типовъ ихъ имѣть соответствующее число формулъ съ своими спеціальными коэффициентами и 2) сопротивление вагоновъ и здѣсь опять—формулы должны быть отдѣльны для товарныхъ и пассажирскихъ поѣздовъ, въ зависимости отъ конструкцій вагоновъ. Тогда можно сочетать однѣ съ другими въ зависимости отъ обстоятельствъ (типа взятаго паровоза и данныхъ вагоновъ) и получить наиболѣе точные результаты.

Но если-бы, тѣмъ не менѣе, только для сравненія съ уже существующими старыми общими формулами, интересно было имѣть кромѣ частныхъ и общую формулу, то она будетъ, для вышеупомянутыхъ опытовъ *Barbier*, имѣть видъ:

$$R_2 \text{ (kg. на 1 t. полного поѣзда)} = \frac{160R + 85,5R_1}{160 + 85,5}$$

Величины $R_1 = w_m$ и $R = w_w$ опредѣляются, напримѣръ, по формуламъ (88) и (89) и тогда

$$R_2 = 2,36 + 0,0245 V + 0,000613 V^2 \dots (113)$$

Этотъ приемъ можетъ быть примѣнимъ, понятно, при какихъ-бы то ни было индикаторныхъ опытахъ съ паровозами (и съ обыкновенными индикаторами) и дастъ наиболѣе точные результаты, хотя и требуетъ значительнаго труда при обработкѣ опытныхъ данныхъ.

ЧАСТЬ IV-я.

Паровозный котель.

§ 43. Коэффициент полезнаго дѣйствія котла и паровоза.

Обозначимъ черезъ:

R — площадь колосниковой рѣшетки въ m^2 .

B — общій расходъ въ kg . топлива въ часъ.

w — теплотворную способность топлива въ kal/kg .

η_1 — коэффициентъ полезнаго дѣйствія топки, т. е. отношеніе дѣйствительно получаемаго количества теплоты при горѣніи топлива къ тому количеству, которое могло бы быть получено при совершенномъ его сгораніи.

η_2 — коэффициентъ полезнаго дѣйствія поверхности нагрѣва, т. е. отношеніе всего полученнаго количества теплоты къ тому, которое передается водѣ черезъ поверхность нагрѣва.

$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2$ — коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла.

Полагая теперь, что $B = R \left(\frac{B}{R} \right)$ — видимъ, что общее количество сгорѣвшаго топлива зависитъ отъ площади колосниковой рѣшетки и величины $\frac{B}{R}$, т. е. количества топлива, сгорающаго въ часъ на 1 m^2 рѣшетки *). При совершенномъ сгораніи выдѣлилось бы тогда $\left(\frac{B}{R} \right) R \cdot w$ единицъ теплоты, но фактически выдѣляется только $\eta_1 \left(\frac{B}{R} \right) \cdot R w$ единицъ теплоты, изъ которыхъ передается водѣ количество единицъ тепла, W равное

$$R \left(\frac{B}{R} \right) w \cdot \eta_1 \eta_2 \text{ **}$$

*) Эта величина называется „напряженіемъ колосниковой рѣшетки“.

**) Изъ этого количества, собственно говоря, не все идетъ на образованіе пара, такъ какъ паръ образуется влажный.

Если бы машина была идеальна и работала, напр. по циклу Карно (см. § 138), коэффициентъ производительности котораго равенъ *)

$$\eta_3 = \frac{t' - t}{t' + 273'}$$

то работа ея равнялась бы

$$T_1 = 424 \cdot \frac{t' - t}{t' + 273} \cdot R \left(\frac{B}{R} \right) \cdot w \cdot \eta \text{ кг.м/ч,}$$

принимая механическій эквивалентъ теплоты $= \frac{1}{A} = 424$.

Но машина не совершенна и утилизируетъ меньшее количество теплоты, чѣмъ идеальная машина и если обозначимъ черезъ α ея коэффициентъ полезнаго дѣйствія, то, очевидно, индикаторная работа въ кг.м/ч будетъ равна

$$T = \alpha \cdot T_1 = 424 \cdot w \cdot R \cdot \left(\frac{B}{R} \right) \cdot \frac{t' - t}{t' + 273} \alpha \cdot \eta_1 \eta_2 \quad \dots \quad (114)$$

или въ лошадиныхъ силахъ

$$L = \frac{T}{3600 \cdot 75} = 0,00157 \cdot w \cdot \frac{t' - t}{t' + 273} \cdot R \left(\frac{B}{R} \right) \alpha \cdot \eta_1 \eta_2 \quad \dots \quad (115)$$

Это ур-іе представляетъ непосредственную связь между часовымъ расходомъ топлива и работою пара въ цилиндрахъ.

Величина w зависитъ отъ рода топлива и мѣняется отъ 2500 kcal/kg (для дровъ) до 11500 kcal/kg (для нефти). Для хорошаго угля w въ среднемъ $= 7500$. Величина η_1 почти постоянна и $= 0,8$. Температуру выходящаго пара t можно принять $= 100^\circ$ и поэтому для среднихъ обстоятельствъ

$$L = 9,4 \cdot \alpha \cdot \frac{t' - 100}{t' + 273} \cdot \eta_2 \cdot \left(\frac{B}{R} \right) \cdot R \quad \dots \quad (115^{\text{bis}})$$

Задача техниковъ, заключается въ полученіи возможно большаго числа лошадиныхъ силъ на каждый кг. сожженного топлива, т. е. въ увеличеніи величины $\frac{L}{B}$.

Не смотря на простую, повидимому, связь L и B , всѣ входящія въ это ур-іе величины не постоянны, и, слѣдовательно, выяснитъ точную общую зависимость L отъ B —невозможно. Увеличеніе абсолютной величины L возможно черезъ соотвѣтствующее увеличеніе всѣхъ непостоянныхъ, входящихъ въ правую часть ур-ія. Разберемъ вліяніе и величины всѣхъ ихъ въ отдѣльности.

*) Гдѣ t' —наивысшая температура рабочаго, а t —панизшая температура выходящаго пара.

1. R и $\frac{B}{R}$. Очевидно, количество развитой теплоты должно быть возможно больше, что достигается увеличеніем R или $\frac{B}{R}$ или того и другого вмѣстѣ. Можно сжечь одинаковое количество топлива и получить такимъ образомъ то же количество единицъ теплоты на малой рѣшеткѣ при большой величинѣ $\frac{B}{R}$, т. е. сжигая большое количество топлива на 1 м² и, наоборотъ, при большомъ R и маломъ $\frac{B}{R}$. Этимъ и объясняется возможность для малыхъ уличныхъ паровозовъ развивать до 1000 *HP*. Поэтому колосниковая рѣшетка англійскаго паровоза, площадью въ 1,60 м², на которой сжигается толстымъ слоемъ прекрасный кардифскій или дербиширскій уголь, будетъ такъ же производительна, какъ и рѣшетка, площадью отъ 2,10 м² до 2,30 м² при отопленіи угольнымъ мусоромъ, сжигаемымъ тонкимъ слоемъ. Слѣдовательно, данная рѣшетка можетъ развить самую разнообразную производительность и очевидно — величина ея не служитъ характеристикою паровоза съ этой точки зрѣнія и триломы для сравненія паровозовъ между собою должно служить только количество топлива, сжигаемое на рѣшеткѣ въ единицу времени, а для даннаго паровоза (слѣдовательно, при постоянной величинѣ R) — характеристикой служить величина $\frac{B}{R}$, т. е. интенсивность (или „форсировка“) юрнія.

Величина $\frac{B}{R}$ опредѣляется опытно (см. дальше) и зависитъ отъ скорости поѣзда, такъ какъ съ увеличеніемъ ея, паровозъ развиваетъ большую работу, потребляетъ большее количество пара, и, слѣдовательно, котель долженъ при этомъ доставлять большее количество пара и сжигать больше топлива. Поэтому должно быть

$$\left(\frac{B}{R}\right) = \frac{a \cdot n}{b + R} \cdot \dots \dots \dots (116)$$

гдѣ a и b нѣкоторые коэффициенты, находимые путемъ опыта и n —число оборотовъ ведущаго колеса въ минуту. Обыкновенно для быстроходныхъ паровозовъ $\frac{B}{R}$ = отъ 300 до 500 kg. въ часъ и въ среднемъ 400.

При средней нормальной ихъ работѣ и при $n > 100$ на основаніи многочисленныхъ опытовъ найдено $a = 12$ (хотя при особыхъ условіяхъ a можетъ быть 15 и до 18) и $b = 3$, т. е.

$$\frac{B}{R} = \frac{12 \cdot n}{3 + R} \cdot \dots \dots \dots (117)$$

Напримѣръ

Быстроходные паро- возы	R въ м ²	n	Скорость km/h	$\frac{B}{R} = \frac{12 \cdot n}{3 + R}$ kg/m ² въ часть	$B = \left(\frac{B}{R}\right)R$ въ kg/h
1. Прусскихъ казенныхъ ж. д. 0 ² / ₄ спар. ос. . . .	2,3	240	90	545	1260
2. Швейцарск. централ. ж. д. 0 ³ / ₄ спар. ос. . . .	1,73	260	75	660	1140
3. ж. д. „Atlantic Flyer“ 0 ² / ₅ спар. ос.	7,1	280	113	335	2390

Всѣ эти величины прекрасно подтверждаются на практикѣ и поэтому формула (117) можетъ служить для предварительныхъ вычисленій $\frac{B}{R}$ и B , послѣ опытовъ же коэффициенты a и b , въ случаѣ несогласія, должны быть исправлены. Тѣ паровозы, для которыхъ B — наибольшее, *сеида* сильнѣйшіе, напр. № 3 изъ упомянутыхъ, для котораго $B = 2390$ kg/h.

Наибольшій предѣлъ, достигнутый для B при одномъ истопникѣ = 2500 kg. и $\frac{B}{R} = 750$ kg/m² въ часть, что и опредѣляетъ максимумальную работу паровоза. При повышеніи ея необходимъ уже второй кочегарь, болѣе значительный тендеръ съ большимъ запасомъ угля и воды и болѣе частыя угольные станціи.

Для товарныхъ паровозовъ коэффициенты a и b будутъ другіе.

Замѣтимъ, что количество B сгорающаго топлива въ часть увеличивается медленнѣе, чѣмъ поверхность рѣшетки R , поэтому $\frac{B}{R}$ всегда уменьшается при увеличеніи R , хотя число B при этомъ и увеличивается, что видно и на приведенныхъ примѣрахъ.

2. Коэффициентъ α указываетъ на отношеніе фактически произведенной работы къ возможной при работѣ по циклу Карно. Здѣсь сказать что-нибудь общее — невозможно, такъ какъ величина α крайне непостоянна и зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ. Она можетъ быть опредѣлена только опытно для даннаго случая при индикаторныхъ изслѣдованіяхъ паровоза. Извѣстно только, что наиболѣе благоприятные достигнутые результаты дали $\alpha = 0,6$ и только для компаундъ-паровозовъ. Такъ какъ они даютъ сравнительно съ обыкновенными паровозами въ среднемъ до 15% экономіи, т. е. при томъ-же расходѣ горючаго послѣдніе даютъ на 15%

меньшую работу, то для послѣднихъ этотъ коэффициентъ будетъ = $\alpha' = 0,85$. $\alpha = 0,85 \cdot 0,6 = 0,51$. Но это только при самыхъ благоприятныхъ условіяхъ.

3. Величина $\frac{t' - 100}{t' + 273}$, зависящая отъ наивысшей температуры рабочаго пара t' , увеличивается съ ея увеличеніемъ, и на основаніи предыдущаго—болѣе значительна для паровозовъ Compound, чѣмъ для обыкновенныхъ.

4. Коэффициенты η_1 и η_2 . Въ идеальномъ случаѣ, переданная водѣ теплота $W = B \cdot w \cdot \eta_1 \cdot \eta_2$ кал., обращаясь въ работу по циклу Карно, даетъ $A \cdot T_1 = B \cdot w \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3$ или

$$T_1 = \frac{B \cdot w \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}{A} \cdot \eta_3 = \frac{W(t' - t)}{A(t' + 273)} \text{ кг.м/ч.}$$

Очевидно, работа T_1 тѣмъ больше, чѣмъ больше паденіе температуры $t' - t$ и чѣмъ съ большимъ количествомъ теплоты W совершается процессъ, для чего при данныхъ B и w —должны возможно больше быть коэффициенты η_1 и η_2 .

η_1 поднимается, при примѣненіи худыхъ сортовъ угля, черезъ увеличеніе колосниковой рѣшетки, числа оборотовъ n (при малыхъ наполненіяхъ), примѣненіи принципа Compound и дымосожиганія. При такихъ условіяхъ η_1 можетъ быть въ среднемъ = $0,8 - 0,85$ и даже $0,9$.

η_2 по Hütte для паровозныхъ котловъ:

$\eta_2 = 0,60 - 0,70$ для быстроходныхъ паровозовъ,

$\eta_2 = 0,65 - 0,75$ для товарныхъ паровозовъ,

$\eta_2 = 0,70 - 0,75$ для горныхъ паровозовъ,

т. е. $\eta_2 = 0,60 - 0,75$.

Замѣтимъ при этомъ, что η_2 уменьшается съ увеличеніемъ числа оборотовъ n . Дѣйствительно, часовой переходъ теплоты въ кал. на каждый квадратный метръ при данной разности температуръ—почти постояненъ, т. е. изъ продуктовъ горѣнія отъ даннаго количества теплоты тѣмъ большее ея количество перейдетъ въ воду, чѣмъ большее время они будутъ соприкасаться съ поверхностью нагрѣва. Очевидно, при увеличеніи числа оборотовъ, когда сжигается большее количество топлива и проходитъ черезъ дымогарныя трубки больше газовъ и быстрѣе—относительно большее количество теплоты будетъ уноситься и η_2 черезъ это понижается. Поэтому для увеличенія η_2 —„напряженіе поверхности нагрѣва“, т. е.

величина $\frac{B}{H}$, гдѣ H поверхность нагрѣва въ м², должно быть меньше, но такъ какъ $\frac{B}{H} = \left(\frac{B}{R}\right) \left(\frac{R}{H}\right)$, то для этого должна быть возможно меньше

цифра „форсировки горънія“ $\frac{B}{R}$ и возможно больше величина отношенія поверхности нагрѣва къ колосниковой рѣшеткѣ— $\frac{H}{R}$.

При этомъ мы сталкиваемся съ слѣдующимъ обстоятельствомъ: 1) теперь стараются увеличить скорость (число оборотовъ n) и слѣдовательно работу паровозовъ, которая въ HP съ кв. метра поверхности нагрѣва выражается формулою

$$\frac{L}{H} = a_1 \sqrt{n} \dots \dots \dots (118)$$

гдѣ a_1 —численный коэффициентъ, находимый опытно и который колеблется между 0,39 для обыкновенныхъ и 0,46 для паровозовъ—Compound.

Но при этомъ [форм. (115)] увеличивается и величина $\frac{B}{R}$, а слѣдовательно уменьшается η_2 и такимъ образомъ *коммерческія требованія идутъ въ ущербъ экономической выюдности паровоза*; 2) точно также—величину $\frac{H}{R}$ стараются возможно уменьшить, для уменьшенія такъ называемаго „мертвато вѣса“ паровоза, (см. ниже) т. е. для повышенія „коммерческаго коэффициента полезнаго дѣйствія“ паровоза, но это опять ведетъ за собою уменьшеніе η_2 .

Поэтому, въ ущербъ экономичности паровозовъ, въ настоящее время на η_2 не обращаютъ вниманія и стремятся только къ увеличенію абсолютной работы паровоза и ею скорости.

Такимъ образомъ можно положить, что

$$\eta_2 = \beta \cdot \left(\frac{H}{R}\right) \cdot \left(\frac{R}{B}\right) \dots \dots \dots (119)$$

гдѣ β —нѣкоторый коэффициентъ пропорціональности, величина котораго, по причинѣ недостатка опытовъ, еще мало изслѣдована.

Величину η_2 приблизительно можно найти вычисленіемъ:

1 kg. топлива, сгорая, выдѣляетъ $\eta_1 \cdot w$ единицъ теплоты. Часть этой теплоты расходуется черезъ лучеиспусканіе на прилегающія тѣла, остальная идетъ на возвышеніе температуры продуктовъ горѣнія. Отношеніе перваго количества ко всему выдѣляемому количеству теплоты обозначимъ черезъ σ , которая по Groshofу = 0,20 до 0,25. Такимъ образомъ изъ всей образующейся теплоты $B \cdot \eta_1 \cdot w$ —часть ея = $\sigma \cdot \eta_1 \cdot B \cdot w$ передается поверхности нагрѣва лучеиспусканіемъ и часть $(1-\sigma) \eta_1 \cdot B \cdot w$ —уносится съ продуктами горѣнія, абсолютная температура *) которыхъ

*) То есть отъ абсолютнаго нуля, паходящагося ниже точки замерзанія воды на 273°. Такимъ образомъ напр. $T_1 = T_1' + 273$, гдѣ T_1' —наблюдается по термометру

надъ рѣшеткою T_1 и въ дымовой коробкѣ T_2 . Количество теплоты, соответствующее разности $T_1 - T_2$, передано водѣ и слѣдовательно пошло на образование пара, считая, что при хорошей защитѣ котла отъ охлажденія—наружу теряется незначительное количество теплоты.

Обозначимъ черезъ: Q —вѣсь образующихся горючихъ газовъ въ часть = вѣсу топлива + впущенный атмосферный воздухъ въ количествѣ L_1 kg. на 1 kg. топлива; c —теплоемкость продуктовъ горѣнія, приблизительно = 0,24, тогда $c \cdot Q \cdot T_1$ изобразитъ число единицъ теплоты, получаемой газами въ часть времени и слѣдовательно

$$c \cdot Q \cdot T_1 = (1 - \sigma) \cdot \eta_1 \cdot B \cdot w \dots \dots \dots (120)$$

Число-же единицъ теплоты, унесенныхъ газами въ дымовую коробку = $c \cdot Q \cdot T_2$. Очевидно, водѣ передается $\sigma \eta_1 \cdot B \cdot w + cQ \cdot (T_1 - T_2)$ единицъ теплоты и поэтому

$$\eta_2 = \frac{\sigma \cdot \eta_1 \cdot B \cdot w + c \cdot Q (T_1 - T_2)}{\eta_1 \cdot w \cdot B}$$

Такъ какъ изъ ур-ія (120)

$$\eta_1 \cdot w \cdot B = \frac{c \cdot Q \cdot T_1}{1 - \sigma},$$

то

$$\eta_2 = \sigma + (1 - \sigma) \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \sigma + (1 - \sigma) \left\{ 1 - \frac{T_2}{T_1} \right\} \dots \dots (121)$$

η_2 тѣмъ больше, чѣмъ T_2 меньше, что и понятно.

Опредѣленіе точной величины η_2 возможно только, зная точно T_2 и T_1 , что можно узнать только путемъ непосредственнаго измѣненія.

Для соображеній приводимъ нѣсколько данныхъ: изъ ур-ія (120), полагая начальную температуру воздуха и топлива = T_0 , находимъ

$$T_1 = T_0 + \frac{(1 - \sigma) \eta_1 \cdot w}{(1 + L_1) \cdot c} \dots \dots \dots (122)$$

Количество воздуха L_1 въ паровозахъ обыкновенно превышаетъ теоретическое количество въ $1\frac{3}{8}$ — $1\frac{1}{2}$ раза. Полагая $T_0 = 0$, получимъ слѣдующую таблицу (см. стр. 127).

Величину-же T_2 легко найти съ помощью пирометра (см. § 79).

Если наблюдений не производится, то величины T_2 находятся изъ ур-ія

$$T_2 = t + (T_1 - t) e^{-\frac{h}{\theta}} \dots \dots \dots (123)$$

гдѣ

$$\theta = B(1 + L_1) \frac{c}{k} \dots \dots \dots (124)$$

Здѣсь t — температура воды, $e = 2,71828$, H — площадь поверхности нагрѣва и k — число единицъ теплоты, передаваемое водѣ въ часъ на 1 м². поверхности нагрѣва при разности температуръ въ 1°. Величина k , по мнѣнію Redtenbacher'a, постоянна и = приблизительно 30 *).

ТАБЛИЦА VII.

Сорта топлива	w kal	η_1	$w\eta_1$	Теорет. колич. воздуха kg	L_1 kg	σ	T_1 (по термо- метру)
1. Дрова: съ 20% воды и 48% углерода	3600	0,77	2800	5,3	8,0	0,14	1100°C
2. Каменный уголь: 7% золы, 80% углерода	7533	0,75	5600	10,8	15,0	0,20	1150°
3. Коксъ: 15% золы, 85% углерода	6870	0,83	5700	9,7	13,5	0,20	1300°
4. Антрацитъ: 95% углерода	8500	0,90	7650	11,1	16,0	0,30	1310°
5. Нефтяныя остатки: 87% углерода, 11,7% водорода, 1,3% кислорода	11000	0,91	10000	14,6	18,2	0,30	1600°

Rankine же считаетъ k пропорціональнымъ разности температуръ и принимаетъ $k = \frac{y-t}{a}$, гдѣ y — температура продуктовъ горѣнія въ данномъ мѣстѣ и $a = 20-25$.

Напр. возьмемъ $\eta_1 = 0,8$; $w = 7500$ и $L_1 = 15$ (для каменнаго угля), находимъ

$$T' = 0,8 \frac{1-0,25}{1+15} \cdot \frac{7500}{0,24} = 1170°;$$

Если t напр. = 190°, $H = 120$ м². и $B = 1250$, то

$$\Theta = 1250(1+15) \frac{0,24}{30} = 160$$

и

$$T_2 = 190 + (1170-190) \cdot 2,71828^{-\frac{120}{163}} = 190 + \frac{980}{2,71728^{\frac{120}{160}}} = 190 + \frac{980}{2,12} = 652°$$

*) Впрочемъ послѣдніе опыты, напр. на Сѣв. франц. ж. д., показали, что эта цифра очень мала и должна быть = не менѣе 40-43 при притока воздуха въ топку въ полугорномъ количествѣ противъ безусловно необходимаго количества для горѣнія. По опытамъ же Goeffroy k можетъ подняться въ среднемъ даже до 75. Но вообще точныхъ опытовъ сдѣлано еще очень мало.

и слѣдовательно по формулѣ (121)

$$\eta_2 = 0,25 + (1 - 0,25) \frac{1170 - 652}{1170 + 273} = 0,25 + 0,27 = 0,52.$$

Приводимъ, наконецъ, весьма удобныя для практики формулы Rankine'a

Для кокса. $\eta_2 = \frac{1}{1 + 0,062 \frac{\overline{R}}{\overline{H}}}$	Для каменнаго угля. $\eta_2 = \frac{1}{1 + 0,079 \frac{\overline{R}}{\overline{H}}}$	Для дровъ. $\eta_2 = \frac{1}{1 + 0,047 \frac{\overline{R}}{\overline{H}}}$
--	---	--

Такимъ образомъ, при той же величинѣ $\frac{B}{R}$, коэффициентъ η_2 возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ H , но возрастаніе становится тѣмъ слабѣе, чѣмъ H больше, такъ какъ дѣятельная передача теплоты происходитъ лишь до тѣхъ поръ, пока разность температуръ продуктовъ горѣнія и воды достаточно велика и у дымовой коробки парообразование идетъ уже медленно.

На основаніи предыдущаго мы заключаемъ, что въ экономическомъ отношеніи товарные паровозы выгоднѣе, чѣмъ быстроходные, вслѣдствіе относительно бѣльшей поверхности нагрѣва и меньшаго числа оборотовъ ($\frac{B}{H}$ — меньше, η_2 — выше).

Также быстроходные паровозы съ бѣльшимъ діаметромъ колесъ выгоднѣе, чѣмъ таковыя же съ меньшими колесами, вслѣдствіе меньшаго числа ихъ оборотовъ. Поэтому-то англійскіе быстроходные паровозы съ одною ведущею осью и колесами очень большаго діаметра очень выгодны въ экономическомъ отношеніи, тѣмъ болѣе, что сопротивленіе ихъ движенію—меньше.

И такъ съ увеличеніемъ скорости— η_2 падаетъ и поэтому работа L [ур-іе (115)] возрастаетъ медленно, чѣмъ расходъ угля, слѣдовательно, большая скорость дороже, чѣмъ малая.

Какъ мы видѣли, часть работы L поглощается внутренними сопротивленіями паровоза и на ободъ ведущаго колеса, т. е. собственно для движенія паровоза и поѣзда, передается только часть ея $= \eta_4 \cdot L$, гдѣ η_4 —коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины паровоза. Общій же коэффициентъ полезнаго дѣйствія всего паровоза будетъ $\eta^1 = \alpha \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4$.

Въ лучшемъ случаѣ $\eta_1 = 0,9$; $\eta_2 = 0,75$; $\eta_3 = 0,21$; $\eta_4 = 0,75$ (по Richter'у) и $\alpha = 0,6$, слѣдовательно, $\eta^1 = 0,75 \cdot 0,9 \cdot 0,75 \cdot 0,21 \cdot 0,75 = 0,064$ и $\frac{\eta^1}{\eta_4} = 0,084$, т. е. въ лучшемъ случаѣ паровозъ утилизируетъ только

8,4% и на ободъ ведущихъ колесъ—6,4% энергии, которую могъ развить уголь при совершенномъ сгораніи.

Приводимъ еще данныя проф. Stevart'a, который полагаетъ, что въ среднемъ

1. Полезное дѣйствіе топки, т. е. котла, какъ прибора для сжиганія топлива = около 0,88.

2. Полезное дѣйствіе котла, какъ парообразователя, т. е. коэффициентъ полезнаго дѣйствія поверхности нагрѣва = около 0,81.

3. Полезное дѣйствіе котла, какъ прибора для сохраненія пара = около 0,92, т. е. потери на охлажденіе, увлеченіе паромъ воды и пр. = около 8%.

Полный-же коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла равняется

$$0,88 \cdot 0,81 \cdot 0,92 = 0,65,$$

т. е. замѣчательно высокъ, и, не смотря на то, что усиленному парообразованію и простотѣ—здѣсь всё приносится въ жертву, паровозные котлы не уступаютъ, въ среднемъ, обыкновеннымъ заводскимъ котламъ, испарительность которыхъ съ м². не превышаетъ 15—20 kg.

Эти данныя вполне подтверждаются на практикѣ и для примѣра привожу свѣдѣнія о французскихъ паровозахъ, сообщаемыя инженеромъ Mussat.

Название жел. дороги и № паровоза	Поверхн. нагрѣва трубокъ (m ²)	Поверхн. рѣшетки (m ²) R	Количество топлива, сгорающаго въ топкѣ въ часъ B	Количество топлива въ kg, сгорающее на 1 m ² рѣшетки въ часъ $\frac{B}{R}$	Паропрони- водитель- ность 1 kg угля (т. е. колич. испаренн. воды въ kg)	Средняя испаритель- ность по- верхности нагрѣва (количество пара въ kg съ 1 m ²)	Кoeffи- циентъ полезн. дѣйствія котла η
P. L. M. 116.	132	2,24	1150	510	8,6	75	65%
P. O. 101 .	123	2,15	930	435	8,9	68	72%
Nord—2101.	97	2,04	800	390	8,8	72	72%
Ouest—952 .	125	1,78	920	515	7,6	58	62%
Etat—2601 .	111	1,64	815	495	7,8	58	63%
Midi—1615	102	1,71	1065	620	7,0	73	56%
Въ среднемъ						67	65%

Что касается до паровой машины, то проф. Stevart считаетъ

1. Что потери индикаторной работы при впускѣ, расширеніи и пр., сравнительно съ работою идеальной машины при обыкновенныхъ, нормальныхъ условіяхъ работы, въ среднемъ = около 28% (на основаніи сравненія индикаторныхъ діаграммъ), такъ что „индикаторный коэффициентъ полезнаго дѣйствія“ = 0,72.

2. На внутреннее трение, по опытам Marie Davy и Thurston'a, идетъ 10% и слѣдовательно полезный эффектъ по отношенію къ передачѣ индикаторной работы на ободъ ведущихъ колесъ = 0,90 и поэтому полный коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины паровоза = $0,72 \times 0,90 = 0,65$, т. е. такой-же, какъ и котла.

Общій-же коэффициентъ полезнаго дѣйствія всего паровоза въ среднемъ = $0,65 \times 0,65 = 0,42$.

При этомъ не принималось во вниманіе неизбѣжный и невознаградимый, главный недостатокъ паровой машины—несовершенство ея цикла (см. §§ 136—137). Известно, что совершенная паровая машина (или вѣрнѣе—*„машина съ совершенной диаграммой“*) можетъ дать въ среднемъ лишь 0,12 отъ калорической энергіи, ею получаеваемой. Принимая и это во вниманіе, получимъ дѣйствительный коэффициентъ полезнаго дѣйствія на ободѣ ведущаго колеса = $0,42 \times 0,12 = 0,05$.

Замѣтимъ, что 1 kg. угля, сгорая, можетъ дать maximum 7500 единицъ теплоты и слѣдовательно теоретически могъ-бы развить работу = $424.7500 = 3180000$ kg.m., но въ паровозахъ онъ даетъ только maximum $3180000 \cdot 0,64 = 2040000$ kg.m. Такимъ образомъ при сгораніи на рѣшеткѣ 1 kg. въ 2 секунды (что соотвѣтствуетъ часовому расходу угля въ 1800 kg.) можетъ быть развито maximum

$$\frac{0,5 \cdot 2040000}{75} = 1360 \text{ лошадиныхъ силъ.}$$

Высшій расходъ топлива $B = 2400$ kg. въ часъ и слѣдовательно тогда можетъ быть развито 1800 HP. На эту цифру мы должны смотрѣть, какъ на высшій предѣлъ работы паровоза, достигаемый въ настоящее время при совокупности всѣхъ благоприятныхъ условій; для обыкновенныхъ-же условій и паровозовъ—работа всегда будетъ несравненно ниже.

Наконецъ замѣтимъ, что не всѣ 6,4% энергіи сожженнаго угля, переданные на ободъ ведущихъ колесъ паровоза, пойдутъ на приведеніе въ движеніе вагоновъ съ грузомъ, но часть ихъ пойдетъ на приведеніе въ движеніе самаго паровоза (*„мертваго груза“*). Обозначимъ вѣсъ всего поѣзда черезъ Q , вѣсъ паровоза съ тендеромъ черезъ Q_1 , тогда *„полезный вѣсъ поѣзда“* = $Q - Q_1$ и *„коммерческая степень дѣйствія паровоза“* = $\eta_5 = \frac{Q - Q_1}{Q} = 1 - \frac{Q_1}{Q}$.

Величина η_5 тѣмъ больше, чѣмъ меньше относительный вѣсъ паровоза и больше вѣсъ поѣзда, т. е. чѣмъ меньше $\frac{Q_1}{Q}$. Поэтому понятно стремленіе современныхъ желѣзно-дорожныхъ техникумовъ—*возможно уве-*

считать вѣсъ поѣзда, сравнительно съ вѣсомъ паровоза. Если $\frac{Q-Q_1}{Q} = m$, то $\eta_5 = \frac{m}{m+1}$. Если напримѣръ поѣздъ въ 3 раза тяжелѣе паровоза, то $\eta_5 = \frac{3}{3+1} = 0,75$. Въ быстроходныхъ поѣздахъ $m = \text{maximum} = 4$ и тогда $\eta_5 = 0,80$, такъ что $\eta' \cdot \eta_5 = 0,064 \times 0,80 = 0,051$, т. е. на упряжной крюкъ паровоза, для везенія полезнаго груза, въ наилучшемъ случаѣ передается только 5,1% энергій, развиваемой углемъ при совершенномъ сгораніи.

Понятно, всѣ приводимыя данныя только приблизительны и въ дѣйствительности можетъ быть значительная разница, что и рѣшается опытнымъ путемъ въ каждомъ частномъ случаѣ (см. §§ 123 и 136).

§ 44. Расходъ пара.

Прежде чѣмъ приступить къ изученію паропроизводительной способности паровознаго котла, желательно знать требованія паровой машины, т. е. то количество пара, которое необходимо ей для производства данной работы. Здѣсь надо различать:

1. „Полезный расходъ сухого насыщеннаго пара“ M , который опредѣляется при помощи индикаторныхъ діаграммъ.

2. „Дѣйствительный расходъ сухого насыщеннаго пара“ M_0 , который, вслѣдствіе конденсаціи, утечекъ и пр., значительно больше полезнаго расхода и можетъ быть найденъ только опытнымъ путемъ.

Количество M_0 служить мѣриломъ при опредѣленіи достоинства паровой машины *) и соответствующее количество пара долженъ образовать котель. Отношеніе $\frac{M_0}{M} = \alpha$ — мѣрило полезнаго дѣйствія машины.

Если обозначимъ черезъ: $d(m)$ — діаметръ цилиндра, ходъ котораго $= h(m)$; ε — отсѣчку въ % хода поршня; δ — вѣсъ въ кг. одного m^3 . (находимый по таблицѣ) при давленіи пара = среднему давленію впуска (абсолютному); n — число оборотовъ ведущей оси, соответствующее скорости поѣзда $V \text{ km/h}$ и $D(m)$ — діаметръ ведущихъ колесъ, то для паровоза однократнаго расширенія съ двумя цилиндрами полезный расходъ пара, не принимая во вниманіе вреднаго пространства, будетъ

$$M = 4 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{\varepsilon}{100} \cdot n \cdot \delta, \text{ но } n = \frac{V \cdot 1000}{\pi D},$$

слѣдовательно

$$M = 10 \cdot \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot V \text{ kg въ h} \dots \dots \dots (126)$$

*) Для удобства сравненія расходъ пара относить къ 1 HP.

Вслѣдствіе большого сжатія въ паровозахъ, обыкновенно пара не тратится на заполненіе вреднаго пространства, но если сжатіе не велико, то необходимо принять во вниманіе вредное пространство и то количество пара, которое остается въ цилиндрѣ въ концѣ выпуска. Тогда находимъ

$$M = 10 \frac{d^2 \cdot h}{D} (\varepsilon + h_0) V \cdot \delta - 10 \frac{d^2 \cdot h}{D} (\varepsilon_3 + h_0) V \delta_1,$$

гдѣ δ_1 —вѣсъ m^3 . сухого насыщеннаго пара при абсолютномъ давленіи, соответствующемъ концу выпуска (точка 3—фиг. 4). Такимъ образомъ

$$M = 10 \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot V \cdot \left\{ (\varepsilon + h_0) \delta - (\varepsilon_3 + h_0) \delta_1 \right\} \dots (126^{bis})$$

Для паровозовъ Compound паръ расходуется только малымъ цилиндромъ діаметра = $d_1(m)$ и такимъ же образомъ найдемъ для него расходъ, равный

$$M' = 5 \frac{d_1^2 \cdot h}{D} \cdot \delta' \cdot \varepsilon' \cdot V' \dots (127)$$

Обозначая $\frac{d^2 \cdot h}{D}$ черезъ u и $\frac{d_1^2 \cdot h}{D}$ черезъ u' (эти величины постоянны для даннаго паровоза), находимъ

$$M = 10 \cdot u \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot V \dots (126^l)$$

и

$$M' = 5 \cdot u' \cdot \delta' \cdot \varepsilon' \cdot V' \dots (127^{bis})$$

Такимъ образомъ полезный расходъ сухого насыщеннаго пара пропорціоналенъ произведенію $\varepsilon \cdot V$, т. е. въ общемъ

$$M = f(\varepsilon \cdot V) \dots (128)$$

Какъ сказано, котель долженъ доставлять количество пара M_0 kg. въ часъ и если $\frac{M_0}{M} = \alpha$, то $M_0 = M \cdot \alpha = \alpha \cdot f(\varepsilon \cdot V) = f_1(\varepsilon V)$, т. е. паропроизводительность котла точно также должна быть функціе произведенія εV *).

Расходъ же сухого, насыщеннаго пара на 1 HP въ часъ будетъ равенъ

$$m = \frac{M}{L} = \frac{10 \cdot \frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \delta \cdot \varepsilon \cdot V}{\frac{d^2 \cdot h}{D} \cdot \frac{p_i \cdot V}{0,027}} = \frac{0,27 \cdot \delta \cdot \varepsilon}{p_i} \text{ kg} \dots (129)$$

*) Это ясно видно на частномъ примѣрѣ, приведенномъ въ § 140.

для обыкновенныхъ паровозовъ и

$$m' = \frac{M'}{L' + L''} = \frac{0,27 \cdot \varepsilon' \cdot \delta'}{p_i + \frac{d_{11}''}{d_1^2} p_i''} \dots \dots \dots (129^{\text{bis}})$$

для паровозовъ Compound, гдѣ величины L , L' и L'' опредѣляются по формуламъ (45) и (46).

Иногда опредѣляютъ еще, для сравненія съ дѣйствительнымъ расходомъ, „теоретическій полезный расходъ пара“ M_1 , предполагая, что объемъ части цилиндра, соответствующій данной отсѣчкѣ, заполняется паромъ котлового давленія p_0 *) и отнеся, такимъ образомъ, уменьшеніе давленія пара при проходѣ пара черезъ узкія сѣченія регулятора и паропроводныхъ каналовъ и потери вслѣдствіе охлажденія—къ тѣмъ величинамъ, которыя находятся опытно (называя ихъ общимъ именемъ—„потери“). Тогда плотность пара δ для даннаго котла уже будетъ постоянна и приблизительно = $0,5(p_0 + 1)$ и напр. вмѣсто формулъ (126¹) и (129) получимъ

$$M_1 = 5 \cdot u \cdot (p_0 + 1) \cdot \varepsilon \cdot V \text{ и } m_1 = \frac{M}{L} = \frac{5 \cdot u \cdot (p_0 + 1) \cdot \varepsilon \cdot V}{L} \text{ и т. д.}$$

Понятно, этотъ теоретическій полезный расходъ всегда больше того дѣйствительнаго полезнаго расхода, который опредѣляется на основаніи индикаторныхъ діаграммъ и называется „индикаторнымъ“ или „видимымъ“ и эта разница становится тѣмъ больше, чѣмъ скорѣе движется паровозъ, такъ какъ въ концѣ впуска паръ уже входитъ черезъ суженное паровпускное окно въ меньшемъ количествѣ, чѣмъ требуется теоретически (см. § 6). Напр., по опытнымъ даннымъ Demoulin'a, бывали случаи, что данный паровозъ, при скорости движенія въ 90 км/ч и отсѣчкѣ въ 30%, расходовалъ пара за каждый ходъ поршня *меньше*, чѣмъ при скорости въ 20 км/ч и отсѣчкѣ 12—15%.

Дѣйствительный же расходъ пара $M_0 = H \cdot k$, гдѣ H —поверхность нагрѣва котла въ м². и k —паропроизводительность съ 1 м². его и $m_0 = \frac{H \cdot k}{L}$ или для паровозовъ-Compound $m'_0 = \frac{H \cdot k}{L' + L''}$ даетъ *дѣйствительный расходъ пара въ кг. на HP въ часъ* и опредѣляется только опытно. Замѣтимъ, что расходъ m_0 и m'_0 обыкновенно наименьшій для среднихъ скоростей. При большихъ скоростяхъ онъ повышается вслѣдствіе уменьшенія давленія при впускѣ, бѣльшей потери отъ тренія и бѣльшей влажности пара и при малыхъ скоростяхъ—увеличивается вслѣдствіе малаго расширенія (т. е. большихъ наполненій).

*) Или 0,9 p_0 полагая потери = 10%.

Инженеръ Richter, произведя въ послѣднее время изслѣдованія Compound-паровозовъ завода Шварцкопфа (курьерскаго съ 2 спаренными осями и товарнаго съ 3 спаренными осями), опредѣлили между прочимъ отношеніе теоретическаго полезнаго расхода пара M_1 , рассчитаннаго предполагая, что давленіе впуска постоянно и $= 0,9$ котлового, и дѣйствительнаго расхода $= \beta \cdot M_1$. При скоростяхъ поѣзда въ V км/ч и отсѣчкѣ въ маломъ цилиндрѣ $= \epsilon_1$ найдено

ТАБЛИЦА VIII.

Для курьерскаго паровоза.			Для товарнаго паровоза.		
V	ϵ_1	β	V	ϵ_1	β
41	0,65	0,96	28,5	0,20	0,59
50	0,62	1,10	43,0	0,30	0,60
59	0,29	0,82	43,0	0,34	0,66
60	0,50	0,91	40,0	0,40	0,79
70	0,40	0,74	38,0	0,50	0,73
80	0,30	0,64	22,0	0,70	0,99
80	0,42	0,79	18,0	0,60	1,00
90	0,57	0,68	Въ среднемъ для курьер. паровозовъ $\beta = 0,80$.		
91	0,40	0,62	Въ среднемъ для товарн. паровозовъ $\beta = 0,77$.		

Такимъ образомъ β почти всегда меньше единицы, т. е. дѣйствительный расходъ меньше теоретическаго и онъ зависитъ отъ скорости и отсѣчки. Какъ и слѣдовало ожидать, β возрастаетъ съ уменьшеніемъ скорости и увеличеніемъ отсѣчки, такъ какъ паденіе давленія и сжатіе пара тѣмъ больше, чѣмъ больше V и меньше ϵ_1 .

Но можетъ случиться и такое явленіе: при нѣкоторыхъ соотношеніяхъ ϵ_1 и V , конденсация уменьшится и среднее давленіе впуска повысится, а слѣдовательно, увеличится и β . Подобный случай наблюдался въ курьерскомъ паровозѣ при $V = 50$ км/ч и $\epsilon_1 = 0,62$.

§ 45. Способъ Warington'a нахождения вѣса расходуемаго сухого насыщенаго пара на 1 индикаторную лошаадь въ часъ отличается большою простотою и удобствомъ примѣненія на практикѣ.

Если L — индикаторная работа въ HP , опредѣляемая по диаграммѣ, и p_i kg. среднее индикаторное давленіе, то находимъ

$L = \frac{10000 \cdot F \cdot p_i \cdot v}{75}$, гдѣ F —площадь поршня въ м^2 . и v —скорость его движенія въ $\text{м}/\text{сек}$. Отсюда $75 \cdot L = 10000 \cdot F \cdot p_i \cdot v =$ работѣ въ kgm . Эта работа въ часъ на одну лошадиную силу и при среднемъ давленіи $= 1 \text{ kg}$., т. е. при $L=1$ и $p_i=1$ будетъ $75 \cdot 3600 = 10000 (F \cdot v \cdot 3600) = 10000 V_0$, называя черезъ V_0 объемъ $= 3600 \cdot F \cdot v$, описанный въ 1 часъ. Отсюда $V_0 = \frac{75 \cdot 3600}{10000} = 27 \text{ м}^3$. или выражая p_i въ ат. (такъ какъ $1 \text{ ат.} = 1,0333 \text{ kg}$.), находимъ $V_0 = 26,13 \text{ м}^3$.

Если бы эту работу мы производили при помощи воды, имѣющей опредѣленное давленіе $= 1 \text{ ат.}$, то ея слѣдовательно потребовалось бы $26,13 \text{ м}^3$. или 26130 литровъ. При водѣ давленіемъ въ $p_i \text{ atm}$. ея потребовалось бы $\frac{26130}{p_i}$ литровъ. Для производства той же работы требуется такой же объемъ и пара упругостью p_i , но вѣсь пара будетъ другой и для полученія его нужно указанный объемъ воды (или пара) раздѣлить на объемъ v_i въ литрахъ 1 kg . сухого насыщеннаго пара упругостью p_i . Такимъ образомъ вѣсь израсходованнаго сухого пара при постоянномъ (среднемъ) давленіи $= p_i$ въ часъ на 1 лошадиную силу будетъ

$$M_a = \frac{26130}{p_i \cdot v_i}$$

Этотъ вѣсь будетъ имѣть ту-же величину и для машины съ расширеніемъ, если давленіе въ концѣ расширенія p_e будетъ $= p_i$, такъ какъ объемъ въ метрахъ v_e , соотвѣтствующій давленію p_e , равенъ v_i , т. е. въ данномъ случаѣ

$$M_a = \frac{26130}{p_e \cdot v_e}$$

Но если среднее индикаторное давленіе p_i отличается отъ конечнаго давленія расширенія p_e , то расходъ измѣнится въ отношеніи этихъ давленій и будетъ равенъ

$$m_0 = M_a \cdot \frac{p_e}{p_i} = \frac{26130}{p_e \cdot v_e} \cdot \frac{p_e}{p_i} = \frac{26130}{v_e \cdot p_i} \dots \dots (130)$$

т. е. для полученія расхода сухого пара достаточно величину $\frac{26130}{v_e}$ раздѣлить на p_i . Величина объема въ метрахъ v_e 1 kg . пара для различныхъ конечныхъ давленій расширенія p_e , а также величины $\frac{26130}{v_e}$ — приведены въ концѣ книги (таблица № 9). Такимъ образомъ означенный вѣсь

можно получить на основании индикаторной диаграммы, не зная размеров машины.

Вредное пространство увеличивает этот расход, сжатие же уменьшает. Чтобы принять это во внимание, проведем через точку k (ф. 81), определяющую конечное давление p_e , линию kn параллельно оси абсцисс и найдем точку ее пересечения m с кривой сжатия, продолженной, в случае необходимости. Тогда исправленный вѣсь пара будетъ

$$m = m_0 \cdot \frac{km}{kn} \dots \dots \dots (131)$$

Въ случаѣ кривой A (фиг. 82)—сжатие доведено до давления p_e и тогда $\frac{km}{kn} = 1$; при кривой B или C (фиг. 83) $\frac{km}{kn} < 1$ и наконецъ при кривой E (фиг. 81) $\frac{km}{kn} > 1$.

Если напр. для кривой B имѣемъ: $p_e = 2,0$ и $p_i = 4,0$ ат., то изъ таблицы находимъ $v_e = 860$ и $\frac{26130}{v_e} = 30,5$ kg., слѣдовательно расходъ сухого пара на 1 *HP* будетъ $\frac{30,5}{4,0} = 7,625$ kg. Если $\frac{km}{kn}$, по диаграммѣ, = $\frac{89}{95} = 0,937$, то исправленный вѣсь пара будетъ $7,625 \times 0,937 = 7,14$ kg.

Примѣняя этотъ способъ къ машинамъ Compound или Woolf, беремъ конечное давление p_e по диаграммѣ большого цилиндра, но среднее давление p_i надо рассчитать какъ общее для обоихъ цилиндровъ. Если p'_i и p''_i среднее индикаторное давление въ маломъ и большомъ цилиндрахъ, отношеніе объемовъ которыхъ = $\frac{v}{V} = \alpha$, то $p_i = p'_i \cdot \alpha + p''_i$ и исправленіе на сжатіе и вредное пространство тогда дѣлается по диаграммѣ большого цилиндра. Напр. на фиг. 84 и 85 представлены дѣйствительныя диаграммы въ натуральную величину, для которыхъ былъ определенъ инж. Buchetti и дѣйствительный расходъ изъ опыта. По диаграммѣ A имѣемъ $p'_i = 2,25$ kg., для диаграммы B имѣемъ $p''_i = 1,50$ kg. Отношеніе объемовъ $\frac{v}{V} = \frac{1}{2,84}$, слѣдовательно

$$p_i = 2,25 \cdot \frac{1}{2,84} + 1,50 = 2,3 \text{ kg.}$$

Продолжая кривую расширения B , находимъ конечное давление $p_e = 1,0$. Таблица даетъ:

$$v_e = 1650 \text{ и } \frac{26130}{v_e} = 15,87 \text{ kg,}$$

откуда

$$M = \frac{15,87}{p_i} = \frac{15,87}{2,3} = 6,90 \text{ kg.}$$

Послѣ исправленія находимъ

$$6,9 \times \frac{88}{90} = 6,75 \text{ kg.}$$

Считая, что паромъ увлечено 10% воды, находимъ расходъ влажнаго пара = 7,51 kg. Прямой опытъ далъ расходъ = 7,54 kg.

Опытныя данныя о дѣйствительномъ расходѣ пара—см. § 118.

§ 46. Паропроизводительность котла.

Паропроизводительность котла имѣеть первостепенное значеніе для паровоза, такъ какъ для поддержанія извѣстной средней скорости движенія поѣзда при данныхъ условіяхъ—требуется опредѣленное количество пара и если котель не въ силахъ его дать, то паровозъ будетъ не въ состояніи исполнить предъявляемыя къ нему требованія, т. е. будетъ везти поѣздъ съ опозданіемъ или-же для сохраненія скорости—долженъ будетъ брать поѣзда меньшаго вѣса. Поэтому, при изслѣдованіи паровоза, главнымъ образомъ, требуется обратить вниманіе на его паропроизводительность, выяснитъ причины ея недостаточности и опредѣлитъ тѣ условія, при которыхъ постоянная паропроизводительность достигаетъ своей наибольшей величины и позволить развить паровозу наибольшую работу. Разберемъ-же тѣ обстоятельства, которыя вліяютъ на эту величину.

Паропроизводительная способность котла зависитъ не только отъ абсолютныхъ его размѣровъ (для даннаго паровоза постоянныхъ), т. е. поверхности нагрѣва, его объема и въ особенности отъ площади колосниковой рѣшетки, но также отъ качества употребляемаго топлива и отъ количества его, сжигаемаго на 1 m². площади рѣшетки, такъ какъ воды будетъ испарено тѣмъ болѣе, чѣмъ большее количество газовъ и болѣе высокой температуры пройдетъ черезъ дымогарныя трубки паровоза. Для этого требуется соответствующій притокъ воздуха, т. е. достаточная тяга. Но работа, которую приходится развивать паровозу, въ высшей степени непостоянна и находится въ зависимости отъ состава поѣзда, профили пути, ускоренія и замедленія движенія при проходѣ черезъ спеціальныя мѣста (мосты, переѣзды и пр.) и при подходѣ и отходѣ со станцій и слѣдовательно паропроизводительность также должна измѣняться, но это регулированіе происходитъ здѣсь вполнѣ автоматически, такъ какъ при болѣе работѣ проходитъ черезъ конусъ болѣе количество пара, что вызываетъ большую тягу, а слѣдовательно и паропроизводительность, и наоборотъ. Здѣсь, слѣдовательно, является соразмѣрность производительности

пара съ его потребленіемъ и, по выраженію Demoulin'a, „каждый ходъ поршня приготовляетъ себѣ слѣдующій“. Въ этомъ и заключается основной принципъ дѣйствія паровоза: *соразмѣрность развиваемой работы съ требуемой*.

Такъ какъ, слѣдовательно, паропроизводительность пропорціональна работѣ или количеству выходящаго мятга пара, другими словами—пропорціональна количеству потребленнаго пара, то, на основаніи предыдущаго §, она зависитъ отъ произведенія $\epsilon \cdot V$, что вполне подтверждается и опытомъ, напримѣръ: инженеромъ Richter'омъ изъ его послѣднихъ опытовъ въ Германіи надъ 2-хъ цилиндровымъ быстроходнымъ паровозомъ Compound съ 2 спаренными осями и нормальнымъ давленіемъ 13 абс. ат. и надъ товарнымъ паровозомъ Compound съ 3 спаренными осями и тѣмъ-же давленіемъ—найдено:

Быстроходн. паровозъ			Товарный паровозъ		
Скорость км/ч	Отсѣчка ϵ_1 въ м. цил.	Паропрод. въ кг съ м ² въ часъ	Скорость км/ч	Отсѣчка ϵ_1 въ м. цил.	Паропрод. въ кг съ м ² въ часъ
59	0,29	22,4	43,0	0,30	20,6
60	0,50	42,5	42,0	0,34	26,3
80	0,30	24,8	28,5	0,20	8,8
80	0,42	46,5	22,0	0,70	38,5
70	0,40	36,5	38,0	0,50	37,8
91	0,40	37,5	40,0	0,40	33,1
90	0,57	55,0			

Какъ видимъ, паропроизводительность зависитъ главнымъ образомъ отъ отсѣчки и въ значительно меньшей степени отъ скорости, увеличиваясь—при ихъ увеличеніи. *Опредѣлить эту зависимость количества пара, получаемого съ м² поверхности нагрѣва даннаго паровоза (такъ называемое „напряженіе поверхности нагрѣва“) отъ ϵ и V , составляетъ одну изъ серьезнѣйшихъ задачъ изслѣдователя.*

Такимъ образомъ, теоретически говоря, въ паровозахъ парообразованіе должно строго и автоматически регулироваться сообразно съ дѣйствительнымъ расходомъ пара. Но такой строгой гармоніи въ дѣйствительности нѣтъ. При движеніи по подъему, топливо разгорается, но когда онъ кончается и начинается горизонталь или спускъ и регуляторъ закрывается—происходитъ неизбѣжное нарушеніе равновѣсія, въ особенности при толстомъ слое топлива, и пара образуется больше, чѣмъ его потребляется. Избытокъ выходитъ черезъ предохранительные клапаны.

Этого можно избѣгать только при употребленіи жидкаго топлива (напримѣръ нефти), притокъ котораго въ топку можно регулировать по желанію.

Понятно, для увеличенія паропроизводительности—даннаго топлива должно сжигаться на данной рѣшеткѣ больше, для чего необходимо под- водъ требуемаго количества воздуха, т. е. надлежащая тяга. Тяга воздуха вызывается образованіемъ въ дымовой коробкѣ разрѣженнаго пространства, которое обуславливается: во 1-хъ, ударами пара, вытекающаго изъ конуса въ моментъ начала выпуска изъ цилиндровъ и во 2-хъ, паромъ, выте- кающимъ послѣ удара. Удары невыгодны, такъ какъ благодаря имъ горѣніе происходитъ порывами, что невыгодно отражается на расходѣ топлива и на состояніи дымогарныхъ трубокъ и стѣнокъ огневой коробки и поэтому желательно, чтобы интенсивность и участіе удара въ тягѣ были меньше, что бываетъ при меньшемъ конечномъ давленіи пара въ цилиндрѣ. При этомъ тяга будетъ равномернѣе и топливо утилизируется лучше. Этимъ и объясняются тѣ факты 1) что паровозы Compound при двухъ только цилиндрахъ, т. е. несмотря на половинное число ударовъ, хорошо дѣлаютъ паръ и 2) что паровозы съ большими цилиндрами, при которыхъ возрастаетъ скорость истеченія пара изъ конуса, обнаруживаютъ лучшее горѣніе и паропроизводительность—сравнительно съ паровозами, снабжен- ными малыми цилиндрами.

Изъ сказаннаго ясно, что тяга воздуха, иначе количество входя- щаго въ топку воздуха въ единицу времени, пропорціональна вѣсу выле- тающаго пара (а слѣдовательно произведенію ϵV) и его давленію $(p_a + 1)$, т. е. тяга—функция $(\epsilon, V, p_a + 1)$. Съ другой стороны, тяга обуславли- вается разрѣженіемъ (вакуумомъ) въ дымовой коробкѣ, а посему и вакуумъ, который можно измѣрить при помощи особыхъ приборовъ (§ 50), также долженъ быть пропорціоналенъ тѣмъ же величинамъ. Такимъ образомъ, тяга и вакуумъ имѣютъ большое значеніе для паровозовъ.

При изслѣдованіи паровозовъ необходимо обратить серьезное вни- маніе на *положеніе конуса въ дымовой коробкѣ и величину его отверстія*, такъ какъ это имѣетъ самое существенное вліяніе на паропроизводитель- ность котла. По наблюденію Borries'a—при слишкомъ высокомъ положе- ніи конуса—движеніе газовъ происходитъ преимущественно по верхнимъ дымогарнымъ трубкамъ, что вызываетъ раздуваніе огня въ передней части рѣшетки, уносится много летучей золы и парообразование происходитъ неудовлетворительно. Напротивъ—слишкомъ низкое положеніе конуса вы- зываетъ движеніе газовъ по нижнимъ дымогарнымъ трубкамъ, сильное волненіе и увлеченіе воды паромъ. Эта зависимость точно еще не вы- яснена, но при обнаруженномъ плохомъ парообразованіи или увлеченіи большого количества воды—на положеніе конуса слѣдуетъ обратить вниманіе.

Также и изменение величины отверстия конуса действует очень энергично. По исследованиямъ Zeuner'a, при измененіи напр. отверстия конуса на $\pm 30\%$ отъ нѣкоторой данной величины, количество всасываемаго воздуха изменяется на $+22\%$ и -14% . При этомъ при уменьшеніи отверстия конуса давление на нерабочую сторону поршня сдѣлается больше, слѣдовательно, полезная работа цилиндровъ будетъ меньше и поэтому расходъ пара на 1 *HP* увеличится. Очевидно поэтому, что исследования разряженія въ дымовой коробкѣ и его зависимость отъ скорости, величины отсѣчки, положенія конуса и измененія величины его отверстия—можетъ дать весьма цѣнные указанія и обнаружить нѣкоторые недостатки паровоза, по устраненіи которыхъ его паропроизводительность, а слѣдовательно, и работа—повысится.

Между прочимъ — паровозы Compound и обыкновенные даютъ различную степень разряженія, что напр. видно изъ сравнительныхъ обширныхъ опытовъ, произведенныхъ съ этою цѣлью на желѣзной дорогѣ Western-New-York. Было найдено:

Скорость въ км/ч		Разряженіе въ дым. коробкѣ въ мм вод. столба		Вѣсъ поѣзда съ пустыми вагонами, тоннъ	
Норм.	Compound	Норм.	Compound	Норм.	Compound
16	24	173	25		
25	27	101	51	47	30
29	32	203	89		
37	37	178	76		

Вѣсъ поѣзда въ t	Типъ паровоза	Средняя температура въ дымовой кор.	Разряженіе въ дым. коробкѣ	
			Среднее	Наибольшее
335	Нормального . . .	343	138 mm	241 mm
454	Compound . . .	308	65	178
1433	Нормального . . .	372	167	265
1432	Compound . . .	310	92	178
1180	Нормального . . .	363	180	279
1300	Compound . . .	335	95	152

Такимъ образомъ мы видимъ, что разръженіе въ дымовой коробкѣ въ паровозахъ-Compound значительно уменьшается, тогда какъ температура уменьшается незначительно.

Замѣтимъ, что такого большого разръженія достигаютъ въ С.-Америкѣ только благодаря сильной работѣ конуса. Обыкновенно же оно = 75—100 мм. водянаго столба.

До сихъ поръ предполагалось, что топливо остается одно и то-же, но самое существенное вліяніе на паропроизводительность котла—безспорно оказываетъ *качество топлива и родъ его*, такъ какъ при этомъ мѣняется температура продуктовъ горѣнія, а слѣдовательно и количество теплоты, передаваемое водѣ, которое пропорціонально разности температуръ огневого и водянаго пространства котла. При плохомъ углѣ—для полученія того-же количества пара необходима болѣе сильная тига, чтобы вызвать сгораніе большого количества угля въ часъ, черезъ что образуется требуемое количество теплоты, но при этомъ большее его количество уносится въ трубу, почему, при проектированіи паровозовъ, предпочитаютъ, въ данномъ случаѣ, увеличивать площадь рѣшетки. Что-же касается до высоты слоя топлива въ топкѣ, разстоянія между колосниками и пр., то это зависитъ отъ рода топлива. Для необходимыхъ вычисленій при изслѣдованіи котла, въ концѣ книги приведены таблицы съ данными относительно состава и теплотворной способности различныхъ сортовъ горючаго. Поэтому при характеристикѣ котла необходимо, указывая на его паропроизводительную способность, сказать, при какомъ топливѣ она получена. При этомъ замѣтимъ, что и умѣніе топить, какъ извѣстно, также играетъ огромную роль и плохіе кочегары и при хорошемъ углѣ будутъ имѣть плохіе результаты (см. § 114).

Испареніе съ м². поверхности нагрѣва различно для различныхъ частей паровоза. Зависимость горѣнія и испаренія отъ конструкціи и размѣровъ котла выяснена опытами Henry и Magié на желѣзной дорогѣ Paris-Lyon-Méditerranée. Изъ нихъ между прочимъ ясно, что паропроизводительность уменьшается, по мѣрѣ удаленія отъ топки, что и понятно; поэтому дымогарныя трубы не слѣдуетъ дѣлать длиннѣе 4 м. Опыты Goeffroy, напр., произведенные надъ паровознымъ котломъ, который внутри былъ перегородженъ на 5 равныхъ отдѣленій, показали, что получаемыя количества пара рѣзко уменьшались по направленію къ трубѣ. Имъ было получено изъ

топки	2-го отдѣленія	3-го	4-го	5-го
44%	28%	15%	8%	5%

всего количества пара, даваемого котломъ. Такимъ образомъ паропроизводительность 5-го отдѣленія была уже очень слаба и поэтому увеличеніе поверхности нагрѣва выгодно только до извѣстнаго предѣла, за которымъ

оно уже не приносит существенной выгоды и только удорожает устройство котла. Поэтому новѣйшіе французскіе паровозы дѣлаются болѣе короткими съ замѣною обыкновенныхъ дымогарныхъ трубокъ ребристыми системы *Serge'a*, которыя обнаружили, по опытамъ *Henry*, прекрасную паропроизводительность.

Поверхность нагрѣва раздѣляется на прямую (топка) и не прямую (дымогарныя трубы). Не касаясь извѣстнаго спора о преимуществахъ той или другой, замѣтимъ, что послѣднее время были устроены паровозные котлы системъ *Verderber'a*, *Bork'a* и др., гдѣ топка, выложенная кирпичемъ и не окруженная водою, совершенно устранена отъ участія въ паропроизводительности и тѣмъ не менѣе—послѣдняя не пострадала, почему, повидимому, нельзя придавать особеннаго значенія лучистой теплотѣ, передающейся главнымъ образомъ топкѣ. Такъ какъ во всякомъ случаѣ на практикѣ, при изслѣдованіи котловъ, раздѣливши поверхность котла на двѣ части, опредѣлить степень участія каждой въ парообразованіи крайне трудно, то слѣдуетъ опредѣлять паропроизводительность среднимъ числомъ на m^2 . полной поверхности нагрѣва, т. е. суммы прямой и не прямой поверхности.

Наконецъ имѣеть еще вліяніе и *качество воды*. При выдѣленіи твердаго котельнаго камня, препятствующаго проходу теплоты, паропроизводительность можетъ понизиться весьма значительно (отъ 30% и выше—см. § 108). Поэтому вода должна быть очищена, на основаніи научныхъ законовъ (по заявленію *Wehrenfennig'a*—всѣ „универсальныя“ и „секретныя“ средства—никуда не годны, такъ какъ по большей части развѣдаютъ котельныя листы).

Итакъ мы видимъ, что паропроизводительность зависитъ отъ качества топлива и воды, умѣнія топить, положенія конуса и величины его отверстія, отъ скорости движенія поѣзда, отсѣчки пара въ цилиндрѣ и пр., а потому сказать что-нибудь общее и дать общія руководящія цифровыя данныя—невозможно. Вопросъ этотъ долженъ быть изслѣдованъ въ каждомъ частномъ случаѣ для данныхъ специальныхъ условій. Можно только сказать, что въ лучшихъ современныхъ паровозахъ при хорошемъ углѣ—въ среднемъ можно получить пара до 67 kg. съ m^2 . поверхности нагрѣва, колеблясь отъ 58 до 75 kg. Какъ на крайній предѣлъ, могу указать на паровозъ Каледонской желѣзной дороги (вѣсь съ тендеромъ 86 t.), который перевозитъ въ 32 минуты поѣзда въ 235 t. на разстояніи 52,25 km. (т. е. со среднею скоростью 98 km/h). Онъ развиваетъ до 1124 *HP* и въ среднемъ съ m^2 . поверхности нагрѣва даетъ 86,5 kg. пара.

Обыкновенно-же паропроизводительная способность значительно ниже указанныхъ величинъ, а именно: при отопленіи каменнымъ углемъ съ cadaго m^2 . поверхности нагрѣва получаютъ въ часъ 26—43 kg. пара и при отопленіи дровами 26—35 kg. вмѣстѣ съ тѣмъ необходимо

имѣть въ виду, что съ увеличеніемъ общей паропроизводительности котла, путемъ сжиганія на рѣшеткѣ большаго количества угля—*уменьшается полезное дѣйствіе котла*, т. е. каждый kg. сожженного угля даетъ меньшее количество пара. Это и понятно, такъ какъ при болѣе тѣгѣ газы проходятъ черезъ дымогарныя трубки съ болѣею скоростью и отдаютъ водѣ меньшее количество теплоты. Кромѣ того происходятъ болѣшія потери отъ искръ, является часто излишній притокъ воздуха и пр. На фиг. 86 представлены, на примѣръ, результаты опытовъ проф. Goss'a въ паровой лабораторіи университета Purdue, изъ которыхъ видно, какъ падаетъ количество пара, доставляемое углемъ, съ увеличеніемъ количества угля, сжигаемаго на рѣшеткѣ въ часъ.

Приводимъ еще, для нагляднаго указанія, таблицу, рассчитанную для угля, имѣющаго испарительную способность = 8 kg., показывающую паропроизводительность (теоретическую) котла при различной степени „напряженія топки“, т. е. при разномъ количествѣ сжигаемаго угля въ часъ на 1 м². рѣшетки (Стемпковскій).

Таблица IX.

Части котла	Расходъ угля въ часъ					
	500 kg		400 kg		300 kg	
	Темпер. въ С ^о	Испарит на 1 м ²	Темпер. въ С ^о	Испарит на 1 м ²	Темпер. въ С ^о	Испарит на 1 м ²
Тонка	1300 ^о	87	1300 ^о	87	1300 ^о	87
1 погонный м дымогарн. трубъ	1000 ^о	32,5	925 ^о	30,6	830 ^о	27,7
2 „ „	800 ^о	25,7	710 ^о	21,5	570 ^о	17,0
3 „ „	650 ^о	19,0	550 ^о	15,4	430 ^о	10,3
4 „ „	550 ^о	14,6	450 ^о	10,9	230 ^о	6,4
Выходъ газовъ	480 ^о	11,4	390 ^о	8,0	284 ^о	4,0
	—	190,2	—	173,4	—	152,4
Производительность котла, т. е. кол. пара въ kg съ 1 м ² въ часъ	—	31,9	—	28,8	—	25,3
Полезная работа котла въ%	—	63	—	69	—	78

Такимъ образомъ болѣе парообразование получается на счетъ экономическаго потребленія топлива и уменьшенія степени полезнаго дѣйствія котла. Въ этомъ и заключается существенная разница во взгля-

дахъ американскихъ и европейскихъ инженеровъ на эксплуатацію паровозовъ: въ Европѣ ставятъ на первомъ планѣ экономное дѣйствіе паровозовъ, почему паропроизводительность ихъ сравнительно меньше и паровые котлы велики въ сравненіи съ вѣсомъ пара, расходуемаго въ единицу времени; въ Соединенныхъ Штатахъ-же наоборотъ—на экономическія условія парообразования не обращаютъ вниманія и прежде всего заботятся о производительности паровоза, почему котлы ихъ паровозовъ спроектированы сравнительно скупо и паропроизводительность ихъ съ 1 м². на столько велика, что американскіе паровозы могутъ работать при всякихъ скоростяхъ съ отсѣчками въ 40—50%, т. е. съ слабымъ расширеніемъ пара, почему они работаютъ гораздо менѣе экономно, чѣмъ европейскіе паровозы. У нихъ поэтому съ увеличеніемъ скорости сила тяги падаетъ медленно, такъ какъ неизмѣняемость силы тяги зависитъ исключительно отъ паропроизводительности котла, если только паровые каналы цилиндровъ будутъ въ состояніи пропускать все количество образующагося пара.

§ 47. Количество пара, доставляемое котломъ.

Обозначимъ черезъ M_0 количество пара, доставляемое котломъ въ часъ, сообразно съ количествомъ сожженного топлива. Завися отъ послѣдняго, M_0 будетъ пропорціонально:

1. Площади колосниковой рѣшетки и поверхности нагрѣва.

2. Количеству входящаго воздуха въ топку или при данной рѣшеткѣ—его скорости v' , зависящей отъ разности между атмосфернымъ давленіемъ p' и давленіемъ въ дымовой коробкѣ p'' и пропорціональной, по законамъ истеченія газовъ, $\sqrt{p' - p''}$. Но вакуумъ ϕ (въ мм. водянаго или ртутнаго столба) въ дымовой коробкѣ и обусловливается этою разницею $p' - p''$, слѣдовательно M_0 должно быть пропорціонально $\sqrt{\phi}$. Замѣтимъ, что величина $p' - p''$ обыкновенно = 3—5 мм. ртутнаго столба и рѣдко превышаетъ 7 мм., повышаясь только въ нѣкоторыхъ курьерскихъ паровозахъ до 14 мм. Между прочимъ приведемъ здѣсь результаты упомянутыхъ уже выше опытовъ Richter'a надъ разрѣженіемъ въ дымовыхъ коробкахъ паровозовъ Compound—курьерскомъ съ 2 спаренными осями (13 ат. давленія въ котлѣ) и товарномъ съ 3 спаренными осями (см. таблицу на стр. 145).

3. Наконецъ, M_0 зависитъ отъ количества теплоты, которое передается водѣ и которое не равно количеству освобожденной топливомъ теплоты, но значительно его меньше. Оно находится въ зависимости отъ времени прохода газовъ мимо поверхностей, и слѣдовательно, пропорціонально ихъ количеству и обратно пропорціонально площади поперечнаго сѣченія дымогарныхъ трубокъ. Все сказанное вполне подтверждается опытомъ. Какъ

Курьерскій паровозъ					Товарный паровозъ				
Скорость км/ч	Отъѣха въ м. цил. ε_1	Отъѣха въ б. цил. ε_2	Давленіе въ конусѣ $\frac{+k}{mm(Hg)}$	Разрѣженіе въ дымовой коробкѣ $\frac{-i}{mm(H_2O)}$	Скорость км/ч	ε_1	ε_2	$\frac{+k}{mm(Hg)}$	$\frac{-i}{mm(H_2O)}$
80	0,30	0,40	0	35	43,0	0,30	0,44	25	40
70	0,40	0,50	10	80	42,0	0,34	0,47	20	40
91	0,40	0,50	?	55	40,0	0,40	0,52	5	55
80	0,42	0,52	0	80	38,0	0,50	0,60	30	70
60	0,50	0,60	0	80	18,0	0,60	0,68	0	50
90	0,57	0,65	10	100	20,0	0,70	0,75	20	50
50	0,62	0,69	15	95					
41	0,65	0,72	10	85					

мы видѣли раньше, на величину M_0 вліяетъ масса причйнъ, но кромѣ ихъ, для достиженія благоприятныхъ обстоятельствъ, необходимо, чтобы:

а) конструкція колосниковъ соответствовала роду топлива; б) топлива клалось на колосники опредѣленный слой въ зависимости отъ степени его спекаемости и величины кусковъ; в) дымогарныя трубки были чисты; г) топочныя дверцы и дверцы дымовой коробки плотно закрывались, во избѣжаніе уменьшенія силы тяги и е) зольниковый клапанъ былъ открытъ надлежащимъ образомъ.

Принять во вниманіе вліяніе всѣхъ обстоятельствъ при расчетѣ—невозможно и поэтому вопросъ о паропроизводительной способности даннаго котла, работающаго при данныхъ обстоятельствахъ, можетъ быть рѣшенъ только опытнымъ путемъ.

Наибольшее значеніе имѣетъ та *максимальная паропроизводительность*, которая *свойственна данному котлу при данномъ топливѣ*. Этотъ вопросъ, рѣшаемый сравнительно легко для постоянныхъ котловъ, работающихъ при постоянной тягѣ—очень сложенъ для паровозныхъ котловъ, работающихъ при непрерывномъ измѣненіи обстоятельствъ, такъ какъ создать совокупность тѣхъ наиболѣе благоприятныхъ обстоятельствъ (и сохранить ихъ нѣкоторое время), при которыхъ котелъ можетъ давать максимум пара данной упругости неопредѣленно долгое время—весьма трудно. Поэтому-то большія желѣзнодорожныя компании въ Европѣ, напр. Paris-Lyon-Mediterranée, съ цѣлью выясненія всѣхъ обстоятельствъ работы паровозныхъ котловъ, испытывали ихъ путемъ, такъ сказать, лабораторнымъ (опыты Henry), т. е. снимали ихъ съ экипажа, становили на козла и испытывали

как постоянные котлы (фиг. 87); тогда путем искусственной тяги, изменения расстояний между колосниками и пр. можно котель поставить на желаемое время в вполне определенные условия и, изменяя их, выяснить те законы, которым следуют при производстве пара котлы данного типа и таким образом получить точно и легко все те данные, для нахождения которых, при опытных поездках, приходится идти ощупью и без уверенности в точности достигнутых результатов. Понятно, при движении поезда, условия работы отчасти будут отличаться, но мы уже будем искать не законы, а отступления от них под влиянием неблагоприятных обстоятельств, что уже представляет большой шаг вперед. Подобные исследования легко сделать при главных мастерских во время ремонта паровозов; они не потребуют никаких сложных приспособлений и дадут незамысловатые указания. Такой путь точного исследования котла можно считать за самый рациональный. Описание метода исследования котла и определения всех необходимых данных рассмотрено в § 123.

Но были попытки возможно полного исследования паровозных котлов и при движении с поездами. Из таких опишем метод, примененный Leitzmann'ом при исследовании прусских пассажирских нормальных паровозов *) однократного расширения. Желательно, хотя бы только приблизительно, определить то количество пара, на которое можно рассчитывать при наилучшей утилизации котла. По опытам Косл'а при отоплении хорошим углем и соблюдении всех вышеупомянутых условий, можно получить в час пара с 1 м².

Прямой поверхности нагрева 152 kg.

Съ 1 м ² .	1-го погонного м.	дымогарных трубъ	56 kg.	или	37%	отъ	152 kg.
" "	2-го	" "	" "	33 "	" "	22%	" " "
" "	3-го	" "	" "	18 "	" "	12%	" " "
" "	4-го	" "	" "	10 "	" "	6,5%	" " "
" "	5-го	" "	" "	6 "	" "	4%	" " "

Обозначим через: H_1 и H_2 —прямую и не прямую поверхность нагрева в м².; i —число дымогарных труб, которых диаметр= d (м.) и длина= l (м.). Если теперь обозначим через $\alpha_0 = 1$ количество теплоты, получаемое с 1 м². колосниковой решетки, площадь которой = F' (м².), и передаваемое через 1 м². прямой поверхности нагрева водѣ (т. е. пошедшее на образование пара), то на 1 м². поперечнаго сѣченія дымо-

*) Примѣненіе выведенныхъ формулъ къ частному случаю—см. § 140. Этотъ-же методъ, понятно, можетъ быть примѣненъ и въ каждомъ данномъ случаѣ.

гарныхъ трубъ и черезъ 1 м². поверхности ихъ нагрѣва на первомъ погонномъ метрѣ—соотвѣтственно будетъ передано количество теплоты, равное

$$\frac{\alpha_0 \cdot F \cdot 0,37}{i \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = \alpha_1$$

и слѣдовательно, на 1 м². поперечнаго сѣченія и черезъ полную поверхность нагрѣва 1-го погоннаго метра будетъ передано теплоты $\alpha_1 \cdot \frac{H_2}{l}$.

Также находимъ для второго погоннаго метра

$$\alpha_2 = \frac{\alpha_0 \cdot F \cdot 0,22}{i \cdot \frac{\pi d^2}{4}}$$

и количество переданной теплоты равное

$$\alpha_2 \cdot \frac{H_2}{l} \text{ и т. д.,}$$

всего же черезъ непрямую поверхность будетъ передано

$$i \frac{\pi d^2}{4} \left[\frac{H_2}{l} \alpha_1 + \frac{H_2}{l} \alpha_2 + \dots \right] = i \frac{\pi d^2}{4} \sum \frac{H_2}{l} \cdot \alpha$$

и, слѣдовательно, на испареніе воды пойдетъ количество теплоты, пропорціональное

$$H_1 \alpha_0 \cdot F + i \frac{\pi d^2}{4} \sum \frac{H_2}{l} \alpha = x' \dots \dots \dots (132)$$

Этой же величинѣ будетъ пропорціонально, слѣдовательно, и количество пара, полученное при сказанныхъ благопріятнѣйшихъ обстоятельствахъ.

Если же въ дѣйствительности котель даетъ M_0 kg. пару, то величина, равная

$$x = \frac{x'}{M_0} \dots \dots \dots (133)$$

дастъ величину *относительнаго коэффиціента испаренія*, что представить *масштабъ для опредѣленія степени утилизаціи даннаго котла при данныхъ обстоятельствахъ*.

Разрѣженіе въ дымовой коробкѣ образуется вслѣдствіе выпуска черезъ конусъ отработавшаго пара, а слѣдовательно, пропорціонально его давленію, т. е. количеству $M_1 = 5 \cdot u (p_0 + 1) \cdot \varepsilon \cdot V$, или, другими словами, давленію долженъ быть пропорціоналенъ количествомъ $M_1, \varepsilon V, \varepsilon V (p_0 + 1)$,

$\epsilon \cdot V \cdot u \cdot (p_0 + 1)$, что и подтверждается опытами Leitzmann'a, но только при соблюдении всѣхъ вышеупомянутыхъ условій. При заброшенномъ углѣ вакуумъ повышался и обратно—понижался при прогорѣвшемъ. При опытахъ съ прусскими нормальными паровозами была найдена величина вакуума въ см. водяного столба какъ $f(\epsilon)$, $f(V)$ и $f(p_0 + 1)$, что и представлено на фиг. 88, 89 и 90 и, наконецъ, зависимость отъ ϵV (расходъ пара M_1 и φ прямо пропорціональны произведенію ϵV и поэтому выражаются прямыми—напр. фиг. 91). Изъ опытовъ, напр., найдено, что при

$V =$	5	12	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
$\frac{1000\varphi}{\epsilon V} =$	7,8	7,5	—	7,2	7,8	7,5	7,3	7,3	7,0	6,8	6,7	6,3	6,0	6,2
$\epsilon =$	11	15	21	26	31	36	44	55	64	70	75			
$\frac{1000\varphi}{\epsilon V}$	6,4	6,5	6,5	6,8	7,1	7,3	6,8	7,0	6,6	7,1	6,8			

Въ среднемъ (при давленіи въ котлѣ $p_0 + 1 = 13$ ат.) находимъ 7,05 и 6,85 или около 7,0 *).

Такимъ образомъ опытно найдено для этого типа паровозовъ, что

$$\frac{1000 \cdot \varphi}{\epsilon \cdot V} = 7$$

или

$$\varphi \text{ (см.)} = \frac{7}{1000} \epsilon V = 0,007 \frac{M_1}{5 \cdot u \cdot (p_0 + 1)} = \frac{0,007}{5 \cdot u \cdot (p_0 + 1)} \cdot M_1 \quad (134)$$

Съ другой стороны—вакуумъ, оставаясь пропорціональнымъ количеству израсходованнаго пара M_1 , долженъ быть обратно пропорціоналенъ (при той же толщинѣ слоя топлива) площади колосниковой рѣшетки F , т. е. онъ долженъ увеличиваться съ уменьшеніемъ количества притекающаго воздуха. Такимъ образомъ

$$\varphi = A \cdot \frac{M_1}{F} \dots \dots \dots (135)$$

гдѣ A опытно находимый коэффициентъ.

*) Вообще-же величина φ , вслѣдствіе измѣненія толщины слоя топлива, расхода пара и пр.—непрерывно колеблется и съ трудомъ наблюдается безъ употребленія точныхъ, самозаписывающихъ приборовъ (см. § 50—51).

По формулѣ (134)

$$\varphi = \frac{0,007 \cdot M_1}{5 \cdot u \cdot (p_0 + 1)} \cdot \frac{F}{F'}$$

для данныхъ паровозовъ $F = 1,87 \text{ м}^2$; $u = 0,0518$ и $p_0 + 1 = 13$, слѣдовательно

$$\varphi = \frac{7}{1000} \cdot \frac{1,87}{5 \cdot 0,0518 \cdot 13} \cdot \frac{M_1}{F} = 0,0039 \frac{M_1}{F} \dots (136)$$

т. е. $A = 0,0039$. При этомъ необходимо имѣть въ виду, что діаметръ конуса d' былъ = $0,120 \text{ м}$. и діаметръ дымогарныхъ трубъ $d = 0,041 \text{ м}$. Они имѣютъ безспорное вліяніе на вакуумъ и чтобы ввести ихъ въ формулу, замѣтимъ, что при данномъ положеніи конуса расходъ M_1 былъ = 4160 кг ., такъ что отношеніе расхода пара къ площади конуса равно

$$Z = \frac{\frac{M_1}{\pi d_1^2}}{\frac{4}{\pi \cdot 120^2}} = \frac{4160}{\frac{4}{\pi \cdot 120^2}} = 0,37;$$

слѣдовательно, можно написать слѣдующую приближительную формулу

$$\varphi = 0,0039 \frac{M_1}{F} \cdot \frac{Z}{0,37} \cdot \frac{41^2}{d^2} = 17,7 \frac{M_1 \cdot Z}{F \cdot d^2} \dots (137)$$

Выведенныя формулы могутъ быть примѣняемы ко всѣмъ паровозамъ, отопляемымъ углемъ, такъ какъ опыты съ товарными нормальными паровозами прусскихъ желѣзныхъ дорогъ и съ тендеръ-паровозами также показали, что коэффициентъ A почти постояненъ и = $0,0039$ (при опытахъ онъ иногда понижался до $0,0031$).

На основаніи предыдущаго мы находимъ, что количество образующагося пара должно быть пропорціонально (при данномъ топливѣ) площади колосниковой рѣшетки F' , скорости проходящаго воздуха или $\sqrt{\varphi}$ и относительному испаренію $x = \frac{x'}{M_0}$, т. е.

$$M_0 = B \cdot F' \cdot \frac{x'}{M_0} \cdot \sqrt{\varphi},$$

но такъ какъ

$$\varphi = A \cdot \frac{M_1}{F},$$

то

$$M_0 = \sqrt{B \cdot F' \cdot x' \sqrt{A \cdot \frac{M_1}{F}}}$$

или

$$M_0 = \sqrt{B \cdot x' \cdot \sqrt{A \cdot M_1 \cdot F'}} \dots (138)$$

гдѣ B нѣкоторый опытный коэффициентъ, по опытамъ, при данномъ топливѣ *), для паровозовъ всѣхъ типовъ равный приблизительно 63200.

Такимъ образомъ, какъ и сказано раньше, количество образующагося пара M_0 —пропорціонально количеству расходуемаго пара M_1 . Здѣсь могутъ быть три случая: 1) $M_0 > M_1$, т. е. пара образуется больше, чѣмъ расходуется. При этомъ давленіе въ котлѣ повышается. 2) $M_0 < M_1$ —происходитъ явленіе обратное. Оба эти случая—не нормальны, не желательны на практикѣ и должны быть избѣгаемы всѣми силами, что достигается путемъ регулированія отопленія. Такимъ образомъ остается единственный случай—равновѣсія: $M_0 = M_1$, который только и можетъ быть изслѣдуемъ. При этомъ, т. е. при равновѣсіи прихода и расхода пара, паровозъ можетъ работать неограниченно долгое время, развивая ту-же работу, и поэтому соответствующая цифра парообразования k , т. е. количество kg. пара получаемыхъ съ 1 м². поверхности нагрѣва, имѣетъ для практики особенно важное значеніе. Обозначимъ общую величину $M_0 = M_1$ черезъ M . При этомъ допущеніи изъ ур-ія (138) получимъ:

$$M^2 = B \cdot x' \cdot \sqrt{A \cdot M \cdot F}$$

или

$$M^3 = A \cdot B^2 \cdot F \cdot x'^2,$$

откуда

$$M = \sqrt[3]{A \cdot B^2 \cdot F \cdot x'^2} = C \cdot \sqrt[3]{F \cdot x'^2} \dots \dots \dots (139)$$

гдѣ $C = \sqrt[3]{A \cdot B^2}$ —нѣкоторый опытный коэффициентъ, который изъ опытовъ Leitzmann'a для всѣхъ изслѣдованныхъ имъ типовъ паровозовъ, приблизительно равенъ

$$\sqrt[3]{0,0039 \cdot 63200^2} = 250$$

и слѣдовательно

$$M = 250 \sqrt[3]{F \cdot x'^2}.$$

Называя теперь полную поверхность нагрѣва котла черезъ H , находимъ $M = H \cdot k$, слѣдовательно

$$k = C \cdot \frac{\sqrt[3]{F \cdot x'^2}}{H} \dots \dots \dots (140)$$

Представимъ себѣ случай, когда количество образующагося пара M не равно расходу, напримѣръ образуется $M'' = H \cdot k''$ и расходуется

$M_1 = \frac{\varphi \cdot F}{A}$. [по формулѣ (135)]. Находимъ

$$M''^2 = B \cdot F \cdot x' \sqrt{\varphi} = H^2 \cdot k''^2$$

*) Вестфальскій уголь, средней доброты.

или

$$k''^2 = \frac{B \cdot F \cdot x' \cdot \sqrt{\varphi}}{H^2} =: \alpha \cdot \sqrt{\varphi} \dots \dots \dots (140^{bis})$$

т. е. k'' представляет некоторую параболу (какъ функция φ).

Съ другой стороны $M_1 = \frac{\varphi \cdot F}{A}$ и для равновѣсія парообразовательная способность должна была-бы быть = k' такова, чтобы

$$Hk' = M_1 = \frac{\varphi \cdot F}{A}$$

откуда

$$k' = \frac{\varphi \cdot F}{AH} = \beta \cdot \varphi \dots \dots \dots (141)$$

т. е. представляет, какъ функция φ —прямую. Очевидно, пересѣченіе указанныхъ параболы и прямой даетъ намъ точку, соотвѣтствующую условіямъ, при которыхъ наступитъ желаемое равновѣсіе между приходомъ и расходомъ пара при работѣ паровоза, соотвѣтствующей данному расходу пара M_1 (см. фиг. 381).

И такъ найдено:

$$k = C \cdot \frac{\sqrt[3]{F \cdot x'^2}}{H}$$

Такъ какъ для даннаго топлива коэффициентъ C можно считать постояннымъ, то для другого паровоза найдемъ

$$k_2 = \frac{C \cdot \sqrt[3]{F_2 \cdot x_2'^2}}{H_2}$$

или

$$\frac{k_2}{k} = \frac{H}{H_2} \cdot \sqrt[3]{\frac{F_2}{F} \left(\frac{x_2'}{x'}\right)^2} \dots \dots (142)$$

Слѣдовательно, зная k для одного паровоза, находимъ k_2 для другаго паровоза простымъ расчетомъ.

Понятно, всѣ приведенныя данныя служатъ только для освѣщенія вопроса и, примѣняя этотъ методъ къ изслѣдованію паровозовъ, всѣ выводы и цифровыя данныя должны быть провѣрены и измѣнены, путемъ тщательнаго обставленныхъ опытовъ, въ зависимости отъ типа паровоза, топлива и другихъ обстоятельствъ.



ЧАСТЬ V-я.

Приборы, употребляемые при изслѣдованіи паровозовъ.

§ 48. Общія замѣчанія.

Какъ мы видѣли выше, для полнаго изслѣдованія паровоза, какъ совокупности паровой машины и котла, необходимо знать въ каждый данный моментъ:

а) Состояніе котла, т. е. количество находящейся въ немъ воды и пара, и давленіе послѣдняго.

б) Чтобы судить о степени совершенства горѣнія топлива и слѣдовательно степени его утилизаціи, необходимо знать величину тяги, т. е. степень разрѣженія въ дымовой коробкѣ и составъ выходящихъ газовъ (продуктовъ горѣнія).

в) Работу, развиваемую въ цилиндрахъ паровой машины и то ея количество, которое передается на упряжной крюкъ паровоза.

г) Расходъ пара на каждую индикаторную силу, для чего между прочимъ нужно знать степень его влажности.

е) Тѣ сопротивленія, которыя приходится преодолевать при движеніи поѣзда, для чего, кромѣ профиля пути, надо знать: скорость поѣзда, направленіе и силу вѣтра и отчасти—величину колебательныхъ движеній паровоза.

Для каждой изъ описанныхъ цѣлей служатъ спеціальныя, болѣе или менѣе совершенныя приборы, которые можно, въ виду сказаннаго, раздѣлить на слѣдующія группы:

А. Приборы для изслѣдованія парового котла, а именно:

1. Для опредѣленія давленія пара и наблюденія надъ уровнемъ воды въ котлѣ: манометры и водомѣрные стекла.

2. Для наблюденія надъ степенью разрѣженія въ дымовой коробкѣ: тягомѣры.

3. Для опредѣленія степени влажности пара: калориметры.

4. Для анализа продуктовъ горѣнія.

В. *Приборы для изслѣдованія паровой машины паровоза*, а именно:

1. Для изслѣдованія дѣйствія пара въ цилиндрахъ: индикаторы.
2. Для предварительнаго урегулированія парораспределительнаго механизма.
3. Для опредѣленія силы тяги, передаваемой на упряжной крюкъ: динамометры.

С. *Приборы для изслѣдованія паровоза, какъ экипажа*, а именно:

1. Для изслѣдованія его колебательныхъ движеній.
2. Для опредѣленія скорости движенія паровоза и поѣзда: измѣрители скоростей.
3. Для опредѣленія ускоренія хода поѣзда.

Наконецъ, отдѣльно описанъ еще рядъ мелкихъ приборовъ, употребляемыхъ при изслѣдованіи паровозовъ:

Д. Пирометры, анемометры (вѣтгромѣры) и пр. *).

По возможности всѣ приборы должны автоматически записывать свои показанія, чертя на бумагѣ соответствующія диаграммы, такъ какъ подобная автоматичность уменьшаетъ число наблюдателей, уменьшаетъ ихъ работу и устраняетъ ошибки.

Приступая къ описанію означенныхъ приборовъ, замѣтимъ, что существуетъ очень большое число ихъ конструкцій и описать всѣ приборы невозможно, да и бесполезно, такъ какъ многіе изъ нихъ, не смотря на громкія рекламы, оказались, при всемъ своемъ остроумномъ устройствѣ, благодаря сложности или по другимъ причинамъ, несудобными и не нашли себѣ примѣненія на практикѣ и въ настоящее время остались только ихъ модели въ музеяхъ или описанія въ періодической литературѣ. Съ другой стороны—постоянно появляются усовершенствованія и многіе приборы интересны только съ исторической точки зрѣнія. Поэтому описаны только тѣ приборы, которые наиболѣе употребительны въ данное время въ Россіи или заграницею и признаны наиболѣе удовлетворительными и изъ цѣлаго ряда подобныхъ—выбраны наиболѣе типичные, дающіе ясное понятіе объ идеи, вложенной въ ихъ устройство. Понятно, въ виду спеціальнаго характера книги, указаны только тѣ приборы, которые употребляются спеціально при изслѣдованіи паровозовъ, такъ какъ они, вслѣдствіе особенныхъ условій ихъ работы, часто отличаются отъ аналогичныхъ приборовъ, примѣняемыхъ при изслѣдованіи постоянныхъ машинъ.

Полный комплектъ указанныхъ приборовъ даетъ возможность произвести всѣ желаемые опыты и изслѣдованія. Но часто, въ виду дороговизны нѣкоторыхъ приборовъ, не всегда имѣется возможность имѣть ихъ всѣ подъ руками и тогда, понятно въ ущербъ полноты изслѣдованія, приходится ограничиваться только постановкою на паровозахъ индикаторовъ,

*) Приборъ для измѣренія силы тренія золотниковъ—описанъ въ § 113.

указателей скоростей и нѣкоторыхъ другихъ приборѡвъ; съ другой стороны установка всѣхъ указанныхъ приборѡвъ на самомъ паровозѣ очень затруднительна и даже не всегда возможна, почему для обширныхъ изслѣдованій—крупныя желѣзнодорожныя компаніи строятъ особые вагоны, называемые „динамометрическими“, „опытными“, „вагонами-динамометрами“, въ которые и помѣщаютъ всѣ тѣ приборы, какіе возможно, и гдѣ ставятъ часто особые, специально для этихъ вагоновъ конструируемые, приборы, исполняющіе одновременно нѣсколько функций, напр. указывающіе скорость поѣзда, полезную силу тяги и пр. Эти вагоны снабжаются прекрасными рессорами, помѣщеніями для служащихъ и становятся непосредственно за паровозомъ, соединяясь съ нимъ рядомъ трубокъ (напр. для анализа газовъ и пр.). Они позволяютъ употреблять самые delicate приборы, которые было-бы невозможно установить на паровозѣ, и дѣлать весьма удобно самые точные опыты, почему, представляя изъ себя подвижныя инженерныя лабораторіи, они незамѣнимы для серьезныхъ, научно обставленныхъ опытовъ. Ихъ описанія, а также и описанія специальныхъ приборѡвъ, составляющихъ ихъ неотъемлемую принадлежность, вынесены въ отдѣльную главу (§§ 81—90)*).

А. Приборы для изслѣдованія парового котла.

1. Приборы для опредѣленія давленія пара въ котлѣ (манометры) и уровня воды (водомѣрные стекла).

§ 49. На подробномъ описаніи сказанныхъ приборѡвъ мы не будемъ останавливаться, такъ какъ они общеизвѣстны. На паровозахъ употребляются обыкновенно манометры простые—системы Шеффера и Буденберга (Schaeffer & Budenberg, Buckau—Magdeburg), устройство которыхъ основано на выгибаніи подъ дѣйствіемъ пара стальной пластинки, и системы Бурдона (Bourdon), въ которыхъ вмѣсто стальной пластинки употребляется изогнутая металлическая трубка, закрѣпленная однимъ концомъ. На показанія этихъ приборѡвъ не всегда можно полагаться, такъ какъ пластинки и трубки съ теченіемъ времени теряютъ отчасти свою эластичность. Съ цѣлью этого избѣжать—фирма Dreyer, Rosenkranz & Droop въ Ганноверѣ ввела крупное улучшеніе въ манометры Бурдона, соединивши стальную его трубку *R* (фиг. 92) съ добавочною стальною пружиною изъ закаленной проволоки *D*, которая соединена съ первой въ *y* и неподвижно

*) Чертежи и описанія многихъ изъ помѣщаемыхъ ниже приборѡвъ получены мною при посѣщеніи фабрикъ и мастерскихъ, занимающихся ихъ изготовленіемъ, напр. Richard въ Парижѣ, Schaeffer & Budenberg въ Букау-Магдебургѣ; Dreyer, Rosenkranz & Droop въ Ганноверѣ, Oerlikon близъ Цюриха и многихъ другихъ.

закрѣплена въ x къ штативу. Эта проволока, надлежащимъ образомъ выбранная, участвуя во всѣхъ колебаніяхъ трубки, очевидно, приметъ на себя значительную часть ея напряженія и поэтому трубка служить дольше, а главное—она можетъ быть сдѣлана изъ матеріала, который не ржавѣетъ, напр. изъ серебра или мѣди, въ предѣлахъ до 50 ат, тогда какъ въ манометрахъ обыкновеннаго образца уже для давленій выше 10 ат употребляются только стальные трубки. Сравнительные опыты Дунзинга, произведенные надъ усовершенствованными и обыкновенными манометрами Бурдона, показали значительное преимущество первыхъ.

При изслѣдованіяхъ паровоза, одно изъ лицъ должно отмѣчать, могущія быть, колебанія давленія пара, т. е. записывать показанія манометра. Для избѣжанія этого употребляютъ манометры съ механизмомъ для автоматическаго записыванія его показаній. Изъ нихъ самыя точныя—съ механизмомъ и манометромъ въ ящикѣ (системы Бурдона), которые при изслѣдованіи постоянныхъ паровыхъ котловъ привѣшиваются къ стѣнѣ и пишутъ кривую давленій на бумажной лентѣ. Но при изслѣдованіи паровозовъ они не удобны, такъ какъ занимаютъ очень много мѣста. *)

Болѣе удобны слѣдующіе:

1) Манометры системы Бурдона (фиг. 94), въ которыхъ на одной оси со стрѣлкою прикрѣпленъ рычагъ, пишущій на бумажномъ дискѣ, привидимомъ въ движеніе часовымъ механизмомъ, кривую давленій и

2) Американской системы Bristol (фиг. 95). Паръ здѣсь входитъ въ изогнутую трубку *A* и стремится ее разогнуть и выпрямить. Этому препятствуетъ гибкая планка *B*, прикрѣпленная къ изгибамъ трубки *A*, почему стремленіе трубки удлиниться—превращается въ поперечное ея движеніе. Къ концу трубки *A* прикрѣпляется пишущее перо, которое и чертитъ на бумажномъ дискѣ, дѣлающемъ одинъ оборотъ въ 24 часа (при помощи часового механизма), кривую давленій.

При этомъ замѣтимъ, что всё-жъ таки, даже при употребленіи подобныхъ манометровъ съ саморегистрированіемъ, когда нѣтъ необходимости от мѣчать колебанія давленія въ котлѣ, наблюдателю необходимо замѣчать таковое въ каждомъ частномъ случаѣ, напр., при съемкѣ индикаторныхъ диаграммъ, чтобы не тратить потомъ время на нахожденіе его изъ диаграммъ манометра.

Для контроля правильности показаній манометра—употребляются особые манометры, называемые *контрольными*. Они состоятъ изъ двухъ отдѣльныхъ трубокъ Бурдона съ двумя стрѣлками, которыя движутся по

*) Ихъ видъ представленъ на фигурѣ 93. Иногда ихъ станowią въ динамометрическихъ вагонахъ, соединяя ихъ съ котломъ, во избѣжаніе паденія давленія, трубкою большаго діаметра.

одному циферблату, покрывая одна другую или по двумъ (напр. въ манометрахъ Strube—фиг. 96); обѣ стрѣлки должны показывать при этомъ одно и то-же давленіе. Если-же ихъ показанія будутъ различны, то это прямо укажетъ на неточность прибора. Контрольные манометры приготавлиются особенно тщательно и должны быть сохраняемы въ футлярахъ. При ихъ порчѣ, они провѣряются въ мастерскихъ посредствомъ ртутныхъ манометровъ.

Передъ каждымъ изслѣдованіемъ, манометры паровоза должны провѣряться. Для этого служатъ приборы (прессы), болѣе или менѣе сложные. Наиболѣе просты и употребительны системы Grosby и завода Dreyer, Rosenkranz & Droop.

Первый состоитъ изъ двухъ колонокъ (фиг. 97) на общемъ основаніи, каналы которыхъ соединены между собою. Одинъ изъ нихъ соединяется съ испытываемымъ манометромъ, а во второмъ ходитъ тщательно пригнанный стержень, исполняющій роль поршня, съ чашкою, на которую кладутъ точно вывѣренные грузы такимъ образомъ, что при наложеніи каждаго изъ нихъ налитый въ каналы глицеринъ сжимается на 1 ат. Вывѣрка манометра дѣлается такъ: соединяютъ манометръ съ одною изъ трубокъ и при этомъ на чашку кладутъ грузы—показанія манометра должны согласоваться съ числомъ положенныхъ гирь.

Второй прессъ (фиг. 98) отличается отъ перваго тѣмъ, что давленіе въ соединительномъ и двухъ вертикальныхъ каналахъ, изъ которыхъ одинъ соединяется съ испытываемымъ, а другой съ контрольнымъ манометромъ, поднимается не грузами, а ввинчиваніемъ въ каналъ средней колонки—винта. При этомъ сравниваютъ показанія обоихъ манометровъ.

Устройство водоизмѣрныхъ стеколъ общеизвестно. Здѣсь приводимъ только этотъ приборъ особаго устройства (фиг. 99), который снабженъ системою внутреннихъ перегородокъ, умѣряющихъ колебанія уровня въ водоизмѣрномъ стеклѣ и позволяющемъ точно измѣрять высоту уровня воды въ котлѣ. Подобный приборъ, примененный при опытахъ Бородина и Леви, очень полезенъ при изслѣдованіи паровоза.

2. Приборы для изслѣдованія разрѣженія въ дымовой коробкѣ (тягомѣры).

§ 50. При изслѣдованіи паровоза на парахъ, но въ покоѣ, т. е. въ депо или въ лабораторіяхъ (на каткахъ) можно для указанной цѣли употреблять обыкновенный сифонный тягомѣръ, состоящій изъ *U*-образной трубки, наполненной водою или ртутью. Конецъ ея *A* (фиг. 100) сообщается съ дымовою коробкою или трубою, а конецъ *D* съ атмосферою, разность показаній даетъ тогда искомый избытокъ давленій. Шкала, для удобства отсчитыванія, иногда дѣлается подвижной. Подобнаго рода тягомѣры существуютъ и болѣе усовершенствованные, напр., тягомѣръ

Allen'a, тягомѣръ Péclet, Ser'a и др. Но эти приборы, въ составъ которыхъ входитъ жидкость (масло, вода или ртуть), не удобны при опытныхъ поѣздкахъ съ паровозами, такъ какъ уровень ея непрерывно колеблется и отчетъ очень труденъ и не точенъ *). Кромѣ того, желательно, чтобы приборъ былъ снабженъ самопишущимъ механизмомъ. Такіе тягомѣры, напр., системъ Hudler'a или Richard (Ришаръ) и примѣняются при изслѣдованіяхъ постоянныхъ паровыхъ котловъ, но они не вполне удобны для установки на паровозахъ (см. дальше).

Обществомъ французскихъ Восточныхъ желѣзныхъ дорогъ былъ выставленъ въ Парижѣ въ 1889 г. тягомѣръ, который не имѣетъ указанныхъ недостатковъ. Его устройство заключается въ слѣдующемъ: два спаянныхъ своими загнутыми краями мѣдныхъ листа *A* (фиг. 103) образуютъ манометръ въ родѣ мѣха. Къ одному изъ листовъ припаяна коробка *B*, которая посредствомъ мѣдной трубки *C*, каучуковой *n* и трехходового крана *m* можетъ сообщаться съ атмосферой или дымовою коробкою паровоза *K*. Вибраціи коробки *A*, посредствомъ рычага, передаются горизонтальному стержню, на концѣ котораго укрѣпленъ карандашъ, чертящій кривую давленій на бумажной лентѣ. Последняя сбѣгаетъ съ барабана *D* (фиг. 104), направляется роликами *E* и *F*, проходитъ надъ подставкою и, увлекаясь двумя прижимными роликами, наматывается на барабанъ *G*, пробѣгая 25 мм. въ 1 секунду. Посредствомъ особаго короткаго рычага можно прижимные ролики удалять одинъ отъ другого и, слѣдовательно, останавливать движеніе ленты, не останавливая часового механизма. Чтобы отмѣтить начало и конецъ наблюденія и каждый данный, важный для наблюдателей, моментъ, укрѣпляютъ подвижной стержень *L* съ пружиною, который при легкомъ нажатіи ставитъ на бумажной лентѣ точку.

Движеніе ленты производится посредствомъ аппарата Морзе, соединеннаго съ электрическими часами, причемъ каждую секунду аппаратъ отпечатываетъ на лентѣ короткую черту и такимъ образомъ время изображается прямою, состоящею изъ ряда короткихъ черточекъ.

Весь этотъ, очень компактный механизмъ, помѣщается въ стеклянный ящикъ, раздѣленный на двѣ части: въ одной изъ нихъ находится

*) Иногда, впрочемъ, примѣнялись такіе тягомѣры, напр. Aspinall'емъ при его опытахъ на желѣзныхъ дорогахъ Lancashire & Iorkshire. Разрѣженіе опредѣлялось въ пунктахъ, указанныхъ на фиг. 101 и 102 буквами *A*, *B*, *C*, *D*, *E*, *F* и *G*, для чего туда были вставлены трубки, соединенныя резиновыми проводами съ стеклянными трубками, помѣщенными въ будкѣ паровоза и наполненными окрашенной водой. При движеніи пассажирскаго паровоза съ поѣздомъ (полный вѣсъ = 203 т) со среднею скоростью въ одну сторону 77 км/ч и въ обратную—65 км/ч (максимальныя скорости были = 96 км/ч и 88 км/ч) было найдено, что давленіе въ зольникѣ измѣнилось отъ 6 до 19 мм водяного столба, разрѣженіе надъ кирпичнымъ сводомъ отъ 25 до 76 мм водяного столба, разрѣженіе въ дымовой коробкѣ отъ 76 до 178 мм водяного столба, разрѣженіе въ дымовой трубѣ отъ 178 до 457 мм водяного столба.

манометръ и пиццущій механизмъ, а въ другой элементы, служащія для приведенія его въ движеніе. Ручки выведены наружу. При желаніи— трубка *C* съ краномъ *m* соединяется съ особою трубкою съ 4 кранами, дающими возможность соединять манометръ *A* съ различными мѣстами внутри дымовой коробки.

Для примѣненія на практикѣ необходимо имѣть масштабъ для перевода ординатъ кривыхъ въ высоты водяного столба. Для этого служить слѣдующее приспособленіе: два сосуда *B* и *A* (фиг. 105) наполнены водою. *B* посредствомъ крана *D* и трубки, соединяется съ манометромъ прибора и *U*-образнымъ водянымъ манометромъ *C*. Поднимая и опускаая сосудъ *A*, можно произвести желаемое разрѣженіе или сжатіе въ *B*, а черезъ кранъ *D* и въ манометръ. Пуская при этомъ въ ходъ часовой механизмъ, мы получимъ на бумажной лентѣ прямыя, соответствующія даннымъ давленіямъ. Разстоянія ихъ отъ нулевой линіи (получаемой при соединеніи манометра съ атмосферой) дадутъ ординаты, соответствующія величины значеній которыхъ, можно непосредственно прочесть на шкалѣ водяного манометра *C*.

При испытаніи, этотъ приборъ оказался весьма точнымъ и кривыя давленій давали ясныя указанія о всѣхъ явленіяхъ, происходящихъ въ дымовой коробкѣ, наиримѣръ при большемъ или меньшемъ открытіи регулятора, дверецъ топки, измѣненіи величины отверстія конуса, отсѣчекъ и пр. Благодаря этому, опредѣлили многія важныя обстоятельства, влияющія на работу паровоза и горѣніе топлива, почему употребленіе этого прибора при изслѣдованіи паровозовъ можетъ способствовать къ улучшенію многихъ его частей.

Между прочимъ при этихъ опытахъ найдено, что разрѣженіе въ дымовой коробкѣ колеблется весьма значительно, быстро падаетъ и снова быстро возрастаетъ съ каждымъ выпускомъ пара. Поэтому *при медленномъ движеніи*, когда промежутки между выпусками пара велики, разрѣженіе каждый разъ падаетъ почти до нуля и слѣдовательно *горѣніе не равномерно и топливо утилизируется не вполне. Съ увеличеніемъ скорости движенія* притокъ воздуха становится *равномернѣе* и колебанія разрѣженія значительно уменьшаются, что и указывается приборомъ. Естественная же тяга очень мала и не превосходитъ 5 мм. водяного столба.

На описаніи-же обыкновенныхъ вакууметровъ, употребляемыхъ для измѣренія разрѣженія, мы не останавливаемся, такъ какъ ихъ устройство общеизвѣстно. Внѣшній видъ представленъ на фиг. 106.

Иногда въ динамометрическихъ вагонахъ (см. напр. § 86) ставятъ тягомѣръ фирмы Jules Richard въ Парижѣ, представленный на фиг. 107 съ самопицущимъ механизмомъ. Онъ состоитъ изъ металлическаго вакуметра *a*, колебанія металлической перепонки котораго сообщаются, посредствомъ механизма *b*, карандашу *e*, отмѣчающему ихъ на барабанѣ,

который приводится въ движение часовымъ механизмомъ, при чемъ обыкновенно путь въ 5 мм., проходимый карандашомъ, соответствуетъ величинѣ разръженія въ 1 мм. водяного столба. Подобнаго рода тягомѣры могутъ быть употребляемы для разръженій до 100 мм. водяного столба и больше.

§ 51. Приборъ (тягомѣръ) Lochner'a.

При извѣстныхъ опытахъ Lochner'a по сравнительному изслѣдованію обыкновенныхъ паровозовъ и системы Compound на эрфуртскихъ желѣзныхъ дорогахъ въ 1894 г. для одновременнаго опредѣленія разръженія въ дымовой коробкѣ и противодавленія въ паровыпускной трубѣ—употреблялся весьма удобный приборъ, схематически представленный на фиг. 108 и 109. Онъ состоитъ 1) изъ вакуметра *A*, представляющаго небольшой кольцеобразный бакъ, соединяющійся посредствомъ трубы, черезъ отверстіе *a* въ верхней его части, съ дымовою коробкою. При атмосферномъ давленіи, уровень воды находится на линіи *II*, и поплавокъ *B* поднять до верхняго его положенія. Тогда его карандашъ *b* на безконечномъ листѣ бумаги, который натянуть на барабанахъ *C* и *C*₁, начертитъ основную линію *c*. По мѣрѣ разръженія—вода изъ помѣщенія *D* переходитъ въ *A* и поплавокъ *B* опускается, при чемъ карандашъ *b* вычертитъ кривую (въ масштабѣ 1 см. = 20 мм. водяного столба разръженія). Для наблюденія за уровнемъ воды, къ баку *A* снаружи прикрѣплено водомѣрное стекло.

Для измѣренія противодавленія съ другой стороны устанавливается индикаторъ *E*, съ очень слабою пружиною, который соединяется съ паровыпускною трубою и карандашъ котораго *e* посредствомъ пружины *f* притягивается къ барабану *C* и на той-же бумажной лентѣ чертитъ соответствующую кривую въ масштабѣ 1 см. = 0,2 ат. сверхъ атмосфернаго. Видъ получаемыхъ кривыхъ представленъ на фиг. 110. Барабаны *C* и *C*₁ съ бумажною лентою приводятся въ движеніе часами съ опредѣленною скоростью. Лента натягивается пружиною *h* (это-же приспособленіе служитъ и для болѣе легкой ея смѣны).

3. Приборы для опредѣленія влажности пара (калориметры).

§ 52. По мнѣнію Cario, Vincott'a, проф. Unwin'a, Thornycroft'a и др., главнѣйшія причины большаго или меньшаго увеличенія паромъ воды заключаются въ маломъ паровомъ пространствѣ, болѣе интенсивности кипѣнія, но главнымъ образомъ отъ нечистой, способной пѣниться воды. Кромѣ того степень влажности пара, выпускаемаго въ цилиндръ, зависитъ отъ расположенія паровыпускныхъ трубъ и охлажденія въ паропроводныхъ трубахъ. Какъ извѣстно, влажность пара существенно влияетъ на общій

расходъ воды, пара и топлива для данной паровой машины, почему къ уменьшенію ея прилагаютъ всѣ возможные средства, напр. ставятъ листы въ паровомъ колпакѣ, берутъ паръ изъ котла посредствомъ длинныхъ трубъ съ мелкими отверстиями, проходя черезъ которыя, паръ становится суше и пр., такъ какъ количество тепла, которое тратится на нагрѣваніе увлекаемой въ капельно-жидкомъ состояніи воды до температуры воды котла, очевидно тратится непроизводительно, безъ производства полезной работы, понижая коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины.

Ввиду сказаннаго, опредѣленіе сухости пара имѣетъ большое значеніе *). Въ постоянныхъ котлахъ, когда расходъ пара почти не измѣняется, уровень воды и давленіе пара въ котлѣ колеблются очень мало и въ которыхъ происходитъ очень угнѣренное испареніе воды (напр. въ котлахъ съ большимъ водянымъ пространствомъ съ 1 м² водяной поверхности испаряется въ часъ не болѣе 100 kg), сухость пара почти постоянна и въ среднемъ не превышаетъ 5%. Но въ паровозахъ ни одно изъ этихъ условій не соблюдается: съ 1 м² поверхности воды испаряется до 1000 kg, работа паровоза и расходъ пара мѣняются непрерывно, также какъ уровень воды и величина ея поверхности. Поэтому и сухость пара здѣсь переменна и зависитъ отъ скорости поѣзда, открытія регулятора и пр. Задача опредѣленія сухости пара здѣсь еще усложняется тѣмъ обстоятельствомъ, что почти всѣ системы калориметровъ, съ успѣхомъ применяемые при изслѣдованіи постоянныхъ котловъ, совершенно не применимы здѣсь, вслѣдствіе ихъ сложности, недостатка мѣста, постоянныхъ сотрясеній паровоза и необходимости имѣть достаточное количество времени для производства этихъ опытовъ. Поэтому этотъ вопросъ—одно изъ темныхъ мѣстъ опытнаго изслѣдованія паровозовъ, тѣмъ болѣе, что взятый паръ изъ котла еще не даетъ понятія о степени его сухости при входѣ въ цилиндры, такъ какъ на пути, проходя по теплопроводнымъ трубамъ, уложеннымъ въ дымовой коробкѣ, эта сухость безспорно мѣняется, а съ другой стороны брать паръ изъ золотниковыхъ коробокъ не всегда удобно, напр. при внутреннихъ цилиндрахъ или наружныхъ цилиндрахъ, но съ золотниковыми коробками, обращенными во внутрь. Ввиду этого при расчетахъ принимаютъ (à priori) влажность пара постоянной и = 5 или 10%, принимая во вниманіе невыгодныя условія работы паровознаго котла. Это предположеніе впрочемъ оказалось преувеличеннымъ и недавніе опыты въ Америкѣ показали, что влажность пара рѣдко (только мгновенно) превосходитъ 5%, но обыкновенно понижается даже до 1%. Понятно, это требуетъ провѣрки, тѣмъ болѣе, что часто различные паровозные котлы даютъ паръ, при всѣхъ остальныхъ одинаковыхъ обстоя-

*) Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла только тогда и можно опредѣлить, когда известна влажность пара (см. § 123).

тельстввахъ—различной степени сухости. На сколько извѣстно автору, при изслѣдованіи паровозовъ примѣнялись только калориметры Peabody (проф. Пибоди), Heisler'a (Гейслера) и Bagnus'a (Баруса) *) и упрощенный способъ, предложенный Leitzmann'омъ, къ описанію которыхъ и перейдемъ. (См. также § 126).

§ 53. Способъ Leitzmann'a.

На паровозѣ или тендерѣ помѣщаютъ небольшой, склепанный или сваренный котелокъ, конструкція котораго должна быть настолько прочна, чтобы онъ выдерживалъ наибольшее котловое давленіе. Во время ѣзды его наполняютъ паромъ изъ котла, предварительно такъ долго его продувая, пока его стѣнки примутъ надлежащую температуру и перестанетъ выдѣляться вода въ жидкомъ видѣ. Затѣмъ одновременно закрываютъ входъ и выходъ и конденсируютъ запертый паръ черезъ охлажденіе. Зная вмѣстимость котелка (а слѣдовательно то количество сухого, насыщеннаго пара, которое необходимо для его наполненія) и вѣсъ охлажденной смѣси, опредѣляютъ количество воды, которое находилось въ этомъ объемѣ, а слѣдовательно, и степень влажности пара, т. е. количество воды на 1 kg. смѣси. Хотя полученные такимъ образомъ результаты приближительны, но точность ихъ достаточна для практики и Leitzmann примѣнялъ неоднократно этотъ способъ при опытахъ на прусскихъ желѣзныхъ дорогахъ.

§ 54. Калориметръ Peabody (Пибоди).

Онъ состоитъ (фиг. 112) изъ небольшого (4" діаметромъ и 6—8" длиною) сосуда, въ который трубкою *a* съ клапаномъ *b* проводится паръ изъ котла; *c* трубка для сбора конденсационной воды, которая выпускается черезъ кранъ *c'*; *h* — паровыпускная трубка съ краномъ *d*. Давленіе и температура внутри сосуда измѣряются манометромъ *f* и термометромъ *t*. Идея прибора заключается въ слѣдующемъ: трубкою *a* подводится паръ, имѣющій давленіе = p (давленіе въ котлѣ), которому соответствуетъ теплота жидкости q и теплота паробразованія— r , находимыя изъ таблицъ (см. § 2). Впускаемый паръ несетъ, слѣдовательно, съ собою нѣкоторое, вполне опредѣленное количество теплоты. При проходѣ черезъ клапанъ *b* происходитъ разрѣженіе пара и давленіе его весьма значительно падаетъ, а поэтому уменьшается и то количество теплоты, которое заключается въ каждомъ kg. вошедшаго пара, и, слѣдовательно, происходитъ выдѣленіе тепла. Но такъ какъ наружныхъ потерь тепла нѣтъ, потому что сосудъ *A*

*) Въ Америкѣ. Всѣ эти калориметры принадлежатъ къ такъ называемымъ „разрѣжающимъ“.

и трубки весьма тщательно предохраняются от охлаждения, то выделяющаяся теплота идет на испарение имѣющейся въ парѣ воды $(1-x)$ кг. и затѣмъ на перегрѣвъ всего находящагося въ сосудѣ A пара.

Такимъ образомъ полное количество теплоты не измѣняется, измѣняется же только давленіе, а потому можно написать равенство, въ первую часть котораго входятъ количества, опредѣляющія полную теплоту, соответствующую начальному состоянію пара, а во вторую—конечному, т. е. послѣ его разрѣженія и перегрѣва. Пусть степень перегрѣва $= t'-t$, гдѣ t' —наблюдаемая температура по термометру, а t —нормальная температура, соответствующая данному наблюдаемому давленію p' въ калориметрѣ, тогда количество теплоты, которое заключается въ 1 кг. перегрѣтаго пара $= \lambda + C_p (t'-t)$, гдѣ λ —количество тепла, содержащееся въ 1 кг. сухого насыщеннаго пара давленія p' и найденное изъ таблицъ, а C_p —теплоемкости пара при постоянномъ давленіи и $= 0,48$. Слѣдовательно находимъ

$$xr + q = \lambda + 0,48 (t'-t)$$

или

$$x = \frac{\lambda + 0,48 (t'-t) - q}{r}$$

Примѣръ (Карпентеръ).

Давленіе по манометру въ паропроводѣ $= 5,62$ ат., слѣдовательно, абсолютное давленіе $= 6,60$ ат. Давленіе внутри прибора по манометру $= 0,562$ или абсолютное давленіе $= 1,54$ ат. (атмосферное давленіе по барометру равнялось $0,984$ ат.). Температура внутри калориметра $= 134,55$. Находимъ соответственно изъ таблицъ:

Температура t въ C^0	$= 161,680$ и $111,700$
Теплота жидкости q въ кал.	$= 163,474$ и $112,408$
Полная теплота пара l въ кал.	$= 640,580$
Скрытая теплота парообразованія r въ кал.	$= 492,340$ и $528,170$

Находимъ

$$x = \frac{640,58 + 0,48 (134,55 - 111,7) - 163,474}{492,34} = 0,991$$

Процентное содержаніе воды въ парѣ

$$100 (1-x) = 0,9\%$$

Изъ сказаннаго вполне ясно видно, что этотъ калориметръ основанъ на перегрѣвѣ изслѣдуемаго образца пара теплотою, выделяемой самимъ же паромъ, вслѣдствіе уменьшенія его давленія и очевидно поэтому, что онъ можетъ быть примѣнимъ только въ тѣхъ случаяхъ, когда

парь выдѣляется не слишкомъ влажный, напр.. влажность его не превосходить 5—6%, и, слѣдовательно, онъ вполне можетъ быть примѣненъ при изслѣдованіи паровозовъ, не слишкомъ перегруженныхъ. Калориметръ занимаетъ мало мѣста и можетъ быть помѣщенъ въ будкѣ машиниста. Но если изслѣдуютъ парь при выпускѣ его въ цилиндры, то приборъ располагаютъ впереди машины на передней площадкѣ и парь берутъ изъ золотниковой коробки, какъ обыкновенно и поступаютъ въ Америкѣ.

§ 55. Калориметръ Heisler'a (Гейслера).

Въ калориметрѣ Heisler'a разрѣженіе изслѣдуемаго пара происходитъ посредствомъ узкаго отверстія (фиг. 111), находящагося между непроводниками тепла. Какъ и въ калориметрѣ Пибоди, здѣсь происходитъ разрѣженіе, осушеніе и перегрѣвъ пара въ камерѣ *B*, въ которой температура опредѣляется термометромъ, вставляемымъ въ трубку *C*, а давленіе—манометромъ. Черезъ трубку *a* парь выходитъ. Примѣняя къ паровозамъ, пріемную трубку дѣлаютъ двойной (фиг. 113), состоящей изъ двухъ мѣдныхъ трубокъ, раздѣленныхъ слоемъ воздуха. Ее вставляютъ въ колпакъ настолько глубоко, чтобы отверстіе ея *a* находилось въ наиболѣе быстромъ токъ пара. Въ *b* находится самъ калориметръ (фиг. 114) въ отроеткомъ, идущимъ къ манометру. Впускъ и выпускъ пара регулируется двумя клапанами. Если хорошо защитить приборъ и трубки отъ охлажденія, то его можно помѣстить и въ будкѣ машиниста.

§ 56. Калориметръ Barrus'a (Баруса).

Этотъ калориметръ, также употребляемый въ Америкѣ при изслѣдованіи паровозовъ и основанный на тѣхъ-же принципахъ, какъ и предыдущіе, состоитъ изъ камеры *A* (фиг. 115), въ которую притекаетъ парь изъ котла; проходя далѣе черезъ отверстіе *n* діаметромъ $\frac{1}{16}$ ", парь разрѣжается и, поступая въ камеру *B*, перегрѣвается. Въ *A* и *B*—температура опредѣляется термометрами; давленіе въ *B*, мало отличающееся отъ атмосфернаго, манометромъ (давленіе въ *A* = котловому). Степень сухости опредѣляется по предыдущему.

Какъ мы видѣли, предѣлы примѣненія обыкновенныхъ разрѣжающихъ калориметровъ ограничены, поэтому Barrus присоединилъ къ своему калориметру еще сепараторъ (водоотдѣлитель) *c* (фиг. 116), проходя черезъ который, парь оставляетъ большую часть примѣшенной къ нему воды и поступаетъ въ *A* настолько осушенный, что содержаніе въ немъ воды не выходитъ изъ предѣловъ примѣненія этихъ приборовъ и тогда ихъ можно примѣнять при всевозможныхъ случаяхъ. Понятно, при этомъ само употребленіе калориметра становится болѣе сложнымъ, такъ какъ необходимо опредѣлять количество *w* протекающаго черезъ приборъ пара

и выдѣлявшейся изъ него въ сепараторѣ воды W . Количество w съ точностью до 1—2% (по указанію проф. Пибоди) можно рассчитать по формулѣ Нэпира (Napier) въ зависимости отъ площади F проходного отверстія n (фиг. 115) въ cm^2 . и абсолютнаго давленія пара p въ ат.

$$w = \frac{p \cdot F}{70}^*).$$

Количество W опредѣляется непосредственнымъ взвѣшиваніемъ воды, спускаемой черезъ кранъ b (или по стеклу d) (фиг. 116).

Теперь находимъ: черезъ калориметръ прошло wx' кг. сухаго пара и $w(1-x')$ кг. воды и кромѣ того отдѣлилось въ сепараторѣ W кг. воды. Очевидно, относительная сухость x изслѣдуемаго пара, прошедшаго черезъ сепараторъ, будетъ

$$x = \frac{wx'}{w + W},$$

гдѣ

$$x' = \frac{\lambda - q + 0,48 \cdot (t' - t)}{r}$$

(см. § 2).

Какъ очень хорошую конструкцію калориметра подобнаго рода, привожу калориметръ завода Globe Iron Works, устройство котораго понятно изъ фиг. 117. Чтобы не дѣлать поправокъ на охлажденіе и лучеиспусканіе сепаратора (что для плохо защищенныхъ отъ охлажденія сепараторовъ опредѣляется путемъ предварительныхъ опытовъ), обѣ камеры здѣсь изолированы другъ отъ друга непроводниками теплоты и снаружи весь приборъ защищенъ войлочной обшивкой, заключенной въ металлическій никкелированный кожухъ ***).

По заявленію проф. Unwin'a, этотъ приборъ весьма удобенъ для работы и даетъ очень точные результаты.

4. Приборы для анализа продуктовъ горѣнія.

§ 57. Анализъ продуктовъ горѣнія даетъ вообще чрезвычайно цѣнные данныя, необходимыя для полнаго изслѣдованія котла. Цѣль анализа заключается въ опредѣленіи %-наго содержанія углекислоты CO_2 , окиси

*) Въ концѣ книги приведена таблица № 10, составленная по формулѣ Нэпира для различныхъ площадей отверстій (Ломпаковъ), по которой можно найти w по двумъ даннымъ—времени и давленію, зная F .

**) Если на защиту отъ охлажденія сепаратора не надѣются или она очень плоха, то $x = \frac{wx' + U}{w + W}$ гдѣ U поправка на охлажденіе и лучеиспусканіе. Для нахожденія ея дѣлають предварительный опытъ. Но лучше этого усложненія избѣгать, тщательно защищая приборъ непроводниками тепла.

углерода CO и свободного кислорода O . Так какъ при сжиганіи углерода въ CO_2 1 kg. его выдѣляетъ 8080 ед. тепла, а въ CO только 2400, то задача надлежащей утилизаціи топлива и заключается въ томъ, чтобы въ продуктахъ горѣнія не было CO , указывающей на несовершенное сгораніе углерода топлива; если при анализѣ будетъ обнаружено значительное количество CO въ продуктахъ горѣнія, то это прямо укажетъ на недостатки отопленія, которые необходимо устранить. Точно также значительный избытокъ кислорода укажетъ излишній притокъ воздуха въ топку. *)

При изслѣдованіи паровознаго котла, должно быть выяснено, какое вліяніе оказываетъ на составъ продуктовъ горѣнія, а слѣдовательно и на утилизацію топлива, различныя обстоятельства работы паровоза: способъ нагрузки топлива въ топку, большее или меньшее открытіе регулятора, скорость поѣзда, производимая работа и пр. Записывая всё это въ журналъ, получается полная картина и, варьируя опыты, легко найти наибывгоднѣйшій способъ отопленія при данныхъ обстоятельствахъ, обнаружить недостатки колосниковой рѣшетки (т. е. велико или мало живое ея сѣченіе—по количеству кислорода въ продуктахъ горѣнія); опредѣлить—на сколько полезенъ дополнительный выпускъ воздуха въ топку, что довольно часто практикуется послѣднее время на желѣзныхъ дорогахъ и т. д. Анализъ этихъ газовъ долженъ поэтому производиться въ каждый интересный моментъ хода поѣзда, дополняя данныя, даваемыя индикаторомъ.

Въ послѣднее время изобрѣтаются приборы, которые непрерывно и автоматически опредѣляютъ $\%$ -ное содержаніе CO_2 въ дымовыхъ газахъ, напр. „эконометръ“ Arndt'a или „дазиметръ“ Siebert'a. По словамъ проф. Unwin'a, можно, пользуясь этими приборами и установивъ правильное веденіе огня, достигъ до 20% сбереженія топлива. Но ихъ главная составная часть—чувствительные вѣсы, правильное показаніе которыхъ возможно только при установкѣ ихъ на неподвижной площади и поэтому они не примѣнимы при изслѣдованіи паровозовъ или при установкѣ въ непрерывно колеблющемся вагонѣ. Здѣсь требуются болѣе простые и менѣе чувствительные къ толчкамъ приборы, хотя-бы они давали и менѣе точные результаты, но лишь-бы только они были достаточно точны для практики. Изъ таковыхъ наиболѣе употребителенъ приборъ Orsat (Орса), измѣненный Fischer'омъ (Фишеръ).

Онъ состоитъ (фиг. 118) изъ калиброванной трубки (бюретки) A , объемъ которой отъ нулеваго дѣленія до верхняго капиллярнаго конца = 100 см³ и которая посредствомъ крановъ можетъ соединяться съ сосудами F , E или D , наполненными поглощающими жидкостями и стеклян-

*) Весь остатокъ предполагается состоящимъ изъ одного азота, такъ какъ молекулы заключаются въ немъ слѣдовъ углеводо- и сѣроводородовъ обыкновенно слишкомъ незначительное количество и они не могутъ вліять на результаты опытовъ.

ными трубочками для увеличенія поверхности соприкосновенія съ ними изслѣдуемой газовой смѣси. Верхняя горизонтальная трубка съ краномъ *e* идетъ къ сосуду (газгольдеру), содержащему газовую смѣсь, или прямо въ изслѣдуемое пространство, напр. въ дымовую коробку паровоза. Для удержанія пыли и сажи и насыщенія смѣси передъ изслѣдованіемъ водяными парами, передъ краномъ *e* находится U-образная трубка *B*, наполненная наверху ватой, а внизу водою. Во избѣжаніе колебанія температуры газа—бюретка *A* помѣщается въ широкій стеклянный цилиндръ съ водою. Передъ опытомъ наполняютъ: цилиндръ, окружающій бюретку *A* и соединенную съ нею стеклянку *L*—дистиллированной водою; сосудъ *F*, имѣющій (какъ *E* и *D*) форму сифона [задній конецъ котораго закрытъ каучуковой пробкою съ трубочкою идущею къ мягкому каучуковому шару *g*, для предохраненія жидкостей отъ дѣйствія атмосфернаго воздуха]—растворомъ полухлористой мѣди для поглощенія окиси углерода; сосудъ *E*—щелочнымъ растворомъ пирогалловой кислоты для поглощенія кислорода и сосудъ *D*—растворомъ ѣдкаго кали для поглощенія углекислоты. Эти растворы вливаются до половины высоты сифоновъ. Затѣмъ закрываютъ средніе краны, соединяють трехходовымъ краномъ *c* бюретку съ атмосферой и, поднимая вверхъ стеклянку *L*, заполняютъ бюретку *A* сполна водою. Разобщивъ теперь краномъ *c* бюретку съ атмосферой, открываютъ поочередно соответствующіе краны у каждаго изъ сифоновъ и, опуская внизъ стеклянку *L*, присасываютъ растворы до помѣтокъ *m* и приборъ готовъ для дѣйствія. Опытъ производится такимъ образомъ: поднимая стеклянку *L* вверхъ, заполняютъ бюретку *A* водою до 100-го дѣленія и выгоняють изъ нея воздухъ наружу черезъ кранъ *e*. Затѣмъ, поворачивая кранъ *e*, соединяють приборъ съ изслѣдуемымъ пространствомъ и, опуская стеклянку *L* внизъ, наполняютъ газовою смѣсью бюретку до нулеваго дѣленія. Если газгольдеръ находитъ далеко или всасываютъ смѣсь изъ дымовой коробки черезъ длинную трубку, что очень затруднительно, то для присасыванія газа къ прибору прилагается каучуковый насосъ *C*; тогда поступаютъ такимъ образомъ: трубку идущую отъ сосуда *L* къ бюреткѣ, зажимають и соединяють изслѣдуемое пространство черезъ сифонъ *B* и кранъ *e* съ насосомъ *C* и присасываютъ затѣмъ 10—15 разъ изслѣдуемые газы. Когда воздухъ изъ газопроводныхъ трубокъ вытѣсненъ, поворотомъ крана *e* соединяють бюретку съ изслѣдуемымъ пространствомъ и поступаютъ по предыдущему. Если теперь кранъ *e* закрыть, то порція изслѣдуемой газовой смѣси будетъ находиться въ пространствѣ между четырьмя кранами и столбомъ воды въ бюреткѣ на нулевомъ дѣленіи.

Для опредѣленія углекислоты открываютъ кранъ сосуда *D* и, открывши зажимъ поднимають стеклянку *L* вверхъ. Тогда газъ переходитъ въ этотъ сосудъ и углекислота поглощается. Повторивши это нѣсколько разъ, заставляютъ снова растворъ подняться въ мѣтки *m*. За-

крывъ кранъ, ведущій къ *D*, открываютъ зажимъ и ставятъ стеклянку *L* рядомъ съ бюреткою такъ, чтобы уровень воды въ нихъ былъ одинъ и тотъ-же и прямо отсчитываютъ число см³. газа. Такъ какъ дѣленія нанесены на бюретку снизу вверхъ, то сказанное дѣленіе на шкалѣ непосредственно выразитъ собою уменьшеніе объема газа, вслѣдствіе поглощенія углекислоты въ сосудѣ *D*, т. е. процентное содержаніе углекислоты въ газовой смѣси. Тоже дѣлаютъ и съ сосудами *F* и *E* и находятъ процентное содержаніе окиси углерода и кислорода.

Когда анализъ оконченъ, остатокъ газа выгоняютъ черезъ кранъ *e* въ атмосферу (поднимая стеклянку *L*) и приступаютъ къ слѣдующему анализу, поступая по предыдущему.

Черезъ 100—200 анализовъ, когда поглощеніе газовъ жидкостями становится медленнымъ, изъ сосудовъ высасываютъ растворы небольшими сифонами и замѣняютъ ихъ свѣжими.

Аппаратъ этотъ очень удобенъ и, при небольшомъ навыкѣ, позволяетъ дѣлать анализы очень быстро и достаточно точно. Всѣ его части надежно укрѣпляются въ деревянномъ ящикѣ и при осторожномъ обращеніи (какъ со всякою стеклянною посудой)—не подвергаются ломкѣ. Обыкновенно эти аппараты ставятъ въ опытныхъ вагонахъ, гдѣ имъ отводятъ отдѣльное мѣсто и прочно укрѣпляютъ въ особыхъ шкафахъ или на полкахъ, гдѣ работа съ ними легка и удобна (напр. см. вагонъ западной французской желѣзной дороги § 84). При этомъ къ аппарату всегда присоединяютъ газгольдеръ. На паровозѣ-же, за недостаткомъ мѣста, пылью и пр.—работа съ аппаратомъ затруднительна и рѣдко производится. Только при нефтяномъ отопленіи еще возможно производить анализъ газовъ сравнительно удобно, такъ какъ на тендерѣ можно найти требуемое мѣсто и при этомъ нѣтъ пыли.

Существуютъ нѣсколько видоизмѣненій прибора Orsat, съ цѣлью его улучшенія, напр. Orsa—Саллеронъ, Orsa—Лунге, Orsa—Мюнке и проч. Изъ нихъ мы остановимся только на очень удобномъ видоизмѣненіи Германа Фаленкампа (Herman Fahlenkamp), который задался цѣлью возможно уменьшить размѣры прибора и вмѣстѣ съ тѣмъ сдѣлать его болѣе прочнымъ. Въ приборѣ Orsa—Фаленкампа U-образные, поглощающіе сосуды замѣнены двойными сосудами бутылкообразной формы (фиг. 119), состоящими изъ наружныхъ бутылокъ *b* съ каучуковымъ шаромъ *x* и широкимъ горломъ и внутреннихъ, тщательно притертыхъ къ первому, сосудовъ *a*, наполненныхъ, какъ и раньше, стеклянными трубками. При этомъ эти сосуды становятся болѣе прочными. Бюретка (4) здѣсь двойная и раздѣлена внизу на десятые доли куб. сантиметра отъ 0 до 30 см³. и на верху дальнѣйшими дѣленіями до 100 см³. Внизу обѣ части бюретки, посредствомъ 2-хъ каучуковыхъ трубокъ *f*, соединяются съ T-образной стеклянной трубкой *d* и дальше каучуковой трубкой *e* съ стеклянкой *h*. При вса-

сываніи газо́въ объ́м трубки f открыты и бюретка до нуля наполняется газовой смѣсью. При всасываніи-же газовой смѣси изъ сосудовъ 1, 2 или 3, послѣ поглощенія CO_2 , CO или O , въ одной изъ вѣтвей бюретки уровень устанавливается на нѣкоторой высотѣ съ помощью зажима трубки f и затѣмъ уже ставятъ склянку h рядомъ съ другою вѣтвью такъ, чтобы вода въ нихъ находилась на одномъ уровнѣ. Тогда отсчитываютъ въ этой вѣтви соответствующее дѣленіе и прибавляютъ къ нему высоту уровня въ первой вѣтви бюретки. Емкость этого аппарата очень мала: длина = только 42 ст., высота = 30 ст. и ширина = 10 ст.

Какъ сказано, при установкѣ въ вагонахъ, къ этимъ приборамъ всегда присоединяютъ аспираторъ, т. е. приборъ, служащій для всасыванія газо́въ изъ дымовой коробки. Самый простой аспираторъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ сосудовъ A и B (фиг. 120) съ водою, соединенныхъ между собою каучуковой трубкой c . Отъ сосуда A идетъ трубка a къ дымовой коробкѣ, а b къ прибору Орса. Закрывая краны 1 и 2, посредствомъ трехходнаго крана 3 сообщаютъ сосудъ A съ атмосферой и, подымая сосудъ B , выгоняютъ изъ A воздухъ наружу. Затѣмъ открываютъ кранъ 2, поворачиваютъ кранъ 3 и, соединяя такимъ образомъ A съ дымовой коробкой, опускаютъ сосудъ B на нижнюю полку. Тогда вода изъ A переливается въ B и происходитъ всасываніе газо́въ. Закрывая дальше кранъ 2 и открывая 1, поднимаютъ склянку B : вода переходитъ изъ B въ A , выгоняя газъ, который переходитъ въ приборъ Орса.

Подобные аппараты, которые бываютъ различныхъ видовъ, очень удобны также для взятія средней пробы газовой смѣси за извѣстный промежутокъ времени, когда слѣдовательно необходимо собрать газо́въ болѣе или менѣе значительное количество.

В. Приборы для изслѣдованія паровой машины.

1. Индикаторы.

§ 58. Роль и раздѣленіе индикаторовъ.

Изъ предыдущаго видно, насколько важенъ этотъ приборъ въ области изслѣдованія паровыхъ машинъ. Безъ индикатора изслѣдованіе машинъ было бы невозможно и съ другой стороны можно сказать, что только благодаря ему удается опредѣлить большинство недостатковъ паровыхъ машинъ и тѣмъ способствовать дальнѣйшему ихъ усовершенствованію. Индикаторъ даетъ возможность:

1. Измѣрить работу машины.
2. Провѣрить правильность дѣйствія парораспределительнаго механизма и внутреннихъ органовъ машины, т. е.: золотниковъ, поршней и

проч., неисправность которых тотчас же обнаруживается на индикаторных диаграммах.

3. Исследовать законы расширения и сжатия пара в паровых цилиндрах, определить тепловое полезное действие машины и пр.

В виду указанной весьма важной роли индикаторов, надъ усовершенствованіемъ первоначальнаго индикатора Уатта работало много лицъ и въ результатъ появилось большое количество ихъ системъ, которыя можно раздѣлить на 3 главныя группы:

I. *Обыкновенные индикаторы (и дифференціальные).*

II. *Непрерывные индикаторы и*

III. *Суммирующіе индикаторы.*

Подробное описаніе ихъ, историческій обзоръ и сравнительное исследование составляетъ предметъ особыхъ специальныхъ сочиненій (перечисленныхъ въ указателѣ въ концѣ книги), здѣсь же описаны только индикаторы, наиболѣе часто употребляемые при исследованіи паровозовъ.

Всѣ эти индикаторы имѣютъ дѣло съ паровымъ цилиндромъ и даютъ индикаторныя диаграммы, подробно исследованныя выше. Но кромѣ того, есть приборы, устанавливаемые въ динаметрическихъ вагонахъ и служащіе для опредѣленія сопротивленія поѣзда и для другихъ цѣлей и также называемые индикаторами. Они описаны отдѣльно въ § 88.

§ 59. Обыкновенные индикаторы (и дифференціальные).

Въ основу ихъ всѣхъ положена одна и та же идея, изложенная въ § 5, а именно: каждый индикаторъ состоитъ изъ небольшого парового цилиндрика (фиг. 3), соединяемаго съ паровымъ цилиндромъ машины въ желаемый моментъ. Поршень этого цилиндрика, на верхнюю площадку котораго давитъ пружина, подъ вліяніемъ упругости пара поднимается вверхъ на высоту, пропорціональную давленію пара въ цилиндрѣ. Отъ штока этого цилиндрика, посредствомъ особаго передаточнаго механизма, движеніе передается карандашу, который и чертитъ на бумагѣ, надѣтой на цилиндръ (называемый „бумажнымъ“), приводимый въ движеніе отъ поршня паровой машины и, слѣдовательно, имѣющій вращеніе пропорціональное передвиженію этого поршня, индикаторную диаграмму. Разница различныхъ индикаторовъ заключается только въ деталяхъ, а именно— въ способахъ передачи движенія карандашу и въ деталяхъ устройства парового и бумажнаго цилиндриковъ. Въ настоящее время наиболѣе извѣстны слѣдующіе системы индикаторовъ: Hopkinson, Garnier, Mos Naught, Richards, Thompson, Rosenkranz, Grosby, Tabor, Jnnés и др. При исследованіи паровозовъ на континентѣ Европы, наиболѣе часто употребляются индикаторы Thompson'a и Rosenkranz'a, рѣже Richards'a, по-

чему на нихъ и остановимся, разсмотрѣвши ихъ устройство параллельно. Общій ихъ видъ показанъ на фиг. 121—123. Индикаторные цилиндрики *A*, посредствомъ дифференціальнахъ гаекъ *E*, соединяются съ трубками, идущими къ паровому цилиндру паровоза. Такъ какъ движеніе поршня индикатора очень незначительно, то во избѣжаніе полученія неясныхъ діаграммъ, карандашъ *n* не прикрѣпляется непосредственно къ концу поршневаго штока *F*, какъ это было въ первоначальномъ индикаторѣ Watt'a (фиг. 3); но движеніе карандашу сообщается посредствомъ болѣе или менѣе сложной передачи, состоящей изъ цѣлаго ряда рычаговъ, показанныхъ схематически на фиг. 125—127. Это направленіе карандаша и служитъ важнѣйшею характеристикою индикатора. Главныя задачи, которыя при этомъ преслѣдуются, слѣдующія: 1) увеличить въ нѣсколько разъ передвиженіе карандаша, сравнительно съ передвиженіемъ индикаторнаго поршня; 2) достигнуть того, чтобы, несмотря на рядъ шарнировъ, движеніе карандаша, т. е. линія *mn*, имъ описываемая, была строго или почти прямолинейна и параллельна ходу индикаторнаго поршня; 3) должна быть возможно точная зависимость между движеніемъ поршня машины и движеніемъ карандаша, т. е. чтобы между пройденными ими путями въ каждый данный моментъ существовало одно и то же опредѣленное отношеніе и 4) должно быть возможно меньше число движущихся частей и ихъ вѣсъ, чтобы черезъ вліяніе ихъ живой силы не возникали ошибки въ діаграммахъ, что и составляетъ одну изъ главнѣйшихъ задачъ конструктора. Съ этою цѣлью въ указанныхъ индикаторахъ примѣняются извѣстные кинематическія передачи, а именно: въ индикаторѣ Richards'a—параллелограммъ Уатта, у Thompson'a—механизмъ Эванса и у Rosenkranz'a—„точный“ механизмъ Эванса. Бумага, на которой чертится діаграмма, надѣвается на особый цилиндръ *B* („бумажный“), который посредствомъ шнурка *C* приводится въ движеніе отъ поршня машины. Передаточный пишущій механизмъ *D* прикрѣпляется къ трубкѣ *G*, которая можетъ вращаться, вмѣстѣ съ шарниромъ *F* (укрѣпленнымъ на верхнемъ концѣ штока индикаторнаго поршня), вокругъ обточенной части цилиндра *A*, благодаря чему карандашъ *n* можно по желанію приблизить или удалить отъ бумажнаго цилиндра *B* и такимъ образомъ получить индикаторную діаграмму въ желаемый моментъ.

На фиг. 129—131 индикаторные цилиндры представлены въ разрѣзахъ, при чемъ обозначаетъ:

B—индикаторный поршень.

C—поршневая индикаторная пружина, которая привинчивается однимъ концомъ къ поршню *B*, а другимъ къ цилиндровой крышкѣ *K*.

F—шаровой шарниръ.

H—поворотная часть съ пишущимъ механизмомъ. При индикаторахъ, предназначенныхъ для очень высокихъ давленій, употребляется

приспособленіе Riedler'a состоящее въ слѣдующемъ (фиг. 132): индикаторный цилиндръ имѣетъ 2 части—верхнюю *A* и нижнюю *P*; отвинтивши поршень *B*, замѣняютъ его поршнемъ *k* вдвое меньшаго діаметра, который движется въ привинчиваемой части *P* при той-же самой пружинѣ *C*. Благодаря этому, можно при тѣхъ-же пружинахъ, предназначенныхъ для большихъ индикаторныхъ поршеньковъ, измѣрять давленія вдвое большія. Какъ видимъ, устройство индикаторныхъ цилиндровъ въ общемъ одинаково и разница въ мелочахъ, напримѣръ шаровой шарниръ *F* въ индикаторѣ Thompson'a находится внутри цилиндра *A* въ особой трубкѣ, у Richards'a онъ замѣненъ серьгой, у Rosenkranz'a онъ находится на концѣ штока и т. д.

При устройствахъ, показанныхъ на фиг. 131, вслѣдствіе не одинаковаго расширения цилиндра *A* и поршня *B* (или *k*) происходитъ иногда заѣданіе послѣдняго, почему въ индикаторахъ послѣднихъ конструкцій (напримѣръ Rosenkranz'a—фиг. 134) индикаторный поршень движется въ трубкѣ *G*, обогреваемой со всѣхъ сторонъ паромъ.

Пружинъ *C* прилагается къ каждому индикатору нѣсколько штукъ (обыкновенно—4) болѣе или менѣе сильныхъ, т. е. которыя могутъ сжиматься болѣе или менѣе подъ однимъ и тѣмъ-же давленіемъ. На одной изъ гаекъ пружины поставлено высшее давленіе пара, на которое пружина рассчитана, на другой—обозначено то число мм. ординатъ индикаторной діаграммы, которое соответствуетъ каждой атмосферѣ въ паровомъ цилиндрѣ и сообразно съ этимъ къ каждой пружинѣ приложено масштабъ для измѣренія ординатъ соответствующихъ діаграммъ (фиг. 133). Обыкновенно толщина стальной проволоки пружинъ и степень ихъ закалки рассчитывается такъ, чтобы высшее допускаемое давленіе пара сжимало ихъ не болѣе какъ на 18 мм. При опытахъ нужно всегда ставить пружину, соответствующую давленію пара въ паровомъ цилиндрѣ, такъ какъ, напримѣръ, при постановкѣ болѣе сильной (тугой) пружины при небольшихъ давленіяхъ въ цилиндрѣ ординаты діаграммы будутъ имѣть небольшую высоту, но масштабъ тугихъ пружинъ очень мелокъ и легко сдѣлать значительную ошибку.

Какъ сказано, движеніе индикаторнаго поршня очень незначительно и для ясности—его движеніе увеличиваютъ въ нѣсколько разъ посредствомъ пишущаго рычажнаго механизма. Для этого въ индикаторѣ Richards'a (одномъ изъ старѣйшихъ индикаторовъ) примѣняется параллелограммъ Уатта, въ чемъ и заключается его главнѣйшій недостатокъ, такъ какъ рычаги здѣсь длинны и массивны и поэтому при изслѣдованіи быстроходныхъ машинъ, вслѣдствіе ихъ инерціи, кривая расширения выходитъ волнообразной и неизбѣжно уклоняется отъ дѣйствительной кривой и кромѣ того даже сами рычаги могутъ погнуться при нажатіи карандаша къ бумажному цилиндру. Поэтому конструкторы стремились

уменьшить всё, число и величину этих частей, что и удалось вполне Thompson'у, в индикаторъ котораго кромѣ того шарниры рычаговъ имѣютъ большую длину, почему меньше изнашиваются и всё оси расположены почти симметрично относительно плоскости качанія всѣхъ рычаговъ и поэтому описываютъ меньшіе пути, чѣмъ у Richards'a. Ввиду этого индикаторы Richards'a можно употреблять только при изслѣдованіи машинъ съ числомъ оборотовъ, не превышающемъ 155 въ 1 минуту, тогда какъ при употребленіи индикатора Thompson'a получаются диаграммы безъ волнистыхъ линій при 300 оборотахъ въ минуту и болѣе (а при употребленіи такъ называемыхъ „малыхъ“ индикаторовъ, даже при 600 оборотахъ въ минуту) и поэтому эти индикаторы наиболѣе примѣнимы при изслѣдованіи паровозовъ. Въ индикаторахъ Rosenkranz'a также примѣняется параллелограммъ Эванса и въ сказанномъ отношеніи онъ не уступаетъ индикатору Thompson'a.

„Бумажные“ цилиндры или „барабаны“ А индикаторовъ Richards'a и Rosenkranz'a (Thompson'a не представляютъ никакихъ особенностей) представлены на фиг. 135 и 136. Они дѣлаются изъ тонкой мѣди или алюминія и надѣваются на цилиндрической барабанъ, соединенный посредствомъ втулки В съ пружинною коробкою F. Всё это вращается на стержнѣ D, привинченномъ къ штативу E индикатора, и приводится въ движеніе отъ поршня паровой машины (отъ крейцкопфа) посредствомъ шнура, навиваемаго на выточку С въ нижней части цилиндра В. Движеніе ограничивается штифтомъ H и цилиндръ не можетъ сдѣлать полного оборота. Благодаря шнуру, бумажный цилиндръ поворачивается въ одну сторону, напримѣръ соответствующую прямому ходу поршня и при обратномъ ходѣ его—спиральная пружина, находящаяся въ коробкѣ F, возвращаетъ бумажный цилиндръ въ его первоначальное положеніе *). Бумага удерживается на барабанѣ А металлическими пластинками m и надѣвается руками, какъ показано на фиг. 138 и 139. Для этого необходимо вращеніе барабана А остановить, отцѣпивши шнурокъ С отъ крейцкопфа, и снять его съ цилиндра В. Чтобы это удобно было дѣлать во время изслѣдованія машины, желательно ничего при этомъ не отвинчивать и не отвертывать, почему соединеніе между А и В дѣлается только посредствомъ вырѣза въ нижней части барабана А, обхватывающаго головку штифта, привинченнаго къ цилиндру В.

Но тѣмъ не менѣе во время хода поѣзда, особенно при большихъ скоростяхъ, разцѣплять шнуръ и снова его сцѣплять и смѣнять бумагу крайне затруднительно и если не невозможно, то требуетъ большой ловкости и труда. Поэтому нѣкоторыя фирмы, напр. Dreyer, Rosenkranz и Дроер въ Ганноверѣ, дѣлаютъ приспособленія, позволяющія быстро раз-

*) Иногда пружина F имѣетъ видъ, показанный на фиг. 137.

общить барабанъ A отъ цилиндра B , не останавливая послѣдняго и слѣдовательно не отцѣпляя шнура C отъ крейцкопфа. Это приспособленіе заключается въ слѣдующемъ (фиг. 140—141): на штифтѣ вращается гильза H , составляющая одно цѣлое съ шнуровымъ дискомъ S (слѣдовательно приводится въ движеніе отъ крейцкопфа), и для сообщенія обратнаго движенія снабженная пружиною F . Около гильзы H вращается вторая гильза H_1 , на которую уже и надѣвается бумажный цилиндръ A . Гильза H_1 также снабжена коробкою D съ пружиною F_1 . Гильза H снабжена выступомъ z_1 , H_1 —выступомъ 1 , причемъ первый выступъ при вращеніи задѣваетъ за второй. Такимъ образомъ при движеніи поршня впередъ—гильза H_1 движется вмѣстѣ съ гильзою H въ томъ-же направленіи, увлекаемая выступомъ z_1 , который давитъ на выступъ 1 ; при обратномъ движеніи верхняя гильза также движется за нижней вслѣдствіе дѣйствія пружины F_1 , которая поворачиваетъ гильзу H_1 обратно, при чемъ выступъ 1 прижимается къ выступу z_1 . Очевидно, если барабанъ A , вмѣстѣ съ гильзою H_1 , остановить *въ концѣ* его прямого хода, то онъ и останется неподвижнымъ, въ то время какъ шнуръ будетъ по прежнему продолжать вращать нижнюю гильзу H . Для этого барабанъ A снабженъ внизу зубцами и къ небольшой стойкѣ T , прикрѣпленной къ штативу индикатора, насажена собачка K , которая посредствомъ пружины R , при движеніи пуговки O вправо, останавливаетъ барабанъ A . Разъ только барабанъ A остановленъ, смѣна бумажки, не снимая его съ индикатора, производится безъ всякаго труда и, подвинувши потомъ кнопку O лѣво, мы снова разцѣпляемъ собачку K съ зубцами и бумажный барабанъ тотчасъ-же начнетъ двигаться вслѣдъ за нижнею гильзою H .

Описанныя системы индикаторовъ (кроме Richards'a) дѣлаются двухъ величинъ—такъ называемыя большія и малыя модели. Первые употребляются для машинъ съ меньшимъ (до 300—400), вторыя—съ большимъ (до 600) числомъ оборотовъ.

Индикаторы даютъ діаграммы для одной стороны парового цилиндра и для полного и точнаго изслѣдованія машины—необходимо имѣть два индикатора, которые одновременно снимаютъ діаграммы съ обѣихъ сторонъ. При употребленіи-же одного только индикатора, можно или 1) снимать діаграммы только съ одной стороны, предполагая, что діаграммы съ другой стороны вполне тождественны, что совершенно не правильно, такъ какъ парораспределеніе при переднемъ и заднемъ ходѣ часто не одинаково и скорости поршня, особенно при незначительномъ отношеніи длины шатуна и кривошипа, при ходѣ взадъ и впередъ—не равны; или 2) соединяя индикаторъ съ обѣими сторонами цилиндра (что вообще не рекомендуется, такъ какъ приходится употреблять длинныя паропроводныя трубки), снимать діаграммы поочередно, опять предполагая, что эти, разновремененно снятыя, діаграммы соответствуютъ одна другой, что также

не справедливо. Поэтому, съ цѣлью избѣжать этихъ неудобствъ и употребленія двойнаго числа приборовъ, строятся индикаторы, которые называются „дифференціальными“ и которые, соединяясь одновременно съ обѣими сторонами цилиндра, даютъ діаграмму вида фиг. 142, ординаты которой представляютъ дѣйствительное полное давленіе на поршень и площадь даетъ полную работу парового цилиндра за одинъ оборотъ оси. Но эти діаграммы далеко не такъ полезны, такъ какъ не позволяютъ судить о парораспредѣленіи, о линіяхъ сжатія, выпуска и пр. и поэтому употребленіе ихъ, при серьезныхъ изслѣдованіяхъ машинъ, не рекомендуется. Устройство ихъ вполне понятно, напр., изъ фиг. 143, на которой представленъ дифференціальнй индикаторъ сист. Prussman'a, изготовленный фирмой Schäffer & Budenberg'a въ Магдебургѣ—(Букау). *)

§ 60. Непрерывные индикаторы.

При изслѣдованіи паровозовъ, а также и другихъ паровыхъ машинъ съ быстро мѣняющейся работой—иногда крайне желательно судить о этой перемѣнной работѣ за нѣкоторый періодъ, для чего необходимо за это время снимать возможно большее число индикаторныхъ діаграммъ, что при быстромъ движеніи паровоза очень затруднительно и требуетъ извѣстнаго времени, при чемъ особенно затруднительна смѣна бумаги. Поэтому строятся непрерывные индикаторы, посредствомъ которыхъ можно на одинъ и тотъ-же листъ бумаги снимать послѣдовательно нѣсколько діаграммъ. Вся разница этихъ индикаторовъ отъ обыкновеннаго заключается только въ устройствѣ бумажнаго цилиндра, который, кромѣ вращательнаго движенія, имѣетъ еще поступательное вдоль своей оси (прямое или винтовое), подставляя такимъ образомъ подъ пишущій карандашъ новыя мѣста. При этомъ получается рядъ діаграммъ, представленныхъ на фиг. 145 или 146. Есть также индикаторы, дающіе рядъ діаграммъ въ горизонтальномъ направленіи (фиг. 144). Изъ нѣсколькихъ системъ индикаторовъ подобнаго рода мы опишемъ для примѣра индикаторъ системы Rosenkranz'a (фиг. 147). Въ немъ бумажный цилиндръ передвигается автоматически, для чего верхняя часть его оси наръзана и снабжена длинною гайкою *M* съ продольными зубцами на ея поверхности, съ которыми сцѣпляются двѣ хрповыхъ собачки *A* и *G*, прикрѣпленныя—1-я къ верхней крышкѣ пружинной коробки, 2-я къ крышкѣ барабана *P*.

*) Еще распространенъ индикаторъ Grosby (хотя менѣе, чѣмъ Thompson'a). Онъ имѣетъ нѣкоторыя особенности: особаго рода индикаторныя двойныя пружины и пишущій приборъ. Для поворота бумажнаго барабана, показаннаго на фиг. 137, употребляется пружина особаго вида. Общій вышній видъ изображенъ на фиг. 124 и 128. На этихъ чертежахъ поставлены тѣ-же буквы, каковыя употреблялись раньше, и устройство его понятно.

При вращеніи барабана въ одну сторону, собачка G свободна, т. е. не сдѣляется съ гайкою M , которая собачкою A удерживается отъ вращенія. При обратномъ движеніи, наоборотъ—свободна собачка A , собачка же G сдѣляется съ гайкою M , которая, вращаясь, поднимается вверхъ вмѣстѣ съ барабаномъ P . Если желаютъ, чтобы индикаторъ работалъ какъ обыкновенный, то собачку G отводятъ отъ гайки M , вращая пуговку R . Замѣтимъ, что при этомъ получаются діаграммы отличныя отъ обыкновенныхъ. Если напр. (фиг. 148) при прямомъ ходѣ, когда барабанъ не поднимается, описана кривая abc , то атмосферная линія x будетъ горизонтальна. При обратномъ-же ходѣ—барабанъ поднимается на величину y и карандашъ опишетъ вмѣсто атмосферной линіи x —прямую z и соответствующую кривую cda . При этомъ высота Δ -ка y будетъ зависѣть отъ хода винта гайки M . Очевидно, что площадь A діаграммы $abcd$ должна быть уменьшена на площадь Δ -ка $xye = B$, т. е. она будетъ $= A - B$.

Обратно—если верхняя линія діаграммы описывается при обратномъ ходѣ z , т. е. при поднятіи барабана на высоту y , то точная поверхность діаграммы будетъ $= A + B$ (фиг. 149).

Иногда эти индикаторы строятся безъ автоматическаго подъема, который тогда совершается отъ руки посредствомъ гайки, которую надо подкручивать послѣ снятія каждой діаграммы. Обыкновенно можно снять безъ смѣны бумаги до 12 діаграммъ. По окончаніи съемки серіи діаграммъ, снимаютъ барабанъ P , надѣваютъ новую бумагу и навинчиваютъ снова на винтъ S .

Что касается до индикаторовъ, дающихъ діаграммы вида фиг. 144, то они почти не употребляются при изслѣдованіи паровозовъ, такъ какъ даютъ измѣненныя діаграммы, вслѣдствіе передвиженія барабана при обратномъ ходѣ машины, и поэтому требуютъ дополнительной работы для приведенія ихъ въ требуемый видъ. Они находятъ себѣ исключительное примѣненіе при изслѣдованіи быстроходныхъ машинъ для прокатныхъ становъ.

§ 61. Передача движенія индикаторамъ отъ поршня паровой машины.

Такъ какъ длина хода поршней паровыхъ машинъ бываетъ различна, а длину индикаторныхъ діаграммъ желательно имѣть одну и ту-же (обыкновенно $= 120$ мм.), то при изслѣдованіи паровыхъ машинъ употребляютъ спеціальныя „ходоуменьшители“, напр. системы Stanek'a, уменьшающіе ходъ поршня въ желаемомъ отношеніи. Ходоуменьшитель состоитъ (фиг. 150, 151 и 152) изъ стержня D , прикрѣпляемаго къ паровой машинѣ посредствомъ кольца R съ винтами, на которомъ можетъ передвигаться обойма H , удерживаемая въ желаемомъ положеніи винтомъ P . Обойма имѣетъ горизонтальную втулку S , на которую съ одной стороны

надѣвается большой барабанъ Q , а съ другой—малый барабанъ b . Первый приводится въ движеніе шнуркомъ, идущимъ отъ какой-нибудь части паровой машины, имѣющей движеніе, одинаковое съ поршнемъ, напр. отъ крейцкопфа, при обратномъ движеніи котораго шнурокъ снова наматывается на барабанъ, вращаемый въ обратную сторону спиральною пружиною, помѣщенной внутри его. Отъ малаго-же барабана b , посредствомъ направляющихъ роликовъ c , движеніе передается бумажному цилиндру индикатора. При вращеніи барабана Q —стержень T , имѣющій винтовую наръзку, передвигается вправо каждый оборотъ на величину = шагу винта и такимъ образомъ шnurки на барабанахъ Q и b располагаются правильными винтовыми рядами, лежась рядомъ съ предыдущимъ. Въ зависимости отъ хода машины ставятъ барабанъ b соответствующаго діаметра (фиг. 153), такъ что длина діаграммы получается всегда = 120 мм. Такой ходоуменьшитель иногда прикрѣпляется къ штативу самаго индикатора. Общую установку см. фиг. 154 и 155.

Эти приспособленія весьма удобны при испытаніи постоянныхъ паровыхъ машинъ, но испытаніе паровозовъ требуетъ обыкновенно специальныхъ приспособленій, изъ которыхъ опишемъ слѣдующія:

1. Инж. Бородинъ и Леви, при испытаніи паровозовъ въ 1886 г. на юго-западныхъ желѣзныхъ дорогахъ, употребляли слѣдующій приборъ (фиг. 156): желѣзная штанга aa , снабженная по концамъ вырѣзами, захватываетъ пуговки, изъ которыхъ одна прикрѣплена къ крейцкопфному болту, а другая къ ползуну, движущемуся вдоль перекладины kk , поддерживаемой двумя стойками L и L' . Штанга вращается около постоянной точки M и проходитъ сквозь отверстие въ площадкѣ. Стойки L и L' снабжены внизу винтовою рѣзбою и имѣютъ двѣ гайки n , n' , подкручиваніемъ которыхъ можно весь приборъ поднимать или опускать и тѣмъ измѣнять плечо Ma , а слѣдовательно и длину діаграммы. Шнуръ hh идетъ къ индикатору и поправляется роликами.

2. Передача посредствомъ „маятниковъ“ изображена на фиг. 158—159. Устройство ихъ очень просто и размѣры приспособляются къ данному паровозу. Но такъ какъ при всѣхъ этихъ приборахъ движеніе передается посредствомъ длиннаго и наклоннаго шнура, который удлинняется и колеблется вѣтромъ*), то при большихъ скоростяхъ получаютъ очень неточныя діаграммы и поэтому употребленіе подобныхъ приборовъ, при серьезныхъ опытахъ, не рекомендуется.

3. Значительно лучше указанныхъ—приборы, основанные на при-
мѣненіи *пантографа* (фиг. 160—161), приводящаго въ движеніе стер-

*) Благодаря эластичности шнура и инерціи вращающихся массъ, при большихъ скоростяхъ получаютъ діаграммы, изображенныя на фиг. 157.

жень P , который направляется втулкою n и точно располагается въ плоскости выемки диска бумажнаго барабана индикатора. Этотъ стержень долженъ имѣть возможно большую длину, чтобы шнуръ, идущій отъ его конца къ индикатору, былъ по возможности короче *).

4. Интересное приспособленіе спроектировано на Locomotiven-Fabrik Wiener-Neustadt и примѣняется на К. österreichischen Staatsbahnen (Австрія). (Фиг. 162 и 163). Передача движенія отъ крейцкопфа къ индикатору совершается посредствомъ рычага H ; въ его короткомъ плечѣ сдѣланъ прорѣзъ, въ которомъ движется кулисный камень 1 , связанный со вторымъ кулиснымъ камнемъ 2 , двигающимся въ прорѣзѣ вертикальной стойки C . Камень 2 въ прорѣзѣ C , а слѣдовательно и камень 1 въ прорѣзѣ рычага H , можно опускать и поднимать посредствомъ рычага h , шнурковъ z и z' и роликовъ r и r_1 . Къ камню 1 привязанъ шнурокъ m , идущій къ индикатору. Индикаторъ движется только тогда, когда рычагъ h повернуть вправо и кулисные камни подняты вверхъ. Когда же рычагъ повернуть въ крайнее лѣвое положеніе, то кулисный камень 1 опускается внизъ прорѣза, причѣмъ совпадаетъ съ центромъ вращенія рычага H , и, слѣдовательно, индикаторъ остановится. Рычагъ h въ крайнихъ своихъ положеніяхъ удерживается спиральною пружиною. Это приспособленіе удобно въ томъ отношеніи, что приведеніе индикатора въ движеніе и остановка его достигается простымъ перекидываніемъ рычага h .

Для защиты наблюдателя отъ встрѣчнаго вѣтра и предохраненія отъ паденія—поставленъ экранъ N .

5. Изъ употребляемыхъ приборовъ, во Франціи, опишемъ приборъ, примененный нижшеромъ Pulin при опытахъ съ 4-цилиндровымъ паровозомъ Compound на Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогахъ (фиг. 164—166). Два рычага L и L' имѣютъ въ нижнихъ частяхъ кулисные камни скользящіе въ направляющихъ, прикрѣпленныхъ къ крейцкопфамъ; a и a' —оси ихъ вращенія. Они соединены съ двумя другими короткими рычагами l и l' , длина которыхъ опредѣляется въ зависимости отъ желаемаго уменьшенія хода. Посредствомъ шатуновъ b и b' съ незначительными наклонами—движеніе передается параллельнымъ стержнямъ t и t' , которые слѣдовательно и воспроизводятъ движеніе поршней. Однимъ изъ существенныхъ условій—была необходимость снять двѣ діаграммы съ цилиндровъ высокаго и низкаго давленія въ очень короткое время. Употребленіе шнурка, не удобное уже и для обыкновенныхъ паровозовъ, совершенно непримѣнимо для опытовъ съ быстроходными паровозами. Здѣсь поступлено такимъ образомъ: упомянутые, точно направляемые стержни t и t' оканчиваются крючками; такъ же направляемый стержень t'' соединенъ

*) Эти приборы обыкновенно употребляются въ С.-Америкѣ при изслѣдованіи паровозовъ.

съ рукояткою m , которая вращается относительно оси O и может скользить перпендикулярно къ движению стержней и имѣть зарубку, благодаря которой может по желанію сдѣлаться *безъ игры* съ зубцами стержней t или t' . Такимъ образомъ, стержень t'' получаетъ движеніе отъ t или отъ t' и посредствомъ очень короткаго шнурика передаетъ это движеніе индикатору. Сдѣлка получается очень хорошая и производится (такъ же какъ и расдѣлка) очень легко, причѣмъ снятіе двухъ упомянутыхъ діаграммъ можно сдѣлать менѣе, чѣмъ въ одну минуту, въ теченіе которой парораспредѣленіе можно считать постояннымъ. Замѣтимъ, что, въ зависимости отъ обстоятельствъ, здѣсь пришлось употреблять очень длинныя паропроводныя трубки (напр. для внутренняго цилиндра длиной до 2,5 м. а для наружнаго—даже 3,1 м.), которыя, чтобы не уменьшалось на пути давленіе, взяты діаметромъ 26 мм. при закругленіяхъ очень большихъ радіусовъ и, во избѣжаніе значительнаго охлажденія, трубки имѣли двойную обмотку шнуркомъ. Благодаря этому, давленіе въ цилиндрѣ воспроизводилось индикаторомъ съ точностью, достаточною для практики.

6. Наконецъ приведемъ еще приспособленіе Leitzmann'a, съ большимъ успѣхомъ примѣняемое при опытахъ на прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогахъ. (Фиг. 167, 169). Устройство понятно изъ чертежа. Здѣсь шнурики уже совершенно выброшены и движеніе производится посредствомъ зубчатки и системы рычаговъ, которые должны быть достаточно жестки и прочны, иначе при быстромъ движеніи они будутъ пружинить. Такъ какъ при скоростяхъ до 100 $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ и при плохой погодѣ положеніе наблюдателя на площадкѣ паровоза опасно и непріятно, то открытіе индикаторнаго крана производится здѣсь изъ будки машиниста посредствомъ особой штанги и карандашъ, который отводится отъ бумажнаго цилиндра пружиною, прижимается къ нему для снятія діаграммы особымъ шнуркомъ. На паропроводныхъ трубкахъ ставятъ манометры.

Суммирующіе индикаторы.

§ 62. Задача экономическаго изслѣдованія машинъ, заключается въ опредѣленіи расхода воды и топлива въ часъ на 1 лощ. силу. Эта задача легко рѣшается для машинъ съ постояннымъ сопротивленіемъ, т. е. когда машина развиваетъ постоянное число лошадиныхъ силъ. Но для машинъ съ переменнымъ сопротивленіемъ, когда число лошадиныхъ силъ мѣняется непрерывно, задача крайне усложняется. Тогда приходится опредѣлять среднее число индикаторныхъ лошадиныхъ силъ за извѣстный промежутокъ времени, для чего необходимо снимать возможно большее число индикаторныхъ діаграммъ черезъ извѣстные промежутки времени,

опредѣлять по нимъ работу и изъ этихъ данныхъ уже выводить среднюю индикаторную работу, что требуетъ много времени и труда. Тогда, зная напр. расходъ топлива P въ часъ и дѣля на среднее число лошадиныхъ силъ, находимъ расходъ топлива въ часъ на 1 HP .

Для облегченія этой задачи—построены приборы, называемые „*суммирующими индикаторами*“, которые даютъ сумму работы, произведенной машиною за продолжительное время при какомъ-бы то не было переменномъ сопротивленіи. Изъ нихъ наиболѣе извѣстны—индикаторы Ashton-Storey, Lea, Ch. Vernon Boys и др. Наиболѣе распространены первые, которые мнѣ приходилось встрѣчать и при испытаніи паровозовъ, почему на нихъ мы и остановимся. (Фиг. 170).

Цилиндръ A посредствомъ трубокъ d и e , снабженныхъ продувными кранами f и g , сообщается съ обоими концами парового цилиндра. Стержень поршня P будетъ имѣть поэтому движеніе вверхъ и внизъ пропорціонально разности давленія пара по обѣ стороны парового цилиндра. Это эффективное давленіе уравнивается пружиною h , къ которой подвѣшенъ поршень P и которыхъ поэтому необходимо, какъ и при обыкновенныхъ индикаторахъ, имѣть нѣсколько штукъ для различныхъ наибольшихъ давленій пара въ цилиндрѣ. Штокъ снабженъ дискомъ q и длиннымъ зубчатымъ колесомъ K . Къ диску q пружиною S прижимается дискъ b , который посредствомъ шестерни a и зубчатой рейки R (фиг. 172) или ролика a и шнура S (фиг. 171) получаетъ качательное (вращательное) движеніе отъ крейцкошфа.

Такимъ образомъ: при покоѣ—поршень P находится посреди цилиндра A и дискъ q —противъ середины диска b ; при работѣ машины—дискъ q перемѣщается въ q' или q'' на величину x , пропорціональную эффективному давленію пара p въ цилиндрѣ, т. е. $x = ap$, гдѣ a = коэффициентъ пропорціональности и при этомъ, прижимаясь къ диску b , дискъ q также вращается. Число оборотовъ n колеса a и диска b пропорціонально ходу поршня паровой машины H , т. е. $n = \beta H$, гдѣ β = коэффициенту пропорціональности. Очевидно, число оборотовъ n_0 диска q и зубчатого колеса K —пропорціонально и число оборотовъ n и подъему его x , т. е. разстоянію его отъ центра диска b или $n_0 = \gamma n x$, гдѣ γ = коэффициенту пропорціональности. Т. о. $n_0 = \gamma \beta H a p = \gamma a \beta H p = \delta T$, гдѣ δ = коэффициенту пропорціональности, а $T = H p$ = работѣ машины, следовательно число оборотовъ шестерни K пропорціонально работѣ машины. *) Посредствомъ шестерень l и m —вращеніе отъ K передается счетчику n , каждое дѣленіе котораго будетъ представлять извѣстное число kgm . работы (обыкновенно 10 на 1 qcm . площади поршня).

*) Замѣтимъ, что шестерня K всегда вращается въ одну сторону, будетъ-ли находиться q въ q' или въ q'' , что ясно видно изъ фиг. 173.

Этот индикатор может работать и как обыкновенный, для чего въ немъ устанавливается бумажный барабанъ t , на которомъ можно получать обыкновенныя индикаторныя діаграммы.

Къ недостаткамъ прибора относится возможность скольженія диска q по диску b (что повлечетъ за собою нѣкоторыя неточности), въ особенности послѣ продолжительной его службы, что зависитъ отъ стиранія дисковъ вслѣдствіе пыли. Поэтому приборъ всегда помѣщаютъ въ ящикѣ и время отъ времени его необходимо хорошо очищать, т. е. онъ требуетъ внимательнаго ухода.

Для машинъ съ двумя цилиндрами (Woolf или Compound)—употребляютъ два индикатора для каждаго цилиндра въ отдѣльности.

Приборы, употребляемые при изслѣдованіи діаграммъ.

§ 63. При изслѣдованіи діаграммъ—главная задача заключается въ нахожденіи величины средней ихъ ординаты y (см. § 15), которая, переведенная на масштабъ, принадлежащій той индикаторной пружинѣ, при помощи которой снята діаграмма, дастъ величину средняго дѣйствительнаго (индикаторнаго) давленія пара на поршень. Пусть напр. $y = 30$ mm и діаграмма снята при 6 атмосферной пружинѣ, масштабъ которой— 12 mm = 1 atm., слѣдовательно среднее индикаторное давленіе $= \frac{30}{12} = 2,5$ кг/см².

1. Простѣйшій и наименѣе точный методъ нахожденія величины y — „методъ трапецій“. Діаграмму, посредствомъ роstrата (параллельной линейки) *) фиг. 174, разбиваютъ на 10 трапецій равной высоты (фиг. 175) и тогда y будетъ = средней арифметической изъ 10 высотъ этихъ трапецій, т. е. $y = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_{10}}{10}$. Хотя этотъ методъ достаточно точенъ для практики, но при обширныхъ опытахъ не употребляется, такъ какъ онъ отнимаетъ много времени при изслѣдованіи большого числа діаграммъ.

2. Винтъ *Graham'a* (фиг. 176) даетъ величину $y = \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_{10}}{10}$, т. е. служитъ только дополненіемъ роstrата. Винтъ r снабженъ дискомъ a , который имѣетъ длину окружности = 10 шагамъ винта. Если теперь указателемъ d провести по всѣмъ десяти ординатамъ y_1, y_2, \dots , катя дискъ a и не позволяя гайкѣ e вращаться, то, очевидно, величина ab будетъ = y .

При точныхъ изслѣдованіяхъ употребляются спеціальныя приборы, называемыя „планиметрами“, которыхъ существуетъ очень много системъ, напр. Oppikofer'a, Ernst'a, Beauvière'a, Amsler'a, Prytz'a и др. Изъ нихъ

*) Роstrатъ прилагается къ каждому индикатору.

олишемъ планиметры Prytz'a, какъ наиболѣ простой, и Amsler'a—какъ наиболѣ распространенный.

3. *Планиметръ Prytz'a* (или штангъ-планиметръ или planimètre-hachette) (фиг. 177), очень простой по своему устройству (хотя его теорія сложна), даетъ площадь криволинейныхъ фигуръ, которыхъ наибольший размѣръ не превосходитъ $\frac{1}{2}$ его длины. (При большей длинѣ—фигура разбивается на 2 части и площади ихъ измѣряются отдѣльно). Листъ *A* съ фигурою прикрѣпляется къ горизонтальному столу вмѣстѣ съ листомъ *B*, по которому будетъ скользить остріе *C* инструмента. Затѣмъ отъ какой нибудь точки *o* внутри фигуры проводится черта до контура; остріе прибора *c'* ставится въ эту точку и, легко нажимая на остріе *C*, замѣчаютъ на листѣ *B* начальную точку *a*. Затѣмъ остріемъ *c'* обводятъ (какъ указано стрѣлками) прямую отъ *o* до контура, весь контуръ и опять прямую отъ контура до *o*. При этомъ остріе *C* будетъ чертить на листѣ *B* цѣлый рядъ кривыхъ. По окончаніи обводки, снова слегка нажимаютъ на конецъ *C* и замѣчаютъ такимъ образомъ на листѣ *B* конечное положеніе его, напр. въ *b*. Произведеніе разстоянія между этими двумя отмѣтками, т. е. длины *ab*, на длину инструмента—даетъ искомую площадь фигуры. Если хотять провѣрить полученный результатъ, то поворачиваютъ фигуру на 180° , продѣлываютъ ту-же операцію и берутъ среднюю величину изъ найденныхъ длинъ *ab*.

По своей простотѣ и дешевизнѣ—этотъ планиметръ заслуживаетъ широкаго распространенія.

4. *Планиметръ Amsler-Laffon'a*—самый распространенный. Его устройство понятно изъ фиг. 178—179. При измѣреніи—диаграмму укрѣпляютъ на столѣ и планиметръ устанавливаютъ такимъ образомъ, чтобы длина диаграммы помѣщалась между остріями *a* и *b*, которыя передвигаютъ соответствующимъ образомъ. Затѣмъ ставятъ иголку *c*, нагруженную грузомъ *d*, на столъ и остріемъ *e* обводятъ контуръ диаграммы. При этомъ роликъ *g*, представляющій третью точку опоры планиметра, получаетъ то катящееся, то скользящее движеніе и приводитъ въ движеніе счетчикъ *h*, который до опыта ставятъ на нуль. Послѣ обводки диаграммы—читаютъ конечное число, указываемое счетчикомъ, напримѣръ 420. Это число дѣлятъ на 20 или на другое число, зависящее отъ отношенія зубчатыхъ передачъ механизма (т. е. отъ величины планиметра) и которое всегда на немъ обозначено. Частное $\frac{420}{20} = 21$ и даетъ въ мм. искомую среднюю ординату *y*. Площадь-же диаграммы будетъ = *ab*. *y* = = *ab*. 21. Этотъ планиметръ вполне удовлетворителенъ и его показанія достаточно точны, чѣмъ и надо объяснить его широкое распространеніе. Существуютъ еще планиметры значительно болѣе точные, напримѣръ си-

стемы Корэди, который въ 20 разъ точнѣе планиметра Амслера, но онъ значительно сложнѣе и дороже и поэтому рѣдко употребляется при изслѣдованіи индикаторныхъ діаграммъ.

§ 64. Правила установки индикатора и снятія діаграммъ.

1. Индикаторъ должны содержаться въ безукоризненномъ порядкѣ и поршень его долженъ быть хорошо смазанъ, въ противномъ случаѣ діаграммы получаютъ, вслѣдствіе защемленія поршня вверху индикаторнаго цилиндра, видъ, показанный на фиг. 180.

2. Индикаторная пружина должна быть выбрана сообразно съ тѣмъ наибольшимъ давленіемъ, которое будетъ въ цилиндрѣ. При слабой пружинѣ, вслѣдствіе колебанія массъ индикатора, діаграммы получаютъ видъ, представленный на фиг. 181—182.

3. Передъ снятіемъ діаграммъ—индикаторъ долженъ быть прогрѣтъ и сконденсированная вода выпущена черезъ соотвѣтствующій поворотъ трехходового его крана. Если-же вода будетъ находиться въ индикаторѣ или его паропроводѣ, то кривыя расширения получаютъ волнистый видъ (фиг. 183).

4. Пружина бумажнаго барабана должна быть заведена какъ слѣдуетъ, иначе при быстромъ ходѣ машины, вслѣдствіе инерціи барабана, діаграммы получаютъ видъ фиг. 184.

5. Паръ, входящій въ индикаторъ, долженъ быть возможно болѣе сухъ и поэтому, передъ снятіемъ діаграммъ, цилиндръ паровой машины необходимо продуть. Если въ концѣ сжатія въ цилиндрѣ находится вода, то сжатіе пара прерывается—и діаграмма получаетъ видъ фиг. 19.

6. Паропроводныя трубки отъ парового цилиндра къ индикатору должны быть возможно короче и ихъ внутренній діаметръ = minimum 9—12 mm. Если позволяютъ обстоятельства—индикаторъ лучше всего установить на короткой трубѣ безъ лишнихъ колѣнъ и загибовъ (фиг. 186), такъ какъ, вслѣдствіе тренія въ нихъ, происходитъ пониженіе давленія пара и является разница между площадью полученной діаграммы и той дѣйствительной діаграммы, которая соотвѣтствуетъ работѣ машины. Каждое короткое колѣно увеличиваетъ эту разницу на 2—2,5%. Если-же взять длинную трубку, то, какъ показали опыты въ университетѣ Purdue, при скорости 80 km/h , разница можетъ доходить до 14%, т. е. получается совершенно ложное представленіе о работѣ машины. Поэтому слѣдуетъ избѣгать установки одного индикатора для съемки діаграммъ съ обѣихъ сторонъ цилиндра (фиг. 185), такъ какъ при этомъ нельзя избѣжать длинныхъ трубокъ и упомянутая разница можетъ дойти до 7—10%.

7. Передъ снятіемъ діаграммъ—при запертомъ кранѣ индикатора и соединеніи пространства подъ его поршнемъ съ атмосферой—надо нанести на бумагу атмосферную линію.

8. Бумагу необходимо брать прочную и свинцовый карандаш заострить послѣ снятія нѣсколькихъ діаграммъ. Къ бумагѣ карандашъ не придавливать сильно, чтобы ее не рвать.

9. На снятой діаграммѣ должно быть отмѣчено:

№ паровоза.

Дата (число, мѣсяцъ).

Давленіе въ котлѣ.

» въ золотниковой коробкѣ.

» въ ресиверѣ.

Скорость поѣзда.

Степень наполненія (отсѣчки), т. е. № зубца распределительнаго диска или зубчатки перекидного рычага.

10. Крайне важно изготовить масштабъ для измѣренія ординатъ діаграммы („масштабъ давленій“). Хотя при каждомъ индикаторѣ дается деревянный, заранѣе изготовленный, масштабъ давленій, но пользоваться имъ не слѣдуетъ, такъ какъ пружины, особенно послѣ продолжительнаго употребленія, измѣняютъ свою упругость, почему и ихъ необходимо время отъ времени провѣрять посредствомъ особыхъ специальныхъ прессовъ. Если масштабъ давленій не соотвѣтствуетъ дѣйствительности, то индикаторныя изслѣдованія теряютъ всякую цѣну.

Метрическій масштабъ получается такимъ образомъ: устанавливаютъ на паровомъ цилиндрѣ индикаторъ и на его паропроводной трубкѣ—манометръ. Ставятъ поршень въ то мертвое положеніе, гдѣ стоитъ индикаторъ и закрѣпляютъ его; затѣмъ, продувши цилиндръ, открываютъ понемногу регуляторъ и впускаютъ паръ въ цилиндръ и индикаторъ. По мѣрѣ поднятія давленія, что отсчитывается по манометру, каждую атмосферу отмѣчаютъ на индикаторной бумагѣ, нажимая карандашъ. Затѣмъ наполняютъ цилиндръ и индикаторъ паромъ полнаго давленія и закрываютъ регуляторъ. Тогда запертый паръ, вслѣдствіе охлажденія, начнетъ конденсироваться и давленіе его падать, причѣмъ опять отмѣчаютъ такимъ же образомъ каждую атмосферу. Такимъ образомъ получаютъ 2 масштаба—возрастающихъ и уменьшающихся давленій. Если разница между ними не велика, то берутъ среднія значенія, какъ наиболѣе точныя. Значительное несовпаденіе, указываетъ на какіе-нибудь недостатки индикатора (его загрязненіе, недостатокъ смазки и пр.) или порчу манометра и послѣ осмотра ихъ—опытъ необходимо повторить снова до полученія надежныхъ результатовъ. Подобное нахожденіе масштаба давленій желательно дѣлать передъ каждымъ серьезнымъ изслѣдованіемъ паровоза*).

*) Надо не забывать, что индикаторъ, какъ и манометръ, показываетъ не абсолютное давленіе пара, но его перевѣсъ надъ атмосфернымъ давленіемъ.

11. Паровозная прислуга безъ указаній инженера отнюдь не должна мѣнять положенія регулятора или степень отсѣчки во время снятія діаграммъ и давленіе въ котлѣ должно поддерживаться постояннымъ.

12. Въ машинахъ *Compound* изслѣдуется дѣйствіе опредѣленнаго количества пара, впуценнаго въ цилиндръ высокаго давленія, вплоть до выпуска его въ атмосферу, почему индикаторныя діаграммы должны сниматься съ соответствующихъ сторонъ обоихъ цилиндровъ сообразно съ послѣдовательнымъ ходомъ пара (фиг. 187—189). Это необходимо имѣть въ виду и заранѣе, въ зависимости отъ системы паровоза и направленія хода его, нужно опредѣлить: съ какихъ сторонъ цилиндровъ должны быть сняты діаграммы одновременно. Иногда при этомъ паръ съ передней стороны одного цилиндра переходитъ на заднюю сторону другого, почему діаграммы получаются обращенными въ разныя стороны и поэтому при ранкинизированіи одну изъ нихъ приходится повернуть въ противоположную сторону.

Въ сказанномъ и заключаются важнѣйшія правила, которыя необходимо соблюдать для полученія точныхъ результатовъ.

§ 65. Вліяніе различныхъ обстоятельствъ работы пара на внѣшній видъ діаграммъ.

Какое бы обстоятельство не сопровождало работу пара въ паровозахъ, оно всегда оказываетъ болѣе или менѣе рѣзкое вліяніе на внѣшній видъ снятой при этомъ индикаторной діаграммы и при нѣкоторомъ навыкѣ можно сразу указать на причины, вызвавшія то или другое отклоненіе діаграммъ отъ ихъ нормальнаго вида. При изслѣдованіи дѣйствія пара въ паровыхъ цилиндрахъ (§§ 5—10) и въ предыдущемъ § были указаны многія изъ этихъ отклоненій и объяснены ихъ причины. Здѣсь же сдѣлаемъ только нѣкоторыя дополненія къ вышесказанному.

Видъ діаграммъ, представленныхъ на слѣдующихъ фигурахъ, указываетъ на:

Фиг. 190. Сильное паденіе давленія пара во время впуска, вслѣдствіе малаго отверстія паровпускнаго канала, медленнаго движенія золотника или большой скорости поршня.

Фиг. 191. Сильное мятіе пара во время впуска.

Фиг. 192 и 193. Значительное поднятіе давленія въ концѣ расширенія надъ Маріоттовской кривой—вслѣдствіе неплотности золотника или пропуску свѣжаго пара въ цилиндръ.

Фиг. 194. Внезапный выпускъ свѣжаго пара въ концѣ расширенія, вслѣдствіе неправильной установки золотника.

Фиг. 195. Значительное паденіе давленія въ концѣ расширенія (подъ Марріот. кривую), вслѣдствіе неплотности поршня или очень плохой защиты цилиндра отъ охлажденія.

Фиг. 196. Преждевременный выпускъ.

Фиг. 197. Опоздавший выпускъ, т. е. выпускъ начался въ мертвой точкѣ или послѣ нея и нормальное противодавленіе достигнуто только въ точкѣ *b*.

Фиг. 198. Слишкомъ высокое давленіе при выпускѣ, указывающее на узкость выпускныхъ каналовъ или сильное суженіе отверстія конуса.

Фиг. 199. Слишкомъ сильное сжатіе пара, вслѣдствіе преждевременнаго закрытія выпускнаго канала.

Фиг. 200. То-же, но линія *mn* вмѣсто *m'n* указываетъ на плохой выборъ пружины индикатора.

Фиг. 184. Впускъ пара производится слишкомъ рано.

Фиг. 201. Недостатокъ опереженія выпуска, почему въ мертвой точкѣ еще нѣтъ притока свѣжаго пара или-же паровпускной каналъ открытъ еще очень мало.

Фиг. 19. Присутствіе воды въ цилиндрѣ или пропускъ пара близъ мертвой точки.

Діаграммы, снятыя съ машины Compound, кромѣ перечисленныхъ, имѣютъ еще нѣкоторыя спеціальныя особенности:

1. Линія выпуска въ діаграммѣ цилиндра высокаго давленія (фиг. 202) идетъ поднимаясь до точки *m*, соответствующей началу періода выпуска въ цилиндръ низкаго давленія и затѣмъ падаетъ до *c* (начало сжатія).

2. Если во время расширенія въ маломъ цилиндрѣ давленіе падаетъ очень значительно, то на пути *ab* (фиг. 203) паръ не производитъ почти никакой полезной работы.

3. Если давленіе въ ресиверѣ слишкомъ велико, напр. при малой отсѣчкѣ въ цилиндрѣ низкаго давленія, то на индикаторной діаграммѣ появляется узелъ *q* (фиг. 204).

Для машинъ системы Woolf'a, у которыхъ нѣтъ ресивера, діаграммы имѣютъ видъ, представленный на фиг. 205, гдѣ начальное давленіе при выпускѣ въ большой цилиндръ, соответствуетъ давленію въ маломъ цилиндрѣ въ концѣ расширенія и расширеніе въ большомъ цилиндрѣ начинается тогда, когда прекращается выпускъ и начинается сжатіе въ маломъ цилиндрѣ *).

Вообще видъ индикаторныхъ паровозныхъ діаграммъ рѣзко мѣняется въ зависимости отъ отсѣчки, т. е. степени расширенія (тѣмъ болѣе, что при этомъ, по свойствамъ кулисныхъ механизмовъ, вмѣстѣ съ увеличеніемъ расширенія, увеличивается и сжатіе) и отъ скорости поѣзда (или числа оборотовъ ведущихъ колесъ). Какъ примѣръ—привожу діаграммы фиг. 206—211, снятыя при различныхъ отсѣчкахъ и скоростяхъ, изъ кото-

*) Примѣры—см. § 104.

рыхъ легко видѣть вліяніе тѣхъ и другихъ обстоятельствъ на внѣшній ихъ видъ.

Наконецъ оказываетъ вліяніе и степень открытія регулятора, такъ какъ при маломъ его открытіи паръ проходитъ черезъ узкую щель регуляторнаго отверстія и давленіе его падаетъ, и наоборотъ. Виды діаграммъ при различныхъ отсѣчкахъ и различныхъ степеняхъ открытія регулятора представлены на фиг. 212—217.

§ 66. Средняя діаграмма.

Для полного изслѣдованія паровоза, необходимо получить цѣлый рядъ діаграммъ для различныхъ скоростей, отсѣчекъ и пр. Но какъ мы видѣли, на форму діаграммъ оказываютъ значительное вліяніе совершенно случайныя, рѣдко повторяющіяся и не имѣющія отношенія къ машинѣ, причины, напр., неисправность индикатора и пр. Поэтому, чтобы не получить о машинѣ ложнаго представленія, необходимо для каждаго изъ условій снять по нѣскольку діаграммъ и, исключивши изъ нихъ явно-неудачныя или представляющія случайныя отклоненія, изъ остальныхъ составить „среднюю діаграмму“, которая и будетъ характеризовать работу пара при данныхъ обстоятельствахъ. Для этого нормальныя діаграммы данной серіи разбиваютъ рядомъ ординатъ на одинаковое число частей. Находятъ среднія величины для соответствующихъ ординатъ и по нимъ строятъ среднюю діаграмму. Обыкновенно онѣ различны для обѣихъ сторонъ цилиндра. Если-же разница очень мала, то по двумъ этимъ діаграммамъ строятъ такъ-же одну общую для обѣихъ сторонъ.

§ 67. Золотниковыя діаграммы.

Давленіе пара въ золотниковой коробкѣ рѣзко измѣняется въ теченіе хода поршня въ зависимости отъ діаметра паропроводныхъ трубъ, объема золотниковыхъ коробокъ и пр. (§ 93). Діаграмму, показывающую измѣненіе давленія въ зависимости отъ хода поршня, можно получить, соединивши индикаторъ съ золотниковой коробкой и по прежнему приводя бумажный цилиндръ его въ движеніе отъ поршня. Получаемыя діаграммы имѣютъ видъ, представленный на фиг. 218—219, изъ которыхъ видно, что въ моментъ прекращенія впуска въ цилиндры—подъ вліяніемъ инерціи пара въ паропроводныхъ трубахъ—давленіе сразу повышается и иногда превосходитъ давленіе въ котлѣ. Иногда это повышеніе выражается очень рѣзко (фиг. 220). Въ паровозахъ—Сомпound діаграммы для золотниковой коробки цилиндра низкаго давленія должны соответствовать противодавленію въ цилиндрѣ высокаго давленія и они имѣютъ въ общемъ видъ, показанный на фиг. 228 (вмѣстѣ съ діаграммами малаго цилиндра), отклоняясь отъ него болѣе или менѣе значительно.

§ 68. Золотниковые эллипсы (профессора Frese).

Диаграммы, изображающія графически относительное движеніе поршня и золотника, называются „золотниковыми эллипсами“ и также могут быть получены при помощи индикатора. Для этого кранъ индикатора запирають, такъ чтобы паръ изъ цилиндра не проходилъ подъ его поршень и, приводя въ движеніе бумажный цилиндръ, какъ и раньше, отъ штока поршня, карандашъ-же даютъ передвиженіе вверхъ и внизъ отъ штока золотника, напимѣрь при помощи приспособленія, показаннаго на фиг. 222. При этомъ карандашъ будетъ перемѣщаться на величины, пропорціональныя передвиженію золотника, и, теоретически (при безконечно-длинныхъ шатунѣ и эксцентриковой тягѣ), опишетъ наклонный эллипсъ (фиг. 223). Если около этой діаграммы начертимъ прямоугольникъ $EHGF$, то EH = сокращенному ходу поршня = $2r$ и $EF = KL$ = сокращенному ходу золотника = $2q$.

Уголъ наклона оси эллипса β находимъ изъ выраженія $tg\beta = \frac{q}{r} \cdot \sin\alpha$, гдѣ $\angle \alpha$ = углу опереженія.

Для кулисныхъ парораспределеній, какъ извѣстно, каждому положенію переводного рычага соотвѣтствуетъ нѣкоторый фиктивный эксцентрикъ, опредѣляющій передвиженіе золотника и, снимая тогда рядъ эллипсовъ для каждаго зуба, получимъ соединенную діаграмму, представленную, напимѣрь, на фиг. 224.

Для того, чтобы началось открытіе какого-нибудь паровпускнаго окна, золотникъ долженъ передвинуться изъ средняго своего положенія (соотвѣтствующаго линіи CD —фиг. 225) въ ту или другую сторону на величину внѣшней перекрыши e . Проведя, слѣдовательно, на этомъ разстояніи линію 11 параллельную CD , получимъ точки пересѣченія m и n , опредѣляющія начало и конецъ впуска. Такая же линія 22 даетъ соотвѣтствующіе моменты для другой стороны цилиндра. Проектируя найденныя точки m и n на среднюю линію CD , получимъ соотвѣтствующія имъ положенія поршня. Величина открытія оконъ измѣняется для любого положенія поршня въ періодъ впуска—разстояніемъ отъ соотвѣтствующей этому положенію точки на эллипсѣ до линіи 11 (и до линіи 22 для обратнаго хода).

Моменты выпуска и сжатія находимъ такимъ же образомъ: чтобы начался выпускъ пара, золотникъ долженъ передвинуться изъ своего средняго положенія на величину = внутренней перекрышѣ i . Поэтому проводимъ на разстояніи i двѣ новыя прямыя 33 и 44. Такъ какъ золотникъ для начала выпуска долженъ быть сдвинуть изъ средняго положенія въ обратную сторону, чѣмъ для начала впуска той же стороны цилиндра, то величину перекрыши i для данной стороны надо отложить въ сторону, обратную выше отложенной величины = e , т. е. для

одной стороны цилиндра имѣемъ прямыя 11 и 33, для другой—22 и 44. Находимъ, такимъ образомъ, точки p и q — начало и конецъ выпуска, а слѣдовательно, опустивши перпендикуляры на CD , находимъ и соответствующія положенія поршня. Если внутреннія перекрыши $= 0$, то линіи 33 и 44 совпадаютъ съ CD , если же онѣ отрицательны, то линіи 33 и 44 мѣняются мѣстами и тогда для одной стороны цилиндра имѣемъ прямыя 11 и 44 и для другой—22 и 33.

Такимъ образомъ всѣ фазы парораспределенія ясно видны.

Въ дѣйствительности получаютъ не эллипсы, а овалы. На практикѣ рѣдко снимаютъ эти діаграммы при помощи индикатора, но ихъ, понятно, весьма легко построить при предварительномъ изслѣдованіи паровоза, измѣряя передвиженія золотника изъ средняго его положенія при различныхъ положеніяхъ кривошипа и поршня, и строя эти діаграммы по точкамъ (см. § 110).

Для ясности обыкновенно масштабъ для хода золотника берутъ болѣе крупнымъ, чѣмъ для хода поршня, отчего характеръ діаграммъ не измѣнится; или же берутъ ихъ масштабы равными. Если подобныя овалы построить для всѣхъ отсѣчекъ (для всѣхъ зубцовъ парораспределительнаго диска) отъ 25 до 70% черезъ 5 или 10%, то получимъ полную картину парораспределенія и поэтому подобныя діаграммы могутъ быть весьма полезны. Наконецъ, можно снять эти эллипсы и въ натуральную величину при помощи особаго прибора, описаннаго въ § 70, что полезно при изслѣдованіи и урегулированіи парораспределительнаго механизма.

Иногда эти эллипсы чертятъ теоретически, зная ходъ золотника и поршня и уголъ опереженія, при проектированіи паровыхъ машинъ, но, при изслѣдованіи уже построенныхъ машинъ, получаемыя такимъ образомъ діаграммы, какъ не сходныя съ дѣйствительностью, не имѣютъ значенія.

§ 69. Авто-индикаторъ.

Главнѣйшіе недостатки обыкновенныхъ индикаторовъ заключаются въ слѣдующемъ:

1. Они получаютъ движеніе отъ поршня (крейцкопфа) паровой машины посредствомъ болѣе или менѣе сложной передачи. Но при большихъ скоростяхъ, напр. 80 $\text{km}/\text{ч}$, когда продолжительность одного оборота колесъ $=$ только малой доли секунды и при почти неизбѣжномъ употребленіи шнурка—результаты не могутъ быть особенно точны и даже часто съемка діаграммъ почти невозможна.

2. Съемка діаграммъ требуетъ присутствія съемщика на площадкѣ паровоза, гдѣ нужно для него устраивать спеціальныя приспособленія для безопасности и защиты отъ вѣтра и пр.

Ночью-же, въ дурную погоду, зимою—этотъ трудъ становится крайне тяжелымъ и опаснымъ для здоровья и эмѣна бумаги, съемка диаграммъ и пр. очень затруднительны.

3. Одновременная съемка диаграммъ съ двухъ сторонъ паровоза требуетъ двухъ съемщиковъ.

Эти недостатки побудили управленіе французской восточной ж. д. спроектировать индикаторный приборъ, движеніе котораго не зависѣло бы отъ движенія поршня и который дѣйствовалъ-бы автоматически, не требуя присутствія съемщика на площадкѣ. Эта задача блестяще разрѣшена инженерами Dubois и Brillié и спроектированный ими приборъ, названный *авто-индикаторомъ* (auto-indicateur) и построенный Digeon'омъ, заслуживаетъ самаго серьезнаго вниманія, почему мы даемъ подробное его описаніе.

Въ общемъ—его устройство заключается въ слѣдующемъ:

Аппаратъ состоитъ изъ обыкновеннаго индикатора I (фиг. 233), который автоматически и послѣдовательно соединяется посредствомъ своего крана *D*, имѣющаго большое число ходовъ, съ различными пространствами, подвергающимися изслѣдованію, какъ-то передняя и задняя сторона цилиндра, золотниковая коробка, паровыпускная труба и ресиверъ, большой цилиндръ въ случаѣ системы Compound и пр. Посредствомъ этого-же крана производится и предварительное, передъ съемкою каждой диаграммы, продуваніе соответствующихъ трубокъ. Кранъ приводится въ движеніе отъ главной движущей оси аппарата *S* (фиг. 226 и 233) и удерживается въ каждомъ изъ сказанныхъ положеній определенное время, необходимое для снятія диаграммы. Отъ этого-же вала *S* приводится въ непрерывное вращеніе и барабанъ *T*, на которомъ и чертятся диаграммы, въ развернутомъ видѣ (а не замкнутомъ, какъ при обыкновенныхъ индикаторахъ). Въ барабанѣ находятся двѣ катушки и бумажная лента, сходя съ одной изъ нихъ и обойдя снаружи барабанъ, навивается на другую. Лента остается на барабанѣ неподвижною до тѣхъ поръ, пока не будутъ нанесены всѣ серіи диаграммъ и потомъ она автоматически смѣняется. Пишущій пистолетъ также автоматически прикасается къ барабану только въ то время, когда снимается какая нибудь изъ диаграммъ. Запасъ ленты таковъ, что можно сдѣлать такихъ серій съемокъ отъ 20 до 30. Конецъ и начало отдѣльныхъ диаграммъ отмѣчается электрическимъ хронометромъ, съ которымъ контактъ устанавливается крейцкопфомъ въ его мертвыхъ точкахъ (фиг. 227). Разсмотримъ теперь отдѣльно его детали:

1. *Передача движенія отъ машины паровоза къ движущей оси прибора S* совершается такимъ образомъ: небольшой цилиндръ *C* черезъ кранъ *E*, посредствомъ трубокъ *a* и *b* (фиг. 232) соединяется съ паровымъ цилиндромъ паровоза. Поршеньекъ его *P*, при каждомъ оборотѣ ведущей оси, будетъ подъ давленіемъ пара получать толчекъ, который по-

средством храповика s и передается оси S и потом поршень под действием пружины R снова опускается вниз. Расположение же рычагов храпового механизма таково, что, каковъ-бы не былъ ход поршня, храповое колесо s всегда поворачивается только на одинъ зубецъ и слѣдовательно ось S получаетъ хотя и прерывистое вращение, но пропорциональное скорости паровоза.

Пусканіе въ ходъ аппарата производится изъ будки машиниста простымъ натяжениемъ веревки J , при чемъ кранъ E занимаетъ положеніе 1 (фиг. 226) и устанавливается сообщеніе парового цилиндра паровоза съ цилиндромъ C и продувную трубкою p : происходитъ продувка аппарата. Затѣмъ веревку отпускаютъ и вся роль наблюдателя кончается: дальше аппаратъ работаетъ уже вполне автоматически, а именно—пружина r поворачиваетъ кранъ въ положеніи 2, въ которомъ онъ удерживается защелкою рычага L , при чемъ цилиндръ C остается соединеннымъ съ паровымъ цилиндромъ паровоза и ось S , слѣдовательно, будетъ вращаться до тѣхъ поръ, пока всѣ діаграммы автоматически будутъ сняты, и бумага на барабанѣ T смѣнена, послѣ чего автоматически-же рычагъ L наклоняется и пружина r возвращаетъ кранъ въ первоначальное положеніе 3. Кранъ закрывается и дѣйствіе аппарата останавливается, что наблюдатель замѣчаетъ по напряженію веревки J . Ему остается только въ надлежащій, интересный моментъ, снова натянуть веревку J , чтобы пустить аппаратъ въ ходъ и получить цѣлую серію всѣхъ діаграммъ, относящихся къ даннымъ условіямъ работы паровоза.

Барабанъ T получаетъ свое движеніе отъ оси S , причемъ прерывистое движеніе послѣдней превращается въ равномерное движеніе первого такимъ образомъ: на ось S (фиг. 235) насажено вольно колесо Z , отъ котораго, посредствомъ зубчатой передачи, и получаютъ движеніе барабанъ T и распределительный кранъ D . На окружности этого колеса расположены кулачки, въ которые ударяютъ концы двухъ листовыхъ рессоръ z и z' , наглухо укрѣпленныхъ на оси S . Въ началѣ движенія, въ силу инерціи частей аппарата, связанныхъ съ колесомъ Z , рессоры изгибаются и перескакиваютъ съ кулачка на кулачекъ (z''), приводя колесо въ движеніе до тѣхъ поръ, пока колесо и барабанъ (подобно маховику) не примутъ нѣкоторой своей скорости. Ось барабана на шарикахъ, чтобы уменьшить треніе до minimum'a.

Это движеніе математически нельзя считать равномернымъ, но опыты показали, что въ предѣлахъ одного оборота барабана (т. е. во время съемки діаграммы, для чего требуется чрезвычайно малый промежутокъ времени) оно можетъ разсматриваться, какъ вполне равномерное.

2. *Распределительный кранъ* представленъ на фиг. 228—230. Кранъ послѣдовательно занимаетъ положенія 1, 2, 3... до 18, причемъ: 1) въ положеніяхъ 3, 6, 9, 12 и 15—трубки a , b , c , d и e соединяются

съ трубкою I, идущею къ индикатору, и такъ какъ эти трубки сообщаются съ переднею и заднею сторонами цилиндра, золотниковою коробкою и пр., то при этомъ индикаторъ чертитъ соотвѣтствующія діаграммы; 2) въ положеніяхъ 2, 5, 8, 11 и 14—индикаторъ и трубки *a... e* соединяются съ трубкою *f* и происходитъ ихъ продувка; 3) въ положеніи 17 индикаторъ соединяется съ трубкою *f* и чертитъ атмосферную линію; 4) положенія 1, 4, 7, 10, 13 и 16 — промежуточные и 5) 18 — конечное положеніе (остановка).

Валь *W* распредѣлительнаго крана (фиг. 231 и 234) приводится въ движеніе отъ оси *S* такимъ образомъ, что заставляетъ кранъ *D* принимать послѣдовательно всѣ положенія отъ 1 до 18 и останавливаться въ каждомъ положеніи время, необходимое для соотвѣтствующихъ операций. Для этого на валь *W* насаженъ дискъ *U* съ 9 зубцами, который сильною спиральною пружиною (не показанною на чертежѣ) побуждается къ вращенію по направленію стрѣлки *n*. Отъ этого вращенія дискъ удерживается зубцомъ рычага *Y*. На ось же *W* насажено свободно колесо *W'*, которое непосредственно приводится въ движеніе отъ оси *S* (т. е. получаетъ прерывистое, пропорціональное скорости машины, вращеніе) и къ которому прикрѣпленъ зубчатый дискъ *v*, дѣйствующій на рычагъ *y*, насаженный на одной оси *m* съ рычагомъ *Y*, получающіе, слѣдовательно, колебательное движеніе. Дѣйствіе этой передачи теперь понятно: рычагъ *y*, проходя надъ зубцами диска *v*, отклоняется и зубецъ рычага *Y* при этомъ освобождаетъ дискъ *U*, который подъ вліяніемъ пружины начинаетъ двигаться и снова останавливается, благодаря рычагу *y*, который упирается въ соотвѣтствующій зубецъ. Затѣмъ, пройдя зубецъ, подъ дѣйствіемъ пружины *t* рычагъ *y* снова входитъ въ впадину и дискъ *U* останавливается зубцомъ рычага *Y*. Такимъ образомъ за время одного оборота колеса *W'* (соотвѣтствующее полной операциі прибора) валь *W* останавливается 18 разъ и продолжительность остановокъ и промежуточнаго движенія зависитъ отъ длинъ зубцовъ и впадинъ диска *v*, котормы и дѣлаются соотвѣтствующихъ величинъ.

Къ диску *U* прикрѣпленъ еще кулакъ *N*, зубцы котораго *d*, дѣйствуя на рычагъ *L*¹, приводятъ въ надлежащіе моменты автоматически пишущій приборъ въ движеніе.

Кулакъ 2 останавливаетъ приборъ при проходѣ изъ положенія 17 въ положеніе 18, дѣйствуя на рычагъ *L*, при чемъ, какъ сказано выше, кранъ *E* (фиг. 226) возвращается въ свое первоначальное положеніе 3.

Барабанъ *T* насаженъ на вертикальную пустую ось и имѣетъ щель *mn* (фиг. 231). Внутри его находятся двѣ катушки—*Bn*, съ 10—15 ш. новой бумаги, и *Bv*, на которую наматывается бумага, уже бывшая въ употребленіи, т. е. со снятыми діаграммами. Бумага такимъ образомъ сходитъ съ катушки *Bn*, обходитъ вертикальный роликъ *M*, снаружи барабанъ *T* и,

обойдя второй ролик N , наматывается на вторую катушку Bv . На время снятия одной серии диаграмм—бумага остается неподвижной на барабане T , который равномерно (почти) вращается и следовательно все диаграммы данной серии последовательно выверчиваются на одном и том же месте (см. фиг. 236). Смѣна бумаги дѣлается автоматически послѣ снятия диаграммъ такимъ образомъ: внутри пустого вала барабана проходить ось a (фиг. 231), которая оканчивается на верху шестерней G , сцепляющейся, через посредство шестерни G' , съ колесами M' и M . Въ нижней части ось оканчивается дискомъ H , на который можетъ дѣйствовать нажимъ F . Въ надлежащій моментъ особый кулакъ распределительнаго механизма надавливаетъ на тормазъ F , черезъ что дискъ H , а следовательно и шестерня G , останавливается, но такъ какъ барабанъ T продолжаетъ вращаться, то шестерни G' , M' и M также начинаютъ двигаться, бумага на катушке Bv натягивается (катушка Bv соединена съ шестерней G' фрикціоннымъ образомъ) и, наматываясь на нее, замѣняется новой, которая сходитъ съ Bv . Черезъ опредѣленное время, соответствующее смѣнѣ бумаги, нажимъ тормазы F прекращается.

Карандашъ пишущаго прибора индикатора находится на одной производящей барабана T съ карандашемъ электрическаго хронометра, отмѣчающаго начало и конецъ хода поршня (фиг. 233), и они, посредствомъ рычаговъ, вращающихся относительно вертикальной оси Q , въ моментъ соответствующій началу черченія диаграммъ, приводятся въ соприкосновеніе съ бумагою послѣ прохода окна барабана m и снова автоматически-же отдаляются передъ новымъ проходомъ окна, такъ что карандаши чертятъ кривыя только во время одного оборота барабана. Это дѣлается посредствомъ слѣдующаго приспособленія (фиг. 234) ось Q соединена съ вертикальною осью q и обыкновенно удалена отъ барабана T , а следовательно удалены отъ него и пишущіе карандаши. При этомъ палецъ h , прикрѣпленный къ оси q , сцепленъ съ зубцомъ рычага L' и удерживается въ этомъ положеніи пружиною h' . Когда распределительный кранъ приходитъ въ положеніе, при которомъ должна быть снята диаграмма, т. е. индикаторъ соединенъ съ какимъ нибудь изслѣдуемымъ пространствомъ, то соответствующій зубецъ d кулака N приподнимаетъ правый конецъ рычага L' , палецъ h освобождается и подъ дѣйствіемъ пружины h' —ось Q приближается къ барабану, увлекая пишущіе карандаши. При этомъ клавиша g , насаженная на ось q , соприкасается съ внѣшнимъ бортомъ диска t , прикрѣпленнаго къ оси барабана T . Въ этомъ борту есть отверстіе g' , которое проходитъ передъ клавишей g въ то время, когда окно m барабана t подходит къ пишущимъ карандашамъ. Въ это время, подъ дѣйствіемъ пружины h' —клавиша g проникаетъ во внутрь диска t , результатомъ чего въ моментъ прохода окна m , происходитъ удаленіе карандашей.

Затѣмъ, клавиша g , могущая вращаться относительно горизонтальной оси, направляющею g'' выбрасывается за низшій бортъ диска t на разстояніе, достаточное для сцѣпленія пальца h съ зубцомъ рычага L' , карандаши возвращаются въ свое нормальное удаленное отъ барабана положеніе и всё принимаетъ первоначальное положеніе до встрѣчи слѣдующаго зубца δ кулака N съ рычагомъ L' , т. е. до съемки новой діаграммы. Кромѣ того, какъ сказано, установленъ еще электрическій хронографъ, который отмѣчаетъ на прямыхъ, вычерчиваемыхъ своимъ карандашемъ, знаки въ видѣ зубцовъ, соответствующіе мертвымъ положеніямъ поршня. Чтобы не было недоразумѣній, индикаторныя діаграммы вычерчиваются сдвинутыми и хронографъ чертитъ свои линіи одну подъ другой, для чего его пишущій приборъ дѣлается подвижнымъ относительно оси W (фиг. 232 и 233). (Хронографъ приводится въ движеніе отъ электрической батареи n фиг. 227; на устройствѣ ихъ мы не будемъ останавливаться). Кромѣ индикаторныхъ діаграммъ и линіи давленія пара въ золотниковой коробкѣ еще вычерчиваются атмосферная линія и линія давленія въ паровыпускной трубѣ. Для послѣднихъ—отмѣтка мертвыхъ положеній поршня не дѣлается, какъ не имѣющая значенія. Такимъ образомъ въ результатѣ получается рядъ кривыхъ, послѣдовательно вычерченныхъ на одномъ листѣ, какъ изображено на фиг. 236.

Продолжительность всѣхъ фазъ дѣйствія аппарата показана на таблицѣ X въ оборотахъ ведущаго колеса машины. Мы видимъ, что для совершенія всѣхъ операций, требуется 160 оборотовъ, въ чемъ и заключается единственный недостатокъ прибора: напр. діаграмма съ задней стороны цилиндра снимается послѣ снятія діаграммы съ передней стороны и, строго говоря, не соответвуютъ одна другой, хотя налагаются одна на другую, т. е. считаются снятыми одновременно. Считая соответствующій промежутокъ (отъ положенія 3 до 7) въ 29 оборотовъ, т. е. приблизительно на протяженіи 140—190 м. пути, смотря по діаметру колесъ, видимъ, что на этомъ протяженіи обстоятельства могутъ измѣниться, въ особенности для съемки всѣхъ діаграммъ *), требующихъ 60 оборотовъ. Но при большихъ скоростяхъ, нельзя ожидать замѣтныхъ измѣненій, въ особенности взявши за правило снимать діаграммы при определенныхъ условіяхъ и установившемся движеніи. Ввиду этого—указанный недостатокъ вполне окупается тѣми безспорными достоинствами, которыми обладаетъ аппаратъ; легкость управленія аппаратомъ позволяетъ одному только наблюдателю производить слѣдующія операции: 1) находясь въ будкѣ, онъ можетъ дать указанія машинисту относительно отсѣчки, положенія регулятора и пр. 2) Пускать аппаратъ въ ходъ въ желаемый моментъ, сообразуясь съ обстоятельствами. 3) При этомъ замѣчать всѣ

*) Для обыкновенныхъ паровозовъ отъ 3 до 12 положенія.

ТАБЛИЦА X.

Положеніе рас- пределительнаго крана	Фазы дѣйствія аппа- рата	Продолжитель- ность фазъ въ секундахъ ма- шины.	Примѣчанія
18	Пусканіе въ ходъ.	5	Наблюдатель тянетъ за веревку <i>J</i> . Цилиндръ <i>C</i> продувается. Веревка пускается и продувка оканчивается.
1	. . . . .	3	Промежуточное положеніе.
2	Продуваніе передней сто- роны цилиндра.	42	Сообщеніе между перед. стороною цилиндра (трубка <i>a</i>), индикаторомъ <i>I</i> и прод. трубкою <i>f</i> . Индикаторъ прогревается, барабанъ <i>T</i> принимаетъ свою скорость.
3	Диаграмма съ перед. сто- роны цилиндра.	7	Окончаніе продуванія. Приведеніе пишущаго прибора въ соприкосновеніе съ барабаномъ и съемка диаграммы.
4	. . . . .	4	Промежуточное положеніе.
5	Продуваніе задней сторо- ны цилиндра.	11	Сообщеніе между задн. стороною цилиндра (трубка <i>b</i>), индикаторомъ и прод. трубкою <i>f</i> .
6	Диаграмма съ задней сто- роны цилиндра.	7	Какъ въ положеніи 3.
7	. . . . .	3	Промежуточное положеніе.
8	Продуваніе трубки отъ паровыпускной трубы.	4	Сообщеніе между трубкою <i>c</i> , индикаторомъ и трубкою <i>f</i> .
9	Диаграмма.	7	Какъ въ положеніи 3.
10	. . . . .	4	Промежуточное положеніе.
11	Продуваніе трубки отъ зо- лотниковой коробки.	5	Сообщеніе между трубкою <i>d</i> , индикаторомъ и трубкою <i>f</i> .
12	Диаграмма.	7	Какъ въ положеніи 3.
13	. . . . .	3	Промежуточное положеніе.
14	Продуваніе.	5	Линія давленія въ промежут. ре- зервуарѣ въ случаѣ Compound.
15	Диаграмма.	7	
16	. . . . .	4	Промежуточное положеніе.
17	{ Черченіе атмосферной линіи. Смѣна бумаги. }	32	{ Сообщеніе трубки <i>f</i> и индикатора. Дѣйствіе тормазы <i>F</i> , вызывающее смѣну бумаги. }
18	Остановка аппарата.	0	Автоматическое закрытіе крана <i>E</i> .
	Всего . . .	160	

тѣ условія, при которыхъ съёмка совершается, какъ-то—давленіе въ котлѣ, отсѣчка, положеніе регулятора и пр. и пр. 4) Наблюдать, чтобы во время работы аппарата, т. е. съёмки діаграммъ—никакихъ измѣненій въ управленіи паровозомъ не производилось, давленіе въ котлѣ поддерживалось постояннымъ и пр. 5) Нажимая пуговку на электрическомъ проводѣ, дѣлать соответствующую отмѣтку о работѣ аппарата на лентѣ прибора, поставленнаго въ динамометрическомъ вагонѣ. Замѣтимъ, что снимать такимъ образомъ діаграммы можно одинаково удобно ночью, какъ и днемъ, при всевозможныхъ состояніяхъ погоды, и скоростяхъ поѣзда, когда вообще работа съ обыкновеннымъ индикаторомъ совершенно не возможна, почему можно не стѣсняться выборомъ поѣздовъ для опыта. При этомъ, благодаря отсутствію гибкихъ передачъ, діаграммы чертятся аппаратомъ съ точностью, недоступною для обыкновенныхъ индикаторовъ, почему онъ напр. незамѣнимъ при изслѣдованіи работы паровоза при исключительныхъ условіяхъ. Этотъ аппаратъ, употребляемый уже продолжительное время на Восточныхъ Французскихъ желѣзныхъ дорогахъ при всевозможныхъ условіяхъ для различныхъ типовъ паровозовъ, далъ много цѣнныхъ данныхъ и освѣтилъ многія стороны работы паровозовъ *).

Получаемыя діаграммы (фиг. 236) въ развернутомъ видѣ соответствуютъ болѣе, чѣмъ полному обороту колесъ. Изъ нихъ, имѣя отмѣтки для мертвыхъ положеній поршня **), легко построить и замѣнутыя кри-

*) Посредствомъ этого-же прибора были произведены обширные опыты Barbier на Сѣв. франц. жел. дор. въ 1898 г. при скоростяхъ, доходящихъ до 120 km/h , давшіе весьма цѣнные результаты и послужившіе для составленія формулъ, упомянутыхъ въ § 35, признаваемыхъ теперь за одни изъ самыхъ точныхъ. При этомъ авто-индикаторъ снималъ только 4 діаграммы (опыты производились съ 4-цилиндровымъ быстроходнымъ паровозомъ Compound):

1. Съ золотниковой коробки малаго цилиндра.
2. Съ ресивера.
3. Съ одной изъ сторонъ малаго цилиндра.
4. Съ соответствующей стороны большаго цилиндра.

Такимъ образомъ въ каждой серіи опытовъ діаграммы снимались попеременно—то съ переднихъ, то съ заднихъ сторонъ цилиндровъ.

Одновременно производились наблюденія и въ динамометрическомъ вагонѣ.

Снято было 600 діаграммъ, изъ которыхъ 400 подвергнуто обработкѣ. Опытныхъ поѣздовъ сдѣлано 31 съ очередными поѣздами, т. е. при обыкновенныхъ условіяхъ службы (январь - мартъ 1897).

**) Замѣтимъ, что эти отмѣтки должны получаться въ видѣ зубца ab (фиг. 238), сообразно продолжительности замыканія тока, которое начинается въ точкѣ A и кончается въ B , такъ что мертвому положенію C должна соответствовать средняя точка c . Но на самомъ дѣлѣ получается зубецъ въ видѣ $a'b'$ (опозданіе) и его средняя точка c' не совпадаетъ съ c на величину $=\gamma$, которая, на основаніи точныхъ предварительныхъ опытовъ, для машинъ съ діаметр. ведущихъ колесъ въ 2 m и 1,4 m = 1 mm для скоростей 36 и 25 km/h ; 2 mm для 72 и 50 km/h и 3 mm для 108 и 75 km/h .

вия, изъ которыхъ одна пара, какъ примѣръ, въ натуральную величину представлена на фиг. 237 (для паровоза $0\frac{2}{4}$ сдвоенныхъ осяхъ; диаметръ цилиндра = 460 мм., ходъ поршня = 660 мм., диаметръ ведущаго колеса = 2020 мм. Подъемъ 8 мм. Индикаторная работа = 575 НР. Поѣздъ вѣса = 192 т.), снятая ночью, во время дождя съ вѣтромъ при скорости $52\frac{\text{км}}{\text{ч}}$. Не смотря на то, что эти діаграммы сняты при исключительно неблагоприятныхъ обстоятельствахъ, при которыхъ работа съ обыкновеннымъ индикаторомъ абсолютно невозможна, видъ ихъ и отчетливость не оставляетъ желать лучшаго.

Способъ вычисленія сопротивленія при опытахъ инж. Barbier съ авто-индикаторомъ—см. § 42, III.

2. Приборы для изслѣдованія парораспределительнаго механизма паровоза.

§ 70. Приборъ инженера Форнея (Forney).

Извѣстно, насколько малѣйшая неправильность въ установкѣ парораспределительнаго механизма влiяетъ на работу паровоза, измѣняя продолжительность различныхъ періодовъ дѣйствiя пара и иногда составляя единственную причину значительнаго его перерасхода. Предварительное урегулированiе парораспределительнаго механизма вообще, а передъ изслѣдованiемъ паровоза въ особенности,—безусловно необходимое условiе для правильной его работы. Мы не будемъ описывать тѣ общеизвѣстные приборы, которые съ этою цѣлью употребляются въ каждомъ паровозномъ депо, и остановимся только на очень простомъ приборѣ американскаго инженера Форнея (Forney), который иногда въ видоизмѣненномъ видѣ (описаннымъ инженеромъ Делаacroa) примѣняется и въ Россiи и который можетъ быть весьма полезнымъ въ данномъ случаѣ. Какъ сказано выше (§ 68), золотниковыя эллиптическiя діаграммы, изображающiя относительное движенiе поршня и золотника, позволяютъ точно опредѣлить всѣ моменты парораспределенiя и легко открыть недостатки парораспределительнаго механизма. Имѣя индикаторныя діаграммы, эти эллиптическiя кривыя построить легко, посредствомъ же сказаннаго прибора можно эти кривыя вычерчивать въ депо еще до индикаторныхъ опытовъ и посредствомъ ихъ урегулировать парораспределительный механизмъ. Кривыя вычерчиваются въ натуральную величину (т. е. оси эллипса соотвѣтствуютъ ходамъ поршня и золотника не сокращеннымъ, а въ натуральную величину), что весьма удобно, такъ какъ при этомъ недостатки и моменты парораспределенiя можно видѣть далеко яснѣе, чѣмъ при эллиптическiхъ кривыхъ, получаемыхъ изъ индикаторныхъ діаграммъ (въ очень маломъ масштабѣ).

Описанный приборъ приспособленъ къ паровозу Борзига, но съ измѣненіемъ размѣровъ онъ можетъ быть примѣненъ и къ паровозамъ другихъ типовъ. Къ желѣзной скобѣ *A* (фиг. 247), надѣваемой на крейцкопфный валокъ и удерживаемой на немъ его же гайкою, посредствомъ 4-хъ шуруповъ прикрѣпляется небольшая чертежная доска *B* (фиг. 251), которая получаетъ, слѣдовательно, движеніе, одинаковое съ движеніемъ поршня. Длина ея немного больше хода поршня. На боковой площадкѣ паровоза, перпендикулярно къ его оси, устанавливается горизонтальный валокъ *C* изъ газовой трубки (фиг. 252—255), который вращается въ двухъ мѣдныхъ подшипникахъ *D* и *E*. Крышка одного изъ нихъ *E* снабжена винтомъ *F*, подвинчивая который, можно закрѣпить валокъ неподвижно, если это требуется. Къ концамъ вала прикрѣпляются наглухо круглыя головки съ надлежащими вырѣзками; благодаря этому, съ головками (вполнѣ точно и быстро посредствомъ винтовъ) можно соединить два равной длины рычага *K* и *L*, перпендикулярные одинъ къ другому (фиг. 244 и 245). Одинъ изъ нихъ *K* обращенъ вертикально внизъ и получаетъ движеніе отъ золотниковаго стержня при помощи горизонтальной тяги *M* (фиг. 246), состоящей изъ газовой трубки, изогнутой въ зависимости отъ обстоятельствъ. Къ одному ея концу припаяно ушко, которое надѣвается на болтъ, служащій для крѣпленія клина въ соединеніи золотниковаго стержня съ золотниковою тягою. Другой конецъ образуетъ скобу *N*, которая и надѣвается на соответствующей формы стержень *P* (фиг. 244), свободно вращающійся на пальцѣ, наглухо укрѣпленномъ въ нижнемъ концѣ вертикальнаго рычага *K*. Скоба *N* сидитъ на рѣзбѣ, почему длина тяги *M* можетъ быть измѣнена въ зависимости отъ обстоятельствъ. Второй рычагъ *L* (фиг. 245), длина котораго = длинѣ рычага *K*, укрѣпляется на валкѣ *C* горизонтально и къ концу его *R* подвѣшивается вертикальная тяга, и къ ней посредствомъ скобы *S* (фиг. 248) прикрѣпляется карандашъ, который и чертитъ на доскѣ *B* эллиптическія кривыя, такъ какъ, очевидно, вертикальныя передвиженія карандаша будутъ равны горизонтальнымъ движеніямъ золотника, благодаря равной длинѣ рычаговъ *K* и *L*. Вертикальная тяга имѣетъ въ нижней части круглое сѣченіе и направляется ушкомъ, укрѣпляемымъ на время дѣйствія прибора посредствомъ скобы къ нижней параллели паровоза. Скоба *S* можетъ быть передвигаема по этой тягѣ вверхъ и внизъ, смотря по мѣсту на бумагѣ, на которомъ желаютъ вычертить кривыя. Имѣя въ виду идею, вложенную въ устройство этого прибора, измѣняя детали и ихъ размѣры, можно построить подобный приборъ для любого паровоза.

Употребленіе прибора. Прежде всего, снявши золотниковыя крышки, измѣряютъ величины *A* и *B* (ф. 250), *a* и *b*, *a*₁ и *b*₁. Наружная перекры-

ша будетъ $= \frac{A-B}{2} = e$. Внутреннія перекрыши $= a - \left(\frac{A-B}{2} + b \right)$ и $a_1 - \left(\frac{A-B}{2} + b_1 \right)$. Отложивши отъ наружныхъ точекъ паровпускныхъ каналовъ на зеркалѣ найденныя величины для e и отмѣтивши ихъ чертами, ставимъ золотникъ на мѣсто такъ, чтобы его края совпадали съ этими отмѣтками. Это будетъ среднее положеніе золотника, которое и отмѣчаютъ на золотниковомъ стержнѣ отъ какой-нибудь неподвижной точки. Тогда, не вскрывая золотниковой коробки, всегда возможно поставить золотникъ въ среднее положеніе.

Затѣмъ, закрывши золотниковую коробку и установивши золотникъ въ среднее положеніе, измѣняютъ длину тяги M такимъ образомъ, чтобы рычагъ K , при среднемъ положеніи золотника, былъ строго вертикаленъ. Тогда рычагъ L будетъ точно горизонталенъ и карандашъ, описывая кривыя, будетъ отклоняться отъ вертикали на минимальныя величины. Въ этомъ положеніи, посредствомъ винта F , закрѣпляютъ валокъ C неподвижно, снимаютъ тягу M и буксуютъ паровозъ. При этомъ карандашъ, оставаясь неподвижнымъ, начертитъ на доскѣ B прямую (горизонтальную), опредѣляющую въ будущихъ эллиптическихъ кривыхъ—среднее положеніе золотника. Длина ея $=$ длинѣ хода поршня. Надѣвши потомъ снова тягу M (не измѣняя ея длины), двигаютъ медленно паровозъ взадъ и впередъ, перекидывая поочередно реверсъ на всѣ зубцы, т. е. давая различныя отсѣчки и нажимая каждый разъ карандашъ въ теченіе полного оборота колесъ. Дѣлая это для обѣихъ сторонъ и для хода взадъ и впередъ, получаютъ 4 серіи эллиптическихъ кривыхъ, лежащихъ наклонно и горизонтальная проекція которыхъ $=$ ходу поршня (фиг. 249).

Какъ мы видѣли раньше (§ 68), проведя прямыя параллельныя средней линіи (линіи, соответствующей среднему положенію золотника) выше и ниже ея на разстояніи $=$ наружной и внутренней перекрышѣ, получаемъ одновременно моменты начала всѣхъ періодовъ парораспределенія для всѣхъ положеній рычага, для передняго и задняго хода и обѣихъ сторонъ поршня.

Имѣя эти кривыя, можно опредѣлить всѣ недостатки парораспределительнаго механизма, напр.:

1. *Неправильная установка золотника.* Обыкновенно золотники провѣряются такимъ образомъ, чтобы при какомъ-нибудь опредѣленномъ зубцѣ (напр. 2 или 3-мъ) передняго хода, опереженіе впуска было одинаково для обѣихъ сторонъ поршня. Если поэтому на кривой (для этого зубца) передняго хода окажется, что точки ея соприкасанія съ крайними ординатами находятся на разныхъ разстояніяхъ отъ линій впуска, то, раздѣливъ эту разность пополамъ, опредѣлимъ ту величину, на которую слѣдуетъ подать золотникъ въ ту или другую сторону для приведенія его въ правильное положеніе.

2. *Мертвый ход парораспределительнаго механизма*, какъ результатъ его разработки. При этомъ золотникъ нѣсколько отстаетъ отъ того положенія, которое онъ долженъ былъ-бы занимать, если-бы мертвого хода не было, и въ концѣ хода на нѣкоторое время останавливается, пока всѣ слабыя части механизма не натянутся въ обратномъ направленіи. Такъ какъ въ это время карандашъ неподвиженъ, то нѣкоторая часть кривой обращается въ прямую параллельную средней линіи, что и должно повторяться для всѣхъ кривыхъ данной серіи, а также и для другихъ серій. Если-же оно будетъ замѣчено только въ какой-нибудь одной серіи, то это укажетъ на слабость въ соотвѣтствующемъ эксцентрикѣ или въ укрѣпленіи его тяги съ кулиссою.

3. *Неутурная длина переводной тяги или кулисныхъ подвѣсокъ* обнаруживается болѣе или менѣе значительнымъ несоотвѣтствіемъ между кривыми, соотвѣтствующими однимъ и тѣмъ-же зубцамъ передняго и задняго хода для одной и той-же стороны паровоза и т. д.

Когда имѣются эксцентрики, то легко опредѣляются:

4. *Неодинаковая длина эксцентриковыхъ тягъ*. Тогда при исполнѣннхъ правильныхъ напр. кривыхъ для передняго хода, въ то-же время кривыя задняго хода покажутъ болѣе или менѣе значительное различіе въ величинѣ опереженія впуска съ обѣихъ сторонъ поршня при одномъ и томъ же положеніи рычага. Это укажетъ, что длина эксцентриковыхъ-тягъ для этой стороны паровоза—различная.

5. *Неправильная посадка эксцентриковыхъ муфтъ*. Загѣтимъ, что уголъ, образуемый большою осью кривыхъ съ среднею линіею, находится въ прямой зависимости отъ угла опереженія. Поэтому большая или меньшая разница въ наклоненіи какой-нибудь серіи кривыхъ относительно средней линіи, сравнительно съ другими серіями, укажетъ на неправильную посадку соотвѣтствующихъ эксцентриковыхъ муфтъ и т. д.

3. Динамометры.

§ 71. Динамометрами называются приборы, помѣщаемые между упряжными крюками двухъ экипажей и служащіе для измѣренія силы тяги между ними. При изслѣдованіи паровозовъ, они помѣщаются напр. между паровозомъ и поѣздомъ для измѣренія такъ называемой „полезной силы тяги“ или „силы тяги на крюкѣ“ или между двумя частями поѣзда для опредѣленія величины силы тяги, употребляемой для движенія задней части поѣзда и пр. Раньше, когда сила тяги рѣдко превосходила 5.000 kg., употребляли пружинные динамометры (фиг. 239), которые иногда помѣщались подъ поломъ динамометрическаго вагона, соединяясь съ переднимъ упряжнымъ его крюкомъ, и его показанія переносились на верхъ и показывались на особомъ циферблатѣ. Но эти динамометры об-

ладають многими недостатками: чтеніе его показаній неудобно, обращеніе съ нимъ затруднительно и главное, вслѣдствіе деформациі рессоръ, его показанія ненадежны. Поэтому на желѣзныхъ дорогахъ теперь эти динамометры не употребляются и замѣняются *динамометрами гидравлическими*, не имѣющими сказанныхъ неудобствъ. На сколько извѣстно, впервые они были изготовлены въ мастерскихъ желѣзной дор. Р. Л. М. въ Парижѣ въ 1883 году по проэкту инж. Lebasteur'a и почти безъ всякихъ измѣненій дѣлаются въ настоящее время фирмою Jules Richard въ Парижѣ. *)

Его устройство заключается въ слѣдующемъ: въ четырехугольной доскѣ *b* (фиг. 240 и 241) сдѣлана круглая выемка *a*, наполненная смѣсью воды съ глицериномъ и закрытая каучуковою діафрагмою *l*. Доска *b*, посредствомъ двухъ стержней *c*, соединяется съ поперечиною *d* и проушиною *e*. На діафрагму давить поршень *g*, соединенный посредствомъ 2-хъ поперечинъ *f* и стержней *k* съ крюкомъ *i*. Для направленія поршня *g* (во избѣжаніе заѣданія онъ имѣетъ надлежащій діаметръ только въ нижней своей части) служатъ бронзовый ободокъ *n* и стержень *s*, который скользитъ въ отверстіи поперечины *d*. Если соединить проушину *e* съ поперечною балкою вагона, а *i* съ тендеромъ, то части динамометра будутъ расходиться и поршень *g* будетъ давить на діафрагму *e*, почему давленіе внутри прибора будетъ возрастать. Отъ углубленія *a* идутъ (крапы *m*₁ и *m*₂) двѣ трубки къ манометру и пишущему прибору. Циферблатъ манометра прямо показываетъ силу тяги. Пишущій приборъ (фиг. 242) состоитъ изъ металлической трубки эллипческаго сѣченія *a*, соединяющейся съ однимъ изъ указанныхъ крановъ *m*₁ или *m*₂ и которой одинъ конецъ закрѣпленъ. Подъ вліяніемъ давленія—она стремится распрямиться и тогда приводитъ въ движеніе стрѣлку *b* и карандашъ *c*, укрѣпленный на ея концѣ, который и напишетъ на поверхности барабана *d* кривую, показывающую зависимость силы тяги отъ времени. Для этого на барабанъ *d* надѣвается разграфленая бумага и онъ приводится въ движеніе часовымъ механизмомъ. Указанные манометръ и пишущій приборъ могутъ быть помѣщены гдѣ угодно. Обыкновенно ихъ ставятъ въ вагонѣ.

При изслѣдованіи паровозовъ съ помощью динамометрическихъ вагоновъ, употребляются динамометры спеціальныхъ конструкцій, описанные вмѣстѣ съ упомянутыми вагонами, какъ составляющіе ихъ неотъемлемую принадлежность.

*) Подобные-же динамометры употребляются для многихъ цѣлей, напр. инженеръ де Мас ихъ примѣнялъ для опытовъ надъ сопротивленіемъ рѣчныхъ судовъ.

С. Приборы для изслѣдованія паровоза какъ экипажа.

1. Приборы для наблюденія надъ колебательными движеніями паровозовъ.

§ 72. Общее понятіе о неправильныхъ движеніяхъ паровоза.

При общемъ установившемся, равномерномъ-поступательномъ движеніи паровоза, центръ его тяжести никогда не движется по одному направленію съ осью пути, но вслѣдствіе неровности пути и конструктивныхъ особенностей паровоза, уклоняется отъ этого направленія вверхъ и внизъ, вправо и влево, вызывая такъ называемыя „колебательныя движенія“, которыя крайне вредно отзываются на состояніи какъ паровоза, такъ и пути, и служатъ причиною преждевременнаго ихъ износа; при неблагоприятныхъ же случаяхъ — они могутъ повлечь за собою и сходъ паровоза съ рельсовъ.

Колебательныя движенія паровоза можно разбить на 2 группы: а) „собственныя колебанія паровоза“ или такъ называемыя „вредныя“ движенія, которыя вызываются переменнымъ давленіемъ крѣйцкопфа на параллели, измѣняющейся силою тяги и неуравновѣшенными движущимися массами машины; они могутъ быть подвергнуты математическому анализу и б) *неправильныя движенія*, которыя вызываются *взаимодѣйствіемъ паровоза и пути* и почти не поддаются никакой оцѣнкѣ, вслѣдствіе полного отсутствія данныхъ.

Вообще теоретическое изслѣдованіе неправильныхъ движеній паровоза, зависящихъ отъ многихъ случайностей и большого числа переменныхъ величинъ, крайне сложно, почему не приводится здѣсь, тѣмъ болѣе что оно не всегда даетъ результаты, имѣющіе практическое значеніе*). Здѣсь же перечислимъ только важнѣйшіе виды этихъ неправильныхъ движеній:

1. *Періодическое движеніе центра тяжести паровоза*, т. е. постоянное измѣненіе скорости его движенія, является какъ слѣдствіе неравенства между работою пара, давленіе котораго на поршень непостоянно, и работою сопротивленія. Это неправильное движеніе совершенно ничтожно, такъ какъ огромный вѣсъ паровоза дѣйствуетъ подобно маховикамъ постоянныхъ машинъ и сообщаетъ установившемуся движенію центра тяжести паровоза высокую степень равномерности.

*) Желаящіе познакомиться съ этимъ вопросомъ подробнѣе — найдутъ обстоятельныя изслѣдованія его въ сочиненіяхъ:

Соч. Voedecker'a — „Rad und Schiene“. Сочиненія проф. Н. Петрова. Соч. Einbeck'a — „Theoretische Untersuchung der Constructionssysteme des Unterbaues von Locomotiven“ и др.

Подергиванія. Сила, приводящая въ движеніе поршни, крейцкопфы, шатуны и пр., по отношенію къ паровозу — сила внутренняя. Но внутреннія силы всегда дѣйствуютъ попарно, слѣдовательно, другая сила, равная и прямопротивоположная первой, дѣйствуетъ на паровозную раму съ колесами и заставляетъ ихъ двигаться по противоположному направленію. Происходятъ такъ называемыя „подергиванія паровозной рамы“, которыя могутъ быть уничтожены дѣйствіемъ противовѣсовъ надлежащимъ образомъ рассчитанныхъ и помѣщенныхъ на колесахъ (почти прямо противоположно цапфѣ кривошипа) и тогда при ходѣ поршня впередъ—противовѣсы передвигаются назадъ, а рама остается въ покоѣ. Но при ненадлежащемъ расчетѣ противовѣсовъ—эти подергиванія существуютъ*).

3. Извилистость движенія. Она объясняется основнымъ закономъ механики: закономъ сохраненія площадей. Исходя изъ него, находимъ: сумма произведеній изъ массъ точекъ на площади, описанныя соответствующими радіусами векторами, всегда = 0 и поэтому—если радіусы векторы какихъ-либо точекъ описываютъ площади, двигаясь справа на лѣво, то какія-либо другія точки системы должны двигаться такъ, чтобы ихъ радіусы векторы описывали площади, двигаясь слѣва направо. Если, слѣдовательно, вѣсь неуравновѣшенныхъ частей паровоза (поршни и проч.) = g , и центръ ихъ тяжести вращается на протяженіи h = ходу поршня при радіусѣ a , то это будетъ сопровождаться вращеніемъ центра тяжести остальной массы паровоза G на нѣкоторомъ протяженіи e при плечѣ инерціи L по противоположному направленію относительно той же вертикальной оси, проходящей черезъ общій центръ тяжести паровоза, такъ что $e.G.L = h.g.a$. Понятно, увеличеніе G влечетъ за собою уменьшеніе e , т. е. уменьшеніе извилистости движенія и поэтому она незначительна при жесткомъ правильно построенномъ сѣпленіи паровоза съ тендеромъ, когда въ составъ G входитъ и вѣсь тендера. Также уменьшаетъ e и увеличеніе L , что достигается удлинненіемъ базы паровоза, причемъ увеличивается моментъ инерціи паровоза относительно вертикальной оси. Для уменьшенія извилистости также прибѣгаютъ къ устройству на колесахъ противовѣсовъ.

Но кромѣ того извилистость зависитъ еще отъ постояннаго измененія величины и точки приложенія равнодѣйствующей силы тяги и она была-бы = minimum, если-бы эта точка приложенія всегда совпадала съ среднею продольною вертикальною плоскостью паровоза. Уничтожить вліяніе этой причины на извилистость движенія паровоза—противовѣсы не могутъ, но она уменьшается при примѣненіи внутреннихъ цилиндровъ.

*) При жесткомъ сѣпленіи паровоза съ тендеромъ, масса тендера, участвуя въ этомъ движеніи паровоза, уменьшаетъ величину подергиванія; но если тендерная сѣпка плохо стянута, не жестка, то эти подергиванія, возникая между паровозомъ и тендеромъ, дѣйствуютъ разрушительнымъ образомъ на связи между ними.

Съ цѣлью достигнуть одинаковыхъ величинъ силъ тяги по обѣ стороны паровоза при всѣхъ обстоятельствахъ—многіе конструкторы предлагали новыя системы паровозовъ, напริมѣръ Haswell, Henry Shaw, Carels и др., но, благодаря сложности, онѣ не получили распространенія на практикѣ.

Если горизонтально движущіяся массы паровоза, на сколько возможно, уравновѣшены и участвуетъ масса тендера, то въ обкатанномъ паровозѣ перемѣщеніе концовъ его незначительно и если оно не превосходитъ 2,5 мм., то на прямомъ пути находится въ предѣлахъ допускаемыхъ боковыхъ разбѣговъ и поэтому вполне безвредно. Но при увеличеніи этого перемѣщенія до 5 мм. (когда тендерная сцѣпка плохо стянута или горизонтально движущіяся массы мало уравновѣшены) оно уже ограничивается различными внутренними сопротивлениями и слѣдовательно является вреднымъ, вызывая сильный износъ частей паровоза. На кривыхъ, когда буртикъ оси прилегаетъ къ подшипнику, боковые разбѣги уничтожаются и вращающія силы, измѣняя боковое давленіе направляющихъ ребордъ бандажей къ рельсамъ, вызываютъ ихъ неравномерный износъ.

Кромѣ указанныхъ неправильныхъ движеній есть еще *колебанія*, *свойственныя только одной рамѣ* съ прикрѣпленными къ ней частями и зависящія отъ давленій крѣйцкопфовъ на параллели. Сюда относятся:

4. „*Подпрыгиванія*“, т. е. періодическія опусканія и подниманія паровозной рамы подъ вліяніемъ переменнаго давленія крѣйцкопфовъ на параллели, величина котораго (направленнаго вверхъ при переднемъ ходѣ и внизъ при заднемъ ходѣ) непрерывно измѣняется, также какъ и точка приложенія, вслѣдствіе движенія крѣйцкопфовъ. Эти добавочныя вертикальныя силы вызываютъ постоянное измѣненіе напряженій рессоръ, уменьшая или увеличивая ихъ.

5. „*Перевалка*“ или качанія около продольной горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести паровоза, зависящая отъ того, что на ходу паровоза сумма моментовъ силъ, дѣйствующихъ на подвѣшенную на рессорахъ паровозную раму, относительно сказанной горизонтальной оси, не всегда = 0. Результатомъ этого является не одинаковая, переменная нагрузка колесъ паровоза и поэтому каждое колесо давитъ на рельсъ то больше, то меньше другого.

6. По тѣмъ-же причинамъ происходитъ вращеніе около поперечной горизонтальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести паровоза или такъ называемое „*галопированіе*“. При этомъ концы рамы то поднимаются, то опускаются и нагрузка на переднія и заднія оси измѣняется, періодически увеличиваясь и уменьшаясь. Поэтому, при слабой нагрузкѣ передней оси, она можетъ на столько разгрузиться, что случайный толчекъ вызоветъ сходъ переднихъ колесъ съ рельсовъ.

Три послѣдніе вида неправильныхъ движеній не могутъ быть уничтожены никакими средствами и неизбѣжны во всѣхъ существующихъ паровозахъ. Ихъ можно только отчасти ослабить при надлежащемъ выборѣ конструкціи и размѣровъ паровоза.

Большинство указанныхъ „собственныхъ колебаній паровоза“ при правильномъ уравниваніи массъ безвредны, такъ какъ вызываемыя ими перемѣщенія незначительны и поэтому они не заслуживаютъ названія „вредныхъ“, но, понятно, при не наблюденіи извѣстныхъ условій, они выполнѣ могутъ стать таковыми, почему изслѣдованіе ихъ очень желательно. Указанныя перемѣщенія частью ограничены въ самихъ себѣ, за исключеніемъ извилистости и перевалки, такъ какъ вызываемыя ими перемѣщенія должны быть ограничены вышними сопротивленіями.

Какъ сказано, существуютъ еще неправильныя движенія—какъ результатъ взаимодействія паровоза и пути. Они не могутъ быть подвергнуты точному изслѣдованію, за неимѣніемъ точныхъ данныхъ. Изъ этихъ движеній мы упомянемъ:

а) *Извилистость*. Если по какой-нибудь случайной причинѣ передней конецъ паровоза достаточно отклонится въ сторону, то реборда одного изъ переднихъ колесъ набѣжитъ на рельсъ подъ нѣкоторымъ угломъ α (фиг. 243). При этомъ реборда бандажа надавитъ на рельсъ и вслѣдствіе обратнаго дѣйствія—паровозъ прійдетъ во вращательное движеніе около точки b , лежащей позади его середины, т. е. отбросится къ противоположному рельсу. Сила нажатія на рельсъ пропорціональна массѣ паровоза и приблизительно квадрату скорости поѣзда и слѣдовательно для данного паровоза она можетъ быть при достаточно большой скорости и значительномъ углѣ α на столько велика, что, при отбрасываніи, передняя ось дойдетъ ребордою другого колеса до противоположнаго рельса и вызовется повтореніе явленія. Въ результатѣ явится извилистое движеніе паровоза. Оно не постоянно, но случайно и вызывается случайными отклоненіями и продолжается до тѣхъ поръ, пока другая вышняя сила не ослабитъ этого отклоненія на столько, что соотвѣтствующая ему сила будетъ слишкомъ мала для продолженія извилистости. Вслѣдствіе большихъ массъ экипажа, это извилистое движеніе можетъ возрасти до опрокидыванія рельса или до расшива пути, что неоднократно служило причиною крушенія поѣзда. Слѣдовательно, это извилистое движеніе рѣзко отличается отъ вышеописаннаго періодическаго, вызываемаго неполнымъ уравниваніемъ горизонтально движущихся массъ и пр., значительно менѣе опаснаго и ограниченнаго въ своихъ размахахъ.

Не останавливаясь на деталяхъ, замѣтимъ, что, при данномъ зазорѣ между ребордой бандажа и рельсомъ, уголъ набѣганія α будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ база a экипажа больше. Съ увеличеніемъ-же ея, увеличивается плечо отклоняющей силы, почему она сама соотвѣтственно

уменьшается и слѣдовательно уменьшается какъ приобретаемая при отклоненіи живая сила, такъ и давленіе бандажа на рельсъ. Поэтому база паровоза должна быть, для уменьшенія извилистости движенія, тѣмъ больше, чѣмъ больше скорость движенія поѣздовъ, для которыхъ паровозъ предназначенъ. Гладкіе рельсы, сырая погода и пр., а также увеличеніе зазоровъ между лапами и буксами, на протяженіи которыхъ экипажъ не встрѣчаетъ противодѣйствія, благопріятствуетъ извилистости движенія. Что-же касается до телѣжекъ, то онѣ, вслѣдствіе малыхъ моментовъ инерціи, при возможности совершать малыя боковыя перемѣщенія независимо отъ экипажа, не смотря на короткую базу, весьма способствуютъ спокойному ходу паровоза.

б) Одинаковыя неровности обоихъ рельсовъ вызываютъ *колебанія вокругъ поперечной горизонтальной оси*; если неровности не одинаковы, то сюда еще присоединяются колебанія вокругъ продольной горизонтальной оси и пр.

Изъ предыдущаго мы видимъ, что неправильныя движенія паровоза, какъ результатъ неудовлетворительной конструкціи или взаимодействія пути и паровоза могутъ быть очень вредными и даже опасными, вызывая преждевременный износъ различныхъ частей паровоза (главнымъ образомъ колесъ) и верхняго строенія пути и при неблагопріятномъ стеченіи обстоятельствъ даже сходить съ рельсовъ. До послѣдняго времени обращали на изслѣдованія этихъ движеній мало вниманія и не придавали имъ должнаго значенія, но при серьезныхъ опытахъ—желательно эти пробѣлы пополнять. Поэтому ниже приводится описаніе одного изъ наиболѣе совершенныхъ приборовъ, употребляемыхъ для наблюденія надъ колебательными движеніями паровозовъ.

Приборъ Milne'a и Mc. Donald'a.

§ 73. Для наблюденія надъ землетрясеніями въ Японіи служатъ приборы, называемые *сейсмографами*. Профессоръ университета въ Токио Milne и инженеръ Mc. Donald видоизмѣнили ихъ съ цѣлью примѣнить къ наблюденію надъ колебательными движеніями паровоза, о чемъ они и сдѣлали докладъ въ англійскомъ обществѣ гражданскихъ инженеровъ.

Вертикальныя колебанія измѣряются приборомъ, представленнымъ на фиг. 256. *A*—часовая пружина, которая удерживается въ свернутомъ видѣ посредствомъ рычага съ грузомъ *W*. Если этотъ грузъ потянуть внизъ, то подъ вліяніемъ пружины *A*—онъ возвращается въ свое нормальное положеніе; если-же толкнуть его вверхъ, то онъ будетъ стремиться продолжать восходящее движеніе, для противодѣйствія которому имѣется пружина *D*, прикрѣпленная къ рычагу *E*, заставляющая грузъ возвращаться въ свое первоначальное положеніе. Пружина *A* скручивается или раскручивается при вращеніи барабана *GG*, къ которому она

прикрѣплена однимъ своимъ концомъ, а другимъ къ неподвижной оси BB . Въ результатѣ получается то, что, при всякихъ вертикальныхъ колебаніяхъ вверхъ и внизъ оси BB , нѣкоторая точка груза IV всегда останется въ покоѣ. Къ барабану GG , перпендикулярно къ плоскости рычага съ грузомъ W , прикрѣпленъ указатель pd , который (по мѣрѣ того, какъ приборъ приподнимается или опускается) отклоняется вправо или влево, давая увеличенное или уменьшенное, смотря по разстоянію острія pd и гири IV отъ центра B , указаніе объ испытываемыхъ приборомъ вертикальныхъ движеніяхъ.

Горизонтальныя движенія отмѣчаются посредствомъ указателей, прикрѣпленныхъ къ двумъ маятникамъ, могущимъ качаться каждый только въ одной изъ двухъ плоскостей, перпендикулярныхъ другъ къ другу. Простѣйшая ихъ форма показана на фиг. 257 и 258. Металлическій цилиндръ A можетъ свободно качаться около точекъ вращенія CC у верхняго его края. При быстромъ перемѣщеніи точки C вправо или влево, нѣкоторая линія ii въ цилиндрѣ A можетъ быть разсматриваема, какъ мгновенная ось вращенія по отношенію къ линіи CC и ее можно считать на мгновеніе неподвижной и тогда конецъ указателя p дастъ увеличенное въ нѣсколько разъ представленіе о дѣйствительномъ движеніи точки C . Эти отклоненія чертятся по поверхности S .

Другой способъ ограниченія свободныхъ качаній маятника состоитъ въ соединеніи обоихъ маятниковъ A и B (фиг. 259) посредствомъ скользящаго шарнира. Для ясности на фиг. 259 эти маятники представле ны въ видѣ двухъ плоскихъ массъ A и B съ точками подвѣса въ e и d . Маятники связаны вилкою f и стержнемъ e . При перемѣщеніи рамы, несущей оба маятника, напр. влево—маятникъ B будетъ стремиться отклониться вправо по направленію стрѣлки G , а A —наоборотъ. Очевидно, оба маятника могутъ быть такъ подвѣшены, что точка e по отношенію къ точкамъ d и e будетъ всегда центромъ качанія, т. е. будетъ неподвижна. Примѣняя этотъ принципъ и поставивши маятники цилиндрическіе, получаемъ приборъ, изображенный на фиг. 262*).

Фиг. 261 представляетъ сложный аппаратъ, отмѣчающій вертикальныя и перпендикулярныя другъ къ другу горизонтальныя колебанія, для чего въ надлежащемъ разстояніи устанавливаются: аппаратъ G (ф. 256), H (фиг. 262) и I , который устроенъ по тому-же принципу, но располо-

*) Болѣе совершенный способъ устройства, устраняющій необходимость въ предварительномъ вычисленіи расположенія мгновенной оси вращенія, показанъ на фиг. 260. Грузъ A въ точкахъ ii подвѣшенъ къ рамѣ B , которая въ свою очередь въ точкахъ ee подвѣшена къ неподвижной рамѣ C . Качающаяся рама B снабжена указателемъ d . Въ данномъ случаѣ мгновенная ось вращенія есть ii , которая всегда останется въ покоѣ при всякихъ колебаніяхъ рамы C впередъ или назадъ.

жень перпендикулярно къ H и указатель котораго e , при посредствѣ промежуточнаго рычага k , чертитъ кривыя на томъ-же барабанѣ B , покрытомъ бумагой и приводимомъ въ движеніе часовымъ механизмомъ A , какъ и указатели c и d приборовъ G и H . Такимъ образомъ здѣсь отмѣчаются: вертикальныя колебанія (приборомъ G), продольныя (I) и боковыя или поперечныя (H). Если опыты продолжительны, то кривыя вычерчиваются на бумажной лентѣ, которая сходитъ съ катушки, проходитъ черезъ барабанъ B и наворачивается на другой барабанъ, вращаемый самостоятельнымъ часовымъ механизмомъ.

Подобные приборы устроены для испытанія при пробныхъ поѣздахъ паровозовъ и вагоновъ и указанія состоянія пути. Въ первомъ случаѣ лента движется со скоростью 1 дюйма въ секунду въ теченіи короткихъ интерваловъ.

Обыкновенно знать величины абсолютныхъ амплитудъ качаній подвижнаго состава не представляется необходимымъ, но если бы это потребовалось, то поступаютъ такимъ образомъ: предварительно приборъ помѣщаютъ на столъ, который можно качать во всѣ стороны, и показанія прибора сравниваютъ съ результатами, полученными при прикрѣпленіи указателя къ столу, и чертившему на бумагѣ, находящейся въ покоѣ. Такимъ образомъ находимъ таблицу. Оказывается, что, пока движенія стола не превосходятъ 6—7 мм., приборъ регистрируетъ ихъ вполне точно, но при большихъ колебаніяхъ—онъ показываетъ меньшія качанія.

При опытахъ съ этимъ приборомъ найдено: диаграммами продольныхъ колебаній паровоза въ особенности ярко обнаруживается разница въ способахъ уравниванія движущихся частей паровоза. При совершенно одинаковыхъ условіяхъ, на томъ же пути, при томъ же составѣ поѣзда и его скорости, паровозы одного типа давали большія, а другіе—меньшія продольныя колебанія. Это навело на мысль проверить, не расходуютъ ли первые паровозы больше топлива при обладаніи такимъ неправильнымъ (съ подергиваніями) ходомъ, сравнительно съ паровозами съ плавнымъ ходомъ. И дѣйствительно, оказалось, что изъ 2-хъ паровозовъ, между которыми конструктивная разница заключалась только въ вѣсѣ противовѣсовъ, паровозъ, дающій большія продольныя колебанія, расходовалъ топлива на 14% больше.

Такимъ образомъ, если изъ диаграммъ обнаружено, что паровозъ даетъ значительныя продольныя колебанія, то это значитъ, что онъ работаетъ съ постоянными подергиваніями, затрачивая часть работы непроизводительно, сжигая больше топлива и почти всегда потребляя больше смазки, принося большій износъ бандажей и рельсъ. Вообще, пользуясь этими приборами, можно безошибочно опредѣлить степень рациональности того или другого способа уравниванія движущихся частей паровоза,

моменты прохода паровоза по кривымъ, подъемамъ и пр.; какъ примѣръ, приведены данныя приборомъ діаграммы—см. фиг. 263 и 264.

Между прочимъ найдено, что чѣмъ меньше разница между общимъ вѣсомъ движущихся частей паровоза и „эквивалентнымъ вѣсомъ противовѣсовъ“, тѣмъ движеніе паровоза плавнѣе, свободнѣе отъ продольныхъ подергиваній и тѣмъ меньше относительный расходъ топлива *).

2. Приборы для измѣренія скорости.

§ 74. При движеніи поѣздовъ по желѣзнымъ дорогамъ, главнѣйшее вниманіе должно быть обращено на безопасность и своевременное ихъ слѣдованіе по росписанію. Первая зависитъ, между прочимъ, отъ соблюденія установленныхъ скоростей хода поѣздовъ, какъ средних—для даннаго типа паровоза и профиля пути, такъ и уменьшенных—при прохожденіи ремонтируемыхъ и перестраиваемыхъ участковъ, временныхъ мостовъ и пр. Съ этою цѣлью и употребляются сказанные приборы, которые, слѣдовательно, преслѣдуютъ двѣ главныхъ цѣли: 1) указать машинисту скорость поѣзда въ каждый данный моментъ, благодаря чему ему легче поддержать болѣе или менѣе равномерный ходъ поѣзда и не превзойти предѣльной допускаемой скорости путемъ своевременныхъ принятыхъ мѣръ и 2) производить контроль хода поѣзда, чтобы, путемъ взысканій, пріучить машинистовъ и станціонныхъ агентовъ къ аккуратности и точному выполненію установленныхъ росписаній. Ввиду этого предлагалось и предлагается изобрѣтателями безконечное количество системъ измѣрителей скоростей, часто весьма сложныхъ, и вообще надо замѣтить, что можно назвать немного приборовъ, на созданіе которыхъ было-бы потрачено столько остроумія и труда. Но при изслѣдованіи паровозовъ преслѣдуются совершенно инныя цѣли: мы выше видѣли, что знаніе скорости поѣзда безусловно необходимо, такъ какъ отъ нея зависитъ сопротивленіе поѣзда движенію, величина развиваемой силы тяги, паропроизводительность котла и пр. Поэтому къ измѣрителямъ скоростей здѣсь надо предъявить болѣе строгія требованія: они должны показывать скорость возможно точнѣе, давать, автоматически получаемую, кривую скоростей и наглядно указывать машинисту и лицу, производящему опытъ, скорость хода поѣзда. Поэтому приборы, не удовлетворяющіе этимъ требованіямъ, напр.

*) „Эквивалентный вѣсъ“ опредѣляется изъ непосредственныхъ наблюденій такимъ образомъ: колесная пара (съ противовѣсами и кривошипами) устанавливается на строго горизонтальномъ пути и на палецъ кривошипа, поочередно съ каждой стороны, подвѣшивается круглое стальное кольцо, пагружаемое гириями до тѣхъ поръ, пока не достигается безразличное равновѣсіе, т. е. при которомъ колесная пара остается въ покоѣ при всякомъ приданномъ ей положеніи. Вѣсъ этихъ-то гирь и составляетъ то, что называется „эквивалентнымъ вѣсомъ противовѣсовъ“.

хотя болѣе простые, но и менѣе точные и не дѣлающіе автоматической записи приборы Стредли, Венедиктова и др., также записывающіе только время нахождения поѣзда въ движеніи и время остановокъ, напр. системы Вебера или, наконецъ, устанавливаемые въ вагонахъ, служащіе спеціально для контроля и не дающіе указаній машинисту, напр. системы Графтію—здѣсь не описаны. Нѣкоторые изъ этихъ приборовъ, будучи безукоризненными для обыкновенной службы, не всегда удобны для нашихъ цѣлей, напр. измѣритель скорости (*chronotachymètre*) французской желѣзнодорожной компаніи Paris—Lyón—Méditerranée, усовершенствованный экземпляръ котораго былъ выставленъ на прошлой Парижской Выставкѣ. Этихъ измѣрителей поставлено на паровозахъ компаніи болѣе 400 и они даютъ вполне точныя показанія, но къ сожалѣнію—они не чертятъ кривыхъ скоростей, дающихъ наглядную зависимость ихъ отъ пройденнаго пути или времени, а отмѣчаютъ извѣстныя числа оборотовъ колесъ значками на бумажной лентѣ и скорости надо вычислять, а затѣмъ строить кривую скоростей, что неудобно, въ особенности при обширныхъ опытахъ. Также приборъ русскаго изобрѣтателя Кедрова, испытанія котораго, недавно сдѣланныя, дали вполне благоприятные результаты и показали, что этотъ приборъ заслуживаетъ распространенія [тѣмъ болѣе, что онъ исполняетъ многія побочныя функціи—напр. отмѣчаетъ на лентѣ проѣздъ закрытаго семафора и автоматически останавливаетъ при этомъ поѣздъ, показываетъ состояніе пути, автоматически подтормаживаетъ поѣздъ при достиженіи максимумальной скорости и пр.], но онъ начинаетъ показывать скорость, начиная только съ 10—15 верстъ, и поэтому для всестороннихъ, серьезныхъ испытаній паровоза неудобенъ, тогда какъ при обыкновенныхъ условіяхъ—этотъ недостатокъ его не имѣетъ значенія. Поэтому ихъ описанія здѣсь не приводятся, но для справокъ—въ концѣ книги указаны источники, гдѣ можно ихъ найти.

Вообще изъ огромнаго числа предложенныхъ системъ этихъ приборовъ — очень немногіе получили значительное распространеніе на желѣзныхъ дорогахъ, остальные же по своимъ конструктивнымъ недостаткамъ, сложности, неудовлетворительности показаній — послѣ нѣкотораго испытанія, признаны неудовлетворяющими своего назначенія. Въ виду сказаннаго, здѣсь приведены описанія только тѣхъ приборовъ, которые признаны наилучшими въ Россіи и за границую и пригодны, по мнѣнію автора, при изслѣдованіи паровозовъ *), а именно: приборы — Бойера,

*) Иногда измѣритель скорости является только составною частью болѣе сложнаго прибора, исполняющаго одновременно нѣсколько функцій, напр. приборъ Кантейна. Описаніе этихъ измѣрителей приведены при общемъ разсмотрѣніи указанныхъ приборовъ въ соответствующихъ мѣстахъ.

Гаусгельтера и Клозе *). Но замѣтимъ, что и эти приборы отнюдь не свободны отъ недостатковъ, иногда очень крупныхъ (указанныхъ при ихъ описаніи), почему XXII съѣздъ инженеровъ подвижного состава и тяги (1900 г.) постановилъ объявить конкурсъ на выработку прибора для механическаго контроля хода поѣздовъ, который долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1. Точность показаній прибора должна быть до 5%, причемъ для скоростей менѣе 20 верстъ погрѣшность показанія можетъ быть допущена въ 1 версту въ обѣ стороны.

2. Приборъ долженъ въ каждый данный моментъ наглядно указывать машинисту скорость хода.

3. Въ приборѣ должно быть графическое, удобочитаемое показаніе скорости хода.

4. Запись эта должна быть на лентѣ, а не на дискѣ.

5. Движеніе ленты должно соответствовать ни времени хода, а пройденному пути.

6. Запись должна ясно указывать продолжительность хода и стоянокъ поѣзда.

6. Устройство должно представлять удобство для установки прибора и для наблюденія за правильностью его дѣйствія.

8. По возможности должно быть избѣгнуто употребленіе пружинъ въ частяхъ механизма, указывающаго скорость хода.

9. Движеніе паровоза заднимъ ходомъ не должно вліять на правильность показаній прибора.

Кромѣ того, высказано частное желаніе имѣть въ томъ же приборѣ, или въ отдѣльномъ, самостоятельномъ — указанія профиля пути (таковой указывается, напр., приборомъ Ливчака).

Разсмотрѣніе всѣхъ подобныхъ приборовъ, служащихъ главнымъ образомъ для контроля, ихъ классификаціи и принциповъ, вложенныхъ въ ихъ устройство, не входитъ въ специальную задачу этой книги. Здѣсь же только замѣтимъ, что вообще измѣрители скоростей можно раздѣлить на 2 группы: 1) указывающіе скорость поѣзда въ пути по соответствующей скорости на периферіи колеса паровоза или вагона. Сюда относятся такъ называемые „центробѣжные“ приборы, основанные на томъ, что твердая или жидкая масса удаляется отъ оси при ея вращеніи съ силою, пропорціональною скорости (напр. Брюггемана, Стродлея и пр.) и 2) указывающіе скорость движенія измѣреніемъ пройденнаго пути и употребленнаго на это времени. Главныя ихъ составныя части: часы и приборъ, опредѣляющій число оборотовъ колеса, а слѣдо-

*) Для той-же цѣли можетъ служить еще приборъ Пейеръ-Фаверже, также весьма сложный и очень мало распространенный въ Россіи.

вательно и пройденный путь. Въ результатѣ указывается — или путь, пройденный въ 1 единицу времени, или время, соответствующее одному и тому же пути или числу оборотовъ (напр. Гаусгельтера, Бойера и пр.).

Эти приборы устанавливаются обыкновенно на паровозѣ, получая движенье отъ его кривошипа, дышла и пр. При полученіи же движенья отъ оси, ихъ можно ставить и въ вагонѣ, напр., динамометрическомъ, но тогда приходится отказываться отъ передачи указаній машинисту (что нежелательно) или ставить на паровозѣ второй измѣритель скоростей. Передача движенья не жесткихъ, но посредствомъ ремня или шнурка, надо избѣгать, такъ какъ такая передача мало гарантируетъ точность, вслѣдствіе растяженія и скольженія ихъ подъ вліяніемъ дрожанія прибора, толчковъ, измѣненія атмосферныхъ условій и пр.

Для провѣрки показаній измѣрителей скоростей и вообще при опытахъ съ паровозами очень полезны карманные часы-тахометръ, выработанные знаменитою фирмою Paul Garnier въ Парижѣ по предложенію ж. д. О-ва Р. Л. М. и широко распространенные во Франціи. Они приспособлены специально для измѣренія скорости: стрѣлка секундомѣра, пущенная въ ходъ у одного изъ километрическихъ столбовъ и остановленная у слѣдующаго — непосредственно, на особомъ циферблатѣ, указываетъ скорость хода въ km/h . Часы двухсторонніе — обратная сторона представляеть обыкновенные часы.

Если подобную провѣрку дѣлать систематически, то, нанеся полученные такимъ образомъ результаты на бумагу, откладывая пройденныя пространства по оси абсциссъ, а скорости по оси ординатъ, получимъ кривую, которая служитъ провѣркою для кривыхъ, данныхъ измѣрителемъ скоростей.

§ 75. Американскій приборъ системы Бойеръ (Boyer).

Этотъ приборъ имѣется двухъ типовъ: безъ часового механизма и съ часовымъ механизмомъ.

1. *Безъ часового механизма.*

Приборъ получаетъ движенье отъ колеса паровоза (или при установкѣ въ вагонѣ — отъ вагоннаго колеса), по возможности не подвергающагося буксованію, напр., отъ одного изъ колесъ телѣжки. Для этого къ колесу прикрѣпляется шкивъ S (фиг. 269), отъ котораго идетъ спиральный стальной ремень къ шкиву S_1 прибора A , который установленъ, напр. на площадкѣ паровоза. Приборъ измѣряеть пробѣгъ поѣзда и шкивъ его долженъ дѣлать точно 600 оборотовъ на версту пройденнаго пути, почему шкивъ состоитъ изъ двухъ половинъ (фиг. 267), которыя можно повернуть одна на другую на рѣзбѣ и, удержавши въ требуемомъ положеніи особой застѣжкой, измѣнить діаметръ шкива и, слѣдовательно, регу-

лизовать сказанное число оборотовъ. Вращательное движеніе передается затѣмъ двумъ цилиндрамъ, помѣщеннымъ въ коробкѣ, наполненной керосиномъ, и цилиндры, вращаясь, будутъ дѣйствовать какъ нагнетательный насосъ, накачивая керосинъ изъ коробки подъ поршень цилиндра, помѣщенного рядомъ. Поршень особою пружиною опускается внизъ, но подъ давленіемъ накачиваемаго керосина поднимается на величину, понятно, пропорціональную количеству накаченного керосина, что въ свою очередь пропорціонально скорости паровоза. Поршень посредствомъ гибкой проволоки соединяется съ указателемъ, помѣщеннымъ въ паровозной будкѣ на виду у машиниста.

Детали аппарата слѣдующія:

Упомянутый насосъ состоитъ изъ пары высокихъ зубчатыхъ колесъ R и R' , наглухо насаженныхъ на своихъ осяхъ B и A , помѣщенныхъ въ камерѣ P и сдѣляющихся одно съ другимъ. Камера P и цилиндръ Q съ поршнемъ соединены узкою щелью a и въ нижней части каналомъ b , какъ видно на фиг. 265, представляющей поперечное сѣченіе аппарата горизонтальной плоскостью. Движеніе этимъ зубчатымъ цилиндрамъ передается отъ шкива S посредствомъ червяковъ такимъ образомъ, что они вращаются всегда въ одну сторону независимо отъ направленія хода паровоза. Для этого на оси A и B цилиндровъ R и R' свободно насажены шестерни C и C' (фиг. 266—изображающая видъ аппарата сверху), которыя сдѣляются съ сказанными червяками D и D_1 . Отъ этихъ шестерней передается вращеніе осямъ A и B посредствомъ двухъ храповыхъ колесъ ϵ и ϵ' , наглухо насаженныхъ на оси и собачекъ F и F' , прикрѣпленныхъ къ шестернямъ. Собачки устроены такимъ образомъ, что при движеніи паровоза впередъ—собачка F' сдѣляется съ храповикомъ ϵ и движеніе храповика ϵ и оси A происходитъ по направленію часовой стрѣлки, при чемъ собачка F'' свободно скользитъ по храповику ϵ' и зубчатый цилиндръ R получаетъ вращеніе отъ цилиндра R' . При обратномъ ходѣ—наоборотъ: собачка F'' сдѣляется съ храповикомъ ϵ' , собачка-же F свободна и цилиндръ R' получаетъ вращеніе отъ R въ ту-же сторону. Такимъ образомъ происходитъ быстрое ихъ вращеніе и керосинъ накачивается черезъ каналъ b подъ поршень цилиндра Q .

Къ верхней части его штока T прикрѣпляются:

а) Коромысло kk , концы котораго прикрѣплены къ спиральнымъ пружинамъ m и m' . Когда аппаратъ не дѣйствуетъ, пружины притягиваютъ поршень въ самое низкое его положеніе, выдавливая керосинъ изъ подъ него обратно въ камеру P . При дѣйствіи аппарата, пружины уравновѣшиваютъ давленіе керосина снизу поршня, который поднимается вверхъ до тѣхъ поръ, пока это равновѣсіе наступитъ. Высота поднятія слѣдовательно будетъ опредѣляться скоростью вращенія насоса и слѣдо-

вательно скорости хода поезда, а именно: $\frac{1}{32}$ " подъема соответствует скорость поезда = 1 верстѣ въ часъ.

б) Конецъ проволоки, ведущей къ указателю въ будкѣ машиниста. Чтобы она не рвалась ее на пути укладываютъ въ желѣзную трубку диаметромъ $\frac{1}{4}$ ".

в) Латунный карандашъ *f*, помѣщенный въ суппортѣ *h* и прижимаемый къ барабану *N* пружиною *i*. Вокругъ барабана *N* обворачивается бумажная лента, которая сходитъ съ катушки, надѣтой на продолженіи оси *A* и, обойдя цилиндръ *N*, наматывается на вторую катушку, надѣтую на продолженіе оси *B*. Къ барабану *N* лента прижимается роликами *L*. Лента переходитъ съ катушки на катушку со скоростью $\frac{1}{2}$ " на версту пробѣга; на ней горизонтальныя линіи обозначаютъ скорости въ 5, 10... верстѣ въ часъ (проведены черезъ каждыя $\frac{5}{32}$ ") и каждая вертикальная линія—одну версту пробѣга. Вычерчиваемая діаграмма показана на фиг. 268. Изъ діаграммы можно опредѣлить: 1) скорость, съ которою поездъ прошелъ какой-нибудь пунктъ перегона; 2) число и мѣсто остановокъ и 3) пройденное пространство.

Аппаратъ очень компактенъ и помѣщается въ прочномъ ящикѣ, который имѣетъ размѣры $9" \times 7\frac{1}{2}" \times 9\frac{1}{4}"$. Установка его очень проста, онъ не сложенъ и обладаетъ большою чувствительностью (при тщательной установкѣ—разница показаннаго пробѣга отъ дѣйствительнаго не превосходитъ 1%). При этихъ достоинствахъ—онъ имѣетъ и недостатки:

1. Спиральный проволочный ремень пружинитъ и иногда скользитъ по шкиву.

2. Упругость пружинъ, уравнивающихъ давленіе насоса, со временемъ слабѣетъ, что вызываетъ неточность показаній прибора.

3. Жесткость проволоки, которая соединяетъ указатель съ приборомъ, огибая нѣсколько блоковъ, способствуетъ погрѣшности въ показаніяхъ указателя и

4. На точность указаній влияетъ износъ бандажей (иногда до 6%), почему при обточкѣ ихъ необходимо мѣнять циферблатъ указателя и снова регулировать приборъ.

II. Съ часовымъ механизмомъ.

Одно изъ неудобствъ описаннаго прибора состоитъ въ томъ, что съ помощью его нельзя опредѣлять время, пройденное въ пути и употребленное на остановки. Это въ послѣднее время устранено примѣненіемъ къ описанному аппарату часового механизма, помѣщаемого сверху его. Лента, на которой записываются показанія, та-же, но удвоенной ширины, такъ что нижняя часть служитъ для аппарата, а верхняя для часового механизма. Въ совокупности получается полная діаграмма, а именно: на нижней части ленты пройденное число верстѣ и скорость во время движенія; на верхней части ленты—особый карандашъ, приводимый въ дви-

женіе часовымъ механизмомъ, отмѣчаетъ время, употребленное на прохожденія известнаго пути между двумя остановками, и продолжительность самыхъ остановокъ.

Приборъ Бойера пользуется большимъ распространеніемъ въ Россіи и особенно въ Сѣверной Америкѣ.

§ 76. Указатель скорости Гаусгельтера.

Приборы Бойера одни изъ самыхъ распространенныхъ. Но по свѣдѣніямъ XXII съѣзда Инженеровъ подвижнаго состава и тяги—самымъ распространеннымъ приборомъ въ Россіи, является указатель скорости Гаусгельтера. Онъ отличается чрезвычайною сложностью, лишающею возможности дать краткое его описаніе безъ ущерба для ясности, почему таковое нами не приводится. Замѣтимъ только, что онъ очень компактный и легко помѣщается въ паровозной будкѣ передъ глазами машиниста. Какъ показано на фиг. 270, онъ приводится въ движеніе отъ колесъ паровоза, для чего вертикальный стержень прибора снабженъ въ нижней части коническимъ зубчатымъ колесомъ, сдѣляющимся съ 2-мя вертикальными зубчатыми колесами, расположенными на одномъ валку, и могущимъ сдѣлаться попеременно съ горизонтальнымъ колесомъ съ помощью зубчатыхъ муфтъ, чѣмъ достигается вращеніе вертикальнаго стержня всегда въ одну сторону при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза. Движеніе валку передается при помощи небольшого мотыля съ прѣзомъ, вращаемаго шипомъ, прикрѣпленнымъ къ дышлу паровоза.

Діаграмма получается путемъ мелкихъ наколовъ на бумажной лентѣ и изображена въ натуральную величину на фиг. 271. Лента, приводимая въ движеніе часовымъ механизмомъ со скоростью 2 или 4 мм въ минуту, имѣетъ продольныя линіи на равныхъ разстояніяхъ, соответствующія скоростямъ отъ 0 до 90 км/ч. Приборъ дѣлаетъ проколъ черезъ каждыя 6 секундъ на лентѣ между соответствующими горизонтальными линіями. Кромѣ того на ней-же, также проколами, отмѣчается: 1) время стоянокъ на станціяхъ, для чего на разстояніи $\frac{1}{2}$ мм выше нулевой линіи дѣлаются проколы черезъ каждыя 12 секундъ въ теченіи стоянокъ; 2) ниже нулевой линіи на $\frac{1}{2}$ мм располагаются отмѣтки пройденнаго пути черезъ каждые $\frac{1}{2}$ км; 3) въ верхней части ленты идутъ отмѣтки времени черезъ каждыя 3 минуты и 4) въ нижней—черезъ каждыя $\frac{1}{2}$ часа.

При достиженіи паровозомъ скорости, превышающей заранѣе назначенные предѣлы, приборъ подаетъ особые сигналы колокольчикомъ, расположеннымъ въ верхней его части.

Приборъ Гаусгельтера очень распространенъ въ Германіи и Россіи. Но онъ имѣетъ весьма крупныя недостатки:

1) Крайняя сложность, чрезвычайное обиліе очень деликатныхъ приспособленій, требуетъ весьма тщательнаго ухода и нѣсколькихъ десятъ-

ковъ запасныхъ частей. Малѣйшая порча—загрязненіе и пр. уже дѣлаетъ аппаратъ негоднымъ и исправленіе его должно быть поручаемо лицу, которому спеціально порученъ надзоръ за этими приборами.

2) Отсутствіе непрерывныхъ показаній: они дѣлаются черезъ 6—12 секундъ. Также и скорость поѣзда показывается машинисту стрѣлкой на особомъ циферблатѣ не непрерывно, а черезъ каждыя 6 секундъ.

3) Износъ бандажей вызываетъ измѣненіе показаній прибора, что составляетъ разницу до 4%. Такихъ-же приспособленій для устраненія этого недостатка, какъ въ приборѣ Бойера—нѣтъ.

4) Діаграммы желательнo имѣть начерченныя съ заранѣе отмѣченными верстами пройденнаго пути. Здѣсь такого нагляднаго изображенія нѣтъ: чтобы найти скорость поѣзда на желаемой верстѣ, необходимо сосчитать число уколовъ, которые дѣлаются черезъ каждыя $\frac{1}{2}$ km. Также опредѣленіе и времени отъ данной точки дѣлается такимъ-же образомъ: надо считать число уколовъ или, зная, что лента движется со скоростью 2 mm. въ минуту, надо опредѣлить число mm. пройденныхъ лентою и дѣлить это число на 2: частное дастъ число минутъ. Все это неудобно и желательнo при опытныхъ изслѣдованіяхъ имѣть приборы менѣ сложные, подверженныя меньшему числу поломокъ и дающіе діаграммы болѣе удобныя для пользованія ими.

§ 77. Приборъ системы A. Klose.

Дѣйствіе прибора заключается въ измѣреніи тѣхъ измѣненій, которыя при различныхъ скоростяхъ происходятъ въ системѣ астатически подвѣшенныхъ тѣлъ. Эти измѣненія посредствомъ промежуточнаго механизма передаются рессорѣ такимъ образомъ, что каждой скорости соотвѣтствуетъ одно опредѣленное ея напряженіе. Рессора дѣйствуетъ на пишущій аппаратъ и указатель, а такъ какъ передача движенія астатической системѣ происходитъ отъ одной изъ осей паровоза, то надлежащимъ образомъ вывѣренный циферблатъ указателя прямо указываетъ пробѣгъ паровоза въ $\frac{\text{km}}{\text{h}}$.

Приборъ состоитъ изъ вертикальной оси xx' (ф. 272 и 273), около которой и вращается система астатическихъ тѣлъ ss' и ll' и спиральная рессора ff' . Ось xx' въ верхней части образуетъ вилку (фиг. 273), внутри которой и подвѣшено на осяхъ o_1 тѣло ss' , имѣющее форму диска. Этотъ дискъ имѣетъ вырѣзь, въ которомъ вращается на оси d маленькій шатунъ ll' , связанный въ нижней своей части серьгою eg съ нижнею частью вилки. Благодаря этому, верхній конецъ шатуна двигается по оси xx' , для чего онъ связанъ съ трубкою h' , могущею двигаться только по вертикальному направленію. Эта трубка подвергается дѣйствию спиральной рессоры ff' , нижняя спираль которой проходитъ черезъ два ушка n и n' ,

прикрѣпленныхъ къ концамъ вилки. Такимъ образомъ вся система и ресора вращаются вмѣстѣ съ осью xx' .

Въ трубкѣ h_1 устанавливается подпятникъ для стержня h , который не вращается, но воспринимаетъ всѣ вертикальныя движенія оси. При различныхъ скоростяхъ вращенія оси xx' , дискъ ss' наклоняется болѣе или менѣе; величина этого наклоненія слѣдовательно и передается вертикальному стержню h , на продолженіи котораго, въ будѣ машиниста располагается пишущій приборъ.

Главное условіе для аппарата—подвѣсить систему ss'' (дискъ и шатунъ) такъ, чтобы движенія оси, за исключеніемъ ея вращенія, не дѣйствовали на систему замѣтнымъ образомъ. Поэтому форма и величина шатуна l' опредѣляется въ каждомъ случаѣ такимъ образомъ, чтобы его дѣйствіе въ точкѣ d было такое, какъ будто-бы выемки въ дискѣ ss' нѣтъ, тогда система будетъ не чувствительна къ ударамъ и подергиваніямъ. Система заключена въ чугунную коробку, прикрѣпляемую подъ платформу вблизи задней оси паровоза.

Для приведенія аппарата въ движеніе обыкновенно на заднюю головку дышла надѣваютъ рукавъ k (фиг. 274), который посредствомъ кривошипа вращаетъ горизонтальную ось z_4 , а, слѣдовательно, посредствомъ зубчатыхъ передачъ z_4z_3 и z_2z_1 , и ось xx' .

Указатель скорости очень простъ (фиг. 275—276): онъ заключенъ въ коробкѣ, черезъ которую проходитъ стержень h . Къ его концу привинчивается рама p , одна изъ сторонъ которой образуетъ зубчатку, сцепляющуюся съ колесомъ g , на оси которой сидитъ стрѣлка r . Последняя указываетъ на циферблатъ, устанавливаемомъ передъ машинистомъ, скорость въ $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$, для чего дѣленія циферблата должны быть опредѣлены въ зависимости отъ діаметра колесъ паровоза.

Пишущій приборъ заключенъ въ очень компактной коробкѣ, которую очень легко поставить и снять и приборъ пустить въ ходъ или остановить (посредствомъ рычага H). Механизмъ его состоитъ изъ часовъ a (фиг. 275 и 276), которые посредствомъ зубчатыхъ колесъ вращаютъ барабанъ β_2 и приводятъ такимъ образомъ въ движеніе безконечный листъ бумаги, натягиваемый барабаномъ β_1 . Передъ этимъ листомъ автоматически перемѣщается карандашъ c , получающій свое движеніе отъ стержня h . Для этого стержень несетъ поперечный брусокъ t съ роликомъ s , который движется между направляющими s_1 и слѣдовательно движенія бруска одинаковы съ движеніемъ стержня h . Онъ впереди связанъ съ изогнутымъ стержнемъ, вращающимся относительно оси t^3 , укрѣпленной на неподвижномъ плато P и соединенномъ съ рычагомъ t^2 , несущемъ на нижнемъ концѣ карандашъ c ; верхній-же конецъ рычага t^2 связанъ съ маленькимъ шатуномъ d , котораго ось вращенія— d_0 . Вслѣдствіе этого устройства вертикальное движеніе стержня h превращается въ го-

ризонгальное движение карандаша s , который и чертит на бумаге кривую скоростей (представленную на фиг. 277 въ натуральную величину), достигая краевъ бумаги при скоростяхъ $= 0$ и \max .

Аппаратъ работаетъ очень хорошо и карандашъ чертитъ кривыя безъ качаній, что достигается благодаря полному уравновѣшиванію прибора.

Аппаратъ очень распространенъ въ Швейцаріи (до 1895 года на одной С. Готардской ж. д. было поставлено 50 шт., на сѣверо-восточной ж. д.—100 шт.). Въ настоящее время эти аппараты быстро распространяются и во Франціи и на фабрике Oerlikon близъ Цюриха, купившей привиллегію Klose и имѣющей исключительное право на изготовленіе этихъ приборовъ, въ мою бытность на ней въ прошломъ году, для Франціи ихъ изготовили цѣлыя десятки.

3. Приборы для измѣренія ускореній хода поѣзда.

§ 78. Динамометры инерціи Дедуи (Desdouits).

Изъ § 37, II мы знаемъ, что сопротивление поѣзда можетъ быть найдено, если при извѣстной массѣ поѣзда для каждаго данного мгновенія будутъ извѣстны: движущее усиліе (что можетъ быть опредѣлено изъ индикаторныхъ діаграммъ) и ускореніе движения. Последнее можно найти вычисленіемъ, зная зависимость скорости хода поѣзда отъ времени (т. е. кривую скоростей), для непосредственнаго же его измѣренія инженеръ Desdouits построилъ особый приборъ, названный имъ *динамометромъ инерціи*.

Устройство прибора основано на проявленіи силъ инерціи въ маятниковой системѣ, участвующей въ движеніи поѣзда. Пусть маленькая масса m (фиг. 278), качается въ вертикальной плоскости относительно оси O параллельно направленію движения поѣзда, образуя такимъ образомъ маятникъ.⁵ При равномерномъ движеніи поѣзда, масса m не измѣнитъ своего положенія въ пространствѣ относительно поѣзда, но при измѣненіи скорости — масса m вслѣдствіе инерціи отклонится отъ прежняго своего положенія и это отклоненіе будетъ пропорціонально ускоренію w , которое сообщено поѣзду. Если уголъ отклоненія маятника α , то

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{w}{g}.$$

Карандашъ, помѣщенный на продолженіи стержня маятника, собственнымъ вѣсомъ или пружиной прижимается къ барабану съ горизонтальной осью вращенія, расположенной въ плоскости качанія маятника и который приводится въ непрерывное вращеніе часовымъ механизмомъ; при движеніи поѣзда карандашъ начертитъ на его поверхности діаграмму, ординаты ко-

торой пропорциональны ускоренію поѣзда въ каждое мгновеніе, изъ которой, слѣдовательно, это ускореніе и можетъ быть опредѣлено. Въ самомъ дѣлѣ—имѣемъ:

$$AA' = y = OA \cdot \operatorname{tg} \alpha = OA \cdot \frac{w}{g} = R \cdot \frac{w}{g},$$

гдѣ

$$OA = R$$

слѣдовательно

$$w = \frac{g}{R} \cdot y.$$

Величина $\frac{R}{g}$ будетъ слѣдовательно масштабъ для ускореній.

Если поѣздъ идетъ съ закрытымъ регуляторомъ, то величина

$$Mw = \frac{M \cdot g}{R} \cdot y,$$

будетъ = сопротивленію поѣзда движенію W (см. § 40); если же поѣздъ шелъ съ открытымъ регуляторомъ и въ тотъ моментъ, когда регуляторъ закрыли, карандашъ перемѣнился на y , то величина $\frac{Mg}{R} \cdot y$ дастъ движущее усиліе Z , которое паръ при дѣйствіи въ цилиндрахъ оказывалъ на поѣздъ [это усиліе меньше индикаторнаго, какъ извѣстно, на нѣкоторую величину]*). Такимъ образомъ величина $\frac{R}{Mg}$ — будетъ масштабъ для силъ.

Эта весьма простая форма маятника можетъ однако примѣняться только въ тѣхъ случаяхъ, когда усилія, подлежащая измѣренію, не очень малы сравнительно съ массою системы, напр., при опытахъ съ непрерывными тормазами, при дѣйствіи которыхъ усилія достигаютъ до 15—20% вѣса поѣзда. Если же, напротивъ, приходится измѣрять усилія сравнительно малыя, напр., при опытахъ съ поѣздами при обыкновенныхъ условіяхъ ихъ хода, когда усилія рѣдко превышаютъ 8—10 тысячныхъ вѣса поѣзда, то отклоненія маятника выходятъ очень незначительными, и для полученія достаточно большихъ ординатъ необходимо или взять очень длинный маятникъ, или ввести передачи движенія, что вообще неудобно.

Поэтому Desdovits сдѣлалъ маятникъ дифференціальнымъ и не качающимся, а катающимся (фиг. 279). Пусть кружокъ (центръ которой въ O или, на примѣръ, вырѣзка изъ него $abcd$) опирается на горизонтальную плоскость своею окружностью. Подвижный грузъ π позволяетъ

*) Или отнеся, для удобства, внутрення сопротивленія паровоза къ вѣшнымъ— Z = индикаторной работѣ паровоза.

по произволу измѣнять центръ тяжести отъ центра фигуры O . При наклоненіи кружка въ ту или другую сторону, здѣсь развиваются, какъ и въ обыкновенномъ маятникѣ, силы, стремящіяся возвратитъ его въ первоначальное положеніе, что производится здѣсь парюу силъ съ плечомъ, зависящимъ отъ разстоянія между центрами тяжести и кривизны. Разстояніе-же это можно сдѣлать какъ угодно малымъ, и слѣдовательно теоретически—система эта обладаетъ абсолютною чувствительностью.

Пусть r —радіусъ кривизны OA ,

$d = OG$ разстояніе между центрами тяжести и кривизны и

α —уголъ наклоненія въ данное мгновение.

Беремъ равенство моментовъ—

$$g \cdot d \cdot \sin \alpha = w (r - d \cdot \cos \alpha)$$

или

$$w = \frac{g \cdot d \cdot \sin \alpha}{r - d \cdot \cos \alpha}$$

Если y —линейное перемѣщеніе центра кривизны, то

$$y = r \cdot \alpha,$$

слѣдовательно

$$\frac{w}{y} = \frac{g \cdot d \cdot \sin \alpha}{r \alpha (r - d \cdot \cos \alpha)}$$

Предполагая, что уголъ α не великъ, т. е. радіусъ кривизны достаточно великъ, можно $\cos \alpha$ и $\frac{\sin \alpha}{\alpha}$ замѣнить единицей и тогда

$$\frac{w}{y} = \frac{g \cdot d}{r (r - d)}$$

т. е. ускореніе можно измѣрять *горизонтальнымъ перемѣщеніемъ* центра кривизны O по масштабу

$$\frac{r (r - d)}{g \cdot d}$$

Это перемѣщеніе и отмѣчается на вращающемся барабанѣ B , приводимомъ въ движеніе часовымъ механизмомъ, при чемъ карандашъ e начертитъ діаграмму, какъ функцію ускоренія отъ времени.

Для опредѣленія сказаннаго масштаба нѣтъ необходимости измѣрять разстояніе d , а достаточно поставить приборъ на извѣстный уклонъ i ; пусть при этомъ y_1 будетъ перемѣщеніе центра кривизны и такъ какъ ускореніе отъ уклона $= gi$, то

$$\frac{gi}{y_1} = \frac{g \cdot d}{r (r - d)}$$

и слѣдовательно искомый масштаб будетъ

$$\frac{y_1}{g_i}$$

Desdouits предложилъ нѣсколько способовъ осуществить описанную идею и имъ сконструировано нѣсколько различныхъ динамометровъ инерціи, изъ которыхъ опишемъ одну изъ послѣднихъ конструкцій, изготовляемыхъ Парижскою фирмою Paul Garnier. (Фиг. 280). Тѣло маятника состоитъ изъ двухъ металлическихъ вырѣзокъ, соединенныхъ между собою массивными поперечинами; снизу каждой изъ вырѣзокъ придѣланы круговые сектора изъ закаленной стали, которые опираются на два стальныхъ параллельныхъ рельса. Во избѣжаніе скольженія маятника—эти сектора и рельсы снабжены зубцами. Центръ тяжести очень близокъ къ центру кривизны секторовъ и поэтому приборъ очень чувствителенъ. Кладя на нижнюю поперечину дополнительныя нагрузки, можно по желанію уменьшить масштабъ для измѣренія высокихъ усилій. Бумажная лента длиною 10—20 м. навита на цилиндръ *a*, вращающійся съ нѣкоторымъ трудомъ, обитъ шероховатый цилиндръ *b*, приводимый въ движеніе часовымъ механизмомъ *A*, и навивается на цилиндръ *c* съ пружиной, заставляющей его вращаться, когда лента сходитъ къ нему съ барабана *b*. Механизмъ *A* можно пускать въ ходъ или останавливать по произволу. Карандашъ *m*, слегка прижимаясь къ бумажной лентѣ цилиндра *b* только собственнымъ вѣсомъ и идущій по оси симметріи прибора, чертитъ діаграмму, для увеличенія ординатъ который онъ помѣщенъ не въ центрѣ кривизны, а выше ея. Въ вертикальномъ пустомъ цилиндрѣ *B* ходитъ поршень, связанный посредствомъ шарнирныхъ соединеній съ неподвижной точкой прибора и съ вырѣзками маятника. Этотъ цилиндръ служитъ катарактомъ, предупреждая слишкомъ большія и быстрыя движенія маятника, имѣющія лишь мгновенный характеръ. Необходимыя линіи на бумажной лентѣ, напр. соответствующая среднему положенію прибора, отмѣчаются отдѣльными неподвижными карандашами. Приборъ очень компактенъ и заключенъ въ небольшого вѣса ящикъ, легко переносимый и устанавливаемый. Кромѣ указанныхъ цѣлей: нахожденія сопротивленія поѣзда движенію, движущейся силы на ободѣ *Z* и пр., беря разницу между индикаторной силой и *Z*, находимъ сопротивленіе механизма парораспределенія для данной отсѣчки. Этотъ же приборъ можно употреблять для контроля хода поѣздовъ, такъ какъ онъ точно показываетъ, какъ функцію времени, ходъ съ закрытымъ регуляторомъ, контръ-паромъ, съ тормаженіемъ, время остановокъ на станціяхъ и пр. Наконецъ, поставленный на платформу вагонетки, онъ дѣйствуетъ какъ весьма чувствительный уровень, показывая измѣненія профили пути.

Д. Различные мелкіе приборы.

§ 79. Пирометры.

Пирометры служатъ для опредѣленія высокихъ температуръ и изрѣдка употребляются при изслѣдованіи паровозовъ, напримѣръ для опредѣленія температуръ продуктовъ горѣнія внутри дымовой коробки. Какъ и въ другихъ приборахъ, здѣсь приходится избѣгать тѣхъ изъ нихъ, въ которыхъ употребляются жидкости, напримѣръ системы Зигертъ-Дюрра. Поэтому здѣсь находятъ исключительное примѣненіе только слѣдующіе пирометры: 1) *графитовые*, напримѣръ системы Штейнле и Гартунга, основанные на расширеніи графитоваго стержня подъ вліяніемъ высокой температуры. Они показываютъ до 1200°, но хотя и очень распространены—они не точны и послѣ нѣкотораго употребленія уже становятся не надежными. Поэтому заслуживаютъ гораздо большаго вниманія 2) *стальные ртутные термометры*, изготовляемые разными фирмами и состоящіе изъ стального резервуара для ртути (фиг. 281), который сообщается черезъ небольшое отверстіе съ капиллярной винтовой стальной пружиной. При нагрѣваніи ртуть расширяется и производитъ давленіе на внутреннія стѣнки пружины, которая поэтому раскручивается и тѣмъ приводитъ въ движеніе указательную стрѣлку прибора. Внешній видъ прибора, посредствомъ котораго можно измѣрять температуры до 500° с. *), указанъ, напримѣръ, на фиг. 282 и 283, а способъ установки на фиг. 284, при чемъ приборъ ввинчивается на рѣзьбѣ въ стѣнку дымовой коробки и вводится во внутрь до ея середины. Циферблатъ долженъ занимать снаружи положеніе, позволяющее читать его показанія съмшицу диаграммы. Эти показанія, а также и показанія тягомѣра, должны быть отмѣчаемы послѣ снятія каждой индикаторной диаграммы.

Описанные приборы иногда снабжаются и самозаписывающими механизмами. Болѣе сложные приборы, напр. пирометръ-анероидъ братьевъ Ришаръ въ Парижѣ, основанные на расширеніи объема азота въ стальномъ резервуарѣ, передаваемое потомъ манометру и др., почти не примѣняются при изслѣдованіи паровозовъ.

§ 80. Анемометры (вѣтромѣтры).

Для вычисленія сопротивленія воздуха и вѣтра, оказываемаго ими движенію хода поѣзда, необходимо, между прочимъ, знать скорость вѣтра въ метрахъ (см. § 27). Употребляемые для этой цѣли „*вѣтромѣтры*“ или „*анемометры*“ устанавливаются обыкновенно на крышѣ опытнаго вагона;

*) Таковыя изготовляются фирмою Штейнле и Гартунгъ, Нейманъ и К° (до 400°).

ихъ существуетъ нѣсколько конструкцій, напр. Комба, Бирама, Казартели, Ришара и др. Они всѣ устроены по одному и тому-же принципу. Одинъ изъ самыхъ распространенныхъ—анемометръ Казартели (Casartelli), состоящій изъ маховичка съ лопатками, защищеннаго особымъ ободомъ. Маховичекъ, вращаясь, приводитъ въ движеніе счетчикъ, снабженный нѣсколькими циферблатами, и даетъ прямо путь, пройденный воздухомъ. Сдѣвленіе и расцѣвленіе прибора производится по желанію—посредствомъ пуговики и шнурковъ. Существуютъ еще анемометры самопишущіе, записывающіе направленіе и скорость вѣтра черезъ одинъ или пять километровъ, но они сложны и очень дороги (до 600 р.).

Анемометры системы Робинзона, также часто употребляемые и показывающіе скорость вѣтра въ метрахъ, изображены на фиг. 285. Они строятся и съ контактомъ, для соединенія съ гальваническимъ счетчикомъ.

ЧАСТЬ VI-я.

Динамометрическіе вагоны и ихъ спеціальные приборы.

§ 81. *Динамометрическіе вагоны*, какъ сказано выше, изображаютъ изъ себя инженерныя подвижныя лабораторіи, въ которыхъ устанавливаютъ, для удобства наблюденія и возможности произвести точныя изслѣдованія, всѣ приборы, какіе только возможно, и почти всегда—всѣ приборы съ автоматическимъ записываніемъ показаній, какъ болѣе сложные, а именно: манометры и вакуметры (тягомѣры), динамометры, анемометры, приборы для анализа газовъ и пр. и часто спеціально сконструированныя аппараты, исполняющіе одновременно нѣсколько функцій и иногда измѣрители скоростей.

Опытные вагоны должны быть такой величины, чтобы, кромѣ помѣщенія для приборовъ, было еще отдѣленіе для служебнаго персонала. Это особенно необходимо у насъ въ Россіи, гдѣ участки часто велики, опыты (въ особенности съ товарными поѣздами) требуютъ значительнаго времени и на станціяхъ иногда нѣтъ элементарныхъ удобствъ. Наконецъ и работа эта настолько тяжела (особенно зимою), что помѣщеніе, гдѣ агенты могли-бы отдохнуть во время перерыва опытовъ, привести въ порядокъ ихъ результаты и сдѣлать необходимыя отмѣтки—безусловно необходимо. Поэтому опытный вагонъ долженъ быть не менѣе какъ 3-хъ оснымъ, 2-хъ осные-же малы: въ нихъ приходится или очень тѣсно располагать приборы или лишать удобствъ агентовъ. Кромѣ того лѣтомъ они очень нагрѣваются и при необходимости держать закрытыми окна, во избѣжаніе порчи приборовъ отъ пыли, въ нихъ бываетъ жара, съ трудомъ переносимая. Таковъ напр. вагонъ западныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ. Какъ на обратный примѣръ, укажу на вагонъ баварскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ, построенный съ излишнею, не нужною роскошью.

Въ виду сказаннаго, новѣйшіе вагоны строятся трехъ осными и даже 4-хъ осными (на 2-хъ телѣжкахъ), примѣръ коего приведенъ въ § 86. Опытные вагоны появились уже очень давно, но старые вагоны тѣсны, неудобны и снабжены устарѣвшими аппаратами. Таковы напр. осмотровѣн-

ные мною вагоны сѣверной французской желѣзной дороги и саксонскихъ желѣзныхъ дорогъ (въ Хемницѣ). Чтобы, тѣмъ не менѣе, имѣть понятіе о этихъ вагонахъ, ниже приведено описаніе перваго изъ нихъ.

Извѣстно, что Франція всегда была классическою страню желѣзно-дорожныхъ опытовъ и ея вагоны, съ точки зрѣнія ихъ оборудованія, лучшіе на континентѣ, почему приведено подробное описаніе французскихъ вагоновъ, представляющихъ наибольшій интересъ, а именно, компаніи P.-L.-M. и Западныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ.

Изъ германскихъ вагоновъ описанъ только вагонъ баварскихъ казенныхъ жел. дор. Что-же касается до вагона прусскихъ жел. дор., то онъ недоступенъ для осмотра иностранцамъ (какъ и всё, относящееся до желѣзныхъ дорогъ) и мнѣ удалось только поверхностно ознакомиться въ Ганноверѣ у начальника главныхъ мастерскихъ съ чертежомъ этого вагона. Такихъ вагоновъ предположено сдѣлать нѣсколько штукъ. Въ Австріи и Швейцаріи вагоновъ еще нѣтъ. Изъ американскихъ вагоновъ—привожу, какъ примѣръ, описаніе новѣйшаго изъ нихъ—желѣзной дороги Illinois Central Railroad Co. Въ Россіи опытныхъ вагоновъ нѣсколько; наилучшій на Юго-Западныхъ желѣзныхъ дорогахъ (хотя немного тѣсный), построенный благодаря просвѣщеннымъ заботамъ нашихъ извѣстныхъ инженеровъ Бородина и Леви, но, являясь копіею опытнаго вагона Западныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ, онъ не представляетъ ничего оригинальнаго. Существуетъ еще нѣсколько вагоновъ (обыкновенно только отдѣленія въ пассажирскихъ вагонахъ) съ аппаратомъ Теодоровича. Какъ образецъ—описанъ вагонъ Харьковско-Николаевской желѣзной дороги. Наконецъ, есть еще вагонъ на Владикавказской желѣзной дорогѣ, но онъ только „временный“, приспособленный изъ стараго трехъоснаго пассажирскаго вагона. Обществомъ этой дороги предполагается построить новый 8-колесный опытный вагонъ. Большинство же нашихъ дорогъ, даже такихъ богатыхъ, какъ Николаевская или Екатерининская, вагоновъ совсѣмъ не имѣетъ и вопросъ о серьезномъ изслѣдованіи паровозовъ находится на нихъ въ полномъ загонѣ.

Описаній перечисленныхъ вагоновъ вполне достаточно, чтобы имѣть полное представленіе о тѣхъ разнообразныхъ требованіяхъ, которыя предъявляютъ къ вагонамъ, и о степени ихъ удовлетворенія.

Динамометрическій вагонъ Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ.

§ 82. Компанія Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ одна изъ первѣйшихъ на континентѣ Европы, поставившихъ изслѣдованіе паровозовъ на твердую почву и построившая для этой цѣли опытный вагонъ.

Описываемый ниже вагонъ построенъ въ 1881 году, вмѣсто стараго вагона, найденнаго устарѣвшимъ. Но теперь въ этомъ же вагонѣ динамометрической аппаратъ замѣненъ новымъ, сконструированнымъ фирмою Paul Garnier, который подробно былъ осмотрѣнъ мною съ любезнаго разрѣшенія главнаго инженера. Къ сожалѣнiю, достать его чертежъ мнѣ не удалось, приводить же описанiе его идеи, до опубликованiя его описанiя самой желѣзно-дорожной компанiей, я не считаю возможнымъ.

Описанiе стараго прибора, тѣмъ не менѣе, мною дается, какъ интереснаго съ исторической точки зрѣнiя (т. е. для сравненiя съ нижеприведенными болѣе усовершенствованными аппаратами) и по нѣкоторымъ его деталямъ.

Вагонъ двухосный, небольшихъ размѣровъ, безъ всякихъ удобствъ для служебнаго персонала; посрединѣ его центрального отдѣленiя находится автоматическiй аппаратъ, который отмѣчаетъ: а) силу тяги, б) положенiе путевыхъ столбовъ (черезъ 100 м.), с) время и d) число оборотовъ оси.

Въ аппаратѣ надо различать двѣ главныя части: механизмъ, служащiй для автоматическаго движенiя бумажной ленты, на которой чертятся диаграммы, и пишущiй (или отмѣчающiй) механизмъ.

1. *Приведенiе въ движенiе бумажной ленты.* Лента движется перпендикулярно къ продольной оси вагона со скоростью, пропорциональной пробѣгу поѣзда и въ постоянномъ, опредѣленномъ къ нему отношенiи (а именнo—0,141 м. на 1 км.). Лента сходитъ съ катушки *A* (фиг. 286), проходитъ между двумя цилиндрами *B* и *C*, которые ее увлекаютъ, и затѣмъ наворачивается на вторую катушку *D*. Нажатiе цилиндровъ *B* и *C* можетъ быть измѣнено посредствомъ пружины и винта, дѣйствующаго на одинъ изъ цилиндровъ. Цилиндръ *C* получаетъ вращенiе отъ передней оси вагона посредствомъ ремня и серiи зубчатыхъ колесъ, уменьшающихъ скорость вращенiя въ указанномъ отношенiи. Сцѣпленiе позволяетъ по желанiю останавливать и пускать въ движенiе ленту.

2. *Пишущiй механизмъ* имѣетъ 4 карандаша *a*, *b*, *c* и *d* (фиг. 289), которые чертятъ четыре кривыхъ, соответствующiя четыремъ функциямъ аппарата. Кромѣ того, есть пятый неподвижный карандашъ *f*, который проводитъ прямую, соответствующую нулевому значенiю силы тяги.

а) Сила тяги отмѣчается карандашемъ *a*, который получаетъ движенiе по оси вагона отъ динамометрической плоской рессоры *E*, передняя часть которой связана съ упряжнымъ крюкомъ, а задняя укрѣплена неподвижно (фиг. 288). Чтобы уменьшить ея тренiе, передняя ея часть, такъ же какъ и тяга крюка, движется на роликахъ. Стрѣлка прогиба рессоры будетъ пропорциональна силѣ тяги. Отъ передней обоймы рессоры, посредствомъ вертикальнаго стержня *E*₁ (фиг. 287—288), колебанiя ея передаются небольшому шатуну *G*, который двигаетъ салазки *F*

(съ карандашемъ a), скользящія между двумя горизонтальными направляющими, укрѣпленными къ столу аппарата. Эти направляющія, имѣющія форму ласточкина хвоста, не позволяютъ салазкамъ имѣть боковыя передвиженія или дрожать подѣ вліяніемъ качки и сотрясеній вагона, что, понятно, необходимое условіе для полученія точныхъ кривыхъ. Такъ какъ нижній конецъ стержня E' всегда качается немного въ направленіи, перпендикулярномъ къ движенію салазокъ, то шатуны G снабжены двойнымъ соединеніемъ, позволяющимъ ему принимать всѣ положенія, безъ вреда для перемѣщенной салазокъ.

b) *Опредѣленіе положенія 100-метровыхъ столбовъ.* Карандашъ b прикрѣпленъ къ одному изъ концовъ рычага, могущаго качаться около вертикальной оси xy (фиг. 290), прикрѣпленной къ основанію аппарата. Другой конецъ этого рычага можетъ быть притянутъ электромагнитомъ, если въ него пустить токъ, что дѣлается агентомъ, стоящимъ въ передней части вагона и наблюдающимъ путь, посредствомъ нажатія пуговки подвижного коммутатора (груши), висящей на шнуркѣ. Когда рычагъ въ покоѣ, карандашъ b чертитъ прямую, при замыканіи-же тока, конецъ m его притягивается электромагнитомъ и на прямой появляется зубецъ (фиг. 291), длина котораго зависитъ отъ продолжительности замыканія тока. Различныя длины зубцовъ позволяютъ ихъ различать и примѣнять для различныхъ обозначеній, напр. положенія 100 и 1000 метровыхъ столбовъ, мостовъ, стрѣлокъ и пр.

c) *Время.* Карандашъ c , подобно предыдущему, укрѣпленъ на концѣ рычага, могущаго качаться относительно своей вертикальной оси подѣ дѣйствіемъ электромагнита. Посредствомъ электрическихъ часовъ A (фиг. 289) токъ прерывается каждыя 10" и карандашъ чертитъ прямую съ зубцами (фиг. 292), разстояніе между которыми увеличивается со скоростью поѣзда, такъ какъ движеніе ленты пропорціонально числу оборотовъ осей вагона. Прерыватель тока i , расположенный въ цѣпи часовъ и электромагнита, позволяетъ приводить въ движеніе карандашъ c по желанію.

d) *Число оборотовъ оси* отмѣчается карандашомъ d , укрѣпленнымъ на рычагѣ вполне одинаковымъ съ предыдущими и приводимымъ въ движеніе электромагнитомъ R (фиг. 289), соединеннымъ съ коммутаторомъ такимъ образомъ, что токъ пропускается пожеланію каждыи оборотъ или два оборота оси вагона. При пропускѣ тока на линіи, которую чертитъ карандашъ d , появляется зубецъ и такимъ образомъ получается зубчатая линія.

Коммутаторъ состоитъ изъ прерывателя тока A' , заклиненнаго на оси шкива, передающаго движеніе аппарату отъ оси вагона. Этотъ шкивъ имѣетъ одинаковый діаметръ со шкивомъ, посаженнымъ на ось вагона, и слѣдовательно дѣлаетъ то-же число оборотовъ. Отъ этой оси (1) пере-

дается движеніе оси (2), на которой насажено зубчатое колесо вдвое большаго діаметра, чѣмъ на первой оси, и слѣдовательно она дѣлаетъ вдвое меньшее число оборотовъ, чѣмъ ось вагона. На оси (2) находится второй прерыватель B' , который такимъ образомъ можетъ давать замыканія каждые 2 оборота оси. Въ цѣпи находится коммутаторъ i' , позволяющій по желанію пустить въ дѣйствіе прерыватель A' или B' и такимъ образомъ отмѣчать каждый оборотъ оси вагона или-же періоды въ каждые два оборота.

Всѣ три рычага (для карандашей b , c и d) находятся въ одной вертикальной плоскости (фиг. 286—287), электромагниты-же поставлены рядомъ и прикрѣплены къ основанію аппарата.

Карандаши (штифты) состоятъ изъ полой стеклянной трубки (фиг. 293), заостренной съ одного конца и закрѣпленной въ металлическій футляръ, который скользитъ съ легкимъ треніемъ въ вертикальной трубкѣ, составляющей одно цѣлое съ концомъ рычага. Карандашъ этотъ прижимается постоянно къ лентѣ собственнымъ вѣсомъ. Во внутренность его трубки вводятъ очень жидкое чернило (вода, окрашенная фуксиномъ), которое и вытекаетъ изъ капиллярнаго ея конца, оставляя на бумагѣ очень тонкія линіи. Такъ какъ трубки очень малы и чернило въ нихъ уменьшается быстро, то ихъ наполняютъ посредствомъ насоса съ тонкими и гибкими трубочками, вставляемыми въ эти пишущія трубки, и такимъ образомъ ихъ наполненіе дѣлается на ходу, не вынимая трубокъ изъ ихъ футляровъ и не останавливая аппарата.

Весь аппаратъ устанавливается на столѣ (фиг. 286—288). Впереди вагона находится фонарь, освѣщающій путевые столбы и знаки во время ночи.

Послѣ опыта лента, съ начерченными на ней кривыми, имѣетъ видъ, представленный на фиг. 304. На этой лентѣ затѣмъ наносятъ: 1) профиль пути, 2) обозначеніе кривыхъ, 3) строятъ кривую скоростей, для чего у каждаго зубца, соответствующаго 10" промежутку времени, возстановляютъ вертикаль и откладываютъ на ней длины, пропорціональныя пробѣгу за истекшія 10", взявши напр. за масштаб—1 мм. на 1 км. пробѣга въ часъ, 4) отмѣчаютъ положеніе верстовыхъ столбовъ, стрѣлокъ, мостовъ и пр.

Когда всё это сдѣлано, получается полная картина хода поѣзда и тогда легко найти много интересныхъ данныхъ, напр.: измѣненіе силы тяги въ зависимости отъ профиля пути; время, необходимое для достиженія данной скорости съ момента отхода со станціи и обратно—необходимое до полной остановки при подходѣ къ станціи и пр.

Этотъ вагонъ имѣетъ нѣкоторые недостатки, напр. способъ передачи движенія аппарату отъ оси вагона посредствомъ ремня не надеженъ и во время игры рессоръ вагона, толчковъ и пр. можетъ быть скольженіе

ремня и слѣд. невѣрныя показанія аппарата. Желательна въ данномъ случаѣ только жесткая передача. Вагонъ двухъосный, очень малъ и для продолжительныхъ опытовъ имѣеть мало удобствъ для служебнаго персонала. Сила тяги измѣряется измѣненіемъ напряженія только одной плоской рессоры и слѣдовательно про нее то-же можно сказать, что и про обыкновенный рессорный динамометръ (см. § 71) и т. д.

Но тѣмъ не менѣе—этотъ вагонъ для своего времени былъ однимъ изъ наилучшихъ.

Динамометрическій вагонъ ж. д. Paris—Lyon—Méditerranée (Парижъ—Лионъ—Средиземное море). *)

§ 83. Компаніей Р. Л. М. построены (въ 1888 г.) два одинаковыхъ, ниже описанныхъ динамометрическихъ вагона, чтобы имѣть возможность производить обширныя сравнительныя опыты, напр. опыты съ одинаковыми поѣздами при различныхъ условіяхъ или при тѣхъ-же условіяхъ, но съ различными поѣздами или съ однимъ и тѣмъ-же поѣздомъ, но составленнымъ изъ двухъ частей, отличающихся различными конструкціями подшипниковъ при той-же смазкѣ или наоборотъ при той-же конструкціи подшипниковъ различною смазкою и пр. Въ послѣднемъ случаѣ въ поѣздъ ставятъ оба динамометрическіе вагона, 1-й во главѣ поѣзда, 2-й на границѣ, раздѣляющей двѣ различныхъ части поѣзда. Тогда сила тяги, измѣряемая въ первомъ вагонѣ, даетъ сопротивленіе обѣихъ частей поѣзда, а во второмъ—только задней его части и слѣдовательно, сопротивленіе первой части = ихъ разности. Такимъ образомъ компанія можетъ производить весьма цѣнныя сравнительныя опыты, опредѣляя вліяніе и достоинство или недостатки какого-нибудь одного фактора при всѣхъ остальныхъ аналогичныхъ условіяхъ.

Общее описаніе. Какъ большинство пассажирскихъ вагоновъ Р. Л. М.—вагонъ трехъосный. Двѣ крайнія оси могутъ тормазиться сжатымъ воздухомъ, средняя-же, отъ которой берется движеніе для главнаго аппарата, не тормазится.

Внутренняя часть вагона (фиг. 297) раздѣлена на двѣ почти равныя части: въ первой (I) находятся аппараты, вторая-же, предназначенная для служебнаго персонала, содержитъ ватеръ-клозетъ съ откиднымъ умывальникомъ (III) и салонъ (II) съ двумя мягкими диванами (безъ откидныхъ спинокъ и не приспособленныхъ для спанья) и столомъ между ними.

Ситка. Задняя часть вагона, которой онъ сцѣпляется съ поѣздомъ, имѣеть обыкновенный, употребляемый этой компаніей, сцѣпной приборъ

*) Чертежи и описаніе получены мною отъ инж. Marechal, начальника тракціи желѣзной дороги Р. Л. М.

Chevalier et Rey, устройство котораго ясно изъ фиг. 296. Передній-же сѣдпной приборъ устроенъ такъ, чтобы возможно было измѣрять силу тяги и сжатія: онъ состоитъ изъ большой рессоры R , скоба которой соединена спереди съ балансиромъ B и на концы которой дѣйствуютъ стержни буферовъ; эти стержни, также какъ и всѣ подвижныя тяги и стержни вагона, подвергающіеся ударамъ и толчкамъ, напр. упряжной крюкъ и его тяга, поддерживаются роликами, позволяющими имъ двигаться точно и безъ особаго чувствительнаго сопротивленія. Тяга передняго упряжнаго крюка соединяется съ балансиромъ B и въ средней части образуетъ вертикальную раму CC^1DD^1 , которая обхватываетъ динамометрическія рессоры LL^1 и MM^1 , состояція каждая изъ двухъ частей по 6 полосъ. Каждая 6 полосъ соединены скобами n , m и n_1 , m_1 образуя такимъ образомъ 4 группы, каждая пара которыхъ связана по концамъ шарнирными серьгами.

Скобы m и m_1 прикрѣплены къ прочной, солидно укрѣпленной между швеллерами вагона, желѣзной коробкѣ G , скобы-же n и n_1 несутъ по два выступа p и p^1 , вертикально расположенныхъ одинъ надъ другимъ, къ которымъ прижимаются четыре заплечика q , q и q^1 , q^1 рамы CC^1DD^1 . Натяженіе всѣхъ рессоръ урегулировано такимъ образомъ, что въ покоѣ—части qqq^1q^1 и ppp^1p^1 только соприкасаются. Если-же при движеніи появляется сила тяги, то рессора LL^1 болѣе или менѣе натягивается и на величину стрѣлки ея прогиба передвинется вправо тяга крюка, балансиръ и рессора R , а слѣдовательно и рама CC^1DD^1 . Натяженіе рессоры MM^1 при этомъ будетъ нулевое. При появленіи сжатія происходитъ обратное явленіе—рессора LL^1 свободна, MM^1 натягивается и на стрѣлку ея прогиба передвигается влѣво рама CC^1DD^1 . Такимъ образомъ перемѣщенія рамы CC^1DD^1 пропорціональны силамъ тяги и сжатія, что и отмѣчается на бумагѣ карандашомъ, связаннымъ съ этою рамою. При этомъ замѣтимъ:

1. Что скобы m и m_1 не связаны съ коробкою G наглухо, но каждая скоба оканчивается винтомъ, нарѣзаннымъ въ противоположную сторону, которые ввинчиваются въ гайку E . Посредствомъ безконечнаго винта V , приводимаго въ движеніе изъ вагона, можно эту гайку вращать и тѣмъ приближать или удалять отъ коробки G скобы m и m_1 . Такъ какъ вторыя половины рессоръ при этомъ удерживаются выступами qq^1 скобы CC^1DD^1 , то рессорамъ можно дать такимъ образомъ желаемое начальное натяженіе (до 3000 kg.). Очевидно, рама CC^1DD^1 только тогда начнетъ передвигаться относительно рамы вагона, когда сила тяги или сжатія превзойдетъ это начальное натяженіе динамометрическихъ рессоръ и до того момента карандашъ опишетъ прямую. Слѣдовательно, въ данномъ случаѣ силы тяги будутъ измѣряться отъ этой прямой, представляющей, также какъ и для сжатія, величину = начальному натяженію

рессорь. Это бываетъ иногда необходимо при особыхъ опытахъ, когда специально измѣряютъ очень большія усилія и малыя не представляютъ интереса, на примѣръ, при изслѣдованіи паровозовъ предназначенныхъ для возки тяжелыхъ поѣздовъ, такъ какъ иначе получаются слишкомъ большія ординаты кривыхъ.

2. Наоборотъ—при нѣкоторыхъ, очень точныхъ опытахъ, желательно увеличить масштабъ усилій тяги, что можно достигнуть увеличеніемъ гибкости динамометрическихъ рессорь, для чего достаточно отнять извѣстное число серегъ, связывающихъ между собою концы полосъ рессорь, и такимъ образомъ вывести нѣкоторое ихъ число изъ дѣйствія. Если всѣ полосы дѣйствуютъ, то можно измѣрять усилія до 10000 кг. и гибкость рессорь = 18 мм. на тонну, но дѣлалось очень много опытовъ, сохраняя только по три полосы въ каждой половинѣ рессоры, при чемъ ихъ гибкость была 36 мм. на тонну.

Рессоры предварительно (и передъ каждой большой серіей опытовъ) вывѣряютъ въ мастерскихъ на особомъ станкѣ.

Передача движенія отъ оси вагона прибору заключается въ слѣдующемъ (фиг. 303): средняя ось вагона, съ одной изъ своихъ сторонъ, продолжается дальше за вагонную буксу, къ которой придѣлана чугунная коробка съ двумя небольшими подшипниками a и a_1 . Въ нихъ вращается валъ TT' , составляющій продолженіе оси вагона и снабженный безконечнымъ винтомъ B , который приводится въ движеніе отъ вагонной оси посредствомъ кривошипа T' съ цапфою t и другимъ кривошипомъ N , насаженнымъ на продолженіи вагонной оси F . На случай износа подшипниковъ a и a_1 —прорѣзъ въ кривошипѣ N для цапфы t сдѣланъ продолговатымъ. Отъ безконечнаго винта B и сцепляющагося съ нимъ винтоваго колеса движеніе передается вертикальному валу O (фиг. 296), состоящему изъ трехъ частей, соединенныхъ шарнирами. Валъ входитъ во внутрь вагона и приводитъ въ движеніе зубчатое колесо O' посредствомъ шпонки, позволяющей вмѣстѣ съ тѣмъ верхней части его имѣть вертикальное передвиженіе, въ случаѣ необходимости, во втулкѣ колеса. Вращеніе затѣмъ передается горизонтальной оси и потомъ вертикальной ss' , прикрѣпленной къ чугунному массивному столу, на которомъ и устанавливается аппаратъ. Ось ss' несетъ зубчатое сцепленіе s' , позволяющее по желанію, посредствомъ ручки r , остановить или пустить аппаратъ въ ходъ. Вращеніе дальше передается горизонтальной оси dd' (фиг. 298—299), посредствомъ храпового механизма Додо, такъ, что, не смотря на поправленіе вращенія осей oo' и ss' (т. е. при движеніи вагона взадъ или впередъ), ось dd' всегда вращается въ одну сторону, а слѣдовательно и ролики g и h , получающіе отъ нея вращеніе.

Лента, на которой чертятся діаграммы, имѣетъ ширину = 480 мм. и двигается поперекъ вагона, сходя съ катушки f , проходя между двумя,

расположенными одинъ надъ другимъ, роликами g и g^1 , которые ее и увлекаютъ (изъ нихъ роликъ g , какъ сказано, получаетъ свое движеніе отъ оси dd^1 , а роликъ g^1 прижимается къ g своимъ вѣсомъ, обезпечивая увлеченіе бумаги). Потомъ лента проходитъ надъ столомъ, наконецъ между двумя роликами h и h_1 вполнѣ подобнымъ g и g_1 , и наворачивается на барабанъ l , получающій, посредствомъ безконечнаго шнура x , вращеніе отъ ролика h .

Всѣ передачи установлены такимъ образомъ, что лента движется со скоростью 100 мм. на 1 км. пробѣга вагона. Кромѣ того есть еще наборъ колесъ, позволяющій измѣнять эту скорость, въ зависимости отъ точности опыта и скорости хода поѣзда, въ предѣлахъ отъ 200 до 500 мм. и даже до 1 м. на 1 км. пробѣга.

Пишущій приборъ отмѣчаетъ (т. е. чертитъ соответствующія кривыя):

- 1) Силу тяги или сжатія.
- 2) Время.
- 3) Интересныя точки пути: путевые знаки (вѣстовые), станціи и пр.
- 4) Направленіе вѣтра.

1. Къ верхней части рамы CC^1DD^1 прикрѣпляется обойма JKK^1 , которая (фиг. 296) и двигаетъ карандашъ, чертящій діаграмму усилій. Этотъ карандашъ такимъ образомъ перемѣщается параллельно оси вагона, по особымъ направляющимъ, и прижимается къ бумагѣ небольшимъ грузомъ. Есть еще другой карандашъ, который укрѣпляется къ этимъ направляющимъ неподвижно и чертитъ слѣдовательно прямую, представляющую нуль усилій или величину, равную начальному натяженію, данному рессорамъ, и отъ которой надо отсчитывать величины искомыхъ усилій.

2. *Отсчетъ времени* дѣлается автоматически часами, поставленными на тотъ-же столъ и соединенными съ токомъ гальванической батарей. На ихъ секундномъ валу находится 10 клавишей, изолированныхъ одна отъ другой, которыя каждыя 6 минутъ и замыкаютъ токъ. Третій карандашъ, помѣщенный въ тѣхъ-же направляющихъ, какъ и предыдущіе два, чертитъ прямую, но каждый разъ, когда замыкается токъ, онъ немного перемѣщается параллельно оси вагона подъ дѣйствіемъ маленькаго электромагнита и такимъ образомъ данная прямая каждыя 6 минутъ прерывается зубцомъ. 10-я клавиша, соответствующая концу минуты, немного больше и даетъ болѣе продолжительное замыканіе, а слѣд. и болѣе длинный зубецъ.

3. Четвертый карандашъ, расположенный подобно предыдущимъ, даетъ отмѣтки посредствомъ тока, который замыкаютъ, надавливая на кнопку, помѣщенную на паровозѣ, въ интересные моменты, напр. при снятіи діаграммъ индикаторомъ, при проходѣ верстовыхъ столбовъ и пр. Этотъ-же карандашъ можно передвигать, и, слѣдовательно, дѣлать отмѣтки, и отъ руки

(посредствомъ шнурка и тогда обратно карандашъ возвращается дѣйстви- емъ небольшой пружины) агентами, находящимися внутри вагона. Обык- новенно этимъ занять отдѣльный агентъ, который такимъ образомъ отмѣ- чаетъ верстовые столбы, станціи и прочія особенности пути. Чтобы имѣть возможность замѣтить ихъ заблаговременно, не покидая своего мѣста, противъ него, внѣ оконнаго просвѣта, устанавливается вертикальное зер- кало подъ $\angle 45^\circ$ къ оси вагона.

4. Скорость вѣтра измѣряется анеометромъ, помѣщеннымъ на крышѣ вагона, приводящимъ во вращеніе ось, снабженную клавишей, которая замыкаетъ токъ по пробѣгѣ воздухомъ каждаго 1000 м. При этомъ осо- бый карандашъ, пишущій прямою на лентѣ аппарата, чертитъ зубецъ, разстояніе между которыми, взятое по линіи временъ (2), даетъ слѣдова- тельно время, употребленное вѣтромъ на пробѣгъ этого разстоянія, откуда мы находимъ и его скорость.

Для опредѣленія направленія вѣтра на крышѣ вагона установлень флюгеръ, поворотъ котораго относительно оси вагона отмѣчается на лентѣ двумя карандашами, приводимыми въ движеніе эксцентриками, заклинен- ными на оси флюгера подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому.

Освѣщеніе газовое.

Динамометрическій вагонъ Западныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ *).

§ 84. Вагонъ былъ выставленъ на всемирной выставкѣ въ Парижѣ въ 1889 году. Общій видъ его представленъ на фиг. 300—302.

Рама его состоитъ изъ желѣзныхъ двутавровыхъ швеллеровъ, скрѣп- ленныхъ между собою такими же поперечными балками. Буферные брусъа деревянные. Внутри рамы въ горизонтальной плоскости помѣ- щена пружина сильнаго динамометра, служащаго для измѣренія усилий, развиваемыхъ паровозомъ. Одинъ конецъ пружины соединенъ съ упряж- нымъ крюкомъ *P*, обращеннымъ въ сторону паровоза, другой—съ желѣз- ною поперечною балкою *I* вагонной рамы.

Для устраненія вліянія кривыхъ, т. е. для равномернаго нажатія буфферовъ при проходѣ поѣзда по закругленіямъ, концы буфферныхъ стержней соединены между собою поперечнымъ балансиромъ *T* (фиг. 302), середина котораго упирается въ одну изъ поперечинъ рамы при помощи рессоры системы Бельвиль (Belleville). Для уменьшенія тренія стержни буфферовъ направляются при своихъ перемѣщеніяхъ системою горизон- тальныхъ и вертикальныхъ катковъ.

*) „Инженеръ“ 1890 г. статья А. Зяблова.

Боковые стѣнки кузова прямыя. На сторонѣ, обращенной къ паровозу, находится небольшая крытая площадка L съ дверью, ведущею во внутрь вагона. На противоположномъ концѣ кузова устроены ватер-клозетъ съ умывальнымъ приборомъ и небольшое отдѣленіе Q со шкапами и полками для помѣщенія различныхъ запасныхъ частей къ динамометру, катушекъ съ бумажными лентами, реактивовъ для анализа продуктовъ горѣнія и пр. Тутъ же находится чанъ съ водою K , въ которую погружены газгольдеры для собиранія и храненія газовъ, получаемыхъ изъ дымовой коробки.

По срединѣ вагона на прочныхъ подставкахъ изъ углового желѣза, привинченныхъ къ вагонной рамѣ, находится столъ M , на которомъ установлены всѣ измѣрительные приборы (приборы эти изготовлены были въ мастерской парижскаго инженера Digeon по чертежамъ, разработаннымъ службою тяги Западныхъ французскихъ дорогъ).

Въ передней части кузова, по обѣ стороны отъ входной двери, помѣщаются на возвышеніи 2 мѣста для лицъ, производящихъ изслѣдованія. Надъ мѣстами устроены сквозной стеклянный фонарь Z для обозрѣванія пути, а внизу подъ мѣстами — полки съ приборами для анализа газовъ. Около сидѣній небольшіе икалчики для запасныхъ частей и инструментовъ. Передъ однимъ изъ мѣстъ, въ правомъ переднемъ углу кузова, помѣщается приборъ для добыванія газовъ изъ дымовой коробки. Отъ него идутъ трубки какъ въ отдѣленіе Q , такъ и къ приборамъ, установленнымъ на полкахъ O и O' .

Днемъ вагонъ освѣщается окнами, устроенными и въ боковыхъ и въ оконечныхъ стѣнкахъ кузова, а ночью—двумя большими, подвѣшенными къ потолку, масляными лампами. На случай холодовъ имѣется небольшая круглая печь особой, безопасной въ пожарномъ отношеніи, конструкціи.

Приборъ для измѣренія сопротивленія поѣзда.

Измѣреніе сопротивленія движенію поѣзда основано на томъ принципѣ, что оно во всякій данный моментъ времени равно и прямо противоположно силѣ тяги, развиваемой въ тотъ же моментъ паровозомъ. Сила же тяги легко можетъ быть измѣрена динамометромъ, включеннымъ между тендеромъ и первымъ вагономъ. Въ описываемомъ вагонѣ для удобства изслѣдованій, динамометръ снабженъ особымъ пишущимъ приборомъ, отмѣчающимъ на бумажной лентѣ величины усилій тяги. Идея устройства этого прибора очень проста.

Вообразимъ, что къ неподвижному концу пружины какого-либо динамометра прикрѣпленъ небольшой столъ, по которому перемѣщается листъ бумаги въ направленіи, перпендикулярномъ направленію силы, растягивающей пружину; къ другому-же подвижному концу прикрѣпленъ карандашъ, остріе котораго нажимаетъ на движущійся листъ бумаги. Если,

при такихъ условіяхъ, на пружину не будутъ дѣйствовать никакія силы, карандашъ начертитъ на бумагѣ прямую линію; если же пружину подвергнуть дѣйствию какой-либо переменнѣй силы, направленной вдоль оси пружины, то на бумагѣ получится нѣкоторая кривая линія, ординаты которой будутъ пропорціональны величинамъ дѣйствовавшихъ силъ.

Динамометръ описываемаго прибора состоитъ изъ 2-хъ группъ остальныхъ пластинъ *C* и *C'*, расположенныхъ внутри вагонной рамы (фиг. 308—310). Каждая группа обхватывается по срединѣ желѣзнымъ хомутомъ такъ, что между отдѣльными пластинами получаютъ промежутки, равные толщинѣ самихъ пластинъ. По концамъ обѣ группы соединены между собою при помощи желѣзныхъ болтовъ и колець и образуютъ въ совокупности сложную двойную рессору прямоугольнаго вида. Одинъ изъ хомутовъ соединенъ при помощи шарнира съ поперечнымъ брусомъ вагона *A* (фиг. 309), составленнымъ изъ двухъ желѣзныхъ двутавровыхъ балокъ; другой хомутъ находится въ соединеніи съ упряжнымъ крюкомъ, обращеннымъ въ сторону паровоза. Для предупрежденія отклоненій крюка въ сторону подъ вліяніемъ боковыхъ усилій, тяга его направляется системою горизонтальныхъ и вертикальныхъ катковъ *G*. Передняя подвижная группа пластинъ помѣщена на чугуинной телѣжкѣ *B*, снабженной 3-мя колесами, катающимися по тщательно выравненному листу котельнаго желѣза. Чтобы устранить подпрыгиванія телѣжки при толчкахъ во время хода поѣзда, надъ нею въ стаканѣ *R* (фиг. 309—310) помѣщена спиральная пружина, напряженіе которой можетъ быть регулируемо особымъ винтомъ. Пружина эта нажимаетъ на верхнюю часть хомута рессоры черезъ посредство катка *G'* и не позволяетъ колесамъ телѣжки отдѣлиться отъ желѣзнаго листа. На телѣжкѣ утверждены 4 колонки, несущія обѣимицу *P*, обхватывающую конецъ трубчатого стержня *t* (фиг. 308). Для большей прочности и легкости, колонки эти сдѣланы внутри пустыми и имѣютъ видъ складныхъ подзорныхъ трубокъ. Стержень *t*, при помощи особаго отростка, приводитъ въ движеніе карандашъ № 1, служащій для отмѣчанія на бумажной безконечной лентѣ величины усилій тяги, развиваемыхъ на ходу паровозомъ.

Рессора динамометра рассчитана на наибольшее усиліе въ 6, 5 tn. и подъ вліяніемъ одной tn. даетъ прогибъ, равный 18,4 mm. Для освобожденія ея отъ дѣйствія усилій тяги, въ тѣхъ частяхъ пути, гдѣ не предполагается производить опытовъ, надѣваютъ на стержень упряжнаго прибора въ мѣстѣ *N'* желѣзную скобку *N*, изображенную на фиг. 306, и вынимаютъ вслѣдъ загѣмъ шкворень *L*. Усилія, дѣйствующія на упряжный крюкъ, начинаютъ тогда передаваться черезъ посредство рессоры системы Бельвилъ переднему буферному брусу вагона.

Надѣваніе скобы и выниманіе шкворня производится черезъ особый люкъ, закрываемый откидною крышкою.

Приборъ для измѣренія работы.

Измѣреніе работы паровоза производится особымъ счетчикомъ *K* (фиг. 308), изображеннымъ въ болѣе крупномъ масштабѣ на фиг. 305. Какъ видно изъ этого чертежа, стержень *t*, о которомъ было упомянуто выше, несетъ на своемъ продолженіи вилку *f*, обхватывающую шейку фрикціоннаго колеса *m*. Колесо насажено на валу *a* при помощи шпонки, позволяющей ему свободно перемѣщаться вдоль оси этого вала. Подъ колесомъ находится дискъ *P* (фиг. 308 и 309), ось котораго пересѣкается подъ прямымъ угломъ съ осью колеса. Нажатіе диска къ окружности фрикціоннаго колеса производится пружиною *y*. Упругость этой пружины можетъ быть регулируема винтомъ *v* (фиг. 309).

Вилкѣ *f* дано на стержнѣ такое положеніе, чтобы при усиліи тяги, равномъ нулю, средняя окружность фрикціоннаго колеса прикасалась какъ разъ къ центру диска. Понятно, что при натяженіи рессоры динамометра, точка прикосновенія будетъ отходить отъ центра диска на величину тѣмъ большую, чѣмъ больше будетъ натяженіе. При помощи системы зубчатыхъ колесъ диску сообщается вращеніе отъ оси вагона, которое передается имъ колесу *m*. Такимъ образомъ число оборотовъ фрикціоннаго колеса будетъ зависѣть какъ отъ скорости вращенія диска, пропорціональной скорости хода поѣзда, такъ и отъ положенія колеса относительно центра диска, которое зависить, какъ мы видѣли, отъ силы натяженія пружины динамометра въ данный моментъ. Отсюда слѣдуетъ, что число оборотовъ фрикціоннаго колеса всегда пропорціонально работѣ, произведенной паровозомъ отъ начала опыта до конца разсматриваемаго промежутка времени.

Въ самомъ дѣлѣ, пусть *r* будетъ радіусъ колеса, *l* разстояніе его отъ центра диска, *dω* угловое безконечно малое перемѣщеніе диска и *da* соответствующее угловое перемѣщеніе колеса; тогда для каждаго безконечно малаго промежутка времени будемъ имѣть

$$r \cdot da = l \cdot d\omega$$

Интегрируя это выраженіе въ предѣлахъ отъ t_0 до t , получимъ:

$$r \cdot (\alpha - \alpha_0) = \int_{t_0}^t l d\omega$$

но

$$\int_{t_0}^t l d\omega$$

представляетъ работу силы тяги за промежутокъ времени отъ t_0 до t ; что-же касается до выраженія $r (\alpha - \alpha_0)$, то оно пропорціонально числу оборотовъ колеса, такъ какъ представляетъ величину пути, пройденнаго какою-либо точкою окружности этого колеса за тотъ-же промежутокъ вре-

мени. Для счета числа оборотовъ фрикціоннаго колеса устроены счетчикъ C (фиг. 305), приводимый въ движеніе червякомъ N . Размѣры фрикціоннаго колеса m и зубчатыхъ колесъ счетчика рассчитаны такъ, что стрѣлки, которыя двигаются по циферблатамъ, даютъ прямо величину работы паровоза въ килограммо-метрахъ.

Величину этой работы можно также опредѣлить графическимъ путемъ, а именно: вращеніе оси a (фиг. 305) передается при помощи зубчатыхъ колесъ x , y , z цилиндру d , на поверхности котораго нарѣзаны двѣ взаимно пересѣкающіяся и сомкнутыя по концамъ винтовья дорожки, образующія одинъ непрерывный желобокъ. Въ этотъ желобокъ входитъ снизу стержень, снабженный каточкомъ и приводящій въ движеніе небольшую телѣжку $pp'r''p''$. Телѣжка назначается для приведенія въ движеніе карандаша № 2 (фиг. 308). При вращеніи цилиндра d , телѣжка будетъ двигаться взадъ и впередъ вдоль его оси, и всѣ эти перемѣщенія будутъ отмѣчаться карандашомъ на бумажной полосѣ. Зубчатыя колеса x , y и z снабжены такимъ числомъ зубцовъ, чтобы при 60 оборотахъ фрикціоннаго колеса m карандашъ дѣлалъ одинъ только ходъ, т. е. возвращался въ первоначальное свое положеніе черезъ каждые 120 оборотовъ вала a . Изъ этого слѣдуетъ, что при движеніи бумаги карандашъ начертитъ родъ синусоиды (фиг. 307), вершины которой будутъ лежать на 2 параллельныхъ линіяхъ. Ордината каждой изъ вершинъ будетъ соответствовать работѣ въ 600,000 кв. мтр., а ордината какой-либо промежуточной точки синусоиды будетъ измѣрять собою работу, произведенную паровозомъ въ тотъ промежутокъ времени, когда карандашъ двигался отъ ближайшей вершины до разсматриваемой точки.

Такъ какъ каждая точка разсматриваемой синусоиды имѣетъ двѣ ординаты, измѣряющія ея разстояніе отъ двухъ параллельныхъ линій, проходящихъ черезъ вершины S и S' , то, во избѣжаніе ошибки при выборѣ ординаты, необходимо каждый разъ сообразоваться съ направлениемъ движенія бумаги. При направленіи, указанномъ стрѣлкою, часть кривой Sb была пройдена карандашемъ отъ S къ b , слѣдовательно искомая ордината точки b будетъ db , а не bf ; точно также ордината точки a будетъ ac . Отсюда вытекаетъ слѣдующее практическое правило: если расположить передъ собою бумажную ленту такъ, чтобы синусоиды находились внизу, то карандашъ опишетъ ее справа на лѣво и за ординату какой-либо промежуточной точки надо считать разстояніе ея отъ той изъ двухъ параллельныхъ линій, которая проходитъ чрезъ послѣднюю непосредственно передъ этимъ отмѣченную вершину, лежащую вправо.

Что касается до полной работы въ кгр. мтр.,—она выразится формулою

$$F = 600000 \left(n + \frac{db}{l} \right);$$

гдѣ n число вершинъ синусоиды, лежащихъ вправо отъ данной точки; l величина хода карандаша, т. е. разстояніе между параллельными линиями; db ордината данной точки, выраженная въ тѣхъ же единицахъ, какъ и l .

Измѣреніе скорости.

Для отмѣчанія на бумажной лентѣ скорости движенія поѣзда служить слѣдующее остроумное приспособленіе. Около фрикціоннаго диска P , о которомъ упоминалось въ предыдущемъ отдѣлѣ, находится другой фрикціонный дискъ меньшаго діаметра π (фиг. 308), приводимый особымъ часовымъ механизмомъ M въ равномерное вращательное движеніе. Надъ дискомъ проходитъ винтъ α , приводимый во вращеніе отъ оси вагона при помощи тѣхъ же зубчатыхъ колесъ, которыя служатъ для приведенія во вращеніе большого диска P . Ось винта и диска пересѣкаются между собою подъ прямымъ угломъ. На винтѣ находится гайка μ , обточенная снаружи въ видѣ фрикціоннаго колеса. Спиральная пружина, надѣтая на ось диска, служитъ для нажатія его къ колесу.

Для уясненія дѣйствія этого прибора представимъ себѣ сначала, что гайка выведена изъ соприкосновенія съ дискомъ и задерживается чѣмъ либо отъ вращенія. Тогда, при вращеніи винта, она получитъ поступательное движеніе въ одну и ту же сторону, со скоростью пропорціональною скорости хода поѣзда. Если же гайку тоже привести во вращеніе и притомъ въ ту же сторону, въ какую вращается винтъ, то она получитъ поступательное движеніе въ ту или другую сторону, или не получитъ его вовсе,—въ зависимости отъ того—будетъ ли число ея оборотовъ больше, меньше или равно числу оборотовъ винта. Когда вагонъ неподвиженъ, фрикціонное колесо прикасается какъ разъ къ центру диска π ; когда же поѣздъ придетъ въ движеніе, то отъ совокупнаго дѣйствія вращенія винта и диска гайка начнетъ удаляться влѣво отъ центра диска до тѣхъ поръ, пока не установится равенства между ея угловою скоростью и угловою скоростью винта. Такимъ образомъ разстояніе средней окружности фрикціоннаго колеса μ отъ центра диска можетъ служить мѣриломъ скорости хода поѣзда въ данный моментъ времени. Это можно доказать математическимъ путемъ: пусть въ данный моментъ X будетъ разстояніе средней окружности фрикціоннаго колеса отъ центра диска, ω —угловая скорость диска, r —радіусъ колеса гайки и Ω —угловая скорость винта. Тогда при равновѣсіи мы будемъ имѣть:

$$r \cdot \Omega = x \cdot \omega \dots \dots \dots (1)$$

откуда $x = \frac{r}{\omega} \Omega$; r/ω есть величина постоянная, слѣдовательно x прямо пропорціонально Ω .

Для того чтобы колесо μ , при наибольшем своем удалении от центра диска, не выходило за его пределы, необходимо, чтобы наибольшая угловая скорость вращения винта не превышала известного предела, который определится из уравнения (1), полагая в нем $x = R$ —радиусу диска.

$$r \cdot \Omega = R$$

$$\Omega = \frac{R}{r} \omega$$

Найдя Ω и зная наибольшую допускаемую скорость хода поезда, не трудно уже определить передаточное число зубчатых колес между винтом и вагонной осью.

Величины перемещений гайки вдоль оси винта отмечаются на бумажной ленте карандашом № 3. Карандаш этот приводится в движение особым стержнем с вилкою, обхватывающей выточку сдвинутую на поверхности гайки. Правильность движения карандаша обеспечивается направляющими катками δ .

Отмечание числа оборотов колесъ.

Число оборотов колес отмечается на бумаге карандашом № 4 (фиг. 308), прикрепленным к качающемуся около неподвижной точки якорю электромагнита. Замыкание и размыкание тока в обмотке электромагнита ϵ производится коммутатором f (фиг. 310), насаженным на главный вал прибора T . Во время хода поезда якорь попеременно то притягивается к электромагниту, то отрывается от него особою пружиною, вследствие чего карандаш № 4 наносит на бумагу ряд зубчиковъ, число которых равно числу оборотов колесъ. Для облегчения счета числа оборотов, прибор снабжен особым приспособлением, благодаря которому каждый 10-й зубецъ получается на бумаге длиннее другихъ. Достигается это следующимъ образомъ: на продолжении вала T (фиг. 310) нарезанъ безконечный винтъ, сцепляющийся съ шестернею g о 10 зубцахъ. Эта шестерня при каждом своем обороте, т. е. через каждые 10 оборотов вала T , задвигаетъ кулакомъ за нижний конец рычага h , отодвигаетъ немного электромагнитъ отъ якоря и увеличиваетъ этимъ размахъ якоря и карандаша.

Затисывание времени.

Отсчетъ времени производства опыта дѣлается автоматически часами H (фиг. 308), замыкающими черезъ каждыя 10 секундъ токъ въ обмотку второго электромагнита, помещеннаго непосредственно надъ первымъ. Электромагнитъ приводитъ въ движение якорь съ карандашомъ № 5, который чертитъ на бумаге прямую линію, раздѣленную зубчиками на неравныя части. Разстояніе между двумя зубчиками соотвѣтствуетъ промежутку времени въ 10 секундъ.

Отмѣчаніе километровъ.

Для отмѣчанія километровъ и другихъ чѣмъ-либо интересныхъ пунктовъ пути, напр. крутыхъ подъемовъ, скатовъ, входовъ въ туннели и т. п., служитъ карандашъ № 6 (фиг. 308), прикрепленный къ якорю третьяго электромагнита, въ которомъ замыканіе тока производится не автоматически, но однимъ изъ двухъ лицъ, производящихъ изслѣдованія. Съ этою цѣлью, возлѣ одного изъ мѣстъ для наблюдателей, придѣлана къ стѣнкѣ кузова электрическая пуговка. Всѣ три электромагнита находятся одинъ надъ другимъ, какъ это ясно видно на фиг. 310 подъ буквою ϵ .

Кромѣ перечисленныхъ шести карандашей приборъ снабженъ еще двумя неподвижными карандашами 7 и 8, положеніе которыхъ можетъ быть регулируемо винтами. Первый изъ нихъ служитъ для нанесенія нулевой линіи усилій, второй—нулевой линіи скоростей.

Показанія всѣхъ 8-ми карандашей отмѣчаются на бумажной лентѣ шириною въ 300 мм., изображенной въ уменьшенномъ масштабѣ на фиг. 307.

Приведеніе въ движеніе бумажной ленты.

Лента, какъ указано на фиг. 310, сматывается съ барабана S и, пройдя черезъ рядъ направляющихъ цилиндриковъ u и между двумя цилиндрами x и x' , наматывается на барабанъ S' . Свободно вращающійся цилиндръ x' служитъ лишь для нажатія бумаги къ цилиндру x : послѣдній приводится во вращеніе отъ главнаго вала T и сообщаетъ бумагѣ поступательное движеніе со скоростью, пропорціональною скорости хода поѣзда.

Барабанъ S увлекается во вращеніе самою бумажною лентою и передаетъ его, при помощи шелковаго шнурка и двухъ блоковъ Θ и Θ' , барабану S' . Такъ какъ, по мѣрѣ сматыванія бумаги съ барабана S и наматыванія ея на барабанъ S' , взаимное отношеніе между діаметрами бумажныхъ катушекъ постоянно измѣняется, то, для достиженія равномернаго натяженія ленты и для предупрежденія въ тоже время ея разрыва, меньшій изъ двухъ блоковъ Θ' насаженъ на оси барабана вольно и увлекаетъ его во вращеніе только въ силу тренія между своею втулкою и осью.

Нажимнымъ винтомъ можно увеличить или уменьшить силу тренія между осью и блокомъ и сообщить такимъ образомъ бумагѣ желаемую степень натяженія.

Передача отъ вагонной оси къ главному валу прибора.

Всѣ отдѣльныя части вышеописаннаго прибора заимствуютъ свое движеніе отъ главнаго вала T . Остается такимъ образомъ рассмотреть устройство передачи между этимъ валомъ и вагонной осью.

Передача эта должна удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

- 1) колебанія кузова на рессорахъ не должны оказывать никакого вліянія на непрерывность и правильность передачи;
- 2) валъ T долженъ вращаться постоянно въ одну и ту-же сторону, независимо отъ направленія движенія вагона;
- 3) число оборотовъ вала T должно равняться числу оборотовъ вагонной оси;
- 4) необходимо, чтобы на ходу поѣзда возможно было останавливать, если потребуется, дѣйствіе пишущаго прибора, выводя его изъ зацѣпленія съ осью вагона.

Устройство этой передачи слѣдующее: на одной изъ осей вагона насажена накрѣпко бронзовая разъемная муфта W (фиг. 309 и 310), состоящая изъ двухъ половинокъ, стянутыхъ между собою 4-мя болтами. На поверхности муфты нарѣзанъ безконечный винтъ, сцѣпляющійся съ винтовымъ колесомъ X , сидящимъ на валу Y' . Валъ состоитъ изъ двухъ частей, соединенныхъ между собою шарниромъ Гука, обеспечивающимъ соблюденіе 1-го условія. Черезъ посредство коническихъ зубчатыхъ колесъ вращеніе вала Y' передается вертикальному валу Z , на верхнемъ концѣ котораго насажены вольно два коническихъ зубчатыхъ колеса E . Колеса эти равныхъ діаметровъ и находятся оба въ зацѣпленіи съ одною и тою же коническою шестернею, которая, черезъ посредство колесъ D и D' , приводитъ во вращеніе валъ T . Въ промежуткѣ между холостыми коническими колесами E на валу Z , при помощи шпонки, надѣта двойная фрикціонная муфта системы Додо, которая, смотря по направленію вращенія вала Z , приводитъ въ движеніе или верхнее, или нижнее коническое колесо. Вслѣдствіе этого валъ T вращается всегда въ одну и ту же сторону, независимо отъ направленія движенія вагона.

Разобіеніе прибора отъ оси производится приподниманіемъ передняго конца вала Y . Валъ Y' вращается въ подшипникахъ, подвѣшенныхъ при помощи скобы къ нижнему концу винта K (фиг. 309). Гайка этого винта поддерживается особыми вилками, прикрѣпленными къ хомуту, обхватывающему муфту W . Противовѣсъ F служитъ для удержанія хомута въ одномъ и томъ-же положеніи при вращеніи вагонной оси.

Анализъ продуктовъ горѣнія.

Для проведенія продуктовъ горѣнія изъ дымовой коробки паровоза къ приборамъ для анализа, служитъ трубка изъ красной мѣди, проложенная по площадкѣ паровоза и спускающаяся въ дымовую коробку черезъ верхнее отверстіе дымовой трубы. Резиновый рукавъ соединяетъ эту трубку съ концомъ другой трубки, выходящей изъ вагона (фиг. 300). Последняя, при помощи системы крановъ R , можетъ быть приводима въ сообщеніе или съ сосудомъ A , или съ трубками, идущими къ газгольдеру K и къ приборамъ Орса для анализа (см. § 57).

Время добыванія газа изъ дымовой коробки заносится наблюдателемъ подъ соотвѣтствующимъ номеромъ въ путевой журналъ, одновременно съ чѣмъ, нажатіемъ на электрическую пуговку, дѣлается на бумажной лентѣ особая отмѣтка. Тотъ же наблюдатель отмѣчаетъ въ журналѣ время подбрасыванія топлива въ топку и его количество (число лопатъ угля). Другой наблюдатель, находящійся на паровозѣ, записываетъ у себя въ журналѣ положеніе ходового рычага и время его перестановки.

Всѣ эти наблюденія имѣютъ цѣлью выяснитъ, какое вліяніе оказываютъ на составъ продуктовъ горѣнія, т. е. на большую или меньшую полноту сгорания топлива, тѣ или другія обстоятельства, какъ напр.: нагрузка топлива, пусканіе паровоза въ ходъ, степень расширенія пара, скорость хода поѣзда и т. п.

Резюмируя все сказанное, мы видимъ, что при помощи вышеописаннаго пишущаго прибора получаютъ на бумажной лентѣ различныя кривыя, которыя даютъ возможность опредѣлить для каждаго даннаго пункта пути:

- 1) величину сопротивленія поѣзда,
- 2) его скорость,
- 3) полную работу паровоза отъ начала опыта,
- 4) число оборотовъ колесъ,
- 5) продолжительность опыта.

Дополняя изслѣдованія анализомъ продуктовъ горѣнія и сравнивая полученные результаты съ діаграммами индикаторовъ, помѣщенныхъ на паровыхъ цилиндрахъ, не трудно уже составить себѣ вполне ясное представленіе о дѣйствіи даннаго паровоза.

Динамометрической вагонъ Баварскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ.

§ 85. Вагонъ одинаковый съ таковымъ-же на Вюртенбергской желѣзной дорогѣ, построенъ въ 1897 г. Схематическій приблизительный планъ представленъ на фиг. 294. Вагонъ трехъ-осный и устроенъ съ расточительною, не нужною роскошью.

I и II—корридоры. I распределительная доска электрическаго освѣщенія, для котораго имѣются аккумуляторы; III—прекрасная уборная съ ватеръ-клозетомъ и умывальникомъ; IV—двухмѣстное купе 1-го класса; V—большой салонъ, занимающій почти половину вагона. Полъ покрытъ ковромъ, 2 американскій письменный столъ, 3—столъ гостинный. Въ салонѣ мягкій диванъ и 6 мягкихъ креселъ, крытыхъ плюшемъ. Въ центрѣ люстра изъ трехъ лампочекъ, двѣ лампы на столѣ 2 и лампы вездѣ въ простѣнкахъ между зеркальными окнами. Наконецъ VI—очень скромное и тѣсное помѣщеніе для аппаратовъ. Здѣсь находятся: 6—аппаратъ Кап-

тейна (см. § 90), 5—измѣритель скоростей Гаусгельтера (см. § 76) и 7—сконструированный въ Мюнхенскихъ мастерскихъ очень простой приборъ для измѣренія силы тяги. Усиліе, дѣйствующее на передній упряжной крюкъ, посредствомъ вертикальнаго рычага передается вверхъ, гдѣ дѣйствуетъ на вывѣренную, горизонтально расположенную, спиральную пружину, измѣненіе длины которой и будетъ пропорціоально силѣ тяги. Это измѣненіе отмѣчается на лентѣ, приводимой въ движеніе часовымъ механизмомъ, и въ результатѣ получается діаграмма (видъ которой въ натуральную величину представленъ на фиг. 295) силъ тяги. Спиральныхъ пружинъ имѣется три, различной упругости, для полученія, по желанію, діаграммъ съ большими или меньшими ординатами, т. е. разныхъ масштабовъ. 9—шкафикъ съ принадлежностями. Движеніе аппаратамъ Каптейна и Гаусгельтера производится отъ передней оси вагона при посредствѣ промежуточной оси; послѣдняя-же вращается посредствомъ фрикціоннаго ролика, длина окружности которой = точно 1 м., прижимаемаго пружиною къ бандажу колеса, и благодаря этому число оборотовъ этой оси пропорціоально пробѣгу поѣзда, независимо отъ износа бандажа вагона.

Отопленіе газовое (4 и 8—газовыя печи). Окна вездѣ большія, зеркальныя. При осмотрѣ, этотъ вагонъ произвелъ на меня впечатлѣніе не научной, серьезной инженерной лабораторіи, а вагона для увеселительныхъ прогулокъ. Слишкомъ мало для науки и слишкомъ много для служебнаго персонала, который при опытахъ въ вагонѣ не превышаетъ здѣсь 2-хъ человекъ. Считаая извѣстныя удобства для агентовъ необходимыми—подобную роскошь надо признать ненужною и даже вредною.

Динамометрическій вагонъ желѣзной дороги Illinois Central Railroad Co въ С. Америкѣ.

§ 86. Вагонъ построенъ въ самое послѣднее время (если не ошибаюсь въ 1900 году) сообща съ университетомъ въ Urbana (Die Universität des Staates Illinois in Urbana).

Длина вагоннаго кузова 13,7 м., ширина 2,7 м. Система „Пульмановская“, т. е. на 2-хъ двухъ-осныхъ телѣжкахъ обыкновенной американской конструкціи. На крышѣ сдѣланъ фонарь (какъ и въ вагонахъ западной французской желѣзной дороги и юго-западныхъ русскихъ), гдѣ находится мѣсто для наблюдателя, отмѣчающаго путевые столбы, станціи и пр. на лентѣ главнаго прибора надавливаніемъ электрической кнопки.

Главное назначеніе вагона—измѣрять сопротивленіе поѣзда, но предусмотрѣны также приборы для изслѣдованія состоянія пути, тормозовъ и насосовъ на водяныхъ станціяхъ. Для измѣренія силы тяги—служить гидравлическій динамометръ (фиг. 311—313), прочно скрѣпля-

емый съ вагонною рамою и состоящий изъ трехъ цилиндровъ, которыхъ три поршня сидятъ на одномъ штокѣ *a*, соединяемомъ съ переднимъ упряжнымъ крюкомъ. Цилиндры различныхъ діаметровъ и, смотря по развиваемой паровозомъ силѣ тяги (т. е. смотря по составу поѣзда, скорости, профилю участка и пр.), наполняютъ тотъ или другой изъ нихъ масломъ и получаемое давленіе, посредствомъ трубокъ (фиг. 314) передается манометру съ циферблатомъ *b* и записывающему манометру (системы Richard'a—см. напримѣръ § 71) *c*, который чертитъ соответствующую „діаграмму усилій“ на бумажной лентѣ *m*. Площадь поршней динамометра $60 \square'' = 387 \text{ cm}^2$, $30 \square'' = 193,5 \text{ cm}^2$. и $5 \square'' = 32 \text{ cm}^2$. При наибольшемъ допускаемомъ давленіи въ $1200 \text{ lbs}/\square'' = \text{около } 80 \text{ ат.}$ —наибольшія измѣряемая усилія будутъ равны 31 т., 15,5 т. и 2,6 т.

Записывающий манометръ *c* и измѣритель скорости Бойера *d* (см. § 75) помѣщаются на особомъ „рабочемъ“ столѣ въ вагонѣ. Бумажная лента *m* и измѣритель скорости приводятся въ движеніе отъ оси вагона, посредствомъ ряда зубчатыхъ передачъ, ясно видимыхъ на фиг. 314. Манометръ *b* и циферблатъ *e* измѣрителя скорости помѣщаются на стѣнѣ у рабочаго стола, вмѣстѣ съ манометромъ *f* для измѣренія давленія воздуха при испытаніи тормазовъ и часами, замыкающими токъ каждыя 5 или 10 секундъ. Къ противоположной стѣнѣ прикрѣпляются два обыкновенныхъ манометра и одинъ записывающий, служащіе для измѣренія давленія пара въ паровозномъ котлѣ и золотниковой коробкѣ парового цилиндра.

Для наполненія цилиндровъ динамометра служитъ небольшой насосъ *g*. Запасный воздушный тормазной резервуаръ *i* соединяется съ резервуаромъ для масла *h* и чашкою *n*, въ которую стекаютъ капли масла, просачивающіяся черезъ неплотности поршней динамометра (впрочемъ въ крайне ограниченномъ количествѣ). При такомъ устройствѣ возможно, посредствомъ давленія воздуха, перегнать масло изъ динамометра и чашки *n* въ резервуаръ *h* и также ускорить наполненіе его цилиндровъ.

Кромѣ того въ вагонѣ еще имѣется приборъ для записыванія силы тяги въ дымовой коробкѣ паровоза.

На бумажной лентѣ *m* чертятся діаграммы, видъ которыхъ изображенъ на фиг. 315. Всѣхъ линій 4: 1—„основная“, отъ которой измѣряются ординаты діаграммы силы тяги, 2—сама линія силы тяги, 3—линія, на которой отмѣчаются положенія путевыхъ столбовъ, станцій, моменты снятія діаграммъ и пр. и 4—„линія временъ“.

Послѣднія двѣ линіи получаютъ уже извѣстнымъ намъ способомъ: отмѣтки на линіи временъ производятся черезъ то, что каждыя 5 или 10 секундъ (по желанію) электрическіе часы замыкаютъ токъ, возбуждающій электромагнитъ, и послѣдній при этомъ оттягиваетъ на мгновеніе перо, чертящее линію временъ, въ сторону, черезъ что получается зубецъ. То-же и для 3-й линіи, но только токъ пускается, нажимая кнопку, въ

соотвѣтствующій электромагнитъ агентомъ, наблюдающимъ путь, и, при снятіи діаграммъ, лицомъ стоящимъ на паровозѣ. Для большей увѣренности въ правильности нанесенія основной линіи, передъ каждымъ рядомъ опытовъ, необходимо записывающій манометръ *c* и манометръ *b* привѣрить для согласованія ихъ показаній.

Линія усилій тяги (2) иногда получается очень волнистой и для уменьшенія колебаній карандаша записывающаго манометра *c* можно немного слузить отверстіе впускного вентиля. Но лучше этого не дѣлать, тѣмъ болѣе что измѣреніе площади между этой волнистой линіей и основною при помощи планиметра не представляютъ никакихъ затрудненій.

На ленту наносится еще полный профиль пути и тогда получаютъ всѣ необходимыя данныя (соединяя эту ленту съ лентою измѣрителя скоростей) для требуемыхъ расчетовъ.

Динамометрической вагонъ Юго-Западныхъ жел. дорогъ.

§ 87. Вагонъ, построенный въ началѣ 90-хъ годовъ, представляетъ изъ себя немного измѣненную копію вагона Западныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ (см. § 84). Такой-же точно главный аппаратъ, какъ и тамъ, (такъ называемый „аппаратъ Дижона“) выписанъ изъ Франціи и кромѣ него имѣется еще динамометръ инерціи Дедуи (см. § 78) и приборъ Орса (см. § 57), установленный въ шкафѣ *C* (фиг. 316 *). Этыхъ приборовъ вполне достаточно и съ этой точки зрѣнія вагонъ является единственнымъ и лучшимъ въ Россіи.

Вагонъ двухъосный, т. е. съ очень ограниченнымъ помѣщеніемъ и въ этомъ его главный недостатокъ. Отдѣльнаго помѣщенія для служебнаго персонала нѣтъ, нѣтъ и никакихъ для нихъ удобствъ. Три откидныхъ кушетки для сна днемъ поднимаются. Вагонъ очень низкій, но такъ какъ, во избѣжаніе порчи главнаго аппарата отъ пыли, требуется закрывать всегда окна, то лѣтомъ въ вагонѣ трудно переносимая жара, доставляющая большія неудобства служащимъ.

Передняя стѣнка, обращенная къ паровозу, глухая и въ передней части вагона устроена маленькая мастерская: стоятъ тиски и шкафъ съ инструментами. Тамъ же находится батарея для главнаго аппарата. Для наблюденія за путемъ — сдѣланъ фонарь съ диваномъ *b* (фиг. 319), на который можно взлѣзть по лѣстницѣ *n*. У наблюдающаго лица находятся подъ рукою двѣ электрическія кнопки—бѣлая, нажимая которую, дается машинисту или агенту, стоящему на паровозѣ, условленный сигналъ, и черная, при нажатіи которой на лентѣ главнаго аппарата дѣлается отмѣтка. Подобная же кнопка находится и на паровозѣ, сдѣлать

*) Чертежъ вагона полученъ мною отъ Т. Отд. службы тяги Юго-Зап. ж. д.

отмѣтку на лентѣ можно и не поднимаясь на верхъ, такъ какъ такая же кнопка находится на столѣ у аппарата.

Въ вагонѣ еще находятся: шкафы m_1 и m_2 для всѣхъ принадлежностей (руконовъ бумаги и пр.) къ аппаратамъ, два стола и умывальникъ. Отопление водяное.

Опытный вагонъ Харьковско-Николаевской желѣзной дороги. Непрерывный индикаторъ инженера Теодоровича.

§ 88. Главную особенность опытнаго вагона Харьковско-Николаевской желѣзной дороги составляетъ аппаратъ инженера Теодоровича *), получившій послѣднее время значительное распространеніе на русскихъ желѣзныхъ дорогахъ. Идея, вложенная въ устройство этого аппарата, не нова (см. напр. соч. Гостовскаго „Теорія движенія по желѣзнымъ дорогамъ“), но г. Теодоровичемъ внесено много ума и изобрѣтательности въ устройство его деталей и аппаратъ заслуживаетъ вниманія.

„Непрерывный индикаторъ“ состоитъ изъ чугунаго ящика квадратнаго сѣченія (фиг. 320 и 321), снабженнаго чугуннымъ, отъемнымъ дномъ и деревянною крышкою. Внутри ящика установленъ стальной дискъ a , вращающійся на вертикальной оси b . Поперечная распорка снабжена подшипникомъ c , а къ дну ящика прикрѣпленъ подпятникъ d . Подшипникъ c и подпятникъ d поддерживаютъ ось b и дискъ a . Горизонтальная ось e снабжена внутри ящика конической шестерней f и снаружи—шківомъ g , при посредствѣ которыхъ, а также коническаго колеса h , дискъ a получаетъ вращательное движеніе отъ оси вагона. Снаружи большаго диска установленъ малый дискъ k , надѣтый на ось l , вращающуюся въ двухъ кернахъ m и n . Ось l снабжена прорѣзомъ, а малый дискъ k —шпонкой, вслѣдствіе чего этотъ дискъ не только можетъ скользить вдоль оси, но и вращаться вмѣстѣ съ нею. Дискъ k обхватывается линейкой o съ прорѣзомъ (фиг. 322), которая, въ свою очередь, укрѣпляется къ стѣнкѣ ящика двумя спиральными пружинами p, p и имѣетъ двѣ тяги q, q , выходящія наружу черезъ отверстія въ ящикѣ. Распорки r, r служатъ направлениемъ для линейки o и маленькіе угольнички s, s опредѣляютъ предѣлы приближенія линейки o къ центру диска a . На разрѣзѣ CD (фиг. 321) показано устройство счетчика числа оборотовъ большаго диска a . Внизу диска a имѣется зубецъ, который, проходя надъ собачкою t , нажимаетъ ее и поворачиваетъ храповикъ u на одинъ зубецъ. Когда храповикъ u сдѣлаетъ полный оборотъ, то штифтъ v нажимаетъ на собачку w слѣдующаго храповика, который поворачивается на одинъ зубецъ. Поворачиваніе третьаго храповика производится такимъ же

*) Чертежи получены мною отъ инж. Теодоровича.

образомъ. На осяхъ храповиковъ надѣты съ наружной стороны ящика стрѣлки, движущіяся по циферблатамъ i (фиг. 320). Такимъ образомъ на циферблатахъ можемъ отсчитывать 1000000 оборотовъ большого диска. Число оборотовъ малаго диска опредѣляется системой счетчиковъ, показанныхъ на разрѣзѣ AB (фиг. 320). Счетчики эти отличаются только передачей къ первому храповику. На оси малаго диска l надѣтъ эксцентрикъ x (фиг. 320 и 322), который нажимаетъ рычагъ y и передвигаетъ собачку z первого храповика. Въ остальномъ счетчикъ одинаковъ съ предыдущимъ и слѣдовательно можно отсчитывать 1000000 оборотовъ малаго диска.

Послѣ изложеннаго дѣйствіе непрерывнаго индикатора понятно. На фиг. 323 показана установка аппарата въ вагонѣ. Изъ этого чертежа видно, что когда вагонъ начнетъ двигаться, то одновременно начинается вращаться шкивъ g , а слѣдовательно и большой дискъ a . Такъ какъ малый дискъ прижатъ къ большому, то вслѣдствіе тренія и онъ получаетъ вращательное движеніе и число его оборотовъ за одинъ оборотъ большого диска обуславливается положеніемъ относительно центра послѣдняго. Если малый дискъ находится въ такомъ положеніи, что линейка o прижата къ угольникамъ s, s , то разстояніе его отъ центра равно его радіусу и тогда за одинъ оборотъ большого диска и малый дѣлаетъ одинъ оборотъ. Въ этомъ положеніи спиральныя пружины вовсе не натянуты. Если къ тягамъ q, q приложимъ какое-нибудь усиліе и растянемъ спиральныя пружины, то линейка o отодвинетъ малый дискъ отъ центра большого и число его оборотовъ соотвѣтственно увеличится. Растяженіе пружинъ и передвиженіе малаго диска производится слѣдующимъ образомъ. Тяги q, q снаружи ящика соединены коромысломъ A (фиг. 322), отъ котораго идетъ передаточная тяга B къ вертикальному рычагу C (фиг. 323). На фиг. 324 видно, что рычагъ C имѣетъ точку вращенія въ D и помощью тяги E соединенъ съ сложнымъ рычагомъ F, G . Точка вращенія рычага G находится въ H , а въ точкѣ J приложенъ обухъ тягового крюка. Вся передача отъ рычага C къ тяговому крюку устроена на стальныхъ, каленыхъ призмахъ и разстояніе между плечами рычаговъ такъ рассчитано, что на коромысло A (рис. 322) передается 0,02 того усилія, которое дѣйствуетъ на тяговой крюкъ.

Положимъ, что этотъ вагонъ прицѣпленъ впереди поѣзда и паровозъ тянетъ весь поѣздъ за его крюкъ. Очевидно, что все усиліе, потребное для передвиженія поѣзда, при посредствѣ системы рычаговъ, передается спиральнымъ пружинамъ индикатора; слѣдовательно поѣздъ, такъ сказать, идетъ на этихъ пружинахъ и положеніе малаго диска k укажетъ на величину усилія, движущаго поѣздъ. Но сопротивленіе поѣзда—величина очень измѣнчивая и малый дискъ лишь только въ исключительныхъ случаяхъ сохраняетъ долго свое положеніе, обыкновенно

же онъ постоянно то приближается къ центру большого диска, то удаляется отъ него. Чтобы судить о тѣхъ усиляхъ, которыя дѣйствовали на поѣздъ въ извѣстный промежутокъ времени, обозначимъ:

r —радіусъ въ m по кругу катанія того колеса, отъ оси котораго приводится въ движеніе аппаратъ.

P —усиліе въ $kg.$, дѣйствующее на тяговой крюкъ вагона, въ которомъ аппаратъ установленъ.

n —число оборотовъ вагоннаго колеса.

δ и γ —числа оборотовъ большого и малаго дисковъ, соответствующихъ числу оборотовъ колеса n .

T_{ω} —работа сопротивленія вагоновъ поѣзда.

ρ —радіусъ малаго диска въ $mm.$

h —усиліе въ $kg.$, отъ дѣйствія котораго малый дискъ перемѣщается на 1 $mm.$

p —усиліе въ $kg.$, дѣйствующее на коромысло A .

i —разстояніе въ $mm.$ малаго диска отъ центра большого при дѣйствіи усилія p .

Положимъ, что, при дѣйствіи на тяговой крюкъ усилія P , колесо вагона сдѣлало n оборотовъ; одновременно большой дискъ сдѣлалъ δ , а малый γ оборотовъ; тогда

$$T_{\omega} = P \cdot 2\pi r \cdot n, \text{ но } P = 50 p$$

Такъ какъ подъ дѣйствіемъ усилія p малый дискъ перемѣстился на $(i - \rho)$ $mm.$, то

$$p = (i - \rho) \cdot h \text{ и } P = 50 h (i - \rho)$$

Путь, пройденный точкою большого диска, отстоящею на i $mm.$ отъ его центра, за одинъ оборотъ равенъ $2\pi i$. Тотъ-же самый путь пройдетъ малый дискъ и число его оборотовъ

$$\gamma = \frac{i}{\rho} \cdot \delta \text{ и } i = \frac{\gamma \cdot \rho}{\delta},$$

а слѣдовательно

$$P = 50 h \rho \left(\frac{\gamma - \delta}{\delta} \right)$$

Такъ какъ $n = \delta \cdot k$, гдѣ k есть передаточное число между осью вагона и большого диска, то

$$T_{\omega} = 2 \cdot \pi r \cdot \delta \cdot k \cdot 50 h \cdot \rho \left(\frac{\gamma - \delta}{\delta} \right)$$

или

$$T_{\omega} = 314 \cdot \rho \cdot h \cdot k \cdot (\gamma - \delta)$$

Въ индикаторѣ Теодоровича $\rho = 20$ мм. и $k = k_1 \cdot k_2$, гдѣ $k_1 = 3,94$ (передаточное число между осью большого диска и коренною осью индикатора) и k_2 —передаточное число между осью вагона и коренною осью индикатора, зависящее отъ діаметра того шкива, который надѣтъ на ось вагона. А потому

$$\left. \begin{aligned} T_{\omega} &= 24743 \cdot h \cdot r \cdot k_2 (\gamma - \delta) \text{ кг.м или} \\ T_{\omega} &= 0,023 \cdot h \cdot r \cdot k_2 (\gamma - \delta) \text{ тонно-версть} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (1)$$

Послѣ вывѣрки пружинъ получаемъ величину h , измѣненіе же колеса даетъ намъ численную величину r . Такимъ образомъ находимъ

$$T_{\omega} = \beta (\gamma - \delta) \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ β —постоянное число.

Такъ какъ упругость спиральныхъ пружинъ можетъ нѣсколько измѣниться, а бандажъ колеса получить нѣкоторый выкатъ, то и коэффициентъ β подлежитъ тоже нѣкоторому измѣненію.

Пройденный поѣздомъ путь опредѣляется изъ ур-ія

$$L = 0,047 \cdot \delta \cdot r \text{ версть} \dots \dots \dots (4)$$

Среднее сопротивление поѣзда на тонну его вѣса получаемъ изъ формулы:

$$R = 1000 \cdot \frac{h}{Q} \left(\frac{\gamma - \delta}{\delta} \right) \text{ кг} \dots \dots \dots (5)$$

гдѣ Q —вѣсъ поѣзда въ тоннахъ.

Такимъ образомъ непрерывный индикаторъ даетъ: 1) работу сопротивления вагоновъ поѣзда за какой угодно промежутокъ времени; 2) среднее сопротивление на какомъ угодно участкѣ; 3) среднее единичное сопротивление на какомъ угодно перегонѣ; 4) сопротивление въ какой угодно точкѣ пути и 5) пройденный поѣздомъ путь.

Въ послѣднее время къ непрерывному индикатору прибавленъ еще самопишущій приборъ, который даетъ возможность получить діаграмму измѣняемости сопротивления поѣзда во всё время работы индикатора. Діаграмма чертится автоматически на безконечной лентѣ, на которую наносится рядъ ординатъ, соответствующихъ послѣдовательнымъ верстамъ пути.

Главнѣйшихъ и очень важныхъ недостатковъ этого аппарата три:

1. Онъ получаетъ движеніе отъ оси вагона посредствомъ ремня и слѣдовательно, какъ всегда, вслѣдствіе усыхания или разбухания кожи, игры на рессорахъ вагоннаго кузова и пр. происходитъ неравномѣрное его натяженіе со всѣми послѣдствіями. Для устраненія этого употребля-

ются автоматическія оттяжки, но онѣ дѣйствуютъ неудовлстворительно и скольженіе ремня неизбѣжно. Последнее время г. Теодоровичъ устроилъ приводъ такимъ образомъ, что натяженіе ремня можетъ быть какимъ угодно и постояннымъ. Устройство этого привода (бывшаго на выставкѣ въ Парижѣ въ 1900 г. въ опытномъ вагонѣ Харьковско-Николаевской желѣзной дороги) заключается въ слѣдующемъ: приборъ получаетъ движеніе отъ приводной оси *ab* (фиг. 325), установленной внутри вагона. Два кронштейна *A* и *B* служатъ опорой для второго передаточнаго вала *cd*, который приводится во вращеніе двумя гелисоидальными шестернями *e* и *f*, изъ которыхъ одна *f* сидитъ на валикѣ, проходящемъ сквозь качающуюся вилку *gh*. Внутри этой вилки помѣщенъ шкивокъ *i*, снабженный ребордами; на другомъ ея концѣ подвѣшенъ грузъ *k*. Шкивъ *i* соединяется ремнемъ со шкивомъ, посаженнымъ на оси вагона. Шкивъ *l* соединенъ ремнемъ со шкивомъ *m* рабочей оси *ab*. Всѣ устройство помѣщается подъ столомъ, на которомъ стоитъ аппаратъ. Такимъ образомъ натяженіе ремня зависитъ отъ груза *k* и остается неизмѣннымъ и скольженіе его устраняется.

2. Малый дискъ индикатора можетъ скользить (боксовать) во время вращенія, что даетъ совершенно невѣрныя показанія. За этимъ необходимо тщательно наблюдать и аппаратъ провѣрять.

3. Отъ сильныхъ подергиваній поѣзда, спиральныя пружины могутъ измѣнять свою упругость и ихъ также необходимо вывѣрять.

Вообще аппаратъ, прекрасный по своей идеѣ и сравнительно простой по устройству, требуетъ, какъ и всѣ аппараты съ фрикціонными передачами, болѣе тщательнаго наблюденія и содержанія, предохраненія отъ пыли и сора и пр. и только недостатку внимательнаго ухода я приписываю тѣ разнорѣчивыя мнѣнія объ немъ, которыя мнѣ приходилось слышать.

На фиг. 323 показана установка индикатора въ вагонѣ Харьковско-Николаевской жел. дор., гдѣ онъ привинченъ къ прочному дубовому столу, снабженному подкосами и угольниками, прикрѣпляющими его къ полу вагона. Приводной шкивъ помѣщенъ въ прорѣзѣ стола. Подъ столомъ, если не употребляется описанный выше приборъ, на полу, устроена оттяжка *M* для приводнаго ремня, на случай его ослабленія.

Соединеніе тяги *B* какъ съ коромысломъ *A*, такъ и съ рычагомъ *C*, дѣлается совершенно свободнымъ, чтобы при отклоненіяхъ рычага *C* не происходило перекашиванія тягъ *q*, *q*. Индикаторъ занимаетъ очень мало мѣста. Этотъ аппаратъ почти единственный, изобрѣтенный въ Россіи и имѣющій распространеніе на нашихъ желѣзныхъ дорогахъ. Всѣ-же остальные—заграничныя.

Опытный вагонъ Владикавказской желѣзной дороги *).

§ 89. Опытный вагонъ Владикавказской желѣзной дороги передѣланъ изъ стараго 3-оснаго пассажирскаго вагона. Планъ его представленъ на фиг. 326. Центральное отдѣленіе, предназначенное для помѣщенія приборовъ, заключаетъ: столъ *a*, на которомъ стоитъ приборъ Дедуи (§ 78); столъ *o* съ тягомѣромъ Вост. франц. ж. д. (приборомъ Дижона § 50), указателемъ скорости Гаусгельтера *d* (*de*—передача къ нему отъ оси вагона), двумя индикаторами Аптона *ff* (§ 62), гальваническимъ счетчикомъ анемометра *g*, шкафикомъ *b* для индикаторовъ и столомъ со шкафами *m*. Здѣсь же находятся: флюгеръ *h*, газометръ *i*, цинковый ушатъ для воды *k* и приворотная скамья *n*. Въ переднемъ отдѣленіи помѣщается клозетъ, котель для водяного отопленія и помѣщеніе для служителя съ подъемною скамьею *v*, ящикомъ для угля подъ нею и стѣннымъ шкафомъ для посуды *u*. Въ задней части расположено отдѣленіе для служебнаго персонала съ двумя мягкими диванами *pp*, столомъ для занятій и черченія *s*, стѣннымъ шкафикомъ *r* и умывальникомъ съ душемъ.

Этотъ вагонъ „временный“. Предполагается построить 8-колесный динамометрическій вагонъ, со всѣми послѣдними усовершенствованіями.

П Р И Б А В Л Е Н І Е.

§ 90. Индикаторъ скоростей, время и давленій системы Каптейна.

Этотъ приборъ служить специально для изслѣдованія тормазныхъ приборовъ и въ настоящее время очень распространенъ въ Англии, Бельгii, Франціи и Германіи, гдѣ употребляется для сравненія различныхъ системъ тормазовъ, дѣйствующихъ сжатымъ воздухомъ. Обыкновенно его устанавливають въ опытномъ вагонѣ, почему и приводимъ его описаніе въ этой главѣ.

На деревянной доскѣ *A* (фиг. 327) мѣдными колонками прикрѣплена мѣдная же доска *B*. Посредствомъ часового механизма *D*, заводимаго ключомъ *G* и пускаемаго въ ходъ, по желанію, рычагомъ *H*, приводится въ движеніе гофрированный валикъ *E*, къ которому прижимается гладкій валикъ *F*; эти валики увлекаютъ при своемъ вращеніи бумажную ленту, намотанную на барабанъ *C*. На этой лентѣ пишутъ соответствующія кривыя 5 карандашей: *i* и *k*, приводимые въ движеніе электромагнитами *I* и *K*, и три карандаша *m*, *n* и *o* индикаторовъ *M*, *N* и *O*.

1. Карандашъ *i* отмѣчаетъ полусекунды, рисуя линію вида *E* (фиг. 328) (гдѣ каждое дѣленіе означаетъ полусекунду), будучи притяги-

*) Чертежъ вагона полученъ мною отъ Т. Отд. Службы Тяги Владик. ж. д.

ваемъ, вмѣстѣ съ рычагомъ i , электромагнитомъ I и отталкиваемъ пружиною p . Электромагнитъ же I соединяется съ электрическими часами L .

2. Второй электромагнитъ K соединяется съ ручкою тормазного крана машиниста („стопъ-крана“). Когда машинистъ начинаетъ тормазить, то электромагнитъ притягиваетъ рычагъ k_1 и карандашъ k опускается внизъ и будетъ въ такомъ положеніи до тѣхъ поръ, пока стопъ-кранъ не станетъ въ положеніе, соответствующее началу оттормаживанія, когда пружина снова возвращаетъ карандашъ k въ его первоначальное положеніе. При этомъ чертится линія вида D (фиг. 328) и аппаратъ такимъ образомъ аккуратно отмѣчаетъ начало и конецъ тормажения.

3. Индикаторъ M (всѣ три индикатора системы Ричардса) соединяется съ главною трубою и его карандашъ m чертитъ діаграмму, показывающую законъ измѣненія давленія въ этой трубѣ въ періоды тормажения и оттормаживанія (кривая A , фиг. 328).

4. Индикаторъ N соединяется съ тормазнымъ цилиндромъ и даетъ изображеніе измѣненія давленій въ немъ за эти періоды (кривая C , фиг. 328) и наконецъ

5. Для полноты картины—на лентѣ еще чертится кривая скоростей, знать измѣненіе которой при тормажении, очень важно. Для этого устанавливается при приборѣ *измѣритель скоростей Каптейна*. Со шкивомъ его P , получающимъ вращеніе отъ оси вагона, движется барабанъ R , составляющій съ нимъ одно цѣлое, въ которомъ помѣщаются двѣ гири, удаляющіяся отъ оси при вращеніи (по принципу центробѣжнаго регулятора), чѣмъ обуславливается поступательное, по оси барабана, передвиженіе трубки, шарнирно соединенныхъ съ сказанными гирями. На концѣ трубки придѣлана стальная игла, играющая роль золотника по отношенію къ отверстиямъ, долженствующимъ пропускать сжатый воздухъ изъ резервуара въ манометръ S и трубку T . Стальная игла приспособлена такимъ образомъ, что при большей скорости поѣзда, а слѣдовательно и барабана R —пропускается больше воздуха и наоборотъ, и стрѣлка S мѣняетъ свое положеніе. Пружина манометра, діаметръ шкива P и всѣ гири барабана R рассчитаны такъ, что во время хода поѣзда стрѣлка S становится противъ числа, выражающаго скорость въ km/h . Въ манометръ и трубу T пропускается иглой одинаковое количество воздуха и поэтому карандашъ o индикатора O начертитъ на бумажной лентѣ показанія манометра, т. е. получимъ кривую измѣненія скоростей B (фиг. 328).

Карандаши индикаторовъ m , n и o могутъ быть отодвинуты отъ ленты помощью ручекъ 1, 2 и 3. Часовой механизмъ D заводится каждые $\frac{3}{4}$ часа и лента движется очень быстро. Если изслѣдованіе производится на цѣломъ участкѣ, то пришлось-бы при такой скорости имѣть ленту длиною въ нѣсколько метровъ. Тогда ее заставляютъ двигаться

медленнѣе. Для этого лента приводится въ движеніе не валикомъ E , а расположеннымъ сзади его валикомъ E_1 , который получаетъ свое движеніе отъ барабана R . Къ барабану придѣлывается съ этою цѣлью брусокъ a , сцепляющійся съ планкою bc , прикрѣпленною къ оси X . Для сцепленія и расцепленія служитъ рычагъ u . Отъ оси X движеніе передается оси валика E_1 посредствомъ зубчатой и винтовой передачи. Параллельно съ осью X помѣщается еще вторая ось съ насаженными на нее также зубчатыми колесами i , введя ее въ сцепленіе, можно получить еще скорость вращенія валика E_1 , по желанію, въ 5 разъ меньшую.

Для приведенія въ движеніе электромагнитовъ, имѣется батарейный ящикъ съ 6 небольшими элементами (четыре для K и два для электрическихъ часовъ и электромагнита I).

Заводкою часовъ D и L кончаются всѣ приготовленія аппарата къ дѣйствию. Часы L заводятся на 7 часовъ и если лента приводится въ движеніе барабаномъ R , то въ теченіе этого времени, автоматически, не требуя за собою никакого ухода и присмотра, аппаратъ вычерчиваетъ необыкновенно отчетливыя діаграммы. При движеніи же ленты отъ часовъ D , аппаратъ работаетъ $\frac{3}{4}$ часа.

Аппаратъ занимаетъ мало мѣста, можетъ быть поставленъ на отдѣльномъ столѣ или даже на полу вагона и приноситъ очень большую пользу, въ особенности когда желѣзныя дороги снабдили свой составъ нѣсколькими тормазными системами, между которыми дѣлаютъ выборъ и необходимо, слѣдовательно, произвести сравнительные опыты, а также при испытаніи новыхъ предлагаемыхъ системъ, чѣмъ и объясняется значительное распространеніе этихъ аппаратовъ.

ЧАСТЬ VII-я.

Вліяніє различныхъ обстоятельствъ на работу паровоза.

§ 91. Вліяніє это неоднократно разбиралось раньше, здѣсь-же сдѣлаемъ только дополненія къ сказанному выше, основываясь на результатахъ опытовъ, произведенныхъ извѣстными изслѣдователями. При этомъ замѣтимъ, что цифровыя данныя приводятся только для освѣщенія факта и, понятно, не могутъ имѣть постоянного значенія, такъ какъ онѣ мѣняются въ зависимости отъ данныхъ обстоятельствъ и точности наблюдений. Также и всѣ выводы по большей части не есть что-нибудь неопровержимое и постоянное и нами не выдается за таковое. Часто приходится видѣть, что на одинъ и тотъ-же вопросъ даются изслѣдователями различные отвѣты и то-же явленіе объясняется различнымъ, часто исключаящимъ другъ-друга, образомъ и при этомъ—всѣ это подтверждается, повидимому, точными фактами и наблюдениями. Изъ этого матеріала выбрано то, что признается техниками за наиболѣе достовѣрное, но повторяю снова, что приводимыя данныя должны *только* освѣщать вопросъ, служить для расширенія горизонта, наталкивать на новые вопросы, которые иначе могутъ не возникнуть и дать извѣстный критеріумъ для оцѣнки своихъ опытовъ. Но какъ и всѣ, основанное на опытныхъ наблюденияхъ, эти данныя должны дальше измѣняться по мѣрѣ усовершенствованія средствъ наблюдения и усовершенствованія самыхъ машинъ и возможно, что вмѣстѣ съ тѣмъ будутъ измѣняться и тѣ взгляды и выводы, которые теперь считаются неопровержимыми.

Къ этой части отнесены также нѣкоторыя данныя о примѣненіи принципа Compound и перегрѣтаго пара къ паровозамъ.

§ 92. Вліяніє степени открытія регулятора.

Степень открытія регулятора вліяетъ, какъ извѣстно, на давленіе въ періодъ впуска, почему придерживаются правила: держать регуляторъ вполне открытымъ и управлять работою паровоза, измѣняя отсѣчку въ цилиндрахъ. Этого правила не придерживаются только въ Америкѣ, что

надо приписать широкому примѣненію рычаговъ для переменны отсѣчки, передвиженіе которыхъ, при большихъ давленіяхъ пара и большихъ скоростяхъ, очень тяжело. Отъ даннаго правила отступаютъ только иногда, вслѣдствіе особыхъ свойствъ парораспределительныхъ кулисныхъ механизмовъ, а именно—когда приходится ѣхать съ отсѣчками менѣе 25⁰/₀. При такихъ малыхъ отсѣчкахъ сжатіе и предварительный выпускъ пара начинаются очень рано, также какъ и предварительный выпускъ, почему расширеніе пара незначительно и работа противодавленія велика, поэтому отсѣчки менѣе 25⁰/₀ крайне не выгодны и оказывается болѣе выгоднымъ, для полученія той-же работы, нѣсколько прикрыть регуляторъ и увеличить отсѣчку. Единственную пользу умѣреннаго прикрытія регулятора видѣли въ увеличеніи сухости пара, вслѣдствіе прохода его черезъ узкое сѣченіе регулятора, а слѣдовательно и въ уменьшеніи начальной конденсаціи при впускѣ. Вопросъ объ экономичности „суженія пара“ неоднократно подвергался изслѣдованію въ постоянныхъ паровыхъ машинахъ, напр. еще при опытахъ Hirn'a и Hallauer'a было найдено, что суженіе пара, производимое поворотомъ клапана въ паропроводной трубѣ, даже полезно, такъ какъ работа, соответствующая происходящей при этомъ потерѣ давленія, превращаясь въ теплоту, если не всегда перегрѣваетъ, то во всякомъ случаѣ осушаетъ паръ. Приводимъ напр. результаты опытовъ Hallauer'a съ паровой машиною Вульфа при постоянной отсѣчкѣ = 1/7. Суживая паръ, посредствомъ поворачиванія клапана въ трубѣ, измѣняли число лошадиныхъ силъ, при чемъ 347 HP соответствовало вполнѣ открытому клапану. Какъ видимъ изъ приведенной таблицы, при уменьшеніи силы машины на 23⁰/₀ (347—267), расходъ пара увеличился только на 1,4⁰/₀ (а абсолютный расходъ даже уменьшился на 2,3⁰/₀); при уменьшеніи же силы на 46,6⁰/₀ (347—185), расходъ пара увеличился на 12,9⁰/₀, а абсолютный расходъ только на 3,8⁰/₀.

Число силъ	Расходъ сухого пара въ часъ на 1 HP kg		
	Абсолют.	Индикат.	Полезн.
347	7,112	8,614	9,864
267	6,945	8,739	10,357
185	7,384	9,730	12,411

По мнѣнію Müller'a, при значительномъ суженіи, нѣтъ даже необходимости въ паровыхъ рубашкахъ, что напр. относится въ особенности къ паровозамъ, гдѣ впускное отверстіе иногда бываетъ сужено до 1/230 площади поршня и тѣмъ не менѣе расходъ пара не великъ. Понятно, что суженіе пара полезно только до извѣстнаго предѣла. Въ послѣднее время производились весьма обширные опыты съ цѣлью изучить вліяніе

подобнаго суженія отверстія регулятора на работу паровоза. Изъ нихъ мы упомянемъ объ опытахъ Leitzmann'a съ нормальнымъ товарнымъ прусскимъ паровозомъ и объ опытахъ Brillé на французскихъ желѣзныхъ дорогахъ надъ быстроходнымъ паровозомъ о $\frac{2}{4}$ спар. ос. *).

Сказанное вліяніе Leitzmann изслѣдовалъ для различныхъ отсѣчекъ отъ 10 до 70%, скоростей — отъ 10 до 50 км/ч и слѣдующихъ открытій регулятора = m .

1. Открыть только одинъ малый регуляторный золотникъ. Площадь отверстія для прохода пара = $m_1 = 3,39$ см².

2. $\frac{1}{10}$ полного открытія регулятора. Площадь отверстія = $m_2 = 8,3$ см².

3. $\frac{2}{10}$ полного открытія регулятора. Площадь отверстія = $m_3 = 16,6$ см².

4. Полное открытіе регулятора. Площадь отверстія = $m_4 = 83,0$ см².

При этомъ опредѣляли изъ діаграммъ (которыхъ сняли около 300): среднее индикаторное давленіе, индикаторную работу L въ HP , расходъ пара = M кг/ч, и расходъ пара на 1 индикаторную силу $\eta = \frac{M}{L}$ и непосредственно давленіе въ золотниковой коробкѣ. Последнее, при скоростяхъ до 20 км/ч и наполненіи до 20%, постоянно и потеря давленія пара на пути отъ котла до золотниковой коробки = 4,5% абсолютнаго давленія въ котлѣ, что надо приписать только конденсаціи. Далѣе же потеря давленія значительно увеличивалась въ зависимости отъ скорости поѣзда и наполненія; эти потери представлены на фиг. 329 для 1-го и 4-го открытія регулятора и на фиг. 330 показаны давленія въ золотниковой коробкѣ для разныхъ скоростей и открытій регулятора и для отсѣчки $\epsilon = 25\%$. Какъ видно, для отсѣчекъ отъ 60 до 80% давленіе въ золотниковой коробкѣ почти не мѣняется, что подтверждается и нижеописанными опытами французскихъ сѣверныхъ желѣзныхъ дорогъ.

Діаграммы, полученныя при $\epsilon = 25\%$ и $v = 20$ км/ч при различныхъ открытіяхъ регулятора, представлены на фиг. 331. Если ихъ линіи расширенія продолжить до линіи котлового давленія, то найдемъ соотвѣтствующія наполненія $\epsilon_1 = 20,0; 16,0; 12,2$ и $7,0\%$. Соотвѣтственно индикаторныя работы $L = 281, 230, 187$ и 115 HP ; опредѣливши расходъ пара M , находимъ видимый расходъ пара на 1 HP , который здѣсь равенъ $m_0 = 9,1; 9,3; 9,4$ и $10,5$ кг., т. е. расходъ пара на 1 HP увеличивается по мѣрѣ суженія отверстія регулятора.

На фиг. 332 для скорости поѣзда $v = 20$ км/ч — показанъ этотъ расходъ m_0 , какъ функція работы L при различныхъ открытіяхъ регулятора и при

*) Опыты производились при помощи авто-индикатора (§ 69). Давленіе въ котлѣ = 12 ат, діаметръ цилиндра = 460 мм, ходъ поршней = 660 мм. Діаметръ колесъ = 2040 мм. Поверхность нагрѣва = 116 м², рѣшетки — 2 м². Вѣсъ паровоза въ рабочемъ состояніи — 45,5 т, тендера — 24,8 т.

различныхъ степеняхъ наполненія ϵ . На фигурѣ—цифры у кривыхъ обозначаютъ давленія въ золотниковой коробкѣ при нормальномъ давленіи въ котлѣ = 10 at. Такимъ образомъ составлялись кривыя для различныхъ скоростей и онѣ затѣмъ скомбинированы вмѣстѣ—фиг. 333. Изъ этихъ данныхъ можно заключить, на сколько не выгодно значительное сѣуженіе регулятора. При этомъ потери работы тѣмъ болѣе, чѣмъ больше скорость поѣзда.

Обширные опыты Brillié, произведенные въ Мартѣ 1896 года съ помощью авто-индикатора, освѣтили этотъ вопросъ съ совершенно новой стороны. Снимая диаграммы съ золотниковой коробки, нашли, что давленіе въ ней подвержено очень большимъ колебаніямъ и тѣмъ болѣе значительнымъ, чѣмъ больше открытіе регулятора. Для примѣра на фиг. 334—337 представлены диаграммы, снятыя съ цилиндровъ и золотниковыхъ коробокъ при ходѣ съ поѣздомъ въ 18 вагоновъ вѣсомъ 192 t. съ отсѣчкою въ 20% и при слѣдующихъ обстоятельствахъ.

	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Подъемъ	0,0012	0,0000	0,0028	0,0006
Площадь отверстия регулятора въ см ² .	10,0	18,0	36	100
Скорость въ км/ч	68	73,5	72	69,7
Индикаторная работа въ HP	377	515	551	560
Работа на крюкѣ HP	210	278	310	305

Какъ видно, при открытіи регулятора выше извѣстнаго предѣла, давленіе въ золотниковой коробкѣ бываетъ даже *больше, чѣмъ въ котлѣ* и, слѣдовательно, паръ можетъ обратно течь въ котель. Во всякомъ случаѣ происходитъ неправильное его истеченіе, способствующее механическому увлеченію воды изъ котла. Это повышеніе давленія замѣчается, пока оба паровпускныя окна закрыты золотникомъ и наоборотъ—падаетъ, когда окна открыты. Такимъ образомъ, при закрытыхъ окнахъ, сразу останавливается движеніе пара, происходитъ какъ бы ударъ, т. е. явленіе надо приписать *инерціи столба пара, заключеннаго въ паропроводъ*, между регуляторомъ и паровпускными каналами цилиндра *).

*) Изъ опытовъ на Стѣв. франц. жел. дор. надъ 4-хъ цилиндрымъ быстроходнымъ паровозомъ Comround найдены слѣдующія колебанія давленія (при отсѣчкѣ 0,45) въ золотниковыхъ коробкахъ малыхъ цилиндровъ:

Отношеніе площади открытаго сѣченія регулятора къ площади полного открытія	Въ kg/cm ² или at возвышеніе давленія въ концѣ впуска отъ удара				Превышеніе наибольшаго давленія сверхъ котельнаго			
	П р и с к о р о с т я х ъ в ѣ км/ч							
	60	80	100	120	60	80	100	120
1/8	0,80	1,45	2,10	—	0	0	0	0
1/5	1,10	1,80	2,65	3,60	0	0	0	0
1/2	1,45	2,25	3,25	4,40	0,55	0,80	1,15	1,55

Въ изслѣдуемомъ паровозѣ регуляторъ имѣлъ обыкновенный видъ (фиг. 338) съ большимъ и маленькимъ золотниками. *Величину открытія регуляторнаго отверстія* для различныхъ положеній регуляторной рукоятки изображали графически (фиг. 339). При открываніи регулятора, отъ крайней точки *з* до *а*, передвигается на свою перекрышу малый золотникъ; отъ *а* до *б* постепенно открывается малое отверстие *s*; отъ *б* до *с* передвигается большой золотникъ на величину своей перекрыши и величина отверстія остается та-же; отъ *с* до *н* открывается большое отверстие (при чемъ отъ *д* до *е*—малое отверстие *s* закрывается). Обратнo, закрывая регуляторъ, находимъ: отъ *н* до *т*—малый золотникъ скользитъ по большому и открытіе регулятора остается то-же; отъ *т* до *и* постепенно закрывается большое отверстие и отъ *и* до *з* большой золотникъ передвигается на величину своей перекрыши, возвращаясь въ свое первоначальное положеніе *з*.

Такимъ образомъ законъ открытія регулятора *различенъ* въ зависимости отъ направленія передвиженія рукоятки отъ *з* къ *О* или обратнo. *При изслѣдованіи* паровозовъ, это необходимо имѣть въ виду и *измѣнять степень открытія регулятора, всегда двигая рукоятку только отъ точки з, т. е. справа пальцево.*

Изъ опытовъ найдено:

1. При положеніи рукоятки между 60% и 100% *всего ея хода, нѣтъ особеннаго различія въ кривыхъ давленія въ золотниковой коробкѣ* (фиг. 340). Замѣтимъ, что, при положеніи рукоятки на 60% ея хода, регуляторъ открываетъ только $\frac{1}{3}$ своего полнаго отверстія, что составляетъ только $\frac{1}{2}$ площади паропроводныхъ трубъ. Изъ этого очевидно, что сжатіе струи пара въ этихъ предѣлахъ, вслѣдствіе суженія отверстія регулятора, *не увеличиваетъ потерь давленія въ золотниковой коробкѣ, и, слѣдовательно, открытіе регулятора свыше 60% доставляетъ сравнительно небольшое увеличеніе работы.* Паденіе же давленія въ золотниковой коробкѣ въ періодъ впуска въ цилиндры надо приписать только инерціи столба пара въ паропроводѣ.

2. При открытіяхъ регулятора, меньшихъ $\frac{1}{3}$ его сѣченія, давленія въ золотниковой коробкѣ колеблются меньше и золотниковыя кривыя становятся ровнѣе (фиг. 335) и такого значительнаго паденія давленія въ коробкѣ въ періоды впуска не замѣчается.

3. При дальнѣйшемъ-же суженіи давленіе въ золотниковой коробкѣ, а слѣдовательно и въ періоды впуска въ цилиндры, значительно падаетъ (фиг. 334).

Отсюда можно вывести слѣдующее заключеніе: въ паропроводѣ и золотниковой коробкѣ, при работѣ паровоза, происходятъ удары, вслѣдствіе инерціи заключающагося въ нихъ пара, что, отзываясь вредно на механизмъ, способствуетъ увлеченію воды изъ котла; поэтому надо стре-

миться ихъ уменьшить. Но эти удары и сопряженныя съ ними колебанія въ золотниковой коробкѣ меньше при уменьшеніи сѣченія регуляторнаго отверстія, поэтому *умѣренное, до извѣстнаго предѣла, сѣуженіе отверстія регулятора полезно* и во всякомъ случаѣ *предпочтительнѣе* *полнаго его открытія.*

Такимъ образомъ должно избѣгать: а) *слишкомъ малыхъ отсѣчекъ* и б) *полнаго открытія регулятора.*

Для каждаго типа паровозовъ соответствующіе предѣлы различны и должны быть опредѣлены путемъ опыта. Найденные предѣлы, будучи указаны машинисту, дадутъ ему возможность избѣгать невыгодныхъ положеній регулятора и переводнаго рычага, влекущихъ за собою излишній расходъ топлива и пара.

И теперь уже замѣчается стремленіе конструкторовъ *уменьшать сѣченіе регулятора по мѣрѣ увеличенія давленія въ котль.* На нѣкоторыхъ паровозахъ Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ въ видѣ опыта были поставлены регуляторы, представленные на фиг. 341, вмѣсто описанныхъ выше, съ значительно уменьшеннымъ сѣченіемъ (площадь его сѣченія = только 56 см². вмѣсто 108 см².) и безъ малаго золотника. Для облегченія его передвиженія приводной рычагъ сдѣланъ двуплечимъ. Опыты показали, что сѣченіе этого регулятора вполне достаточно и не влечетъ за собою значительнаго паденія давленія.

Понятно, инерцію пара можно было бы уменьшить, дѣлая сѣченіе паропроводныхъ трубъ и золотниковыхъ коробокъ меньшими, но это менѣе рационально, такъ какъ увеличиваетъ треніе и конденсацію пара при движеніи его отъ котла до цилиндровъ.

§ 93. Вліяніе объема паропроводныхъ трубъ и золотниковыхъ коробокъ.

Съ цѣлью выяснитъ это вліяніе при опытахъ инж. Barbier на Сѣв. франц. ж. д, измѣняли діаметръ трубъ и объемъ коробокъ. При этомъ находили разность между давленіемъ въ котлѣ и въ золотниковой коробкѣ, отсчитывая его по золотниковой діаграммѣ, что указывало на величину паденія давленія въ паропроводныхъ трубахъ и между давленіемъ въ золотниковой коробкѣ и въ цилиндрѣ въ началѣ хода поршня, опредѣляя его изъ индикаторныхъ діаграммъ, что указывало на паденіе давленія при проходѣ черезъ паропроводные каналы.

Изъ предыдущихъ §§ извѣстно, что потеря давленія между котломъ и золотниковой коробкой увеличивается по мѣрѣ сѣуженія регулятора и увеличенія скорости поѣзда. Потеря-же давленія между золотниковой коробкой и цилиндромъ зависитъ только отъ скорости движенія, но не зависитъ ни отъ степени открытія регулятора, ни отъ размѣровъ золотниковой коробки или паропроводныхъ трубъ, ни отъ отсѣчки въ цилиндрѣ.

Замѣняя паропроводныя трубы другими—большаго діаметра (съ 80 мм. на 95) нашли, что потеря давленія на пути отъ котла до золотниковой коробки уменьшилось на 0,3 кг/см², что составляло 16⁰/₁₀₀ первоначальной потери, но черезъ это индикаторная работа увеличилась весьма мало. Но, безспорно, при этомъ уменьшается скорость истеченія пара въ паропроводахъ, а слѣдовательно и удары и явленія инерціи пара, о которыхъ говорилось выше. Поэтому возможно большее увеличеніе діаметра трубъ полезно.

Но особенно полезнымъ оказалось увеличеніе объема золотниковой коробки, который былъ доведенъ до $\frac{1}{1,14}$ объема цилиндра, вмѣсто бывшаго раньше и равнаго $\frac{1}{3,4}$ объема цилиндра. При этомъ найдено, что

1) давленія въ золотниковыхъ коробкахъ колебались значительно меньше, діаграммы давленій въ нихъ выпрямились и всѣ волнообразныя очертанія ихъ исчезли. 2) Явленія инерціи (удары) ослабѣли и, очевидно, при надлежащемъ увеличеніи объема золотниковой коробки они могутъ быть совсѣмъ уничтожены. 3) Такъ какъ давленія стали ровнѣе, то слѣдовательно и давленіе на золотники становится болѣе постояннымъ, черезъ что уменьшается ихъ износъ и сопротивленіе механизма. 4) Увлеченіе воды изъ котла стало меньше, такъ какъ движеніе струи пара по паропроводу было уже не такое прерывистое и кромѣ того сама коробка служила сепараторомъ, способствующимъ отдѣленію воды.

Поэтому *необходимо объемъ золотниковыхъ коробокъ увеличивать до возможно большаго предѣла, предохраняя ихъ отъ охлажденія толстой, теплонепроницаемой оболочкой.* О-во Сѣв.-франц. ж. д. на новыхъ быстроходныхъ паровозахъ ставятъ теперь золотниковыя коробки занимающія всю длину цилиндра. Въ паровозахъ Compound, по отношенію къ большимъ цилиндрамъ, соединительная труба (ресиверъ) играетъ такую-же роль, какъ и паропроводная труба для малаго цилиндра и, какъ показали опыты, увеличеніе объема ресивера производитъ такое-же полезное дѣйствіе, какъ и увеличеніе объема золотниковыхъ коробокъ малыхъ цилиндровъ, способствуя болѣе экономичной работѣ машины.

§ 94. Вліяніе скорости.

Въ настоящее время всѣ паровозы и ихъ сила тяги возросли почти до крайнихъ предѣловъ и при дальнѣйшемъ ихъ увеличеніи уже необходимо примѣнять болѣе тяжелые рельсы, перестраивать мосты и поворотные круги, измѣнять сѣпные приборы и пр. Поэтому, во избѣжаніе перестройки верхняго строенія пути и подвижного состава, при быстро растущей дѣятельности желѣзныхъ дорогъ, увеличеніе скорости поѣздовъ

является единственнымъ, неизбѣжнымъ средствомъ, тѣмъ болѣе, что большая быстрота сообщеній есть уже и потребность времени. Ввиду сказаннаго—вліяніе скорости на дѣйствіе пара и расходъ его въ паровозахъ—вопросъ чрезвычайной важности и изслѣдованіе его составляетъ одну изъ главнѣйшихъ задачъ экспериментатора.

Вліяніе скорости неоднократно разбиралось раньше при разсмотрѣніи различныхъ обстоятельствъ работы паровоза, здѣсь-же упомянемъ объ этомъ только въ общихъ чертахъ.

Сопротивленіе паровоза и поѣзда *движенію*, на преодоленіе котораго и тратится работа паровой машины паровоза, не остается постояннымъ, но весьма *значительно возрастаетъ со скоростью* (§ 27), поэтому для прохожденія одного и того-же пути съ тѣмъ-же поѣздомъ, но съ болѣею скоростью, необходимо преодолѣть значительно большее сопротивленіе, а слѣдовательно произвести болѣшую работу и израсходовать болѣе количество пара, чѣмъ при медленномъ движеніи.

Кромѣ того отъ скорости еще зависитъ *среднее индикаторное давленіе*, которое *уменьшается съ увеличеніемъ скорости*, вслѣдствіе возрастанія потерь давленія пара при проходѣ черезъ узкіе паровпускные каналы и увеличеніи сопротивленія выходу пара со стороны выпуска, почему линіи впуска и расширенія въ діаграммахъ понижаются, а противодавленіе увеличивается и слѣдовательно линіи выпуска поднимаются (хотя меньше, благодаря болѣе широкимъ паровыпускнымъ окнамъ). Кромѣ того происходятъ еще потери на пути отъ котла до золотниковой коробки и эти потери возрастаютъ съ возрастаніемъ скорости и уменьшеніемъ площади отверстія регулятора. Напримѣръ, на фиг. 342 представлены данныя изъ опытовъ инженера Barbier; эти потери также оказываютъ, понятно, вліяніе на среднее индикаторное давленіе. По опытамъ Queggeau, среднее индикаторное давленіе, начиная со скорости 60 км/ч, обратно пропорціонально ей при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, что видно изъ слѣдующаго примѣра, взятаго изъ опытныхъ данныхъ надъ однимъ паровозомъ:

Скорость въ км/ч	69,0	76,5	79,5	81,0	85,5	90,0	99,0
Среднее инд. давл. въ кг/см ²	3,62	3,09	3,02	2,90	2,79	2,62	2,55

На фиг. 343—345 представлены діаграммы, снятыя съ паровоза „Schenectady“ въ университетѣ Purdue при той-же отсѣчкѣ и при вполнѣ открытомъ регуляторѣ, но при различныхъ скоростяхъ. Какъ видимъ, при увеличеніи скорости съ 15 до 55 англійскихъ миль въ часъ, индикаторное давленіе пало съ 44,5 до 18,8.

Поэтому сила тяги и индикаторная работа въ теченіи одного оборота оси быстро уменьшаются съ увеличеніемъ скорости, но такъ какъ число оборотовъ увеличивается, то общая работа въ результатѣ увеличивается. Здѣсь мы такимъ образомъ сталкиваемся съ характерною особенностью паровоза: наибольшей его работѣ соотвѣтствуетъ minimum средняго индикаторнаго давленія и слѣдовательно minimum силы тяги и обратно. Поэтому быстроходный паровозъ, везя тяжелый товарный поѣздъ съ малою скоростью, можетъ развить меньшую работу, чѣмъ та, которую онъ развилъ-бы, двигая по тому-же пути легкій поѣздъ, но съ большою скоростью.

Но, понятно, это увеличеніе работы будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока вліяніе уменьшенія силы тяги, вслѣдствіе пониженія средняго индикаторнаго давленія, не превзойдетъ вліяніе большаго числа оборотовъ. Слѣдовательно, для каждаго типа паровоза должна, при данныхъ обстоятельствахъ, существовать такая скорость, перейдя которую, сила паровоза уже не увеличивается и для повышенія ея необходимо будетъ увеличивать отсѣчку. Эта скорость называется „критическою“; она зависитъ, вѣроятно, отъ размѣровъ оконъ, отъ парораспредѣлительнаго механизма и пр. Напримѣръ, изъ опытовъ проф. Goss'a въ 1891 г. въ лабораторіи университета Purdue найдено, что опытный паровозъ развивалъ слѣдующее число индикаторныхъ силъ:

Скорость въ англ. миляхъ въ часъ	Число оборотовъ вед. оси въ мин.	Степень наполненія		
		1-й зубъ 0,25	2-й зубъ 0,33	3-й зубъ 0,40
15	81	190	270	—
25	135	223	368	455
35	188	298	431	501
45	242	302	437	—
55	296	292	438	—

Критическая скорость здѣсь, очевидно, = 35 ^{миль}/часъ, послѣ которой работа почти не увеличивается.

Инженеръ Barbier, производя опыты на Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогахъ съ 4-хъ цилиндровымъ паровозомъ Compound, нашель на-примѣръ, при отсѣчкѣ $\frac{45}{60}$ и положеніи регулятора 60%, кривую (фиг. 346), показывающую зависимость работы паровоза за одинъ оборотъ и площади индикаторныхъ діаграммъ отъ скорости. Кривая ясно указываетъ, что

при этой отсѣчкѣ—маxim'альная работа = 1150 *HP* и она будетъ достигнута при скорости = 140 км/ч. Какъ видно, для быстроходныхъ паровозовъ эта критическая скорость очень высока и не всегда можетъ быть достигнута, но къ ней желательно подойти, на сколько это позволитъ паропроизводительность котла.

Что касается до расхода пара и угля въ кг. на индикаторную или полезную силу въ часъ, то какъ общее правило—можно сказать, что онъ *быстро возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости*, что и понятно. Это видно, напримѣръ, также и изъ упомянутыхъ уже опытовъ *Garbier* (фиг. 347) и *Goss'a*. Расходъ угля и пара на 1 *HP* индикаторную силу въ часъ по упомянутымъ опытамъ *Goss'a* равенъ (въ фунтахъ):

Скорость миль/часъ.	Расходъ угля			Расходъ пара		
	Отсѣчка			Отсѣчка		
	0,25	0,33	0,4	0,25	0,33	0,4
15	4,45	4,19	—	28,93	27,66	—
25	4,19	4,45	5,08	28,06	26,60	28,6
35	4,18	4,54	6,32	26,93	26,28	30,10
45	4,33	5,60	—	28,60	28,45	—
55	5,12	6,03	—	30,64	32,00	—

Между прочимъ отсюда видно, что для этого паровоза расходъ пара оказался наименьшимъ для критической скорости = 35 миль/часъ.

Практическія данныя о расходѣ угля и пара въ зависимости отъ скорости см. § 118. Очевидно, при увеличеніи расхода пара на 1 *HP* и числа силъ, съ увеличеніемъ скорости движенія поѣздовъ, общій расходъ пара въ единицу времени (напр. въ часъ) долженъ возрастать весьма значительно.

Въ виду сказаннаго, при увеличеніи скорости необходимо:

1. Имѣть возможность получать большее количество пара, т. е. *увеличивать паропроизводительность котла* путемъ увеличенія *поверхности нагрѣва и рѣшетки*, отношеніе которыхъ къ объему цилиндровъ въ быстроходныхъ паровозахъ должно быть увеличено*). Такъ какъ подобное увеличеніе ограничивается предѣльнымъ давленіемъ осей на рельсы, то въ данномъ случаѣ прибавляютъ *поддерживающія оси*.

2. Для уменьшенія паденія давленія необходимо *увеличивать стѣнныя паропроводныхъ каналовъ*, иначе они окажутся малыми для пропуска

*) Или, что всё равно, увеличить отношеніе ихъ къ полезному вѣсу паровоза.

требуемаго количества пара при больших скоростяхъ. Это относится и къ паровыпускнымъ каналамъ. Demoulin часто наблюдалъ, что при большихъ скоростяхъ увеличеніе открытія регулятора влечетъ за собою, противъ ожиданія, уменьшеніе скорости, что надо приписать недостаточной величинѣ поперечнаго сѣченія паровыпускныхъ каналовъ, почему противо-давленіе въ цилиндрахъ возрастаетъ. Слѣдовательно, каналы должны быть рассчитаны по тахім'альному расходу пара при наибольшей допускаемой скорости.

Такимъ образомъ, если цилиндры не увеличены и ихъ каналы не измѣнены сказаннымъ образомъ, то увеличеніе паропроизводительности котла выше извѣстнаго предѣла будетъ бесполезно, такъ какъ цилиндры не будутъ въ состояніи израсходовать весь образующійся паръ и, слѣдовательно, вообще при большихъ скоростяхъ, по этимъ причинамъ, сила паровоза ограничена, несмотря даже на достаточно большую паропроизводительность котла.

При увеличеніи поперечнаго сѣченія каналовъ возможно увеличить среднее индикаторное давленіе и расходъ пара, и слѣдовательно получить большую работу паровоза при тѣхъ же цилиндрахъ, не уменьшая степени расширенія пара, путемъ увеличенія отсѣчки.

3. Наконецъ, для увеличенія средняго индикаторнаго давленія необходимо *увеличивать давленіе въ котлѣ*.

Изъ сказаннаго легко видѣть, что отношеніе объема цилиндровъ къ поверхности колосниковой рѣшетки и къ поверхности нагрѣва должно кромѣ того значительно измѣняться въ зависимости отъ рода топлива, такъ какъ послѣдніе факторы обуславливаютъ паропроизводительность котла. Это видно, на примѣръ, изъ слѣдующей таблицы.

Таблица X.

П А Р О В О З Ы	Отношеніе по- верхности нагрѣва къ площади ко- лос. рѣшетки	Число m ² площ. колосн. рѣшетки на 1 куб дециметръ объ- ема цилиндра	Число m ² площ. колосн. рѣшетки на 1 t по- лезнаго вѣса паровоза
Въ англійскихъ паровозахъ, работающихъ на прекрасномъ углѣ	58,8—72,3	0,073 - 0,075	0,05—0,09
Въ американскихъ парово- возахъ при отопленіи антра- цитомъ	30,9	0,127—0,174	0,074—0,101
Въ бельгійскихъ паровозахъ при отопленіи каменно-угольной мелочью	26,4	0,199	0,1880

§ 95. Наивыгоднѣйшая степень расширенія.

Увеличеніе степени расширенія, какъ извѣстно, способствуетъ лучшей утилизаціи пара, но вмѣстѣ съ тѣмъ установлено, что за извѣстнымъ предѣломъ уменьшеніе степени впуска не дастъ соответствующаго уменьшенія расхода пара на единицу работы, а, наоборотъ, увеличиваетъ его, что надо приписать вліянію общей конденсаціи, которая при этомъ возрастаетъ, такъ какъ при малыхъ отсѣчкахъ входитъ въ цилиндръ меньшее количество пара высокой температуры. Поэтому нѣкоторые изслѣдователи, напримѣръ проф. Thurston и друг., даже даютъ формулу, выражающую зависимость конденсаціи отъ величины отсѣчки. Такимъ образомъ является добавочный расходъ пара S_2 сверхъ индикаторнаго S_1 („видимаго“), т. е. находимаго изъ индикаторныхъ диаграммъ и который по Grove равенъ $S_2 = \sigma \cdot S_1$, гдѣ коэффициентъ σ увеличивается съ увеличеніемъ степени расширенія*).

Слѣдовательно, съ уменьшеніемъ отсѣчки мы получаемъ большую экономію отъ увеличеннаго расширенія пара, но, съ другой стороны, увеличивающаяся при этомъ конденсація эту выгоду уменьшаетъ и очевидно есть такой предѣлъ, такая отсѣчка для данной машины (при опредѣленномъ давленіи впуска и выпуска), когда расходъ пара будетъ наименьшій и при дальнѣйшемъ уменьшеніи отсѣчки онъ будетъ уже увеличиваться. Если теперь откладывать по оси абсциссъ величины степеней расширенія, а по оси ординатъ величины пропорціональныя индикаторному расходу пара въ kg . на 1 HP и перерасходу пара сверхъ индикаторнаго, то получимъ двѣ кривыхъ I и II (фиг. 348)**), соединяя которыя, находимъ кривую M , показывающую зависимость уже дѣйствительнаго расхода пара отъ степени расширенія.

Наименьшій расходъ, пропорціональный ординатѣ mn , будетъ соответствовать степени расширенія on , которая, очевидно, будетъ наивыгоднѣйшая для данныхъ обстоятельствъ.

Если подобныя кривыя построить для данной машины для различныхъ давленій при впускѣ, то получимъ для миним'альныхъ расходовъ кривую $m_1 m_2 m_3 m_4 \dots$ (фиг. 349), изъ которой видно, что *чѣмъ выше давленіе, тѣмъ больше должно быть расширеніе и при этомъ—тѣмъ меньшій будетъ расходъ пара*. Это фактъ общезвѣстный, вполне объясненный въ настоящее время теоріей Kirsch'a.

На практикѣ (§ 116) вмѣсто расхода пара обыкновенно опредѣляютъ расходъ воды на 1 HP или на 1000 $kg.m$ дѣйствительной работы, т. е.

*) На основаніи опытовъ Völkera's'a этотъ добавочный расходъ выражается формулою $S_2 = \alpha d \cdot \sqrt{p_m - q_m}$, гдѣ d — діаметръ цилиндра, $(p_m - q_m)$ — среднее индикаторное давленіе и α — нѣкот. коэффициентъ.

***) Первая изъ нихъ, очевидно, имѣетъ ординаты, пропорціональныя расходу пара, уменьшающіяся съ увеличеніемъ расширенія; вторая—наоборотъ.

находятъ расходъ влажнаго пара. Напр. Desdouits при своихъ опытахъ надъ сопротивленіемъ поѣздовъ построилъ кривыя (фиг. 350), показывающія для различныхъ скоростей зависимость между работою въ kg.m, которую давалъ одинъ kg. влажнаго пара, и отсѣчкою. Какъ видно, работа даннаго паровоза при всѣхъ скоростяхъ была наиболѣе выгодна для отсѣчки приблизительно = 0,25%, т. е. при этой отсѣчкѣ 1 kg. влажнаго пара (или 1 kg. полезнаго расхода воды) давалъ наибольшую работу.

Проф. Goss для опытнаго паровоза въ лабораторіи университета Purdue нашелъ наивыгоднѣйшую отсѣчку, соответствующую минимальному расходу пара, равную 0,33.

Эта наивыгоднѣйшая отсѣчка (и зависимость ея отъ скорости) находится, понятно, только опытно и различается для разныхъ типовъ паровозовъ.

Для паровозовъ Compound устраивается обыкновенно общій приводъ къ парораспределительнымъ механизмамъ такимъ образомъ, что данной отсѣчкѣ въ маломъ цилиндрѣ соответствуетъ уже вполне опредѣленная отсѣчка въ большомъ и тогда приемъ для нахождения указанной наивыгоднѣйшей отсѣчки для малаго цилиндра остается тотъ же. Если же устраивается два независимыхъ парораспределительныхъ механизма для большихъ и меньшихъ цилиндровъ, то сказанное изслѣдованіе является уже несравненно болѣе сложнымъ, тѣмъ болѣе, что одинаковую работу можно получить при различныхъ комбинаціяхъ отсѣчекъ, напр. при опытахъ Vabrier, для 4-хъ цилиндроваго паровоза Compound при скорости 90^{km}/ч работа была одна и таже при слѣдующихъ комбинаціяхъ:

Положеніе регулятора.	0,60	0,50	0,60	0,50	0,60	0,80	0,60	0,80
Отсѣчка въ м. цил. . .	45	50	45	45	50	45	45	45
” ” б. ” . .	60	60	50	60	60	60	70	50

Подобное устройство очень сложно и неудобно и вообще не желательно предоставлять машинисту въ его полное распоряженіе управленіе отношеніемъ наполненій въ большихъ и меньшихъ цилиндрахъ, поэтому на независимое парораспределеніе надо смотрѣть какъ на исключеніе.

Съ цѣлью найти наивыгоднѣйшее соотношеніе отсѣчекъ производились обширные опыты на Эрфуртскихъ ж. д., на Франц. ж. д. Р. Л. М. и Сѣверныхъ и пр. и полученными при этомъ результатами руководствуются при построеніи новыхъ паровозовъ.

§ 96. Вліяніе величины площади отверстія конуса.

Съ уменьшеніемъ площади отверстія конуса:

1. Увеличивается противодавленіе въ цилиндрахъ, вслѣдствіе болѣе стѣсненнаго выхода мятаго пара. На фиг. 351 представлены три діаграммы, снятыя съ цилиндровъ одного паровоза при отходѣ со станціи (при наибольшемъ наполненіи) при трехъ различныхъ сѣченіяхъ f конуса: діаграмма a при $f = 138,8 \text{ cm}^2$, b при $f = 83,3$ и c при $f = 34,7 \text{ cm}^2$.

Такимъ образомъ по величинѣ противоавленія въ діаграммахъ—можно ясно видѣть, достаточно-ли велико отверстие конуса.

2. *Увеличивается тяга и интенсивность горнія въ топкѣ, а слѣдовательно и количество пара, образующагося съ 1 м². поверхности нагрева*, которое графически, въ зависимости отъ отверстия конуса, должно выражаться приблизительно кривою *AB* (фиг. 352). Въ настоящее время часто отверстие конуса дѣлають постояннымъ и если тогда для увеличенія парообразования его необходимо уменьшить, то ставятъ поперекъ отверстия конуса металлическій стержень или вставляютъ кольцо.

Часто замѣчается, что паровозы одного и того-же типа даютъ различное количество пара. По большей части это есть слѣдствіе недостаточности всасывающаго дѣйствія конуса. Напримѣръ, котель одного быстроходнаго паровоза развивалъ недостаточное количество пара (только $K = 30$ кг. съ м² поверхности нагрева). При этомъ діаметръ конуса d_1 былъ = 144 мм. Тогда уменьшили d_1 до 120 мм. и K повысилось съ 30 на 40 кг.

3. *Вмѣстѣ съ увеличеніемъ тяги въ дымовую коробку и трубу уносятся большіе угля.*

Разрѣженіе, доставляемое конусомъ, должно быть тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе поверхность рѣшетки, длина дымогарныхъ трубъ и меньше ихъ поперечное сѣченіе. Это разрѣженіе въ дымовой коробкѣ, обыкновенно, приблизительно въ 22 раза меньше, чѣмъ давленіе въ конусѣ. Необходимо обращать вниманіе на плотность дверецъ, иначе разрѣженіе значительно уменьшается. Точно также, при каждомъ открытіи топки, оно уменьшается на 1,2—2 ст. водяного столба.

§ 97. Вліяніе паровыхъ рубашекъ.

Паровая рубашка изобрѣтена *Watt*'омъ и патентована имъ въ 1769 г. Дѣйствіе ея вполне опредѣлено опытами *Hirn*'а и заключается въ слѣдующемъ: какъ извѣстно, начальная конденсація во время выпуска происходитъ, вслѣдствіе охлаждающаго дѣйствія стѣнокъ цилиндра. Во время выпуска оставшаяся часть конденсаціонной воды, не успѣвшая испариться во время расширенія, испаряется *на счетъ теплоты стѣнокъ цилиндра*, бесполезно унося всю отнятую такимъ образомъ теплоту и охлаждая его стѣнки, чѣмъ и вызывается снова конденсація вновь выпускаемаго свѣжаго пара. Средняя температура стѣнокъ цилиндра поэтому оказывается ниже температуры свѣжаго пара и задача примѣненія паровой рубашки и заключается въ подведеніи къ стѣнкамъ цилиндра нѣкотораго добавочнаго количества теплоты, черезъ что: 1) начальная конденсація уменьшается; 2) при расширеніи испаряется („вторичное испареніе“) большая часть конденсаціонной воды и поэтому полезная работа расширенія увеличивается и 3) во время выпуска испаряется остальная, меньшая часть этой воды и слѣдовательно потеря теплоты съ выходящимъ мятымъ паромъ уменьшается, почему и расходъ пара долженъ быть безусловно меньше.

Такимъ образомъ паровая рубашка *обогрѣваетъ цилиндръ снаружи*. Для сравненія—Donkin производилъ опытъ съ обогрѣваніемъ цилиндра снаружи посредствомъ газовыхъ горѣлокъ и, понятно, получилъ экономію въ расходѣ питательной воды (по анализу Dwelschauvers-Dery) въ 24^o%. Можно достигнуть также тѣхъ-же результатовъ посредствомъ *внутренняго обогрѣванія цилиндровъ*, употребляя *перегрѣтый паръ* (см. § 105), что, слѣдовательно, замѣнитъ паровую рубашку, которая при этомъ уже не нужна. Опытовъ, доказывающихъ выгоду паровыхъ рубашекъ, было произведено очень много и для постоянныхъ машинъ это уже неопровержимо.

Изъ роли паровыхъ рубашекъ мы видимъ, что онѣ должны быть особенно полезны для машинъ съ большою конденсаціею, гдѣ температура цилиндровъ падаетъ очень значительно, т. е. для машинъ съ охлажденіемъ, при очень большихъ вредныхъ пространствахъ и пр. и менѣе полезны для машинъ безъ охлажденія (которыя поэтому часто и строятся безъ паровыхъ рубашекъ) и для быстроходныхъ машинъ.

При такой очевидной выгодѣ рубашекъ, примѣненіе ихъ къ паровозамъ должно-бы было дать благоприятные результаты. Для изслѣдованія этого инж. Бородинъ и Леви произвели обширные опыты въ началѣ 80-хъ годовъ надъ обыкновеннымъ паровозомъ и системы Compound съ рубашками и безъ рубашекъ. При предварительномъ испытаніи на опытной станціи, примѣненіе рубашекъ дало выгоду при работѣ на 1-мъ зубцѣ—16^o% и на 2-мъ—12^o%. Но при опытныхъ поѣздкахъ удовлетворительнаго результата получено не было. Причинъ было много, въ томъ числѣ неудовлетворительный отводъ воды изъ рубашекъ. Эти опыты вообще нельзя считать рѣшающими въ данномъ случаѣ. Но вообще при современныхъ большихъ скоростяхъ, значительномъ нагрѣваніи ресивера въ дымовой коробкѣ при системѣ Compound и при помѣщеніи паропроводныхъ трубъ тамъ-же, при чемъ паръ вѣроятно слегка даже перегрѣвается, отъ примѣненія паровыхъ рубашекъ къ паровозамъ нельзя ожидать такихъ значительныхъ выгодъ, какъ при примѣненіи ихъ къ постояннымъ машинамъ съ охлажденіемъ, хотя примѣненіе ихъ въ Россіи, гдѣ почти исключительно употребляются наружные цилиндры, подвергающіеся, при работѣ зимою, морозамъ, доходящимъ до 20—30^o, безспорно было-бы полезно.

Но вообще въ настоящее время, ввиду упрощенія паровоза, паровая рубашка примѣняется очень рѣдко *), опытовъ съ ними почти не

*) Къ паровозамъ рубашки были впервые примѣнены Polonceau. Въ 1832 г. эту идею возобновилъ Visouir, который примѣнилъ частичную паровую рубашку, въ которую паръ пускался изъ котла, и наконецъ въ настоящее время она примѣнена къ паровозамъ съ парораспределеніемъ Wapleford'a и къ паровозамъ большой скорости Орлеанской франц. желѣзной дор.

производится и сказать чтонибудь определенное о результатах их применения—очень затруднительно. Это—вопрос будущего.

§ 98. Вліяніе величины давления пара въ котлѣ.

Извѣстно, что расходъ пара уменьшается и работа машины увеличивается при увеличении давления, но экономія пара отнюдь не пропорциональна давлению пара и вообще оказалось, что этотъ вопросъ значительно болѣе сложенъ, чѣмъ можно было предположить. вмѣстѣ съ выгодами применения пара высокаго давления [а именно: 1) применение цилиндровъ меньшаго діаметра и слѣдовательно болѣе легкихъ; 2) уменьшение ширины машины, ея вѣса и слѣдовательно ея стоимости и расхода на ея перевозку; 3) возможность употреблять большее расширение пара и увеличивать силу машины] увеличиваются и недостатки: 1) увеличивается вѣсъ котла, его стоимость и расходы на его перевозку; 2) увеличивается температура котла, потеря теплоты черезъ лучеиспускание, пропуски пара черезъ поршни, золотники и пр.; 3) въ передаточномъ механизмѣ возбуждается большее напряжение, части его изнашиваются быстрѣе и требуютъ большихъ расходовъ на ремонтъ.

Поэтому можетъ быть даже такое невыгодное стеченіе обстоятельствъ, когда увеличение давления не принесетъ ожидаемыхъ результатовъ.

Приводимъ таблицу теоретическаго расхода пара на 1HP въ часъ для совершенной машины:

Т а б л и ц а X I.

Давленіе пара въ kg/cm^2	Увеличеніе его температуры на каждое возрастаніе давленія на 1,75 kg, въ град. Ц.	Количество пара на HP/ч для совершен. машины съ противодавл. = 0,1 kg.
1,75	—	19,70
3,51	17,14	13,12
5,27	12,21	10,78
7,03	9,88	9,76
8,78	8,38	8,77
10,54	7,21	8,22
12,30	6,44	7,81
14,06	5,82	7,50
15,81	5,27	7,25
17,57	4,88	7,08
19,33	4,49	6,87
21,09	4,22	6,69

Такимъ образомъ видно, что при малыхъ давленіяхъ незначительному измѣненію, его соотвѣтствуетъ большое измѣненіе температуры и, съ другой стороны, выгода (уменьшеніе количества пара на 1HP) съ увеличеніемъ давленія непрерывно уменьшается. Такимъ образомъ, въ будущемъ уже не будетъ такъ быстро увеличиваться экономичность машинъ при увеличеніи давленія, какъ это было до сихъ поръ.

Опытное изслѣдованіе вліянія повышенія давленія очень затруднительно, такъ какъ обыкновенно вмѣстѣ съ этимъ измѣняется и конструкція машины, ея размѣры, парораспредѣленіе и часто принципъ дѣйствія (примѣненіе принципа Compound). Поэтому трудно рѣшить, какая доля полученной выгоды относится къ тому или другому фактору. Съ цѣлью, хотя въ общемъ, освѣтить этотъ вопросъ, въ лабораторіи университета Purdue въ С. Америкѣ были сдѣланы сравнительные опыты съ двумя паровозами: Machine Schenectady № 1 и Machine Schenectady № 2. Главнѣйшіе результаты слѣдующіе:

Съ первымъ паровозомъ, имѣющимъ цилиндры 430×610 мм., были сдѣланы 3 опыта при тѣхъ же: скорости въ $56,3 \text{ км/ч}$ съ отсѣчкою на $\frac{1}{3}$ хода и при полномъ открытіи регулятора, но съ перемѣною давленія. При этихъ условіяхъ, какъ найдено на предварительныхъ опытахъ, дѣйствіе машины получается наибольшее. Найдено:

	1	2	3
Число оборотовъ въ 1 мин	188,4	190,0	189,5
Скорость въ км/ч	56,310	56,800	56,690
Начальное индикаторное давленіе въ кг/см ²	6,40	8,10	9,65
Увеличеніе давленія въ % начальнаго	—	26	19
Число индикатор. лошади. силъ	300	435	522
Увеличеніе въ % начальнаго числа . .	—	45	20
Расходъ пара въ часъ въ кг/HP	14,40	13,15	12,45
Уменьшеніе расхода пара въ % перво- начальнаго	—	9	5

Такимъ образомъ при увеличеніи давленія съ $6,40 \text{ кг/см}^2$ на $8,10$, т. е. на 26% , сила машины увеличивается на 45% и расходъ пара уменьшается на 9% . Но при дальнѣйшемъ увеличеніи давленія съ $8,10$

на 9,65, т. е. на 19⁰/о, сила машины увеличилась на 20⁰/о и расход пара уменьшился только на 5⁰/о.

Второй паровозъ имѣетъ цилиндры 508×610 мм. и почти такой-же величины котель, какъ и первый, но позволяющій поднимать давленіе до 17,5 ^{кг}/см². При вполнѣ открытомъ регуляторѣ и скорости въ 64,360 ^{км}/ч были произведены 6 серій опытовъ съ давленіемъ въ 6,32; 8,43; 10,54; 12,65; 14,76 и 16,87 ^{кг}/см². Каждая серія состояла изъ 3-хъ опытовъ съ отсѣчкою въ 75⁰/о, 67⁰/о и 60⁰/о полного хода (впускъ уменьшали, такъ какъ, при такой большой скорости и давленіи, котель не могъ доставить требуемое количество пара).

Результаты опытовъ также показали, что расходъ пара уменьшается съ увеличеніемъ давленія, но вмѣстѣ съ тѣмъ наименьшій расходъ пара въ паровозѣ № 2 превысилъ таковой для паровоза № 1 и наилучшій экономическій коэффициентъ, полученный при давленіи пара въ 17,57^{кг}/см², былъ ниже наилучшаго экономическаго коэффициента, полученнаго для паровоза № 1 при давленіи пара = 9,84^{кг}/см². Это показываетъ, что второй паровозъ не приспособленъ для работъ при такихъ высокихъ давленіяхъ пара и имѣетъ много недостатковъ.

Изъ этихъ опытовъ ясно, что вообще даже *небольшіе недостатки въ механизмѣ быстро уничтожаютъ экономию отъ увеличенія давленія пара, когда паровозы работаютъ при такихъ высокихъ давленіяхъ* и поэтому помимо *высокаго конструктивнаго совершенства и тщательной постройки* подобные паровозы требуютъ *несравненно болѣе внимательнаго ухода* иначе они не дадутъ *ожидаемыхъ выводовъ*.

§ 99. Вліяніе величины хода золотниковъ.

При данномъ золотникѣ (и слѣдовательно постоянной величины перекрышъ), ходъ его имѣетъ очень большое значеніе, такъ какъ чѣмъ онъ больше, тѣмъ золотникъ движется быстрѣе и слѣдовательно тѣмъ скорѣе открываетъ паровпускные и выпускные каналы, черезъ что паденіе давленія при впускѣ и повышеніе давленія при выпускѣ уменьшаются и увеличивается среднее индикаторное давленіе при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ. Это было подтверждено и на опытѣ: на ж. д. Чикаго-Берлингтонъ-Квинси были паровозы, которые при давленіи пара въ 9,7 ат. (діаметръ цилиндровъ = 508 мм., ведущихъ колесъ = 1321 мм.) будучи очень хорошими при среднихъ скоростяхъ, оказались не пригодными при увеличеніи скорости: котлы не допускали увеличенія давленія, паровые каналы были узки и пр. Рѣшили, оставивши все по прежнему, увеличить ходъ золотниковъ съ 127 на 140 мм., поставивши другіе эксцентрики. Полученныя діаграммы переставлены на фиг. 353. Несмотря на увеличеніе скорости на 13⁰/о, среднее индикаторное давленіе увеличилось на 9,5⁰/о,

паровозы могли возить скорые поѣзда и расходъ угля на поѣздо-версту уменьшился съ $\frac{1}{19,22}$ до $\frac{1}{25,83}$ *t*, почему котлы могли доставлять требуемое количество пара.

§ 100. Зависимость расхода пара отъ діаметра ведущихъ колесъ.

Изъ § 94 видно, что среднее индикаторное давленіе обратно пропорціонально скорости паровоза или, для даннаго паровоза,—числу оборотовъ ведущихъ колесъ. Одна изъ причинъ паденія заключается въ слишкомъ большой скорости поршня (§ 6) и слѣдовательно чѣмъ эта скорость меньше, тѣмъ выгоднѣе. Этого уменьшенія можно достигнуть путемъ увеличенія діаметра ведущихъ колесъ, что влечетъ, при той же скорости, кромѣ того и уменьшеніе расходовъ на ремонтъ паровоза.

Опыты Forsyth (см. его докладъ въ Western Railway Club въ февралѣ 1893 г.) вполне это подтвердили: были взяты два совершенно одинаковые паровоза, но съ разными діаметрами ведущихъ колесъ. Опыты, при томъ-же составѣ поѣздовъ, скорости (64 км/ч) и давленія въ котлѣ, дали слѣдующіе результаты:

№ паровоза	Среднее давленіе въ котлѣ	Діаметръ ведущихъ колесъ	Расходъ пара въ часъ на 1 HP
	at.	mm.	kg.
№ 145	10,7	1727	14,9
№ 150	10,5	1575	15,9

Такимъ образомъ, съ указанной точки зрѣнія, паровозы съ большими колесами—выгоднѣе. Диаграммы, снятыя при этихъ опытахъ, показаны на фиг. 354.

Примѣненіе принципа Compound къ паровозамъ.

§ 101. Въ настоящее время мнѣнія о паровозахъ системы Compound рѣзко различаются между собою и въ то время, какъ въ С. Америкѣ и Англии эта система примѣняется не охотно и въ Бельгіи совсѣмъ заброшена, въ Германіи и Австріи наоборотъ—паровозы Compound строятся повсемѣстно. Въ Англии предубѣжденіе противъ этихъ паровозовъ настолько велико, что не только рѣдко строятъ новые паровозы Compound, но даже старые, вполне удовлетворительно работающіе, передѣлываютъ

на паровозы простого расширенія. Напр. на ж. д. „Great Eastern“, гдѣ впервые примѣнена система Worsdell'я, паровозы—Compound уже исчезли. На жел. дор. „North Western“—186 паровозовъ—Compound о 2-хъ спарен. осяхъ передѣланы на простые и даютъ прекрасные результаты. На жел. дор. „North Eastern“ всѣ новые паровозы со спаренными колесами имѣютъ машины простого расширенія. Особенно цѣнны данныя за 3 года, собранныя на Англ. Сѣв.-Вост. ж. д. Worsdell'емъ. 447 обыкновенныхъ паровозовъ израсходовали при пробѣгѣ 14.807,260 мили—4.829,040 центнеровъ угля, т. е. 36,52 англ. фунта угля на 1 милю. Между тѣмъ 395 паровозовъ—Compound сдѣлали пробѣгъ 13.799,482 мили и израсходовали 4.122,239 центнеровъ угля, т. е. на 1 милю 33,45 англ. фунта и слѣдовательно въ среднемъ дали экономію въ 8,4%. Эта экономія колебалась очень широко—въ предѣлахъ отъ 0% до 23,8%. Всѣ-жъ таки отъ паровозовъ—Compound отказались, надо полагать, только по причинѣ хорошаго и дешеваго угля и весьма экономной работы обыкновенныхъ паровозовъ.

Даже машины съ 4 цилиндрами строятся въ послѣднее время простого дѣйствія, напр. на ж. д. Caledonian Railway по проѣкту Drummond'a и на ж. д. Glasgow and South Western Railway по проѣкту Morrisson'a (для давленія пара въ 12 ат. и силы тяги до 12000 kg. и больше).

Въ Америкѣ, изъ всѣхъ строителей, горячихъ приверженцевъ системы Compound, гарантирующихъ экономію, осталось только двое, остальные-же строятъ эти паровозы только по заказу, отвѣчая лишь за исполненіе и матеріаль. Въ 1899 году изъ всего числа построенныхъ въ Америкѣ паровозовъ = 2473, паровозовъ—Compound было только 339, т. е. 14%. Но вмѣстѣ съ тѣмъ на ж. д. Northern Pacific-Bahn въ 1897 и 1898 г. въ теченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ производились весьма обширные опыты надъ обыкновенными паровозами и системы Compound и по докладу директора этой дороги инж. Herr'a въ Western Railway Club, послѣдніе дали въ среднемъ экономію въ 14,6% (при поѣздахъ въсомъ 454—500 t.), которая была тѣмъ выше, чѣмъ поѣзда были тяжелѣе *).

Паровозы—Compound до сихъ поръ обладаютъ многочисленными конструктивными недостатками (въ особенности неудовлетворительнымъ парораспредѣленіемъ, конусами и несоотвѣтственными цилиндрами), которые вліяли на экономичность ихъ дѣйствія, почему результаты опытовъ часто рѣзко противорѣчатъ другъ другу. Напр. по докладу Queerbeau паровозы—Compound съ 2 цилиндрами на ж. д. Чикаго-Берлингтонъ-Квинси

*) Произведенные въ послѣднее время опыты на жел. дор. Norfolk and North Western RR; Western New-York and Pennsylvania RR и др. съ чрезвычайною тщательностью также доказали большую экономичность паровозовъ—Compound (системы Vauclain'a)

дали для пассажирскихъ поѣздовъ перерасходъ въ 30% сравнительно съ 40 обыкновенными паровозами, при чемъ перерасходъ возрасталъ со скоростью. Почти одновременно изъ сравнительныхъ опытовъ на Эрфуртскомъ участкѣ казенныхъ германскихъ ж. д. паровозовъ Compound съ цилиндрами въ 440 и 660×600 мм. и обыкновенныхъ съ цилиндрами 430×600 мм.—найдено, что первые (для скоростей 50—90 км/ч) даютъ экономію пара въ 18,2% и угля въ 20,2%, при чемъ экономія возрастаетъ со скоростью.

Такимъ образомъ, изслѣдуя паровозы Compound, необходимо принимать во вниманіе всѣ обстоятельства ихъ работы и вліяніе всѣхъ частей механизма, тщательно ихъ изучая, чтобы выяснитъ причины иногда случающейся невыгодности этихъ паровозовъ, примѣненіе которыхъ *должно быть выводно*. При надлежащей конструкціи они *всегда* даютъ экономію и слѣдовательно должны примѣняться тамъ, гдѣ топливо дорого, напр. въ Россіи, и поэтому на ихъ изученіе необходимо обратить самое серьезное вниманіе.

§ 102. Первые опыты съ паровозами Compound были, по большей части, весьма удачны и, сравнительно съ несовершенными въ то время обыкновенными паровозами, они давали очень большую экономію, доходившую до 25%. Поэтому нѣкоторыя желѣзныя дороги передѣлывали свои паровозы въ Compound, но результаты передѣлокъ обыкновенно бывали очень плохи. Напримѣръ, на Грязе-Царицынской желѣзной дорогѣ 8-колесные нормальные паровозы завода Русскаго Общества передѣлали въ Compound, безъ измѣненія діаметровъ цилиндровъ и давленія въ котлѣ. Нормальный паровозъ на подъемѣ въ 0,008, при поѣздѣ въ 45 вагоновъ и скорости $v = 13$ верстъ въ часъ, развивалъ до передѣлки (при отсѣчкѣ въ 55%) силу тяги = 9024 кг. Послѣ передѣлки оказалось, что, не впуская на этомъ подъемѣ свѣжій паръ въ ресиверъ, такую силу тяги получить невозможно, т. е. она уменьшилась и паровозъ вмѣсто 45 могъ возить только 36 вагоновъ. Если-же на подъемахъ впускать въ ресиверъ паръ, то не только покрывалась вся экономія, получаемая на остальной части пути, но являлся даже перерасходъ. Чтобы не тормазить движеніе, оставалось одно: передѣлать паровозы обратно въ нормальные.

Изъ подобныхъ фактовъ многія лица, служащія на желѣзныхъ дорогахъ, даже начальствующія, вынесли извѣстное предубѣжденіе противъ этой системы, что было, понятно, только слѣдствіемъ недоразумѣнія. Система Compound можетъ дать значительныя выгоды только при соблюденіи вполне опредѣленныхъ условій: при употребленіи надлежащихъ діаметровъ цилиндровъ, степеней отсѣчекъ и при высокомъ давленіи въ котлѣ. Кромѣ того необходимо озаботиться, чтобы при большихъ скоростяхъ сжатіе мятого пара не было слишкомъ велико, т. е. слѣдуетъ давать золотникамъ внутреннія отрицательныя перекрыши и паровыпуск-

нымъ давать окнамъ значительные размѣры. Несоблюденіе этого—одна изъ причинъ малой выгоды многихъ паровозовъ Compound.

Замѣтимъ, что значительный недостатокъ этихъ паровозовъ заключается еще въ сложности ихъ механизма, въ особенности 4-хъ цилиндрическихъ паровозовъ и съ независимыми парораспределительными механизмами, при чемъ дополнительные расходы по уходу и ремонту паровозовъ могутъ превзойти часто незначительную экономію въ потребленіи угля. Это, на примѣръ, и показали сравнительные опыты на Восточныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогахъ съ обыкновеннымъ паровозомъ и 4-хъ цилиндрическимъ паровозомъ Compound французской Сѣверной желѣзной дороги. Оказалось, что экономическія выгоды отъ уменьшенія расхода угля практически свелись къ нулю, вслѣдствіе возрастанія издержекъ на устройство и уходъ. Поэтому необходимо заботиться о возможно *большемъ упрощеніи механизма паровоза*. Проф. Stévant находитъ, что въ данное время преимущества паровозовъ Compound можно считать вполне доказанными только относительно системы Mallet съ двумя цилиндрами, уходъ за которыми не дороже, чѣмъ за обыкновенными паровозами.

Не касаясь результатовъ многочисленныхъ опытовъ съ паровозами Compound, укажемъ на тѣ выводы, которые на основаніи ихъ дѣлаютъ изслѣдователи. Замѣчено, что *при большихъ скоростяхъ паровозы Compound утрачиваютъ въ значительной степени свои преимущества*, такъ какъ 1) при большихъ скоростяхъ и у обыкновенныхъ паровозовъ степень расширенія довольно высока и = 4—5 и такъ какъ начальная конденсація уменьшается со скоростью поршня, то слѣдовательно обыкновенные паровозы и паровозы—Compound въ этомъ отношеніи отчасти уравниваются; 2) съ другой стороны, у паровозовъ Compound, вслѣдствіе меньшаго числа выхлоповъ пара, противодавленіе значительно возрастаетъ со скоростью и они утрачиваютъ отчасти ту плавность хода, которую имѣютъ при малыхъ скоростяхъ; 3) кромѣ того, потеря давленія пара при проходѣ изъ малаго цилиндра въ большой черезъ нѣсколько узкихъ отверстій и ресиверъ, будучи небольшою при малыхъ, возрастаетъ при большихъ скоростяхъ. Поэтому въ паровозахъ Compound расходъ воды на *1HP* возрастаетъ со скоростью, тогда какъ иногда случается, что для нормальныхъ паровозовъ этотъ расходъ или увеличивается менѣе значительно или даже уменьшается, что на примѣръ, видно изъ данныхъ опытовъ Quegneau. Онъ нашелъ при своихъ сравнительныхъ опытахъ слѣдующія данныя:

1. Для паровоза Compound съ 2 цилиндрами (вѣсъ съ тендеромъ = 92 t. при вѣсѣ поѣзда 476 t.)

Скорость версть въ часъ	Число оборотовъ	Расходъ воды на kg/HP
32,0—46,8	104—152	8,31
49,4—61,7	160—200	8,57
66,6—74,0	216—240	8,94
78,9—89,9	256—272	9,71

и 2. Для нормальныхъ паровозовъ

Скорость версть въ часъ	Число оборотовъ	Расходъ воды на kg/HP
46,5	151	9,84
67,5	219	9,48
78,0	253	9,31
94,5	307	9,18
99,0	321	9,08

Слѣдовательно, есть такая скорость, когда данный нормальный паровозъ оказывается болѣе выгоднымъ, чѣмъ данный паровозъ Compound.

Преимущество же паровозовъ Compound, которое они сохраняютъ и для большихъ скоростей, состоитъ въ большей равномерности давленія, приложеннаго къ пальцу кривошипа.

Ролюсеан, кромѣ того, считаетъ, что *машины Compound выгодны только при постоянной работѣ и значительная часть ихъ преимуществъ теряется, если величина ихъ работы измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ.*

Въ виду сказаннаго многіе считаютъ, что *паровозы Compound выгодны только для товарныхъ поездовъ и тѣмъ выдннее, чѣмъ поездъ тяжелее. При большихъ же скоростяхъ выдннее обыкновенные паровозы.*

Подобный взглядъ, основанный на опытныхъ данныхъ, понятно, съ усовершенствованіемъ деталей паровозовъ Compound, долженъ измѣниться, и паровозы Compound тогда станутъ также выгодны и для пас-

сажирскихъ поѣздовъ, какъ для товарныхъ, что уже и замѣчается и въ настоящее время.

§ 103. Изъ предыдущаго § мы видѣли, что бываютъ такія обстоятельства, при которыхъ *обыкновенные существующіе паровозы иногда бываютъ выгоднѣе существующихъ паровозовъ Compound*. Задача изслѣдователя, при сравнительныхъ опытахъ, заключается въ томъ, чтобы найти границы, въ предѣлахъ которыхъ примѣненіе изслѣдуемыхъ паровозовъ Compound выгодно; найти тѣ условія, при соблюденіи которыхъ эти предѣлы могутъ быть раздвинуты, и тѣ причины, которыя вызываютъ ихъ суженіе и которыя должны быть устранены.

Подобные сравнительные опыты производились весьма часто *). Изъ нихъ упомянемъ о слѣдующихъ:

1. Опыты Leitzmann'a, произведенные на прусскихъ желѣзныхъ дорогахъ въ 1889 и 1890 г. съ пассажирскими и товарными обыкновенными паровозами и системы Compound, которые имѣли почти совершенно одинаковую конструкцію и находились въ хорошемъ состояніи **). Опыты были весьма обширны: однѣхъ діаграммъ было снято болѣе 2000. Результаты ихъ представлены на фиг. 355 и 356,—на первой для пассажирскихъ и на второй для товарныхъ паровозовъ, причемъ пунктиромъ показаны расходы пара при различныхъ скоростяхъ для паровозовъ—Compound, а сплошными—для обыкновенныхъ паровозовъ, какъ функции произведенной индикаторной работы. Для точекъ пересѣченія соответствующихъ кривыхъ расходъ пара для обѣихъ системъ одинаковъ; при увеличенной работѣ начинается выгода паровозовъ Compound. Напримѣръ, для скорости въ 70 km/h при работѣ около 515 HP расходъ пара для пассажирскихъ паровозовъ обѣихъ системъ одинаковъ; при меньшей работѣ выгоднѣе обыкновенные паровозы, при большей—Compound.

Какъ всегда, изъ цѣлаго ряда діаграммъ, снятыхъ при аналогичныхъ обстоятельствахъ (отсѣчкѣ, скорости), находили среднюю диаграмму, отбрасывая случайныя ненормальности. Таковыя, напримѣръ, представлены на фиг. 357 для обыкновеннаго пассажирскаго паровоза при отсѣчкѣ въ $22,5\%$, когда онъ развивалъ 430 HP и на фиг. 358 для пассажирскаго паровоза Compound для той же скорости 50 km/h и того же расхода пара, причемъ отсѣчка должна была быть $= 45\%$. Если послѣднія діаграммы ранжировать и совмѣстить съ соответствующей діаграммою обыкновеннаго паровоза, предполагая, что ходъ его увеличенъ вдвое, то получимъ фиг. 359, изъ которой весьма ясно видны сравнительныя потери

*) Результаты нѣкоторыхъ изъ нихъ, напр. Lochner'a—приведены раньше.

**) Диаметръ цилиндра обыкновеннаго паровоза былъ $=$ диаметру малаго цилиндра паровоза Compound. Отношеніе объемовъ большого и малаго цилиндровъ послѣднихъ паровозовъ $= 2:1$.

и прибыли работы паровозовъ этихъ системъ (расходъ пара на 1 *HP* въ данномъ случаѣ для паровозовъ Compound былъ на 5% больше). Здѣсь происходятъ потери давленій 1) $p_3 - p_1$ (гдѣ p_1 = давленію въ ресиверѣ), вслѣдствіе конденсаціи пара и преодоленія сопротивленія на пути изъ малаго цилиндра въ ресиверъ; 2) $p_2 - p'_1$ при переходѣ пара изъ ресивера въ большой цилиндръ и 3) p'_1 и p'_2 , вслѣдствіе конденсаціи при выскѣ въ большой цилиндръ и неудовлетворительности паропроводныхъ каналовъ. Для избѣжанія этихъ потерь необходимо: а) дѣлать паровые каналы достаточно широкими; б) увеличить объемъ ресивера и с) защищать его и большой цилиндръ отъ охлажденія. Последнее условіе выполняется, но первыя—очень рѣдко и поэтому кривая расширенія *a* на много не доходить до кривой *D*, давая главную потерю работы.

Изъ фиг. 359 видно, что главная прибыль паровозовъ Compound заключается въ меньшемъ сжатіи пара, что и составляетъ одно изъ главнѣйшихъ ихъ преимуществъ, кромѣ уменьшенной конденсаціи. Для сравненія привожу еще такія-же соединенныя діаграммы (фиг. 360) для товарныхъ паровозовъ при скорости въ 30 км/ч, давленіи въ котлѣ 10 ат. Отсѣчка въ обыкновенномъ паровозѣ = 22,5% и было развито 370 *HP*. При этомъ паровозы Compound дали выгоду въ 8%, вслѣдствіе очень выгоднаго сжатія.

Эти интересные опыты, къ сожалѣнію, не имѣютъ никакой практической цѣны, такъ какъ паровозы работали при ненормальныхъ условіяхъ, напримѣръ: пассажирскіе обыкновенные паровозы не были приспособлены для ѣзды съ большими скоростями, тѣмъ не менѣе ихъ заставляли возить скорые поѣзда и при этомъ сравнивали съ паровозами Compound, которые подобныя скорости развивали легко. Наоборотъ: обыкновенные товарные паровозы имѣли давленіе въ котлѣ = 10 ат. и поэтому паровозы Compound, имѣвшіе 12 ат., заставляли работать при 10 ат., тогда какъ увеличеніе давленія на 2 ат., по опытамъ того-же Leitzmann'a, давало значительную экономію. Понятно, при такихъ условіяхъ результаты „сравненія“ оказались сомнительными, на что и указалъ Borties.

Вообще подобныя сравнительные опыты, имѣющіе цѣлью опредѣлить сравнительную выгоду примѣненія принципа Compound, должны быть обставлены исключительно благоприятно и отнюдь паровозы нельзя ставить въ ненормальныя условія работы. Лучше всего было-бы—построить два одинаковыхъ паровоза съ одинаковымъ давленіемъ въ котлѣ и проч., но только разныхъ системъ, т. е. одинъ—обыкновенный, второй—Compound и тогда, принявши во вниманіе при ихъ постройкѣ всѣ выясненныя выше требованія, сравнить ихъ работу на практикѣ.

2. Изъ необыкновенно тщательныхъ опытовъ, какъ примѣръ, укажемъ на сравнительные опыты на желѣзной дорогѣ London-North-Western въ Англій. Два 8-ми колесныхъ паровоза, обыкновенный и Compound

почти совершенно одинаковые и только что построенные въ мастерскихъ дороги по проекту Webb'a, взяли совершенно равные угольные поѣзда (строго опредѣленнаго вѣса) и везли ихъ рядомъ на двухъ путяхъ; индикаторныя діаграммы снимались одновременно и черезъ извѣстные промежутки времени. Топили ихъ однимъ и тѣмъ-же углемъ. По возвращеніи обратно, ихъ снова послали, помѣнявши поѣзда одинъ на другой. Такимъ образомъ были приняты всѣ мѣры предосторожности, чтобы условія работы были одинаковы. Въ концѣ опытовъ, огня въ топкѣ оставалось весьма немного и воду въ котлѣ привели къ одинаковому уровню. Средняя скорость была 17,74 мили въ часъ, наибольшая—34, полный пробѣгъ = 96 миль. При этихъ условіяхъ паровозъ—Comround израсходовалъ угля на 19,84% меньше, развивая наибольшее число силъ = 656, противъ 608,6 для обыкновеннаго паровоза *).

3. Очень интересны послѣдніе сравнительные опыты, произведенные въ концѣ 1898 г. въ лабораторіи университета Purdue между двухцилиндровымъ паровозомъ однократнаго расширения и быстроходнымъ четырехцилиндровымъ системы Comround, построеннымъ на заводѣ Бальвина. Послѣдній одинъ изъ самыхъ сильныхъ паровозовъ, извѣстныхъ до настоящаго времени: онъ долженъ былъ развивать до 1600 *HP*.

Найденный расходъ пара на 1 *HP* въ часъ, какъ функція отсѣчки—изображенъ графически на фиг. 361. Какъ видно—этотъ расходъ для паровоза Comround, въ предѣлахъ наиболѣе употребляемыхъ отсѣчекъ (30—70%), очень постояненъ и равенъ 6,5—7 kg. Для обыкновеннаго-же паровоза—minimum этого расхода = 11 kg. при отсѣчкѣ около 30% и затѣмъ быстро возрастаетъ. Слѣдовательно, паровозомъ Comround, пользуясь большими наполненіями и тѣмъ не менѣе очень экономно, можно возить очень тяжелые быстроходные поѣзда, что надо приписать здѣсь: уменьшенію противодавленія со стороны выпуска, благодаря весьма большимъ открытіямъ оконъ, и значительному уменьшенію сжатія въ концѣ хода. Это ясно и изъ фиг. 362, показывающей зависимость развитой индикаторной работы отъ числа оборотовъ колесъ въ 1 мн.: въ паровозахъ Comround эта работа возрастаетъ непрерывно, въ обыкновенномъ же паровозѣ индикаторная работа повышалась только до 210 оборотовъ (что соотвѣтствуетъ „критической скорости“ этого паровоза) и дальше быстро уменьшается, вслѣдствіе плохой утилизаціи пара, что и подтверждается изслѣдованіемъ индикаторныхъ діаграммъ.

Фиг. 363 указываетъ часовой расходъ пара на 1 *HP* въ зависимости отъ скорости при одинаковой работѣ въ обѣихъ машинахъ, при чемъ отсѣчка въ простомъ паровозѣ = 29% и въ цилиндрѣ высокаго дав-

*) Перечень другихъ извѣстныхъ опытовъ—см. въ спискѣ литер. источниковъ.

ления паровоза Compound=57,5%. Преимущество на сторонѣ паровоза—Compound.

Съ цѣлью подтвердить эти лабораторные опыты на практикѣ были совершены опытные поѣздки. Каждый изъ паровозовъ везъ поѣздъ въ 325 т. на пути съ подъемомъ въ 0,011; средняя скорость паровоза Compound была 57,9 км/ч., второго—53,9 км/ч. Обыкновенный паровозъ при этомъ развивалъ свою наибольшую работу, паровозъ-же Compound еще имѣлъ запасъ на случай увеличенія состава поѣзда или скорости движенія. Индикаторныя работы изображены линиями фиг. 364. Паровозъ Compound развивалъ на 1170—965=205 лошадей больше въ часъ или на 21% всей работы при одномъ и томъ-же расходѣ горячаго.

§ 104. Къ 4-хъ цилиндровымъ паровозамъ, какъ извѣстно, примѣняется и система *Woolf*, на примѣръ системы *Woolf-tandem* (паровозы завода Krauss'a въ Мюнхенѣ—фиг. 365) и *Vauclain'a* (завода Baldwin'a—фиг. 366). При индикаторныхъ опытахъ съ ними получаютъ, въ зависимости отъ способа дѣйствія пара, особаго вида диаграммы. Какъ примѣръ, привожу данныя сравнительныхъ опытовъ *du-Bousquet*, произведенныхъ съ тендеръ-паровозомъ *tandem-Woolf* Сѣверныхъ французскихъ желѣзныхъ дорогъ (дiameterъ цилиндровъ = 380 mm. и 660 mm., 4 спаренныхъ оси diameterомъ 1,30 m. Вѣсъ паровоза = 44,7 t.) и съ обыкновеннымъ паровозомъ, по размѣрамъ подходящимъ къ предыдущему и который по тѣмъ-же путямъ возилъ одинаковые поѣзда. На фиг. 367—369 представлены диаграммы, снятыя съ перваго паровоза, на фиг. 370—372 со второго при подходящихъ условіяхъ.

	Діаграммы, представленныя на фигурахъ					
	в. 367	об. 370	в. 368	об. 371	в. 369	об. 372
Нагрузка tn	675	450	750	662	896	675
Профиль пути	Гориз.	Гориз.	5 1/2 mm	5 mm	Гориз.	Гориз.
Скорость въ км/ч.	20	35	21	19	Пуск. въ ходъ	
Впускъ въ пил. (или для <i>Woolf</i> въ м. цилинд.)	35 1/2%	33%	54 1/2%	41%	82%	83%
Работа въ kgm б. пил. м пил.	1651 } 3141 1490 }	3151	3265 } 6667 3402 }	6482	5049 } 10764 5715 }	11318
Вѣсъ пара, потрачен. на 1 ходъ поршня, найден. къ индикат. діаграммъ въ граммахъ	91,66		188,2		367,7	
Экономія въ %	3,20		16,16		26,4	

Какъ видимъ, и эти паровозы даютъ экономію. Какъ сказано выше, опыты съ паровозами Vaucrain'a въ Сѣверной Америкѣ также указали, что они экономичнѣе обыкновенныхъ паровозовъ.

§ 105. Примѣненіе перегрѣтаго пара.

Примѣненіе перегрѣтаго пара къ паровымъ машинамъ уже давно занимаетъ умы техниковъ и въ настоящее время существуетъ много постоянныхъ машинъ, дѣйствующихъ этимъ паромъ и дающихъ очень значительную экономію пара. Въ послѣднее время появились примѣры, хотя и единичные, примѣненія перегрѣтаго пара и къ паровозамъ и этому, безспорно, принадлежитъ большая будущность, почему мы скажемъ о перегрѣтомъ парѣ нѣсколько словъ. Изъ предыдущаго извѣстно, что главная потеря пара въ паровыхъ машинахъ является слѣдствіемъ начальной его конденсаціи при впускѣ въ цилиндръ. Впускаемый паръ конденсируется потому, что, подъ вліяніемъ охлаждающаго дѣйствія холодныхъ стѣнокъ цилиндра, его температура падаетъ ниже точки его насыщенія при данномъ давленіи. Если же паръ будетъ перегрѣтъ до температуры значительно высшей, чѣмъ температура испаренія, на примѣръ на 100°, то при охлажденіи его во время впуска, даже, на примѣръ, на 80—90°, всё-же онъ конденсироваться не будетъ, такъ какъ въ результатѣ его температура еще на 10—20° будетъ выше точки насыщенія. Такимъ образомъ при надлежащемъ перегрѣвѣ начальной конденсаціи не должно быть, а слѣдовательно расходъ пара долженъ значительно уменьшиться, тѣмъ болѣе, что перегрѣтый паръ, приближаясь по своимъ свойствамъ къ постояннымъ газамъ,—обладаетъ *очень плохой теплопроводностью*. Слѣдовательно паръ было-бы достаточно перегрѣтъ на величину соответствующаго охлажденія при впускѣ, но оказывается, что чѣмъ выше перегрѣваніе, тѣмъ больше получается выгоды. Причина заключается въ слѣдующихъ основныхъ свойствахъ перегрѣтаго пара:

1. При перегрѣваніи пара *упругость его не мѣняется, но изменяются только тепловое состояніе и объемъ*. Такимъ образомъ можно паръ какъ низкаго, такъ и высокаго давленія перегрѣтъ до одной и той-же температуры, не измѣняя ихъ упругости.

2. Сильно перегрѣтые пары имѣютъ *свойства газовъ* и различіе заключается только въ томъ, что состояніе газообразное болѣе отдалено отъ точки насыщенія, чѣмъ состояніе перегрѣтаго пара, который можетъ также расширяться до атмосферной упругости.

3. Значительно увеличенный объемъ перегрѣтаго пара при той-же упругости дастъ возможность *при наполненіи даннаго объема* (на примѣръ части цилиндра при какой-нибудь опредѣленной отсѣчкѣ) *употреблять меньшее въсовое его количество*, чѣмъ то, которое требуется для производства

той-же работы влажнымъ или насыщеннымъ паромъ. Но объемъ увеличивается пропорціонально степени перегрѣва и слѣдовательно, чѣмъ выше перегрѣваніе, тѣмъ значительнѣе выгода, и тѣмъ является меньшій расходъ пара на лошадиную силу. Замѣтимъ, что теплоемкость перегрѣтаго пара считается почти постоянной и $= 0,48$. Чтобы возвысить его температуру, напримѣръ, отъ 180° до 350° при 6 атмосферахъ давленія, требуется затратить 81,6 единицъ теплоты и при этомъ объемъ его увеличивается на 35%. Если-же увеличить объемъ пара на ту-же величину, оставляя температуру его постоянной и прибавляя новое количество насыщеннаго пара, нужно затратить 231 единицу теплоты. Такимъ образомъ гораздо *выгоднѣе увеличить объемъ пара перегрѣваніемъ, чѣмъ испареніемъ новаго количества воды.*

Вслѣдствіе этихъ свойствъ перегрѣтаго пара, ожидали при примѣненіи его не только уменьшенія расхода топлива и пара, но и упрощенія конструкціи машинъ, такъ какъ при этомъ можно избѣгнуть устройства машинъ многократнаго расширенія и паровыхъ рубашекъ, главная выгода которыхъ и заключается въ уменьшеніи начальной конденсаціи. Но первое время примѣненіе высоко-перегрѣтаго пара встрѣтило непродолимое препятствіе въ употребленіи для смазки паровыхъ машинъ растительныхъ маслъ, которыя при высокихъ температурахъ разлагались и при этомъ цилиндры быстро истирались поршнями и вообще машины сильно страдали. Поэтому принужденъ были перегрѣтый паръ оставить и добиться экономіи пара путемъ конструктивнаго усовершенствованія машинъ. Съ появленіемъ машинъ системъ Зульцера, Корлиса и др., въ этомъ отношеніи достигли почти совершенства и такъ какъ для смазки появились уже минеральныя масла, которыя не измѣняются при температурахъ, доходящихъ до 380° , то снова обратились къ идее примѣненія перегрѣтаго пара и, при устраненіи главной причины бывшихъ неудачъ, достигли результатовъ, превышающихъ самыя смѣлыя ожиданія: машины, работающія перегрѣтымъ паромъ, даютъ теперь никогда невиданную раньше экономію топлива.

Для сравненія привожу напр. данныя, приводимыя Donkin'омъ на основаніи опытовъ, произведенныхъ извѣстными изслѣдователями Linde, Schröter'омъ и Vinçotte'омъ надъ машинами Зульцера въ теченіе послѣднихъ 20 лѣтъ. Эти опыты заслуживаютъ наибольшаго довѣрія. Всѣ машины горизонтальныя и съ охлажденіемъ (см. таб. на стр. 282).

Такимъ образомъ, въ среднемъ, можно считать расходъ насыщеннаго пара: для одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ—отъ 8 $kg./HP$ и выше; для Compound—отъ 6,5 $kg./HP$ и выше и для тройнаго расширенія—отъ 5,2 $kg./HP$ и выше.

Между тѣмъ при употребленіи перегрѣтаго пара расходъ значительно понижается, напр. изъ опытовъ проф. Schröter'a надъ двигателями

Горизонтальныя машины Зульдера съ охлажденіемъ	Число индикат. силъ	Расходъ пара на 1 инд. силу въ часъ, за вычетомъ расхода на конденсацію въ трубахъ, но со включеніемъ конденсаціи въ рубашкахъ	Расходъ пара на 1 HP въ часъ, включая расходъ на конденсацію въ трубахъ	Примѣчанія
Одноцилиндровыя.	157—400	анг. ф. 17,9—19,2; Средн. 18,95 = 8,52 kg.	анг. ф. 18,7—19,8; Средн. 19,4 = 8,73 kg.	5 опытовъ 1872—78 г.
Compound (2-хъ кратнаго расшир.)	133—524	13,4—15,5; Средн. 14,3 = 6,43 kg.	13,45—16,0; Средн. 14,44 = 6,5 kg.	10 опытовъ 1882—91 г.
Тройнаго расшир. ренія.	198—615	11,7—12,7; Средн. 12,18 = 5,48 kg.	11,85—12,86; Ср. 12,36 = 5,56 kg.	6 опытовъ 1888—89 г.

системы Schmidt'a находимъ: 1) въ машинѣ системы тандемъ въ 60 силъ расходъ былъ только 4,55—4,87 kg. на 1 HP и 2) въ машинѣ системы Compound въ 400—750 силъ средній расходъ за непрерывную работу въ теченіе 3½ лѣтъ днемъ и ночью былъ только 3,9 kg. на 1 HP.

Вообще, по изслѣдованіямъ Paul Schou, машины—Compound, работающія перегрѣтымъ паромъ упругостью въ 11 ат., дадутъ такой-же коэффициентъ полезнаго дѣйствія, какъ машина четвернаго расширенія, работающая на 25 ат.

Этими немногими фактами ясно подтверждается неопровержимая выгода примѣненія перегрѣтаго пара, почему число подобныхъ машинъ увеличивается съ каждымъ днемъ. Даже умеренный перегрѣвъ полезенъ, такъ какъ онъ осушаетъ паръ. По словамъ проф. Schröter'a, примѣненіе перегрѣтаго пара даетъ развитію паровыхъ машинъ толчекъ, послѣдствія котораго сразу нельзя даже вполне оцѣнить.

Все сказанное, понятно, вполне относится и къ паровозамъ и отъ примѣненія къ нимъ перегрѣтаго пара надо ожидать очень большихъ послѣдствій, а именно: 1) благодаря уничтоженію начальной конденсаціи, можно совершенно упразднить паровозы многократнаго расширенія и 2) для полученія того же полезнаго дѣйствія можно уменьшить рабочее давленіе пара и слѣдовательно удешевить стоимость котловъ или, оставляя то же давленіе, достигъ значительно большихъ результатовъ, чѣмъ въ настоящее время.

Поэтому разрѣшеніемъ этого вопроса заняты уже нѣкоторые заводы (напр., Henschel & Sohn въ Касселѣ, Vulcan въ Штетинѣ и Borsig въ Берлинѣ) и желѣзнодорожныя компаніи (напр., Сѣверная французская желѣзная дорога). На послѣдней же выставкѣ въ Парижѣ въ 1900 году былъ заводомъ Borsig'a выставленъ уже и паровозъ, въ которомъ трубчатый пароперегрѣватель помѣщался въ дымовой коробкѣ и паръ, проходя по змѣвику, перегрѣвался горячими газами, подводимыми къ нему широкою трубою изъ топки. Паровозъ быстроходный, однократнаго рас-

ширения о $\frac{2}{4}$ спар. ос. Перегрѣвъ пара доводится до 296°. Исслѣдованіе этого паровоза произведено Borgies'омъ въ 1901 г. и результаты оказались не ниже, чѣмъ для подобнаго ему быстроходнаго 2-цилиндроваго Компаундъ-паровоза о $\frac{2}{4}$ спар. ос., который считается однимъ изъ лучшихъ образцовъ на прусскихъ желѣзныхъ дорогахъ. Но сказать что-нибудь опредѣленное въ этомъ отношеніи трудно, такъ какъ все находится еще въ сферѣ опытовъ и удачное разрѣшеніе этого вопроса (которое безспорно будетъ) принадлежить уже недалекому будущему.

§ 106. Такъ какъ перегрѣтый паръ по своимъ свойствамъ уже отличается отъ насыщенныхъ паровъ, то и законы, изложенные въ главѣ I, къ нему не примѣнимы.

Количество теплоты, потребное для обращенія 1 kg. воды при 0° въ перегрѣтый паръ температуры t' , легко опредѣлить. Вода прежде всего обращается въ насыщенный паръ температурою t^0 и упругостью p въ котлѣ, на что требуется λ единицъ теплоты. Затѣмъ на практикѣ этотъ паръ, при томъ же давленіи p , перегрѣвается до температуры t' въ пароперегрѣвателѣ, причемъ, при допущеніи постоянной теплоемкости $= 0,48$ онъ потребуетъ еще $0,48(t' - t)$ единицъ теплоты, всего же требуется

$$\lambda' = \lambda + 0,48(t' - t) = 606,5 + 0,305 t + 0,48(t' - t) \text{ kal.}$$

Какъ показываетъ это ур-іе, на перегрѣваніе пара расходуется, сравнительно съ тѣмъ количествомъ, которое потребно для образованія сухого пара изъ воды, очень небольшое количество теплоты, всего только около $\frac{1}{2}$ калоріи на 1° С. перегрѣва.

Очень важно знать законъ измѣненія состоянія перегрѣтаго пара во время расширенія и сжатія. На практикѣ пользуются для этого эмпирическою формулою Zeuner'a, которая достаточно точно выражаетъ (для встрѣчающихся на практикѣ предѣловъ) законъ адиабатическихъ измѣненій (т. е. въ теплопроницаемыхъ сосудахъ):

$$pv^n = \text{пост.}$$

При $n = 1,41$ эта формула можетъ быть допущена для адиабатическихъ измѣненій перегрѣтаго пара *).

*) Иногда при адиабатическомъ расширеніи перегрѣтаго пара пользуются уравненіемъ $pv^{4/3} = \text{пост.}$

ЧАСТЬ VIII-я.

Производство опытовъ.

§ 107. Изслѣдованіе паровоза можно раздѣлить на 3 вполне опредѣленныхъ періода:

1-й—*подготовительный*, заключающійся въ надлежащемъ приготовленіи паровоза и тендера для опытовъ и тщательномъ ихъ изученіи и измѣреніи въ холодномъ и горячемъ состояніи. Это безусловно необходимо, чтобы имѣть ясное представленіе о томъ механизмѣ, который изслѣдуется, и надлежащимъ образомъ исполненная подготовительная работа очень облегчаетъ позднѣйшее производство опытовъ.

2-й—послѣ подготовительной работы, производятся самые *опыты*, т. е. вѣрнѣе сказать—*опытные поѣздки*, въ теченіе которыхъ собираются всѣ необходимыя данныя для сужденія о паровозѣ и его работѣ при данныхъ условіяхъ, т. е.: опредѣляютъ расходъ воды и топлива, снимаютъ индикаторныя діаграммы, отмѣчаютъ всѣ обстоятельства, сопровождавшія опытъ (напр. погода, скорость и пр.), и необходимыя данныя для нахожденія сопротивленія поѣзда движенію и пр.

Въ этотъ періодъ опытовъ собирается, такъ сказать, „*сырой матеріалъ*“ и наконецъ наступаетъ 3-й, очень кропотливый, серьезный періодъ—*періодъ кабинетной обработки полученнаго сырого матеріала* и опредѣленія на основаніи его: силы тяги паровоза и сопротивленія его и поѣзда при различныхъ обстоятельствахъ, расхода угля и воды на 1 *НР*, коэффициента полезнаго дѣйствія паровоза, вліянія на его работу различныхъ обстоятельствъ и пр.

1-й — подготовительный періодъ.

§ 108. Выборъ и приготовленіе паровоза.

Изъ цѣлаго ряда паровозовъ данной серіи нужно выбрать такой, который наиболѣе соотвѣтствуетъ данному типу, не имѣя никакихъ рѣзкихъ уклоненій отъ него или конструктивныхъ недостатковъ, и былъ-бы въ вполне удовлетворительномъ состояніи. Съ выбраннымъ паровозомъ дѣлается предварительная „*пробная поѣздка*“ для опредѣленія всѣхъ его

недостатковъ (изъ которыхъ многіе можно найти только во время хода паровоза подъ парами), которые подробно описываютъ, и затѣмъ сдаютъ паровозъ для тщательнаго ремонта въ мастерскія. Пользуясь этой поѣздкой, слѣдуетъ опредѣлить его сопротивленіе движенію по одному изъ способовъ, изложенныхъ въ § 39.

Во время ремонта котель долженъ быть тщательно очищенъ отъ накипи, такъ какъ даже тонкій ея слой, вслѣдствіе своей нетеплопроводности, значительно уменьшаетъ паропроизводительность котла. Напр. это видно изъ опытовъ проф. Brechenridge'a, декана мех.-инж. отд. университета въ Иллинойсѣ, произведенныхъ надъ товарнымъ паровозомъ типа „Mogul“. Паровозъ былъ взятъ изъ депо послѣ 21 мѣсяца службы, когда въ котлѣ образовался слой накипи = 0,8—1,2 мм., и опредѣлили его паропроизводительность. Затѣмъ произвели такой-же опытъ послѣ его очистки и по замѣнѣ дымогарныхъ трубъ новыми и было найдено, что въ первомъ случаѣ паропроизводительность была меньше на 9,55%. При этомъ вода была хороша. При плохой-же водѣ, когда толщина слоя накипи увеличилась черезъ 6 мѣсяцевъ до 3 мм., потеря паропроизводительности достигала до 20—25%.

§ 109. Измѣреніе и калиброваніе паровоза.

Всѣ размѣры паровоза, имѣющіе какое бы то не было значеніе при его изслѣдованіи, должны быть точно измѣрены и занесены въ его формуляръ. При этомъ объемъ вредныхъ пространствъ всѣхъ цилиндровъ съ обѣихъ ихъ сторонъ опредѣляютъ, поставивши поршни въ ихъ мертвыя точки, заполняя вредныя пространства водою и измѣряя потребное на это количество ея. Также измѣряютъ объемъ ресивера. Этотъ формуляръ выдается на руки лицу, производящему изслѣдованіе паровоза, вмѣстѣ съ схематическимъ чертежомъ главныхъ частей паровоза: котла, конуса, парораспределительнаго механизма и проч.

Затѣмъ калибруютъ:

1. Тендеръ. Для этого устанавливають на 4-хъ его углахъ водомерныя стекла съ рейками становятъ его на точно вывѣренный горизонтальный путь. Потомъ вливають въ тендеръ воду по 100 литровъ *) и дѣлаютъ на всѣхъ рейкахъ соответствующія отмѣтки. Впослѣдствіи, во время опытныхъ поѣздокъ, измѣряя количество воды въ тендерѣ до и послѣ наливанія ея изъ путевыхъ крановъ, отсчитываютъ высоту ея на всѣхъ четырехъ стеклахъ и берутъ среднюю арифметическую.

2. Котель. Наполняютъ его весь водою и затѣмъ, выпуская ее обратно черезъ водомѣръ или измѣряя выпускаемую воду посредствомъ

*) Литръ = 0,081 ведра; 100 литровъ = 8,1 ведра. Вѣсъ одного ведра воды = 30,03 фунта, слѣд. 100 литровъ вѣсиль $8,1 \times 30,03 = 243,2$ фунта.

точно вымѣреннаго ящика или бака, вычисляютъ объемъ парового и водяного пространства въ котлѣ для каждаго желаемаго уровня, наблюдаемаго по водомѣрному стеклу. Выпуская по 100 литровъ, составляютъ такимъ образомъ шкалу при водомѣрномъ стеклѣ.

Затѣмъ снова наполняютъ котель водою до нулевой черты стекла и растапливаютъ его, поднимая давленіе до нормальнаго, и наблюдаютъ расширеніе воды, которое обыкновенно = приблизительно 10%. Потомъ изъ вымѣреннаго уже тендера накачиваютъ въ котель по 100 литровъ холодной воды. Давленіе падаетъ; его опять поднимаютъ до нормальнаго и дѣлаютъ слѣдующую отмѣтку. Поступая такимъ образомъ и дальше, получимъ при водомѣрномъ стеклѣ двѣ шкалы, по которымъ мы можемъ непосредственно отсчитывать для даннаго уровня въ котлѣ объемъ горячей воды и парового пространства при нормальномъ давленіи, а также объемъ холодной воды до растопки котла.

§ 110. Изученіе парораспределительнаго механизма.

Прежде всего необходимо провѣрить, нѣтъ-ли пропуска пара черезъ поршни, такъ какъ это можетъ дать совершенно невѣрные результаты при изслѣдованіи. Для этого укрѣпляютъ поршень въ какомъ нибудь его положеніи, отнимаютъ переднюю крышку и, выпустивши паръ съ задней стороны, смотрятъ, нѣтъ-ли просачиванія его. При этомъ можно опредѣлить количество теплоты, теряемой цилиндромъ черезъ лучеиспусканіе, пропуская черезъ цилиндръ паръ котлового давленія и взвѣсивая получаемое при этомъ количество пара g , стужившагося въ воду; если r = скрытой теплотѣ пара, то gr и будетъ = теплотѣ, потерянной черезъ лучеиспусканіе, но замѣтимъ, что вообще при этомъ получаются результаты преувеличенные и кромѣ того, обыкновенно, потеря эта настолько мала, что ея можно пренебречь.

Изслѣдованіе парораспределительнаго механизма очень важно. Здѣсь требуется тщательно опредѣлить для каждаго зубца распределительнаго диска тѣ части хода поршня, которыя соотвѣтствуютъ различнымъ моментамъ парораспределенія, и вычислить объемы, описываемые поршнемъ передъ наступленіемъ каждаго изъ этихъ моментовъ. Предварительно рессоры должны быть такъ вывѣрены, чтобы ось цилиндра находилась на надлежащей высотѣ съ ведущею осью, и, наполнивъ котель водою (т. е. приведя его въ рабочее состояніе⁴), устанавливаютъ паровозъ на горизонтальный путь, который необходимо имѣть для означеннаго изслѣдованія. Для того, чтобы точно знать, „на какой зубецъ“ диска поставленъ парораспределительный механизмъ, къ диску прикрѣпляютъ мѣдное кольцо m (фиг. 373—374), на которомъ ставятъ „0“ противъ того зубца, при которомъ ходъ золотника наименьшій и затѣмъ, начиная отъ него, всѣ остальные, для всѣхъ послѣдующихъ оборотовъ, нумеруютъ по порядку.

Тогда номеръ соответствующаго зубца прямо читаютъ противъ защелки n въ зависимости отъ числа оборотовъ диска.

Снявши теперь золотниковыя крышки, находимъ для всѣхъ положеній парораспределительнаго механизма, соответствующихъ каждому зубцу диска (двигая паровозъ), моменты отсѣчекъ для передняго и задняго хода и отсчитываемъ при этомъ на верхней параллели, на которой должны быть заранѣе нанесены зарубки, соответствующія мертвымъ положеніямъ поршня, пути, пройденные имъ въ $\%$ полного его хода.

Паровозы почти исключительно (за исключеніемъ маневровыхъ) ходятъ только впередъ, и во всякомъ случаѣ только для этого хода и производятъ ихъ изслѣдованіе, почему и изученіе механизма можно производить только для передняго хода паровоза.

Замѣтимъ, что для устраненія вліянія мертваго хода переводнаго винта, при измѣненіи отсѣчекъ необходимо всегда возвращаться назадъ на два-три зубца ниже даннаго и потомъ вращеніемъ впередъ (справа налево) устанавливать дискъ на зубецъ требуемаго номера. Слѣдуетъ всѣми силами добиваться того, чтобы парораспределеніе для обѣихъ сторонъ цилиндра было одинаково, т. е. отсѣчки были равны для каждаго положенія механизма. Если этого нѣтъ, то, слѣдовательно, существуютъ какіе-нибудь конструктивные недостатки паровоза, напримѣръ: не равны перекрыши золотника, неправильно расположены паровпускныя окна цилиндра и пр. Причину надо найти и, насколько возможно, устранить.

Какъ и всегда, удобнѣе вмѣсто таблицъ имѣть графическіе чертежи. Поэтому, откладывая по оси абсциссъ на равномъ разстояніи точки для всѣхъ номеровъ зубцовъ диска отъ 1-го до послѣдняго, на соответствующихъ ординатахъ отложимъ степени наполненія (находимыя по предыдущему) для каждаго изъ цилиндровъ при ходѣ поршня впередъ и назадъ (въ $\%$ его хода). Получимъ двѣ кривыя, какъ напримѣръ m и m_1 на фиг. 375. Беря среднія величины изъ этихъ ординатъ, получимъ кривую n , дающую величины среднихъ наполненій для обѣихъ сторонъ каждаго цилиндра.

Кромѣ того, желательно еще построить „золотниковыя эллипсы“ (см. § 68) для всѣхъ степеней наполненія (черезъ 10%) или хотя для наиболѣе употребительныхъ, которые могутъ быть очень полезны, какъ мы видѣли, для нахожденія всѣхъ моментовъ парораспределенія. Для этого, установивши дискъ на желаемый зубецъ, ставятъ поршень въ мертвое положеніе и, двигая затѣмъ паровозъ *впередъ*, останавливаютъ его черезъ каждыя 10% хода поршня и измѣряютъ передвиженіе золотника отъ средняго его положенія. Получаютъ такимъ образомъ все необходимое для построенія эллипса для даннаго положенія парораспределительнаго механизма (т. е. номера зубца и степени наполненія). Если паровозъ хорошо отремонтированъ и нѣтъ зазоровъ въ буксахъ ведущей оси, то послѣ полного оборота ведущей оси положеніе золотника должно быть

тоже самое, какъ и въ началѣ. Нанеся всѣ найденные эллипсы на одинъ листъ, получимъ чертежъ, представленный на фиг. 376. При этомъ, для сравненія, можно снять тѣ же диаграммы посредствомъ прибора Forney'a, описаннаго въ § 70. Всѣ, обнаруженные при этомъ, недостатки парораспредѣлительнаго механизма должны быть тщательно удалены.

Наконецъ, долженъ быть опредѣленъ „законъ дѣйствія регулятора“, см. § 92.

§ 111. Оборудование паровоза приборами.

Для производства опытовъ паровозъ долженъ быть снабженъ надлежащимъ комплектомъ приборовъ, а именно:

1. Манометрами:

- a) въ будкѣ машиниста для указанія давленія въ котлѣ;
- b) на золотниковой коробкѣ одного изъ цилиндровъ паровоза однократнаго расширенія или на обѣихъ коробкахъ паровоза—Compound;
- c) на ресиверѣ;
- d) на индикаторной паропроводной трубѣ, для получения шкалы давленій (см. § 64).

Трубки, идущія къ манометрамъ, должны быть діаметромъ 9—10 mm. и предохранены отъ охлажденія.

2. Водомѣрнымъ стекломъ типа § 49.

3. 4-мя водяными уровнями по 2 на паровозъ и тендеръ, расположенными по взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ, для приведенія ихъ въ горизонтальное положеніе.

4. Требуемымъ числомъ индикаторовъ, т. е. при изслѣдованіи паровозовъ однократнаго расширенія—не менѣе 2-хъ и при паровозахъ Compound—не менѣе 4-хъ, для одновременнаго снятія диаграммъ съ обѣихъ сторонъ цилиндровъ.

5. Измѣрителемъ скоростей. Ихъ лучше имѣть два—со стороны машиниста и со стороны наблюдающаго лица. Одинъ изъ нихъ можетъ быть и безъ автоматическаго записыванія, т. е. болѣе простой конструкціи.

6. Часами—тахометръ для провѣрки показаній измѣрителей скоростей (см. § 74).

7. Приборомъ для измѣренія разрѣженія въ дымовой коробкѣ (см. § 50—51) или, если такового нѣтъ, то вакуметромъ (лучше самозаписывающимъ), помѣщеннымъ въ будкѣ машиниста, съ приводною трубою діаметромъ около 40 mm.

8. Динамометромъ (см. § 71).

9. Если возможно (когда есть впереди подвижная ось или телѣжка), то приборомъ для записыванія колебательныхъ движеній паровоза (см. § 72), но можно обойтись и безъ этого прибора.

10. Желательно установить центральную смазку цилиндровъ и золотниковъ, съ видимымъ образованіемъ капель (напримѣръ посредствомъ лубрикатора) и отдѣльно для золотниковъ и цилиндровъ, чтобы, въ случаѣ порчи одного изъ нихъ, цилиндръ не остался совсѣмъ безъ смазки.

11. Калориметромъ для опредѣленія влажности пара (см. § 52—56) и

12. Приборомъ для анализа продуктовъ горѣнія (§ 57).

Если есть на дорогѣ динамометрической вагонъ, то можно часть приборовъ перенести въ вагонъ или совсѣмъ не ставить (см. § 81).

§ 112. Вторая пробная поѣздка.

Послѣ ремонта и установки всѣхъ приборовъ—паровозъ растапливаютъ и при этомъ:

1. Опредѣляютъ количество топлива, идущаго на растопку холоднаго котла до 100° (*холодная растопка*) и далѣе до поднятія давленія до нормальнаго (*горячая растопка*) и требуемое на это время. При испытаніи паровоза, топливо берется то, которое наиболѣе употребительно на участкѣ, обслуживаемомъ изслѣдуемымъ паровозомъ. Понятно, оно должно быть удовлетворительныхъ качествъ, напримѣръ, уголь долженъ не давать жидкихъ шлаковъ, не имѣть золы болѣе 10% и пр., иначе можно получить ложное понятіе о паропроизводительности и работѣ самаго паровоза. Также и вода должна быть удовлетворительна и 1 м³. ея долженъ давать не болѣе 200 gr. осадка (котлового камня). Эти свѣдѣнія даются желѣзно-дорожной лабораторіей.

При этомъ должно убѣдиться, нѣтъ-ли неплотныхъ мѣстъ въ котлѣ, паропроводныхъ трубахъ, золотниковыхъ коробкахъ, цилиндрахъ и пр. Во время второй пробной поѣздки—вывѣряютъ всѣ приборы, повѣряютъ показанія измѣрителей скоростей съ помощью хроноскопа, опредѣляютъ еще разъ сопротивленіе движенію паровоза и тендера и находятъ тѣ недостатки, которые еще остались послѣ ремонта и должны быть исправлены. Вмѣстѣ съ тѣмъ, при возможно различныхъ обстоятельствахъ, опредѣляютъ влажность пара посредствомъ калориметра (§ 52—56), находятъ масштабъ индикаторныхъ давленій (§ 94) и вообще дѣлаютъ всѣ подготовительныя работы и изслѣдованія, какія только возможно.

П Р И Б А В Л Е Н І Е.

§ 113. Опредѣленіе работы, потраченной на преодоленіе тренія парораспредѣлительнаго механизма.

Это также можно отнести къ подготовительнымъ изслѣдованіямъ паровоза, но соответствующіе опыты обыкновенно производятся сравнительно рѣдко, не смотря на ихъ интересъ.

Наибольшая работа поглощается при приведении в движение золотниковъ, особенно при современныхъ высокихъ давленіяхъ пара. Ввиду этого неоднократно производились обширные опыты надъ опредѣленіемъ коэффициента тренія золотниковъ, который во Франціи, въ общемъ, принимался = 0,3 и въ Англійи = 0,25. Позднѣйшіе опыты показали, что эти величины очень высоки, въ особенности во время хода поѣзда, когда треніе значительно меньше, чѣмъ при отходѣ. Замѣтимъ, что коэффициентъ тренія зависитъ не только отъ смазки, матеріала золотника, его температуры, но и отъ его скорости и давленія, которое выжимаетъ смазку между золотникомъ и зеркаломъ. Изъ цѣлаго ряда опытовъ Adams'a, Beattie, Robinson'a, Giddings'a, Aspinall'a и другихъ, мы остановимся на послѣднихъ, которые производились специально надъ золотниками паровозовъ и слѣдовательно имѣютъ для насъ болѣе значеніе. Aspinall употреблялъ слѣдующій приборъ (фиг. 377): къ стержню золотника привинчивается цилиндръ *H*, наполненный масломъ, въ которомъ двигается, плотно прилегающій къ стѣнкамъ его, поршень. При движеніи влѣво, масло сжимается и индикаторъ *i* чертитъ діаграмму сопротивленія золотника. Съ другой стороны находится воздушный клапанъ *r*, почему давленіе на другую сторону поршня всегда = атмосферному. Такимъ образомъ эта діаграмма чертится только при движеніи золотника въ одну сторону. На крышкѣ золотниковой коробки устанавливается другой индикаторъ *i'*, который чертитъ діаграмму давленій въ золотниковой коробкѣ, получая свое движеніе отъ стержня золотника.

Перемѣщенія поршня въ цилиндрѣ *H* были очень незначительны и, понятно, всѣ трубки индикатора и пространство подъ его поршнемъ должны быть наполнены масломъ, такъ какъ присутствіе воздуха можетъ дать ложныя показанія. Этотъ приборъ Aspinall вывѣрялъ посредствомъ грузовъ *P* (фиг. 378) и разница вѣса этихъ грузовъ и давленія *L*, показываемаго индикаторомъ *i*, даетъ величину тренія поршня и стержня цилиндра *H* и индикатора. Найдено было, что дѣйствительное давленіе L_1 въ цилиндрѣ выражается формулою

$$L_1 = 0,40 \text{ kg} + 1,26 L.$$

Діаграммы получались вида, представленнаго на фиг. 380, на которой, какъ примѣръ, показана діаграмма, снятая съ быстроходнаго паровоза съ золотниками типа Allen'a. Здѣсь же (фиг. 379) представлена и соответствующая, снятая при этомъ, обыкновенная индикаторная цилиндровая діаграмма. Кривыя *ABCDEF* и 54321 и представляютъ измѣненіе давленія въ цилиндрѣ. Изъ діаграммы динамометрическаго цилиндра *H* находимъ среднее давленіе = 1,90 kg., которое по вышеприведенной формулѣ даетъ дѣйствительное давленіе въ цилиндрѣ *H* равное

$$0,40 + 1,26 \times 1,90 = 2,79 \text{ kg.}$$

Такъ какъ площадь поршня равнялась 170 см^2 , то давленіе, соответствующее сопротивленію золотника, будетъ $= 170 \times 2,79 = 474 \text{ kg}$. Прибавляя сюда еще давленіе пара на конецъ золотниковаго стержня и $= 45 \text{ kg}$., получимъ общую силу, потраченную на приведеніе въ движеніе золотника $= 589 \text{ kg}$. Изъ діаграммы видимъ, что сопротивленіе золотника, во время хода его, мѣняется довольно значительно подъ вліяніемъ измѣненія давленія пара въ золотниковой коробкѣ, въ впускныхъ и выпускныхъ каналахъ и инерціи массъ, заключенныхъ между поршнемъ цилиндра H и золотникомъ (здѣсь впрочемъ незначительной). Такъ какъ поверхность этого золотника была $= 420 \times 250 \text{ мм}$. и среднее давленіе въ золотниковой коробкѣ $= 9,40 \text{ kg}$., то полное давленіе на золотникъ $= 9950 \text{ kg}$. Давленіе въ впускныхъ каналахъ было $= 833 \text{ kg}$., во внутреннемъ каналѣ золотника $= 470 \text{ kg}$. (полагая среднее давленіе $= 7 \text{ kg}$.), давленіе выпуска $=$ почти 1 ат. , слѣдовательно полное давленіе на золотникъ $= 9950 - (833 + 470) = 8650 \text{ kg}$. и поэтому средній коэффициентъ тренія $= \frac{589}{8650} =$ около $0,068$.

Въ другихъ случаяхъ (бронзовые золотники въ хорошемъ состояніи) коэффициентъ тренія былъ найденъ $=$ отъ $0,051$ до $0,054$.

Опыты Aspinall'я интересны съ точки зрѣнія примѣненія оригинальнаго метода изслѣдованія, но результаты безспорно невѣрны: найденныя величины для коэффициента тренія малы и по новѣйшимъ опытамъ въ С. Америкѣ коэффициентъ тренія для обыкновенныхъ бронзовыхъ золотниковъ $= 0,0878$ и для золотниковъ системы Richardson'a $= 0,0919$, при чемъ для горизонтальныхъ золотниковъ немного выше, чѣмъ для вертикальныхъ. Вообще же хорошая смазка масломъ и паромъ значительно уменьшаетъ коэффициентъ тренія, что подтверждается малымъ износомъ золотниковъ. Напримѣръ, по заявленію инженера Park'a (а также на желѣзной дорогѣ North — London), чугунные золотники при хорошей смазкѣ срабатываются въ среднемъ только на $1,6 \text{ мм}$. на $130,000 \text{ км}$. пробѣга.

Работа, потраченная на преодоленіе тренія парораспределительнаго механизма, вычисляется такимъ образомъ: подобно предыдущему, для одного товарнаго паровоза было найдено сопротивленіе золотниковъ движенію $= 720 \text{ kg}$., что при ходѣ ихъ $= 86 \text{ мм}$. даетъ работу сопротивленія $= 2 \times 2 \times 0,086 \times 720 = 247 \text{ kgm}$. для одного оборота ведущей оси. Окружность эксцентрика равнялась $1,12 \text{ м}$. и, взявши коэффициентъ тренія $= 0,08$, находимъ при давленіи 720 kg . работу сопротивленія $= 2 \times 1,12 \times 0,08 \times 720 = 130 \text{ kgm}$. и слѣдовательно полная работа (пренебрегая треніемъ въ шарнирахъ и пр.) $= 377 \text{ kgm}$. на 1 оборотъ ведущей оси, что при 56 оборотахъ въ 1 мин. ($16 \frac{\text{км}}{\text{ч}}$) даетъ $4,6 \text{ HP}$.

Какъ видимъ, работа тренія зависитъ отъ весьма многихъ причинъ и для одного и того же паровоза можетъ мѣняться въ очень обширныхъ предѣлахъ, въ зависимости отъ обстоятельствъ движенія (давленія въ золотниковой коробкѣ, скорости хода поѣзда и пр.), а поэтому цифры, полученные экспериментаторами для извѣстнаго случая, въ другихъ случаяхъ должны примѣняться съ большою осторожностью.

Въ заключение скажемъ нѣсколько словъ объ опытахъ Giddings'a, произведенныхъ имъ надъ небольшими постоянными машинами, въ которыхъ, по необходимости, треніе золотниковъ относительно болѣе повышено, чѣмъ въ такихъ сильныхъ машинахъ, какъ паровозы. Эти опыты интересны еще тѣмъ, что даютъ сравнительныя данныя для обыкновенныхъ и уравновѣшенныхъ золотниковъ. Giddings примѣнялъ тотъ же методъ, какъ и Aspinall, взявши только вмѣсто динамометрическаго цилиндра двѣ рессоры, которыя, вибрируя, писали посредствомъ параллелограмма Richards'a на подвижной пластинкѣ диаграммы, подобныя индикаторнымъ. Изъ этихъ опытовъ, напр., найдено:

Число оборотовъ въ 1 мп.	Машина № 1. Діам. цил. = 220 мм, ходъ поршня = 305 мм. Золотники обыкновенные.				Машина № 2. Діам. цил. = 220 мм, ходъ поршня = 360 мм. Золотники уравновѣшенные.			
	100				100			
Потраченная работа на треніе въ НР . .	5,5	7,0	8,25	8,9	11,4	13,5	14,0	15,6
% общей работы, поглощенный треніемъ механизма	4,5	3,5	4,0	6,0	1,2	1,1	1,0	1,0

Отсюда ясно видны преимущества уравновѣшенныхъ золотниковъ.

Извѣстенъ также цѣлый рядъ опытовъ, имѣющій задачей опредѣлить полное треніе всѣхъ органовъ парораспределительнаго механизма паровоза *). Инженеръ Marié Davu на желѣзной дорогѣ Peris-Lyon-Méditerranée нашелъ это треніе = 16% отъ индикаторной работы, Thurston же, на основаніи очень точныхъ опытовъ, нашелъ эту величину равною только 6,1%, что болѣе достовѣрно. Считая эту величину въ среднемъ = 10%, можно съ достаточною точностью принять, что работа, передаваемая ведущей оси паровоза = 90% индикаторной работы, развиваемой въ цилиндрѣ, или что касательная сила тяги = 90% индикаторной силы тяги (см. § 17).

*) Такъ называемое „внутреннее сопротивленіе паровоза“.

2-й періодъ — опытыя поѣздки.

§ 114. Личный составъ.

Паровозная прислуга (машинистъ и помощникъ машиниста, когда требуется—еще качегарь) исполняетъ свои обыкновенныя обязанности, но должна заботиться о паровозѣ болѣе, чѣмъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ, давленіе въ котлѣ, уровень воды и огонь въ топкѣ поддерживать по возможности постояннымъ и не переходить данныхъ скоростей, при чемъ, во всемъ должна слѣдовать указаніямъ инженера. Всѣ полученные матеріалы (топливо и смазка) должны тщательно записываться въ особый бланкъ. Прислуга должна быть очень опытна и проникнута сознаниемъ серьезности дѣла. Для всѣхъ опытовъ на данномъ участкѣ и въ особенности при сравнительныхъ опытахъ, очень важно имѣть паровозную прислугу „одного качества“ или даже, если возможно, одну и ту же, такъ какъ расходъ топлива въ значительной степени зависитъ отъ ея умѣнія топить. Напримѣръ, при опытахъ Marié на жел. дор. Paris-Lyon-Méditerranée, расходъ угля въ kg на 1 HP въ часъ былъ

При средних скоростяхъ поѣздовъ въ km/h	30	40	50	60
У лучшихъ машинистовъ.	1,74	1,64	1,53	1,24
У среднихъ машинистовъ.	1,89	1,78	1,66	1,54
У машинистовъ похуже	2,12	1,99	1,86	1,72

Съ другой стороны, требуя большаго вниманія и труда, прислуга должна и вознаграждаться лучше, напримѣръ, получать двойныя поверстныя и даже больше, такъ какъ она при этомъ теряетъ много лишняго времени. Число остальныхъ лицъ зависитъ отъ совершенства употребляемыхъ приборовъ и степени ихъ автоматичности. Во всякомъ случаѣ, долженъ быть еще *хорошій слесарь* (инструментальщикъ), (желательно, хотя съ нѣкоторымъ техническимъ образованіемъ, напримѣръ, изъ низшихъ техническихъ школъ), которому поручаются приборы и которые онъ долженъ держать въ надлежащемъ порядкѣ. Онъ долженъ вести нѣкоторыя, указываемыя ему наблюденія надъ порученными ему приборами, отмѣчая всѣ особенности движенія (бросаніе воды, боксованіе, состояніе погоды). Понятно, если приборы даютъ автоматическія записи, работа этого лица значительно сокращается.

Главнымъ-же, отвѣтственнымъ лицомъ является *инженеръ*, руководящій опытомъ. Онъ долженъ служить примѣромъ для всѣхъ; своею энергіею, преданностью дѣлу, точностью изслѣдованія, строгимъ исполненіемъ обязанностей и дисциплинированностью онъ долженъ вселить въ своихъ помощникахъ сознание серьезности дѣла и желанія добиться возможно полного успѣха, который только при такихъ условіяхъ и можетъ быть достигнутъ. Инженеръ—главный руководитель: по его приказанію мѣняется отсѣчка, огонь въ топкѣ, дается та или другая скорость поѣзду, измѣняется площадь сѣченія конуса и т. д. Онъ-же лично снимаетъ и индикаторныя діаграммы, если это возможно сдѣлать изъ будки машиниста (напримѣръ, при употребленіи авто-индикатора или при передачѣ движенія индикаторамъ, указанной на фиг. 167—169). Въ противномъ случаѣ, должны быть еще „*съемщики діаграммъ*“. Но вообще, число лицъ должно быть по возможности ограничено и лишнія лица и помощники не должны допускаться—они только мѣшаютъ.

Замѣтимъ, что подобныя изслѣдованія очень трудны и должна быть постоянная обширная практика, при которой только и возможно изучить дѣло. Поэтому-то весь персоналъ изслѣдователей, включая и поѣздную прислугу, по возможности долженъ не мѣняться, чтобы каждый въ совершенствѣ изучилъ свои обязанности и тогда результаты опытовъ будутъ очень цѣнны.

Такъ какъ во время опытныхъ поѣздовъ часто является необходимость останавливаться въ пути, ѣхать съ уменьшенной скоростью и т. д., для выясненія всѣхъ обстоятельствъ при работѣ паровоза, то опытные поѣзда проходятъ перегоны болѣе продолжительное время, о чемъ должна быть извѣщена *служба движенія* для принятія надлежащихъ мѣръ предосторожности. Также необходимо, чтобы никакихъ препятствій на пути не встрѣчалось, не приходилось уменьшать скорости вслѣдствіе не огражденія переѣздовъ, вагонетокъ на пути, ремонта и пр. Вообще, путь долженъ быть очищенъ, переѣзды закрываемы заблаговременно и путевая стража внимательна. Если опытъ дѣлается съ очень тяжелыми поѣздами, а погода сыра, то переѣзды, очень крутыя кривыя и стрѣлки должны быть посыпаны пескомъ. Вообще, отъ всего желѣзно-дорожнаго персонала требуется болѣе высокое вниманіе, чѣмъ при обыкновенныхъ поѣздахъ.

§ 115. Составъ опытнаго поѣзда и жел.-дорожный путь.

Самое раціональное—опытный поѣздъ составить изъ пустыхъ пассажирскихъ вагоновъ чтобы всѣ поѣзда вообще, а cadaго вагона въ частности, былъ вполне опредѣленный, и употреблять тотъ-же составъ и потомъ при всѣхъ сравнительныхъ опытахъ. Если-же испытывается товарный паровозъ, то можно брать и товарный поѣздъ

съ умѣреннымъ вѣсомъ, точно записавши вѣсъ каждаго вагона и вѣсъ его груза. Всѣ вагоны должны быть тщательно осмотрѣны (особенно буксы и сѣбные приборы) и необходимо постоянно наблюдать за надлежащей ихъ смазкою. Въ пассажирскихъ вагонахъ—окна должны быть закрыты.

Что касается до желѣзно-дорожнаго пути, то, какъ сказано, онъ не долженъ въ это время ремонтироваться, на данномъ участкѣ не должно быть задержекъ и на конечныхъ его пунктахъ должны быть вывѣренные короткіе горизонтальные пути, на которыхъ можно было-бы измѣрить количество воды въ котлѣ и тендерѣ до и послѣ поѣздки. На пути должны быть поставлены верстовые, ярко окрашенные, столбы на точномъ разстояніи.

§ 116. Опредѣленіе расхода воды.

Количество израсходованной воды на полезную работу паровоза (т. е. пошедшей на питаніе котла, обращенной въ паръ и потраченной на работу пара въ цилиндрахъ)—*самый точный коммерческій критеріумъ ея экономичности*. Хотя количество тепла, которое надо потратить на полученіе пара различной упругости—различно, но эта разница ничтожна, напримѣръ, для полученія 1 kg. сухого насыщеннаго пара давленія p и температуры t^0 изъ воды 0^0 необходимо

$$\lambda = (606,5 + 0,305 t) \text{ калорій.}$$

Для $p = 10 \text{ ат.}$ и $t = 178,89^0$ находимъ $\lambda_1 = 661,06 \text{ кал.}$, для $p = 15 \text{ ат.}$ и $t = 197,24^0$ находимъ $\lambda_2 = 666,65 \text{ кал.}$, т. е. только на 0,84% больше. Поэтому *расходъ тщательной воды на 1 НР и можно принять за мѣрило при оцѣнкѣ экономичности машинъ.*

Если-бы потерь не было, то, измѣряя непосредственную убыль воды изъ тендернаго бака, мы и получили-бы искомый расходъ. Но не вся вода идетъ на полезную работу и есть потери, достигающія иногда значительной величины. Опѣ слѣдующія:

1. Потеря тендерной воды:

а) Для смачиванія угля, что бываетъ необходимо при мелкомъ или мало-спекающемся, рассыпчатомъ углѣ. Обыкновенно для этого ставятъ шприцы, рукавъ къ которымъ идетъ отъ крана на нагнетательной трубѣ инжектора, но опредѣлить расходъ ими воды очень трудно и при опытахъ уголь лучше поливать ведрами, наполняя ихъ до верху водою изъ тендера.

б) Теряемая вода черезъ инжекторъ, которая должна собираться въ ящики, придѣлываемые у вѣстового крана, и измѣряться непосредственно послѣ каждой поѣздки.

2. Потеря котловой воды:

а) Черезъ колосниковый шприць, употребляемый для охлажденія колосниковъ (напр. при шлакующемся углѣ).

б) Черезъ шприць для дымовой коробки, для заливки унесенной раскаленной золы и частиць угля, которыхъ при очень легкомъ углѣ иногда уносится большое количество.

Объ эти потери не опредѣлимы непосредственно. Необходимъ предварительный опытъ, чтобы найти расходъ этими шприцами воды въ 1 минуту при опредѣленномъ давленіи въ котлѣ и затѣмъ во время опытной поѣздки пускать ихъ въ ходъ при томъ-же давленіи и въ теченіи строго опредѣленнаго времени (этотъ расходъ обыкновенно не превышаетъ 20 литровъ въ 1 мин.).

3. Потеря котлового пара:

- а) Черезъ паровую маслянку.
- б) Черезъ паровую песочницу.
- с) Черезъ предохранительный клапанъ.

Всѣ эти потери учитываются очень трудно и должны быть найдены предварительно опытнымъ путемъ, заставляя каждый изъ приборовъ дѣйствовать нѣкоторое время, находя убыль воды по водомѣрному стеклу и дѣля его на число минутъ *).

Всѣ эти потери, достигающія иногда до 20% общаго расхода воды, должны быть тщательно избѣгаемы (въ особенности 3 а) и 3 б) и надо стремиться къ тому, чтобы онѣ ограничились только потерями черезъ инжекторъ и маслянку и когда необходимо—на смачиваніе угля. Ввиду сказаннаго, опредѣленіе количества воды, пошедшей на полезную работу паровоза, одна изъ главныхъ и труднѣйшихъ задачъ экспериментатора.

Всѣ отсчеты должны совершаться съ большою точностью и вода въ котлѣ послѣ поѣздки приводится къ тому-же уровню, какъ и до поѣздки, также, какъ и давленіе.

Вычтя изъ измѣренной убыли воды K въ тендерномъ бакѣ указанная потери, получимъ то ея количество, которое пошло на полезную работу.

Во время опытной поѣздки давленіе въ котлѣ и уровень воды должны колебаться возможно менѣе, для чего надо качать воду небольшими порціями и черезъ короткіе промежутки времени, чтобы каждый разъ давленіе не падало болѣе чѣмъ на $\frac{1}{2}$ ат. Къ сожалѣнію, это не всегда возможно, въ особенности при большихъ поѣздахъ и скоростяхъ, но тогда колебанія давленія должны отмѣчаться.

Благодаря важности пара, не все такимъ образомъ найденное количество воды пойдетъ на полезную работу, но часть ея, нагрѣваясь, не

*) Для прусскихъ норм. пасс. паровозовъ напр. потеря въ 1 минуту а) = 1,25 kg. б) = 12 kg. и с) = 10 kg. на одну атмосферу давленія сверхъ нормальнаго.

испарится, а унесется въ капельно-жидкомъ видѣ. Поэтому для точныхъ опытовъ необходимы изслѣдованія влажности пара посредствомъ калориметровъ (§ 52—56). Если-же этого не производится, то приходится предполагать, что влажность пара всегда постоянна для даннаго паровоза и для различныхъ паровозовъ при сравнительныхъ опытахъ. Впрочемъ ошибка въ данномъ случаѣ не будетъ превосходить 2—3% (см. § 52).

Для болѣе легкаго учета воды въ Америкѣ употребляютъ водомѣры, конструируемые сообразно съ цѣлью, т. е. ограниченныхъ размѣровъ и не содержащихъ частей, которыя могли-бы портиться отъ теплой воды (напримѣръ каучуковыхъ мельницъ). Ихъ помѣщаютъ на питательной трубѣ инжектора, отдѣляя отъ послѣдняго запорнымъ клапаномъ, чтобы не было обратной течи воды и располагая такимъ образомъ, чтобы машинистъ могъ читать ихъ показанія. Трубы, ведущія къ счетчику, должны быть тщательно очищены и тендеръ снабженъ достаточной величины фильтромъ.

Температура воды въ тендерѣ должна время отъ времени измѣряться.

Если теперь мы знаемъ число T *kgm.* работы силы тяги за всё время опыта (см. § 21), то находимъ расходъ воды (пропорціональный расходу пара, принимая его влажность за постоянную) на 1000 *kgm.* равный

$$\frac{K \cdot 1000}{T} \text{ kg.}$$

Найти величину T для паровозовъ очень затруднительно, такъ какъ работа мѣняется непрерывно въ зависимости отъ обстоятельствъ. Поэтому находятъ средній расходъ воды въ часъ (для полный расходъ на число часовъ) и на среднюю найденную силу тяги въ HP , а слѣдовательно и средній расходъ воды на 1 HP .

§ 117. Опредѣленіе расхода угля *).

Опредѣленіе расхода угля на полезную работу паровоза также довольно трудно и требуетъ большой точности.

Общій расходъ складается изъ слѣдующихъ частей:

1. Уголь (и дрова), идущій на растопку, т. е. на поднятіе давленія до нормальнаго.
2. Уголь, пошедшій на разведеніе огня передъ самою поѣздкою.
3. Количество угля, израсходованное во время поѣздки.

Изъ этого количества должно быть вычтено: а) то количество угля, которое послѣ поѣздки еще остается на колосникахъ, и б) количество угля, остающееся въ зольникѣ и дымовой коробкѣ.

*) Здѣсь рассматривается только угольное отопленіе, какъ наиболѣе распространенное. Для другихъ топливъ—методы изслѣдованія остаются, понятно, тѣ-же, значительно облегчаясь при употребленіи нефтяного отопленія.

Количество a опредѣляется съ трудомъ, такъ какъ послѣ поѣздки эти остатки еще продолжаютъ горѣть и если послѣ охлажденія ихъ взвѣсить, то результатъ будетъ уже не точенъ. Поэтому надо стараться, чтобы къ концу поѣздки на колосникахъ почти ничего не оставалось.

Количество b измѣряютъ, прокаливая общую массу остатковъ въ зольникѣ и дымовой коробкѣ и беря разницу вѣса ихъ до и послѣ прокаливанія. Обыкновенно въ нихъ заключается до 40% угля. Это отношеніе, въ общемъ постоянное для даннаго паровоза и топлива, должно быть найдено заблаговременно, напримѣръ во время второй пробной поѣздки (§ 112).

Чѣмъ больше количество $З$, сравнительно съ 1, 2, a и b , тѣмъ вѣрнѣе будетъ расчетъ. Поэтому опытные поѣздки должны быть возможно болѣе продолжительными и не менѣе $\frac{1}{2}$ -часовыхъ *).

Маневры на станціяхъ должны быть избѣгаемы и испытываемый паровозъ долженъ прямо подходить къ уже составленному и готовому къ отправленію опытному поѣзду.

На выѣздъ паровоза изъ депо до поѣзда тратится, въ зависимости отъ разстоянія, отъ 80 до 120 kg. котловой воды.

Въ Америкѣ при опытахъ опредѣляютъ (хотя и приблизительно) отдѣльно количество угля, сожженное на каждомъ отдѣльномъ участкѣ пути. Для этого уголь насыпаютъ въ мѣшки по 125 ливр. каждый и по числу пустыхъ мѣшковъ узнаютъ требуемое. Но для точности, необходимо держать въ началѣ и концѣ каждаго такого отдѣльнаго участка одинаковый огонь въ топкѣ, что довольно трудно.

Если теперь все, найденное по предыдущему, испаренное количество воды, которое мы накачали изъ тендера въ котель, раздѣлить на полезный (т. е. принявши во вниманіе потери) расходъ горючаго матеріала, напр. угля, то найдемъ количество kg. воды, испаренное 1 kg. угля, т. е. среднюю паропроизводительную способность даннаго котла.

§ 118. Опытныя данныя о расходѣ угля и воды.

Приводимъ здѣсь для сравненія результаты опытовъ, заслуживающихъ наибольшаго довѣрія.

Расходъ пара для пассажирскихъ паровозовъ, находящихся въ хорошемъ состояніи и работающихъ при нормальныхъ условіяхъ, по Desdouits въ среднемъ = 12 kg. въ часъ на 1 *HP* (на ободѣ колеса) и при благоприятныхъ обстоятельствахъ понижается по 11 kg. Для этого

*) Часть израсходованнаго тепла еще идетъ 1) на предварительное нагрѣваніе самаго паровоза, что не поддается вычисленію, и 2) на лучеиспусканіе и охлажденіе во время движенія—см. § 119.

необходимо, чтобы объемъ мертвыхъ пространствъ = 6—8%, внутреннія перекрыши, во избѣжаніи большаго сжатія = 0, или даже были отрицательны и, при давленіи въ 10 ат., наполненіе = 20—25%. Тотъ-же расходъ для товарныхъ паровозовъ = 13—14 kg.

Для паровозовъ Compound большой скорости Сѣверн. франц. ж. д., при давленіи въ котлѣ = 14—15 ат. и для паровозовъ франц. госуд. ж. д. съ парораспределеніемъ Vonnepond и при среднихъ скоростяхъ, этотъ расходъ понижался даже до 10 kg. въ часъ на 1 *HP*.

По опытамъ инж. Lochner'a въ Эрфуртѣ при средней работѣ пассажирскихъ паровозовъ и при испарительности 1 kg. угля = 7,5—8 kg. расходъ въ kg. равенъ

Скорость движенія км/ч	Въ часъ на индикаторную паровую лошадь				На 1000 kg. км. работы силы тяги			
	В о д ы		У г л я		В о д ы		У г л я	
	Обыкн. паров.	Сот- round	Обыкн. паров.	Сот- round	Обыкн. паров.	Сот- round	Обыкн. паров.	Сот- round
50	10	8,5	1,25	1,05	37	31,5	4,6	3,9
60	10,3	8,6	1,33	1,06	38	32	4,9	3,95
70	10,7	8,8	1,39	1,10	39,5	32,5	5,15	4,1
80	11,4	9,3	1,52	1,19	42	34,5	5,6	4,4
90	12,6	10,3	1,73	1,33	46,5	38	6,4	4,9

На растопку требуется 45—50 kg. угля тѣхъ-же качествъ на каждый м³ объема воды въ котлѣ.

Для товарныхъ паровозовъ Compound дѣйствительный расходъ воды въ kg. (по опытамъ Прусскихъ казенныхъ ж. д.) на 1 полезную лошадиную силу:

Скорость км/ч:	Расходъ воды:
10	9,80
20	8,80
30	8,40
40	8,60

Ниже приведены еще данныя изъ опытовъ въ разныхъ странахъ (Demoulin).

а) Паровозы съ простымъ расширеніемъ.

ПАРОВОЗЫ	Co de l'Est. 1880 паровоз. съ 4 снар. колесами	Ж. д. Paris-Lyon- Méditerranée 1880 8 снарен. колесъ	Great Eastern 1887 4 снарен. колеса	Great Northern 1887 свободная ось	L. And S. W. Ry 1891 4 снареннхъ колеса	Cincinnati, Ham. and Dayton 1878 4 снарен. колеса	Baldwin 1895 4 снарен. колеса	Lancashire and Yorkshire 1896 4 снарен. колеса	Chicago and North Western 1896 4 снар. колеса
Давленіе въ котлѣ kg	10	10	11,65	10,50	12,60	8,70	10,50	12,60	11,25
Расходъ пара на инд. силу въ kg.	—	—	13,61	—	9,07 до 10,43	13,60 до 15,15	—	11,02 до 12,01	14,20 до 15,10
Расходъ угля на индик. силу въ kg.	1,16 до 1,29	1,29	1,29*	1,10*	1,04 до 1,17*	1,92 до 3,18*	1,60*	1,13 до 1,29	1,80 до 2,43

b) Паровозы Compound.

ПАРОВОЗЫ	Compagnie du Nord 1892 4 снареннхъ колеса	Юго-Запад. русск. ж. д. сист. Mallet съ 2 цилиндр.	Юго-Запад. русск. ж. д. съ 4 цил.	Northern Pacif. 1891 Vauchain съ 4 снарен. колесами	Western N. Y. 1892 Vauchain съ 4 снарен. колесами	Австр. гос. ж. д. 1896 Сис. Goldsorf съ 4 снарен. колес.
Давленіе въ котлѣ kg	14	12	14	11,25	12,65	—
Расходъ пара на инд. лош. въ kg	9,90—10,0	10,40	9,00	10,44	10,75	9,45
Расходъ угля на инд. лош. въ kg	1,25**	1,30**	1,12**	1,16	1,19	1,18**

Изъ послѣднихъ французскихъ опытовъ упомянемъ:

		C ^o de l'Est	C ^o P. L. M.	Государ. ж. д.		Ж. д. C ^o d'Orléans	
		Опыты въ 1889 г.	Опыты M. Privat въ 1895 г.	Опыты Desdoutis		Опыты Durand и Lencanhez	
		Паровозъ тендеръ съ 6 снарен. ко- лесами	Быстр. паровозъ Compound съ 4 ци- линдрами	Обыкновен. паровозъ быстрох.	Быстрох. паровозъ съ парораспр. Bonpfond'a	Обыкновен. быстрох. паровозъ	Быстр. пар. съ парорас- пределител. Lencanhez
Расходъ пара на 1 HP въ kg	На упряжн. крюкѣ . . .	12,5 до 14,7	16,6 до 18,4	—	—	14,28	12,37
	На ободѣ ве- дущаго ко- леса . . .	—	—	11,5	9,8 до 10	—	—
Расходъ угля на 1 HP въ kg	На упряжн. крюкѣ . . .	1,59 до 1,89	—	—	—	1,69 ₂	—

*) Не считая растопку.

***) Считая испарительную способность угля = 8 kg.

Какъ напริมѣръ чрезвычайной экономичности работы (при исключительныхъ условіяхъ) паровоза привожу данныя опытовъ Adams'a, произведенныхъ въ Англій въ 1897 г. съ курьерскими паровозами, при скорости 107—130 km/h : расходъ (средній) угля на индикаторную HP въ часъ былъ = 1,04; 1,05; 1,17; 1,14 и 1,10 kg . Эти замѣчательные результаты, не только не уступающіе, но даже превосходящіе экономичность постоянныхъ машинъ безъ конденсаціи, достигнутые при эксплуатаціи паровозовъ, не смотря на переменную ихъ работу, ясно указываетъ на достигнутую высокую степень ихъ совершенства и по словамъ проф. Stévant'a „являются мѣрою прогресса, осуществленнаго съ того времени, когда считали нормальнымъ для паровоза расходъ въ 3 kg . на 1 HP “. *)

§ 119. Потеря теплоты черезъ охлажденіе паровоза при движеніи.

Не всё количество теплоты, развиваемое углемъ, вѣсь котораго найдень по предыдущему, идетъ на испареніе воды, но часть ея тратится черезъ лучеиспусканіе. Къ сожалѣнію, въ этомъ направленіи произведено очень мало опытовъ. По опытамъ, сдѣланнымъ лѣтъ 15 тому назадъ на одной изъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ, найдено, что эта потеря въ часъ = $\xi \cdot 60 \cdot F \cdot (t - t_1)$ ед. тепла, гдѣ F = площади наружной поверхности котла въ m^2 , t = температурѣ котла и t_1 = температурѣ вѣшняго воздуха; ξ = коэффициентъ, который при обыкновенной обшивкѣ = 0,16 и для необшитого котла = 0,34.

Въ 1898 г. на жел. дор. „Chicago-North-Western“ производились подобныя-же опыты, имѣвшіе главною цѣлью сравнить между собою различные предложенные способы защиты котла отъ охлажденія. Для этого употребляли два паровоза, изъ которыхъ первый служилъ только двигателемъ, а второй специально для опыта. Въ немъ не было воды, въ топкѣ—огня и онъ наполнялся паромъ изъ 1-го котла (давленіемъ 10,55 kg . 1 cm^2), конденсацію котораго и вычисляли. При этомъ, во избѣжаніе течи охлаждающаго воздуха внутри опытнаго паровоза, труба его была закрыта деревянною крышкою, дверцы дымовой коробки и топочныя дверцы герметически закрыты и колосниковая рѣшетка была покрыта кирпичнымъ сводомъ. Опыты были очень обширны и произведены при движеніи со скоростью 45 km/h и въ покоѣ, съ различными обшивками и безъ нихъ. Инж. Robert Quayle сдѣлалъ докладъ объ этихъ опытахъ въ Январѣ 1899 г. въ Western Railway Club, съ цѣлымъ рядомъ цифръ и общихъ выводовъ о преимуществахъ различныхъ обшивокъ, но общихъ формулъ, дающихъ зависи-

*) Напр. Vauchinger изъ своихъ знаменитыхъ опытовъ въ 60-хъ годахъ на баварскихъ ж. д. надъ паровозами съ давленіемъ 8 at нашелъ расходъ угля на индик. лош. силу = $2\frac{1}{2}$ —3 kg .

мость охлажденія котла отъ поверхности его, скорости движенія, температуры вѣшняго воздуха и пр., не выведено. Методъ-же, примѣненный при этихъ изслѣдованіяхъ, заслуживаетъ полнаго вниманія.

§ 120. Съемка индикаторныхъ діаграммъ.

Правила обращенія съ индикаторомъ и съемки діаграммъ подробно указаны въ § 64. Здѣсь-же только замѣтимъ, что при незначительныхъ скоростяхъ діаграммы лучше снимать не черезъ опредѣленные промежутки времени, а при пробѣгахъ опредѣленныхъ равныхъ разстояній, увеличивая ихъ число съ увеличеніемъ скорости. При большихъ скоростяхъ, этому правилу слѣдовать трудно и тогда предпочтительнѣе снимать діаграммы напр. каждыя 2 минуты, наблюдая въ это время скорость по измѣрителямъ скоростей и считая ее за постоянную въ интервалахъ между съемками. Если опыты производятся съ динамометрическимъ вагономъ, то съемщикъ діаграммъ долженъ быть соединенъ съ нимъ электрическимъ приводомъ, чтобы дѣлать въ моменты съежекъ соотвѣтствующія отмѣтки на большой діаграммѣ главнаго прибора вагона.

Что касается до остальныхъ приборовъ и наблюденій, то они ясны изъ предыдущихъ главъ.

§ 121. Нахожденіе зависимости между ϵ и V .

Какъ видно § 15 при установившемся состояніи котла, между отсѣчкою ϵ и скоростью V должна быть строгая зависимость. Дѣлая опытыя поѣздки съ поѣздами разной величины на путяхъ съ разными уклонами, мы, при приблизительно равномерномъ движеніи, можемъ по уровню воды въ котлѣ видѣть, велика ли взятая скорость для данной отсѣчки или наоборотъ и находить такимъ образомъ зависимость ϵ отъ V . Изображая это графически, получимъ кривыя, представляющія зависимость $\epsilon = f(v)$ и на основаніи ихъ можно составить для машиниста таблицу, указывающую для даннаго паровоза эту зависимость. Изъ подобной таблицы будетъ видно, какими отсѣчками можно пользоваться безнаказанно для полученія желаемой скорости, или наоборотъ, желая сохранить данную скорость, напр. на большомъ подъемѣ, можно ли увеличить отсѣчку и до какого предѣла, или же, во избѣжаніе паденія уровня воды, необходимо понизить скорость.

Съ другой стороны, если будетъ дана для желаемой скорости надлежащая отсѣчка, а между тѣмъ этой скорости данный поѣздъ не достигаетъ или уровень воды начнетъ понижаться, то это ясно укажетъ на какую-нибудь ненормальность:

1. Плохую паропроизводительность котла вслѣдствіе плохого топлива, существующихъ неплотностей въ дымовой коробкѣ, течи дымогарныхъ трубъ и пр.

2. Плохое состояніе паровоза, его износъ или порчу какихъ-нибудь важныхъ частей или

3. Ненормальное состояніе погоды.

Какая же изъ этихъ причинъ вліяетъ на плохую работу паровоза и плохую утилизацію топлива, будетъ сразу видно.

Замѣтимъ, что при наблюденіи за уровнемъ воды всегда надо имѣть въ виду, что на подъемахъ уровень воды (по водомѣрному стеклу) повышается, а на уклонахъ — понижается. Для даннаго паровоза величины повышенія и пониженія въ зависимости отъ уклона должны быть извѣстны.

Такимъ образомъ, сказанная зависимость ϵ и V имѣетъ большое эксплуатаціонное значеніе.

3-й періодъ.— Обработка полученныхъ опытныхъ данныхъ.

§ 122. Всѣ полученные опытные данныя, т. е. индикаторныя діаграммы, діаграммы скоростей и всѣхъ аппаратовъ съ автоматическимъ записываніемъ показаній, отмѣтки наблюдающихъ лицъ и изслѣдователей, представляютъ только сырой матеріалъ, который долженъ быть тщательно обработанъ и изъ него сдѣланы надлежащіе выводы. Какъ уже сказано, эта кабинетная работа очень трудна и требуетъ большого вниманія и настойчивости.

Изъ индикаторныхъ діаграммъ, снятыхъ при данныхъ обстоятельствахъ, должны быть составлены „среднія“ діаграммы (см. § 66), которыя тщательно изслѣдуются, и всѣ данныя (давленія пара въ началѣ каждаго періода, ходъ поршня въ $\%$ полного хода для этихъ моментовъ, среднее индикаторное давленіе, индикаторная работа, „видимый“ расходъ пара на одинъ ходъ поршня и всѣ обстоятельства, при которыхъ эта діаграмма снята) должны быть занесены въ вѣдомость, изъ которой легко сдѣлать требуемыя впоследствии выборки.

Затѣмъ желательнo всѣ зависимости между данными величинами, напримѣръ, индикаторнаго давленія отъ скорости, скорости отъ отсѣчки и проч. и проч., выражать графически, какъ на примѣрахъ неоднократно указывалось выше, такъ какъ одинъ такой чертежъ наглядно указываетъ на искомую зависимость, часто даетъ возможность замѣтить ошибки, помогаетъ найти законъ измѣненія данныхъ переменныхъ въ зависимости отъ измѣненія обстоятельствъ и такимъ образомъ замѣняетъ цѣлыя таблицы цифръ.

Что касается до того, на что требуется обращать большее или меньшее вниманіе, то это всецѣло зависитъ отъ обширности поставленной программы и богатства приборовъ, дающихъ возможность сдѣлать требуемыя наблюденія и собрать болѣе богатый матеріалъ. Какъ примѣры по-

добныхъ кабинетныхъ изслѣдованій, основанныхъ на опытныхъ данныхъ, ниже приведены описанія методовъ:

- 1) Изслѣдованія парового котла паровоза.
- 2) Калориметрическаго изслѣдованія паровоза.
- 3) Опредѣленія термическаго коэффициента полезнаго дѣйствія машины.
- 4) Полнаго изслѣдованія паровозовъ, принятаго на Прусскихъ желѣзныхъ дорогахъ
- и 5) расчета состава и скорости поѣздовъ.

Если возникнутъ новые вопросы, то на основаніи сказаннаго они легко могутъ быть разрѣшены.

§ 123. Изслѣдованіе парового котла.

Предварительно въ химической лабораторіи должно быть изслѣдовано топливо, такъ какъ при опытномъ изслѣдованіи паровозовъ можно вывести только весьма приблизительныя заключенія о видимыхъ его качествахъ: спекаемости, легкости и проч. Для анализа топлива посылаютъ въ лабораторію *его среднюю пробу*, которая, по правиламъ „союза обществъ надзора за паровыми котлами“, берется такимъ образомъ: изъ cadaго ящика (или бадьи угля), насыпаемаго въ тендеръ, берется одна лопата. Всѣ взятое размельчается, перемѣшивается, складывается въ кучу четырехъ угольной формы и дѣлится на 4 части. Изъ нихъ двѣ противоположныя отбрасываются, остальные снова размельчаются и съ ними поступаютъ по предыдущему до тѣхъ поръ, пока получится пробное количество вѣсомъ около 5 kg., которое и отсылается въ лабораторію. Для опредѣленія гигроскопической влаги, часть пробы должна быть послана въ стеклянкѣ съ плотно притертою пробкою.

На основаніи анализа должно быть опредѣлено:

- 1) Содержаніе въ 1 kg чистаго топлива (безъ влаги и золы):
Углерода— C kg.; водорода— H kg.; кислорода— O kg.; Азота— Az kg.
и сѣры— S kg.

- 2) Количество воды въ 1 kg. топлива— e kg.

- 3) Количество золы въ 1 kg. сухого топлива— b kg. *).

Зная эти данныя, можно вычислить теплотворную способность топлива w , т. е. число калорій, которое выдѣляется при полномъ его сжиганіи. Для этого служитъ общераспространенная формула Dulong'a:

$$w = 8080 C + 29000 \left(H - \frac{O}{8} \right) + 2500 S. \dots (143)$$

*) Для нѣкоторыхъ изъ русскихъ углей—составныя части показаны въ концѣ книги.

Результаты, даваемые этою формулою, преувеличены, такъ какъ Dulong не принималъ во вниманіе сѣпленія частицъ горячаго матеріала, на разложеніе которыхъ идетъ нѣкоторое количество теплоты.

Болѣе точна формула Scheurer-Kerstner'a и Meunier, которые, примѣняя законъ Вельтера („количество теплоты, выдѣляемое при сжиганіи топлива, пропорціонально количеству кислорода, поглощеннаго при сжиганіи“), нашли

$$w = 26880 \left(\frac{C}{3} + H \right) (144)$$

Результаты, даваемые этою формулою, отличаются отъ дѣйствительныхъ данныхъ не болѣе 5—6%, обыкновенно же разница даже не превосходитъ 2%.

Желательно, чтобы эту теплотворную способность опредѣляли въ лабораторіи опытнымъ путемъ посредствомъ калориметровъ, дающихъ болѣе точные результаты. Принимая во вниманіе влажность и золу, находимъ теплотворную способность

$$w_1 = w(1-e)(1-b) - 650e (145)$$

гдѣ $650e$ — количество теплоты, пошедшее на испареніе e кг. гигроскопической воды.

Если въ теченіи опыта израсходовано P кг. угля, то при совершенномъ сгораніи должно выдѣлиться Pw_1 единицъ теплоты. Но сгораетъ не всё топливо и не всё выдѣляющееся количество теплоты идетъ на парообразованіе, но происходитъ рядъ потерь:

- 1) Отъ несовершеннаго сгоранія— w_2 единицъ теплоты.
- 2) Отъ лучеиспусканія и потери черезъ стѣнки, вслѣдствіе охлажденія— w_3 единицъ теплоты.
- 3) Уносятся въ дымовую трубу— w_5 единицъ теплоты.
- 4) Отъ несгорѣвшей мелочи (въ зольникѣ и золотниковой коробкѣ)— w_4 единицъ теплоты.

Слѣдовательно, водѣ передается только $w_1 - (w_2 + w_3 + w_4 + w_5)$ единицъ теплоты, изъ которыхъ идетъ:

- a) На парообразованіе— Q_1 единицъ теплоты и
- b) На нагреваніе воды, увлекаемой паромъ въ капельно-жидкомъ состояніи— Q_2 единицъ теплоты.

Такимъ образомъ съ пользою употребляется только Q_1 единицъ теплоты и поэтому величина

$$\frac{Q_1}{w_1} = \eta$$

называется *коэффициентомъ полезнаго дѣйствія котла*.

Обозначая величину $w_1 - (w_2 + w_4)$ через w_5 , находимъ, что въ топкѣ въ дѣйствительности образуется только w_5 единицъ теплоты и

$$\frac{w_5}{w_1} = \eta_1$$

называется *коэффициентомъ полезнаго дѣйствія точки*.

Опредѣленіе всѣхъ указанныхъ величинъ достаточно легко производится при испытаніи постоянныхъ котловъ или паровозныхъ, при изслѣдованіи ихъ на испытательныхъ станціяхъ (см. § 47), такъ какъ тогда происходитъ парообразование при постоянныхъ условіяхъ и легко дѣлать всѣ требуемыя наблюденія. При испытаніи-же паровозовъ во время опытныхъ поѣздокъ, это очень затруднительно, вслѣдствіе невозможности произвести вполне точно всѣ изслѣдованія и измѣренія, невозможности примѣнить тѣ инструменты, которые очень удобны при испытаніи постоянныхъ котловъ, а главное—вслѣдствіе непрерывнаго измѣненія условій работы, т. е. интенсивности горѣнія, температуры въ дымовой коробкѣ и топкѣ, силы тяги и пр. Поэтому на практикѣ обыкновенно довольствуются опредѣленіемъ расхода воды и топлива на 1 *HP*, развиваемую паровозомъ или на 1000 kg. km. работы силы тяги, не опредѣляя величинъ η и η_1 , какъ имѣющихъ случайный характеръ и мѣняющихся въ зависимости отъ условій работы (тогда какъ въ постоянныхъ котлахъ при постоянныхъ условіяхъ работы— η и η_1 имѣютъ опредѣленную величину). Но тѣмъ не менѣе, приблизительно можно найти указанные потери и во время опытныхъ поѣздокъ.

I. *Потеря отъ несовершеннаго горѣнія*. Для опредѣленія степени совершенства горѣнія служитъ приборъ Орса (см. § 57), посредствомъ котораго можно произвести анализъ продуктовъ горѣнія, а именно—найти содержаніе въ 100 единицахъ (напр. литрахъ): $CO_2 - v_1$; $CO - v_2$, $O - v_3$ и $Az - v_4$ [такъ, что $v_1 + v_2 + v_3 + v_4 = 100$]. *) Задача наша заключается въ томъ, чтобы углеродъ, сгорая, превращался въ углекислоту CO_2 , но не въ окись углерода CO , такъ какъ въ первомъ случаѣ 1 kg. углерода выдѣляетъ 8080 единицъ теплоты, а во второмъ—только 2400, т. е. отъ этого несовершенства сгоранія теряется 5680 единицъ теплоты. Поэтому, если приборомъ обнаружено въ выходящихъ продуктахъ горѣнія значительное количество CO , то это прямо укажетъ на несовершенство горѣнія, которое необходимо устранить, усиливая тягу или уменьшая количество топлива въ топкѣ.

*) Предполагая при этомъ, что, вслѣдствіе быстроты движенія продуктовъ горѣнія, составъ ихъ въ дымогарныхъ трубкахъ не мѣняется, т. е. составъ ихъ въ дымовой коробкѣ таковъ-же, какъ и средній составъ въ топкѣ.

Въ 1 kg. CO_2 заключается $\frac{3}{11}$ kg. C, а такъ какъ 1 литръ CO_2 вѣситъ 1,977 грамма, то слѣдовательно въ v_1 литрахъ CO_2 заключается $v_1 \times \frac{3}{11} \times 1,977 = 0,539 v_1$ углерода.

Также въ v_2 литрахъ CO находится $v_2 \times \frac{3}{7} \times 1,258 = 0,539 v_2$ углерода. Слѣдовательно, число калорий, которое выдѣляется при подобномъ несовершенномъ горѣннн углерода топлива, когда въ 100 единицахъ продуктовъ горѣннн заключается v_1 единицъ CO_2 и v_2 ед. CO, будетъ равно: $a_1 = 0,539 \cdot v_1 \cdot 8080 + 0,539 \cdot v_2 \cdot 2400$ калорий.

Если бы это количество углерода C сгорало, обращаясь всё въ CO_2 , то выдѣлилось-бы $(0,539v_1 + 0,539v_2) \cdot 8080$ калорий и слѣдовательно потеря отъ несовершенства горѣннн углерода будетъ:

$$\frac{a_2 - a_1}{a_2} = 0,703 \frac{v_2}{v_1 + v_2} \dots \dots \dots (146)$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ очевидно, что въ 100 объемныхъ единицахъ продуктовъ горѣннн заключается $0,539 v_1 + 0,539 v_2$ углерода и поэтому величина

$$\frac{0,539 v_2}{0,539 v_1 + 0,539 v_2} = \frac{v_2}{v_1 + v_2}$$

показываетъ, какая часть углерода, находящагося въ топливѣ, сгораетъ несовершеннымъ образомъ. Но въ 1 kg. данного топлива заключается $[1 - e - b(1 - e)] \cdot C = (1 - e)(1 - b) C = \omega C$ kg. углерода. Если теперь въ зольникѣ, огневой коробкѣ и въ дымовой коробкѣ послѣ поѣздки собрано k kg. остатковъ, т. е. на 1 kg. сгорѣвшаго топлива P приходится $\frac{k}{P}$ kg. и въ лабораторнн или въ депо (см. § 117) найдено, что въ нихъ несгорѣвшаго углерода находится еще $\gamma\%$, то слѣдовательно, количество углерода, которое въ дѣйствительности сгораетъ въ топкѣ на 1 kg. топлива, равно

$$\left(\omega C - \frac{k}{P} \cdot \gamma \right),$$

а потому искомая потеря отъ несовершенства горѣннн равна

$$w_2 = \frac{v_2}{v_1 + v_2} \left(\omega \cdot C - \frac{k}{P} \cdot \gamma \right) \cdot 5680 \text{ kal} \dots \dots \dots (147)$$

на каждый kg. сгорѣвшаго топлива. Такимъ образомъ, при помощи прибора Орса эту потерю найти легко, почему при точныхъ опытахъ его всегда ставятъ въ динамометрическихъ вагонахъ.

II. *Потери отъ несгорѣвшаго топлива.* Какъ сказано въ § 117, эти потери найти довольно трудно, тѣмъ болѣе при легкомъ топливѣ и форсированномъ дѣйствіи котла, когда много топлива можетъ быть унесено въ видѣ искръ въ трубу. Эта потеря

$$w_4 = \gamma \cdot \frac{k}{P} \cdot 8080 \text{ kal} \dots \dots \dots (148)$$

Зная-же w_2 и w_4 , находимъ и коэффициентъ η_1 .

III. *Количество теплоты, идущее на парообразование.* Какъ извѣстно, паръ образуется всегда влажный и способы опредѣленія степени влажности указаны въ § 52—56. Теплота, потраченная на образование влажного пара, раздѣляется при этомъ, какъ сказано, на 2 части:

1. На образование сухого насыщеннаго пара, который и производить работу и

2. На нагрѣваніе унесенной съ паромъ (x кг. на 1 кг. всей испаренной воды) котловой воды.

Поэтому находимъ: на первую часть идетъ на 1 кг. сгорѣвшаго топлива

$$Q_1 = \frac{Q(1-x)}{P} (606,5 + 0,305 t - t_0) \text{ kal} \dots \dots \dots (149)$$

гдѣ Q —полное количество потраченной на испареніе воды, т. е. полезный ея расходъ (см. § 116), t —температура пара данного котлового давленія и t_0 —температура питательной воды.

На вторую же часть тратится на 1 кг. сгорѣвшаго топлива

$$Q_2 = \frac{Q \cdot x}{P} (t - t_0) \text{ kal} \dots \dots \dots (150)$$

Зная Q_1 , находимъ и коэффициентъ η . Очевидно, для нахождения η , Q_1 и Q_2 необходимо знать величину x .

IV. *Потери отъ лучеиспусканія и охлажденія котла.* Опытовъ было произведено въ этомъ отношеніи очень мало. Найдено, что эта потеря въ часъ равна

$$w'_3 = \xi \cdot 60 \cdot F (T_1^0 - t_1^0) \text{ kal} \dots \dots \dots (151)$$

гдѣ F (м²)—наружная поверхность котла, T_1 —температура котла и t_1 —воздуха и ξ коэффициентъ, который = 0,16 для обшитаго и 0,34 для необшитаго котла. Если за часъ сожжено P' кг. угля, то этотъ расходъ на 1 кг. равенъ

$$w_3 = \frac{w'_3}{P'} \text{ kal} \dots \dots \dots (152)$$

V. Потеря въ трубу.

Она, очевидно, равна $w_5 = w_1 - (Q_1 + Q_2 + w_2 + w_3 + w_4)$. Для проверки можно найти эту потерю и непосредственно, опредѣливши температуру воздуха t и температуру въ дымовой коробкѣ T . Тогда, зная теплоемкость CO_2 , CO и т. д., входящихъ въ составъ продуктовъ горѣнія, и процентное ихъ содержаніе на основаніи анализа при помощи аппарата Орса, найдемъ потерю (проф. Предтеченскій)

$$w_5 = \frac{(0,449 v_1 + 0,308 v_2 + 0,310 v_3 + 0,307 v_4) \left(\omega C - \gamma \frac{k}{P} \right) (T-t)}{0,539 v_1 + 0,539 v_2} + (e + 9\omega.H) \cdot 0,48 (T-t) \text{ кал} \dots \dots \dots (153)$$

на 1 кг. сгорѣвшаго топлива.

Для облегченія разсчета этой потери инженеромъ Siegert'омъ построены 2 слѣдующія діаграммы (фиг. 386 и 387). По 1-й—по данному процентному содержанію CO_2 въ выходящихъ газахъ, зная температуру $T-t$, прямо находимъ соответствующую ординату, которая укажетъ % потерянной теплоты. На 2-й—по оси абсциссъ откладываемъ величину $T-t$ и проводимъ ординату до пересѣченія съ прямой, соответствующей данному % содержанію CO_2 въ выходящихъ газахъ. Величина ординаты укажетъ на % потерянной теплоты. Эти діаграммы даютъ, такимъ образомъ, возможность быстро опредѣлить потерю въ трубу, а слѣдовательно слѣдить за горѣніемъ *).

*) Построеніе этихъ, очень удобныхъ для практики, діаграммъ основано на томъ, что объемъ углекислоты v_1 , полученный при сжиганіи углерода, равенъ объему кислорода, вошедшаго въ соединеніе съ топливомъ. Если предположить, что въ продуктахъ горѣнія нѣтъ окиси углерода, то $v_1 + v_3$ представитъ количество кислорода, приведеннаго въ тонку, а v_1 —количество кислорода, участвующаго въ горѣніи; тогда избытокъ воздуха будетъ $\frac{v_1 + v_3}{v_1} = \frac{21}{v_1}$, такъ какъ $v_1 + v_3$ составляетъ содержаніе O въ 100 объемахъ воздуха, приведеннаго въ тонку, и, какъ извѣстно, будетъ $\frac{21}{100}$ полного объема. Допустимъ, что на 1 кг угля теоретически требуется 8,5 м³ воздуха, тогда въ дѣйствительности было приведено $\frac{8,5 \cdot 21}{v_1}$ м³; въсь этого воздуха будетъ $\frac{8,5 \cdot 21}{v_1} \cdot 1,29$, а количество теплоты, унесенное въ трубу, будетъ: $\frac{8,5 \cdot 21 \cdot 1,29 \cdot (T-t) \cdot 0,24}{v_1}$, гдѣ 0,24 средняя теплоемкость продуктовъ горѣнія. Если теплотворная способность угля = 8500 кал. то $\frac{8,5 \cdot 21 \cdot 1,29 \cdot (T-t) \cdot 0,24}{v_1 \cdot 8500}$ представитъ дробь, которая покажетъ, какая часть калорій, выделяемыхъ 1 кг данного топлива, уносится въ трубу или, выражая эту потерю въ % отъ теплотворной способности, получимъ $w_5 = 0,65 \frac{T-t}{v_1}$, гдѣ v_1 представляетъ % содержаніе углекислоты въ продуктахъ горѣнія. Для другихъ топливъ получимъ другое

Определение температуры T см. § 79.

Въ продуктахъ горѣнія не должно заключаться углекислоты болѣе 10.—14%.

Такимъ образомъ при указанныхъ наблюденіяхъ, которыя можно сдѣлать посредствомъ описанныхъ выше приборовъ, можно произвести полное изслѣдованіе и паровознаго котла.

Калориметрическое изслѣдованіе паровоза.

§ 124. Калориметрическое изслѣдованіе паровоза, какъ и всякой паровой машины, имѣеть цѣлью изучить всѣ тѣ явленія, которыя происходятъ съ паромъ въ паровомъ цилиндрѣ, т. е. сгущеніе и осушеніе его въ различные моменты его дѣйствія, передача теплоты отъ пара къ стѣнкамъ цилиндра и обратно, взаимное превращеніе теплоты и работы и проч. Это достигается путемъ опредѣленія количества теплоты, заключенной въ парѣ въ различные моменты его дѣйствія и величины полученной или затраченной работы между этими моментами. Главнымъ средствомъ для этого служить средняя индикаторная діаграмма (§ 66), которая, если она получена изъ многочисленныхъ и тщательно снятыхъ обыкновенныхъ діаграммъ съ принятіемъ всѣхъ мѣръ предосторожности (относительно индикатора, пропуска пара поршнями и золотниками и проч.), даетъ самое точное представленіе о всѣхъ явленіяхъ, происходящихъ въ цилиндрѣ.

Основными методами калориметрическаго изслѣдованія наука обязана французскому ученому Hirn'у и его послѣдователямъ Hallauer'у и Dwelshauvers-Dery.

§ 125. *Періодъ впуска.* Пусть на фиг. 4 представлена средняя индикаторная діаграмма даннаго цилиндра. Предположимъ, что у насъ одинаковое парораспределеніе для обѣихъ сторонъ цилиндра (къ чему надо настойчиво стремиться), и поэтому эта діаграмма общая для передней и задней его стороны. Обозначимъ теперь черезъ:

M kg.—всѣ смѣси пара и воды, расходуемой котломъ при каждомъ ходѣ поршня.

M_3 kg.—всѣ смѣси, остающейся во вредномъ пространствѣ цилиндра отъ прежняго наполненія (т. е. въ концѣ сжатія ∇).

x —количество сухого пара въ 1 kg. смѣси M .

x_4 —тоже для M_3 .

x_1 —тоже въ смѣси, находящейся въ цилиндрѣ въ концѣ впуска, т. е. въ $M + M_3$.

значеніе численнаго коэффиціента и другія діаграммы Siegert'a, которыя легко построить по предыдущему, зная всѣ данныя для топлива.

Такимъ образомъ потеря въ трубу обратно пропорціональна содержанію въ продуктахъ горѣнія углекислоты, что и видно на діаграммахъ.

J —теплоту испарения пара въ смѣси M ($J = q + \rho x$ —см. § 2).

J_4 и J_1 —тоже для смѣси M_3 и $M + M_3$ (въ концѣ впуска).

$L = J + A p u . x$ —полную теплоту парообразования 1 kg. смѣси M , если p —абсолютное давленіе пара въ котлѣ (см. § 2).

T_a —абсолютную индикаторную работу пара при впускѣ въ kg. м., измѣряемую площадью $A1gb4A$ (такъ какъ впускъ начинается уже въ точкѣ A , соответствующей концу сжатія).

Q' —потерю тепла черезъ охлажденія пара на пути его, отъ котла до паровпускнаго канала.

Q_a —потерю тепла отъ конденсаціи пара во время впуска, т. е. переданную стѣнкамъ цилиндра

Q_1 —сумму $Q' + Q_a$.

Всѣ потери теплоты условимся брать со знакомъ (+), т. е. предположимъ, что всегда совершается переходъ отъ стѣнокъ цилиндра къ пару. Если при вычисленіи получимъ величину какой нибудь потери со знакомъ (—), то это укажетъ на обратный переходъ теплоты.

По закону сохраненія энергіи (I-й законъ механической теоріи тепла, по которому, при всякомъ измѣненіи состоянія рабочаго тѣла, количество сообщенной теплоты = приращенію внутренней энергіи + внѣшняя работа) находимъ для періода впуска:

$ML + M_3 . J_4 =$ количеству теплоты, внесенному въ цилиндръ въ теченіи впуска, отъ котораго къ концу впуска (или началу расширенія) осталось количество = $(M + M_3) J_1$, слѣдовательно остатокъ (безъ потерь Q_1) пошелъ на производство внѣшней работы T_a , т. е.

$$(ML + M_3 J_4) - (M + M_3) J_1 + Q_1 = A . T_a,$$

гдѣ A —механическій эквивалентъ работы = $1/425$ единицъ теплоты, или

$$M(L - J_1) + M_3(J_4 - J_1) + Q_1 = A . T_a \dots \dots (154)$$

Если пренебечь потерей теплоты Q_1 , то отсюда находимъ расходъ пара

$$M = \frac{A . T_a - M_3(J_4 - J_1)}{L - J_1} \dots \dots \dots (155)$$

Но, какъ показываютъ дѣйствительныя опытыя данныя, потери Q_1 , настолько велики, что ими пренебрегать нельзя и черезъ нихъ часто дѣйствительный расходъ превосходитъ теоретическій на 25—40% и даже больше.

Принимая эти потери въ расчетъ изъ формулы (154), получаемъ дѣйствительный расходъ пара

$$M = \frac{A . T_a - M_3(J_4 - J_1)}{L - J_1} - \frac{Q_1}{L - J_1} \dots \dots \dots (156)$$

Такъ какъ паръ конденсируется вслѣдствіе потери Q_1 единицъ тепла то количество охлажденнаго пара

$$m_0 = \frac{Q_1}{r} \dots \dots \dots (157)$$

гдѣ

$$r = q + A r_i.$$

§ 126. *Опредѣленіе степени влажности пара* въ началѣ и въ концѣ каждаго періода необходимо, чтобы знать величины J и L , входящія въ предыдущія формулы.

Если есть индикаторная діаграмма, то, зная абсолютное давленіе въ данныхъ точкахъ и занимаемые паромъ объемы, можно по таблицѣ Флигнера (или Цейнера) найти и соответствующую плотность γ , а слѣдовательно и вѣсъ *сухого* насыщеннаго пара, находящагося въ данномъ объемѣ. Но такъ какъ пропорція пара въ смѣси неизвѣстна, то нельзя найти и вѣса смѣси воды и пара. Поэтому прибѣгаютъ къ основной гипотезѣ Нирн'а, по которой—въ началѣ сжатія, т. е. въ точкѣ 3 (фиг. 4)—остатокъ пара, находящійся въ цилиндрѣ, сухой и насыщенный. Обозначая через x_3 количество сухого пара въ 1 кг. смѣси въ началѣ сжатія, находимъ, слѣдовательно, $x_3 = 1$. Доказать опытнымъ путемъ эту гипотезу невозможно, но она имѣетъ высокую степень вѣроятности, такъ какъ во время выпуска происходитъ значительное пониженіе давленія и температуры и вслѣдствіе этого непрерывная отдача теплоты отъ нагрѣтыхъ стѣнокъ цилиндра осѣвшей конденсационной водѣ, которая будетъ быстро испаряться, и поэтому едва-ли къ концу выпуска она еще будетъ оставаться въ цилиндрѣ. Въ пользу этого говоритъ еще и то обстоятельство, что при влажномъ парѣ кривая сжатія поднималась-бы значительно менѣе Мариаттовской гиперболы, что наблюдается очень рѣдко (см. § 9). Въ паровозахъ-же, гдѣ обыкновенно выпускъ пара не превышаетъ малой доли секунды, незначительная влажность остатка пара, если-бы даже она и существовала, не можетъ оказать на входящій паръ замѣтнаго вліянія и въ такое короткое время эта вода не можетъ поглотить много тепла на свое нагрѣваніе, обладая сама въ концѣ сжатія высокою температурою.

И такъ принимаемъ за основное положеніе, что $x_3 = 1$, и тогда вѣсъ сухого пара въ началѣ сжатія $m_3 = M_3$.

Обозначимъ теперь черезъ:

v_1, v_2, v_3 и v_4 —объемы, занимаемые смѣсью въ цилиндрѣ въ началѣ каждаго періода, т. е. въ точкахъ 1, 2, 3 и 4 (фиг. 4).

$\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ и γ_4 —плотность сухого пара въ этихъ точкахъ (при соответствующемъ объемѣ и давленіи).

$\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3$ и ϵ_4 —пути, пройденные поршнемъ (въ % всего хода поршня h), до начала каждаго періода, считая отъ лѣвой мертвой точки.

m_1, m_2, m_3 и m_4 —вѣсъ сухого пара въ точкахъ 1, 2, 3 и 4.

x_1, x_2, x_3 и x_4 —количество сухого пара въ 1 kg. смѣси въ точкахъ 1, 2, 3 и 4.

h_0 —величина вреднаго пространства. Находимъ:

$m_3 = M_3 = v_3 \cdot \gamma_3$. Имѣя v_3 изъ діаграммъ, а γ_3 изъ таблицы Флигнера, мы, слѣдовательно, находимъ и величину M_3 , т. е. количество смѣси (въ данномъ случаѣ по предыдущему—сухого пара) въ моментъ начала сжатія.

Въ концѣ сжатія (или въ началѣ впуска) вѣсъ сухого пара $m_4 = v_4 \cdot \gamma_4$. Если здѣсь паръ влаженъ, то m_4 будетъ $< M_3$. и $x_4 = m_4 / M_3$. Если паръ здѣсь перегрѣтъ, то m_4 будетъ $> M_3$.

Къ концу впуска вѣсъ смѣси $= M + M_3$, гдѣ M —количество свѣжаго, поступившаго изъ котла, пара. Вѣсъ сухого пара здѣсь $= m_1 = v_1 \cdot \gamma_1$ и количество сухого пара въ 1 kg. смѣси

$$x_1 = \frac{m_1}{M + M_3}.$$

Если x_1 будетъ > 1 , то это укажетъ, что онъ перегрѣтъ.

Затѣмъ эта смѣсь расширяется и въ концѣ расширения (или въ началѣ выпуска) вѣсъ сухого пара въ смѣси будетъ $= m_2 = v_2 \cdot \gamma_2$ и пропорція сухого пара

$$x_2 = \frac{m_2}{M + M_3}.$$

Если $x_2 > 1$, то паръ перегрѣтъ.

Въ концѣ-же впуска снова остается количество смѣси M_3 , но здѣсь паръ сухой и $x_3 = 1$. Такимъ образомъ имѣемъ

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= \frac{m_1}{M + M_3} = \frac{1}{M + M_3} \cdot v_1 \cdot \gamma_1 = \frac{1}{M + M_3} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_1}{100} \cdot h \cdot \gamma_1 \\ x_2 &= \frac{m_2}{M + M_3} = \frac{1}{M + M_3} \cdot v_2 \cdot \gamma_2 = \frac{1}{M + M_3} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_2}{100} \cdot h \cdot \gamma_2 \\ x_3 &= 1 \\ x_4 &= \frac{m_4}{M_3} = \frac{1}{M_3} \cdot v_4 \cdot \gamma_4 = \frac{1}{M_3} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_4}{100} \cdot h \cdot \gamma_4 \end{aligned} \right\} (158)$$

и наконецъ

$$M_3 = m_3 \cdot \gamma_3 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_3}{100} \cdot h \cdot \gamma_3 \dots \dots \dots (159)$$

Диаметръ цилиндра d , его ходъ h и величина h_0 извѣстны, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ и ε_4 находимъ изъ діаграммъ, $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3$ и γ_4 изъ таблицы Флигнера,

слѣдовательно изъ формулы (159) находимъ M_3 , а потому для нахождения x_1 , x_2 и x_4 достаточно знать величину M , которая находится опытнымъ путемъ (см. § 116), и точно опредѣлить границы каждаго періода, т. е. точки 1, 2, 3 и 4 средней діаграммы. Какъ мы видѣли (см. § 6—10), послѣднее, къ сожалѣнію, въ паровозныхъ индикаторныхъ діаграммахъ, въ особенности снятыхъ при большихъ скоростяхъ, часто затруднительно, ввиду постепенности перехода одной кривой въ другую и составляетъ серьезную задачу для экспериментатора. Поэтому Zeuner совѣтуетъ періодъ впуска (въ концѣ котораго уже начинается расширение—§ 6) и расширения разсматривать вмѣстѣ, такъ какъ точку 1 опредѣлить обыкновенно особенно затруднительно.

Наконецъ, надо знать еще степень влажности x котлового пара, которую опредѣляютъ посредствомъ приборовъ (см. §§ 52—56) или, за неимѣніемъ таковыхъ, принимаютъ условно равною 5 или 10%. Замѣтимъ при этомъ, что если влажность пара x неизвѣстна, то вообще точныхъ расчетовъ не можетъ быть и они будутъ только болѣе или менѣе приближительны. Хотя есть эмпирическія формулы (напр., Нгабак'а, см. его сочиненіе „Hilfsbuch für Dampfmaschinen-Techniker“) для опредѣленія потерь вслѣдствіе охлаждения, но онѣ годны только для приблизительныхъ, предварительныхъ расчетовъ паровыхъ машинъ. Въ паровозахъ же, какъ мы видѣли, степень влажности пара еще, кромѣ того, непрерывно мѣняется въ зависимости отъ обстоятельствъ его работы.

§ 127. Теперь изъ формулы (154) мы можемъ найти величину потери Q_1 . Въ паровозахъ паръ на пути изъ котла до впуска въ цилиндръ, проходя черезъ узкое отверстіе регулятора, по паропроводнымъ трубамъ, уложеннымъ въ дымовой коробкѣ, гдѣ температура выше 300° и затѣмъ, подвергаясь „мятію“ при впускѣ, долженъ не только не конденсироваться, но даже осушаться, въ особенности при внутреннихъ золотниковыхъ коробкахъ или при ихъ защитѣ отъ охлаждения подобно цилиндрамъ (что надо настойчиво рекомендовать); конденсація въ золотниковой коробкѣ покрывается перегрѣвомъ пара въ дымовой коробкѣ и поэтому величину Q' можно считать = 0 и тогда $Q_1 = Q_a$. Во всякомъ случаѣ, желательно опредѣлить влажность пара въ котлѣ и въ золотниковой коробкѣ и разность даетъ понятіе о величинѣ потери Q' .

§ 128. Періодъ расширения. Обозначимъ, по предыдущему, черезъ: J_2 —теплоту испаренія 1 kg. пара въ концѣ расширенія;

T_b —абсолютную полезную работу расширенія въ kpm., измѣряемую площадью 12eg1 (фиг. 4);

Q_b —обмѣнъ теплоты между стѣнками цилиндра и паромъ, тогда

$(M + M_3)(J_1 - J_2)$ — убыль тепла за периодъ расширения. Калориметрическое ур-іе периода расширения будетъ:

$$(M + M_3)(J_1 - J_2) + Q_b^- = A \cdot T_b \dots \dots \dots (160)$$

Если (по Zeuner'у) разсматривать периоды впуска и расширения вмѣстѣ, то получимъ комбинированное ур-іе:

$$M(L - J_2) + M_3(J_4 - J_2) + Q' + Q_a + Q_b = A(T_a + T_b) \dots (161)$$

§ 129. Периодъ выпуска. Обозначимъ черезъ:

J_3 — теплоту испаренія 1 kg. оставшагося пара въ концѣ выпуска;
 T_c — абсолютную полезную работу при выпускѣ, измѣряемую площадью $2Bfe2 - B3cfB$;

Q_c — обмѣнъ тепла между цилиндромъ и паромъ въ периодъ выпуска;
 V — потерянное количество теплоты, уносимое выходящимъ наружу паромъ.

Тогда потеря теплоты при выпускѣ $= (M + M_3)J_3 - M_3J_3$ и калориметрическое ур-іе выпуска будетъ

$$(M + M_3)J_2 - M_3J_3 + Q_c - V = A \cdot T_c \dots \dots \dots (162)$$

Величину V легко найти въ постоянныхъ машинахъ съ конденсаціей, изслѣдуя воду, нагрѣваемую въ холодильникѣ выходящимъ паромъ, въ паровозахъ же это невозможно. Но для опредѣленія V замѣтимъ, что при установившемся движеніи ни скопленія воды въ цилиндрѣ, ни чрезмѣрнаго его нагрѣванія не происходитъ, а это показываетъ, что между цилиндромъ и паромъ устанавливается точный обмѣнъ. И посему, пренебрегая потерями черезъ лучеиспусканіе (очень незначительными) находимъ, что доставляемое изъ котла въ цилиндръ за каждый ходъ поршня количество теплоты ML расходуется такимъ образомъ: 1) часть ея AT превращается въ индикаторную работу T (изображаемую площадью $A 1 2 B 3 4 A$); 2) часть ея уносится наружу V и 3) часть Q' теряется на пути изъ котла до цилиндра; остальные же потери теплоты должны уравниваться (въ виду сказанной неизмѣнности состоянія цилиндра), т. е. цилиндръ получаетъ такое же количество теплоты во время конденсаціи пара, сколько возвращаетъ во время вторичнаго испаренія и $\Sigma Q = 0$.

Поэтому должно быть

$$V = ML + Q' - A \cdot T \dots \dots \dots (163)$$

Это уравненіе называется основнымъ уравненіемъ Нирн'а (видоизмѣненнымъ въ зависимости отъ обстоятельствъ).

Вмѣсто уравненія (162) теперь получимъ:

$$(M + M_3)J_2 - M_3J_3 + Q_c - ML - Q' + AT = A \cdot T_c$$

или

$$M(J_2 - L) + M_3(J_2 - J_3) + Q_c - Q' = A(T_c - T) \dots (162^{\text{bis}})$$

Полагая по предыдущему $Q' = 0$, находимъ:

$$Q_c = A(T_c - T) + M(L - J_2) + M_3(J_3 - J_2) \dots (164)$$

Величина Q_c должна быть такова, чтобы, при предположеніи сухости пара въ концѣ выпуска, вся вода, находившаяся въ цилиндрѣ въ концѣ расширения, обратилась въ парь, т. е. должно быть

$$Q_c = (M + M_3)(1 - x_2) Q_2 \dots (164^{\text{bis}})$$

Если найденная отсюда величина Q_c отличается отъ предыдущей, то это надо приписать одной изъ 3-хъ причинъ: неточному опредѣленію x_2 , неправильности допущеній $x_3 = 1$ или $Q^1 \neq 0$. Но разъ принято предположеніе $x_3 = 1$ и Q^1 не найдено опытно, то величину Q_c предпочтительно находить изъ уравненія (164^{bis}).

§ 130. *Періодъ сжатія.* Обозначимъ черезъ:

J_4 —теплоту испаренія пара въ концѣ сжатія.

T_d —абсолютную работу сжатія (здѣсь отрицательная), измѣряемую площадью $34\ bc\ 3$ (фиг. 4).

Q_d —обмѣнъ теплоты между цилиндромъ и паромъ въ этотъ періодъ.

Тогда убыль количества теплоты за періодъ сжатія въ остающемся количествѣ пара M_3 будетъ $= M_3(J_4 - J_3)$ и калорим. уравненіе сжатія будетъ

$$M_3(J_4 - J_3) + Q_d = A.T_d \dots (165)$$

§ 131. До сихъ поръ черезъ Q мы обозначали величины обмѣна теплоты между цилиндромъ (и другими охлаждающимися поверхностями—напр. штокомъ, поршнемъ и пр.) и входящимъ въ него паромъ, т. е. количество теплоты, отданное паромъ при его конденсаціи и обратно полученное имъ при вторичномъ испареніи. Эти величины служатъ лучшимъ *масштабомъ для оцѣнки паровоза съ калориметрической точки зрѣнія.* Чѣмъ онѣ меньше, тѣмъ, съ этой точки зрѣнія, выше паровозъ, какъ паровая машина, такъ какъ этотъ обмѣнъ и есть одна изъ главнѣйшихъ причинъ низкой экономичности современныхъ паровыхъ машинъ, вызывая начальную конденсацію пара и мало вознаграждающее её вторичное испареніе (см. § 7—8). Если-бы этотъ обмѣнъ былъ $= 0$, т. е. цилиндры были-бы теплонепроницаемы или точнѣе—всѣ поверхности, обмыаемыя паромъ, были-бы не способны поглощать и отдавать теплоту, то паровая машина была-бы идеальна и ея экономичность—наивысшая. Поэтому-то, чтобы судить о ней и имѣть наиболѣе рельефный масштабъ для сравненія ея съ другими машинами при всевозможныхъ обстоятельствахъ работы мы должны для каждаго случая опредѣлить эти величины Q (Q_a, Q_b, Q_c, Q_d

и если можно Q^1 , если ее не полагаемъ = 0, напр. при вѣшнихъ паро-проводныхъ трубахъ, что впрочемъ теперь встрѣчается рѣдко) и тогда сразу будетъ видно, какая изъ данныхъ машинъ совершеннѣе съ нашей точки зрѣнія.

§ 132. *Вторичное испареніе.* Какъ мы видѣли, количество сухого пара въ началѣ расширенія было

$$m_1 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_1}{100} \cdot h \cdot \gamma_1$$

и оно въ концѣ расширенія измѣнилось и стало равно

$$m_2 = \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h_0 + \varepsilon_2}{100} \cdot k \cdot \gamma_2$$

Величина $m_2 - m_1$, очевидно, въ зависимости отъ того $>$ или $<$ она 0, покажетъ, была-ли въ періодъ расширенія конденсація пара или его вторичное испареніе или вѣрнѣе — преобладалъ-ли тотъ или другой процессъ.

Величина

$$\left(\frac{m_2 - m_1}{m_1} \right) 100 = \left(\frac{m_2}{m_1} - 1 \right) 100 = \left(\frac{(h_0 + \varepsilon_2) \gamma_2}{(h_0 + \varepsilon_1) \gamma_1} - 1 \right) 100 \quad . (166)$$

дасть намъ процентное (по отношенію къ m_1) увеличеніе сухого пара въ концѣ расширенія. Если опредѣлить эти величины для различныхъ степеней наполненія и скоростей, то можно построить кривыя, подобныя представленнымъ на фиг. 9. По опытамъ Leitzmann'a вторичное испареніе наступаетъ только при наполненіяхъ цилиндра ниже извѣстнаго предѣла.

§ 133. *Абсолютныя индикаторныя работы* за каждый періодъ, т. е. T_a , T_b , T_c , и T_d , входящія въ выведенныя выше формулы, находятся изъ индикаторныхъ діаграммъ такимъ образомъ:

Пусть p' , $p'' \dots$ = среднимъ индикаторнымъ давленіямъ за періоды впуска, расширенія и т. д. Тогда абсолютная работа въ періодъ впуска T_a , измѣряемая площадью $A1gaA$ безъ площади $A4baA$ (фиг. 4), будетъ = давленію на поршень, т. е. $\frac{\pi d^2}{4} \cdot (p' + 1)$, умноженному на пройденный путь $ag = \frac{\varepsilon_1 \cdot h}{100}$ безъ работы, совершенной на пути $ab = \frac{\varepsilon_4 \cdot h}{100}$, т. е. безъ работы

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\varepsilon_4 h}{100} [p'_4 + 1],$$

гдѣ p'_4 среднее давленіе предварительнаго впуска. Такимъ образомъ

$$\begin{aligned} T_a &= \frac{\pi d^2}{4} (p' + 1) \frac{\varepsilon_1 \cdot h}{100} - \frac{\pi d^2}{4} (p'_4 + 1) \frac{\varepsilon_4 \cdot h}{100} = \\ &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h}{100} [(p' + 1) \varepsilon_1 - (p'_4 + 1) \varepsilon_4] \dots \dots \dots (167) \end{aligned}$$

Но величина $\frac{h}{100} [(p' + 1) \varepsilon_1 - (p'_4 + 1) \varepsilon_4]$ = площади $A1gb4A$, слѣдовательно для полученія абсолютной работы за періодъ впуска, нужно величину площади поршня умножить на величину площади той части индикаторной діаграммы, которая соотвѣтствуетъ искомой работѣ *).

Также находимъ:

Абсолютная индикаторная работа періода расширенія, измѣряемая площадью $12eg1$, равняется

$$T_b = \frac{\pi d^2}{4} \times (\text{величину площади } 12eg1) = \frac{\pi d^2}{4} \cdot (p'' + 1) \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{100} \cdot h \quad (168)$$

и т. д.

§ 134. Примеръ.

Инженеръ Leitzmann при опытахъ съ прусскимъ нормальнымъ пассажирскимъ паровозомъ о 2-хъ спаренныхъ осяхъ съ двухъ-осною тележкой снялъ діаграмму **) при наполненіи $\varepsilon_1 = 16,2\%$ и средней скорости $v = 78,2 \text{ km/h}$. Диаметръ цилиндра $d = 46 \text{ см.}$, ходъ $h = 60 \text{ см.}$, вредное пространство $h_0 = 8,05\%$. Среднее давленіе въ котлѣ $p = 12,3 \text{ kg.}$ Длина діаграммы $l = 111 \text{ мм.}$, масштабъ давленій $c = 5,35 \text{ мм. на kg.}$

По измѣреніи діаграммы найдено:

Площадь $A1daA = A_1 = 1033 \text{ мм}^2$.

» $A4baA = A_2 = 157 \text{ мм}^2$.

» $12ed1 = B = 1655 \text{ мм}^2$. и т. д.

Абсолютная индикаторная работа во время впуска T'_a по формулѣ (167) будетъ

$$\begin{aligned} T'_a &= \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{h}{100} [(p' + 1) \varepsilon_1 - (p'_4 + 1) \varepsilon_4] = \frac{\pi \cdot 46^2}{4} \cdot 0,6 \frac{(p' + 1) \varepsilon_1 - (p'_4 + 1) \varepsilon_4}{100} = \\ &= 997,5 \frac{(p' + 1) \varepsilon_1 - (p'_4 + 1) \varepsilon_4}{100} \end{aligned}$$

*) При этомъ понятно, что на индикаторной діаграммѣ величины давленій и путей, т. е. $p', p'' \dots$ и $h_1, \varepsilon_1 h_1, \varepsilon_2 h_2 \dots$ чертятся въ нѣкоторыхъ масштабахъ, которые и надо имѣть въ виду, вычисляя указанныя площади.

**) Приблизительный видъ діаграммы (съ измѣненными для ясности размѣрами) показанъ на фиг. 388.

Но площадь

$$A_1 = c(p' + 1) \cdot \frac{\varepsilon_1 \cdot l}{100} \text{ и } A_2 = c(p'_4 + 1) \cdot \frac{\varepsilon_4 \cdot l}{100},$$

гдѣ p' и p'_4 среднія давленія отъ A до 1 и отъ 4 до A .

Слѣдовательно

$$\frac{(p' + 1) \varepsilon_1}{100} = \frac{A_1}{c \cdot l} \text{ и } \frac{(p'_4 + 1) \varepsilon_4}{100} = \frac{A_2}{c \cdot l}$$

и поэтому

$$T_a = 997,5 \cdot \frac{A_1 - A_2}{c \cdot l} = 997,5 \cdot \frac{1033 - 157}{5,35 \cdot 111} = 1472 \text{ kg.m}$$

и

$$A \cdot T_a = \frac{1472}{424} = 3,47 \text{ WE.}$$

Расходъ пара, пренебрегая, потери Q_1 , по формулѣ (155) равенъ

$$M = \frac{A \cdot T_a - M_3(J_4 - J_1)}{L - J_1},$$

но изъ діаграммы находимъ давленіе въ точкѣ 3 = $p_3 = 1,1$ kg. и по таблицамъ соотвѣтственная величина $\gamma_3 = 1,18$ kg/m^3 , поэтому по формулѣ (159) находимъ $M_3 = 58 \text{ g.} = 0,058 \text{ kg}$. Такъ какъ потерь никакихъ нѣтъ и мы предполагаемъ паръ, идущій изъ котла, сухимъ, то изъ таблиц находимъ величину $L = q + \varrho + A p u$, которая для давленія въ котлѣ = 12,3 kg. и при сухомъ парѣ ($x = 1$) равняется 664,95 WE. Также $J_4 = q_4 + \varrho_4$, полагая $x_4 = 1$, равняется 610,71 и $J_1 = q_1 + \varrho_1$, для давленія въ концѣ впуска = 8,6 kg. и сухомъ парѣ ($x_1 = 1$) равняется 614,69, слѣдовательно

$$M = \frac{3,47 - 0,058(610,71 - 614,69)}{664,95 - 614,69} = \frac{3,47 + 0,26}{50,26} = 74 \text{ g.} = 0,074 \text{ kg.}$$

Таковъ былъ-бы расходъ на 1 ходъ поршня, если-бы паръ былъ сухой и никакихъ потерь въ цилиндрѣ не существовало, т. е. цилиндръ былъ теплонепроницаемъ.

Но въ дѣйствительности паръ въ котлѣ получается сырой. Допустимъ его влажность = 10%, т. е. $x = 0,9$. Предполагая теперь цилиндры теплонепроницаемыми, мы нашли-бы расходъ пара = 82 g. = 0,082 kg.

Фактически-же расходъ оказался несравненно большимъ. Во время поѣздки въ теченіи 45 минутъ, при числѣ оборотовъ ведущей оси = 10440, было испарено 5829 kg. воды для полезной работы, т. е. расходъ на 1 ходъ поршня (паровозъ двухцилиндровый, однократнаго расширения) =

= слишкомъ 140 g. = 0,14 kg. Зная теперь изъ опыта $M = 0,14$ и по предыдущему $M_3 = 0,058$, находимъ по формуламъ (158) степень сухости въ различныхъ пунктахъ:

$$x_1 = \frac{(8,05 + 16,2) \cdot 4,91}{0,14 + 0,058} = 0,6$$

$$x_2 = \frac{(8,05 + 64,0) \cdot 2,21}{0,14 + 0,058} = 0,8$$

$$x_3 = 1 \text{ по предположенію и}$$

$$x_4 = \frac{(8,05 + 3,5) \cdot 3,24}{0,058} = 0,65.$$

Считая, какъ сказано, влажность котлового пара = 10%, т. е. $x = 0,9$, мы можемъ найти теперь всѣ требуемыя величины L , J_1 , J_4 и т. д. изъ таблицъ, а слѣдовательно и потери теплоты паромъ.

$$1) \quad Q' + Q_a = Q_1 = AT_a - M(L - J_1) - M_3(J_4 - J_1) \text{ по формулѣ (154) =}$$

$$= 3,47 - 0,14(617,88 - 440,58) - 0,058(452,88 - 440,58) = -22,06 \text{ WE.}$$

т. е. происходитъ потеря теплоты отъ пара къ цилиндру.

2) Для періода расширенія находимъ:

$$T_b = \frac{\pi d^2}{4} \frac{h}{100} (p'' + 1) (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) = 997,5 \cdot \frac{B}{c \cdot l} = 997,5 \frac{1655}{5,35 \cdot 111} = 2780 \text{ kg.m.}$$

слѣдовательно

$$AT_b = \frac{2780}{424} = 6,56 \text{ WE}$$

и потеря тепла при расширеніи (по формулѣ 160)

$$Q_b = A \cdot T_b - (M + M_3)(J_1 - J_2) = 6,56 - (0,14 + 0,058)(440,58 - 514,33) =$$

$$= + 21,15 \text{ WE.}$$

Знакъ (+) показываетъ, что въ общемъ за этотъ періодъ передается на 21,15 единицъ теплоты больше отъ цилиндра къ пару. Такимъ-же точно образомъ найдемъ потерю теплоты для періода выпуска (по формулѣ 162)

$$3) \quad Q_c = AT_c - (M + M_3)J_2 + M_3J_3 + V = 0,20 - (0,14 + 0,058) \cdot 514,33 +$$

$$+ 0,058 \cdot 601,48 + V = -66,75 + V.$$

Величину V находимъ по формулѣ (163)

$$V = ML + Q' - A \cdot T = 0,14 \cdot 617,88 + Q' - 7,38 = 79,12 + Q'$$

слѣдовательно

$$Q_c = -66,75 + 79,12 + Q' = 12,37 + Q'.$$

Полагая здѣсь, на основаніи предыдущаго, $Q' = 0$, находимъ

$$Q_c = +12,37 WE.$$

Если Q_c найти по уравненію (164^{bis}), то получимъ

$$Q_c = (M + M_3)(1 - x_2)Q_2 = (0,14 + 0,058)(1 - 0,80) \cdot 461,70 = +18,28 WE.$$

Наконецъ, для періода сжатія имѣемъ по формулѣ (165)

$$4) Q_d = AT_d - M_3(J_4 - J_3) = 2,85 - 0,058(601,47 - 452,88) = -11,47 WE.$$

Такимъ образомъ былъ слѣдующій обмѣнъ теплоты между охлаждающими поверхностями и паромъ:

$$Q_a = -22,06 \quad Q_b = +21,15$$

$$Q_d = -11,47 \quad Q_e = +12,37,$$

т. е. въ предѣлахъ

$$Q = \pm 33,53 WE.$$

Эта цифра и представляетъ искомую характеристику даннаго паровоза съ калориметрической точки зрѣнія.

Какъ мы видимъ, количество теплоты, которое тратится на 1 ходъ поршня $= ML = 0,14 \cdot 617,88 = 86,50 WE$ и изъ него утилизируется, т. е. превращается въ индикаторную работу, только $A \cdot T = 7,38 WE$, поэтому абсолютный калориметрическій полезный эффектъ паровоза будетъ равенъ

$$\eta = \frac{AT}{ML} = 0,085 \text{ или } 8,5\%.$$

§ 135. Compound—паровозы. Въ нихъ свѣжій паръ впускается только въ малый цилиндръ и выпускъ пара изъ него производится не въ атмосферу, а въ ресиверъ, почему величина V (§ 129) не теряется, но переходитъ вмѣстѣ съ паромъ въ большой цилиндръ, гдѣ и превращается въ извѣстную часть работы. Поэтому всѣ выведенныя раньше калориметрическія уравненія для одноцилиндровой машины примѣнимы и здѣсь къ цилиндру высокаго давленія.

Обозначимъ теперь черезъ:

Q' —потерю теплоты черезъ охлажденіе пара на пути отъ котла до входа въ малый цилиндръ (§ 125).

Q'' —тоже на пути отъ выхода пара изъ малаго цилиндра до впуска въ большой цилиндръ, т. е. потерю въ ресиверѣ.

V' — свободное количество теплоты, которое переходит съ паромъ изъ малаго цилиндра въ большой.

V'' — конечную потерю теплоты при вышукѣ изъ большого цилиндра.

Для большого цилиндра ресиверъ замѣняетъ котель и расходъ пара для него надо опредѣлить по среднему давленію p_r въ ресиверѣ и количеству теплоты V' , которое опредѣляется по формулѣ (163).

Съ большою степенью вѣроятности можно предположить, что паръ, выходящій изъ малаго цилиндра, сухой, т. е. $x_r = 1$. Тогда находимъ $J_r = q_r + q_r$ (зная p_r — изъ таблицъ), а слѣдовательно и количество пара M'' , для большого цилиндра, которое очевидно равно

$$M'' = \frac{V'}{J_r}$$

Дальше — всѣ разсужденія остаются тѣ-же и большой цилиндръ можно разсматривать какъ цилиндръ машины однократнаго расширения и примѣнять выведенныя формулы, замѣняя только M черезъ M'' , Q' черезъ Q'' и т. д. Оставляя тѣ-же обозначенія и здѣсь, найдемъ напр. калориметрическое ур-іе впуска:

$$M''(J_r - J_1) + M_3(J_4 - J_1) + Q'' + Q_a = A.T_a \dots (169)$$

и т. д.

Величину конечной потери V'' находимъ такимъ образомъ:

1) Пусть индикаторная работа большого цилиндра = T_1 , тогда по формулѣ (163) имѣемъ

$$V'' = M'' J_r + Q'' - A.T_1 \dots (170) \text{ или}$$

2) Разсматривая общую индикаторную работу въ обоихъ цилиндрахъ = $T + T_1$ имѣемъ

$$V'' = M.L + Q' + Q'' - A(T + T_1) \dots (171)$$

Въ общемъ, обмѣнъ теплоты Q между охлаждающими поверхностями и паромъ въ паровозахъ Comround долженъ быть меньше, такъ какъ главнѣйшее ихъ преимущество и заключается въ уменьшеніи конденсаціи, хотя это главнымъ образомъ относится къ малому цилиндру, такъ какъ въ большомъ цилиндрѣ, благодаря его большой поверхности, это уменьшеніе конденсаціи значительно меньше. Кромѣ того сюда еще прибавляется потеря теплоты въ ресиверѣ. Эти заключенія подтверждаются и опытно. Напр. Leitzmann совершилъ опытную поѣзду съ двухцилиндровымъ быстроходнымъ паровозомъ Comround (о $\frac{2}{4}$ сп. ос.). Какъ и всегда, принималось, что влажность котлового пара = 10% и въ концѣ выпуска паръ сухой, т. е. $x_3 = 1$. Сразу было опредѣлено, что обмѣнъ теплоты въ маломъ цилиндрѣ значительно меньше, чѣмъ въ паровозѣ однократ-

наго расширенія (у котораго оно = 38,5%), а именно обмѣнъ былъ = ± 18,66 WE, т. е. только 10% всей располагаемой теплоты. При выпускѣ пара изъ малаго цилиндра, его среднее давленіе было = $p'_r = 4,5$ kg., въ ресиверѣ-же $p_r = 3,3$ kg. и въ золотниковой коробкѣ большаго цилиндра только 3,2 kg., т. е. въ ресиверѣ происходило значительное охлажденіе. При впускѣ въ большаой цилиндръ, этотъ паръ въ ресиверѣ расширялся и слѣдовательно происходило его вторичное испареніе, почему часть потерянной теплоты вновь возвращалась пару. Въ большомъ цилиндрѣ значительная часть этой выгоды, вслѣдствіе усиленной конденсаци, терялась. Обмѣнъ тепла былъ уже = ± 15%, т. е. въ общемъ около 25%, но все-жъ таки значительно меньше, чѣмъ у паровоза однократнаго расширенія.

Термическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины.

§ 136. При изслѣдованіи степени экономичности работы паровой машины, одинъ изъ важнѣйшихъ вопросовъ заключается въ опредѣленіи степени ея совершенства и въ нахожденіи тѣхъ условій, при исполненіи которыхъ дѣйствіе машины улучшается, а слѣдовательно повышается и коэффициентъ ея полезнаго дѣйствія. Смотри, въ данномъ случаѣ, на машину съ точки зрѣнія ея термическаго совершенства, мы должны опредѣлить, насколько полно машина утилизируетъ ту энергію, которая ей доставляется. Всего естественнѣе было-бы сравнивать количество теплоты, пошедшей на производство машиною эффективной работы, съ тѣмъ количествомъ теплоты, которое данное топливо можетъ выдѣлить, сгорая на рѣшеткѣ пароваго котла, т. е. къ количеству теплоты, скрытому въ топливѣ. Если на рѣшеткѣ сгораетъ B kg. и каждый kg. при совершенномъ сгораніи выдѣляетъ w единицъ теплоты, то всего можетъ выдѣлиться $B.w$ единицъ теплоты. Такъ какъ работа, равная 1 лощ. силѣ, соответствуетъ $\frac{75.60}{425} = 10,6$ единицъ теплоты въ 1', то если данная машина развиваетъ N лошадиныхъ полезныхъ силъ, то величина

$$\eta = \frac{10,6 \cdot N}{Bw} \dots \dots \dots (172)$$

и даетъ общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія всего двигателя, т. е. котла и машины ввѣстѣ и характеризуетъ экономичность всего процесса утилизаци топлива. Это отношеніе весьма мало въ современныхъ машинахъ и не превосходитъ 0,15. Въ лучшихъ современныхъ двигателяхъ оно = maximum, 0,132 какъ напр. въ двигателѣ Шмидта, изслѣдованномъ проф. Schroeter'омъ, работающимъ перегрѣтымъ до 350°C паромъ при давленіи = 12 at. Въ машинахъ, работающих не перегрѣтымъ паромъ,

этотъ коэффициентъ еще ниже, даже для лучшихъ машинъ, напр. для машины тройного расширенія въ 700 *HP*, построенной на Аусбургскомъ машиностроительномъ заводѣ и работающей на мануфактурѣ въ Геггингенѣ при давленіи въ котлѣ = 10 ат., по изслѣдованію проф. Schroeter'a, этотъ коэффициентъ = только 0,1210. При этомъ котлы работали прекрасно и ихъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія былъ = 0,80. На эти величины = 0,12 — 0,13 мы должны смотрѣть какъ на предѣльныя, которыя едва-ли будутъ превзойдены въ паровыхъ машинахъ *). Въ паровыхъ-же этотъ коэффициентъ опускается значительно ниже, и не превосходитъ обыкновенно 0,085. Но, какъ сказано, сюда входитъ и вліяніе парового котла, который не совершененъ и слѣдовательно указанная цифра нельзя относить всецѣло къ паровой машинѣ. Котель передаетъ водѣ, обращая ее въ паръ, только нѣкоторую часть теплоты, развитой въ топкѣ, и эта-то теплота, переходя въ машину съ паромъ, и превращается машиною, въ большей или меньшей степени, въ работу.

На счетъ машины, понятно, и слѣдуетъ отнести только то тепло, напр. Q_m калорій, которое получено паромъ, и тогда отношеніе

$$\eta_1 = \frac{10,6 \cdot N}{Q_m} \dots \dots \dots (173)$$

характеризуетъ выгодность утилизаціи теплоты собственно одною машиною и называется „коэффициентомъ абсолютнаго полезнаго термическаго дѣйствія машины“. Знать эту величину необходимо, чтобы 1) опредѣлить работоспособность данной машины безотносительно къ работѣ другихъ подобныхъ машинъ; 2) для сравненія количества теплоты, утилизируемой тѣми или другими типами машинъ, и 3) для сравненія количества теплоты, утилизируемой даннымъ типомъ машинъ или данной машиной при разныхъ обстоятельствахъ ея работы. Упомянутый абсолютный коэффициентъ также очень малъ и не превосходитъ 0,25, но на основаніи этого ошибочно было-бы предполагать о техническомъ несовершенствѣ самой машины, надъ усовершенствованіемъ которой работали столько гениальныхъ умовъ въ теченіе цѣлаго столѣтія. Причина-же малой величины этого коэффициента заключается въ законѣ природы, по которому (второй принципъ термодинамики) данное количество теплоты можетъ быть обращено въ работу только частью въ зависимости отъ наивысшей и наимнзшей температуры, которыми можно при этомъ располагать, и даже идеальная, теоретически совершенная паровая машина можетъ обратить въ работу не болѣе 30% (какъ увидимъ ниже) выне-

*) Въ машинахъ Дизеля онъ достигаетъ до 0,266 и, вообще, въ газовыхъ и керосиновыхъ двигателяхъ этотъ коэффициентъ выше.

сенной изъ котла теплоты, такъ какъ бóльшая часть теплоты переходитъ въ холодильникъ или уносится въ атмосферу съ обработаннымъ паромъ. Это естественное слѣдствіе законовъ природы и ничѣмъ не устранимый главнѣйшій недостатокъ паровыхъ машинъ и поэтому-то еще въ 1856 г. Redtenbacher писалъ Zeuner'у, что „основной принципъ образования пара и его использование невѣренъ“ и въ 1859: „можно надѣяться, что въ недалекомъ времени, когда сущность теплоты и ея дѣйствіе будутъ достаточно выяснены, паровыя машины будутъ оставлены“ *).

Въ виду сказаннаго, чтобы судить объ относительной степени совершенства данной машины, надо ее сравнивать съ тою совершенною, идеальною паровою машиною, которая при данныхъ условіяхъ превращаетъ въ работу максим'альное количество теплоты; беря теперь отношеніе количества теплоты, превращаемое въ механическую работу данной, дѣйствительной машиной, къ тому теоретическому количеству теплоты, которое способна превратить въ работу идеальная, *физически возможная* машина, работающая при данныхъ условіяхъ, мы получимъ „*относительный термическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія машины*“, показывающій на степень приближенія данной машины къ идеалу. Это отношеніе = 50—80%. Очевидно, сказанные абсолютный и относительный коэффициенты—*понятія различнаго рода* и поэтому они могутъ не совпадать, т. е. имѣя меньшій абсолютный коэффициентъ, машина при данныхъ условіяхъ можетъ лучше утилизировать располагаемую теплоту и слѣдовательно имѣть высшій относительный коэффициентъ.

§ 137. Совершенныя машины, предлагаемыя для сравненія.

Вопросъ о томъ, какую машину принимать какъ критерій для сравненія,—понятно, очень важенъ, но до сихъ поръ этотъ вопросъ еще не рѣшенъ окончательно, хотя неоднократно разбирался въ литературѣ. Чтобы устранить разногласіе и установить общую мѣру для сравненія всѣхъ паровыхъ машинъ между собою, обществомъ гражданскихъ инженеровъ въ Лондонѣ была назначена коммиссія, которая разсмотрѣла нѣсколько предложенныхъ совершенныхъ машинъ, произвела имъ сравнительную оцѣнку и приняла нѣкоторыя положенія.

Естественнѣе всего было-бы принять за совершенную или идеальную машину ту, которая работаетъ по *циклу Карно (Carnot)*, такъ какъ изъ термодинамики извѣстно, что при этомъ развивается максим'альная работа, т. е. въ работу обращается максим'альное число единицъ располагаемой теплоты.

*) Какъ плохо утилизирующія теплоту.

Цикль Карно, по которому работает эта машина, заключается въ общемъ въ слѣдующемъ: цилиндръ (*теплопроницаемый*) можетъ сообщаться съ двумя источниками теплоты, температура которыхъ постоянна: „котломъ“ съ температурою t_1^0 и „холодильникомъ“ съ температурою t_0^0 . Пусть въ цилиндрѣ находится 1 кг. работающаго вещества (воды съ паромъ, газа и пр.) при температурѣ t_1 , давленіи p_1 и объемѣ v_1 . Соединяемъ цилиндръ съ котломъ черезъ какой нибудь совершенный проводникъ (напр. черезъ совершенное теплопроводное дно) и будемъ, двигая поршень, заставляя вещество расширяться. Благодаря соединенію съ котломъ, т. е. съ тѣломъ высшей температуры, вещество будетъ расширяться изотермически при постоянной температурѣ котла t_1^0 и, описывая кривую AB индикаторной діаграммы, представленной на фиг. 389, совершитъ работу $ABba$ за счетъ взятой изъ котла теплоты Q_1 ед. Это будетъ 1-й процессъ.

Въ точкѣ B (p_2, v_2, t_1^0) вещество разъединимъ отъ котла и заставимъ поршень двигаться дальше. При этомъ уже температура будетъ падать, а съ нею и давленіе. Этотъ 2-й, адиабатическій процессъ, совершаемый безъ притока и потери тепла, остановимъ у точки C , (p_3, v_3, t_0) когда температура вещества упадетъ до температуры холодильника t_0 . При этомъ адиабатическомъ расширеніи вещество произведетъ работу, изображаемую площадью $BCcb$, за счетъ своей внутренней энергіи. Затѣмъ, соединивши цилиндръ черезъ теплопроницаемое дно съ холодильникомъ, будемъ вещество сжимать, затрачивая внѣшнюю работу, до точки D (p_4, v_4, t_0). Температура вещества все время останется постоянною и $= t_0$ и нѣкоторое количество теплоты Q_0 будетъ передано холодильнику. Этотъ третій процессъ будетъ слѣдовательно изотермическій и внѣшняя потраченная работа изобразится площадью $DCcd$.

Наконецъ въ 4-мъ процессѣ, разобивши вещество отъ холодильника, будемъ его дальше сжимать, двигая поршень. Такъ какъ при этомъ нѣтъ ни притока, ни расхода теплоты, то теплота, не имѣя выхода, будетъ повышать температуру вещества. Остановивши процессъ сжатія въ точкѣ A , получимъ адиабатическую линію AD . Потраченная внѣшняя работа изобразится площадью $ADda$.

Въ результатѣ вещество возвращено въ свое первоначальное положеніе A . Оно получило теплоты изъ котла Q_1 ед. и отдало холодильнику Q_0 ед., обративши, слѣдовательно, въ работу $Q_1 - Q_0$ единицъ теплоты, что изображается площадью $ABCD$. Этотъ процессъ можно вести и въ обратномъ направленіи, т. е. онъ „*круговой*“ и „*обратимый*“.

Такимъ образомъ, здѣсь вся получаемая веществомъ теплота подводится при наивысшей и отнимаемая теплота удаляется при самой низкой температурѣ.

Въ термодинамикѣ доказывается, что абсолютный коэффициентъ полезнаго дѣйствія этой машины равенъ

$$\eta_c = \frac{t_1 - t_2}{t_1 + 273} \dots \dots \dots (174)$$

Въ примѣненіи къ насыщеннымъ парамъ общая діаграмма, изображенная на фиг. 389, приметъ видъ, показанный на фиг. 390, такъ какъ изотермическое расширение и сжатіе изобразятся прямыми, параллельными оси абсциссъ (оси объемовъ).

Но этотъ циклъ—совершенно *отвлеченное, теоретическое представление*, никогда неосуществимый идеаль, такъ какъ онъ заключаетъ въ себѣ адиабатическое сжатіе (въ 4-мъ періодѣ) вещества (для паровыхъ машинъ—смѣси пара и воды), которое практически абсолютно не выполнимо*), почему онъ не можетъ быть принятъ какъ образецъ для сравненія съ нимъ цикла какого-нибудь парового двигателя. Для этого-же нуженъ такой циклъ, который заключаетъ въ себѣ всѣ существенныя черты цикла дѣйствительной машины и только не имѣетъ свойственныхъ имъ потерь.

Въ этомъ отношеніи очень удобенъ *циклъ Rankine'a* (или Clausius'a), предложенный имъ въ 1854 г. и который болѣе подходитъ къ процессу въ дѣйствительной машинѣ. Его главное отличіе отъ цикла Carnot заключается въ отсутствіи четвертаго періода (адиабатическое сжатіе), который уничтоженъ вовсе, и индикаторная діаграмма имѣетъ видъ, представленный на фиг. 391.

Въ началѣ процесса (точка *D*) въ цилиндрѣ, предположимъ, находится 1 кг. воды при температурѣ выпуска t_0 . При введеніи въ него внѣшней теплоты (соединяя съ котломъ), температура воды поднимается до температуры котла t_1 , что соотвѣтствуетъ процессу *AD*, и при дальнѣйшемъ подводѣ теплоты вода испаряется при постоянной температурѣ t_1 и постоянномъ давленіи до полного испаренія всей воды (точка *B*). Если паръ перегрѣвается, то тепло сообщается уже не при постоянной температурѣ, а при возрастающей, при чемъ сохраняется только постоянное давленіе, т. е. верхняя изотерма обратится въ линію постояннаго давленія.

*) Не слѣдуетъ смѣшивать это съ сжатіемъ пара въ дѣйствительныхъ машинахъ, такъ какъ въ послѣднемъ случаѣ подъ влияніемъ сжатія повышается температура только той части пара, которая не успѣла уйти изъ цилиндра, что-же касается до остальной части жидкости, то она уходитъ изъ цилиндра при температурѣ t_0 и соотвѣтствующее ей количество приходится нагрѣвать въ котлѣ отъ t_0 до t_1 . Здѣсь-же, въ циклѣ Carnot—осуществить 4-й періодъ не возможно, если не будетъ какого-нибудь механическаго подогревателя. Безъ него (что и предполагается) [циклъ въ дѣйствительности не осуществимъ.

Въ точкѣ *B* прекращается соединеніе съ источникомъ наивысшей температуры, т. е. съ котломъ и въ этотъ моментъ въ цилиндрѣ находится 1 kg. сухого насыщеннаго пара. Затѣмъ происходитъ адиабатическое расширеніе *BC* до давленія, соответствующаго выпуску, и при обратномъ ходѣ поршня паръ обращается въ воду по изотермѣ *CD*, при чемъ температура его, вслѣдствіе соединенія съ источникомъ низшей температуры t_0 (т. е. съ холодильникомъ), остается постоянной и $= t_0$ и часть теплоты переходитъ въ холодильникъ.

Въ точкѣ *D* снова будетъ одна вода при температурѣ t_0 .

Такимъ образомъ для даннаго цикла мы имѣемъ: линію постоянного объема *AD*; линію постоянного давленія *AB*, которая обращается въ изотерму при неперегрѣтомъ парѣ; адиабату *BC* и изотерму *CD*.

Опредѣлимъ теперь абсолютный термическій коэффициентъ цикла Rankine'a.

1. При сухомъ насыщенномъ парѣ. Сообщается теплоты: 1) на пути *DA*: $q_1 - q_0$ сообразно съ нагрѣваніемъ воды отъ t_0^0 до t_1^0 (см. § 2), 2) на пути *AB*, при испареніи воды, r_1 ед. теплоты; всего-же $r_1 + q_1 - q_0 = \lambda_1 - q_0$. Стнмается теплота только на пути *CD* и если сухость пара въ точкѣ *C* равна x , то отнимается $r_0 x$ единиць теплоты, слѣдовательно обращено въ работу $r_1 + q_1 - q_0 - r_0 x = \lambda_1 - q_0 - r_0 x$ единиць теплоты и слѣдовательно искомый термическій коэффициентъ равенъ

$$\eta_r = \frac{r_1 + q_1 - q_0 - r_0 x}{\lambda_1 - q_0} = \frac{\lambda_1 - q_0 - r_0 x}{\lambda_1 - q_0} = 1 - \frac{r_0 x}{\lambda_1 - q_0} \dots (175)$$

Величина x опредѣляется изъ ур-ія адиабатической линіи, выводимой въ термодинамикѣ,

$$\int_0^t \frac{dq}{273 + t} + \frac{rx}{273 + t_0} = \text{пост.} \dots (176)$$

Для даннаго случая находимъ

$$\int_0^{t_0} \frac{dq}{273 + t} + \frac{r_0 x}{273 + t_0} = \int_0^{t_1} \frac{dq}{273 + t} + \frac{r_1}{273 + t_1},$$

такъ какъ въ *B* паръ сухой, то

$$S_0 + \frac{r_0 \cdot x}{t_0 + 273} = S_1 + \frac{r_1}{t_1 + 273}$$

и

$$r_0 x = (S_1 - S_0)(t_0 + 273) + r_1 \left(\frac{t_0 + 273}{t_1 + 273} \right).$$

Всѣ величины, зная t_1 и t_0 , находимъ изъ таблицы Fliegner'a, приложенной въ концѣ, а слѣдовательно, легко находимъ величину x и $r_0 x$.

II. При перегрѣтомъ парѣ имѣемъ (фиг. 392): сообщается теплота 1) на пути $DA: q_1 - q_0$ единицъ теплоты; 2) на пути AB —вода испаряется, на что сообщается r_1 единицъ теплоты и 3) на пути BB' —паръ перегрѣвается до температуры t' градусовъ и при теплоемкости перегрѣтаго пара = 0,48 сообщается теплоты 0,48 $(t' - t_1)$ единицъ теплоты, а всего $r_1 + q_1 - q_0 + 0,48(t' - t_1)$ единицъ теплоты.

Если проведемъ черезъ точку B предѣльную кривую ($x = 1$), то она пересѣчетъ адиабату въ точкѣ M , въ которой паръ будетъ насыщеннѣй. Въ точкѣ-же C паръ будетъ уже влажный и если степень его сухости x' , то на пути CD будетъ отнято $x'r_0$ единицъ теплоты, слѣдовательно искомымъ термическѣй коэффициентъ будетъ

$$\eta_r = \frac{r_1 + q_1 - q_0 + 0,48(t' - t_1) - x' \cdot r_0}{r_1 + q_1 - q_0 + 0,48(t' - t_1)} \dots \dots (177)$$

Слѣдовательно необходимо вычислить только величину x' .

По второму принципу термодинамики, обозначая черезъ T абсолютную температуру = $t + 273$, имѣемъ

$$\int \frac{dQ}{T} = 0$$

и применяя къ данному случаю, подобно предыдущему, находимъ:

$$S_1 - S_0 + \frac{r_1}{T_1} + \int_{r_1}^{r_0} \frac{0,48 \cdot dT}{T} - \frac{r_0 \cdot x'}{T_0} = 0$$

или

$$S_1 - S_0 + \frac{r_1}{T_1} + 0,48 \cdot \lg n \cdot \frac{T'}{T_1} - \frac{r_0 x'}{T_0} = 0.$$

Откуда

$$r_0 x' = (S_1 - S_0) T_0 + r_1 \cdot \frac{T_0}{T_1} + 0,48 \cdot T_0 \lg n \frac{T'}{T_1}$$

или

$$r_0 x' = (S_1 - S_0) (t_0 + 273) + r_1 \left(\frac{t_0 + 273}{t_1 + 273} \right) + 0,48 (t_0 + 273) \lg n \cdot \left(\frac{t' + 273}{t_1 + 273} \right)$$

т. е. отличается отъ $r_0 x'$ на величину послѣдняго члена. Зная температуры t_0 , t_1 и t' , на основаніи таблицъ легко находимъ и $r_0 x'$.

Зная величины абсолютныхъ термическихъ коэффициентовъ η_c , η_r и η'_r , находимъ:

1) Число калорій, потребное въ этихъ циклахъ на одну индикаторную лошадиную силу въ минуту. Оно опредѣляется изъ отношеній:

а) Для цикла Carnot: $\eta_c = \frac{10,6}{w_c}$, откуда

$$w_c = \frac{10,6}{\eta_c} \dots \dots \dots (178)$$

б) Для цикла Rankine'a также

$$w_r = \frac{10,6}{\eta_r} \text{ и } w'_r = \frac{10,6}{\eta'_r} \dots \dots \dots (179) \text{ и } (180)$$

2) Дѣйствительный расходъ пара на 1 индикаторную силу въ часъ, очевидно, равенъ: для цикла Carnot

$$D_c = \frac{60 \cdot w_c}{k} \dots \dots \dots (181)$$

гдѣ

$$k = r$$

и для цикла Rankine'a: а) для насыщенныхъ паровъ

$$D_r = \frac{60 \cdot w_r}{k},$$

гдѣ

$$k = r_1 + q_1 - q_0 = \lambda_1 - q_0 \dots \dots \dots (182)$$

и 2) для перегрѣтыхъ паровъ

$$D'_r = \frac{60 \cdot w'_r}{k'},$$

гдѣ

$$k' = r_1 + q_1 - q_0 + 0,48(t' - t_1) = \lambda_1 - q_0 + 0,48(t' - t_1) \dots (183)$$

Замѣтимъ при этомъ, что циклъ Carnot совсѣмъ не можетъ употребляться для перегрѣтыхъ паровъ, такъ какъ онъ состоитъ изъ двухъ изотермъ и двухъ адиабатъ и слѣдовательно теплота передается, какъ сказано, по верхней изотермѣ при постоянной температурѣ t_1 , что при употребленіи перегрѣтаго пара невозможно, когда, какъ мы видѣли, перегрѣваніе происходитъ при постоянномъ давленіи.

§ 138. Относительный термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія машины.

Это число, показывающее, насколько данная машина подходит къ совершенной, т. е. къ работающей по циклу Rankine'a.

Пусть данная машина при температурѣ пара въ котлѣ t' и при температурѣ въ холодильникѣ t_0 — расходуетъ w калорій на HP , а ма-

шина, работающая по циклу Rankine'a—при тѣхъ-же температурахъ t' и t_0 —расходуетъ w_r калорій, тогда относительный коэффициентъ

$$\eta_{11} = \frac{w_r}{w} \dots \dots \dots (184)$$

и онъ опредѣляетъ ту долю работы идеальной машины, которую даетъ дѣйствительная машина.

Этотъ коэффициентъ долженъ служить основой при сужденіи о степени совершенства машины и чѣмъ онъ больше, тѣмъ машина совершеннѣе и тѣмъ полнѣе она утилизируетъ ту работу, которая на основаніи наличныхъ условий представляется для нея возможной.

Этотъ коэффициентъ, понятно, можно выразить и такимъ образомъ:

$$\eta_{11} = \frac{\eta'}{\eta_r} \dots \dots \dots (185)$$

откуда

$$\eta' = \eta_{11} \cdot \eta_r.$$

Т. е. относительный коэффициентъ полезнаго дѣйствія данной машины равняется отношенію ея абсолютнаго коэффициента къ термическому коэффициенту цикла Rankine'a при тѣхъ-же условіяхъ.

Рекомендуя этотъ способъ, Лондонское общество дѣлаетъ нѣкоторыя добавленія, напр. установлено — считать за высшую температуру t' не температуру пара въ котлѣ, но температуру свѣжаго пара возлѣ самой машины въ паропроводной трубѣ; такъ-же за низшую температуру считать температуру выпускаемаго пара въ паровыпускной трубѣ за машиной. Наконецъ, расходъ теплоты опредѣлять по состоянію пара вступающаго въ машину, считая начальную температуру воды равной температурѣ выуска и замѣняя, такимъ образомъ, дѣйствительную питательную воду какъ-бы водой, получаемой отъ конденсаціи отработавшаго пара и пр.

Такъ какъ съ подобнаго рода добавленіями не всѣ согласны и не всегда ихъ придерживаются, то, беря за мѣрило идеальную машину Rankine'a, необходимо, во избѣжаніе недоразумѣній, обозначать, что принимается за высшую и низшую температуру.

При изслѣдованіяхъ паровозовъ берется, понятно, цикл Rankine'a безъ холодильника и обыкновенно, для облегченія расчета, за высшую температуру—берутъ температуру пара въ котлѣ. Такимъ образомъ для этого цикла найдемъ:

Давленіе kg	Величина полнаго рас- ширенія	Расходъ сухо- го пара на инд. лошадь въ часъ kg	Расходъ кало- рій на инд. ло- шадь въ часъ при нитат. подѣ въ 15°	Термическій коэффиц. цикла Rankine'a при питательной водѣ 15°	Термическій коэффициентъ, при тѣхъ-же условіяхъ, цик- ла Carnot
6	4,84	8,7966	5267	0,1129	0,13445
8	6,07	7,7026	5013,8	0,1267	0,157
10	7,6	6,8274	4410,9	0,14403	0,17456
12	8,67	6,41	4212,8	0,1508	0,1891
15	10,87	5,8058	3783,4	0,1679	0,20679
20	14	5,2262	3428,2	0,18532	0,22998

Отсюда видно: 1) что термическій коэффициентъ цикла Rankine'a ниже, чѣмъ цикла Carnot, что и должно быть и 2) что вообще эти ко-
эффициенты очень не высоки даже для идеальныхъ машинъ и при ис-
ключительно благоприятныхъ обстоятельствахъ (напр. для машинъ съ
охлажденіемъ, работающих при очень высокихъ давленіяхъ) термическій
коэффициентъ цикла Carnot можетъ подняться только до 0,35 и Ranki-
ne'a до 0,33, для дѣйствительныхъ-же машинъ, какъ сказано, опускается
значительно ниже.

Термическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія паровозовъ не есть
величина постоянная, но зависитъ отъ скорости движенія, отсѣчки и пр.,
такъ какъ, какъ мы видѣли выше, всѣ эти обстоятельства вліяютъ на
степень утилизациі пара и поэтому для каждой скорости поѣзда суще-
ствуетъ такая отсѣчка (при опредѣленномъ давленіи пара въ котлѣ),
когда паръ утилизируется наилучшимъ образомъ и коэффициентъ полезнаго
дѣйствія паровоза будетъ наибольшій. Полное теоретическое изслѣ-
дованіе этого вопроса для различныхъ основныхъ типовъ паровозовъ—
см. статью инж. Nadal'я „Rendement des Locomotives“, Revue générale
des chemins de fer, 1901. Sept.

§ 139. Расчетъ состава поѣздовъ и скорости движенія.

На основаніи сказаннаго (§§ 13—21) можно опредѣлить силу тяги
паровоза и, вычтя изъ нея ту часть, которая идетъ на преодоленіе со-
противленія движенію паровоза и тендера, получимъ силу тяги на крюкѣ
паровоза Z_2 , идущую специально на преодоленіе сопротивленія движенію
вагоновъ. Слѣдовательно, раздѣливши эту силу тяги на сопротивленіе на
1 t вѣса вагоновъ, что опредѣляется на основаніи опыта или по форму-
ламъ, приведеннымъ въ главѣ III, мы получимъ вѣсъ поѣзда, который

данный паровозъ можетъ везти на данномъ пути съ данною постоянною скоростью.

Для упрощенія разчета, тѣ добавочныя сопротивленія, которыми нельзя пренебречь, напр. отъ длинныхъ кривыхъ, описанныхъ малыми радіусами, отъ вѣтра и пр. и отнесенныя къ 1 t вѣса поѣзда—замѣняютъ соотвѣтствующей величины воображаемыми подъемами, называемыми „*фигтивными*“. Тогда величина фиктивного подъема, умноженная на 1000, и будетъ равна численной величинѣ даннаго сопротивленія, выраженнаго въ $kg.$ на t .

Если дѣйствительный подъемъ равенъ i , а фиктивные подъемы, соотвѣтствующіе сопротивленію отъ кривой, отъ температуры и отъ вѣтра обозначимъ черезъ i_2 , i_3 и i_4 , то полный фиктивный подъемъ будетъ равенъ $J = i_2 + i_3 + i_4$. Для воинскаго поѣзда Инженернымъ Совѣтомъ принято приравнивать сопротивленіе отъ температуры и вѣтра зимою вмѣстѣ ($i_3 + i_4$) сопротивленію, представляемому подъемомъ 0,001, т. е. для воинскаго поѣзда фиктивный подъемъ равенъ $i_2 + 1 = J$, который при разчетѣ сопротивленія и прибавляютъ къ дѣйствительному подъему i .

Такимъ образомъ вѣсъ поѣзда G будетъ $= \frac{Z_2}{W}$. По этой-же формулѣ, задавая напередъ G , мы можемъ найти ту постоянную скорость, съ которою данный паровозъ можетъ его везти на данномъ пути при данныхъ обстоятельствахъ. Если величины Z_2 и W найдены на основаніи тщательно обставленныхъ опытовъ, то подобные разчеты даютъ нормы состава поѣздовъ, скоростей и пр., при соблюденіи которыхъ значительно уменьшается расходъ топлива и облегчается контроль надъ поѣздною прислугою. Примѣръ разчета—см. § 140—141.

Что касается до понятія о „*виртуальной длинѣ*“ дороги, то его считаемъ общеизвѣстнымъ (см. циркуляры Демартамента ж. д. Министерства Путей Сообщенія отъ 28 іюня 1888 г. за № 6930 и 31 іюля 1891 г. за № 9817, Управленія казенныхъ дорогъ отъ 11 августа 1890 г. за № 19243 и др.), и поэтому разборъ и изложеніе этого вопроса опускается.

§ 140. Примѣръ изслѣдованія паровоза по способу Leitzmann'a.

Въ различныхъ §§ неоднократно упоминалось нами имя Leitzmann'a, приводились результаты обширныхъ опытовъ, имъ произведенныхъ надъ прусскими паровозами, и формулы, имъ выведенныя. Чтобы имѣть ясное представленіе о методѣ, очень интересномъ, который примѣняется Leitzmann'омъ и который принять теперь на прусскихъ казенныхъ жел. дорогахъ, разсмотримъ приложеніе его къ частному примѣру.

Для примѣра возьмемъ нормальный прусскій пассажирскій паровозъ о $\frac{2}{3}$ снар. ос., построенный въ Касселѣ на заводѣ Henschel &

Sohn въ 1894 г. Размѣры его слѣдующіе: діаметръ цилиндровъ (расши- реніе однократное) $d = 0,400$ м., ходъ— $h = 0,560$ м.; діаметръ ведущаго колеса $= D = 1,730$ м. Произведеніе $u = \frac{d^2 \cdot h}{D} = 0,0518$. Давленіе въ котлѣ $p_0 = 12$ и вѣсь m^3 пара $\gamma = 6,47$ кг. Площадь колосниковой рѣ- шетки $F = 1,87$ м². Прямая поверхность нагрѣва $H_1 = 7,24$ м², непря- мая $H_2 = 96,5$ м², полная $H = H_1 + H_2 = 104$ м². Число дымогарныхъ трубъ $i = 197$, ихъ длина $l = 3,80$ м., діаметръ $\delta = 0,041$ м. Величина $i \cdot \frac{\pi \delta^2}{4} = 0,260$ м². Діаметръ конуса $d' = 0,120$ м. и его площадь $= \frac{\pi d'^2}{4} = 113$ см². Вѣсь паровоза $G_1 = 36,2$ *t* и тендера $G_2 = 28,2$ *t* (въ ра- бочемъ состояніи).

На основаніи предыдущаго имѣемъ:

Сила тяги Z_1 (см. § 17) $= c' f(\epsilon, V)$, гдѣ $c' = 100 \cdot u \cdot (p_0 + 1) = 100 \cdot 0,0518 \cdot 13 = 6734$ и $\epsilon V = c'' \cdot k$, гдѣ

$$c'' = \frac{H}{10 \cdot u \cdot \gamma} = \frac{104}{10 \cdot 0,0518 \cdot 6,47} = 31.$$

Слѣдовательно

$$Z_1 = 6734 f(\epsilon, V)$$

и

$$\epsilon V = 31 \cdot k$$

или

$$\epsilon = 31 \frac{k}{V} \dots \dots \dots (186)$$

Для нахождения Z_1 , слѣдовательно, необходимо знать паробразова- тельную способность котла k .

По §§ 44 имѣемъ:

расходъ пара

$$M_1 = 5 \cdot u \cdot (p_0 + 1) \cdot \epsilon \cdot V = 5 \cdot 0,0518 \cdot 13 \cdot \epsilon V = 3,36 \epsilon V \dots (187)$$

Вакуумъ

$$\varphi = \frac{7}{1000} \cdot \frac{M_1}{5 \cdot u \cdot (p_0 + 1)} = \frac{7}{1000} \cdot \frac{M_1}{5 \cdot 0,0518 \cdot 13} = 0,00207 M_1$$

или равенъ

$$0,00207 \cdot 3,36 \epsilon V = 0,0069 \epsilon V \dots \dots \dots (188)$$

По формулѣ (132) и (133) относительная паропроизводительность

$$x = \frac{x'}{M_0} = \frac{1}{M_0} \left\{ H_1 \alpha_0 F + i \frac{\pi \delta^2}{4} \sum \frac{H_2}{l} \alpha \right\}$$

но при $\alpha_0 = 1$ находимъ

$$\alpha_1 = \frac{\alpha_0 \cdot F \cdot 0,37}{i \cdot \frac{\pi d^2}{4}}$$

гдѣ величина

$$\frac{F}{i \cdot \frac{\pi d^2}{4}} = m = \frac{1,87}{0,260} = \text{около } 7$$

поэтому

$$\alpha_1 = \alpha_0 \cdot 0,37 \cdot 7 = 2,59;$$

также

$$\alpha_2 = \alpha_0 \cdot 0,22 \cdot 7 = 1,54; \alpha_3 = \alpha_0 \cdot 0,120 \cdot 7 = 0,84$$

и

$$\alpha_4 = \alpha_0 \cdot 0,065 \cdot 7 = 0,46$$

слѣдовательно

$$\begin{aligned} x = \frac{x^1}{M_0} &= \frac{1}{M_0} \left\{ 7,24 \cdot 1,87 + 0,26 \left[\frac{96,5}{3,8} \cdot (2,59 + 1,54 + 0,84) + 0,8 \cdot \frac{96,5}{3,8} \cdot 0,46 \right] \right\} = \\ &= \frac{1}{M_0} \left\{ 13,54 + 35,25 \right\} = \frac{48,8}{M_0} \dots \dots \dots (189) \end{aligned}$$

гдѣ M_0 —количество образующагося пара въ часъ.

Но по формулѣ (138)

$$M_0 = \sqrt{B \cdot x' \cdot \sqrt{A \cdot M_1 \cdot F}},$$

гдѣ B и A опытные коэффициенты, равные 63200 и 0,0039. Для установившагося движенія количество образующагося пара опредѣляется по формулѣ

$$M = 250 \cdot \sqrt[3]{F \cdot x'^2}.$$

Сообразно съ этими величинами по формуламъ (141) и (140^{bis}) имѣемъ: паропроизводительную способность

$$k' = \frac{\varphi \cdot F}{A \cdot H} = \frac{1,87 \cdot \varphi}{0,0039 \cdot 104} = 4,6 \varphi \dots \dots \dots (190)$$

и

$$k'' = \frac{B \cdot F \cdot x' \cdot \sqrt{\varphi}}{H^2} = \frac{63200 \cdot 1,87 \cdot 48,8}{104^2} \cdot \sqrt{\varphi} = 533,2 \sqrt{\varphi} \dots (191)$$

Строимъ теперь (фиг. 381) прямую, соответствующую уравненію (190) и параболу, соответствующую уравненію (191). Мы видимъ, что отъ O до RS —пару образуется больше, чѣмъ его расходуется, и дальше—наоборотъ—его расходуется больше, чѣмъ образуется, и точка R соответствуетъ установившемуся состоянію котла при данныхъ обстоятельствахъ, т. е. когда расходъ пара равняется приходу его. Тогда $k = k' = k'' = 40$ кг. и этому соответствуетъ вакуумъ $\varphi = 8,7$ ст. водяного столба.

Величину φ и k можно получить и вычислениемъ: по формулѣ (140)

$$k = 250 \cdot \frac{\sqrt[3]{F \cdot x^2}}{H} = 250 \frac{\sqrt[3]{1.87 \cdot 48,8^2}}{104} = 39,7$$

и

$$\varphi = A \cdot \frac{M}{F} = A \cdot \frac{H \cdot k}{F} = \frac{0,0039 \cdot 104 \cdot 39,7}{1,87} = 8,6.$$

Такъ какъ по соображеніямъ, изложеннымъ въ § 47, желательно пользоваться паровозомъ только при установившемся его состояніи во избѣжаніе возвышенія давленія сверхъ или паденія его ниже нормального. то эту величину $k = 40$ kg. мы и беремъ за *нормальную* паропроизводительность котла. Путемъ уменьшенія поперечнаго сѣченія конуса и пр., какъ видимъ, эта паропроизводительность можетъ быть повышена и крайній предѣлъ, на который можно разсчитывать для даннаго паровоза. какъ найдено, равняется $k'' = 48,8$.

И такъ, беря $k = 40$, находимъ изъ ур-ія (186)

$$\varepsilon V = 31 \cdot k = 31 \cdot 40 = 1240 \quad \dots \dots \dots (192)$$

т. е. имѣемъ точную зависимость скорости поѣзда отъ отсѣчки. Теперь можно найти и силу тяги. По ур-ію (55)

$$Z_1 = c'f(\varepsilon V) = c' \left(1 - \frac{20}{\varepsilon} + \frac{130}{\varepsilon^2} \right) = A - BV + CV^2 = 6734 - 108,6 V + 0,57 V^2 \dots \dots \dots (193)$$

т. е. находимъ зависимость силы тяги отъ скорости поѣзда V и такимъ образомъ можемъ построить кривую, указывающую эту зависимость.

Наибольшая величина силы тяги соответствуетъ шахим'альной допускаемой величинѣ отсѣчки ε , которая здѣсь = 75%. Тогда, для сохраненія равновѣсія котла и избѣжанія паденія давленія, скорость поѣзда должна быть строго опредѣленная и равна

$$V = \frac{1240}{\varepsilon} = \frac{1240}{75} = 16,5 \text{ km/h}$$

и при этомъ паровозъ будетъ развивать силу тяги $Z_{\text{max.}} = 5097$ kg.

Z_1 *minimum*—соотвѣтствуетъ скорости, удовлетворяющей выраженію $\frac{dZ_1}{dV} = 0$ или для $-B + 2CV = 0$. Отсюда искомая скорость

$$V_1 = \frac{B}{2C} = \frac{108,6}{2 \cdot 0,57} = 95 \text{ km/h}$$

и тогда $Z \text{ min.} = 6734 - 108,6.95 + 0,57.95^2 = 1560 \text{ kg}$. Соответствующая отсѣчка $\varepsilon_1 = \frac{1240}{95} = 13\%$, въ то время какъ $\varepsilon \text{ min.}$ для даннаго паровоза $= 10\%$.

На величину Z_1 имѣютъ, кромѣ скорости и отсѣчки, еще *вліяніе* и другія обстоятельства, напримѣръ *давленіе пара въ котлѣ* $p_1 = p_0 + 1$. Вліяніе его можно опредѣлить такимъ образомъ: $Z_1 = A - BV + CV^2$, гдѣ по § 17

$$A = 100^2 \cdot u \cdot p_1; \quad B = \frac{A \cdot 20}{\varepsilon \cdot V} = \frac{20 \cdot 100^2 \cdot u \cdot p_1 \cdot 10 \cdot \gamma \cdot u}{H \cdot k}$$

или полагая $\gamma = 0,5 p_1$, находимъ $B = B_1 \cdot p_1^2$ и

$$C = \frac{A \cdot 130}{\varepsilon^2 \cdot V^2} = \frac{130 \cdot 100^2 \cdot u \cdot p_1 \cdot 10^2 \cdot \gamma^2 \cdot u}{H^2 \cdot k^2} = C_1 \cdot p_1^3,$$

слѣдовательно

$$Z_1 = A_1 p_1 - B_1 p_1^2 \cdot V + C_1 p_1^3 \cdot V^2 = p_1 (A_1 - B_1 p_1 V + C_1 p_1^2 \cdot V^2) \quad (194)$$

Предположимъ, что паровозъ предназначенъ для скоростей $= 60 \text{ km/h}$, тогда находимъ

$$Z_1 = p_1 (518 - 38,7 p_1 + 0,94 p_1^2),$$

т. е. $= f(p_1)$. Отъ паровоза желательно имѣть наибольшую работу и по-этому необходимо знать, какія обстоятельства могутъ способствовать къ достиженію этого. Находимъ максимум Z_1 какъ $f(p_1)$. Значенія p_1 , соответствующія $Z_1 \text{ max.}$, находятся по правиламъ изъ ур-ія $\frac{dZ_1}{dp_1} = 0$ или

$$A_1 - 2BVp_1 + 3C_1 V^2 p_1^2 = 0,$$

откуда

$$p_1 = \frac{B_1 \pm \sqrt{B_1^2 - 3A_1 C_1}}{3C_1 V} = \frac{0,64 \pm \sqrt{0,64^2 - 3 \cdot 518 \cdot 0,00026}}{3 \cdot 0,00026 \cdot V} = \frac{821 \pm 96}{V} = \frac{917}{V} \text{ и } \frac{725}{V}.$$

Для $Z_1 \text{ max.}$ имѣемъ величину $p_1 = \frac{917}{V}$, которая при $V = 60 \text{ km/h}$ будетъ $= 15,3 \text{ at.} = p_0 + 1$, т. е. манометрическое давленіе въ котлѣ должно быть $= 14,3 \text{ at.}$ Такимъ образомъ, не измѣняя всѣхъ остальныхъ обстоятельствъ, отъ даннаго паровоза получаемъ максимумъ работы для скорости въ 60 km/h , при давленіи въ котлѣ $= 14,3 \text{ at.}$ Очевидно, что для максимумальной работы p_1 должно-бы находиться въ зависимости отъ скоро-

сти; напริมѣръ, при $v = 40 \text{ km/h}$, давленіе p_1 для максим'альной работы должно быть $= \frac{917}{40} = 22,9 \text{ at.}$, что практически не осуществимо, т. е. при этой скорости мы отъ даннаго паровоза не можемъ получить его максим'альной работы (теоретической). Если имѣемъ два паровоза, различающихся, при всѣхъ остальныхъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, только давленіемъ въ котлѣ, то на основаніи ур-ія (194) мы можемъ ихъ сравнить при одинаковыхъ значеніяхъ для V .

Индикаторная работа въ HP по формулѣ (60)

$$L = \frac{Z_1 \cdot V}{270} = \frac{(A - BV + CV^2) V}{270} \dots \dots \dots (195)$$

Максимум ея будетъ при $\frac{dL}{dV} = 0$, т. е. при $A - 2BV + 3CV^2 = 0$, т. е. при

$$V = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C} = 73 \text{ и } 54.$$

Взявши $\frac{d^2L}{dV^2}$, мы видимъ, что эта величина при $V = 73$ больше нуля и при $V = 54$ —меньше нуля, слѣдовательно максимум L будетъ при второмъ значеніи для V . Имѣемъ: $L_{\text{max}} = 506 \text{ HP}$, при чемъ $\epsilon = \frac{1240}{54} = 23\%$.

Величина L какъ функція скорости представлена на фиг. 382.

Расходъ пара на одну HP выражается формулою

$$m = \frac{H \cdot k}{L} = \frac{270 \cdot H \cdot k}{Z_1 \cdot V} = \frac{270 \cdot 4160}{(6734 - 108,6 V + 0,57 V^2) V},$$

т. е. зависитъ отъ скорости поѣзда.

На фиг. 383 представленъ графически этотъ расходъ какъ функція скорости. Очевидно, минимумъ этого расхода соотвѣтствуетъ L_{max} , т. е.

$v = 54 \text{ km/h}$ и $\epsilon = 23\%$. При этомъ $m_{\text{min}} = \frac{4160}{506} = 8,2 \text{ kg}$. Для всѣхъ же

другихъ обстоятельствъ движенія расходъ будетъ больше.

§ 141. *Въсь поезда*, который можетъ везти данный паровозъ, считается на основаніи общихъ соображеній, изложенныхъ въ § 139. Сила тяги Z_1 , найденная выше, идетъ на преодоленіе сопротивленія движенію паровоза *) и поѣзда, т. е. системы вагоновъ. Сопротивленіе паро-

*) Или опредѣленная на основаніи общихъ соображеній и формулъ.

воза должно быть вычислено по одной изъ формулъ главы III. Положимъ здѣсь, для упрощенія вычисленій, что сопротивление паровоза при движеніи по горизонтали на 1 t. = 12 kg. и тендера = 6 kg. *), тогда, обозначая подъемъ черезъ $i = \frac{1000}{n}$, находимъ силу тяги, передаваемую на крюкъ паровоза

$$Z_2 = 6734 - 108,6V + 0,57V^2 - (36,2 \times 12 + 28,2 \times 6) \mp \frac{(36,2 + 28,2) \cdot 1000}{n} =$$

$$= 6734 - 108,6V + 0,57V^2 - 603 \mp \frac{64400}{n} \dots (196)$$

Если теперь найти сопротивление W поѣзда на 1 t. при скорости = V и на подъемѣ = $\frac{1000}{n}$, то, очевидно, вѣсъ поѣзда, который бы деть въ состояніи везти паровозъ при данныхъ обстоятельствахъ = $\frac{Z_2}{W}$. Величина W должна быть опредѣлена возможно точно, опытно или по формуламъ и на основаніи соображеній, изложенныхъ въ главѣ III. Здѣсь опять для упрощенія возьмемъ наиболѣе простую формулу Clark'a

$$W = 2,5 + \frac{V^2}{1000} \mp \frac{1000}{n}.$$

Тогда искомый вѣсъ поѣзда будетъ равенъ

$$G = \frac{Z_2}{W} = \frac{6734 - 108,6V + 0,57V^2 - 603 \mp \frac{64400}{n}}{2,5 + \frac{V^2}{1000} \mp \frac{1000}{n}} \dots (197)$$

Найдемъ крайніе предѣлы для G .

Наибольшая величина G понятно соотвѣтствуетъ $Z_{1\max}$, которая = 5097 kg. при $V = 16,5 \text{ km/h}$ и $\varepsilon = 75\%$.

Тогда

$$Z_{2\max} = 5097 - 603 \mp \frac{64400}{n} = 4494 \mp \frac{64400}{n}$$

и слѣдовательно

$$G_{\max} = \frac{4494 \mp \frac{64400}{n}}{2,77 \mp \frac{1000}{n}} \dots (198)$$

*) По опытамъ Guehardi'a, Dieudonée и Vuillemin'a сопротивление паровоза съ свободными осями на 1 t. = 8 kg., съ 2 спарен. осями = 12 kg., съ 3-мя = 15 kg., съ четырьмя = 20 kg. и сопротивление тендера = 6 kg.

Для различных подъемов будет иметь:

$\frac{1}{n}$	или $\frac{1000}{n}$	G_{\max} (t).	Вагонных осей съ нагрузкою по 6 т.
$\frac{1}{\infty}$	± 0	1622	270
$\frac{1}{500}$	+ 2	915	153
$\frac{1}{200}$	+ 5	537	90
$\frac{1}{100}$	+ 10	302	50
$\frac{1}{50}$	+ 20	141	24
$\frac{1}{40}$	+ 25	104	17

Наконецъ, для $\frac{1}{n} = \frac{1}{14}$ находимъ $G_{\max} = 0$, т. е. несмотря на наибольшую отсѣчку и соответствующую скорость, паровозъ не можетъ на такомъ подъемѣ везти ни одной тонны.

Замѣтимъ, что послѣднія величины имѣютъ только теоретическій интересъ, такъ какъ на практикѣ подъемовъ, соответствующихъ, напр., $\frac{1}{n} = \frac{1}{14}$, т. е. $i = 0,71$, на обыкновенныхъ дорогахъ не встрѣчается.

Наименьшая величина G_{\min} соответствуетъ $Z_{1\min} = 1560$ kg. при $V = 95$ км/ч и $\varepsilon = 10\%$. Тогда находимъ

$$G_{\min} = \frac{957 \mp \frac{64400}{n}}{13,1 \pm \frac{1000}{n}} \dots \dots \dots (199)$$

и отсюда для

$\frac{1}{n}$	G_{\min} (t).	Осей по 6 т.
$\frac{1}{\infty}$	73	12
$\frac{1}{500}$	55	9
$\frac{1}{200}$	35	6
$\frac{1}{100}$	14	2

При $\frac{1}{n} = \frac{1}{67}$ находимъ $G_{\min} = 0$, т. е. на такомъ подъемѣ при скорости $v = 95 \text{ km/h}$, паровозъ не можетъ везти ни одной тонны.

Взявъ же другія скорости, послѣ разчета получимъ слѣдующую таблицу: $G \text{ kg.} =$

$V \text{ km/h}$ = $n =$	15	20	30	40	50	60	70	75
$\frac{1}{200}$	—	—	—	—	—	1808	685	488
$\frac{1}{500}$	6800	4795	2511	1347	752	438	269	217
$\frac{1}{\infty}$	1715	1444	996	658	425	273	179	147
$\frac{1}{500}$	958	828	603	421	285	190	127	105
$\frac{1}{200}$	560	489	365	261	180	121	81	66
$\frac{1}{100}$	314	275	205	146	99	64	39	30
$\frac{1}{50}$	147	127	90	59	34	15	1	—
$\frac{1}{40}$	109	93	63	37	17	2	—	—

При провѣркѣ этой таблицы на опытѣ оказалось, что на подъемахъ до $\frac{1}{50}$, при скоростяхъ отъ 20 до 68 km/h , степени наполненія отъ 11 до 60% и вѣсѣ поѣзда отъ 0 до 212 t., средняя ошибка разчета была только (—1,7%) при наибольшихъ уклоненіяхъ отъ + 10% до —13%. На это, кромѣ тѣхъ обстоятельствъ, которыя не могли быть приняты въ разсчетъ, еще вліяли кривыя, добавочнымъ сопротивленіемъ отъ которыхъ пренебрегали и которое необходимо принимать во вниманіе, если кривыя длинны и имѣютъ малый радіусъ.

Приведенныя данныя для Z_2 и G представлены графически на фиг. 384.

Разсчетъ скорости поѣзда. По формулѣ (197) можно разсчитать, съ какою скоростью поѣздъ даннаго вѣса будетъ идти по разнымъ подъ-

емамъ, и, наоборотъ, можно найти вѣсъ поѣзда, который долженъ по данному уклону или горизонтали идти съ известною скоростью.

Напр. нашъ паровозъ долженъ везти скорый поѣздъ на горизонтали со скоростью = 70 км/ч. По формулѣ (197) или по таблицѣ находимъ вѣсъ поѣзда = 179 t. Спрашивается, съ какою скоростью этотъ поѣздъ, если паровозъ будетъ развивать ту же работу, будетъ двигаться по различнымъ подъемамъ? Имѣемъ:

$$180 = \frac{6734 - 108,6 V_1 + 0,57 V_1^2 - 603 \mp \frac{64400}{n}}{2,5 + \frac{V_1^2}{1000} \pm \frac{1000}{n}}$$

откуда

$$V_1 = 139 - \sqrt{4754 \pm \frac{626667}{n}} \dots \dots \dots (200)$$

Если поѣздъ долженъ идти по горизонтали со скоростью $V = 60 \text{ км/ч}$, то соответствующій вѣсъ поѣзда будетъ = 273 t и скорость при движеніи по подъемамъ будетъ

$$V_2 = 181 - \sqrt{14600 \pm \frac{1124667}{n}} \dots \dots \dots (201)$$

Изъ этихъ формулъ (200) и (201) найдемъ

для	$\frac{1}{n}$	или	$\frac{1000}{n}$	V_1	V_2
—	$\frac{1}{200}$	—	5	99	86
—	$\frac{1}{500}$	—	2	80	70
	$\frac{1}{\infty}$	±	0	70	60
	$\frac{1}{500}$	+	2	61	51
	$\frac{1}{200}$	+	5	50	39
	$\frac{1}{100}$	+	10	34	20

Эти значенія представлены графически на фиг. 385 и, какъ видимъ, начерченные такимъ образомъ кривыя могутъ приблизительно быть замѣненными прямыми, уравненія которыхъ будутъ вида

$$V = V_0 - \frac{a}{n}$$

гдѣ V_0 —скорость поѣзда на горизонтали и a —коэффициентъ, зависящій отъ конструкціи паровоза и проч.

Найдено: для скорыхъ поѣздовъ прусскихъ желѣзныхъ дорогъ и изслѣдуемыхъ паровозовъ

$$V = 70 - \frac{4000}{n}$$

и для пассажирскихъ

$$V = 60 - \frac{4200}{n}.$$

Имѣя такимъ образомъ найденныя формулы, можно, съ незначительною погрѣшностью, проверить скорость поѣзда во время его хода.

Расходъ пара на 1 t полезнаго вѣса поѣзда въ часъ (т. е. на 1 t вѣса вагоновъ). Онъ равенъ, очевидно, $\frac{H.k}{G}$.

На основаніи предыдущаго находимъ, напริมѣръ:

при	$\frac{1}{n}$	V	G t	$\frac{Hk}{G}$
	$\frac{1}{\infty}$	70	171	24,3
	$\frac{1}{200}$	50	180	23,1
	$\frac{1}{100}$	40	146	28,5
	$\frac{1}{50}$	30	90	46,2

Всѣхъ приведенныхъ данныхъ вполне достаточно для установленія нормы состава поѣздовъ въ зависимости отъ конструкціи паровоза и нормы для расхода угля на 1 t вѣса поѣзда въ зависимости отъ характера пути и скорости, предполагая, что работа паровоза нормальна и онъ утилизируется наилучшимъ образомъ.

ЗАКЛЮЧЕНІЕ.

§ 142. Программа опытнаго изслѣдованія паровоза.

Программа эта находится всецѣло въ зависимости отъ располагаемыхъ средствъ и времени, отъ имѣющагося въ распоряженіи комплекта приборовъ, отъ опытности экспериментаторовъ и проч.; во всякомъ случаѣ полное изслѣдованіе паровоза—дѣло очень сложное, требующее большой настойчивости, энергіи и наблюдательности, въ особенности, когда изслѣдованіе предпринято съ цѣлью улучшенія даннаго типа паровозовъ.

Тогда требуется, путем тщательного опыта, определить их недостатки, устранить их, изменяя соответствующия детали паровоза, и снова произвести новые сравнительные опыты для выяснения происшедших переменъ.

Часто предпринимаютъ изслѣдованіе, поставивши какую нибудь специальную задачу: сравнить между собою два типа паровозовъ, определить выгоду примѣненія новаго рода топлива, смазки и проч.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ, одною опытною поѣздкою ограничиваться нельзя, ввиду слишкомъ сложныхъ обстоятельствъ, сопровождающихъ работу паровоза и вліяющихъ на ея величину. Многія изъ этихъ обстоятельствъ очень важны и изслѣдовать ихъ вліяніе возможно только путемъ сравнительныхъ опытовъ, т. е. дѣлая нѣсколько испытаній съ измененіемъ только даннаго фактора и сравнивая получаемые результаты. Поэтому поѣздокъ должно совершаться тѣмъ большее число, чѣмъ обширнѣе поставленная программа, и желательно вообще, при серьезныхъ изслѣдованіяхъ, производить „провѣрочныя“ поѣздки, такъ какъ на результаты одной опытной поѣздки не всегда можно полагаться.

Замѣтимъ еще, что изслѣдованія новыхъ паровозовъ и бывшихъ уже въ употребленіи различаются между собою, такъ какъ послѣдніе еще требуютъ предварительныхъ „пробныхъ“ поѣздокъ, имѣющихъ цѣлью выяснить ихъ недостатки, появившіеся въ слѣдствіе износа и которые должны быть устранены путемъ тщательнаго ремонта. Поэтому—дать общую программу изслѣдованія паровоза—затруднительно, но тѣмъ не менѣе, принимая во вниманіе все сказанное въ предыдущихъ главахъ, здѣсь предлагается таковая, которая на практикѣ можетъ примѣняться цѣликомъ или частью—въ зависимости отъ обстоятельствъ и можетъ быть выполнена при большемъ или меньшемъ числѣ опытныхъ поѣздокъ, въ зависимости отъ числа поставленныхъ задачъ. Дать такую общую программу, въ видахъ однообразія, очень важно и она должна быть установлена путемъ совѣщанія между представителями желѣзно-дорожныхъ обществъ, подобно программамъ (правиламъ), утвержденнымъ обществами Германскихъ и Американскихъ инженеровъ (Verein deutscher Ingenieure и American Society of Mechanical Engineers) для испытанія паровыхъ котловъ. При этомъ, какъ общее правило, должно быть установлено требованіе выражать данныя изслѣдованія графически (примѣры чему мы видимъ во всѣхъ отдѣлахъ этого труда), употреблять метрическую систему, извѣстныя условныя обозначенія, брать для сравненія циклъ Rankine'a и пр. Всѣ эти правила, соединенныя вмѣстѣ съ программой въ одно цѣлое, снабженныя образцовыми расчетами, бланками, схематическими чертежами, нормою необходимыхъ приборовъ, правилами обращенія съ ними и описаніемъ способовъ ихъ установки и пр. должны быть разосланы во всѣ техническія бюро, всѣмъ начальникамъ депо и ревизорамъ тяги и вообще высшимъ агентамъ, имѣющимъ дѣло съ подвижнымъ составомъ. Тогда воз-

можно этотъ важный вопросъ урегулировать, дать ему стройное направлѣніе, объединить получаемые результаты въ одно цѣлое и получать незамѣнимые для практики, цѣнные выводы, улучшающіе современное положеніе желѣзно-дорожнаго дѣла и предохраняющіе отъ крупныхъ ошибокъ въ будущемъ.

Повторяю—это дѣло общаго стѣзда представителей желѣзныхъ дорогъ, на предлагаемую-же ниже программу слѣдуетъ смотрѣть только какъ на приблизительный схематическій проэктъ *).

Программа опытнаго изслѣдованія паровоза.

А. Приготовленіе къ опыту.

I. *Первый осмотръ паровоза* и описаніе его видимыхъ недостатковъ (§ 108).

II. *Первая пробная поездка*. При этомъ:

1. Находятся и описываются недостатки паровоза при ходѣ подъ парами.

2. Находится сопротивленіе паровоза движенію (§ 39).

III. *Паровозъ сдается въ мастерскія*, гдѣ при этомъ:

1. Паровозъ ремонтируется и устраняются всѣ замѣченные раньше конструктивные недостатки.

2. Выравниваютъ парораспределеніе для обѣихъ сторонъ цилиндровъ. (§ 110).

3. Очищаютъ котель отъ накипи (§ 108).

4. Паровозный котель изслѣдуется какъ постоянный (§ 47).

IV. *Измѣреніе и описаніе паровоза* (§ 109). При этомъ:

1. Записывается № паровоза (заводской и желѣзно-дорожной), годъ постройки и названіе завода.

2. Дѣлается краткое описаніе системы парораспределенія и главныхъ конструктивныхъ деталей.

3. Отмѣчается состояніе паровоза и число сдѣланныхъ имъ верстъ за всё время службы и отъ послѣдняго капитальнаго ремонта.

4. Измѣряются всѣ необходимые дѣйствительные размѣры:

a) Колосниковой рѣшетки,

b) Поверхности нагрѣва,

c) Конуса,

d) Дымовой трубы,

e) Всѣ требуемые размѣры цилиндровъ (діаметръ, ходъ поршня, объемъ вредныхъ пространствъ и пр.).

*) Въ скобкахъ поставлены №№ тѣхъ §§ книги, въ которыхъ говорится о данномъ вопросѣ.

- f) Всѣ главные размѣры парораспределительнаго механизма,
- g) Диаметръ ведущихъ колесъ и пр.

5. Составляются схематическіе чертежи главныхъ частей паровоза и ихъ взаимнаго расположенія.

V. *Калибровка паровоза*: (§ 109).

- 1. Водяного бака тендера.
- 2. Котла паровоза при холодной и горячей водѣ.

VI. *Определение закона дѣйствія регулятора*, т. е. нахожденіе величины открытія регуляторнаго отверстія въ зависимости отъ положенія регуляторной ручки (§ 92).

VII. *Изслѣдованіе парораспределительнаго механизма* (§ 110). При этомъ:

- 1. Для каждаго зубца распределительнаго диска находятся всѣ моменты парораспределенія.
- 2. Вычерчиваются золотниковые эллипсы.

VIII. *Установка на паровозъ всѣхъ необходимыхъ приборовъ* (§ 111).

IX. *Вторая пробная поѣздка* (§ 112). При этомъ до поѣздки:

1. Берется средняя проба топлива и отправляется въ лабораторію. (§ 123).

2. Записываются названіе мѣста добычи угля (рудника) и его цѣна на мѣстѣ испытанія.

3. Устанавливаются и вывѣряются вѣсы для взвѣшиванія угля.

4. Опредѣляется количество топлива въ kg., идущее на растопку (холодную и горячую, т. е. на нагрѣваніе воды до 100° и на поднятіе давленія пара до нормальной упругости).

5. Изслѣдуется котель и цилиндры—нѣтъ-ли пропусковъ пара.

6. Опредѣляется количество теплоты, теряемое цилиндрами вслѣдствіе лученіи спусканія (§ 110).

7. Измѣряются потери пара и воды (§ 116) черезъ:

- a) Шприць для поливки угля,
- b) Колосниковый шприць,
- c) Шприць для дымовой коробки,
- d) Паровую маслянку,
- e) Паровую песочницу,
- f) Предохранительные клапаны.

8. Находится эмпирической масштабъ индикаторныхъ давленій (§ 64).

Во время поѣздки:

9. Вывѣряются приборы и опредѣляются необходимыя для нихъ поправки.

10. Опредѣляется влажность пара (§§ 52—56).

11. Опредѣляется во второй разъ сопротивленіе паровоза движенію (§ 39).

В. Опытная поѣздка.

I. Составленіе *опытнаго поѣзда* (§ 115), при этомъ:

1. Вагоны тщательно осматриваются и смазываются.
2. Записывается вѣсь каждаго вагона и его груза.

II. *Службы движенія и пути* (по линіи—въ предѣлахъ опытной поѣздки) *извѣщаются о назначеніи опытнаго поѣзда* для принятія надлежащихъ мѣръ предосторожности (§ 115).

III. *Очистка отъ золы* дымовой коробки, колосниковой рѣшетки, зольника и дымогарныхъ трубъ паровоза.

IV. *Нисполненіе котла водою, растопка* и доведеніе уровня воды и давленія пара въ котлѣ до нормальнаго.

V. *Отмѣтка количества топлива и воды въ тендеръ* и температура послѣдней, а также приблизительное количество топлива на колосниковой рѣшеткѣ.

VI. *Выѣздъ подѣ опытный поѣздъ*, при чемъ отмѣчается:

1. Дата (мѣсяць, число, часъ отхода поѣзда),
2. № поѣзда,
3. Названіе начальной станціи,
4. Имена и фамиліи поѣздной прислуги,
5. Общее состояніе погоды, температура воздуха, сила и направленіе вѣтра и пр.

VII. *Опытная поѣздка*, въ теченіе которой:

1. Отмѣчается количество взятаго угля (топлива) и взятой воды на промежуточныхъ станціяхъ.

2. Наблюдается, чтобы поддерживались однообразныя условія работы котла, т. е. чтобы уровень воды въ котлѣ и давленіе пара не мѣнялись.

3. Ведется точная запись времени дѣйствія вѣхъ приборовъ, расходующихъ паръ или воду изъ котла или тендера и упомянутыхъ выше (А, IX, 7), для учета соответствующихъ потерь (§ 116).

4. Отмѣчаются какъ послѣдовательныя измѣненія вообще, такъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ въ особенности:

- a) Измѣненія давленія пара въ котлѣ (§ 49).
- b) „ степени разрѣженія въ дымовой коробкѣ (§ 50—51).
- c) Измѣненія температуры выходящихъ продуктовъ горѣнія изъ дымовой коробкѣ (§ 79).
- d) Измѣненія состава продуктовъ горѣнія (§ 57).
- e) „ скорости поѣзда (§ 74—77).
- f) „ ускоренія движенія поѣзда (§ 78).
- g) „ направленія и силы вѣтра (§ 80).

5. Снимаются индикаторныя діаграммы:

а) Черезъ опредѣленные промежутки времени или пути (§ 120).

б) При извѣстныхъ спеціальныхъ условіяхъ, напримѣръ:

б₁) При различныхъ комбинаціяхъ отсѣчекъ и скорости (§ 121).

б₂) При различныхъ степеняхъ открытія регулятора (§ 92) и проч.

При этомъ на снятыхъ діаграммахъ отмѣчаются всѣ обстоятельства работы (§ 64).

6. Снимаются золотниковыя діаграммы (§ 67).

7. Опредѣляются усилія тяги, передаваемые на упряжной крюкъ паровоза (§ 71).

8. Опредѣляется сопротивленіе поѣзда движенію (§ 42). *)

VIII. *Окончаніе опыта* при пріѣздѣ на конечную станцію. При этомъ:

1. Уровень воды въ котлѣ и давленіе пара, а также количество топлива на колосниковой рѣшеткѣ, должны быть такіе-же, какъ передъ началомъ опыта (B, V).

2. Отмѣчается время окончанія опыта и конечная станція.

IX. *Послѣ опыта*:

1. Взвѣшиваются зола, шлаки и остатки угля въ зольникѣ, на колосниковой рѣшеткѣ и въ дымовой коробкѣ.

2. Всѣ это прокаливается для опредѣленія въ нихъ %-наго содержанія веществъ, способныхъ къ горѣнію (§ 117).

3. Въ лабораторіи производится химическій анализъ топлива и опредѣляется его теплотворная способность.

С. Обработка опытныхъ данныхъ.

1. *Прямые результаты опытовъ*:

1. Продолжительность опыта—*n* часовъ.

2. Средняя скорость движенія въ km/h .

3. Количество израсходованной воды при C^0 въ kg.

4. Количество потерянной воды или пара (§ 116) въ kg.

5. Полезный расходъ воды въ часъ въ kg.

6. Количество израсходованнаго угля (топлива) въ часъ въ kg.

7. Количество потеряннаго угля въ kg. (§ 117).

8. Полезный расходъ угля въ kg. въ часъ.

9. Средняя влажность пара.

На основаніи опытныхъ данныхъ находятся путемъ расчета:

II. *Для паровознаго котла*:

1. Средняя парообразовательная способность 1 m^2 поверхности нагрева.

*) Если имѣется динамометрической вагонъ, то всѣ расчеты по опредѣленію сопротивленія паровоза и поѣзда дѣлаются по методу, указанному въ § 42, III.

2. Средняя парообразовательная способность съ 1 м² поверхности воды.

3. Средняя парообразовательная способность 1 kg. данного угля (топлива).

4. Количество угля, сжигаемого на 1 м² колосниковой рѣшетки („напряженіе колосниковой рѣшетки“, „интенсивность горѣнія“—§ 43).

5. Распредѣленіе теплоты въ котлѣ (§ 123):

a) Пошло на парообразованіе	0/0
b) Потеряно отъ несовершеннаго горѣнія	0/0
c) Потеряно отъ негорѣвшаго топлива	0/0
d) Потеряно отъ лученспусканія и охлажденія	0/0
e) Унесено въ трубу	0/0
	100 0/0

6. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла.

7. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія топки.

8. Коэффициентъ полезнаго дѣйствія поверхности нагрѣва (§ 43).

9. Добавленіе:

a) Изслѣдуется вліяніе на парообразованіе величины площади отверстія конуса и положенія его въ дымовой коробкѣ (§ 96).

b) Изслѣдуется степень разрѣженія въ дымовой коробкѣ и вліяніе на его величину различныхъ обстоятельствъ (§ 47) и пр.

III. Для паровой машины паровоза:

1. Строятся среднія индикаторныя діаграммы, соотвѣтствующія даннымъ обстоятельствамъ (§ 66), и на основаніи ихъ находятъ:

a) Зависимость средняго индикаторнаго давленія отъ отсѣчки ϵ и скорости V (§ 15).

b) Тоже для средняго давленія на рабочую сторону поршня.

c) То-же для средняго давленія на нерабочую сторону поршня (среднее противодавленіе).

Добавленіе:

d) Опредѣляется зависимость этихъ величинъ отъ степени открытія регулятора и площади отверстія конуса.

e) Строятся діаграммы касательныхъ усилій для данныхъ условій и выясняются тѣ изъ нихъ, при которыхъ уменьшается подергиваніе паровоза (§ 18).

2. Опредѣляется зависимость отсѣчки ϵ и скорости V при установившемся движеніи (§ 17).

3. Находится индикаторная сила тяги паровоза въ kg. (Z_1) и индикаторная работа силы тяги (L) въ HP и опредѣляется зависимость ихъ отъ V и ϵ (§§ 18—19 и 94).

Добавленіе:

- a) Находится ихъ maximum и minimum.
- b) Находится зависимость ихъ отъ степени открытія регулятора (§ 92) и другихъ величинъ.

4. Опредѣляется:

- a) Полезный расходъ воды въ kg. на 1 *HP* въ часъ.
- b) Полезный расходъ воды въ kg. на 1000 kgm. работы.
- c) Расходъ угля (или другого топлива) въ kg. на 1 *HP* въ часъ.
- d) Расходъ угля въ kg. на 1000 kgm. работы.
- e) Полезный расходъ воды въ часъ въ kg. на 1 t. полезного вѣса поѣзда.
- f) Расходъ угля въ kg. въ часъ на 1 t. полезного вѣса поѣзда.
- g) Индикаторный (видимый) расходъ пара на 1 *HP* въ часъ.

Добавленіе:

l) Опредѣляется зависимость расхода *a*, *b*, *c* и *d* отъ *V* и *e* и степени открытія регулятора.

k) Опредѣляется зависимость расхода *e* и *f* отъ скорости поѣзда *V* и величины подъема $\frac{1}{n}$ (§ 140).

5. Находится коэффициентъ абсолютнаго термическаго полезнаго дѣйствія паровоза (§ 136).

6. Находится коэффициентъ относительнаго термическаго полезнаго дѣйствія паровоза (сравнительно съ цикломъ Rankine'a) (§ 138).

7. Производится калориметрическое изслѣдованіе паровоза при опредѣленныхъ условіяхъ (§ 124—135).

8. Опредѣляется отношеніе (для различныхъ условій работы) индикаторной работы къ работѣ полезной силы тяги (на крюкѣ) (§ 20).

IV. *Для всего паровоза:*

Находится общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія всего паровоза (§ 136).

V. Производится *разчетъ состава поѣздовъ и скорости движенія для даннаго паровоза* (§ 139—140), причемъ:

1. Опредѣляется вѣсъ поѣзда и измѣненіе его величины въ зависимости отъ величины подъемовъ и скорости движенія.

2. Опредѣляется скорость движенія поѣзда въ зависимости отъ его состава и величины подъемовъ.



ПРИЛОЖЕНІЯ

I. Вспомогательные таблицы.

Таблица для насыщенного пара по Флигнеру (Fliegner).

Таблица 1.

Давление пара		Температура в °C t	Теплота жидкости в WE q	Внутренняя	Внешняя	Разность между удельн. объемом пара v и воды w на 1 кг в м³ u = v - w	Весь 1 см³ пара в кг $\gamma = \frac{1}{v}$
kg на см² p	Высота ртутного столба в мм mm			Теплота парообразования в WE			
				p	Apu		
0,1	73,6	45,58	45,649	539,634	35,119	15,0309	0,0665
0,2	147,1	59,76	59,890	528,347	36,488	7,8084	0,1281
0,4	294,2	75,47	75,710	515,808	37,999	4,0659	0,2459
0,6	441,3	85,48	85,818	507,826	38,929	2,7769	0,3600
0,8	588,4	93,00	93,427	501,847	39,592	2,1182	0,4719
1,0	735,5	99,09	99,576	497,048	40,098	1,7162	0,5823
1,2	882,6	104,24	104,792	492,934	40,566	1,4469	0,6907
1,4	1029,7	108,72	109,339	489,378	40,942	1,2517	0,7983
1,6	1176,8	112,70	113,382	486,221	41,270	1,1040	0,9050
1,8	1323,9	116,29	117,032	483,375	41,561	0,9882	1,0109
2,0	1471,0	119,57	120,369	480,776	41,824	0,8950	1,1161
2,1	1544,6	121,11	121,935	479,557	41,946	0,8549	1,1684
2,2	1618,1	122,59	123,443	478,385	42,062	0,8183	1,2206
2,3	1691,7	124,02	124,897	477,254	42,174	0,7848	1,2726
2,4	1765,2	125,39	126,301	476,163	42,281	0,7540	1,3245
2,5	1838,8	126,73	127,658	475,109	42,384	0,7256	1,3763
2,6	1912,3	128,02	128,972	474,090	42,483	0,6993	1,4280
2,7	1985,9	129,26	130,246	473,101	42,579	0,6750	1,4793
2,8	2059,4	130,48	131,483	472,141	42,671	0,6523	1,5307
2,9	2133,0	131,65	132,684	471,210	42,760	0,6311	1,5820
3,0	2206,5	132,80	133,853	470,304	42,846	0,6113	1,6332
3,1	2280,1	133,91	134,992	469,422	42,929	0,5927	1,6843
3,2	2353,6	135,00	136,102	468,563	43,010	0,5753	1,7352
3,3	2427,2	136,06	137,183	467,726	43,088	0,5588	1,7864
3,4	2500,7	137,09	138,239	466,908	43,165	0,5434	1,8369
3,5	2574,3	138,10	139,271	466,111	43,238	0,5287	1,8879
3,6	2647,8	139,08	140,279	465,331	43,311	0,5149	1,9384
3,7	2721,4	140,05	141,265	464,569	43,381	0,5018	1,9889
3,8	2794,9	140,99	142,230	463,824	43,449	0,4894	2,0392
3,9	2868,5	141,92	143,175	463,093	43,516	0,4776	2,0894
4,0	2942,0	142,82	144,102	462,377	43,581	0,4663	2,1400
4,1	3015,6	143,71	145,010	461,677	43,644	0,4556	2,1901
4,2	3089,1	144,58	145,901	460,989	43,706	0,4454	2,2401
4,3	3162,7	145,43	146,775	460,315	43,766	0,4356	2,2904
4,4	3236,2	146,27	147,633	459,653	43,825	0,4263	2,3403
4,5	3309,8	147,09	148,475	459,004	43,883	0,4174	2,3901
4,6	3383,3	147,90	149,303	458,365	43,940	0,4088	2,4402
4,7	3456,9	148,69	150,117	457,738	43,995	0,4006	2,4900
4,8	3530,4	149,47	150,918	457,121	44,049	0,3928	2,5394
4,9	3604,0	150,24	151,705	456,514	44,103	0,3852	2,5893

IV

Давление пара		Температура в °C t	Теплота жидкости в WE q	Внутренняя	Внешняя	Разность между удѣльн. объѣм. пара v и воды w на 1 kg вь m ³ u = v - w	Вѣсъ 1 cm ³ пара вь kg $\gamma = \frac{1}{v}$
kg на cm ² p	Высота ртутнаго столба вь mm			Теплота парообразования вь WE			
				p	Apu		
5,0	3677,6	150,99	152,480	455,917	44,155	0,3780	2,6412
5,1	3751,1	151,73	153,242	455,331	44,206	0,3710	2,6882
5,2	3824,7	152,47	153,993	454,753	44,256	0,3643	2,7375
5,3	3898,2	153,19	154,733	454,183	44,305	0,3578	2,7871
5,4	3971,8	153,90	155,462	453,623	44,353	0,3515	2,8369
5,5	4045,3	154,59	156,180	453,071	44,400	0,3455	2,8860
5,6	4118,9	155,28	156,888	452,526	44,447	0,3397	2,9351
5,7	4192,4	155,96	157,586	451,989	44,493	0,3341	2,9842
5,8	4266,0	156,63	158,274	451,460	44,538	0,3287	3,0331
5,9	4339,5	157,29	158,954	450,938	44,582	0,3234	3,0826
6,0	4413,1	157,94	159,625	450,423	44,625	0,3183	3,1319
6,1	4486,6	158,59	160,287	449,914	44,668	0,3134	3,1807
6,2	4560,2	159,22	160,940	449,413	44,710	0,3086	3,2300
6,3	4633,7	159,85	161,585	448,918	44,751	0,3040	3,2787
6,4	4707,3	160,47	162,222	448,428	44,792	0,2995	3,3278
6,5	4780,8	161,08	162,852	447,945	44,832	0,2952	3,3761
6,6	4854,4	161,68	163,474	447,468	44,871	0,2910	3,4247
6,7	4927,9	162,28	164,088	446,997	44,910	0,2869	3,4734
6,8	5001,5	162,87	164,696	446,530	44,949	0,2829	3,5224
6,9	5075,0	163,45	165,296	446,070	44,987	0,2790	3,5714
7,0	5148,6	164,03	165,890	445,615	45,024	0,2753	3,6193
7,25	5332,4	165,44	167,347	444,498	45,115	0,2663	3,7411
7,50	5516,3	166,82	168,764	443,413	45,202	0,2580	3,8610
7,75	5700,2	168,15	170,146	442,354	45,287	0,2501	3,9825
8,0	5884,1	169,46	171,493	441,323	45,369	0,2427	4,1034
8,25	6068,0	170,73	172,808	440,316	45,449	0,2358	4,2230
8,50	6251,8	171,98	174,093	439,334	45,526	0,2292	4,3440
8,75	6435,7	173,19	175,349	438,373	45,601	0,2231	4,4623
9,0	6619,6	174,38	176,578	437,434	45,674	0,2172	4,5830
9,25	6803,5	175,54	177,780	436,515	45,745	0,2117	4,7015
9,50	6987,4	176,68	178,958	435,616	45,813	0,2064	4,8216
9,75	7171,2	177,79	180,111	434,735	45,881	0,2014	4,9407
10,0	7355,1	178,89	181,243	433,871	45,946	0,1966	5,0607
10,25	7539,0	179,96	182,353	433,024	46,010	0,1921	5,1787
10,50	7722,9	181,01	183,442	432,193	46,072	0,1878	5,2966
11,0	8090,6	183,05	185,563	430,576	46,192	0,1797	5,5340
12,0	8826,1	186,94	189,594	427,506	46,415	0,1655	6,0060
13,0	9561,6	190,57	193,376	424,629	46,620	0,1535	6,4725
14,0	10297,1	194,00	196,944	421,916	46,810	0,1431	6,9396
15,0	11032,7	197,24	200,324	419,349	46,986	0,1341	7,4016

Таблицы 2 и 3 (къ § 14)

Величина средня индикаторнаго давления пара въ kg/cm^2 при заданной упругости пара въ периодъ впуска p для различныхъ степеней отсѣчки ϵ_1 (Hrabak).

Для обыкновенныхъ паровозовъ.

$\epsilon_1 \backslash p$	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,33	0,30	0,25	0,20	0,15
4	2,574	2,374	2,123	1,811	1,430	1,129	0,963	0,706	—	—
4,5	3,027	2,805	2,527	2,182	1,759	1,425	1,241	0,951	0,665	—
5	3,481	3,237	2,930	2,552	2,088	1,722	1,520	1,196	0,859	0,494
5,5	3,934	3,668	3,334	2,922	2,417	2,019	1,799	1,440	1,052	0,623
6	4,388	4,099	3,738	3,292	2,746	2,315	2,077	1,685	1,246	0,751
6,5	4,841	4,530	4,142	3,662	3,075	2,612	2,356	1,929	1,444	0,883
7	5,295	4,961	4,545	4,032	3,404	2,909	2,635	2,173	1,641	1,016
7,5	5,748	5,393	4,949	4,403	3,733	3,206	2,913	2,418	1,834	1,148
8	6,202	5,824	5,353	4,773	4,062	3,502	3,192	2,662	2,036	1,280
8,5	6,655	6,255	5,757	5,143	4,391	3,799	3,471	2,906	2,234	1,412
9	7,109	6,686	6,161	5,513	4,721	4,096	3,749	3,150	2,431	1,544
9,5	7,562	7,117	6,564	5,883	5,050	4,392	3,928	3,394	2,629	1,677
10	8,016	7,549	6,968	6,254	5,379	4,689	4,307	3,639	2,827	1,809

Для Сotround-паровозовъ.

Отсѣчка отнесена къ большому цилиндру.

$\epsilon_1 \backslash p$	0,25	0,20	0,15	0,125	0,10	0,08	0,07
7	2,453	1,838	1,519	1,235	—	—	—
8	2,931	2,433	1,874	1,539	1,204	—	—
9	3,400	2,848	2,212	1,840	1,465	1,132	—
10	3,865	3,249	2,552	2,137	1,722	1,348	1,158
11	4,322	3,654	2,889	2,435	1,978	1,565	1,353
12	4,780	4,057	3,224	2,729	2,227	1,780	1,549

VI

Таблицы 4—8 (къ § 32).

Таблицы для вычислений сопротивленія паровоза съ тендеромъ и поѣзда изъ товарныхъ вагоновъ (Фонъ-Раабенъ)

Таблица 4. Сопротивленіе паровоза съ тендеромъ на прямой горизонтали, не принимая во вниманіе вліянія температуры и вѣтра.

$$(4,3 + 0,15 v + 0,001 v^2) L.$$

Вѣсь паровоза съ тендеромъ въ t L	Скорость v въ $\left(\frac{km}{h}\right)$										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
55	320	370	420	480	530	590	650	720	790	860	930
60	350	410	460	520	580	650	710	780	860	930	1010
65	380	440	500	560	630	700	770	850	930	1010	1100
70	410	470	540	610	680	750	830	910	1000	1090	1180
75	440	510	580	650	730	810	890	980	1070	1170	1270
80	470	540	620	690	780	860	950	1050	1150	1250	1350
85	500	580	650	740	830	920	1010	1110	1220	1320	1440
90	530	610	690	780	870	970	1070	1180	1290	1400	1520

Таблица 5. Сопротивленіе товарныхъ вагоновъ поѣзда на прямой горизонтали, не принимая во вниманіе вліянія температуры и вѣтра, при вѣсъ каждаго вагона $19\frac{1}{2} t$.

$$[1,2Q + 0,9nv + 0,03(1 + 0,0n)v^2].$$

Число вагоновъ n	Скорость v въ $\left(\frac{km}{h}\right)$										
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
20	650	750	850	950	1,060	1,160	1,270	1,390	1,500	1,620	1,740
22	720	820	930	1,040	1,160	1,270	1,400	1,520	1,650	1,770	1,910
24	780	900	1,020	1,140	1,260	1,390	1,520	1,650	1,790	1,930	2,070
26	850	970	1,100	1,230	1,360	1,500	1,640	1,780	1,930	2,080	2,230
28	910	1,050	1,180	1,320	1,470	1,610	1,760	1,920	2,070	2,230	2,400
30	980	1,120	1,270	1,420	1,570	1,730	1,890	2,050	2,220	2,390	2,560
32	1,040	1,190	1,350	1,510	1,670	1,840	2,010	2,180	2,360	2,540	2,720
34	1,110	1,270	1,430	1,600	1,780	1,950	2,130	2,310	2,500	2,690	2,890
36	1,180	1,340	1,520	1,700	1,880	2,070	2,250	2,450	2,640	2,850	3,050
38	1,240	1,420	1,600	1,790	1,980	2,180	2,380	2,580	2,790	3,000	3,210
40	1,300	1,490	1,690	1,880	2,090	2,290	2,500	2,710	2,930	3,150	3,380
42	1,370	1,570	1,770	1,980	2,190	2,400	2,620	2,850	3,070	3,300	3,540
44	1,430	1,640	1,850	2,070	2,290	2,520	2,740	2,980	3,220	3,460	3,700
46	1,500	1,720	1,940	2,160	2,400	2,630	2,870	3,110	3,360	3,610	3,870
48	1,560	1,790	2,020	2,260	2,500	2,740	2,990	3,240	3,500	3,760	4,030
50	1,630	1,870	2,110	2,350	2,600	2,850	3,110	3,380	3,650	3,920	4,190

VII

Таблица 6. *Сопротивленіе отъ кривой* (для нормального русскаго товарнаго вагона, база котораго $l=3,81m$).

$$21 \frac{4l+l^2}{R-45}$$

Радиусъ кривизны въ саженьяхъ	Сопротивленіе въ <i>kg</i> на 1 <i>t</i> вѣса поѣзда	Радиусъ кривизны въ саженьяхъ	Сопротивленіе въ <i>kg</i> на 1 <i>t</i> вѣса поѣзда
2,000	0,15	400	0,77
1,000	0,30	300	1,05
800	0,38	200	1,64
600	0,51	150	2,28
500	0,61	100	3,72

Таблица 7. *Сопротивленіе отъ температуры*

	+15	0	-15	-30
Температура по Цельсію				
Сопротивленіе въ <i>kg</i> на 1 <i>t</i> вѣса поѣзда. .	0	0,2	0,4	0,6

Таблица 8. *Добавочное сопротивленіе отъ вѣтра.*

	20	40	60	80	100	120
Скорость вѣтра въ km/h						
Сопротивленіе отъ вѣтра въ <i>kg</i> на 1 <i>t</i> вѣса поѣзда при вѣсѣ вагона $19\frac{1}{2} t$. . .	0,09	0,37	0,82	1,48	2,31	3,36

Таблица 9 (къ § 45).

Насыщенный паръ по Реньо (Regnault) и Цейнеру (Zeuner).

Абсолютное давление		Температура въ градусахъ C	Общая теплота парообразов. въ ед. теплоты	Вѣсъ въ kg одного m^3	Объемъ въ литрахъ $1kg$ Ve	$\frac{26130}{Ve}$ (kg)
Въ at	Въ kg/cm^2					
0,1	0,1033	46,2	620,59	0,0687	14,552	1,8
2	0,2066	60,45	624,94	0,1326	7,543	3,48
3	0,31	69,5	626,69	0,1945	5,139	5,10
4	0,413	76,25	626,76	0,254	3,916	6,7
5	0,516	81,7	630,42	0,313	3,171	8,26
6	0,62	86,3	632,83	0,375	2,671	9,8
7	0,723	90,3	633,07	0,435	2,309	11,36
8	0,826	93,9	635,13	0,491	2,036	12,9
9	0,93	97	636,11	0,5487	1,822	14,4
1,0	1,0334	100	637	0,6059	1,650	15,87
1	1,136	102,7	637,82	0,662	1,508	17,38
2	1,24	105,2	638,58	0,719	1,390	18,85
3	1,343	107,5	639,29	0,775	1,289	20,33
4	1,446	109,7	639,95	0,831	1,202	22,76
5	1,55	111,7	640,58	0,887	1,126	23,26
6	1,653	113,7	641,18	0,943	1,060	24,72
7	1,756	115,5	641,74	0,998	1,001	26,13
8	1,86	117,3	642,22	1,053	949	27,6
9	1,963	119	642,79	1,108	902	29,05
2,0	2,0668	120,6	643,28	1,163	860	30,5
1	2,17	122,15	643,76	1,217	821	32
2	2,273	123,6	644,21	1,272	786	33,32
3	2,376	125	644,65	1,326	754	34,80
4	2,48	126,5	645,07	1,38	724	36,20
5	2,583	127,8	645,48	1,434	697	37,50
6	2,686	129,1	645,88	1,488	672	39
7	2,79	130,35	646,26	1,542	648	40,20
8	2,893	131,6	646,63	1,595	626	41,80
9	2,996	132,76	646,99	1,649	606	43,3
3,0	3,1	133,9	647,34	1,7024	587	44,6
1	3,2	135	647,68	1,755	570	46,0
2	3,307	136	648,02	1,808	553	47,42
3	3,41	137,2	648,34	1,861	537	48,8
4	3,51	137,2	648,66	1,914	522	50,15
5	3,617	139,2	648,97	1,967	508	51,33
6	3,72	140,2	649,27	2,02	495	53,00
7	3,82	141,2	649,57	2,073	482	54,32
8	3,927	142,15	649,86	2,125	470	57,71
9	4,03	143	650,14	2,178	459	57,06
4,0	4,1336	144	650,42	2,2303	448	58,44
1	4,237	144,9	650,69	2,282	438	59,78
2	4,34	145,7	650,96	2,335	428	61,15
3	4,44	146,6	651,22	2,387	419	62,48
4	4,547	147,4	651,48	2,439	410	64,00
5	4,65	148,3	651,73	2,491	401	75,3

Абсолютное давление		Температура в градусах C	Общая теплота парообразов. в ед. теплоты	Весь в kg одного m^3	Объем в литрах $1kg$ V_e	$\frac{26130}{V_e}$ (kg)
Въ at	Въ kg/cm^2					
4,6	4,75	149,1	651,98	2,543	393	66,65
7	4,857	149,9	652,22	2,595	385	67,92
8	4,96	150,7	652,46	2,646	377	69,30
9	5,064	151,46	652,70	2,698	370	70,61
5,0	5,167	152,2	652,93	2,75	363	71,95
1	5,27	152,97	653,16	2,801	357	73,34
2	5,37	153,7	653,38	2,852	350,5	74,67
3	5,477	154,4	653,60	2,904	344	76,05
4	5,58	155,14	653,80	2,966	338	77,38
5	5,68	155,85	654,04	3,007	332	78,70
6	5,787	156,54	654,24	3,058	324	80,10
7	5,89	157,2	654,45	3,109	321	81,28
8	5,99	157,9	654,66	3,161	316	82,65
9	6,097	158,56	654,86	3,212	311	84,00
6,0	6,2	159,2	655,06	3,2632	306	85,38
1	6,303	159,8	655,26	3,314	301	87
2	6,407	160,5	655,45	3,365	297	88
3	6,510	161,1	655,65	3,416	292	89,4
4	6,613	161,7	655,84	3,467	288	90,9
5	6,717	162,3	656,02	3,517	283	92
6	6,82	162,9	656,21	3,568	280	93
7	6,923	163,5	656,39	3,619	276	94,5
8	7,027	164,2	656,57	3,67	272	96
9	7,13	164,7	656,75	3,72	268	97
7,00	7,2338	165,3	656,93	3,77	265	98,70
25	7,49	166,7	657,37	3,897	256	101
50	7,75	168,15	657,79	4,023	248	105,3
75	8,009	169,5	658,20	4,15	241	108,4
8,00	8,267	170,8	658,60	4,274	234	111,7
25	8,525	172,1	658,99	4,4	227	114
50	8,784	173,3	659,37	4,524	221	118
75	9,042	175,5	659,74	4,649	215	121,5
9,00	9,3006	175,7	660,11	4,774	209	124,7
25	9,559	176,9	660,47	4,898	204	128
50	9,817	178,0	660,82	5,022	199	131,2
75	10,075	179,2	661,16	5,146	194	134,55
10,00	10,334	180,3	661,50	5,27	189	
25	10,59	181,3	661,82	5,394	185	
50	10,85	182,4	662,14	5,517	181	
75	11,109	183,4	662,46	5,64	177	
11,00	11,367	184,5	662,77	5,763	173	

ТАБЛИЦА Ю (къ § 56).

Количество пара, вытекающего въ часъ черезъ отверстие [вычислено по формулѣ Напира (Napier)].

$$\text{Вѣсъ пара въ } kg \text{ въ секунду} = p \frac{F}{70}$$

Абсолютное давление пара въ <i>at</i> (1 <i>at</i> = 1 kg/cm ²)	Вѣ с ъ п а р а в ъ <i>kg</i> .					
	О т в е р с т і е д і а м е т р о м ъ					
	0,5 mm	1 mm	1,5 mm	2 mm	2,5 mm	3 mm
1	0,1010	0,4039	0,9088	1,6156	2,5245	3,6352
2	0,2019	0,8078	1,8176	3,2313	5,0490	7,2705
3	0,3029	1,2117	2,7264	4,8470	7,5734	10,9058
4	0,4039	1,6156	3,6352	6,4627	10,0979	14,5411
5	0,5049	2,0196	4,5440	8,0783	12,6224	18,1763
6	0,6059	2,4235	5,4529	9,6940	15,1469	21,8116
7	0,7068	2,8274	6,3617	11,3098	17,6714	25,4468
8	0,8078	3,2313	7,2705	12,9255	20,1959	29,2821
9	0,9088	3,6352	8,1793	14,5411	22,7204	32,7174
10	1,0098	4,0391	9,1881	16,1567	25,2449	36,3527
11	1,1107	4,4431	9,9969	17,7724	27,7694	39,9879
12	1,2117	4,8470	10,9058	19,3881	30,2939	43,6232
В ъ о д н у с е к у н д у п р о т е к а е т ъ п а р а:						
1	0,000028050	0,000112200	0,000252449	0,000448798	0,000701248	0,001009797

II. Составъ и теплотворная способность различныхъ сортовъ горючаго.

1. Общія данныя проф. Менделѣева.

а. Дерево.

Для отопленія употребляется древесина съ корою. Средній составъ: I—для свѣжаго, совершенно сыраго дерева, II—для лежалаго на воздухѣ въ теченіи 1—2 лѣтъ и обыкновенно называемаго сухимъ и III—для совершенно высушеннаго—будетъ въ ‰:

	I	II	III
Влажности	40,0	20,0	—
Зола	0,4	0,5	0,6
Углерода	30,0	40,0	50,0
Водорода	3,6	4,8	6,0
Кислорода	25,8	34,5	43,1
Азота	0,2	0,2	0,3
Теплопроизводительность близка къ:			
$Q =$	2840	3790	4730 ед. т.

Если не принимать воду сгустившуюся въ жидкость, а полагать, что она находится въ парообразномъ состояніи, то вѣрнѣе принимать теплопроизводительную способность равную

$$Q = 2400 \quad 3400 \quad 4410 \text{ ед. т.}$$

б. Уголь.

1. *Бурые угли.* Приближенный средній составъ: I—для лигнитовъ, II—для бѣдныхъ и III—для богатыхъ углеродомъ:

	I	II	III	Среднее
Влажности	7,0	9,0	8,0	8,0‰
Зола + сѣры	7,0	9,0	8,0	8,0‰
Углерода	54,0	56,8	59,6	56,8‰

XII

	I	II	III	Среднее
Водорода	4,0	4,2	4,4	4,2 ⁰ / ₀
Азота	1,0	1,0	1,0	1,0 ⁰ / ₀
Кислорода	27,0	20,0	19,0	22,0 ⁰ / ₀
<i>Q</i> приблизительно = 4950—5650 ед. т. въ среднемъ около 5280 ед. т.				
<i>Q'</i> въ среднемъ = 5010 ед. т.				

2. *Сухіе (тощіе) длинно-пламенные угли.* [Польскіе (напр. лисичанскій и тквибульскій)].

	отъ	до	среднее
Влажности	4,5	7,5	6,0
Зола и сѣры	3,0	5,0	4,0
Углерода	65,0	81,4	73,2
Водорода	4,2	5,4	4,8
Азота	0,7	1,3	1,0
Кислорода	9,0	13,0	11,0
<i>Q</i> =	6000	8000	7000 ед. т.
<i>Q'</i> въ среднемъ = 6700 ед. т.			

3. *Жирные или спекающіеся каменные угли:*

а. Газовые каменные угли. (Напр. сѣверная часть Донецкаго бассейна около Голубовки).

	отъ	до	среднее
Влажность	4,0	1,0	2,5
Зола и сѣры	7,0	3,0	5,0
Углерода	75,0	84,0	79,5
Водорода	4,7	5,3	5,0
Азота	0,8	1,2	1,0
Кислорода	6,0	8,0	7,0
<i>Q</i> =	7100	8400	7750 ед. т.
<i>Q'</i> въ среднемъ = 7500 ед. т.			

б. Коксовые угли. (Юго-Западная часть Донецкаго бассейна, около Юзовки и Богодуховки).

	отъ	до	среднее
Влажности	1,0	2,0	1,5
Сѣры и зола	1,0	5,0	3,0
Углерода	80,0	87,0	83,5
Водорода	4,4	5,2	4,8
Азота	0,7	1,3	1,0
Кислорода	4,0	8,4	6,2
<i>Q</i> =	7700	8500	8040 ед. т.
<i>Q'</i> въ среднемъ около 7770 ед. т.			

4. *Полужирные или полуантрацитовые.*

Влажности	отъ	0,5	до	2 ⁰ / ₀
Золы и сѣры	”	2	”	6 ⁰ / ₀
Углерода	”	85	”	89 ⁰ / ₀
Водорода	”	3	”	5 ⁰ / ₀
Азота	”	1	”	1 ⁰ / ₀
Кислорода	”	1	”	4,5 ⁰ / ₀
Q въ среднемъ = 8180				
Q' ” = 7950.				

5. *Антрациты.* (Грушевскіе антрациты, восточная часть Донецкаго бассейна).

	отъ	до	среднее
Влажности	3	4	3,5 ⁰ / ₀
Золы и сѣры	3	6	4,5 ⁰ / ₀
Углерода	86	90	88,0 ⁰ / ₀
Водорода	1,2	2,4	1,8 ⁰ / ₀
Азота	0,8	0,9	0,8 ⁰ / ₀
Кислорода	0,8	2,0	1,4 ⁰ / ₀
$Q =$	7500	7960	7630 ед. т.
Q' въ среднемъ = 7500 ед. т.			

с. **Ноксъ** (доброкачественный. Сѣры не болѣе 2⁰/₀).

	отъ	до	средн. около
Влажности	1,0	3,0	2,0
Золы	4,0	11,0	7,5
Сѣры	0,5	1,9	1,2
Углерода	85,0	89,0	87,0
Водорода	0,2	0,6	0,4
Азота	0,3	0,5	0,4
Кислорода	1,0	2,0	1,5
$Q = 7160$ ед. т. въ среднемъ.			

	Уголь Олонд- кой губернии	Подмосковные угли				Уголь царства Польскаго копи "Парижъ" пласъ Редель	Д о н е ц к и е у г л и .						Уральские угли		
		1-я пласъ Чл ковской копи	Средняя пласъ Муравьевинской копи.	Средняя часть пласъ Объяв- ской копи.	7,87		8,3	5,61	7,48	7,44	6,03	1,70	0,81	1,46	4,18	0,81	1,26
Воды		1,87	7,87	5,61	7,48	7,44	6,03	1,70	0,81	1,46	4,18	0,81	1,26	Грас- гофский уголь	Егор- шинский уголь
Лучших частей "		8,2	62,3	62,0	41,31	—	—	—	—	—	5,00	—	—	—	—
Кокса		—	—	—	58,69	55,5	57,8	62,15	67,65	70,12	—	59,9	92,45	—	—
Зола		2,02	12,6	26,02	2,32	11,20	4,03	6,76	2,88	2,10	2,04	9,70	3,14	—	—
C		89,82	60,51	42,82	71,01	64,14	70,54	71,20	82,86	82,88	89,91	74,96	88,29	—	—
H		1,16	7,51	5,15	5,66	5,56	5,30	5,32	5,08	5,43	1,69	5,23	3,44	—	—
O + N		$N = 0,70$ $O = 6,11$	—	—	—	—	—	—	—	—	$\left\{ \begin{array}{l} O = 4,54 \\ N = 0,80 \end{array} \right.$	—	—	—	—
Сѣра		—	—	—	0,25 (Объявл. около 1,2%)	—	—	—	—	—	10,2	—	—	—	—
Теплотворная способность:		орг. масса 7417	—	—	—	—	—	—	—	—	7648	—	7691	—	—
изъ опыта ед. т		7685	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8148	—	—
по Дюлонгу		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Видъ кокса		—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
							Слабо спекшейся.			Сильно испучень				довольно слабого	

3. *Нефть. Данные Сентъ-Клеръ-Девилья (Sainte-Claire-Deville) о составъ и теплотворной способности.*

	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	Теплотворная способность
Сырая балаханская нефть . . .	87,4	12,5	0,1	11700
Легкая бакинская нефть . . .	86,3	13,6	0,1	11460
Тяжелая " "	86,6	12,3	0,1	10800
Нефтяные остатки изъ бакинскихъ заводовъ	87,1	11,7	1,2	10700

4. *Анализъ образцовъ нефтяныхъ остатковъ (купленныхъ въ Петербургѣ), произведенный проф. Шуляченко, далъ слѣдующій результатъ:*

	<i>C</i>	<i>H</i>	<i>O</i>	Воды
1-й образецъ	86,75	12,78	0,47	0,20
2-й "	86,25	12,77	0,98	0,20
3-й "	87,04	12,72	0,04	0,20

III. Списокъ литературныхъ источниковъ.

Принятые сокращенія:

Ж. М. П. С.—Журналъ Министерства Путей Сообщенія.

Ииж.—Инженеръ (Кіевскій).

Ж. д. д.—Желѣзнодорожное дѣло.

Тех. Сб.—Техническій Сборникъ.

Гор. Жур.—Горный Журналъ.

З. И. Р. Т. О.—Записки Императорскаго Русскаго Техническаго Общества.

В. О-ва Тех.—Вѣстникъ Общества Технологовъ.

Из. Ю.-Р. О-ва Тех.—Извѣстія Южно-Русскаго Общества Технологовъ.

Прот. съѣздовъ тяги—Протоколы засѣданій совѣщательныхъ съѣздовъ инженеровъ подвижнаго состава и тяги русскихъ ж. д.

Бюл. Пол. О-ва—Бюллетени Политехническаго Общества.

Rév. génér.—Révue générale des chemins de fer.

Rév. ind.—Révue Industrielle.

Rév. d. mines.—Révue Universelle des mines.

Portf. écon.—Portefeuille économique des machines.

Gen. civ.—Le Genie civil.

Bull. internat.—Bulletin de la commission internationale du congrés des chemins de fer.

Memoires d. Jng. civ.—Memoires et compte rendu des travaux de la Société des Ingenieurs civils.

Annal. d. ponts.—Annales des ponts et chaussées.

Dinglers Jour.—Dinglers polytechnisches Journal.

Glasers Annal.—Annalen für Gewerbe ü. Bauwesen, Glaser.

Organ—Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Z. d. Jng.—Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.

Verhandl. d. Verein.—Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbefleißes.

Schw. Bauz.—Schweizerische Bauzeitung.

Eng.—Engineering.

The Eng.—The Engineer.

The Rail. Gaz.—The Railroad Gazette.

Eng. News.—Engineering News.

Жирнымъ шрифтомъ обозначены соотвѣтствующіе §§ текста, въ которыхъ есть ссылки на данную статью или сочиненіе, или цитаты изъ нихъ.

Общія свѣдѣнія о паровозахъ.

1. *Blum., v. Borries & Barkhausen.* „Die Eisenbahn—Technik der Gegenwart“, ч. I, (русскій переводъ, ч. I. „Паровозы“ 1900).
2. *Heusinger von Waldegg.*—„Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik“. III. 82.
3. *Demoulin*—„Traité pratique de la machine locomotive“ 98. I—IV ч.
4. *Guédon.* „Les locomotives nouvelles“ 98.
5. *Мухачевъ* проф. „Теорія и конструкція паровозовъ обыкновенныхъ ширококолейныхъ дорогъ“ 95.
6. *Романовъ* проф. „Паровозы“ 1900. Изд. 2-е.

Часть I. Предварительныя свѣдѣнія.

7. *Zeuner.* „Technische Thermodynamik“. 90.
8. *Полодинъ.* „Термодинамика“. 94.
9. *Вышнеградскій* проф. „Механическая теорія теплоты“ (литограф.).
10. *Зерновъ* проф. „Теорія паровыхъ машинъ“ 1900 (литограф.).
11. *Schröter* проф. „Theoretische Maschinenlehre“ I. 19^{01/02} (литогр.) и др.
12. Способы вычерчиванія кривыхъ расш. и сжатія. § 4. *Z. d. Ing.* 85. *Польгаузенъ* „Паровыя машины“ стр. 7 и др.

Часть II. Дѣйствіе пара въ паровозахъ.

13. О конденсаціи пара въ паровыхъ цилиндрахъ:
ст. *Edwin. H. Hall'a*: *Memoires d. Ing. civ.* 92, стр. 228. Инж.: 85—стр. 263; 87—стр. 82 и 379; 90—стр. 32; 95—стр. 78; 99—№ 12; 1900—№ 1.
14. Теорія проф. *Kirsch'a* о конденсаціи пара. § 6. Его сочиненіе „Die Bewegung der Wärme in den Cylinderwandungen der Dampfmaschinen“; *Тех. Сб.* 95 г. № 3.
15. Опыты *Gately* и *Kletch'a* (докладъ проф. *Thurston'a*): § 6. „Minutes of Proc. of civ. Engineers“ 86. Vol. LXXXIV; *Journal of the Franklin Institute*, 85 окт.—дек.; Инж. 87. № 2.

- Къ § 6.
16. а) Опыты *Leitzmann'a* надъ паровозами прусс. ж. д. *Verhand. d. Verein.* 95 г. № 3.
 17. б) „ *Bauschinger'a*—его соч. „Indicator-Versuche an Locomotiven“ 1868; *Civilingenieur* 66, 67 г.
 18. с) Изслѣдованіе *Leitzmann'a* надъ выпускомъ пара въ цилиндры—*Glasers Annal.* 99 г. № 524.
 19. д) Золотники *Allan'a* съ каналами *Trik'a*—*Eng. News.* 93 г. Июль 6; *Glasers Annal.* 95 г. № 421 (опыты *Leitzmann'a*); *Инж.* 95 г. № 8 и 9.
 20. Опыты *Reiche* § 7. Соч. „Die Untersuchungen an Dampfmaschinen“.
 21. Опыты надъ сжатіемъ пара:
Carpenter'a и *Doerfe*: § 9. *Ж. д. д.* 99 г. № 25—26; *Rév. génér.* 99 г. февр.
Dwelschawers-Dery § 9. *Инж.* 99 г. № 1; *В. О-ва Техн.* 98 г. № 5; *Rév. génér.* 98 г. № 12.
Bauschinger'a и *Deprez* § 9. *Горн. жур.* 82 г. № 10.
Leitzmann'a § 9. *Glasers Annal.* 98 г. № 504.
 22. Вліяніе отрицат. внутр. перекрыши на сжатіе пара: § 9. *Блюмъ, Боррисъ и Боркмаузенъ* (n^o 1), стр. 208; *Pichler*—соч. „Der Indikator und sein Diagramm“ 2-е изд. стр. 221; *Glasers Annal.* 95 г. № 423 и др.
 23. Предварительный впускъ въ паровозахъ—докладъ *Querrecan* § 10. *Bull. internat.* 97 г. № 9; *Railway Review*—97 г. 20 марта.
Къ § 11.
 24. а) Способъ изслѣдованія температуръ стѣнокъ цилиндра—*Блюмъ, Боррисъ и Боркмаузенъ* (n^o 1) стр. 263.
 25. б) Изслѣдованія *Кетр'a* о выгодахъ паров. Compound—докладъ его въ *Institution of Engineers and Shipbuilders in Scotland*; *Тех. Сб.* 91 № 6.
 26. Ранкинизированіе § 12. Обзоръ всѣхъ способовъ—ст. *Otto Müller'a* *Z. d. Ing.* 87 г.; *Haeder*—соч. „Der Indikator“, стр. 155—157 и др.
 27. Характеристика проф. *Doefel'я* § 12; *Польмаузенъ* „Паровыя машины“ стр. 24; *Z. d. Ing.* 89, стр. 1065.
 28. Способъ *Hartmann'a* (проф.) одновременнаго вычерчиванія характеристики и кривой Мариотта—*Z. d. Ing.* 95. № 7.
Къ § 12.
 29. Сравнительные опыты на М. Каз. ж. д. докладъ *Экарева*: прот. XXI съѣзда тяги.
Къ § 13.
 30. *Detoulin*: „О соотношеніяхъ между паропроизвод. способностью котла, объемомъ цилиндра и вѣсомъ паровоза“. *Bull. internat.* 96 г. *Инж.* 97 г. № 1.

31. О распредѣленіи внутр. тренія въ паров. машинахъ, проф. *Thurston'a*—Инж. 89 г. № 2.
32. Къ § 14. Ст. *Kaufmann'a*—Z. d. Ing. 92 г. № 22.
33. Общее изслѣдованіе величины силы тяги: § 15. Для прусс. паровозовъ—ст. *Leitzmann'a*. „Berechnung der Zugkraft und Leistungsfähigkeit der Locomotiven“. Verhand. d. Verein. 95.
34. Вліяніе силъ инерціи § 15: *Haeder* „Der Indicator“ 2-е изд. стр. 198; *Романовъ* „Паровозы“ стр. 45; *Дентъ* проф. „Паровыя машины“ 2-е изд. стр. 318 и др.
35. Распредѣленіе дѣйствующихъ силъ въ паровозѣ—§ 17; соч. проф. *Еракова*: „Данныя и расчеты, относящіяся до употребленія паровозовъ“. I. 84 г. стр. 1.
36. Полярная діаграмма касательныхъ усилій § 18: *Мушачевъ* (n^o 5) стр. 235; *Buchetti*—соч. „Guide pour l'essai des machines“ 2-е изд. 91 г. стр. 124 и др.
37. Къ § 18. Опыты *Barbier* на Сѣв. фр. ж. д. Rev. génér. 98 г.; Gen. civ. 98 г. стр. 377; Инж. 99 г. № 4 и 5.
38. Къ § 20. *Demoulin* (опыты на разл. ж. д.)—(n^o 3) стр. 242, ч. II. *Desdoutis*: „Rendement et utilisation économique des machines locomotives“. Rév. génér. 94 т. № 4 и 6.

Часть III. Сопротивленіе поѣзда.

39. *Петровъ* проф. Соч. „Сопротивленіе поѣзда на желѣз. дор.“. 89 г.
40. *Frank A.* соч. „Die Widerstände der Locomotiven“. 86 г.
41. *Ераковъ* проф. „Сопротивленіе паровозовъ и поѣздовъ движен.“ 84 г.
42. *Wittenberg*. „Bestimmung des Widerstandes der Zügемittels des Geschwindigkeitsmessers“. Organ 99 г. № 1—2.
43. *Романовъ*. „Паровозы“ стр. 95—145 и др.
44. Къ § 22. *Петровъ* проф. „Практическіе результаты опытной гидродинамики теор. тренія“.
45. Къ § 27. Сопротивленіе воздуха:
 - а) Опыты *Grosby*—„Americ. Inst. of. Electrical Engineers“ 91. Fev. Street Ry Journ. 91. Apr.
 - б) Опыты *Desdoutis*—Rév. génér. 90. № 5—6.
 - в) „ проф. *Goss'a*—*Романовъ* „Паровозы“.
 - д) Послѣдніе опыты: „Street Railway Journal“ 99 г. № 5; Ж. д. д. 99 г. № 25—26; Ж. М. П. С.—98 г. № 1; „Natur“ 95 г. № 113—в.; Eng. 96 г. апр. 3.
 - е) Поѣздъ наименьшаго сопротивленія.—Инж. 1900 г. № 7.

46. Сопротивленіе на кривыхъ § 28.
Опыты *Баварскихъ ж. д.* Organ, 81 г. стр. 261.
„ инж. *Славинскаго*—прот. XXI съѣзда тяги.
47. Къ § 29. Докладъ *du Bousquet* въ О-вѣ гражд. инженеро-въ. Инж. 94 г. № 4.
48. Формула проф. *Петрова*. § 32; соч. проф. Петрова (n° 39); изменение ея на основ. опытовъ *Privat*—З. И. Р. Т. О. 97 г. апр. 4. Опыты *Privat*—*Rév. génér.* 96 г. мартъ.
49. Къ § 34. Сопрот. отъ снѣжныхъ заносовъ—опыты *Яловецкаго*—его соч. „Вода, топливо и паровозные котлы“ стр. 205.
50. Къ § 34 bis. Двойная тяга—*Z. d. Ing.* 91 г. № 34—38.
51. Къ § 35. Заграничныя формулы:
а) Сравненіе прежнихъ и новыхъ формулъ сопротивленія—соч. инж. *Гостовскаго*. „*Die Mechanik des Zugs-Verkers*“ (переводъ инж. Теодоровича).
б) Опыты *Frank'a*—его соч. (n° 40); Organ—83 г. стр. 3 и 69; 85 г. стр. 165; 86 г. стр. 201; 99 г. № 7 и 8. Из. Ю. Р. О-ва Тех. 1900 г. № 8 и 9.
в) Опыты *Barbier*—*Rév. génér.* 97 г. апр.; 98 г. мартъ—іюль; *Gen. civ.* 98 г. стр. 377; *Z. d. Ing.* 98. S. 1188; Organ 1900 г. стр. 25; Инж. 99 г. № 4 и 5; 1900 г. № 1—4.
д) Опыты *Borries'a*—Organ 1901 г. № 11.
52. Ур-іе движенія поѣзда § 40. Проф. *Романовъ*. „Паровозы“.
53. Способъ *Leitzmann'a* опред. сопротивленій—§ 42. *Verhandl. d. Verein.* 1900 г. № 1—2.

Часть IV. Паровозный котелъ.

54. *Яловецкій* соч. „Вода, топливо и паровозные котлы“.
55. *Richard G.* „*La chaudière locomot. et son outillage*“ 86 г.
56. *Предтеченскій* проф. „Курсъ паровыхъ котловъ“ 2-е изд. 1900 г.
57. Опыты надъ передачею теплоты черезъ стѣнки—*Ж. М. П. С.* 97 г. № 2; Тех. Сб. 93 г. № 8—9.
58. Опыты *Гурша* надъ передачею теплоты черезъ дымогарныя трубки—Тех. Сб. 91 г. № 5 и общія сочиненія—см. n° 1—6.
Къ § 43. Коэфф. пол. дѣйст. котла:
59. а) *Richter*—„*Schnellbetrieb auf den Eisenbahnen der Gegenwart*“ *Dinglers Journ.* 1901 г.
б) Опыты *Gollner'a*—*Dinglers Journ.* Band. 268. Инж. 89 г. № 10.
в) Стат. *Marié*: „*Etude expérimentale de la vaporisation dans les chaudières de locomotives*“. *Annales des mines* 94 г. т. VI.

- d) ст. проф. *Stévant'a*—В. О-ва Тех. 98 г. № 6—7.
 e) ст. *Mussat*—Annal. d. ponts. 95 г. стр. 565.
60. Къ § 44 и 46—47. Опыты *Richter'a*—„Zwillings und Verbund—Locomotiven“. Organ 95 г. Инж. 97 г. № 12; 98 г. № 1.
61. Способъ *Warrington'a* расчета расхода пара—§ 45; ст. *Mallet*—„Etude sur l'utilisation de la vapeur dans les locomotives“; *Buchetti*—„Guide pour l'essai des machines“ стр. 114—118.
 Къ § 46 и 47.
62. а) О паропроизводительности котла паровоза—ст. *Levi*. Инж. 93 г. № 6; ст. *Demoulin'a*—n^o 30.
 б) Ст. *Wöhler'a*—„Die Wirksamkeit der Heizrohre in Locomotiv—Kesseln“. Z. d. Ing. 97 г. № 38.
63. с) Трубки *Serve* и опыты съ ними (*Henry*) на ж. д. Р. Л. М.: Annales des mines 94 г. т. VI. Rév. génér. 93 г. № 10; Rév. ind. 93 г. 20 мая; Eng. 90 г. окт.; Z. d. Ing. 93 г. № 1; 1901 г. № 36; Инж. 94 г. № 5.
64. d) Конусъ и дымовая труба. Опыты *Borries'a*—„Versuche mit Blasrohren u. Schornsteinen der Locomotiven“—Organ 96 г. Инж. 96 г. № 6. *Zeuner*—„Das Locomotiven—Blasrohr“. Вліяніе сьуженнаго отверстія конуса на величину средняго давленія на поршень—Инж. 93 г. № 8 и 9; Изслѣдованіе *Troske*—Dinglers Journ. 96 г. Bd. 299 и его сочин. „Die vorteilhaftesten Abmessungen des Locomotivblasrohres u. des Locomotivschornsteins“. 96 г.
65. e) Опыты проф. *Goss'a* въ лабор. универ. Purdue—„The effect of high rates of combustion upon the efficiency of locomotive boilers“; Инж. 96 г. № 9—10.
 f) Опыты *Leitzmann'a*—Verhand. d. Verein. 95 г.
 g) „ на ж. д. *Western-New-York*—Инж. 97 г. № 2.
 h) „ *Koch'a* надъ паропроизв. котловъ. Organ 79 г. стр. 63.
 i) Данныя о паровозахъ Каледонской ж. д. Bull. internat. 96 г. № 11.

Часть V. Приборы.

А. Приборы для испытанія паровыхъ котловъ.

66. *Ломшаковъ*. „Испытаніе паровыхъ котловъ и машинъ“. I, 97 г.
67. Кatalогы фирмъ: „*Dreyer, Rosenkranz u. Droop*“ и „*Schäffer u. Budenberg*“.
68. Къ § 49. а) Опыты *Дулзина*—*Ломшаковъ* (n^o 66) стр. 164; Тех. Сб. 96 г. № 8; Z. d. Ing. 96 г. стр. 496.
 б) Водомѣрное стекло *Бородина* и *Левы*—Инж. 86 г. № 6.

69. Вакуметры: (§ 50—51).

- а) Общества Восточн. фр. ж. д. Gen. civ. 1890 г.; Glasers Annal. Bd. XXVI Heft. 5 и 6; Ж. М. П. С. 91 г. № 2—3.
- б) Фирмы *Richard*: Ломиаковъ (п^о 66), стр. 93.
- с) Система *Lochner'a* (и его опыты)—Organ 94 г. № 3—4.
- д) Опыты *Aspinall'я* надъ разръженіемъ въ дымовой коробкѣ: „Minutes of Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers“. London 93 г. апр. Романовъ „Паровозы“ стр. 196; Инж. 94 г. № 9.

Калориметры (§§ 52—56).

- 70. *Umwil* проф. „The determination of the dryness of steam.“ Eng. 95 г. февр. 15. Ломиаковъ (п^о 66) стр. 176; Инж. 93 г. № 1. Z. d. Ing. 86 г. стр. 634 (ст. Cario).
- 71. Способъ *Leitzmann'a*—Verhand. d. Verein. 1900 г.
- 72. Калориметръ *Peabody*—Bull. internat. 94 г. № 5. Соч. *Carpenter'a*—„Experimental Engineering“. New-York, 93 г.
- 73. Калориметръ *Barrus'a*—тамъ-же; „Transactions of the American society of Mechanical Engineers“. Vol. X, p. 327 и др. Ломиаковъ (п^о 66) стр. 176; Barrus „Boiler Tests“ Boston, 91 г. стр. 258; Инж. 93 г. № 3.
- 74. Анализъ дыма § 57.
 - а) Приборъ *Orsat*: *Валлеръ* „Химическая технология“ стр. 60; Ломшаковъ (п^о 66) стр. 61.
 - б) Приборъ *Orsat-Fahlenkamp'a*—Тех. Сб. 97 г. № 11.

В. Приборы для испытанія паровой машины.

Индикаторъ. (§§ 58—69).

- 75. *Rosenkranz*—соч. „Der Indicator u. seine Anwendung“ 1901 г. 6 изд.
- 76. *Haeder*—соч. „Der Indikator“ 2-е изд. 97 г.
- 77. *Pichler*—соч. „Der Indicator u. sein Diagramm“ 2-е изд. 95 г.
- 78. *Hartmann*—„Теорія и изслѣдованіе индикаторныхъ механизмовъ“. Z. d. Ing. 90 г. стр. 26—53.
- 79. *Pfau*—„Untersuchung von Indicator diagrammen“. Z. d. Ing. 96 г. № 40.
- 80. *Худяковъ* проф. „Особенности инд. диаграммъ“. Тех. Сб. 92 г. № 4. Такъ-же Z. d. Ing. 84 г. стр. 363.
- 81. *Buchetti*—соч. „Guide pour l'essai des machines“ 2-е изд. 91 г. стр. 1—130.
- 82. Сравнительная оцѣнка индикаторовъ. Техн. Сб. 91 г. № 5.
- 83. *Эсмархъ*—соч. „Индикаторъ“ 99 г.

Къ § 61.

84. Передача движенія индикаторамъ:
 а) *Бородина* и *Леву*—Инж. 86 г. № 6—12.
 б) Американскія системы—Bull. internat. 94 г. № 5, соч. *Rosenkranz'a* (n° 75) стр. 199.
 в) *Leitzmann'a*—Verhand. d. Verein. 1900 г. № 1—2.
 д) Для 4-хъ цилиндр. паровозовъ (*Pulin*) Rév. génér. 87 г. № 5.
85. Индикаторъ *Ashton-Storey* § 62. *Buchetti* (n° 81) стр. 27—31. *Туме*—„Паровыя машины“ стр. 327.
86. Планиметры—§ 63. Соч. *Buchetti* (n° 81). Планиметръ *Prytz'a* и его теорія—„Cosmos“ 94 г. 15 дек.
87. Золотниковыя эллипсы. § 68. Соч. *Rosenkranz'a* (n° 75) стр. 241—250.
88. Авто-Индикаторъ § 69. Rév. génér. 96 г. № 9; Инж. 98 г. № 10. Опыты съ нимъ *Brillie*—Rév. génér. 98 г. № 5.
89. Приборъ *Forney* § 70. Инж. 91 г. № 1.
90. Динамометры § 71.
 а) Рессорныя—каталогъ *Schäffer u. Budenberg*. 1901 г. таб. 34.
 б) Гидравлическіе—Ж. М. П. С. 91 г. № 9—10 (опыты *de-Mas'a*); Rév. génér. 83 г. (проектъ инж. *Lebasteur'a*).

С. Приборы для изслѣдованія паровоза, какъ экипана.

91. Неправильныя движенія паровоза § 72.
Einbeck соч. „Theoret. Untersuchung d. Construct. Systeme d. Unterbaues v. Locomotiven“ 75 г.; *Мухачевъ* (n° 5), стр. 284—325; *Блюмъ*, *Боррисъ* и *Барклаузенъ* (n° 1), стр. 69—92; *Петровъ* проф.—„Опасныя скорости движенія паровоза“. 92 г.
92. Приборъ *Milne'a* и *Mc. Donald'a* § 73. Инж. 95 г. № 1; Eng. 89 г. окт. 11.
93. Указатели скоростей—§ 74—77.
Брюггемана (*Brüggemann'a*)—Инж. 1900 г. № 11. Прот. XII съѣзда тяги; Organ 88 г. № 12.
Бойера—§ 75. Проток. XII съѣзда тяги.
Brunot—Rév. génér. 78 г. № 11.
Boulengé—Rév. génér. 79 г. № 4.
Burguion—Rév. génér. 90 г. № 2.
Венедиктова Инж. 96 г. № 2; Прот. XXII съѣзда тяги.
Вебера—Проток. XII съѣзда тяги.
Westinghause—Rév. génér. 79 г. № 6.
Гаусвальтера § 76. Проток. XII съѣзда тяги; Записки Моск. Отд. И. Р. Т. О. Докладъ Рождественскаго.

Graffio—Прот. XI съѣзда тяги; Ж. д. д. 98 г. № 45. Bull. internat.—92 г. т. I.

Кедрова—Ж. д. д. 1900 г. № 10—11.

Stroydley—Проток. XIV и XII съѣздовъ тяги; Rév. génér. 79 г. № 6; Organ 80 г. стр. 40.

Peyer, Favarger et C^o—Прот. XXII съѣзда тяги. Organ 97 г. № 3.

Ливчака—Ж. д. д. 1900 г. № 17.

Klose—§ 77; Bull. internat. 92 г. Schw. Bauz. 83 г. № 18 и 19. Rév. ind. 95 г. № 25.

Pouget—Rév. génér. 82 г. № 12 и 89 г. № 9; Gen. civ. 94 г. стр. 151; Bull. internat. 92 г.

Chronotachymetre P. L. M.—Bull. internat. 92 г. Rév. génér. 1900 г. № 8.

Petri, Siemens et Halske—Bull. internat. 92 г.; Rév. ind. 88 г. стр. 416.

Pfeil—Тех. Сб. 95 г. № 12; Organ 95 г. стр. 10; Rév. ind. 95 г. стр. 114.

Картеyn'a—Инж. 89 г. № 1; Organ 89 г. стр. 234.

Finckbein u. Schäfer—Organ 78 г. стр. 93; 80 г. стр. 142; 89 г. стр. 10.

Rabier et Levy—Rév. génér. 89 г. № 9 и пр.

Общее описание — ст. *Малкина* въ „Очеркахъ Русск. ж. д.“. Изд. И. Р. Т. О.; протоколы XII и XXII съѣздовъ тяги и Bull. internat. 92 г.

Часы *Гарнье*—Ж. д. д. 1900 г. № 5.

94. Аппаратъ *Desdoutis* (динамометръ инерціи) § 78. Rév. génér. 83 г. № 10 и 84 г. № 3; Bull. internat. 92 г.; Романовъ „Паровозы“ стр. 117.

95. Пирометры—§ 79. Соч. *Bolz'a* „Die Pyrometer“ 88 г., соч. *Barrus*—„Die physikalische Behandlung u. Messung hoher Temperaturen“ 92 г.; Инж. 93 г. № 1; соч. Ломшакова (n^o 66).

Часть VI. Динамометрическіе вагоны § 81—88.

96. Вагоны ж. д.: а) Сѣв. Франц. Rév. génér. 83 г. № 4.

б) P. L. M.—Rév. génér. 94 г. № 2; Gen. civil. 94 г. стр. 404.

в) Зап. фр. ж. д. Rév. génér. 89 г. № 7; Rév. ind. 91 г. 5 сент.; Брошюра Зяблова; Eng. 89 г. окт. 4; Инж. 90 г.

д) Illinois Central Railroad C^o—Z. d. Ing. 1901 г. № 32.

97. Аппаратъ *Теодоровича* § 88. Инж. 87 г. № 10; его брошюра.

98. Индикаторъ *Картеyn'a* § 90. Инж. 89 г. № 1; Organ 89 г. стр. 234 и стр. 149; Dinglers Journ. 86 г.; Révue indist. 86 г. июль.

Часть VII. Вліяніе различныхъ обстоятельствъ.

99. Къ § 92. Опыты надъ вліяніемъ сѣуженія пара:
- a) *Hallauer'a* и *Hirn'a*—ст. *Müller'a* „Uber Kohlenerparnisse bei Dampfmaschinen“. Dinglers Journ. 76 г. Bd. CCXX; Горн. жур. 82 г. № 10.
 - b) *Leitzmann'a*—Glaser's Annal. 98 г. № 504.
 - c) *Brillié* (при помощи авто-индикатора)—Rév. génér. 98 г. № 5; Инж. 98 г. № 10, (то-же и къ § 93).
100. § 94. а) Опыты *Goss'a* въ лабор. универс. Purdue—Инж. 96 г. № 9—10; Романовъ—„Паровозы“ стр. 529—562.
- b) Опыты и докладъ *Querreau*: Инж. 95 г. № 8 и 9. The Rail. Gaz. 94 г. стр. 174—175; Bull. internat. 94 г. стр. 556—578.
101. Къ § 95. Опред. наивыг. степени расширенія.
- a) Опыты *Goss'a*—п^о 100.
 - b) *Зерновъ* проф.—„Теорія паровыхъ машинъ“. Литографированныя записки 1900 г. стр. 217—222.
 - c) Теорія *Kirsch'a*—Тех. Сб. 95 г. № 3.
 - d) Опредѣл. наивыг. соотношенія отсѣчекъ: Organ 99 г. № 1; (ст. *Lochner'a*). Rév. génér. 96 г. № 3. Инж. 99 г. № 5; Изв. Ю. Р. О-ва Тех. 1900 г. № 1 и др.
102. Къ § 96. Verhand. d. Verein. 1900 г. № 1, стр. 51; ст. *Borries'a*: „Expériences sur la forme et les dimensions des tuyaux d'échappement et des cheminées de locomotive“. Bull. internat. 97 г. № 6, а такъ же п^о 64.
103. Къ § 97. Вліяніе паровыхъ рубашекъ:
- a) Примѣненіе ихъ къ паровозамъ: *Guédon* (п^о 4).
 - b) Докладъ *Donkin'a*. Minut. of Proceed. Inst. Civ. Eng. Vol. XCVIII 89 г.; Инж. 90 г. № 1; Тех. Сб. 94 г. № 11; Инж. 91 г. № 12; 94 г. № 12.
 - c) Опыты *Бородина* и *Леву*—Инж. 86 г. № 6—12.
104. Къ § 98. Вліяніе давленія пара въ котлѣ: Gen. Civil. (опыты въ унив. Purdue) ^{99/1900} г. стр. 24; Eng. News.—99 г.; Rév. génér. 97 г. № 10 и 98 г. № 7; Glaser's Annal. 98 г. № 505.
105. Къ § 100. Опыты *Forsyth*—см. докладъ *Querreau* (п^о 100).
106. **Примѣненіе принципа Compound.** § 101—104:
107. *Mallet*: Memoires d. Ing. Civ. 73 г. стр. 821 и 77 г. стр. 854 и его соч. „Application du système Compound aux machines locomotives“ 75 г.
108. *Мухачевъ* проф.: „Compound-- паровозы“. Тех. Сб. 91 г. № 6.
109. *Leitzmann*: „Die Verbundwinkung bei Locomotiven“. Z. d. Ing. 93 г.; 97 г. № 48 и 49.

110. *Brückmann*: его статьи въ сочин. Блюмъ, Боррисъ и Баркгаузенъ (n^o 1) стр. 253—306 и Z. d. Ing. 92 и 94 г.
111. *Herr*—его докладъ въ Western Railway Club.: Organ. 99 г. № 8—9; Railway and Engineering Review. 99 г. апр.
112. *Wittfeld*: „Über den Dampfverbrauch bei Zwillings u. Verbund—Locomotiven“. Glasers Annal. 95 г. № 425. „Theorie der Locomotiven mit grösster Nutzleistung bei normaler Geschwindigkeit“: Glasers Annal. 93 г. № 394.
113. *Rous. Marten*—ст. въ Bull. internat. 97 г. № 3.
114. *Aspinall*—его докладъ о быстрох. паровогахъ: Eng. 95 г. July; Bull. internat. 95 г. № 5; Инж. 96 г. № 1.
115. *Nadal*—сравнен. об. паров. и Comp.: Rév. génér. 95 г. № 6.
116. Сравненіе обыкн. паров. и Compound:
- a) Условія выгоды сист. Compound.—Z. d. Ing. 90 г. № 24 и 893 г. № 8.
 - b) Недостатки ихъ—Z. d. Ing. 89 г. стр. 1068; 88 г. стр. 714; 9 г. стр. 566.
 - c) Сравненіе Comp.—пар. съ 2 и 4 цили.—Ж. М. П. С. 90 г. № 6, 7 и 8 (ст. инж. *Бёбутова*).
 - d) Сравненіе паровозовъ Comp. съ обыкновенными: The Rail. Gaz. 91 г. янв. 9; Organ—94 г. № 3 и 4; Z. d. Ing. 94 г. № 51 и 52;
 - e) Вообще о паровогахъ Compound: Annales des mines 94 г. т. VI, вып. 7; Тех. Сб. 95 г. № 3; Инж. 95 г. № 5, 8 и 9; Проток. XVI съѣзда тяги (докладъ инж. *Новицкаго*) и много стат. въ Rév. génér. и Eng.
117. Паровозы Compound:
- a) Въ Англии—Инж. 95 г. № 6; 98 г. № 8; Gen. Civil. 98 г. ст. 417 и др.
 - b) Въ Америкѣ—*Büte u. v. Borries*—соч. „Die Nordamerikanischen Eisenbahnen“ 92 г.; Инж. 98 г. № 7; Rév. génér. 97 г. № 2; 99 г. № 11 и др.
118. Опыты съ паровозами Compound (и сравнительные опыты съ обыкновенными).
- a) *Leitzmann'a*—Z. d. Ing. 93 г. стр. 210.
 - b) Въ лабор. университет. *Purdue*—В. О-ва Тех. 1900 г. № 7; Gen. Civil. 99 г. № 24.
 - c) На ж. д. *London-North-Western*—Инж. 95 г. № 6.
 - d) *Вюрт.* ж. д.: Rév. génér. 90 г. № 9.
 - e) Въ мастер. *Rhode Island*. въ С. Америкѣ: Rév. génér. 91 г. № 6. Rail. Gaz. 91 г. 9 янв.
 - f) *Salomon'a*—на фр. ж. д. de l'Est. Rév. génér. 97 г. № 9.
 - g) *Richter'a*—см. n^o 60.

- h) *Lochner'a*—Organ 94 г. № 3—4 и 99 г. № 1.
 k) *Barbier*—см. п^о 37 и п^о 51, с.
 l) *Brillié*—см. п^о 99, с.
 m) *du Bousquet*—съ паров. сист. Woolf: Rév. génér. 88 г. № 11 и 90 г. № 7.
 n) *Borries'a*—Organ 1901 г. № 11.
 o) *Privat*—(на ж. д. P. L. M.). Rév. génér. 96 г. № 3.
 p) На ж. д. *Chicago-North-Western* (докладъ *Quayle*). Bul. internat. 99 г. № 11.
 r) Съ паров. express—Bull. internat. 99 г. № 3, 9 и 10.
 s) *Desdouts*—его статья о опытахъ на госуд. фр. ж. д.—Rév. génér. 90 г. № 5—6 и много друг.
119. Передѣлка обыкн. пар. въ Compound—проток. XVI съѣзда тяги.
120. Пароперегрѣваніе (§ 105—106):
- а) Примѣненіе къ паровозамъ: описаніе паровоза *Borsig'a*—Z. d. Ing. 1901 г. № 47; Rév. génér., 1901 г. № 5. Gen. civ. 1902 г. *Vulcan'a*—Z. d. Ing. 1901 г. № 47.
 б) Опыты *Borries'a* надъ новымъ паров. *Borsig'a* съ пароперегрѣваніемъ—Organ 1901 г. № 11; 1902 г. № 1.
- О пароперегрѣваніи вообще:
 Основные принципы—В. О-ва Тех. (ст. *Schenkel'a*) 99 г. № 8; ст. *Paul Schou*—Инж. 99 г. № 6, Бюл. П. О-ва 99 г. № 3. 1902 г. № 1—2; The Electrician 98 г. 16 дек.; ст. проф. *Бобарыкова*—Из. Ю. Р. О-ва Тех. 99 и 1900 г.; ст. *Leloutre*—Bulletin de la Société des Ing. civils. 92 г. № 9 и др.
121. Къ § 105.
 Опыты *Schröter'a*, *Linde* и *Vincotte*—Eng. 92 г. 15 января; Инж. 92 г. № 4.
 „ *Schröter'a*—Z. d. Ing. 90 г. № 1 и др.
 Докладъ *Donkin'a*—Rév. ind. 96 г. 18 июля; Инж. 97 г. № 3.

Часть VIII. Производство опытовъ.

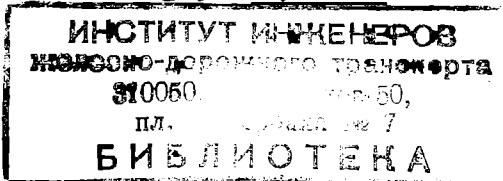
122. *Thurston*—соч. „Manuel pratique des essais de machines et chaudières à vapeur“ 93 г.
 123. *Carpenter*—соч. „Experimental Engineering“ 93 г. New-York.
 124. *Leitzmann*—стат. въ Verhand. d. Verein. 1900 г.
 125. Къ § 108. Опыты проф. *Brechenridge'a*—The Rail Gaz. 99 г. 27 янв. Инж. 99 г. № 7.
 126. Къ § 113. Опыты надъ опредѣленіемъ тренія въ частяхъ машины:
 а) *Thurston'a*—Rév. ind. 90 г. fev., mars.; Инж. 89 г. № 2 и его соч. „Friction and lost work in machinery and mill work“.

- b) *Aspinall'a*—Memoires des ing. civils. 89 г.; Inst. of civil. Eng. 88 г., дек.; Rév. génér. 90 г. № 9.
- c) Послѣд. опыты въ С. Америкѣ—„Locomotive Eng. and Firemen's Mountly Journal“ 98 г. авг.
- d) Опыты *Robinson'a*—American Machinist. 85 г. 2 Juin.
127. Къ § 118. Опыты *Adams'a*—Portf. écon. 97 г. июнь.
128. Къ § 119. Охлажденіе паровоза при движеніи: *Блюмъ, Боррисъ и Барклаузенъ* (n° 1) стр. 308. Опыты на ж. д. *Chicago-North-Western* въ 98 г.: Bull. internat. 99 г. № 11; The Rail. Gaz. 99 г. 17 и 24 февр.; Rév. génér. 99 г. № 5.
129. Къ § 123. Изслѣдованіе парового котла — проф. *Предтеченскій*. „Курсъ паровыхъ котловъ“ 2 изд. 1900 г. стр. 390—415; Ломшаковъ соч. см. n° 66.
130. Къ § 124. Калориметрическое изслѣдованіе паровоза:
- a) *Поудинъ* соч. „Термодинамика“ 95 г.
- b) *Leitzmann*—статья въ Verhand. d. Verein. 1900 г. № 1 и 2.
- c) *Dwvshauwers-Dery* — соч. „Etude calorimétrique de la machine à vapeur“ и „Données relatives de la machine à vapeur“.
- d) Статьи инж. *Берлова* въ В. О-ва Тех. 98 г. № 6—12 и 99 г. № 1.
131. Къ § 136—138. Термическій коэффициентъ пол. дѣйствія машины:
- a) *Sankey*. Докладъ въ О-вѣ англ. граж. инж.: Minutes of Proceed Inst. Civ. Engineer's, Vol. CXXV; Инж. 98 г. № 8.
- b) *Zeuner*. „Zur Theorie und Beurteilung der Dampfmaschinen“: Civilingenieur 96 г. Heft 8; Бюл. Пол. О-ва 98 г. № 3.
- c) *Бобарыковъ* проф.—статья его въ Изв. Ю. Р. О-ва Тех. 1900 г. № 5 и 6.
- d) *Котурницкій*—ст. „Цикль Карно и абсолютная шкала температуръ“. Инж. 1900 г. № 6.
- e) *Зерновъ* проф.: „Теорія паровыхъ машинъ“, литографированныя записки 1900 г. и др.
132. Къ § 139. a) *Черскій*—„Полезный вѣсъ товарныхъ поѣздовъ“. Инж. 98 г. № 1 и 2.
- b) Расчетъ чистаго времени хода поѣздовъ — Ж. д. д. 98 г. № 9 и 13.
- c) Опредѣленіе груза, поднимаемаго паровозами — Ж. д. д. 1900 г. № 18.
- d) *Scheffler* — „Fahrgeschwindigkeit u. Stärke der Eisenbahnzuge“ Organ 82 г. стр. 60 и др.
133. Виртуальная длина: соч. инж. *Котляревскаго* „Расчетъ виртуальной длины ж. д. и силы тяги паровозовъ“ 89 г.; Инж. 87 г. № 7 (инж. *Левинъ*); Ж. М. П. С. 86 г. № 4; 90 г.; 91 г. № 1 (ст. *Чернова*).

134. Къ № 2 приложений. Составъ топливъ:

- a) *Александръ*—соч. „Ископаемые угли Росс. Имп.“ 95 г.
- b) *Чайковский*—соч. „Антрацитъ, какъ топливо вообще и для паровозовъ въ особенности“.
- c) *Менделѣевъ*—„Основы фабрично-заводской промышленности“ ч. I „Топливо“.
- d) „Дрова, какъ топливо“. Тех. Сб. 99 г. № 9.
- e) *Миклашевскій*—„Опредѣленіе теплопроизводительной способности горючихъ матеріаловъ“ З. И. Р. Т. О. 93 г.
- f) „Испытаніе и свойства камен. углей“.—Проток. XV сѣзда тяги.

869413

~~3510~~