

В. Л. Малѣевъ.

ОПЫТНОЕ ИЗСЛѢДОВАНИЕ

РАБОТЫ

ДВУХТАКТНОЙ МАШИНЫ.

Съ 47-ю чертежами и 3 таблицами.

Стр. 1—200.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Feci, quod potui, faciant
meliora potentes.

Изъ числа лицъ, которыя, интересуясь затронутыми въ настоящей работѣ вопросами, прочтуть ее, найдутся, можетъ быть, такія, которыя упрекнутъ автора въ томъ, что онъ въ результатѣ пространныхъ повѣствованій и многочисленныхъ таблицъ даетъ сравнительно мало общихъ выводовъ и новыхъ указаній относительно улучшения существующихъ двухтактныхъ машинъ.

На это авторъ позволяетъ себѣ замѣтить, что, хотя онъ, приступая къ означенной работѣ, дѣйствительно рассчитывалъ получить больше новыхъ данныхъ для практики, тѣмъ не менѣе надѣется, что эта работа и въ томъ видѣ, въ какомъ она сейчасъ напечатана, представляетъ достаточный интересъ для соотв. специалистовъ или изучающихъ этотъ вопросъ, и потребовавшіеся на ея производство труды и значительное время *), не потрачены напрасно.

Конечно, для большинства техниковъ особенно интересно получить указанія, которыя можно сразу использовать на практикѣ; но, думается, что и описаніе новыхъ приѣмовъ при производствѣ опытовъ и при ихъ обработкѣ, а изложеніе таковыхъ занимаетъ значительную часть предлагаемой книги, тоже представляетъ интересъ, такъ какъ подвигаетъ важный вопросъ объ опытномъ изученіи машинъ и въ частности, напр., облегчаетъ производство подобныхъ опытовъ другими лицами, которыя, имѣя въ своемъ распоряженіи болѣе подходящую машину, будутъ ихъ продолжать. Затѣмъ опытное подтвержденіе уже извѣстныхъ теоретическихъ положеній тоже имѣютъ существенное значеніе.

*) Рѣшеніе взяться за настоящую тему возникло у автора еще въ 1902 г. при производствѣ испытаній 6-сильной машины Авансъ, описанныхъ авторомъ въ Бюлл. Политехн. О-ва 1902 г. стр. 269—276, затѣмъ оно окончательно окрѣпло при изученіи вышедшей въ 1903 г. книги Н. Güldner-Entwerfen und Berechnen der Verbrennungsmotoren. Однако по различнымъ обстоятельствамъ приступить къ подготовительнымъ работамъ удалось лишь въ декабрѣ 1906 г., когда въ Лабораторію Тепловыхъ Машинъ Томскаго Технологическаго Института была доставлена предназначенная для опытовъ машина. Установка ея и вспомогательныхъ машинъ и приборовъ, а также изготовленіе различныхъ приспособленій заняло времени болѣе года. Съ весны 1908 г. удалось, наконецъ, приступить къ предварительнымъ изслѣдованіямъ и наладкѣ самыхъ опытовъ, а съ 3 іюля того же года и къ самымъ опытамъ. Ихъ производство и обработка заняли еще три года.

Что касается научно-лабораторнаго интереса, то описаніе опытовъ, при производствѣ которыхъ пришлось бороться съ различными затрудненіями и выработывать особыя приспособленія и приемы, а затѣмъ, не имѣя возможности въ виду выяснившихся, частью даже послѣ окончанія опытовъ, обстоятельствъ использовать полученный матеріаль въ сыромъ видѣ, какъ это дѣлается въ большинствѣ случаевъ, пришлось подвергать его сперва провѣркѣ и частичной переработкѣ, описаніе такихъ опытовъ, даже если они не дали особенно значительныхъ новыхъ общихъ выводовъ, представляетъ въ извѣстномъ отношеніи больше интереса, чѣмъ изложеніе опытовъ, хотя и давшихъ совершенно новые результаты, но проведенныхъ гладко, по общеизвѣстнымъ приемамъ.

Такимъ образомъ авторъ надѣется, что настоящая книга окажется полезной не только для лицъ, интересующихся машинами внутренняго горѣнія или даже въ частности двухтактными машинами, но также и для всякаго, интересующагося и занимающагося вопросами опытнаго изслѣдованія силовыхъ и вообще тепловыхъ установокъ.

Въ заключеніе авторъ считаетъ пріятнымъ долгомъ выразить благодарность своему главному помощнику инженеръ-механику В. Г. Карпенко, принимавшему дѣятельное участіе при производствѣ опытовъ, а также студентамъ Т. Т. И.: Н. Н. Доссеру, И. Э. Сапожникову и П. В. Черепанову, помогавшимъ при производствѣ различныхъ отчетовъ, и механику лабораторіи А. Я. Ткаченко, исполнившему очень тщательно всѣ необходимыя для опытовъ приспособленія.

Томскъ. Ноябрь 1911 г.

В. Л. Малъевъ.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

	СТР.
Предисловіе	I
Замѣченныя опечатки	VIII
Принятые сокращенія и обозначенія	X

ВВЕДЕНІЕ.

1. Значеніе двухтактныхъ машинъ	1
Достоинства двухтактныхъ машинъ	1
Недостатки двухтактныхъ машинъ	2

ГЛАВА I.

2. Вопросы, подлежащіе разрѣшенію	4
3. Литература по данному вопросу	5
Обзоръ журнальной литературы	6
Обзоръ книжной литературы	9
Заключеніе	10

ГЛАВА II.

Постановка опытовъ.

4. Машина	11
Главные размѣры машины. Схема работы ея	11
Дѣйствительное осуществленіе выхлопсканія	12
Регулированіе. Воспламененіе	13
Измѣненіе скатія. Измѣненіе объема вреднаго пространства насоса	14
Обратный клапанъ. Засасываніе воздуха. Герметичность	15
Опредѣленіе камеры скатія машины и насоса	16
5. Вся установка	17
Воздушные часы	17
Воздушный сосудъ и регуляторъ давленія воздуха	18
Воздухолузка	20
6. Измѣрительные приборы и приспособленія	20
Тормазъ	20
Счетчики оборотовъ. Тахометръ	23
Опредѣленіе числа вспышекъ	24
Индикаторы	25
Индикаторные приводы	26
Измѣреніе давленій. Измѣреніе температуръ	29
Измѣреніе расхода керосина и вбрызгиваемой воды	31
Измѣреніе расхода охлаждающей воды	31
Опредѣленіе расхода масла на смазку цилиндра	32
7. Взятіе пробъ отработавшихъ газовъ	32
Заборъ газовъ изъ глушителя и у самаго цилиндра	32
Дифференціаторъ	33
Приводъ для движенія золотниковъ дифференціатора	36
Аспираторъ	38

Предварительные опыты.

	стр.
8. Поглощение газов жидкостями	40
Опыты надъ поглощеніемъ водой	40
Опыты надъ поглощеніемъ водными растворами хлористыхъ солей	42
Выборъ раствора поваренной соли	44
Недостатки солевого раствора	45
9. Заборъ пробы газа	45
Опыты съ заборою въ разныхъ мѣстахъ	45
Явленіе выпуска въ двухтактныхъ машинахъ	47
10. Опыты съ калориметромъ Юнкера	48
Непостоянство температуры отходящей воды	50
Наилучшія условія работы прибора	54
Точность показаній калориметра	56

Производство главныхъ опытовъ.

11. Общія указанія	57
Мѣнявшіеся факторы	57
Начало и продолжительность отдѣльныхъ опытовъ	58
Нагрузка	58
Установка пропусковъ	59
Работа съ воздухоудвкой	60
12. Измѣреніе различныхъ величинъ	60
Съемка индикаторныхъ диаграммъ	60
Выборъ масштабовъ диаграммъ	62
Барометрическое давленіе	65
Число оборотовъ. Число пропусковъ	65
Измѣреніе температуръ	65
Лучеиспусканіе	66
Расходъ керосина	67
Подача воздуха	67
Расходъ воды	68
Взятіе газовыхъ пробъ	68
13. Общій обзоръ веденія опытовъ	68
Число участниковъ и распределеніе обязанностей	68
Образцы таблицъ записей во время опыта	70
14. Газовые анализы	72
Анализъ приборами Гемпеля	72
Анализъ сожженіемъ	73
Расположеніе приборовъ для анализа сожженіемъ	73
Измѣреніе количества газа	75
Ходъ анализа сожженіемъ	77
Образецъ записи при этомъ анализѣ	81

Вспомогательные опыты.

15. Исслѣдованіе керосина	82
Теплопроизводительность керосина	82
Составъ керосина	83
Температура вспышки	83
16. Работа вращенія маховиковъ	83
Цѣль ея опредѣленія	83
Данныя въ литературѣ	84
Опытное опредѣленіе	85
Точность полученныхъ результатовъ	87
17. Утечка воздуха черезъ воздухоудвку	88
Обнаруженіе утечки	88
Опытное опредѣленіе поправки	88
Точность поправки	89

Добавление.

	стр.
18. Затрудненія при опытахъ	90
Засѣваніе поршня	90
Неудовлетворительность смазки поршня	93
Смазка кривошипа	94
Неплотности въ щекахъ	94
Подача керосина. Неправильное дѣйствіе насосика	95
Форсунка	96
Работа въ воздуходувной	97

ГЛАВА III.

Обработка опытнаго матеріала.

19. Общія указанія	99
Точность и нахожденіе среднихъ ошибокъ	99
Критика и исправленіе записей	100
20. Вычисленіе работъ	104
Дѣйствительная работа	104
Средняя ошибка ея опредѣленія	104
Индикаторная работа	105
Средняя ошибка ея	105
Индикаторная работа воздушнаго насоса	107
Средняя ошибка ея	107
Работа сопротивленій	108
Средняя ошибка работы тренія поршня	109
Механическая отдача	109
Средняя ошибка ея	110
21. Тепловой балансъ	111
Полное располагаемое тепло	111
Средняя ошибка его	111
Тепло, равное индикаторной работѣ	111
Средняя ошибка его	111
Тепло, унесенное охлаждающей водой	112
Средняя ошибка его	112
Тепло, равное работѣ тренія поршня	112
Средняя ошибка его	112
Тепло, унесенное продуктами горѣнія	112
Выборъ величины теплоемкости	113
Составъ выраженія тепла, унесеннаго продуктами горѣнія	115
Средняя ошибка этого тепла	118
Тепло, потерянное въ дѣйствиіе неполнаго горѣнія	121
Средняя ошибка его	122
Тепло, потерянное на лучеиспусканіе	123
Средняя ошибка его	124
Тепло, соотв. живой силѣ газовъ	125
Средняя ошибка его	126
Невязка	127
22. Исправленный тепловой балансъ	128
Нахожденіе сгорѣвшаго керосина по CO_2	129
Средняя ошибка его	130
Нахожденіе сгорѣвшаго керосина по O_2	130
Средняя ошибка его	131
Нахожденіе расхода керосина по тепловому балансу	132
23. Степень сжатія	134
Сжатіе въ рабочемъ цилиндрѣ	134
Сжатіе въ насосѣ	136
Степень точности величинъ сжатія	138
24. Скорости воздуха и выпуска	138
Выраженіе для ихъ вычисленія	140
Скорость всасыванія воздуха	141
Средняя ошибка ея	145
Скорость впуска воздуха	145
Средняя ошибка ея	148

	стр.
Скорость выпуска	148
Средняя ошибка ея	151
25. Другія характеристики опытовъ	152
Расходъ керосина на 1 л. с.	152
Расходъ воздуха на 1 кр. керосина	152
Подача воздушнаго насоса	153
Относительная величина работы заряженія	155
Характеристики продувки	155

ГЛАВА IV.

Результаты опытовъ.

26. Работа воздушнаго насоса	161
Измѣненіе объема V_3	161
Вліяніе V_3 на k_0 и λ	166
Вліяніе V_3 на p_1' и на ξ	167
Вліяніе V_3 на L_0/N_1'	167
Вліяніе числа оборотовъ n	167
Вліяніе прокладокъ r (открытія окна).	168
Вліяніе обратнаго клапана	168
Опыты съ воздуходувкой	168
27. Заряженіе рабочаго цилиндра	169
Вліяніе объема V_3	170
Вліяніе давленія p_1'	173
Продолжительность продувки	174
Связь между продувкой и выпускомъ	175
Вліяніе числа оборотовъ n	175
Вліяніе n_2	175
Вліяніе прокладокъ r	176
Вліяніе сжатія ε	176
Работа съ воздуходувкой	176
28. Сжатіе и горѣніе	177
Вліяніе сжатія ε	178
Вліяніе вбрызгиванія воды	178
Воспламененіе	179
Горѣніе	180
Вліяніе числа оборотовъ n	182
Вліяніе сжатія ε	183
Связь между давленіями p_c , p_3 и p_1'	183
Температура отработавшихъ газовъ	183
Совержаніе CO_2 и CO	184
Данныя анализа сожженемъ	185
Вбрызгиваніе воды	187
Использованіе тепла	187
Вліяніе воздуходувки	187
Выпускъ	188
Давленіе послѣ выпуска	188
Вычисленіе скорости выпуска	193
Продолжительность выпуска	195
Вліяніе тепловыхъ явленій	195
30. Дополнительные замѣчанія о работѣ машины	196
Относительная величина работы заряженія	196
Механический коэффициентъ полезнаго дѣйствія	196
Работа вращенія маховиковъ	197
Трѣніе поршни	197
Расходъ керосина	197
Экономическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія	197
Потеря отъ непальнаго горѣнія, отъ лучеиспусканія и живой силы отработавшихъ газовъ	198
31. Общіе выводы	198
Данныя о работѣ испытанной машины и ея улучшеніе	198
Улучшеніе конструкции и работы машины даннаго типа	199
Выясненіе основныхъ вопросовъ двухтактной работы	199
Указанія для производства испытаній машинъ внутренняго горѣнія	200

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Стран.	строка	напечатано:	должно быть:
16	22 снизу	$\sqrt{(0,02.2)^2+(0,04)^2} =$ $= \pm 0,06^0/0.$	$0,02.2 + 0,04 =$ $= \pm 0,08^0/0.$
17	17 сверху	19,167	19,467
38	таблица 1, 1 строка снизу	511+22	511+63
66	4 снизу	81)	31)
83	16 сверху	18,06	18,016
86	черт. 36, 1 строка сверху	ло	л. с.
"	" " 1 строка снизу	400	400 обор./мин.
89	черт. 37, 1 строка сверху	мм.	мм. ³
"	" " 1 строка снизу	мм.	мм. в. ст.
92	7 сверху	тепловатая	тепловая
"	10 "	при	при
105	18 снизу	$Gr_i (Hn-i)$	$Gr_i II (n-i)$
110	14 сверху	Однако мы предпочли	Однако для сравне- ния опытовъ между собой
114	таблица 16, 6 стр. сверху	0,275 0,286 0,277	0,275 0,276 0,277
"	" " 9 " "	0,0000254	0,000025
"	" " 10 " "	0,0000214	0,0000414
"	" " 11 " "	0,38	0,38
"	" " 14 " "	+0,0001347	+0,000134 t—
"	" " " " "	-0,732512	-0,0,325 t ²
"	" " 15 " "	0,478	0,478
"	" " 17 " "	-0,00001687	-0,0000168 t+
"	" " " " "	+0,74472	+0,0,744 t ²
"	" " 18 " "	0,487 0,484 0,484	0,487 0,485 0,484
115	10 снизу	Q_{np}	Q_{np}
"	" "	G_{np}	G_{np}
118	3 "	$L,$	$L_o,$
119	6 "	G''	G_B''
"	5 "	$\pm 1,37^0/0.$	$\pm 1,37^0/0.$
122	11 сверху	Q_{nc}	Q_{nc}
"	5 снизу	$H_2O : V_{л}$	$(H_2O : V_{л})$
132	16 "	, мы	H_n , мы
137	таблица 21 (опытъ 50)	" 3,60 1,146 1,105	4,86 3,82 " "
141	8 снизу	количества	количества
143	черт. 45, 1 строка (слѣва)	41	см ²
144	таблица 22 (опыты) 50-53,	41	43,5
	столбець 2,	41	43,5
		41	43,5
		41	43,5

Стран.	строка	напечатано:	должно быть:
145	3 снизу	личны	личины
147	8 сверху	каналъ,	каналъ
151	16 снизу	давленіе.	давленіе
"	1 снизу	(15,23 0,125) ²	(15,23.0,125) ²
152	3 сверху	смѣшен-	смѣшен-
154	2 "	100.	100,
162	9 "	имѣвшихъ	имѣвшимъ
164	15 "	опредѣлить	опредѣлить
166	2 снизу	λ°	λ
"	1 "	λ	λ°
169	14 сверху	N_1'	N_1'
"	20 "	p_1'	p_1'
170	11 "	получаемъ L/k_1 .	получаемъ L/k_4 .
"	13 снизу	Q/N_1'	Q/N_1
171	(6 столбецъ)	кгр	кгр.
"	(14 ")	N_1	N_1
173	1 снизу	3,377	3377
182	7 сверху	воды	водѣ
192	6 "	угловъ 0° ,	угловъ, 0° ,

	онѣтъ	столбецъ		
таблица 26	4	5	2,714	2,520
" "	51—53	4	15/5	20/5
" "	"	5	2,761	2,520
" "	64 и 65	6	88,09	46,94
" "	63	29	98,5	98,5*
" "	68	29	111,3*	111,3
таблица 27	16	28	7,0	77,0
" "	49	21	141	113
" "	75	3	4,5	4,9
таблица 28	(заголовокъ)	21	$q_{нч}$	$q_{нч}$
" "	"	23	$q_{н}$	$q_{ж}$

Принятые сокращения и обозначения.

Сокращения общія:

абс.—абсолютный.
 мм., мм.², мм.³—миллиметры, квадрат. мм.,
 кубические мм.
 см. (см.², см.³)—сантиметры (квадр., куб.).
 мт. (мт.², мт.³) метры (квадр., куб.).
 лтр.—литры.
 гр.—граммы.
 мгр.—миллиграммы.
 кгр.—килограммы.
 сек., "—секунды.
 мин., '—минуты.
 ч.—часы.
 л. с.—лшадины силы (индикаторныя)
 д. л. с.—дѣйствит. (тормазныя или по-
 лезныя) лш. силы.
 —, ;, /—знаки дѣленія.

Теплота:

t° —температура въ градусахъ Пельсія.
 $T^{\circ} = t^{\circ} + 273^{\circ}$ — » абсол. гра. усахъ.
 T_n, t_n — нормальная температура
 (+288^о абс., +15^о Ц.).
 т. ед.—тепловыя единицы (кгр.—ка-
 лоріи).
 H_n —теплопроизводительность (полезная).
 C_p —теплоемкость при постоянномъ да-
 вленіи (1 кгр.).
 C_v —теплоемкость при постоянномъ да-
 вленіи (1 мт.³).
 Q —теплота въ т. ед./час.

Давленіе:

атм.—атмосфера=1 кгр./см.²=737,4 мм.
 рт. ст.
 в. ст.—водяной столбъ въ мм.
 рт. ст.—ртутный столбъ въ мм.
 p —давленіе въ кгр./см.².
 p_i —средн. индик. давл. въ машинѣ кгр./см.²
 B —барометрич. давл. въ мм. рт. ст.
 B_n —нормальное бар. давл.=737,4 мм.

Машина:

D —діаметръ цилиндра (въ мм.).
 H —ходъ поршня (въ мм., въ мт.).
 F —площадь поршня въ см.².
 V_x —объемъ, описыв. поршнемъ (въ лтр.)
 V_c — » камеры сжатія
 V_z — » задняго (вреднаго) простран-
 ства насоса.
 ϵ —степень сжатія въ машинѣ.
 ϵ_n — » » » воздушномъ насосѣ.
 λ —подача насоса.
 N_i (N')—индикаторная работа машины
 N_e —полезная работа въ д. л. с.
 R —работа сопроивленій въ л. с.

Остальныя величины:

l —длина (индик. діагр. въ мм.).
 m —масштабъ индик. діагр. въ мм./атм.
 V —объемъ въ мт.³.
 V_x — » » лтр.
 v —удѣльный объемъ въ мт.³/кгр.
 f —площадь въ см.².
 w —скорости въ мт./сек. (газовъ).
 η —коэффициентъ полезнаго дѣйствія въ %
 m —величина средней ошибки въ наимево-
 ванныхъ единицахъ.
 v —величина средней ошибки въ %.

Сокращения литературы:

Ann. d. Phys.—Annalen der Physik.
 Berl. Ber.—Berichte der Berliner Akademie.
 Elektr. Kraftbebr. Bahn.—Elektrischer Kraft-
 betrieb und Bahnen, Wien.
 Gasmot. Die Gasmotorentechnik.
 Hütte.—Hütte, des Ingenieurs Taschenbuch.
 J. Gasbel.—Journal für Gasbeleuchtung und
 Wasserversorgung.
 Schweiz. Bauz.—Schweizerische Bauzeitung.
 Verh. V. Gew.—Verhandlungen des Vereines
 zur Beförderung des Gewerbefleisses.
 Z. phys. Chem.—Zeitschrift für physikalische
 Chemie.
 Z. V. d. I.—Zeitschrift des Vereines deut-
 scher Ingenieure.

ВВЕДЕНИЕ.

1. Значеніе двухтактныхъ машинъ.—Все современныя машины внутренняго горѣнія работаютъ или по такъ назыв. четырехтактному или по двухтактному способу; остальные способы, какъ шеститактный, четырехтактный съ неравными ходами и пр., отошли въ область исторіи.

Оба указанныхъ способа продолжаютъ существовать и развиваться параллельно. Правда, если судить по числу заводовъ, занимающихся постройкой тѣхъ и другихъ машинъ, и по числу выпускаемыхъ ежегодно машинъ, то перевѣсъ окажется на сторонѣ четырехтактныхъ машинъ. Однако, какъ это неоднократно указывалось, объясняется это не дѣйствительными преимуществами четырехтактнаго способа, а скорѣе личными симпатіями конструкторовъ и фабрикантовъ, т.-е. случайными обстоятельствами, а отчасти, быть можетъ, и извѣстнымъ консерватизмомъ заказчиковъ, предпочитающихъ старое, извѣстное, болѣе распространенное менѣе испытанному.

Какъ бы то ни было, несмотря на значительное совершенство, и въ смыслѣ экономичности, и въ смыслѣ надежности работы, быстро достигнутое современными большими четырехтактными машинами, двухтактныя все же не исчезаютъ и въ свою очередь развиваются и совершенствуются, вопреки рѣзкаго, но недостаточно обоснованнаго приговора проф. А. Ридлера, высказавшаго въ своемъ докладѣ на годичномъ собраніи Общества Нѣмецкихъ Инженеровъ въ 1904 году увѣренность, что большая газовая машина снова вернется къ четырехтактному способу¹⁾. Слова столь авторитетнаго въ машиностроеніи лица, конечно, не могли остаться безъ послѣдствій и, навѣрное, не одинъ заказчикъ, склонявшійся въ пользу двухтактной машины, послѣ этихъ словъ передумалъ и отдалъ предпочтеніе четырехтактной. И тѣмъ не менѣе двухтактныя машины продолжаютъ строиться!..

Въ чемъ же ихъ главныя преимущества или же хотя бы важныя достоинства?

Во-первыхъ, при прочихъ равныхъ условіяхъ для той же мощности рабочій цилиндръ получается, по крайней мѣрѣ теоретически, вдвое меньшаго объема, чѣмъ у четырехтактной машины, иначе сказать, коэффициентъ мощности двухтактныхъ машинъ по сравненію съ четырех-

¹⁾ Z. V. d. I. 1905 S. 273, 321.

тактными $K = 2$. Правда, у двухтактной машины имѣются еще два насосныхъ цилиндра—для воздуха и газа, однако, въ силу очень небольшихъ и среднихъ и высшихъ давленій въ этихъ насосахъ, цилиндры ихъ получаются сравнительно очень легкими, а, слѣдовательно, и не дорогими.

Загѣмъ вслѣдствіе быстрого впуска свѣжей смѣси температура ея, въ противоположность четырехтактнымъ машинамъ, не успѣваетъ замѣтно повыситься, вслѣдствіе чего такъ назыв. коэффициентъ наполненія рабочаго цилиндра λ получается больше.

Дальнѣйшее увеличеніе λ происходитъ вслѣдствіе вступленія свѣжаго заряда съ нѣкоторымъ избыточнымъ давленіемъ, 1,05 до 1,10 атм., вмѣсто разрѣженія всасыванія четырехтактныхъ машинъ, дающаго лишь 0,95 атм., а часто и еще меньше. Въ томъ же направленіи дѣйствуетъ и избытокъ выполаскивающаго воздуха въ машинахъ съ самостоятельнымъ воздушнымъ насосомъ.

Всѣ эти три обстоятельства увеличиваютъ мощность машины, т.-е. въ сущности сводятся къ первому указанному преимуществу.

Но есть и еще одно существенное достоинство двухтактныхъ машинъ: бѣльшая рагномѣрность вращенія при прочихъ равныхъ условіяхъ или болѣе легкой маховикъ при одинаковой степени неравномерности, а также лучшее использованіе кривошипно-шатуннаго механизма.

Эти послѣднія преимущества сохраняются и за быстроходными двухтактными машинами, работающими безъ особаго воздушнаго насоса и преимущественно на жидкомъ топливѣ. Ихъ коэффициентъ мощности K несомнѣнно значительнѣе менѣе 2, но зато вслѣдствіе отсутствія дополнительныхъ насосовъ онѣ выходятъ значительно дешевле четырехтактныхъ машинъ даже при K лишь немногимъ болѣе 1.

Наконецъ, у двухтактныхъ машинъ выпускъ раскаленныхъ отработавшихъ газовъ происходитъ черезъ окна, открываемыя и закрываемыя кромкой рабочаго поршня. Хотя многіе авторы указываютъ, что устройство такихъ оконъ вмѣсто клапановъ является вынужденнымъ вслѣдствіе недостаточнаго времени, имѣющагося въ распоряженіи для выпуска, тѣмъ не менѣе всякій, кто знакомъ съ затрудненіями, на которыя приходится наталкиваться при уходѣ за выпускными клапанами большихъ машинъ, являющимися ихъ наиболѣе слабымъ мѣстомъ, безусловно признаетъ отсутствіе ихъ у двухтактныхъ машинъ за большое преимущество.

Вѣдь недаромъ такія же окна стали примѣнять въ послѣднее время для выпуска пара въ паровыхъ машинахъ!..

Разумѣется, у двухтактныхъ машинъ есть и свои недостатки: возможность утечки нѣкотораго количества свѣжей смѣси въ періодъ одновременнаго открытія впуска и выпуска; необходимость придерживаться сравнительно умѣреннаго числа оборотовъ во избѣжанія сильнаго вихреобразованія, влекущаго за собой указанную утечку; довольно значитель-

ная работа заряженія и происходящая отъ этого низкая механическая отдача машины; нѣкоторая потеря площади индикаторной діаграммы вслѣдствіе необходимаго ранняго предваренія выпуска и, наконецъ, болѣе сильный шумъ въ глушитель и сотрясеніе его вслѣдствіе очень значительныхъ скоростей вылетающихъ продуктовъ горѣнія.

Однако, какъ показываетъ практика, всѣ эти недостатки или несущественны количественно, какъ утечка свѣжаго заряда и уменьшеніе площади діаграммы, или могутъ быть уменьшены рациональной конструкціей, какъ работа заряженія или тѣмъ болѣе шумъ и сотрясеніе отъ выпуска.

Такимъ образомъ достоинства, видимо, имѣютъ перевѣсъ надъ недостатками и вполне оправдываютъ стремленія къ дальнѣйшему улучшенію этихъ машинъ. Одно же изъ средствъ для этого—выяснить путемъ постановки надлежащихъ опытовъ неясные вопросы относительно явленій, происходящихъ при работѣ этихъ машинъ.

Предлагаемое опытное изслѣдованіе преслѣдуетъ именно эту цѣль.

ГЛАВА I.

2. Вопросы, подлежащіе разрѣшенію.—Уже при первомъ знакомствѣ съ схемой работы двухтактныхъ машинъ бросается въ глаза сложность явленій, происходящихъ при заряденіи, когда отработавшіе газы удаляются, такъ сказать вытѣсняются поступающимъ въ цилиндръ подъ известнымъ давленіемъ воздухомъ и свѣжей смѣсью. Стоитъ только вспомнить такія явленія, какъ легкость образованія вихрей при движеніи газовъ и диффузію ихъ, и сразу станетъ ясно, что для удовлетворительнаго выполненія этого вытѣсненія, которое принято называть в ы п о л а с к и в а н і е мъ, необходимо соблюденіе цѣлаго ряда условий, частью при конструированіи машины, частью впоследствии, при работѣ съ ней.

Двухтактныя машины, близкія къ современнымъ типамъ малыхъ машинъ, появились на рынкѣ около 1890 г., большія машины Эхельхейзера въ 1896 г., а Кертинга въ 1898 г., но первый, кто подробно остановился на неясныхъ и нуждающихся въ выясненіи явленіяхъ при заряденіи двухтактныхъ машинъ, былъ лишь Гюльднеръ въ своей сдѣлавшейся почти классической книгѣ, вышедшей въ 1903 г.: *Entwerfen und Berechnen der Verbrennungsmotoren*. Онъ указалъ, что передъ конструкторомъ возникаютъ слѣдующіе основные вопросы:

- 1, какое давленіе вытолскаивающаго воздуха примѣнять, малое или большое?
- 2, какую продолжительность вытолскаиванія брать, малую или большую?
- 3, какіе каналы для перепусканія воздуха и газовъ дѣлать, узкіе или широкіе, осевые или радіальные?
- 4, гдѣ впускать вытолскаивающій воздухъ, у дна поршня или у головы?
- 5, надо ли промежуточный сосудъ для вытолскаивающаго воздуха, и какой емкости, большой или малой?
- 6, какъ великъ долженъ быть избытокъ вытолскаивающаго воздуха?

Ставя эти вопросы, Гюльднеръ вмѣстѣ съ тѣмъ отмѣчаетъ, что въ литературѣ отвѣта на нихъ еще нѣтъ. Заводы и конструкторы, такъ или иначе разрѣшающіе ихъ каждый для себя, очевидно, не желаютъ обнародовать соотв. опыты, инженерныя же лабораторіи при высшихъ учебныхъ заведеніяхъ не хотятъ заняться этими вопросами.

Прошло уже болѣе 8 лѣтъ со времени выхода въ свѣтъ перваго изданія книги Гюльднера, а положеніе дѣла не измѣнилось: по-прежнему

въ литературѣ нѣтъ никакихъ свѣдѣній, хотя бы о попыткѣ разрешить указанные вопросы опытнымъ путемъ. Строго говоря, особенно удивительнаго въ этомъ ничего нѣтъ: что касается заводовъ, то хотя на многихъ изъ нихъ продолжаютъ усиленно заниматься вопросомъ о двухтактныхъ машинахъ, о чемъ свидѣлствуетъ, напр., появленіе года 4 тому назадъ машинъ завода Покорнаго и Виттекинда съ значительными измѣненіями и улучшеніями типа Кертинга, загѣмъ почти одновременное появленіе на нѣсколькихъ заводахъ въ послѣднее время двухтактныхъ машинъ Дизеля, однако въ виду особенно обострившейся конкуренціи заводамъ стало прямо даже опасно публиковать результаты своихъ исследованийъ; что же касается инженерныхъ лабораторій, то въ нихъ такихъ опытовъ нельзя было поставить за отсутствіемъ соотв. машинъ, такъ какъ газовыя двухтактныя машины типа Кертинга или Эхельхейзера не строятся меньше 200 даже 500 л. с., т. е. слишкомъ велики и дороги для лабораторіи, приобретають же машины малой мощности, работающія безъ особаго воздушнаго насоса, заходящія, очевидно, не желали, считали ихъ мало интересными.

Въ виду такого положенія дѣла, не раздѣляя послѣдняго соображенія, мы рѣшили поставить соотв. опыты хотя бы съ небольшой машиной, хотя бы несовершенной конструкціи—безъ самостоятельнаго воздушнаго насоса. При соотв. дополнительномъ оборудованіи такая машина должна была дать возможность освѣтить хотя бы часть изъ указанныхъ выше вопросовъ, именно вопросы 1, 2 и отчасти 5 и 6; вопросы 3 и 4 при наличности одной машины безъ крупныхъ передѣлокъ нельзя разрешить.

Ставя наши опыты, мы рассчитывали хоть отчасти, хоть приблизительно освѣтить столь важные вопросы, такъ долго остающіеся безъ вниманія, а также узнать попутно что нибудь болѣе детальное о работѣ машины безъ особаго воздушнаго насоса, напр., степень объемнаго наполненія насоса, затрату работы на зарядженіе, условія горѣнія и др.

Кромѣ того, при самой постановкѣ и обработкѣ опытовъ должны были возникнуть новые вопросы, и отвѣты на нихъ должны были возмѣстить невозможность разрешить въ желаемой мѣрѣ основные вопросы.

3. Литература по данному вопросу.—Несмотря на завѣдомое отсутствіе въ литературѣ свѣдѣній объ опытахъ по намѣченнымъ нами выше вопросамъ, мы считали необходимымъ прежде чѣмъ приступить къ своимъ опытамъ внимательно просмотрѣть періодическую и соотв. книжную литературу съ цѣлью разыскать по крайней мѣрѣ теоретическое освѣщеніе интересующихъ насъ вопросовъ или какія нибудь фактическія данныя, хотя бы въ видѣ описанія пріемочныхъ испытанийъ, которыя могли дать матеріалъ для предварительныхъ соображеній и гипотезъ.

Изъ лицъ, такъ или иначе ставившихъ опыты съ двухтактными машинами и болѣе или менѣе подробно опубликовавшихъ ихъ, мы нашли лишь А. Вагенера и Е. Мейера. И тотъ и другой работали съ машинами Эхельхейзера.

Вагенеръ, первый опубликовавший ²⁾ нѣкоторый опытный матеріаль относительно машины Эхельхейзера, относящейся къ 1896 г., производилъ однако тогда свои опыты лишь съ цѣлью наладить работу съ новымъ тогда горючимъ—доменнымъ газомъ. Какихъ либо общихъ указаний, кромѣ того развѣ, что скорость выпуска продуктовъ горѣнія можетъ доходить до 365 мт./сек., разбираемая статья не содержитъ. Далѣе авторъ упоминаетъ въ ней еще объ опытахъ со второй машиной той же системы, но данныхъ объ нихъ не сообщаетъ. Опыты носили характеръ сдаточныхъ и были очень непродолжительны.

Впослѣдствіи ³⁾ Вагенеръ ставилъ уже опыты теоретическаго характера, какъ разъ для выясненія нѣкоторыхъ изъ намѣченныхъ нами вопросовъ. Впрочемъ онъ произвелъ лишь небольшое число опытовъ, прервавъ ихъ въ силу нѣкоторыхъ не зависѣвшихъ отъ него обстоятельствъ, и центръ тяжести его работы лежитъ въ теоретическомъ изслѣдованіи явленій выполаскиванія и заряженія. Выведенныя имъ формулы, опирающіяся все же на его опыты, даютъ зависимость между площадью оконъ каналовъ, среднимъ давленіемъ выполаскиванія и размѣрами промежуточнаго сосуда. Эту зависимость онъ поясняетъ еще графическимъ способомъ, очень нагляднымъ и удобнымъ для практики, и указываетъ распространеніе своего метода, первоначально выведеннаго для машинъ лишь одного типа—Эхельхейзера, т. е. съ окнами, открываемыми и закрываемыми кромкой поршня, и для выпуска и для впуска, на другія машины съ клапанами для впуска свѣжаго заряда, типа Кертинга, а также и вообще для клапаннаго распредѣленія.

Давая много цѣнныхъ указаний для конструктора, работа Вагенера гѣмъ не менѣе совершенно не отвѣчаетъ на вопросы о наивыгоднѣйшихъ условіяхъ работы—давленіи выполаскивающаго воздуха, его количествѣ, скорости и т. д.

Опыты Мейера ⁴⁾ преслѣдовали главнымъ образомъ практическую цѣль—оцѣнку экономичности работы машины. Правда, на основаніи полученныхъ индикаторныхъ діаграммъ рабочаго цилиндра и насосовъ авторъ дѣлаетъ нѣсколько общихъ выводовъ относительно величины работы заряженія машины, но отвѣтовъ, хотя бы косвенныхъ, на поставленные выше вопросы у него нѣтъ, и ихъ нельзя и извлечь изъ его чиселъ. Мейеръ установилъ еще величину тепловой отдачи, а также сопротивленій изслѣдованной имъ машины. Въ виду тщательности постановки опытовъ, за что говорить и имя изслѣдователя, извѣстнаго своими точными опытами съ мащинами внутренняго горѣнія, а также въ виду отсутствія вообще хорошихъ опытныхъ данныхъ, статья Мейера очень цѣнна, хотя въ частности для постановки нашихъ опытовъ не могла намъ дать никакихъ указаний или руководящихъ нитей.

²⁾ Z. V. d. I. 1900 S. 1517.

³⁾ Gasmot. 3, 1903 S. 69.

⁴⁾ Z. V. d. I. 1905 S. 324.

Можно еще упомянуть о статьѣ Г. Давина⁵⁾, который ограничивается однако лишь описаніемъ конструкціи машины Юнге и ея испытанія американскими профессорами Карпентеромъ, Дидерихсомъ и Гичкопомъ. Цифровой матеріалъ, сообщаемый имъ, недостаточно полонъ, относится лишь къ опредѣленному типу машинъ, именно съ сжатіемъ воздуха въ задней полости, но съ дополнительнымъ насосомъ, а, главное, внушаетъ подозрѣніе относительно правильности: по этимъ даннымъ машина Юнге въ сущности не уступаетъ машинѣ Дизеля въ смыслѣ использованія горючаго, и остается лишь удивляться, почему она не получила распространенія и въ практикѣ совершенно неизвѣстна.

Остальныя изъ извѣстныхъ автору работъ носятъ характеръ преимущественно теоретическій или даже вѣрнѣе описательно-умозрительный и занимаютъ главнымъ образомъ вопросомъ о сравненіи работы двухтактныхъ машинъ съ таковою же четырехтактныхъ. Эти статьи опираются, конечно, тоже на практическія данныя, но добытыя не изъ непосредственныхъ опытовъ, а главнымъ образомъ изъ наблюденія за работой машинъ въ нормальныхъ условіяхъ. Въ хронологическомъ порядкѣ эти статьи слѣдующія.

Замѣтка I. Кертинга⁶⁾ по поводу наладокъ на двухтактныя машины со стороны Ф. Альберти⁷⁾, носящая главнымъ образомъ полемическій характеръ. Авторъ упоминаетъ въ ней о весьма важномъ вопросѣ объ образованіи вихрей при впускѣ свѣжаго заряда и вліяніи этихъ вихрей на расходъ горючаго, но ограничивается лишь довольно голословнымъ утвержденіемъ, что согласно его многочисленныхъ опытовъ никакого образованія вихрей въ машинахъ Кертинга нѣтъ.

Далѣе идетъ упомянутая выше статья А. Ридлера¹⁾ о большихъ газовыхъ машинахъ, въ которой онъ, высказываясь въ пользу четырехтактныхъ машинъ и противъ двухтактныхъ, подробно освѣщаетъ всѣ недостатки послѣднихъ и указываетъ отчасти направленіе, въ которомъ должно идти развитіе двухтактныхъ машинъ въ конструктивномъ отношеніи. Несмотря на недостаточное безпристрастіе, статья можетъ дать рядъ цѣнныхъ указаній конструктору двухтактныхъ машинъ, но не даетъ ничего для выясненія интересующихъ насъ вопросовъ.

Статья П. Швема⁸⁾ разбираетъ довольно подробно условія работы двухтактныхъ машинъ и сравниваетъ ихъ съ работой четырехтактныхъ машинъ. Авторъ нѣсколько пристрастенъ въ пользу двухтактныхъ машинъ, будучи съ ними, видимо, хорошо знакомъ, но совершенно не затрагиваетъ интересующихъ насъ вопросовъ и не даетъ никакого новаго матеріала для ихъ разрѣшенія.

⁵⁾ Gasmot. 5, 1905 S. 17.

⁶⁾ Gasmot. 2, 1903 S. 166.

⁷⁾ Gasmot. 2, 1903 S. 153.

⁸⁾ Gasmot. 5, 1905 S. 35.

Не даетъ ничего новаго и небольшая полемика между Швемомъ и Тукерманомъ⁹⁾.

Затѣмъ идутъ двѣ статьи Хандорфа¹⁰⁾, въ которыхъ авторъ, оставившись исключительно на машинахъ типа Кертинга, сообщаетъ нѣсколько соображеній за и противъ этихъ машинъ, а также даетъ интересный матеріалъ относительно ихъ новѣйшаго конструктивнаго исполненія.

Интересная по заглавію статья А. Вильмера¹¹⁾ „Явленія заряженія и регулированія двухтактной машины Кертинга“ представляетъ лишь описаніе видоизмѣненной конструкции распредѣлительныхъ органовъ воздушнаго и газоваго насоса, напоминающихъ цилиндрическіе золотники Ридера и находящихся подъ непосредственнымъ воздѣйствіемъ регулятора.

Небольшая полемика, возникшая по поводу этой статьи между ея авторомъ и Хандорфомъ¹²⁾, указываетъ на наличность цѣлаго ряда вопросовъ, какъ-то: вліяніе колебаній давленія и появленіе волнъ въ газъ и воздухопроводахъ между насосами и цилиндромъ машины, вліяніе емкости промежуточнаго сосуда и величины впускныхъ оконъ, вопросовъ, разрѣшеніе которыхъ возможно лишь опытнымъ путемъ. Обмѣнъ мнѣній умозрительнаго характера не подвигаетъ этихъ вопросовъ на пути къ разрѣшенію.

Статья А. Вимплингера¹³⁾, посвященная важному вопросу о величинѣ объема избыточнаго воздуха, необходимаго для вытолканія продуктовъ горѣнія въ двухтактныхъ машинахъ, и дающая какъ будто выраженіе для теоретическаго опредѣленія размѣровъ насоса, въ сущности даетъ лишь формулу для ихъ сравненія въ зависимости отъ различной степени сжатія воздуха и состава газа. Интересна составлен. авторомъ по особой формулѣ таблица сравненія величины избытка воздуха въ построенныхъ машинахъ. Этотъ избытокъ, оказывается, весьма близокъ для очень различныхъ по системѣ, мощности и горючему машинъ. Для четырехъ машинъ, приведенныхъ Вимплингеромъ, этотъ избытокъ колеблется всего въ предѣлахъ отъ 50 до 70% полезнаго объема, описываемаго поршнемъ. Является ли это число случайностью, или конструкторы стремились къ нему сознательно, найдя изъ собственныхъ, не опубликованныхъ опытовъ, что это есть наивыгоднѣйшая величина, остается невыясненнымъ и до сихъ поръ.

Наконецъ, довольно категорическіе отвѣты на указанныя нами вопросы 1, 3, 5 и 6 даетъ А. Дусманъ¹⁴⁾. Однако свои положенія онъ ни-

9) Gasmot. 5, 1905 S. 107.

10) Gasmot. 7, 1907 S. 3; Z. V. d. I. 1907 S. 1305.

11) Z. V. d. I. 1908 S. 261.

12) Z. V. d. I. 1908 S. 603.

13) Z. V. d. I. 1909 S. 503.

14) Gasmot. 10, 1910 S. 116.

чѣмъ не доказываетъ; повидимому, они являются лишь повтореніемъ мифній Гюльднера, о которыхъ будетъ сказано подробно ниже.

Переходя къ литературѣ книжной, можно сразу же отмѣтить, что почти ни одинъ изъ авторовъ многочисленныхъ, частью очень объемистыхъ руководствъ по машинамъ внутренняго горѣнія, какъ Вицъ, Маго, Шеттлеръ, Іэрингъ, Хедеръ, Донкинъ, Хеттонъ, Мартенсъ, даже не задумывались надъ указанными нами выше гажными для существованія двухтактныхъ машинъ вопросами. Какъ это ни странно, даже Клэркъ, занимавшійся самъ долгое время построеніемъ и усовершенствованіемъ двухтактныхъ машинъ, совѣмъ не касается этихъ вопросовъ. Какъ было уже указано выше, первымъ авторомъ, остановившимъ на нихъ свое вниманіе, былъ Гюльднеръ. Надо отдать ему справедливость, онъ не только указываетъ наиболѣе важныя изъ этихъ вопросовъ, но старается дать на нихъ и отвѣты, опираясь частью на собственные опыты, частью на теоретическія соображенія. Изъ разобранныхъ нами выше статей онъ пользуется однако лишь работами Вагенера.

Изъ выведенныхъ Гюльднеромъ положеній важнѣйшія суть: давленіе выполаскивающаго воздуха должно быть невелико, 0,05 до 0,20 атм., между насосомъ и машиной желателенъ промежуточный сосудъ возможно большей емкости; во избѣжаніе образованія вихрей и утечки свѣжаго газа скорость вступленія выполаскивающаго воздуха и свѣжей смѣси должна быть по возможности мала; давленіе въ цилиндрѣ къ моменту начала впуска выполаскивающаго воздуха должно по возможности сравняться съ атмосфернымъ.

Все эти положенія Гюльднеръ выводитъ изъ требованія возможно совершеннаго выполаскиванія, т.-е. замѣщенія отработавшихъ газовъ свѣжимъ воздухомъ съ наименьшей утечкой его, возможно малаго расхода работы на насосы и низкаго расхода горючаго.

Все эти положенія настолько очевидны для всякаго, знакомаго съ работой двухтактныхъ машинъ или даже просто вдумавшагося въ нее, что спорить противъ нихъ нельзя. Тѣмъ не менѣе они все-же нуждаются въ опытномъ подтвержденіи, а, главное, въ выясненіи тѣхъ числовыхъ предѣловъ въ смыслѣ давленія, скорости, объема, которыхъ должны держаться конструкторъ, если хочетъ, чтобы его машина не только работала или работала даже удовлетворительно, но и была настолько же экономична, какъ четырехтактныя машины конкурентовъ.

Къ этому можно еще присоединить интересное указаніе Вагенера, что положенія Гюльднера при всей ихъ естественности приложимы далеко не ко всемъ машинамъ или по крайней мѣрѣ не въ полной мѣрѣ. Такъ, Вагенеръ полагаетъ, что избыточное давленіе въ насосахъ можетъ быть повышено примѣрно до 0,6 атм. безъ ухудшенія выполаскиванія и увеличенія работы насосовъ, такъ какъ на послѣднюю вліяетъ не столько величина абсолютнаго давленія, сколько среднее давленіе въ промежуточномъ сосудѣ. Далѣе онъ указываетъ, что въ случаѣ ра-

боты съ сравнительно дешевымъ горючимъ, какъ доменной газъ, и при требованіи очень равномерной работы машины, выставяемое Гюльднеромъ требованіе возможно большей емкости промежуточного сосуда даже неправильно. Чѣмъ меньше эта емкость, тѣмъ скорѣе скажется дѣйствіе регулятора при измѣненіи нагрузки.

Довольно много мѣста удѣляется вопросу о зарядженіи двухтактныхъ машинъ еще въ недавно вышедшей книгѣ Дуббеля¹⁵⁾ о большихъ газовыхъ машинахъ. Въ ней авторъ даетъ довольно подробныя указанія какъ спроектировать новую машину. Однако все выкладки его основаны на матеріалѣ, приведенномъ у Гюльднера, а частью въ указанныхъ выше статьяхъ Вагенера, Хандорфа и Вимплингера. Новыхъ данныхъ у Дуббеля нѣтъ.

Такимъ образомъ изъ обзора всей литературы мы можемъ вывести слѣдующее:

1, взгляды различныхъ авторовъ на сущность и значеніе двухтактныхъ машинъ очень противорѣчивы и частью неопредѣленны;

2, указанные важные для двухтактныхъ машинъ вопросы лишь намѣчены и, если отчасти и разрѣшены на основаніи извѣстныхъ соображеній, то все же нуждаются въ опытномъ подтвержденіи;

3, вообще по вопросу объ опытномъ изслѣдованіи двухтактныхъ машинъ сдѣлано или по крайней мѣрѣ опубликовано до настоящаго времени еще очень мало;

4, чтобы ни говорили сторонники четырехтактныхъ машинъ, двухтактныя имѣютъ много преимуществъ, и работа, затраченная на ихъ усовершенствованіе, не пропадетъ напрасно.

Такое положеніе дѣла и побудило насъ приступить къ описаннымъ ниже опытамъ, несмотря на то, что имѣвшаяся въ нашемъ распоряженіи машина завѣдомо не могла дать матеріалъ, непосредственно приложимый къ современнымъ крупнымъ газовымъ машинамъ. Это же положеніе дѣла дало намъ затѣмъ, по нашему мнѣнію, право опубликовать полученный матеріалъ, несмотря на то, что опыты нельзя считать вполне законченными, и что они обладаютъ нѣкоторыми недостатками, не зависѣвшими отъ постановки ихъ, какъ это будетъ видно при ихъ разборѣ.

¹⁵⁾ Н. Dubbel, Grossgasmaschinen. Berlin 1910.

ГЛАВА II.

Постановка опытовъ.

4 .Машина.—Начнемъ съ описанія самой машины: это горизонтальная двухтактная машина, такъ назыв. типа Авансъ, построенная заводомъ Л. Нобеля въ СПб. по особому заказу автора специально для опытовъ для Лабораторіи Тепловыхъ Машинъ Томскаго Технологическаго Института. Машина построена собственно для работы на керосинѣ, но можетъ итти и на любомъ другомъ жидкомъ топливѣ—спиртѣ, бензинѣ, сырой нефти и при замѣнѣ головки другой съ особой форсункой и съ особымъ приспособленіемъ для обогрѣва, можетъ работать даже на нефтяныхъ остаткахъ. Впрочемъ, за недостаткомъ времени, а отчасти и по другимъ обстоятельствамъ, вся описанная ниже серія опытовъ проведена на керосинѣ.

Основные размѣры машины, найденные путемъ тщательнаго измѣренія при помощи соств. измѣрительныхъ приборовъ съ нониусами, слѣдующіе: діаметръ цилиндра $D=222,26$ мм., ходъ поршня $H=251,0$ мм. Степень точности, съ которой опредѣленъ D , составляетъ $\pm 0,05$ мм., т. е. $\pm 0,02\%$, а H —всего $0,1$ мм., или $\pm 0,04\%$.

Нормальное число оборотовъ машины, согласно каталога, $n=340$ въ мин., при каковомъ n машина развиваетъ свободно 10 д. л. с. и допускаетъ еще перегрузку до 20% , но заводъ почему-то снабдилъ ее щиткомъ съ надписью: „норм. ч. обор. 270 мин.“; принимая это во вниманіе, машину правильнѣе называть 8-сильной.

Несмотря на довольно широкое распространеніе этого типа машинъ, описанія его нѣтъ ни въ одномъ изъ болѣе солидныхъ руководствъ; его можно разыскать только въ журналахъ. Поэтому опишемъ вкратцѣ и конструкцию и работу нашей машины, черт. 1—5, табл. I.

Схема работы ея слѣдующая: при ходѣ впередъ въ рабочемъ цилиндрѣ производится сжатіе воздуха; незадолго до мертваго положенія въ цилиндръ вбрызгивается насосикомъ a керосинъ, который распыливается форсункой b , при чемъ брызги ударяются въ выступающій въ цилиндръ языкъ c раскаленнаго запальнаго шара d ; пары керосина воспламеняются, происходитъ взрывъ, и дается толчокъ поршню, который движется обратно. Съ другой стороны поршня, въ кривошипной камерѣ, при ходѣ впередъ происходитъ разрѣженіе, подъ вліяніемъ котораго, когда поршень близъ внѣшняго мертваго положенія задней кромкой откроетъ окно e , воздухъ изъ наружной атмосферы устремляется въ кривошипную

полость. Когда поршень, пройдя вѣншее мертвое положеніе, снова закроетъ окно e , въ кривошипной полости начинается сжатіе воздуха.

Пройдя около 0,8 хода, поршень начинаетъ открывать окна: сперва нижней кромкой выпускное f и вскорѣ затѣмъ верхней кромкой окно g , черезъ которое рабочій цилиндръ сообщается съ задней полостью, служащей воздушнымъ насосомъ.

Процессъ заряженія, т.-е. заполнения рабочаго цилиндра свѣжимъ воздухомъ, происходитъ слѣдующимъ образомъ: отработавшіе газы, которые въ концѣ расширенія имѣютъ еще давленіе до 3 абс. атм., иногда даже болѣе, устремляются, расширяясь, черезъ окно f въ глушитель и далѣе въ атмосферу. Давленіе въ цилиндрѣ къ моменту открытія окна g падаетъ или по крайней мѣрѣ должно упасть почти до атмосфернаго; тогда воздухъ, сжатый примѣрно до 1,1 абс. атм., врываясь въ рабочій цилиндръ, вытѣсняетъ остатокъ отработавшихъ газовъ и самъ заполняетъ собой цилиндръ.

Чтобы воздухъ вмѣсто того, чтобы вытѣснить отработавшіе газы, не устремлялся непосредственно въ глушитель, на поршнѣ имѣется выступъ h , который долженъ отклонять воздухъ такъ, чтобы послѣдній, двигаясь въ верхней части цилиндра, сперва направлялся къ противоположному концу его, а оттуда лишь заполнялъ и нижнюю часть.

Такой теоретически очень простой и остроумный способъ удаленія продуктовъ горѣнія и заполнения рабочаго цилиндра свѣжимъ воздухомъ въ данной машинѣ въ дѣйствительности осущестлялся довольно неудовлетворительно, т.-е. въ моментъ конца выполаскиванія въ рабочемъ цилиндрѣ находится не свѣжій воздухъ, а смѣсь изъ воздуха и продуктовъ горѣнія, и притомъ, содержащая послѣднихъ очень много.

Причины неудовлетворительнаго выполаскиванія, которыя можно указать заранее, слѣдующія:

1, объемъ воздуха, поступающій въ цилиндръ, вслѣдствіе невысокой объемной подачи насоса (задней полости), неизбежной, если принять во вниманіе конструкцію этого насоса, значительно меньше объема, который ему предстоитъ заполнить;

2, поступленіе воздуха въ рабочій цилиндръ неизбежно сопряжено съ образованіемъ вихрей, смѣшивающихъ воздухъ съ продуктами горѣнія, такъ что вытѣсняемые продукты горѣнія увлекаютъ съ собой часть и безъ того недостаточнаго количества воздуха;

3, часть воздуха можетъ даже помимо вихребразованія устремляться изъ окна g непосредственно въ окно f , такъ сказать, по кратчайшему разстоянію;

4, наконецъ, возможно, что въ моментъ выпуска въ продуктахъ горѣнія содержатся еще не сгорѣвшія частицы, окись углерода, метанъ, ацетиленъ или, наконецъ, даже просто пары керосина, которыя при встрѣчѣ съ свѣжимъ воздухомъ догораютъ, уменьшая содержаніе кислорода въ новомъ зарядѣ.

Выясненіе вліянія этихъ 4 возможныхъ причинъ вошло тоже въ кругъ предстоящихъ задачъ, наряду съ попыткой найти отвѣты на указанные выше основные вопросы 1, 2, 5 и 6, стр. 4.

Что касается далѣе работы машины, то нужно замѣтить, что регулированіе ея производится пропусками слѣдующимъ образомъ: керосиновый насосикъ a приводится въ дѣйствіе ударами зуба k въ промежуточную часть i , въ которую упирается конецъ его ныряла; зубъ k прикрепленъ къ грузу l регулятора; грузъ этотъ получаетъ поступательно-возвратное движеніе отъ эксцентрика, сидящаго на коренномъ валу; l скользитъ по наклонной плоскости m и при увеличеніи числа оборотовъ выше нормальнаго нѣсколько подпрыгиваетъ; зубъ k при этомъ проскакиваетъ мимо лезвія n ,—получается пропускъ. Чтобы пропуски были неслишкомъ часты, и ходъ машины достаточно равномерный, подачу керосина можно измѣнять, измѣняя длину хода насосика a , что достигается повертываніемъ гайки o .

Описанный регуляторъ обладаетъ однимъ очень важнымъ достоинствомъ для машины, предназначенной для опытовъ: онъ позволяетъ мѣнять на ходу въ широкихъ предѣлахъ и очень быстро число оборотовъ. Для этого надо лишь передвигать, повертывая маховичекъ p , наклонную площадку m , приближая ее къ кривошипу машины для увеличенія числа оборотовъ и отодвигая для уменьшенія. Въ нашей машинѣ такимъ путемъ можно мѣнять число оборотовъ отъ $n=180$ до $n=370$; при меньшемъ числѣ оборотовъ насосикъ a перестаетъ дѣйствовать, такъ какъ зубъ k , ударяя изъ-подъ низа, лишь отгибаетъ лезвіе n , да и масса маховиковъ оказывается недостаточной; большее число оборотовъ мы опасались допускать, такъ какъ при $n=370$ окружная скорость на ободѣ маховика уже доходитъ до 25 мт./сек., и дальнѣйшее повышеніе ея можетъ вызвать разрывъ маховиковъ.

Что касается воспламененія, то, какъ уже упоминалось, оно происходитъ вслѣдствіе соприкосновенія горючей смѣси съ раскаленными стѣнками, а главнымъ образомъ, языкомъ c запального шара d , который долженъ имѣть температуру красно-калильнаго жара, т.-е. 600° до 800° Ц. При пускѣ машины въ ходъ эта температура достигается нагрѣваніемъ шара особой керосиновой лампой съ горѣлкой системы Примусъ. Во время работы теплоты, развиваемой внутри цилиндра, достаточно для поддержанія указанной температуры шара, но крайней мѣрѣ при нормальной и до половинной нагрузки. При дальнѣйшемъ уменьшеніи нагрузки и соотв. уменьшеніи общаго расхода керосина, температура шара начинаетъ падать, такъ что приходится подогрѣвать его снаружи лампой. Въ нашихъ опытахъ, производившихся исключительно при нагрузкѣ, близкой къ нормальной, дѣлать этого не приходилось.

Какъ на нѣкоторую особенность данной машины надо указать на вбрызгиваніе воды въ рабочій цилиндръ. Вбрызгиваніе это имѣетъ цѣлью предотвращеніе преждевременныхъ вспышекъ и возможность повысить сте-

пень сжатія, а съ ней экономичность работы машины. Вбрызгиваніе производится въ моментъ продувки, когда въ цилиндрѣ наступаетъ нѣкоторое разрѣженіе вслѣдствіе инерціи вылетающихъ газовъ. Въ нашей машинѣ ради измѣренія количества вбрызгиваемой воды послѣдняя берется не прямо изъ водяной рубашки, а поступаетъ изъ особаго небольшого бачка, емкостью около 0,25 лтр., куда она наливается отъ руки. Бачекъ находится на высотѣ около 700 мм. надъ цилиндромъ и прикрѣпленъ къ трубѣ, служащей для отвода горячей воды изъ рубашки. Впускъ воды въ цилиндръ совершается черезъ обычную масленку, съ обратнымъ клапаночкомъ и видимой подачѣ воды по каплямъ; подачу можно регулировать обычнымъ путемъ отъ руки, ввертывая или вывертывая запорный конусокъ; ее можно такимъ образомъ мѣнять въ предѣлахъ отъ 0 до 5 лтр. воды въ часъ.

Кромѣ указанныхъ приспособленій для измѣненія подачи керосина и числа оборотовъ, приспособленій, имѣющихся у каждой машины данной системы и лишь усовершенствованныхъ у насъ въ томъ смыслѣ, что требуемая гайка снабжена удобными приспособленіями для ихъ поворачиванія, такъ что соотв. установка достигается безъ помощи гаечныхъ ключей, описываемая машина имѣетъ еще нѣсколько приспособленій, позволяющихъ мѣнять условія ея работы, что такъ важно для опытовъ.

Машина имѣетъ, во-первыхъ, приспособленіе, позволяющее легко измѣнять объемъ камеры сжатія V_c , т.-е. степень сжатія ϵ . Достигается это тѣмъ, что между шатуномъ и подшипникомъ, охватывающимъ колѣчатый валъ, можно вкладывать стальную пластинку—прокладку r , черт. 2, и, увеличивая тѣмъ длину L шатуна, уменьшать величину V_c . Такихъ прокладокъ r имѣется 4, толщиной въ 5, 10, 15 и 20 мм..

Далѣе было обращено вниманіе на то, что при измѣненіи L мѣняется не только V_c , но вслѣдствіе перемѣщенія кромокъ поршня и моменты и продолжительность открытія оконъ e , f и g , а также и величина площади открытія этихъ оконъ. Какъ сразу видно, съ увеличеніемъ L продолжительность открытія и площадь окна g для впуска сжатого воздуха и окна f для выпуска отработавшихъ газовъ уменьшаются, а окна e для всасыванія воздуха, наоборотъ, увеличиваются. Такимъ образомъ, мѣняя ϵ , мы невольно мѣняемъ и такіе важные факторы, какъ сопротивленіе всасыванія и выпуска и соотв. скорости воздуха и отработавшихъ газовъ. Чтобы выяснитъ вліяніе этихъ факторовъ, надо, наоборотъ, мѣнять ихъ при постоянномъ ϵ . Въ данной машинѣ это было легко достигнута, подкладывая подъ крышку цилиндра кольцо s такой же толщины, какъ прокладка r ; тогда, насколько объемъ V_c уменьшится отъ прокладки r , настолько же онъ возрастетъ отъ кольца, и ϵ остается безъ измѣненія.

Наконецъ, для измѣненія объема V_3 вреднаго пространства воздушнаго насоса, его увеличенія, были отлиты 2 особыхъ чугунныхъ кольца-колпака t_1 и t_2 емкостью каждый нѣсколько болѣе двойного объема V_3 .

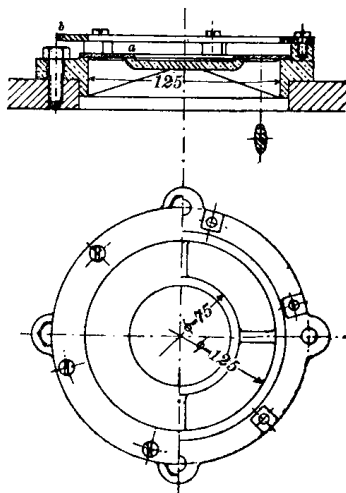
описываемаго поршня. Для уменьшенія V_3 колпаки эти можно отвертывать и закрывать соотв. отверстія прямо крышками u_1 и u_2 .

Далѣе можно еще упомянуть о попыткахъ увеличить объемную подачу насоса, снабдивъ окно e обратнымъ клапаномъ. Однако заводъ затруднился его установкой тамъ, такъ какъ пришлось бы нѣсколько измѣнить модель станины, и поставилъ клапанъ q на промежуточномъ днищѣ станины. Клапанъ этотъ состоитъ изъ легкой стальной пластинки a , черт. 6 и 7, и упора b ; a опускается подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса, безъ всякихъ пружинъ, которыя выкинуты, чтобы не увеличивать сопротивленія всасыванія.

Разумѣется, при работѣ съ обратнымъ клапаномъ отверстіе w въ промежуточномъ днищѣ, черт. 2 и 4, надо закрывать особой заглушкой.

Въ заключеніе надо замѣтить, что въ отличіе отъ машинъ обычнаго типа, въ которыхъ засасыванія воздуха происходитъ прямо изъ атмосферы черезъ рядъ отверстій въ нижней станинѣ, данная машина была снабжена днищемъ v , къ которому пригнать трубопроводъ, ведущій отъ воздушныхъ (газовыхъ) часовъ. Для точности измѣренія количества всасываемаго воздуха очень важно, чтобы днище это было совершенно герметично. Въ этихъ видахъ заводу было заказано отлить его заодно съ нижней станиной. Къ сожалѣнію заводъ отказался это сдѣлать, ссылаясь на трудность отливки, и сдѣлалъ днище деревянное изъ толстыхъ досокъ, пристроганныхъ въ шпунтъ. Однако доски съ теченіемъ времени сохли, попытки залить щели асфальтовымъ лакомъ не дали удовлетворительныхъ результатовъ, въ виду чего, приступая къ опытамъ, мы залили днище слоемъ раствора изъ порландскаго цемента съ пескомъ; толщина слоя около 25 мм.; сверху цементъ былъ покрашенъ въ нѣсколько слоевъ эмалевой краской. Опытъ показалъ, что этотъ способъ былъ выбранъ удачно; спустя годъ послѣ заливки герметичность оставалась полная, и на цементъ не появилось ни одной трещины.

Въ смыслѣ герметичности надо было обратить вниманіе еще на стыкъ между верхней и нижней станиной и на коренные подшипники. Плотность стыка удалось легко достигнуть, смазавъ его густой эмалевой краской и туго подтянувъ болты. Нѣсколько кропотливѣе была работа по достиженію герметичности въ коренныхъ подшипникахъ. Такъ какъ вкладыши у нихъ цѣльные, трубчатые, правда, плотно облегающіе валъ и всегда залитые масломъ, но не имѣющіе приспособленія для подтяж-



Черт. 6 и 7.

ки, то все вниманіе пришлось сосредоточить на плотномъ прилеганіи щекъ вала, имѣющихъ форму дисковъ, къ крышкамъ x, x . Для облегченія пригонки между щекami вала и крышками x, x надѣто по бронзовой шайбѣ y, y , свободно вращающейся на валу. Пришабривъ съ каждой стороны по 4 плоскости (на крышкѣ x , щекѣ вала и обѣ стороны шайбы y) и достигнувъ проточкой фланца у крышки x , что зазоры между отдѣльными трущимися поверхностями были сведены къ долямъ мм., и, кромѣ того, были всегда заполнены масломъ, путемъ наблюденія надъ давленіемъ воздуха можно было установить, что утечка воздуха, хотя и оставалась, но была сведена до ничтожно малой величины. Кромѣ того, такая неплотность кривошипной полости лишь понижаетъ объемную подачу насоса, но не вліяетъ на точность измѣренія расхода воздуха, такъ какъ примѣрно столько же воздуха, сколько утекаетъ его при сжатіи, поступаетъ помимо газовыхъ часовъ при всасываніи.

Затѣмъ остановимся еще немного на опредѣленіи величинъ, необходимыхъ для вычисленія степени сжатія ϵ , какъ въ рабочемъ цилиндрѣ, такъ равно и въ воздушномъ насосѣ. Эти величины—объемъ камеры сжатія V_c , объемъ, описываемый поршнемъ, V_x и объемъ вреднаго пространства насоса V_n .

Объемъ V_x былъ вычисленъ по указаннымъ выше D и H и найденъ $V_x=9,738$ лтр.; такъ какъ величина D опредѣлена съ точностью $\pm 0,02\%$, а H съ точностью $\pm 0,04\%$, то вычисленная по нимъ величина V_x вѣрна съ точностью $\nu = \sqrt{(0,02 \cdot 2)^2 + (0,04)^2} = \pm 0,06\%$.

Объемъ V_c былъ измѣренъ непосредственной заливкой камеры сжатія машиннымъ масломъ черезъ отверстіе для форсунки. Маслу было отдано предпочтеніе передъ водой въ виду того, что вслѣдствіе его густоты можно было не опасаться утечки черезъ поршневые кольца, что легко можетъ произойти при заливкѣ водой и дало бы преувеличенный V_c . Количество залитого масла опредѣлялась взвѣшиваніемъ на точныхъ вѣсахъ, а удѣльный вѣсъ масла измѣрялся при помощи точнаго ареометра, а для контроля одинъ разъ еще и гидростатическимъ путемъ при помощи тѣльца Римана и точныхъ аналитическихъ вѣсовъ. При заливкѣ были приняты всѣ мѣры, чтобы въ цилиндрѣ не оставалось ни одного пузырька воздуха. Впрочемъ достигъ этого было нетрудно въ виду очертаній камеры сжатія и расположенія отверстія для форсунки въ верхней точкѣ. При заливкѣ полость запального шара была отобрана при помощи пробки, и ея объемъ опредѣлялся отдѣльной заливкой шара, для чего головку цилиндра, конечно, пришлось разобрать.

Заливка камеры сжатія была повторена 9 разъ; послѣ каждой заливки крышку снимали, ждали не менѣе $\frac{1}{2}$ часа, пока все масло стечетъ, и затѣмъ стѣнки еще тщательно вытирали.

Объемъ V_c , безъ всякихъ прокладокъ подъ шатунъ и крышку, найденный какъ средняя величина изъ всѣхъ наблюденій, получился $V_c=3,103$ лтр.. Всѣ отдѣльныя измѣренія дали очень близкія цифры, что можно

видеть изъ того, что вычисленная по известной формулѣ по квадратамъ разностей средняя ошибка средней величины равняется всего 0,0074 лтр., т.-е. V_c найдено съ ошибкой $\nu < \pm 0,3\%$, что должно быть признано болѣе чѣмъ удовлетворительнымъ.

Въ случаѣ подкладыванія упомянутыхъ выше прокладокъ r объемъ V_c уменьшается на каждые 10 мм. толщины r на 0,388 лтр.; въ случаѣ подкладыванія кольца s объемъ V_c увеличивается на ту же величину.

Такимъ же путемъ, заливкой машиннымъ масломъ, былъ опредѣленъ объемъ V_3 . Въ виду меньшей $\%$ ошибки ν при измѣреніи столь большого объема и близости полученныхъ цифръ мы рѣшили ограничиться тремя заливками.

Въ среднемъ изъ этихъ трехъ измѣреній получилось $V_3 = 46,545$ лтр., тоже безъ всякихъ прокладокъ r и колпачковъ t_1 и t_2 . Средняя ошибка этой средней величины, вычисленная такимъ же путемъ, оказалась равной $\pm 0,085$ лтр., т.-е. $\nu < \pm 0,2\%$.

Такимъ же путемъ были найдены и объемы V_1 и V_2 дополнительныхъ колпачковъ t_1 и t_2 : $V_1 = 19,167$ лтр., а $V_2 = 21,174$ лтр.. При этомъ средняя ошибка средней величины оказалась равной $\pm 0,036$ лтр., т. е. $\nu < \pm 0,2\%$.

5. Вся установка.—Такъ какъ одной изъ нашихъ главныхъ задачъ было измѣреніе подачи воздуха при различныхъ условіяхъ, то остальная часть установки какъ разъ и представляла приспособленіе, имѣвшія цѣлью измѣреніе и регулированіе этой подачи.

На черт. 8, табл. II, представлена часть машиннаго зала лабораторіи; a машина, q воздушные часы.

Часы—газомѣритель съ барабаномъ емкостью въ 1,50 мт.³, т.-е. пропускной способностью до 150 мт.³ въ часъ, были пріобрѣтены отъ фирмы С. Эльстеръ въ Берлинѣ. Несмотря на безусловную желательность при производствѣ научныхъ опытовъ провѣрки всѣхъ употребляемыхъ при опытахъ приборовъ, провѣрка этихъ часовъ нами произведена не была по слѣдующимъ основаніямъ:

1, наши опыты должны были выяснитъ главнымъ образомъ и з м ѣ н е н і е подачи воздуха въ зависимости отъ тѣхъ или иныхъ факторовъ; абсолютная величина подачи хотя и представляетъ интересъ въ виду полного отсутствія въ литературѣ соотв. указаній для машинъ даннаго типа, являлась для насъ вопросомъ второстепеннымъ;

2, неизбѣжное еліяніе на абсолютную величину подачи такихъ дополнительныхъ, не измѣнявшихся во время опытовъ факторовъ, какъ сопротивленіе въ трубопроводѣ, вліяніе неплотности въ подшипникахъ кореннаго вала, неправильности въ окнахъ машины, все это вмѣстѣ взятое можно, произведя примѣрный подсчетъ, признать приблизительно равнозначимымъ возможной ошибкѣ въ показаніяхъ часовъ;

3, произвести провѣрку съ достаточной точностью было очень затруднительно, такъ какъ единственный имѣвшійся въ Томскѣ вывѣренный

контрольный газомѣръ отъ калориметра Юнкерса имѣетъ емкость всего 3,0 лтр., на 1 оборотъ барабана большихъ часовъ онъ долженъ сдѣлать 500 оборотовъ, при чемъ легко можетъ накопиться ошибка, равная ошибкѣ часовъ; провѣрка при помощи газгольдера или воздушнаго сосуда, о которомъ будетъ сказано ниже, была бы слишкомъ сложна;

4, наконецъ, часы были совершенно новые, доставленные переокластной фирмой, такъ что можно было съ достаточной увѣренностью положиться на непосредственныя показанія; фирма гарантировала точность $\pm 3\%$.

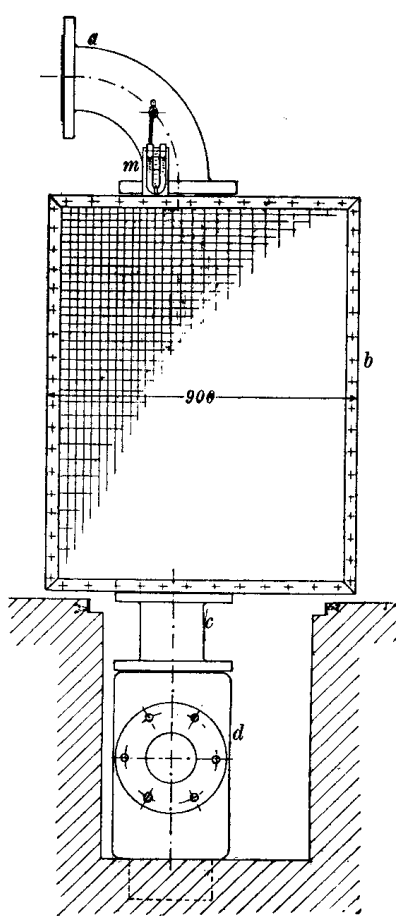
Всѣ эти соображенія вмѣстѣ взятыя побудили насъ отказаться отъ провѣрки часовъ, но зато нами было обращено большое вниманіе на то, чтобы часы при разныхъ опытахъ не мѣняли своихъ показаній. Для этого нужно, чтобы были удовлетворены два условія: во-первыхъ, уровень воды въ часахъ долженъ стоять всегда на одной и той-же, указанной заводомъ высотѣ, и, во-вторыхъ, уровень воды долженъ быть во время работы по возможности совершенно покоенъ.

Такъ какъ при прохожденіи воздуха черезъ часы вода, насыщая его, постепенно испаряется, то уровень ея понижается, и часы начинаютъ показывать меньше истиннаго. Убыль воды надо пополнять. Наилучшій способъ пополненія состоитъ въ томъ, что во время работы въ часы непрерывно подливается вода, а избытокъ ея вытекаетъ черезъ особый переливъ. Такой непрерывной подачей воды и переливамъ системы Кинга и были снабжены данные часы.

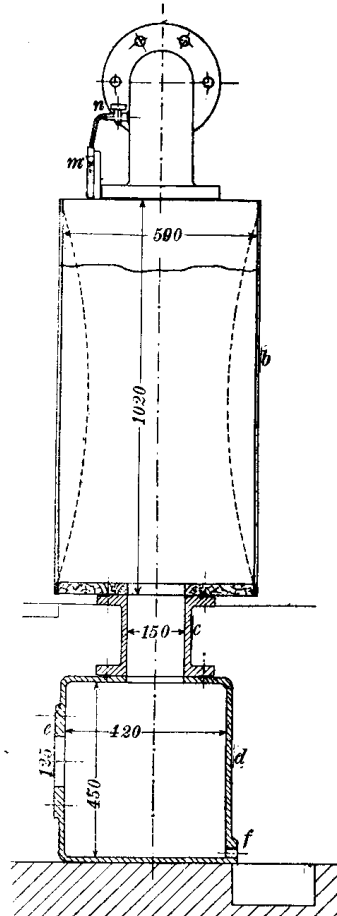
Болѣе затруднительно было удовлетворить второму требованію: поршневья машины всегда забираютъ воздухъ толчками, вызывающими постоянное колебаніе уровня воды въ часахъ. Несмотря на то, что данная машина, въ отличіе отъ четырехтактныхъ, забираетъ воздухъ при каждомъ оборотѣ, что число оборотовъ сравнительно велико, т.-е. при довольно длинномъ, ок. 10 мт., и большого діаметра, 125 мм., воздухопроводѣ, долженъ былъ получиться непрерывный токъ воздуха умѣренной скорости, менѣе 0,4 мт./сек., что объемъ воздуха, забираемый при каждомъ оборотѣ, сравнительно съ емкостью барабана часовъ невеликъ, всего 4—6 лтр., и что, наконецъ, „нагрузка“ часовъ была небольшая, всего отъ 50 до 100 мт.³/часъ, т.-е. отъ одной до двухъ третей пропускной способности,—несмотря на все это первая же проба показала вопреки теоретическимъ ожиданіямъ полную невозможность работать безъ особаго приспособленія, умѣряющаго колебанія уровня, доходившія до 20—30 мм., т.-е. безъ включенія какого-нибудь регулятора давленія.

Для поддержанія постояннаго давленія мы прибѣгли къ двумъ средствамъ: во-первыхъ, включили въ воздухопроводъ большой желѣзный, клепанный сосудъ с, черт. 8, емкостью въ 4,5 мт.³, прямое назначеніе котораго въ лабораторіи служить сборникомъ сжатого воздуха, подаваемого особымъ опытнымъ компрессоромъ.

Уровень воды въ часахъ послѣ этого сталъ болѣе спокоенъ, но несо-
всѣмъ. Почти полная неподвижность уровня была достигнута послѣ
включенія у самыхъ часовъ регулятора давленія *d*, изображеннаго от-
дѣльно на черт. 9 и 10. Это деревянный ящикъ, высотой въ 1020 мм. и
площадью основанія 500×900 мм.. Двѣ боковыя стѣнки, 1020×900 мм.,
замѣнены резиной толщиной въ 1,5 мм..



Черт. 9.



Черт. 10.

Принимая разность давленія воздуха, необходимую для прохожденія
черезъ часы, въ 5 мм. в. ст., какъ показывалъ U-образный водяной ма-
нометръ *m*, присоединенный къ колѣну между часами и регуляторомъ да-
вленія, нетрудно вычислить, что величина, на которую пульсируетъ дан-
ный регуляторъ, т.-е. измѣняетъ свой объемъ (см. пунктирное положеніе
резиновыхъ стѣнокъ) при колебаніи давленія въ 1 мм., составляетъ ок.
5 лтр., т.-е. вполне достаточно.

Нечего говорить, что были приняты всѣ мѣры, чтобы какъ регуля-
торъ давленія, такъ равно и весь трубопроводъ, собранный изъ чугуна.

ныхъ 5-дюймовыхъ трубъ, частью на фланцахъ, частью на муфтахъ съ раструбами съ заливкой особой замазкой, были совершенно плотны, что впрочемъ при данномъ слабомъ разрѣженіи было нетрудно достичь. Ради указанной плотности резиновыя стѣнки регулятора были прикрѣплены слѣдующимъ образомъ: резина была наложена на края деревяннаго ящика, смазанные эмалевой краской, и подтянута шурупами черезъ посредство рамки изъ деревянныхъ же брусковъ. Разстояніе между шурупами было взято 60—70 мм.

Несмотря на видимую спокойную работу воздушныхъ часовъ, воздухъ при прохожденіи черезъ нихъ увлекалъ съ собой столь значительное количество воды, что послѣдняя, выдѣляясь при движеніи по довольно длинному воздухопроводу, по истеченіи нѣсколькихъ часовъ работы, замѣтно стѣсняла его сѣченіе. Для облегченія спуска этой воды, а также для возможнаго выдѣленія ея, пользуясь центробѣжной силой при перемѣнѣ направленія движенія воздуха, колѣно, соединяющее воздухопроводъ съ днищемъ регулятора давленія, было замѣнено особой чугунной коробкой d съ отверстіемъ f для спускнаго крана. Для достиженія указанной цѣли воздухопроводу, конечно, долженъ быть приданъ уклонъ въ сторону водоотдѣлителя d .

Кромѣ опытовъ съ нормальной подачей воздуха при помощи всасыванія его поршнемъ машины, были еще поставлены опыты съ увеличенной подачей воздуха. Увеличеніе достигалось тѣмъ, что воздухъ не всасывался, а постуналъ подъ нѣкоторымъ давленіемъ изъ сосуда e , черт. 8, куда онъ нагнетался воздуходувкой системы Рута f , приводимой въ дѣйствіе отъ ремня 4-сильнымъ электродвигателемъ e . Для полученія требуемой подачи воздуха можно было измѣнять въ предѣлахъ отъ 300 до 800 число оборотовъ электродвигателя при помощи шунтового реостата g , расположеннаго подъ общей распредѣлительной доской h лабораторіи.

Однако такое регулированіе подачи оказалось недостаточно чувствительнымъ и, кромѣ того, при маломъ n электродвигателя слишкомъ грѣлся реостатъ. Тогда былъ добавленъ второй способъ регулированія подачи воздуха, состоящій въ пріоткрываніи на бѣльшую или меньшую величину задвижки Лудло i , разобщающей при работѣ воздуходувки всасывающую часть трубопровода отъ нагнетательной. Избытокъ сжатого воздуха выпускается при этомъ обратно въ всасывающую часть. Способъ этотъ оказался замѣчательно удобнымъ и точнымъ въ смыслѣ установкѣ g въ сосудѣ e требуемаго давленія.

6. Измѣрительные приборы и приспособленія. --- Опишемъ здѣсь главнѣйшіе приборы, кромѣ примѣнявшихся для опредѣленія состава отработавшихъ газовъ, которые въ виду ихъ важности выдѣлены особо.

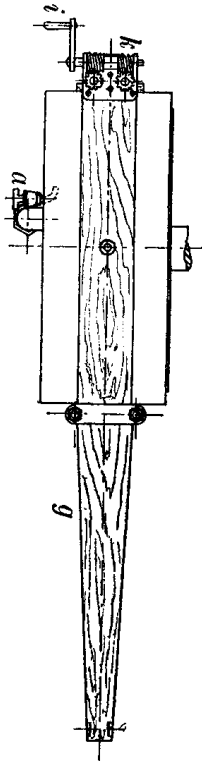
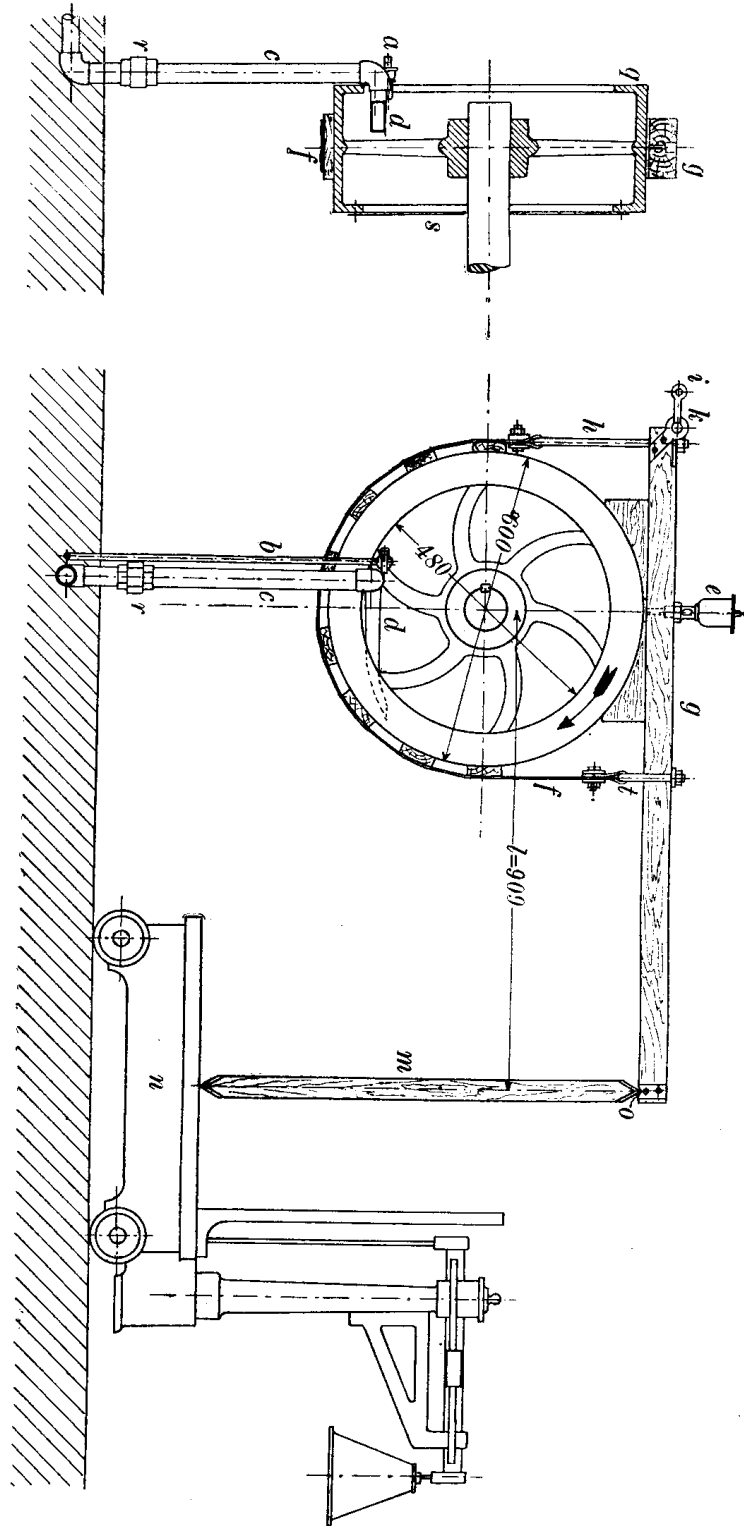
Тормазъ.—При конструированіи тормазъ имѣлись въ виду два главныхъ требованія: возможное устраненіе колебанія нагрузки, столь непріятное при обыкновенномъ тормазѣ Прони, и удобство обращенія.

Изъ этихъ соображеній, отказавшись отъ примѣненія самоустанавливающегося тормоза, болѣе удобнаго во время работы, но менѣе точнаго, мы останоились на типѣ, въ которомъ конецъ рычага давить на платформу десятичныхъ вѣсовъ, черт. 11—13, стр. 22.

Для удовлетворенія перваго требованія необходимо было добиться по возможности постояннаго окружного усилія, которое у обыкновеннаго тормоза мѣняется вслѣдствіе колебанія коэффиціента тренія въ зависимости отъ температуры и состоянія поверхности (смазки) тормознаго шкива. Чтобы температура тормознаго шкива оставалась постоянной и невысокой, шкивъ былъ снабженъ непрерывно дѣйствующимъ водянымъ охлажденіемъ: вода, притокъ которой изъ водопроводной сѣти регулируется краномъ *a*, поступаетъ по трубкѣ *b* и обратно отводится по трубкѣ *c*, улавливаемая плоскимъ совкомъ—воронкой *d*. Труба *c* идетъ подъ поломъ и выходитъ гдѣ задѣланную въ полъ раковину *l*, черт. 8, сообщенную съ общей канализаціей. Далѣе, на тормазѣ стоитъ тоже непрерывно дѣйствующая капельная масленка *e*. Наконецъ, много способствуетъ плавности работы тормоза, что деревянныя колодки, нажимаемыя на шкивъ, прикрѣплены къ резиновому ремню *f*, который охватываетъ и стягиваетъ шкивъ. Ремень этотъ, состоящій изъ 3 рядовъ прорезиненнаго холста съ резиновыми прослойками, гибокъ, можетъ немного вытягиваться и въ то же время совершенно не даетъ остаточнаго удлиненія, ни подъ дѣйствіемъ натяженія, ни отъ случайнаго смачиванія водой.

Удобство обращенія и точность регулировки тормоза достигнуты примѣненіемъ особой затяжки: болѣе натянутый конецъ ремня прикрѣпленъ наглухо къ деревянному рычагу *g*, вѣрнѣе къ прикрѣпленной къ *g* желѣзной скобкѣ *l*, менѣе же натянутый конецъ прикрѣпленъ къ скобкѣ *h*, концы которой пропущены черезъ рычагъ *g*, снабжены довольно мелкой винтовой нарезкой и входятъ въ двѣ гайки; гайки эти составляютъ одно цѣлое съ червячными колесами и такимъ образомъ получаютъ одновременное вращеніе при помощи сцѣпленнаго съ ними червяка *k*, поворачиваемаго за ручку *i*. Такъ какъ гайки дѣлаютъ одинъ оборотъ при 15 оборотахъ червяка, а шагъ рѣзбы въ нихъ 2,14 мм., то, считая за наименьшую, вполне опредѣленную величину $\frac{1}{4}$ поворота ручки *i*, длину ремня *f* можно измѣнять съ точностью до 0,04 мм. и тѣмъ слѣдить за малѣйшимъ измѣненіемъ натяженія его.

Нужно замѣтить, что для поддержанія постоянной нагрузки во время работы почти никогда не приходится отпускать тормазъ, а лишь отъ времени до времени слегка подтягивать. При этомъ указатель десятичныхъ вѣсовъ *n* едва колеблется около своего положенія равновѣсія. Вѣсы *n*, черт. 8, которыми мы пользовались при опытахъ, обладаютъ подъемной силой въ 150 кгр. и, имѣя передвижку съ дѣленіями въ 0,05 кгр., при нѣкоторомъ навыкѣ позволяютъ опредѣлять вѣсъ съ точностью до 0,02 кгр.; чувствительность же ихъ около 0,01 кгр..



Черт. 11-13.

Въ заключеніе можно упомянуть, что для большей точности деревянная подставка m между рычагомъ g и платформой вѣсовъ n снабжена на концахъ стальными, закаленными башмаками-ножами, изъ которыхъ нижній опирается на чугунную платформу вѣсовъ, а верхній въ особое вѣзанное въ дерево стальное, закаленное гнѣздо o .

Собственный вѣсъ тормазы, обозначимъ его тоже g , который въ данной конструкціи надо вычитать изъ показаній вѣсовъ при вычисленіи окружного усилія, былъ найденъ непосредственнымъ взвѣшиваніемъ слѣдующимъ образомъ: тормазъ былъ надѣтъ на шкивъ, но ремень совсѣмъ ослабленъ, такъ что тормазъ не касался шкива, а лежалъ на грани трехгранной призмы, положенной на шкивъ точно надъ осью вала. Другой конецъ рычага g опирался на платформу вѣсовъ черезъ посредство подставки m , какъ и во время работы. Уравновѣсивъ вѣсы, мы получили вѣсъ $g=1,53$ кгр.

Чтобы не усложнять напрасно вычисленій дѣйствительной работы, при всѣхъ опытахъ передвижка на вѣсахъ ставилась прямо на 1.53 кгр., и въ расчетъ принимались лишь гири, которыя ставились на чашку вѣсовъ.

Одновременно съ тѣмъ была найдена длина плеча тормазы, обозначимъ ее l , измѣреніемъ разстоянія между углубленіемъ гнѣзда o и отвѣсной линіей, проведенной черезъ ось вала машины; получилось $l=909$ мм.

Счетчики оборотовъ. Число оборотовъ машины, точное измѣреніе котораго необходимо для вычисленія дѣйствительной и индикаторной работы, опредѣлялось по непрерывно дѣйствующему счетчику отъ фирмы Шефферъ и Буденбергъ, примѣнимому въ отличіе отъ такъ назыв. якорныхъ счетчиковъ до самыхъ большихъ чиселъ оборотовъ въ мин..

Счетчикъ этотъ состоитъ изъ червяка, скрѣпленнаго наглухо съ валомъ машины и сдѣланнаго съ двумя плоскими червячными колесами, расположенными на одной оси другъ надъ другомъ. На одномъ колесѣ 100 зубцовъ, на другомъ 99; неподвижная стрѣлка, прикрѣпленная къ кожуху счетчика, показываетъ единицы и десятки оборотовъ, а стрѣлка, показывающая относительное перемѣщеніе двухъ колесъ,—сотни и тысячи. Счетчикъ этотъ очень простой, абсолютно точный, не ломается и не требуетъ никакого ухода.

Для того, чтобы быстро установить требуемое число оборотовъ и во время работы слѣдить, сохраняется ли установившееся движеніе, мы присоединили еще центробѣжный тахометръ Шефферъ и Буденберга № 18931 съ большимъ циферблатомъ, приводимый въ дѣйствіе при помощи ремня, перекинутого черезъ втулку маховика вмѣсто шкивочка.

Въ виду того, что ремень при большомъ числѣ оборотовъ и маломъ діаметрѣ вѣдомаго шкивочка сильно скользитъ и часто соскакиваетъ, его замѣнили обыкновенной изолировочной лентой, употребляемой при электрическихъ проводкахъ. Результаты получились прекрасные: лента,

прижимаясь къ шкивамъ липкой стороной, не скользитъ и не соскакиваетъ, а въ виду чрезвычайной гибкости и ленты и шивки тахометръ работаетъ очень спокойно.

Тахометръ былъ особенно полезенъ въ случаѣ неисправной работы машины: безъ него нельзя было замѣтить достаточно своевременно грозящую остановку машины, при которой, если не отпустить своевременно тормазъ, послѣдній своимъ рычагомъ при обратномъ поворотѣ шкива вслѣдствіе невозможности маховикамъ преодолѣть сжатіе въ цилиндрѣ ударяетъ окружающихъ и можетъ поломать приборы.

Опредѣленіе числа вспышекъ. Первоначально была мысль приспособить къ машинѣ особый приборъ для отсчитыванія числа вспышекъ, вѣрнѣе числа ходовъ съ подачей керосина. Такой приборъ можно сдѣлать, напр., въ видѣ якорнаго счетчика, который приводится въ дѣйствіе вмѣстѣ съ ныряломъ керосинового насосика и стоитъ при проскакиваніи регулятора мимо этого ныряла, т. е. при каждомъ пропускѣ. Однако неудовлетворительные результаты, полученные нами при предварительныхъ испытаніяхъ якорныхъ счетчиковъ съ малымъ ходомъ при значительномъ числѣ ходовъ въ мин., и небольшая и сравнительно несущественная ошибка, которая, наоборотъ, получается при отсчитываніи на глазъ числа пропусковъ, какъ будетъ подробнѣе сказано ниже, заставили отказаться отъ конструированія особаго прибора.

Правда, въ настоящее время существуетъ уже особые счетчики вспышекъ, приводимые въ дѣйствіе давленіемъ газовъ при вспышкѣ.

Таковъ, напр., приборъ изготовляемый фирмой Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, въ которомъ механизмъ, суммирующий число вспышекъ,—небольшой якорный счетчикъ приводится въ дѣйствіе обыкновеннымъ индикаторнымъ поршенькомъ съ индикаторной же оттяжной пружиной. Пружина вставляется нѣсколько жестче, чѣмъ соответствуетъ давленію сжатія, тогда послѣднее въ случаѣ пропуска, т. е. отсутствія вспышки въ цилиндрѣ не въ состояніи достаточно приподнять поршенькъ и переставитъ цифру. Если вставить болѣе слабую пружину, то приборъ превращается въ обыкновенный счетчикъ ходовъ.

Болѣе интересенъ хотя и ровно вдвое дороже счетчикъ системы Грэхэма, изготовляемый фирмой Шефферъ и Буденбергъ. Въ этомъ приборѣ якорный счетчикъ приводится въ дѣйствіе тоже давленіемъ газовъ при вспышкѣ посредствомъ особаго поршенька, колѣнчатаго рычага и оттяжной пружины. Дѣйствіе таково-же, какъ и предыдущаго. Другая половина прибора, совершенно симметричная только съ болѣе слабой пружиной, обыкновенный счетчикъ ходовъ, пригодимый въ дѣйствіе давленіемъ сжатія.

Отъ приобрѣтенія и установки одного изъ этихъ приборовъ, несмотря на ихъ видимое удобство, насъ удержали слѣдующія соображенія:

1. поставить приборъ на нашу машину было довольно затруднительно, такъ какъ у нея имѣется лишь одно индикаторное отверстіе, ставить же,

такъ назыв., двойной индикаторный кранъ не хотѣлось, такъ какъ при немъ удлиняется каналъ, сообщающій цилиндръ съ индикаторомъ, что отзывается неблагоприятно на точности индикаторныхъ діаграммъ, а, кромѣ того, при постановкѣ такого крана усложнилось бы устройство индикаторнаго привода;

2, приборъ у нашей машины давалъ бы не всегда вѣрные отчеты; такъ, съ одной стороны, преждевременныя вспышки, наблюдаемыя у нея, происходятъ иногда до момента подачи керосина, не распыленного и не успѣвшаго испариться во время предыдущаго хода и потому не сгорѣвшаго тогда; если предыдущая вспышка была особенно сильна, то этотъ ходъ можетъ быть какъ разъ пропускомъ, а приборъ отмѣтитъ его, какъ вспышку, т. е. какъ рабочій; съ другой стороны, на нашихъ индикаторныхъ діаграммахъ нерѣдко наблюдаются обводы съ такимъ запоздалымъ и медленнымъ горѣніемъ, что оно даетъ небольшое давленіе, почти или даже совсѣмъ не прегосходящее давленіе сжатія; такія обводы приборъ, наоборотъ, не будетъ отмѣчать;

3, хотя мы съ этими приборами не работали, но на основаніи нашего опыта съ индикаторами полагаемъ, что продолжительное сообщеніе прибора съ цилиндромъ машины должно вызвать столь сильное нагрѣваніе поршня прибора и стѣнокъ его, что никакая смазка не выдержитъ; поршень при этихъ условіяхъ можетъ легко заѣдать и во всякомъ случаѣ приборъ будетъ пропускать газы и очень быстро изнашиваться;

4, наконецъ, стоимость прибора, даже не принимая въ расчетъ его возможныхъ недостатковъ и неудобствъ, сравнительно очень значительна, особенно, если принять во вниманіе, что пользоваться имъ пришлось бы очень рѣдко въ виду немногочисленности въ настоящее время и продолжающагося уменьшенія числа машинъ, регулируемыхъ пропусками.

Индикаторы. При опытахъ мы пользовались одновременно 3 индикаторами: однимъ для рабочаго цилиндра, вторымъ для воздушнаго насоса и третьимъ для глушителя, стоявшаго въ машинномъ помѣщеніи.

Изъ 16 имѣвшихся въ лабораторіи индикаторовъ самыхъ разнообразныхъ конструкцій и размѣровъ мы остановились послѣ ряда опытовъ на 3 индикаторахъ фирмы Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, какъ самыхъ точныхъ и удобныхъ въ обращеніи. Всѣ 3 индикатора пришлось взять различныхъ конструкцій въ зависимости отъ особенностей ихъ работы.

На рабочемъ цилиндрѣ стоялъ индикаторъ № 7418. малаго размѣра съ наружной холодной пружиной, работающей на растяженіе; этотъ индикаторъ особенно удобенъ въ виду быстроты, съ которой у него можно мѣнять пружину; для этого достаточно отвернуть верхнюю гайку и самое пружину, не разбирая больше никакихъ частей.

О признанныхъ всѣми преимуществахъ наружныхъ холодныхъ пружинъ при работѣ съ машинами внутренняго горѣнія въ настоящее время можно уже и не говорить. Въ лабораторіи имѣется еще и другой индикаторъ.

торъ той же фирмы съ наружной пружиной, но работающей на сжатіе. Для смѣны пружины въ этомъ индикаторѣ надо отвернуть верхнюю гайку и оба конца пружины, т.-е. произвести работу, вѣрнѣе, потратить время въ полтора раза больше. Кромѣ того, пружина, работающая на сжатіе, особенно при такомъ длинномъ передаточномъ механизмѣ, какъ у индикатора съ наружной пружиной, всегда можетъ давать защемленіе поршня отъ перекоса, чего нѣтъ у самоцентрирующей пружины, работающей на растяженіе.

При работѣ индикаторомъ № 7418 мы пользовались поршнемъ съ $d=20$ мм. и пружинами съ $m'=3.5$ и 4 мм. для рабочихъ діаграммъ и $m''=8$ и 10 мм. для періода продувки.

На задней полости, воздушномъ насосѣ, сперва пробовали ставить обыкновенные индикаторы съ $d=20$ мм., но они, имѣя пружину лишь съ $m=30$ мм., давали слишкомъ мелкія діаграммы; индикаторъ же Махайка, имѣющій болѣе слабую пружину съ $m=60$ мм., оказался непригоднымъ вслѣдствіе чрезмѣрнаго тренія поршня. Давленіе, соответствующее тренію въ приборѣ¹⁶⁾, оказалось въ немъ больше разстоянія между верхней и нижней линіей діаграммы!...

Начиная съ опыта № 23 и до конца на воздушномъ насосѣ стоялъ индикаторъ № 7590, съ діаметромъ поршня $d=40$ мм., сконструированный спеціально для воздуходувокъ. Въ виду большой площади поршня онъ даетъ большія ординаты съ сравнительно жесткими пружинами; мы пользовались пружинами съ номинальнымъ $m=15, 20, 25$ и 40 мм., что давало ординаты въ масштабѣ 60, 80, 100 и 160 мм.=1 кгр./см.².

Мы не взяли этого индикатора съ самага начала въ виду опасенія неудовлетворительныхъ результатовъ вслѣдствіе сравнительно большой массы движущихся частей и барабана, особенно, имѣя въ виду наши довольно значительныя числа оборотовъ. Но какъ показали опыты, при надлежащемъ выборѣ индикаторной пружины и натяженія оттяжной пружины барабана, этимъ индикаторомъ можно пользоваться даже при $n > 300$ обор./мин., но, конечно, учитывая при пользованіи діаграммами вліяніе инерціи его частей, какъ будетъ указано ниже.

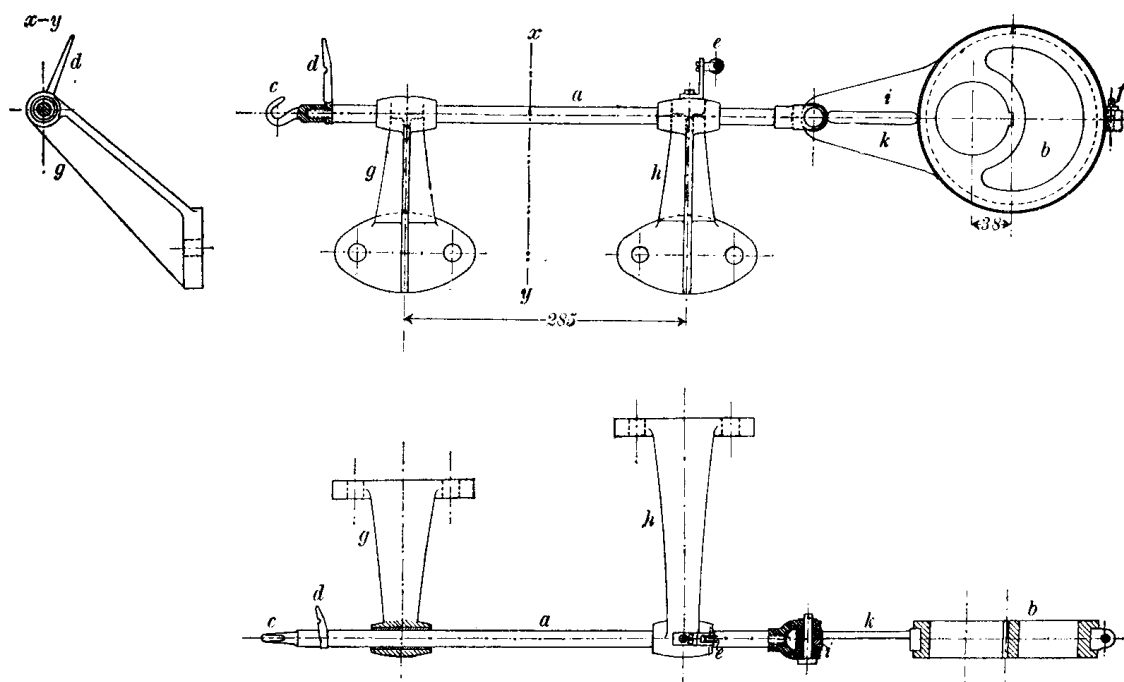
На глушительѣ стоялъ индикаторъ малая модель № 7280 съ внутренней пружиной, такъ какъ діаграммы съ глушителя снимались всего 1 или 2 раза въ теченіе одного опыта, и индикаторъ поэтому не разогрѣвался чрезмѣрно. Пружину для него мы брали всегда съ $m=30$ мм..

Индикаторные приводы. Въ виду большого числа снимаемыхъ діаграммъ было обращено особое вниманіе на конструированіе индикаторныхъ приводовъ.

Приводъ для обыкновенныхъ діаграммъ рабочаго цилиндра и задней полости представленъ на черт. 14—16: это цилиндрической стержень-ползушка a , получающій поступательно-возвратное движеніе съ ходомъ.

¹⁶⁾ В. Л. Малъевъ. Испытаніе индикатора. СПб. 1905 г., стр. 43.

равнымъ 76 мм., отъ эксцентрика *b*, насаженнаго на коренномъ валу. Эксцентриситетъ лежитъ, конечно, въ одной плоскости съ колѣномъ вала. За крючокъ *c* цѣплялась петля отъ шнура индикатора рабочаго цилиндра, а на зубъ *d* накладывалась петля отъ шнура индикатора воздушнаго насоса. Первый индикаторъ сцѣплялся съ приводомъ безъ всякихъ дополнительныхъ роликовъ очень короткимъ шнуромъ, что при большомъ числѣ оборотовъ очень желательно, такъ какъ устраняетъ возможность искаженія диаграммъ вслѣдствіе вытяжки шнура.

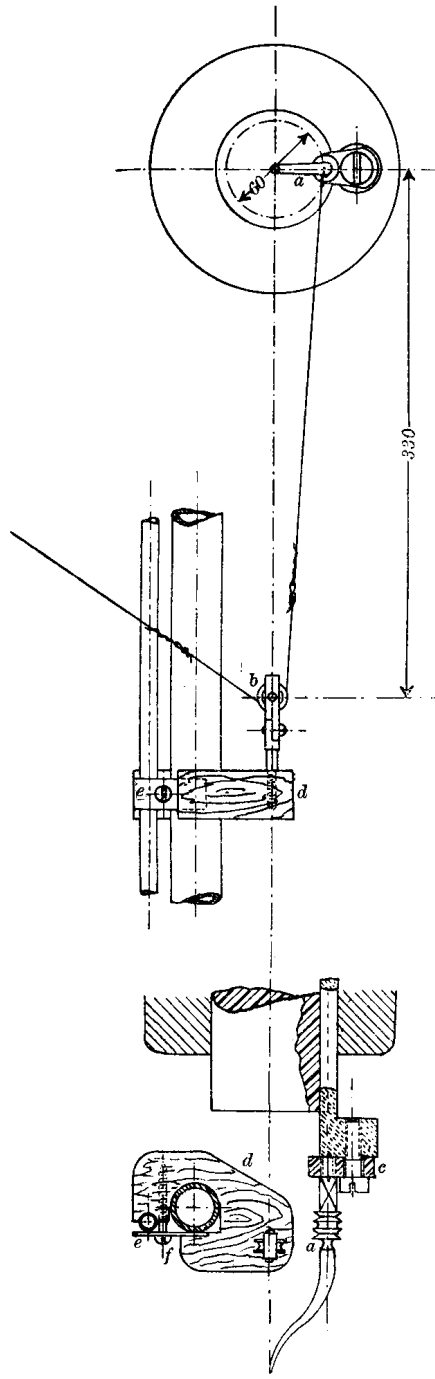


Черт. 14—16.

Индикаторъ воздушнаго насоса сцѣплялся при помощи шнура, длинной около 1000 мм., который для полученія соотв. направленія былъ перекинутъ черезъ промежуточный роликъ *e*. Чтобы по возмoжн. уменьшить вытяжку шнура и въ этомъ приводѣ, плетеный пеньковый шнуръ былъ оставленъ лишь на барабанѣ индикатора да въ средней части, огибающей роликъ, на длинѣ всего около 170 мм., а остальная часть—между индикаторомъ и роликомъ и между роликомъ и концомъ съ крючкомъ была замѣнена желѣзной проволокой съ $d=1,0$ мм., практически не дающей никакого удлиненія.

Для полученія такъ назыв. смѣщенныхъ диаграммъ, т. е. сдвинутыхъ на 90° относительно кривошипа и дающихъ въ растянутомъ масштабѣ абсциссы части диаграммъ, соотвѣтствующія явленіямъ, происходящимъ въ моменты прохожденія поршня черезъ мертвыя точки, служитъ другой приводъ, черт. 17 и 18.

Такъ какъ смѣщенные діаграммы служатъ не для опредѣленія площади діаграммы, а лишь для выясненія нѣкоторыхъ явленій, такъ сказать съ качественной стороны, то приводъ этотъ можетъ и не быть точенъ, т. е.



Черт. 17—18.

точки абсциссъ діаграммы могутъ другъ отъ дружки отстоять и иначе, чѣмъ если бы между ними и путями поршня состояла строгая пропорциональность, но только должны быть извѣстны по возможности точно отношеніе l/r , длины шатуна и радиуса кривошипа привода, а также величина угла α между кривошипами привода и машины, если онъ отличается отъ нормальной для смѣщенныхъ діаграммъ величины $\alpha=90^\circ$. Дѣло въ томъ, что если смѣщенной діаграммой хотятъ воспользоваться для какихъ-либо вычисленій, то ее все равно надо перестроить, взявъ за ось абсциссъ время, или, что то же самое, уголъ поворота коренного вала; для точности построения безразличенъ характеръ кинематической связи между движеніемъ поршня машины и барабаномъ индикатора, лишь бы эта связь была извѣстна.

Въ указанномъ на черт. 17 и 18 приводѣ шпилька a служитъ кривошипомъ, образующимъ уголъ въ 90° съ направленіемъ колѣна коренного вала, а вмѣсто шатуна служитъ часть шнура отъ шпильки a до ролика b ; длина этого шнура переменна и колеблется отъ $l_1=300$ до $l_2=360$ мм. Въ виду этого и отношеніе длины этого шнура къ радиусу вращенія кривошипка a не только не равно величинѣ L/R машины, но еще и мѣняется, именно отъ 10 до 12.

Особенность шпильки, состоящая въ томъ, что конецъ ея плавнымъ переходомъ отогнутъ къ оси вала, необходима въ виду быстроты

машины; зацѣпить крючокъ за обыкновенный кривошипникъ при $n > 200$ обор./мин. почти невозможно, тогда какъ на такую шпильку, у которой конецъ стоитъ неподвижно, прямо надѣвается кольцо, привязанное къ концу шнура и само сѣзжающее на мѣсто, т. е. на выточку на шпилькѣ.

Въ описанномъ приводѣ, какъ выше, изъ плетенаго шнура сдѣлана только часть привода, около 90 мм. длиной, перекинутая черезъ роликъ *b*. остальные два куска образованы изъ желѣзной проволоки съ $d=1,0$ мм..

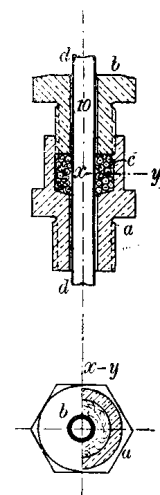
Здѣсь умѣстно упомянуть, что соединеніе петель на концѣ шнура индикатора съ концами проволоки въ случаѣ необходимости часто сцѣплять и отцѣплять ихъ оказалось удобнѣе производить не при помощи обычнаго индикаторнаго крючка, а при помощи петли же, образованной концомъ проволоки. Конецъ проволоки, перегнутый назадъ и скрученный съ самой проволокой по винтовой, неособенно крутой линіи, развертывается отъ руки, вкладывается петля изъ шнура, и конецъ опять отъ руки же свертывается по старымъ виткамъ. Такой замокъ очень надеженъ, быстро соединяется и разъединяется и почти не увеличиваетъ массы движущихся частей.

Далѣе отъ этого же смѣщеннаго привода приводился въ дѣйствіе и индикаторъ на глушительъ. Его шнуръ, длиной около 3200 мм., былъ образованъ, конечно, изъ той же желѣзной проволоки съ такимъ же замкомъ-петлей на концѣ.

Измѣреніе давленій. Давленіе, вѣриѣе, разрѣженіе воздуха въ колѣнѣ между часами и регуляторомъ давленія и въ воздушномъ сосудѣ *c*, черт. 8, измѣрялось при помощи U-образныхъ водяныхъ манометровъ, а въ случаѣ нагнетанія воздуха въ сосудъ *c* посредствомъ воздуходувки давленіе его измѣрялось при помощи такого же U-образнаго манометра, но съ болѣе длинными, до 400 мм., колѣнами, и наполненнаго ртутью.

Давленіе атмосферы измѣрялось при помощи ртутнаго барометра съ дѣленіями въ 0,5 мм..

Измѣреніе температуръ. Температура продуктовъ горѣнія измѣрялась при помощи термоэлемента, составленнаго изъ серебряной и константановой проволоки, діаметромъ въ 0,5 мм.. Для изоляціи проволокъ другъ отъ дружки на серебряную проволоку была надѣта тонкая стеклянная трубка. Термоэлементъ былъ вставленъ въ стеклянную трубку, запаивную съ одного конца и зажатую въ сальникъ *a*, черт. 19 и 20, при помощи набивки изъ азбестоваго шнура *c*; трубка эта была настолько вдвинута въ выпускную трубу, что упирающійся въ ея запаиванный конецъ спай терморпары приходился примѣрно въ центрѣ выпускной трубы. Два другихъ, такъ назыв. холодныхъ спая погружались въ сосудъ съ водой, температура которой измѣрялась особымъ ртутнымъ термометромъ и прибавлялась къ показанію милливольтметра.



Черт. 10 и 20.

Милливольтметръ употреблялся прецизионный, системы д'Арсонвали отъ фирмы Сименсъ и Гальске № 062479, съ двумя рядомъ расположенными шкалами дѣленій—въ милливольтахъ и °Ц. Эта температурная шкала имѣеть дѣленія въ 5°, но на глазъ можно дѣлать отчеты съ точностью до 1°.

Чтобы термоэлементъ показывалъ не преуменьшенную температуру продукта горѣнія, онъ былъ вставленъ въ выпускную трубу у самаго присоединенія ея къ цилиндру машины; кромѣ того, вся выпускная труба внутри машиннаго помѣщенія обмазана дѣймовымъ слоемъ азбестита.

Въ виду бывавшихъ случаевъ короткаго, хотя и неполнаго замыканія въ цѣпи термоэлемента, при чемъ послѣдній показываетъ на 100—150° меньше истинной температуры, въ выпускную трубу былъ всернуть еще желѣзный штуцеръ, въ который вставлялся ртутный термометръ съ дѣленіями до 450°. Этотъ контрольный термометръ обычно показывалъ, разумѣется, меньше показаній, полученныхъ при помощи термоэлемента, съ одной стороны, вслѣдствіе вліянія выступающаго столбика ртути, съ другой, въ виду того, что соприкосновеніе между шарикомъ термометра и штуцеромъ было неособенно тѣсно, такъ какъ вслѣдствіе высокой температуры въ штуцеръ нельзя было наливать ни ртути, ни минеральнаго масла, наполнять же его оловомъ, плавящимся уже при 232° Ц., не хотѣлось, въ виду возможности, напр., въ случаѣ неожиданной остановки машины, забыть вынуть термометръ, который при остываніи и затвердѣваніи олова можетъ пострадать. Когда же иногда показанія ртутнаго термометра оказывались выше показаній термоэлемента, это значило, что въ послѣднемъ получилось короткое замыканіе, его тотчасъ разыскивали и устранили.

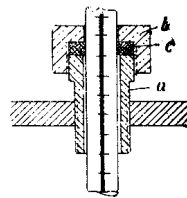
Въ заключеніе можно еще упомянуть, что ради того, чтобы по возможности падить милливольтметръ, токъ черезъ него пускался только во время отчета, для чего одинъ изъ проводниковъ былъ разрѣзанъ, и включенъ особый замыкатель. Замыкатель этотъ состоялъ изъ стеклянной баночки, въ которую была налита ртуть, и погруженъ одинъ конецъ проводника, другой былъ прикрѣпленъ къ стеклянной трубчкѣ-ручкѣ и опускался въ ртуть на моментъ отчета.

Отчеты всѣхъ остальныхъ температуръ дѣлались при помощи ртутныхъ термометровъ; послѣдніе были взяты лучшаго сорта изъ іенскаго боросиликатнаго стекла 59^{'''} отъ фирмы Арно Гаакъ въ Іенѣ.

Чтобы показанія термометровъ возможно менѣе отставали отъ истинной температуры, всѣ термометры находились въ непосредственномъ соприкосновеніи съ соотв. средой. Термометры, которыми измѣрялась температура воздуха въ насосѣ и каналѣ, ведущемъ въ цилиндръ, были, въ виду незначительности давленія воздуха, вставлены прямо при помощи резиновыхъ пробокъ съ отверстіемъ. Термометры для охлаждающей воды были вставлены при помощи зажимовъ по черт. 21: с резиновое кольцо, и дающее требуемую плотность и одновременно удерживающее

термометръ отъ выдавливанія его напоромъ воды. На трубѣ съ горячей водой термометръ расположенъ возможно близко къ цилиндру, и, кромѣ того, труба обмазана полудюймовымъ слоемъ азбестита.

Труба эта имѣетъ всего $\frac{3}{4}$ " въ діаметрѣ и идетъ вертикально, патрубочекъ же *a*, черт. 21, впаянъ наклонно, образуя съ вертикалью уголъ около 40° . Благодаря этому въ горячей водѣ находится не только весь шарикъ съ ртутью, но и нижняя часть термометра, чѣмъ уменьшается величина поправки на выступающій столбикъ ртути.



Черт. 21.

Измѣреніе расхода керосина и вбрызгиваемой воды. Расходъ керосина измѣрялся непосредственнымъ взвѣшиваніемъ на столовыхъ десятичныхъ вѣсахъ подъемной силы въ 25 кгр., показывающихъ съ точностью до 0,005 кгр., что при расходѣ въ 1,3 до 2,5 кгр. даетъ точность болѣе чѣмъ $\pm 0,4\%$. Для измѣренія расхода керосина стѣнной бачекъ, изъ котораго керосинъ идетъ въ насосъ, снабженъ указательнымъ стекломъ, внизу сообщающимся съ бачкомъ, а вверху открытымъ; въ это стекло была вставлена довольно туго спиралька, слитая изъ желѣзной проволоки; нижній конецъ проволоки былъ заостренъ. При пониженіи уровня керосина во время работы машины моментъ прохожденія уровня мимо острія очень легко наблюдать съ большой точностью, такъ какъ керосинъ смачиваетъ проголку, и обрывъ прилипнувшей капли съ острія виденъ очень ясно. Чтобы уменьшить ошибку въ опредѣленіи расхода керосина, сѣченіе бака сдѣлано нарочно по возможности небольшимъ, всего 180×180 мм., такъ что получасовому расходу керосина при опытахъ соответствовалъ столбъ керосина въ 50 до 100 мм.. Въ виду этого случайныя неточности въ отчетѣ моментовъ отрыва острія, которыя могутъ соответствовать лишь небольшимъ долямъ мм., никакъ не болѣе 0,5 мм., не могутъ дать ошибки въ расходѣ керосина болѣе 1%.

Для опредѣленія расхода вбрызгиваемой воды въ сосудъ, изъ котораго вода шла въ цилиндръ, была тоже вставлена проволока съ остриемъ, но въ этомъ случаѣ острие торчало вверхъ, близъ верхней кромки сосуда, и отмѣчался моментъ появленія острія.

Измѣреніе расхода охлаждающей воды. Количество охлаждающей воды опредѣлялось непосредственнымъ взвѣшиваніемъ ея на десятичныхъ вѣсахъ подъемной силы въ 250 кгр., дающихъ отчеты съ точностью до 0,05 кгр.. На вѣсахъ стоялъ желѣзный клепанный бакъ *m*, черт. 8, емкостью въ 230 лтр., вода вливалась въ него свободной струей изъ пенъковаго рукава, который былъ надѣтъ на конецъ выпускной трубы. Труба эта идетъ отъ цилиндра машины вверхъ, затѣмъ на высотѣ немного выше роста человѣка труба горизонтально переходитъ на стѣну и оканчивается опущеннымъ книзу отводомъ. Въ моменты взвѣшиванія бака и вообще, когда воду не надо улавливать, конецъ пенъковаго рукава вынимается изъ-за кромки бака и виситъ тогда надъ раковиной *l*, черт. 8, вдѣланной

прямо въ полъ. Туда же выпускается вода и изъ бака *m* черезъ придѣланный у самаго дна его 2-дюймовый патрубокъ съ краномъ.

Опредѣленіе расхода масла. Расходъ масла опредѣлялся только цилиндрическаго. При первыхъ опытахъ, когда смазка поступала изъ капельной масленки, расходъ опредѣлялся непосредственнымъ взвѣшиваніемъ до и послѣ опыта жестянки, изъ которой подливалось масло; при остальныхъ опытахъ, когда смазка производилась при помощи прибора Мальрупа, расходъ масла вычислялся по объему, вытѣсненному поршнемъ прибора, въ зависимости отъ числа зубцовъ, на которое поворачивался при помощи храповика червякъ прибора.

Поворотъ на 1 зубецъ при 100 обор./мин. машины соотвѣтствуетъ подачѣ масла въ 0,0064 кгр./час.. Такъ какъ наименьшій возможный поворотъ у насъ равнялся 3 зубцамъ, а наибольшій 7, то считая предѣлы чисель оборотовъ 190 и 360, получаемъ наименьшую подачу 0,037, а наибольшую 0,163 кгр./час.. Съ другой стороны, принимая во вниманіе, что изъ количества масла, поданнаго въ цилиндръ, можетъ сгорѣть не болѣе $\frac{1}{3}$, а остальные $\frac{2}{3}$ попадаютъ въ заднюю полость, какъ это мы неоднократно наблюдали во время опытовъ, мы получаемъ, что при среднемъ часовомъ расходѣ керосина около 2,6 кгр. при $n=190$ или 4,8 кгр. при $n=360$, количество сгорающаго въ цилиндрѣ масла составляетъ примѣрно 0,5 до 1,5% по сравненію съ расходомъ керосина, т. е. величину, которой можно вполне пренебречь.

7. Взятіе пробъ отработавшихъ газовъ.— Для большинства опытовъ пробы для газоваго анализа брались исключительно изъ глушителя *b*, черт. 8, гдѣ перебалтываніе газовъ вслѣдствіе періодическихъ толчковъ, можно считать, даетъ достаточно равномерную смѣсь, близкую къ среднему составу.

Пробы забирались при помощи евернутой въ крышку глушителя газовой трубки, длиной около 300 мм., и прикрѣпленнаго къ ея концу обыкновеннаго, хорошо притертаго газоваго краника въ аспираторы обычнаго типа, составленные изъ пары стеклянныхъ сосудовъ, емкостью отъ 1 до 15 лтр., съ тубулусами вверху и у дна.

Въ виду возникавшаго сомнѣнія, соотвѣтствуетъ ли составъ продуктовъ горѣнія, взятыхъ изъ глушителя, въ случаѣ содержанія не сгорѣвшихъ частицъ составу продуктовъ горѣнія при выходѣ ихъ изъ цилиндра машины, и не происходитъ ли на пути до глушителя и въ самомъ глушителѣ догораніе, измѣняющее, конечно, составъ продуктовъ горѣнія, при нѣкоторыхъ опытахъ брали пробы еще у самаго начала выпускной трубы.

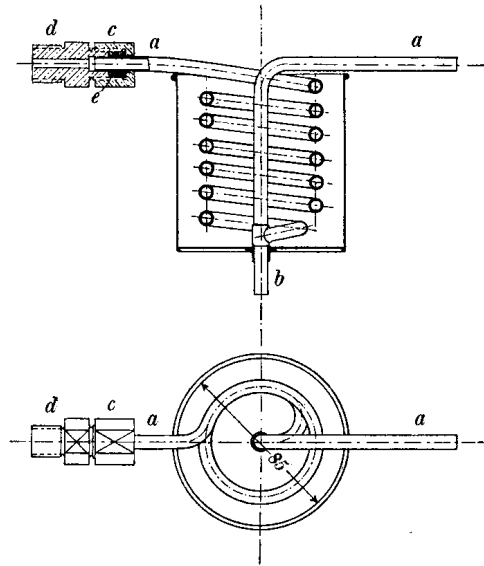
Чтобы устранить возможность догоранія трубка *a*, черт. 22 и 23, по которой бралась проба, свернута спиралью и погружена въ жестяной сосудъ, въ который притекала охлаждающая вода; въ нижней точкѣ спирали сдѣланъ для спуска воды, конденсирующей изъ продуктовъ горѣнія, патрубокъ *b*, который закрывается резиновой трубкой съ стеклянной пробкой. Описанный приборчикъ присоединяется къ штуцеру

на выпускной трубѣ при помощи накидной гайки *c*; ради простоты да и большей надежности въ смыслѣ плотности другой конецъ трубки *a* вмѣсто крана снабженъ резиновой трубкой съ зажимомъ.

Дифференціаторъ. Наибольшій интересъ представляетъ приборъ, который былъ сконструированъ авторомъ съ цѣлью забирать отдѣльно пробы выпускаемыхъ отработавшихъ газовъ въ различные послѣдовательные моменты выпуска. При помощи этого прибора предстояло выяснитъ явленіе продувки, т. е. насколько сжатый воздухъ дѣйствительно вытѣсняетъ продукты горѣнія или, быть можетъ, перемѣшивается съ ними и самъ въ значительной мѣрѣ тутъ же вылетаетъ.

Приборъ этотъ будемъ въ дальнѣйшемъ называть дифференціаторомъ, такъ какъ его назначеніе разбивать струю выходящихъ газовъ на нѣсколько отдѣльныхъ струй, соответствующихъ послѣдовательнымъ моментамъ выпуска.

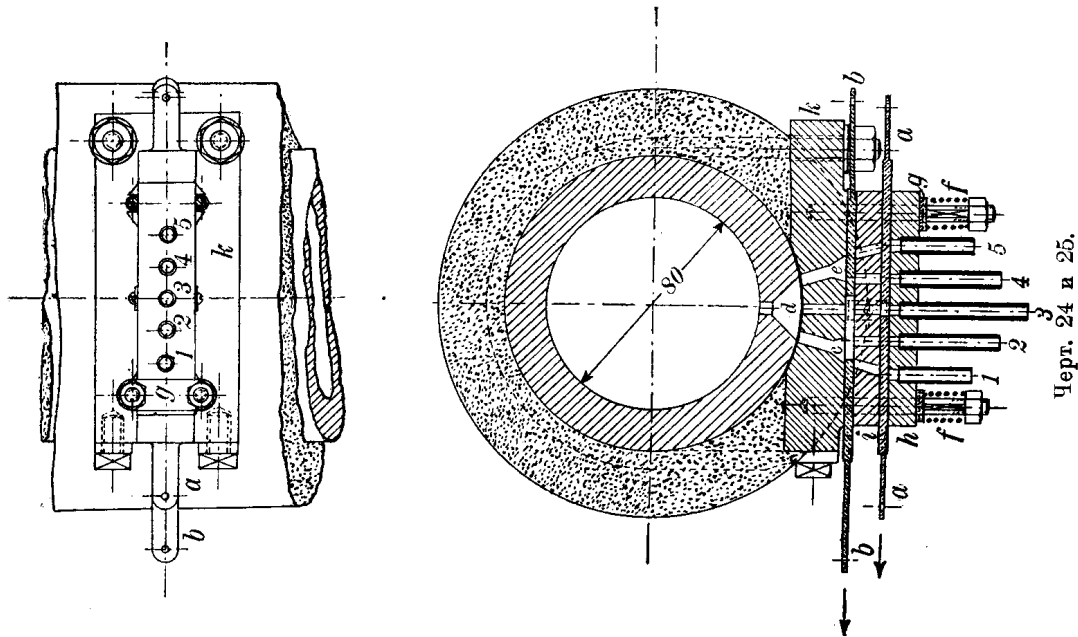
Идея этого прибора состоитъ въ томъ, чтобы въ самомъ началѣ выпускной трубы сдѣлать рядъ отверстій и открывать ихъ на мгновеніе въ слѣдующіе моменты: первое отверстіе—въ началѣ выпуска, затѣмъ второе, третье и т. д. и послѣднее передъ самымъ прекращеніемъ выпуска. Проще всего такое послѣдовательное открываніе и закрываніе можно получить, двигая золотникъ съ небольшимъ отверстіемъ передъ рядомъ оконъ, сообщающихся съ выпускной трубой. Такъ какъ продувка происходитъ около мертвой точки, то движеніе этому золотнику надо сообщать отъ привода на подобіе привода для снятія смѣщенныхъ диаграммъ. Однако ограничиться однимъ золотникомъ нельзя, такъ какъ при обратномъ движеніи онъ будетъ открывать окна во второй разъ и тѣмъ сообщать аспираторы, забирающіе пробы, съ выпускной трубой въ нѣкоторые другіе моменты, когда выпускная труба разобщена отъ рабочаго цилиндра и заполнена продуктами горѣнія, соответствующими концу выпуска. Чтобы этого не произошло, надо принять мѣры, чтобы ко времени обратнаго движенія золотника окна были закрыты, т. е. надо поставить между первымъ золотникомъ и трубой еще второй золотникъ, который будетъ играть роль отсѣчнаго и двигаться, нѣсколько опережая первый; тогда, имѣя вмѣсто отверстія узкую, продолговатую прорѣзь, онъ несмотря на опереженіе будетъ при прямомъ ходѣ оставлять от-



Черт. 22 и 23.

верстия открытыми, а при обратномъ держать закрытыми какъ разъ тѣ, противъ которыхъ въ данный моментъ находится отверстіе основного золотника.

Этотъ дифференціаторъ представленъ на черт. 24 и 25: *a* основной золотникъ, *b* отсѣчный, оба изъ лагуни; 1, 2, 3, 4 и 5 мѣдныя трубки, въ порядкѣ ихъ открыванія, на которыя надѣваются резиновые трубки, сообщающія ихъ съ аспираторами.



Черт. 24 и 25.

При конструированіи дифференціатора имѣлись въ виду слѣдующія основныя требованія:

1, возможная герметичность золотниковъ, т.е. разобщеніе отдѣльныхъ каналовъ, какъ отъ наружной атмосферы, такъ равно и другъ отъ друга;

2, возможно малая емкость каналовъ, особенно сообщающихся съ разными отгертями, т.е. каналовъ *c*, *d*, и *e* и выемокъ въ золотникахъ;

3, принужденное, строго опредѣленное движеніе обоихъ золотниковъ.

Для удовлетворенія требованія 1 всѣ 8 трущихся поверхностей на золотникахъ и зеркалахъ были тщательно пришабрены и впоследствии при производствѣ опытовъ отъ времени до времени снова проверялись и пришабривались. Чтобы каналы не сообщались другъ съ другомъ, отверстія на переднемъ зеркалѣ были разставлены достаточно широко. Затѣмъ всѣ 5 пластинокъ, 3 неподвижныхъ и 2 золотника, все время прижимались другъ къ другѣ посредствомъ 4 спиральныхъ пружинъ.

жинокъ f . Чтобы нажатіе было возможно равномернo, пружинки эти давятъ не непосредственно, а черезъ пластинки g , выступъ на которыхъ давить на чугуинку h въ средней плоскости.

Затѣмъ, наконецъ, трущіяся поверхности смазывались. Сперва съ виду высокой температуры до 200—300°, которую принимаетъ приборъ во время работы, въ качествѣ смазки хотѣли взять цилиндрическое масло, но оно оказалось слишкомъ густымъ, давало слишкомъ большое сопротивленіе движенію золотниковъ. Послѣ ряда пробъ мы остановились на смазкѣ графитомъ; поверхности еле смазывались вазелиновымъ масломъ и затѣмъ посыпались едва замѣтнымъ слоемъ мельчайшаго графита.

Для удовлетворенія требованія 2 всѣ каналы были сдѣланы минимальныхъ размѣровъ: діаметромъ всего въ 4 мм.; дѣлать ихъ еще меньше нельзя было изъ опасенія слишкомъ увеличить сопротивленіе подачи газовъ; длины каналовъ тоже были сдѣланы возможно небольшія.

Наконецъ, для удовлетворенія требованія 3 нужно было, имѣя въ виду, что приводъ приходится дѣлать изъ шнура, по возможности уменьшить сопротивленія движенія золотниковъ и длину шнура, неизбежно дающаго нѣкоторую вытяжку.

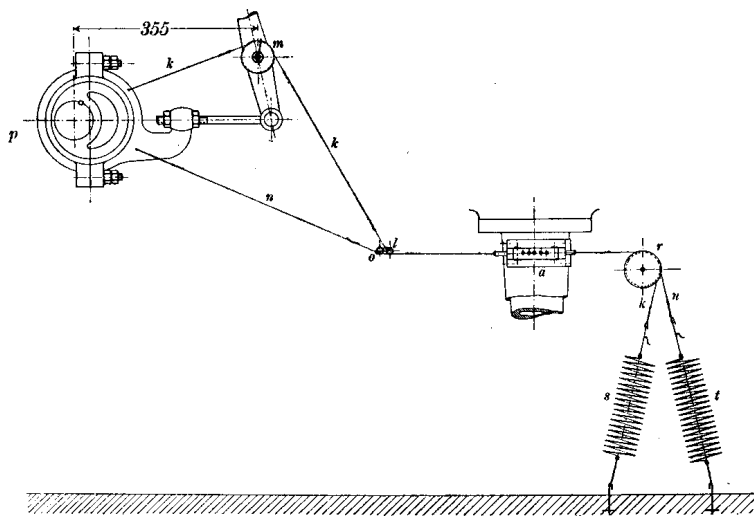
Сопротивленія движенію можно разбить на двѣ группы—одни, зависящія отъ скорости, т.-е. числа оборотовъ машины, другія, отъ скорости не зависящія.

Первыя—это инерція движущихся массъ. Ея уменьшеніе было достигнуто возможнымъ уменьшеніемъ размѣровъ золотниковъ. Имѣлось въ виду въ крайнемъ случаѣ сдѣлать ихъ даже изъ алюминія, если бы мѣдные оказались слишкомъ тяжелы, но практика показала, что это лишнее. Сами же по себѣ алюминиевые золотники казались нежелательными съ виду легкаго задиранія ихъ, особенно при высокой температурѣ.

Что касается сопротивленій, не зависящихъ отъ скорости, то они происходятъ отъ силы нажатія пружиннокъ f и вязкости смазки. Практика показала, что хорошо пришабренные поверхности почти не нуждаются въ нажатіи, поэтому послѣ первыхъ же опытовъ пружинки были замѣнены болѣе мягкими, еле подтянутыми; при желаніи нажатіе ихъ можно было регулировать при помощи гаекъ i .

Чтобы выяснитъ вліяніе смазки, а также и нажатія, мы измѣряли по секундомѣру время, потребное для перемѣщенія золотника изъ одного крайняго положенія въ другое подъ дѣйствіемъ постоянной силы—гири въ 2 кгр., привязанной къ шнуру, перекинутому черезъ блокъ. При смазкѣ цилиндрическимъ масломъ время это въ зависимости отъ нажатія пружиннокъ колебалось отъ 6,8 до 18,4 сек.; при смазкѣ графитомъ съ вазелиновымъ масломъ и слабымъ нажатіи оно составляло лишь 3—4 сек.; при смазкѣ однимъ графитомъ, сухой пылью, время это было такъ мало, что его нельзя было измѣрить по секундомѣру.

Что касается самого приведенія въ движеніе золотниковъ, то оно представлено на черт. 26: впередъ золотники двигаются, увлекаемые— основной a шнуромъ h , перекинутымъ черезъ ролики l и m , отсѣчный r —шнуромъ n , перекинутымъ черезъ роликъ o . Ролики были взяты отъ индикаторовъ, чтобы легко давать имъ установку въ двухъ плоскостяхъ, такъ какъ, какъ видно, напр., по фотографіи черт. 27, плоскости, въ которыхъ движутся золотники, образуютъ нѣкоторый уголъ съ плоскостью, въ которой находятся части шнуровъ отъ эксцентрика p до роликовъ m и o .



Черт. 26.

Эксцентрикъ p , служащій собственно для приведенія въ дѣйствіе керосиноваго насосика, отстаетъ отъ кривошипа коренного вала на уголъ 75° . Уголъ, образуемый направлениемъ верхней части шнурка k съ горизонтальною, составляетъ около 15° ; такимъ образомъ движеніе золотника a происходитъ какъ бы отъ кривошипа, составляющаго 90° съ кривошипомъ вала машины. Уголъ между направлениемъ шнуровъ k и n составляетъ около 45° ; на эту величину отсѣчный золотникъ опережаетъ основной. Такимъ образомъ, пользуясь всего 3 роликами, можно сравнительно просто отъ одного эксцентрика получить требуемыя различныя движенія обоихъ золотниковъ.

Само собой разумѣется, что чтобы движеніе золотниковъ и при большомъ числѣ оборотовъ оставалось то же, что при медленномъ вращеніи, пригоды сдѣланы изъ желѣзной проволоки и шнуры вставлены лишь въ мѣстахъ огибанія роликовъ.

Обратная оттяжка золотниковъ производится при помощи пружинъ s и t . Расчетъ этихъ пружинъ представлялъ извѣстныя затрудненія: съ одной стороны, пружины должны быть достаточно сильны, чтобы, преодолевая инерцію золотниковъ, держать шнуры n и k всегда туго натя-

нутыми, съ другой, при излишней силѣ пружинъ напрасно будетъ увеличиваться вытяжка шнуровъ, и даже можетъ произойти ихъ обрывъ.

Пружины эти мы рассчитали сперва теоретически слѣдующимъ образомъ: пусть масса золотника m , при чемъ съ достаточной точностью можно считать $m=0,1$ г, гдѣ g вѣсъ золотника въ кгр.; путь, на который золотникъ долженъ быть подвинутъ при сообщеніи ускоренія, т.-е. половина его хода h , а время одного полухода t ; тогда силу P оттяжной пружины можно найти изъ уравненія:

$$P > \frac{2mh}{t^2} = \frac{0,2 Gh}{t^2}. \quad (1)$$

У нашихъ золотниковъ при непосредственномъ взвѣшиваніи оказался вѣсъ основного $g_1=0,081$ кгр., вѣсъ отсѣчнаго $g_2=0,071$ кгр.; $h=0,03$ мт.. При $n=360$ находимъ $t=0,041$ сек.. Такимъ образомъ получаемъ:

$$P_1 > 0,35 \text{ кгр.}$$

Если на треніе прибавить даже 100%, то и тогда получаемъ необходимую силу всего около 0,7 кгр..

Однако практика показала, что хорошо приборъ работаетъ лишь съ пружинами, дающими натяженіе въ среднемъ около 2 кгр..

Въ виду довольно значительнаго h мы взяли довольно большое число витковъ у пружинъ, до 40, чтобы напряженіе, убывающее по мѣрѣ возвращенія золотниковъ въ начальное, правое положеніе, не мѣнялось слишкомъ значительно. Впрочемъ въ данномъ случаѣ убыль натяженія еще допустима, такъ какъ наибольшую работу пружины совершаютъ во время первой половины обратнаго движенія золотниковъ.

Въ заключеніе можно отмѣтить, что несмотря на отсутствіе опытныхъ данныхъ для постройки такого прибора, какъ нашъ дифференціаторъ, его конструкція, тщательно продуманная и по возможности рассчитанная заранее, сразу же оказалась вполне удовлетворительной и не потребовала никакихъ передѣлокъ. Единственно, что не наладилось сразу,—это приводъ; сперва его сдѣлали весь изъ обычнаго индикаторнаго шнура,—онъ страшно вытягивался; оставили шнуръ лишь на роликахъ,—стали рваться; пытались замѣнить шнуръ гибкимъ электрическимъ проводникомъ, составленнымъ изъ тончайшихъ проволокъ,—и несмотря на замѣну металлическихъ блочковъ деревянными съ большимъ діаметромъ, около 60 мм., отъ большого числа перегибовъ проволоки очень быстро лопались.

Уже почти потерявъ надежду наладить приборъ, по крайней мѣрѣ для значительнаго числа оборотовъ, мы прибѣгли къ послѣднему средству—заказали за границей отъ фирмы Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ индикаторный шнуръ вдвое толще нормальнаго, т.-е. вчетверо прочнѣе. Оказалось, что фирма имѣетъ такой шнуръ готовый и тотчасъ же его выслала.

Первая же проба съ приводомъ, составленнымъ изъ проволоки съ новымъ толстымъ шнуромъ на роликахъ, дала прекрасные результаты. Приводъ не вытягивается, и шнуръ стоитъ довольно долго. Впрочемъ, чтобы ни золотники дифференціатора не срабатывались напрасно, ни шнуръ не перетирался, приборъ приводился въ дѣйствіе при каждомъ опытѣ на возможно короткое время; остальное время онъ стоялъ неподвижно, для чего достаточно отцѣпить пружины s и t .

Внѣшній видъ нашего дифференціатора вмѣстѣ со всѣми его приводами виденъ на фотографіи черт. 27, таблица III.

Для характеристики дѣйствія дифференціатора въ таблицѣ 1 приведены моменты открытія и закрытія отдѣльныхъ отверстій, полученные при непосредственномъ измѣреніи. Въ слѣдующихъ столбцахъ указаны

Таблица 1.

№ отверстия.	углы поворота кривошипа			% пути поршня		продолжит. открытія при $n=340$ въ сек.
	открытіе	закрытіе	продолж. открытія	открытіе	закрытіе	
1	- 69°	- 47°	22°	36,4	18,4	0,011
2	- 37	- 16	21	11,7	2,3	0,010
3	- 9	+ 10	19	0,6	0,8	0,009
4	+ 23	+ 48	25	4,6	19,1	0,012
5	+ 22	+ 87	25	30,3	52,8	0,012

эти же моменты, перечисленные на пути поршня въ ‰, а въ послѣднемъ столбцѣ указана продолжительность открытія соотв. отверстій въ доляхъ сек.. Какъ видимъ, время открытія при $n=340$ составляетъ всего лишь около 0,01", возрастаая при наименьшемъ числѣ оборотовъ $n=190$, примѣрно до 0,02".

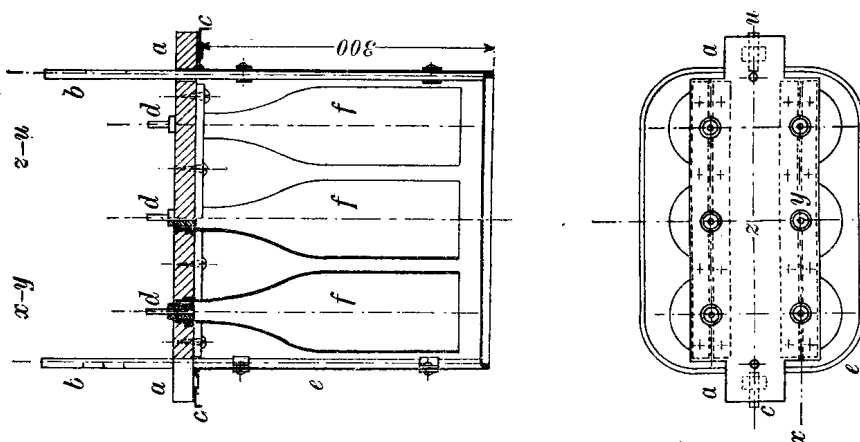
Конечно, указанные въ таблицѣ 1 величины надо считать лишь за среднія. Неизбѣжное измѣненіе длины привода при смѣнѣ изнашиваемого шнура смѣщаетъ моменты открытія и закрытія; при этомъ смѣщенія эти для средняго отверстия 3 очень малы, для отверстій 2 и 4 составляютъ $\pm 5^\circ$ противъ величинъ, указанныхъ въ таблицѣ 1, для отверстій 1 и 5 уже $\pm 10^\circ$.

Аспираторъ. Въ заключеніе остается еще сказать нѣсколько словъ объ аспираторѣ, примѣнявшемся для забора газа при помощи дифференціатора.

Въ виду тѣсноты и неудобства обращенія съ нѣсколькими аспираторами обычнаго, указаннаго выше типа подъ горячимъ цилиндромъ машины, былъ сконструированъ особый приборъ, черт. 28 и 29: это шесть бутылокъ изъ бѣлаго стекла съ отрѣзанными доньянками, прикрѣпленные всѣ къ рамкѣ a , при помощи которой ихъ можно поднимать и опускать, закрѣпляя на стойкахъ b посредствомъ защелокъ c на желаемой вы-

сотѣ. Бутылки закрыты сверху резиновыми пробками, сквозь которыя пропущены стеклянныя трубки *d* для всасыванія газа; на трубки *d* надѣваются резиновыя трубки, при помощи которыхъ отдѣльныя склянки аспиратора соединяются съ патрубками у отверстій дифференціатора.

Чтобы ящикъ *c*, въ которомъ находится запорная жидкость, у насъ вода, насыщенная поваренной солью, не ржавѣлъ, онъ сдѣланъ изъ оцинкованнаго желѣза и выкрашенъ масляной краской. Передъ забираемъ газъ рамка *a* поднимается въ верхнее положеніе, по резиновымъ трубкамъ присасывается вода такъ, чтобы въ склянкахъ совѣтъ не оставалось воздуха, и трубки зажимаются зажимами. Получающійся столбъ воды въ 70—100 мм. высотой даетъ разрѣженіе для засасыванія продуктовъ горѣнія, которые, вообще говоря, гырываются изъ цилиндра подъ нѣкоторымъ, иногда довольно значительнымъ давленіемъ.



При забираиіи пробъ къ дифференціатору присоединяли обыкновенно 3 склянки, къ отверстіямъ 3, 4 и 5; изъ отверстія 2, въ которомъ часто не только не бывало своего давленія, но даже наблюдалось разрѣженіе, пробу забирали обычнымъ аспираторомъ изъ двухъ отдѣльныхъ склянокъ, дающимъ большее разрѣженіе. Отверстіемъ 1, которое закрывается, какъ оказалось впоследствии послѣ измѣреній согласно таблицы 1, почти что до начала выпуска, обыкновенно совѣтъ не пользовались.

Чтобы перегонять гзятія пробы въ бюретки для анализа, рамку *a* опускаютъ, и газъ въ склянкахъ оказывается подъ достаточнымъ давленіемъ.

Предварительные опыты.

8. Поглощеніе газовъ жидкостями.— Всякій, кому приходилось дѣлать анализъ продуктовъ горѣнія, будь то изъ борова парового котла или изъ цилиндра машины внутренняго горѣнія, знаетъ, насколько различные результаты получаются въ зависимости отъ того, сдѣланъ ли анализъ тотчасъ послѣ взятія пробы или спустя нѣсколько часовъ, а также отъ того, находилась ли въ аспираторѣ, при помощи котораго забиралась проба, вода, работавшая продолжительное время, или свѣжая. Однимъ словомъ вода, которой обычно наполняются аспираторы, поглощаетъ газы, но не въ одинаковой мѣрѣ: одни, какъ CO_2 , больше, другіе, какъ O_2 и N_2 , меньше. Если имѣется смѣсь газовъ, то вслѣдствіе неодинаковаго поглощенія отдѣльныхъ составныхъ частей, составъ смѣси въ % мѣняется и часто очень существенно.

Такъ какъ при нашихъ опытахъ предстояло забирать очень большое число пробъ, анализированіе которыхъ должно было требовать много времени, а кромѣ того, одинъ изъ примѣнявшихся нами способовъ анализа, посредствомъ сожженія, требовалъ продолжительнаго нахождения продуктовъ горѣнія въ аспираторѣ, то мы, стремясь къ возможной точности и имѣя въ виду особенно большое значеніе газоваго анализа въ предстоящихъ опытахъ, заранѣе задались цѣлью принять мѣры къ уменьшенію, если не устраниенію поглощенія газомъ запорной жидкостью.

Какъ это ни странно, но вопросъ этотъ въ соотв. руководствахъ или совѣтѣмъ не затрагивается, или говорится лишь, что надо пользоваться аспираторомъ, наполненнымъ водой, насыщенною газомъ примѣрно того же состава, что забираемая проба. Однако, это указаніе очень неопредѣленно: съ одной стороны, поглощительная способность воды зависитъ очень сильно отъ ея температуры и давленія газа, съ другой, надо принимать особыя мѣры, чтобы вода оказывалась вполне насыщенною газомъ. Кромѣ того, достаточно засосать въ аспираторъ, въ которомъ находится вода, вполне насыщенную газомъ опредѣленнаго состава, газъ другого состава, какъ вода вслѣдствіе измѣненія парціальныхъ давленій начнетъ дѣйствовать на новый газъ, поглощая тѣ изъ составныхъ частей его, которыя имѣютъ большее пропорціональное давленіе, чѣмъ въ прежней газовой смѣси, и, наоборотъ, выдѣляя газы, которыхъ содержаніе въ новой смѣси меньше.

Чтобы выяснитъ вліяніе поглощенія водой, мы произвели рядъ опытовъ, давшихъ довольно интересные результаты. Опыты ставились такимъ образомъ: изъ аспиратора, въ которомъ находился отработавшій газъ изъ керосиноваго двигателя, забирали пробы по 20—30 см.³ въ 3 градуированныхъ бюретки Гемпеля съ кранами гверху и внизу. Чтобы не могло происходить обмѣна газа съ атмосфернымъ воздухомъ черезъ диффузію у бюретки запирали и нижній кранъ, такъ что газъ находился въ соприкосновеніи съ вполне опредѣленнымъ объемомъ воды. Запорной

жидкостью въ бюреткахъ служила вода, которая была насыщена тѣмъ же газомъ путемъ продолжительнаго пропусканія его и взбалтыванія съ нимъ.

Одновременно съ тѣмъ опредѣлялся составъ газа въ аспираторѣ въ моментъ забора его въ бюретки, а также записывали высоту барометра и температуру газа (въ помѣщеніи).

По истеченіи 24 часовъ, сообщивъ бюретку съ дѣвленіями съ трубами для подведенія уровня, опредѣляли оставшійся объемъ газа, перечисляя его, какъ и первый, на 737,4 мм. и 15° Ц. Затѣмъ производили анализъ газа одной изъ бюретокъ.

Черезъ слѣдующіе 24 часа поступали такимъ же образомъ съ двумя оставшимися бюретками и опредѣляли составъ газа во 2-й бюреткѣ и, наконецъ, еще черезъ 24 часа опредѣляли снова объемъ и составъ газа въ 3-ей бюреткѣ.

Въ качествѣ образца въ таблицѣ 2 приведены результаты одного изъ опытовъ. Эти результаты окончательно убѣдили насъ, что пользоваться водой при продолжительномъ нахожденіи газовъ въ аспираторѣ, несмотря ни на какія предосторожности, безусловно нельзя.

Таблица 2.

составъ газа	первонач. % ⁰	черезъ 24 часа			черезъ 48 часовъ			черезъ 72 часа		
		сост.	измѣн.	въ % отъ нач.	сост.	измѣн.	въ % отъ нач.	сост.	измѣн.	въ % отъ нач.
CO ₂	8,0	6,4	-1,6	-20,0	6,1	-1,9	-23,8	6,0	-2,0	-25,0
O ₂	9,2	9,4	+0,2	+2,2	9,5	+0,3	+3,3	9,6	+0,4	+4,3
CO	0,6	0,4	-0,2	-33,3	0,3	-0,3	-50,0	0,3	-0,3	-50,0
NO ₂	82,2	83,8	+1,6	+1,9	84,1	+1,9	+2,3	84,1	+1,9	+2,3
объемъ въ см. ³	30,0	29,3	-0,7	-2,3%	29,1	-0,9	-3,0%	29,05	0,95	+3,2%

Чѣмъ же замѣнить воду? Единственное указаніе, найденное нами въ соотв. рукогодствахъ, находится у Гемпеля¹⁷⁾, который совѣтуетъ вмѣсто чистой воды пользоваться насыщеннымъ растворомъ MgCl₂. Заинтересовавшись вообще вопросомъ о поглощеніи газовъ растворами разныхъ солей въ водѣ, мы думали найти готовыя цифры въ справочникѣ¹⁸⁾; къ сожалѣнію, ни цифръ, ни ссылокъ на подходящую литературу, именно, что касается интересующихъ насъ газовъ CO₂, O₂, CO и N₂ и растворовъ, имѣющихъ цѣлью свести поглощеніе газовъ до минимума, мы такъ не нашли.

17) W. Hempel, Gasanalytische Methoden, 3 Aufl. Braunschweig. 1900. S. 25.

18) H. Landolt u. R. Börnstein. Physikalisch-chemische Tabellen. 2 Aufl. Berlin. 1905 S. 599.

Изъ указанной тамъ литературы лишь статья Макензи ¹⁹⁾ дастъ нужный намъ коэффициентъ поглощенія CO_2 въ насыщенномъ растворѣ NaCl , опытовъ съ растворами MgCl_2 Макензи совсѣмъ не приводитъ, а съ растворами CaCl_2 онъ производилъ лишь съ слабыми, ненасыщенными. Другіе изъ указанныхъ авторовъ (Сѣченовъ ²⁰⁾ и Беръ ²¹⁾, работали тоже лишь съ ненасыщенными растворами и притомъ лишь съ NaCl и разбираютъ вопросъ исключительно съ теоретической точки зрѣнія. Такимъ образомъ ни сравнительныхъ данныхъ о поглощеніи газовъ въ насыщенныхъ растворахъ разныхъ солей, ни данныхъ о другихъ газахъ, кромѣ CO_2 , намъ не удалось найти. Въ виду этого мы рѣшились поставить собственные опыты. Конечно, нашей цѣлью было не изслѣдованіе чисто научнаго вопроса о коэффициентѣ поглощенія газовъ различными растворами, а лишь полученіе нѣкоторыхъ данныхъ для непосредственнаго, практическаго использованія. Сообразно этому мы остановились на простѣйшихъ, можетъ быть, даже недостаточно научныхъ приборахъ и приемахъ, и ограничились сравнительно небольшимъ числомъ наблюдений.

Предполагая на основаніи общихъ физико-химическихъ свойствъ, что насыщеніе воды родственными, но болѣе дешевыми солями CaCl_2 и NaCl должно имѣть примѣрно такое же вліяніе, какъ и солью MgCl_2 , мы рѣшили произвести сравненіе растворимости отдѣльныхъ газовъ въ насыщенныхъ водяныхъ растворахъ указанныхъ трехъ солей, а для контроля нашего способа и въ чистой водѣ.

Опыты велись слѣдующимъ образомъ: въ бюретку Гемпеля съ кранами, наполненную тѣмъ или инымъ изъ указанныхъ растворовъ, забиралось около 50 см.³ газа при извѣстныхъ, отмѣчаемыхъ давленіи барометра и температурѣ; забранный объемъ опредѣлялся по дѣленіямъ бюретки и записывался. Затѣмъ закрывали также и нижній кранъ бюретки, и послѣднюю приводили въ горизонтальное положеніе, прикрѣпляя на особомъ штативѣ; горизонтальное положеніе придавалось для увеличенія поверхности соприкосновенія газа и жидкости.

Черезъ 24 часа бюретку приводили снова въ вертикальное положеніе и, открывъ нижній кранъ, добавляли изъ бюретки безъ дѣленій жидкость, пока въ бюреткѣ съ дѣленіями снова не устанавливалось атмосферное давленіе; отчитывали оставшійся объемъ газа и снова, закрывъ кранъ, переводили бюретку въ горизонтальное положеніе.

Черезъ 24 часа операцію повторяли и такъ до тѣхъ поръ, пока объемъ газа не переставалъ уменьшаться. Убыль газа, раздѣленная на количество жидкости, оказавшееся въ измѣрительной бюреткѣ по окончаніи опыта, и представляла коэффициентъ поглощенія даннаго газа въ данномъ растворѣ.

¹⁹⁾ Ann. d. Phys. 1, 1877 S. 438.

²⁰⁾ Z. Phys. Chem. 4, 1889 S. 117.

²¹⁾ Ann. d. Phys. 62, 1897, S. 644; 63, 1899 S. 500.

Чтобы по возможности ослабить влияние температуры, опыты, занявшие два месяца, велись в помещении с одним окном, обращенным на север. Температура в помещении была очень постоянная, минимальный и максимальный термометры за 3—4 дня, которые длился один опыт, расходились не больше, чем на $\frac{1}{2}$ —2°.

Поддерживать одно и то же давление, несмотря на изменение высоты барометра, не представляло затруднения: при отчетах приходилось только подводить уровни в бюретках не до совпадения, а при погрешности барометра сверх нормального доводить уровень жидкости в бюретке с делениями выше уровня в другой бюретке на высоту столба жидкости, равнозначая разности высот барометра; при низком давлении барометра—наоборот.

Так как цель наших опытов была не изучение вопроса вообще о поглощаемости газов, а лишь сравнение поглощаемости газов различными жидкостями, то мы ограничились, с одной стороны, лишь двумя, наиболее важными из состава продуктов горения, газами CO_2 и O_2 ; первый брался из прибора Киппа, а второй из газометра, в который его напускали из кислородной бомбы. С другой стороны, чтобы приблизиться к условиям нахождения газов в аспираторе, опыты велись в 2 серии: в одной старались привести жидкость в наиболее тесное соприкосновение с газом, взбалтывая бюретки и перед самым отчетом и вообще по нескольку раз в день, в другой серии, которая ближе соответствует забору газов в аспираторе, бюретки, наоборот, поворачивали по возможности осторожно. Само собой разумеется, что результаты повторных опытов этой серии II в зависимости от случайных условий, расходились между собой гораздо больше, чем у опытов серии I, так как в этой серии I полного насыщения жидкости газом, конечно, не наступало. Однако, как это ни странно, поглощение газа по истечении 3—4 суток прекращалось, по крайней мере в пределах точности наших измерений.

Таблица 3.

серия опытов	жидкость		H_2O	$\text{H}_2\text{O}+0,35 \text{ NaCl}$	$\text{H}_2\text{O}+0,74 \text{ CaCl}_2$	$\text{H}_2\text{O}+0,54 \text{ MgCl}_2$
	газ					
I	CO_2		0,875	0,265	0,205	0,124
II	O_2		0,028	0,008	0,006	0,004
I	CO_2		0,565	0,135	0,100	0,072
II	O_2		0,015	0,004	0,003	0,002

В таблицу 3 указаны коэффициенты поглощения, найденные для $V=737,4$ мм. и $t=20,0$ Ц. Первые две строки дают коэффициенты, близкие к полному насыщению, но, по всей вероятности, ввиду несовер-

шенства нашихъ приборовъ, нѣсколько преуменьшенныя; въ послѣднихъ двухъ строкахъ даны коэффициенты, имѣющіе значеніе только для нашихъ опытовъ, т.-е. при заборѣ газа въ аспираторъ безъ взбалтыванія, и, конечно, лишь приблизительно, примѣрное.

Коэффициенты поглощенія CO_2 и O_2 въ водѣ достаточно хорошо согласуются съ коэффициентами, найденными другими авторами при точныхъ изслѣдованіяхъ²²⁾, равно какъ коэффициентъ поглощенія CO_2 въ насыщенномъ растворѣ NaCl , для котораго Макензи въ упомянутой выше работѣ нашелъ при 22° и для газа, отнесеннаго къ $V=760$ мм. и $t=0^\circ$ Ц., $\alpha=0,263$. Такимъ образомъ, несмотря на примитивность нашихъ опытовъ, полученные при ихъ посредствѣ коэффициенты можно считать довольно удовлетворительными для извѣстныхъ практическихъ цѣлей, а тѣмъ болѣе для нашихъ цѣлей—сравненія растворовъ между собой.

Имѣя таблицу 3, легко теперь понять, почему Гемпель совѣтуетъ, если хотять достигъ большей точности, пользоваться въ качествѣ запорной жидкости насыщеннымъ растворомъ хлористаго магнія: этотъ растворъ обладаетъ коэффициентомъ поглощенія почти въ 8 разъ меньше, чѣмъ чистая вода, и болѣе, чѣмъ въ 2 раза меньше раствора насыщеннаго хлористымъ натріемъ.

Тѣмъ не менѣе мы рѣшили при нашихъ опытахъ наполнять всѣ аспираторы насыщеннымъ растворомъ поваренной соли, исходя изъ слѣдующихъ соображеній: хлористый магній очень дорогъ и абсолютно и сравнительно, такъ какъ его надо довольно много для насыщенія воды; хлористый кальцій, занимающій среднее мѣсто и по коэффициентамъ поглощенія и по стоимости, неудобенъ главнымъ образомъ потому, что его насыщенный растворъ получается густымъ, сиропообразнымъ; это происходитъ отчасти отъ очень большой растворимости CaCl_2 въ водѣ, что дѣлаетъ, несмотря на умѣренную стоимость самого CaCl_2 , стоимость насыщеннаго раствора его довольно значительной. Имѣя въ виду, что всегѣ при опытахъ мы пользовались 12 аспираторами, для наполненія которыхъ надо было до 60 лтр. жидкости, нельзя было не обращать вниманія на стоимость соли.

При этомъ нужно замѣтить, что ради дешевизны мы брали не чистый NaCl , а продажную дешевую поваренную соль, содержащую довольно замѣтные количества CaCl_2 и MgCl_2 , что для насъ было даже выгодно въ виду ихъ свойствъ. Чтобы имѣть растворъ, дѣйствительно насыщенный солью, и возможно прозрачную жидкость, растворъ заготовляли заранее въ большой банкѣ и наливали въ аспираторы при помощи стекляннаго сифона, такъ что вся муть, отсѣдавшая на днѣ и частью плававшая на поверхности, въ аспираторы не попадала.

Разумѣется, несмотря на замѣну воды солянымъ растворомъ, мы старались равнымъ образомъ предварительно насыщать жидкость въ аспираторахъ отработавшими газами.

²²⁾ Land. u. Börnst. S. 599, 602.

Для сравненія практичности пользованія солянымъ растворомъ въ таблицѣ 4 даны результаты опыта надъ измѣненіемъ состава газа при храненіи послѣдняго въ аспираторѣ съ указаннымъ растворомъ.

Опытъ велся совершенно такъ же, какъ и тотъ, результаты котораго были даны выше въ таблицѣ 2. Въ виду близости состава газовъ таблицы 4 и 2 позволяютъ сдѣлать непосредственное сравненіе.

Хотя, судя по таблицѣ 3, можно было ожидать нѣсколько лучшихъ результатовъ, но и получившіеся, напр., въ таблицѣ 4 достаточно удовлетворительны, тѣмъ болѣе, что въ приведенномъ примѣрѣ растворъ предварительно былъ недостаточно насыщенъ газомъ, и бюретки при опытѣ взбалтывали, чего съ аспираторами, конечно, стараются не дѣлать.

Таблица 4.

составъ газа	первонач. % ₀	черезъ 24 часа			черезъ 48 часа			черезъ 72 часа		
		сост.	измѣн.	въ % ₀ отъ нач.	сост.	измѣн.	въ % ₀ отъ нач.	сост.	измѣн.	въ % ₀ отъ нач.
CO ₂	8,0	7,3	-0,7	8,8	7,1	-0,9	-11,3	7,0	-1,0	-12,5
O ₂	9,4	9,5	+0,1	+ 1,1	9,5	+0,1	+ 1,1	9,5	+0,1	+ 1,1
CO	0,5	0,4	-0,1	20,0	0,3	-0,2	-40,0	0,3	-0,2	-40,0
N ₂	82,1	2,9	+0,8	+ 1,0	83,1	+1,0	+ 1,2	83,2	+1,1	+ 1,3
колич. въ см. ³	40,0	39,5	-0,5	- 1,2%	39,3	- 0,7	- 1,7%	39,3	-0,7	- 1,7%

Въ заключеніе нужно однако отмѣтить и нѣкоторыя отрицательныя явленія, наблюдавшіяся при пользованіи солянымъ растворомъ:

1, соль дѣйствуетъ на резину, и резиновые трубки довольно скоро начинаютъ трескаться и рваться;

2, стеклянные краны заѣдаетъ, и ихъ приходится открывать съ усиленіемъ и предосторожностями, усиленно обмывая чистой водой;

3, соль, выкристаллизовываясь, выступаетъ сквозь самыя ничтожныя отверстія и щели, напр., вокругъ туго вогнанной резиновой пробки, а также черезъ поры обыкновенно древесной пробки; послѣднее обстоятельство было особенно непріятно у аспиратора для анализа сожженіемъ, у котораго черезъ большую пробку пропущены стеклянные палочки, а сверху пробка залита менделѣевской замазкой. Соль, выступая изъ пробки въ видѣ мельчайшихъ кристалловъ, проходитъ какимъ-то образомъ черезъ замазку и вызываетъ неплотности въ пробкѣ; правда, неплотности эти легко устраняются мѣстнымъ нагрѣваніемъ замазки, напримѣръ, прикладываніемъ разогрѣтаго желѣзнаго прутка, но тѣмъ не менѣе непріятны, требуя частой провѣрки.

9. Заборъ пробы газа.—Выше, черт. 22 и 23, мы указали уже приборъ для забора пробъ продуктовъ горѣнія, который, будучи присоединенъ къ выпуску у самага цилиндра машины, обеспечиваетъ полученіе

пробы отработавшихъ газовъ съ составомъ, не измѣненнымъ догораніемъ горючихъ частей. Для того, чтобы выяснитъ, насколько этотъ приборъ полезенъ для нашихъ изслѣдованій, съ нимъ былъ произведенъ рядъ опытовъ, изъ которыхъ выяснилось слѣдующее:

1, догораніе несомнѣнно быгаетъ и сильно отражается на составѣ продуктовъ горѣнія, взятыхъ изъ глушителя;

2, указанный приборъ дѣйствительно обезпечиваетъ получение пробы безъ догоранія;

3, при работѣ съ двухтактной машиной нельзя брать пробы непосредственно изъ трубы у начала выпуска, такъ что указанный приборъ въ этомъ случаѣ излишенъ, вѣрнѣе, непримѣнимъ.

Доказательство положенія 1 легко получить, сравнивая анализы отработавшихъ газовъ, взятыхъ одновременно при помощи указанного прибора у самага цилиндра и обычнымъ путемъ изъ глушителя, до котораго отъ выпуска идетъ труба длиной въ 2 мт..

Въ таблицѣ 5 указаны наиболѣе характерные изъ нашихъ опытовъ:

Таблица 5.

составъ	опытъ 1		опытъ 2		опытъ 3	
	у цилиндра	изъ глушит.	у цилиндра	изъ глушит.	у цилиндра	изъ глушит.
CO ₂	7,6	8,0	4,9	5,5	5,0	4,5
C _n H _{2n}	слѣды	—	—	—	слѣды	—
O ₂	8,5	8,0	12,7	11,4	13,2	12,9
CO	1,3	1,0	0,4	0,3	0,4	0,2
N ₂	82,6	83,0	81,8	82,9	81,6	82,4

при опытѣ 1 машина работала съ недостаткомъ воздуха; при опытѣ 2 плохо дѣйствовала форсунка, былъ очень большой расходъ керосина, но часть его проходила черезъ машину, не участвуя совершенно въ горѣніи.

Въ опытѣ 1 на кгр. керосина приходилось всего 13,2 мт.³ воздуха.

Хотя теоретически требуется всего около 11,5 мт.³, но практика показала, что въ виду того, что воспламеняющаяся смѣсь состоитъ не только изъ воздуха и паровъ керосина, но содержитъ еще и значительную долю продуктовъ горѣнія, въ дѣйствительности для полнаго горѣнія надо вообще не менѣе 16 и до 22 мт.³. Какъ выяснилось въ дальнѣйшемъ изъ нашихъ опытовъ, въ данной машинѣ необходимо имѣть особенно значительный избытокъ воздуха; полное горѣніе происходитъ, и то лишь при благопріятныхъ условіяхъ, только при $L/q=20$, а иногда и еще выше.

Какъ видно изъ таблицы 5, при опытѣ 1 составъ продуктовъ горѣнія въ глушитель содержитъ значительно меньше не сгорѣвшихъ частей, чѣмъ при выходѣ изъ машины. То-же заключеніе можно вывести

и изъ разсмотрѣнія результатовъ опыта 2. Бѣльшее уменьшеніе содержанія O_2 , чѣмъ можно вычислить по увеличенію CO_2 , нужно отнести, конечно, на образованіе H_2O , которое при нашемъ способѣ анализа, при помощи приборовъ Гемпеля съ годой, не можетъ быть учтено. Этимъ же обстоятельствомъ объясняется и измѣненіе % содержанія N_2 , абсолютное количество котораго при догораніи, конечно, не мѣняется.

Справедливость положенія 2 явствуетъ, во-первыхъ, изъ самой конструкции прибора: длина пути отъ выпускнаго окна до вступленія въ охлаждаемую часть спирали прибора составляетъ всего около 200 мм., что при скорости выхода газовъ отъ 33 до 70 мг./сек. соотвѣтствуетъ всего 0,006 до 0,003 сек., промежутку времени слишкомъ недостаточному для того, чтобы при имѣющихся давленіяхъ, немногимъ болѣе 1 атм. абс., и температурахъ, отъ 300° до 400° Ц., могло происходить догораніе въ сколько-нибудь замѣтномъ размѣрѣ. Конечно, и охлажденіе мѣдной спирали водой должно еще уменьшить возможность догоранія.

Во-вторыхъ, о томъ же свидѣтельствуютъ результаты опытовъ: въ газахъ, взятыхъ при помощи нашего прибора у самаго цилиндра, почти всегда обнаруживались горючія вещества, даже иногда, когда газы въ глушитель не содержали таковыхъ или содержали очень мало.

Наконецъ, справедливость положенія 3 вытекаетъ изъ непосредственнаго разсмотрѣнія явленія выпуска.

Въ двухтактныхъ машинахъ за періодъ выпуска происходитъ измѣненіе давленія, которое сперва падаетъ, потомъ возрастаетъ и затѣмъ снова падаетъ. Такое волнообразное колебаніе давленія было извѣстно уже ранѣе, но особенно очевидно установлено лишь нашими опытами. Наши же опыты доказали неоспоримо, что составъ продуктовъ горѣнія въ отдѣльные моменты выпуска разный: сперва они содержатъ больше CO_2 , а затѣмъ разбавляются воздухомъ. Въ виду этого пробу, забираемую изъ самой выпускной трубы и притомъ въ началѣ ея, когда газы не успѣваютъ еще хорошенько перемѣшаться, отнюдь нельзя считать за среднюю; въ этой пробѣ будетъ преобладать газъ, который выходитъ въ моменты наибольшаго давленія выпуска и совершенно отсутствуетъ газъ, который выходитъ въ моменты давленія ниже атмосфернаго. Такъ какъ періоды колебанія давленія выпуска зависятъ отъ многихъ факторовъ, какъ-то: числа оборотовъ, степени сжатія, давленія вспышки и т. д., то моменты наибольшаго давленія тоже мѣняются, въ зависимости отъ чего и составъ забранной близъ выпуска пробы долженъ больше или меньше отличаться отъ средняго.

Что это дѣйствительно такъ, подтвердилось цѣлымъ рядомъ опытовъ. Какъ образецъ въ таблицѣ 5 указаны результаты одного, опыта 3; согласно этого опыта выходитъ, какъ будто на пути отъ цилиндра до глушителя, куда-то исчезаетъ часть углекислоты; этого, очевидно, быть не можетъ; просто въ этомъ опытѣ при забираиіи пробы у цилиндра въ аспираторъ попадаеь вълѣдствіе соотв. волны давленія газъ съ боль-

шимъ содержаніемъ CO_2 , чѣмъ средняя проба. Конечно, уменьшеніе содержанія CO_2 могло получиться и просто вслѣдствіе засасыванія въ аспираторъ воздуха подъ вліяніемъ неплотности въ пробкѣ или кранѣ у глушителя, но тогда должно возрасти и содержаніе O_2 , чего у насъ не наблюдалось.

Можно кстати замѣтить, что и въ опытѣ 3 все же обнаруживается явленіе догорания: въ пробѣ изъ глушителя пропадаютъ тяжелые углеводороды и уменьшается содержаніе CO и O_2 .

Разъ доказано положеніе 3, т.-е. неправильность забора газа у самаго выпуска въ случаѣ изслѣдованія двухтактной машины, можетъ возникнуть вопросъ: стоило ли въ виду этого такъ распространяться объ этихъ опытахъ? По нашему мнѣнію, безусловно стоило, такъ какъ хотя эти опыты такъ же, какъ и нѣкоторые другіе, не могутъ дать точныхъ цифръ, такъ сказать, выяснитъ явленіе количественно, тѣмъ не менѣе, они выясняютъ его качественно и притомъ съ двухъ точекъ: во-первыхъ, они доказали явленіе догорания въ трубѣ, положеніе 1, и во-вторыхъ, они доказали догораніе состава выходящихъ отработанныхъ газовъ за отдѣльные моменты выпуска. Вслѣдствіи это измѣненіе состава будетъ выяснено болѣе подробно, такъ сказать, количественно, посредствомъ цифръ, добытыхъ при помощи описаннаго выше дифференціатора, но впервые это явленіе было обнаружено нами этимъ путемъ.

Въ виду этихъ двухъ обстоятельствъ мы и сочли возможнымъ и интереснымъ остановиться болѣе подробно на этихъ предварительныхъ опытахъ, несмотря на то, что они не будутъ фигурировать при главныхъ опытахъ.

10. Опыты съ калориметромъ Юнкера.— Прибѣгая часто къ калориметру Юнкера, мы обратили вниманіе, что получаемыя при его помощи цифры теплопроизводительности одной и той же пробы расходятся между собой иногда довольно значительно. Всмотриваясь въ работу съ этимъ приборомъ, можно замѣтить, что и въ немъ можно сильно мѣнять различныя условія работы, которыя несомнѣнно вліяютъ на его показанія. Такъ какъ въ соотв. литературѣ мы не нашли никакихъ указаній, какъ нужно работать съ калориметромъ Юнкера, чтобы получить наиболѣе точные результаты для жидкаго топлива, то мы рѣшили сами поставить рядъ опытовъ, задача которыхъ была выяснитъ вліяніе при калориметрированіи жидкаго топлива слѣдующихъ факторовъ:

- 1, разности температуръ входящей и выходящей воды, или, что то-же самое, расхода охлаждающей воды;
- 2, давленіе воздуха въ лампѣ, или что то-же самое, расхода жидкаго топлива въ ед. времени;
- 3, положеніе горѣлки въ приборѣ по высотѣ;
- 4, положеніе дроссельнаго клапана у выхода продуктовъ горѣнія.

Наша цѣль была найти наивыгоднѣйшія условія дл полученія возможно точныхъ результатовъ, а также выяснить, какую точность можно вообще требовать отъ этого прибора при калориметрированіи жидкаго топлива при надлежащемъ обращеніи.

Результаты нашихъ опытовъ представлены въ таблицѣ 6. Въ поясненіе таблицы нужно замѣтить слѣдующее: всѣ опыты были произведены съ керосиномъ, взятымъ изъ одной бочки, такъ что можно считать, что это все одна и та же проба. Каждый разъ сжигалось по 10 гр. керосина.

Т а б л и ц а 6.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№	расх. охл. вод. G кгр.	разн. темп. $t_2 - t_1$ °Ц	конденс. g гр.	теплот. H_k	оизводительность H_n H_n'		давл. p мм.	полож. горѣлки	полож. др.-кл
1	3,01	37,12	11,60	11160	10436	10427	275	в.	откр.
2	7,25	14,97	12,00	10850	10100	10117	500	н.	"
3	7,38	15,29	12,02	11280	10530	10547	550	в.-м. р.	"
4	8,51	12,88	11,49	10960	10243	10227	400	н.	"
5	8,66	12,96	11 50	11220	10502	10487	325	в.	"
6	8,68	12,77	12,05	11080	10328	10345	350	ср.	"
7	10,43	10,59	11,58	11060	10337	10327	450	в.-м. р.	"
8	10,55	10,76	11,44	11360	10645	10627	350	в.	"
9	10,69	10,57	11,58	11300	10577	10567	500	в.-м. р.	"
10	12,89	8,73	12,04	11260	10505	10527	200	"	"
11	6,88	15,62	(11,00)	10750	10063	—	600	ср.	прикр.
12	8,84	10,47	(11,40)	9260	8548	—	450	в.	закр.
			$ср_0=11,73$	$ср_1=11205$		$ср_2=10482$			

Цифры столбцовъ 2—5 каждаго опыта представляютъ среднія изъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ опытовъ, проведенныхъ при одинаковыхъ условіяхъ и давшихъ близкіе между собою результаты. Въ виду этого произведеніе $G(t_2 - t_1)$, цифръ столбцовъ 2 и 3, конечно, не даетъ совсѣмъ точно H_k въ столбцѣ 5, т. е. верхняго предѣла теплопроизводительности. Что касается нижняго предѣла теплопроизводительности, или, какъ мы въ дальнѣйшемъ будемъ называть ее, полезной теплопроизводительности H_n въ столбцѣ 6, то онъ вычисленъ какъ среднее изъ цифръ соотв. группы опытовъ, найденныхъ по соотв. количествамъ собранной сконденсировавшейся воды g . Такъ какъ при одномъ и томъ же составѣ пробы, какъ у насъ, различія въ величинѣ g должны быть объяснены исключительно неточностью или прибора или веденія опыта, то за истинную величину g правильнѣе считать среднюю изъ первыхъ 10 нормальныхъ опытовъ $g' = 11,73$. Этому g' соотвѣтствуетъ скрытая теплота парообразования, считая отъ $+15^\circ$ Ц. и относя ее къ 1 кгр. керосина,

$$g'r = g'(i'' - i') = 1,173(639,7 - 15,0) = 733 \text{ т. ед.}$$

Вычитаніемъ этихъ 733 т. ед. изъ H_k и получены H_n' столбца 7.

Цифры столбца 8 указываютъ среднее давленіе воздуха въ лампѣ въ мм. рт. ст.. Отмѣтки въ столбцѣ 9 обозначаютъ: „в.“ высшее возможное

положеніе горѣлки, „ср.“—среднее, „н.“—нижнее; при этомъ высшее положеніе достигалось тѣмъ, что вѣсы были поставлены на деревянную подставку, доску толщиной около 50 мм.; среднее получалось при подставкѣ толщиной около 25 мм., а нижнее безъ всякихъ подставокъ. Кремъ того, при высшемъ положеніи горѣлки опытъ велся такъ, чтобы почти все время плечо коромысла съ лампой было приподнято, а при нижнемъ, наоборотъ, опущено.

Опыты группъ 3, 7 и 9, у которыхъ имѣется въ столбцѣ отмѣтка „м. р.“, т. е. малый размахъ, велись такъ, что коромысло вѣсовъ при помощи приспособленія для арретировки поднималось лишь немного, такъ что могло дѣлать лишь малый размахъ, т. е. пламя лампы за весь опытъ по высотѣ почти не перемѣщалось. Размахъ при такомъ песовѣмъ поднятомъ коромыслѣ составлялъ 40 мм., нормально же онъ около 60 мм.

Примѣчанія въ столбцѣ 10 обозначаютъ: „откр.“—открытый, т. е. повернутый вдоль трубы дросельный клапанъ; „закр.“—закрытый, а „прикр.“—прикрытый, т. е. повернутый на 45°.

Уже послѣ окончанія серій опытовъ, сведенныхъ въ таблицѣ 6, при одномъ изъ очередныхъ калориметрированій мы рѣшили обратить вниманіе на слѣдующее явленіе, которое, конечно, знакомо каждому, кто опредѣлялъ теплопроизводительность жидкаго горючаго при помощи калориметра Юнкера, но надъ которымъ, насколько извѣстно по литературѣ, никто еще не останавливался: когда при началѣ опыта калориметрированія стрѣлка вѣсовъ проходитъ среднее положеніе, и лампа перекачивается въ верхнее положеніе, температура отходящей воды сразу возрастаетъ; затѣмъ, когда экспериментаторъ снова переведетъ лампу въ нижнее положеніе, положивъ гирьку въ 10 гр. на чашку, подвѣшенную подъ лампой, температура выходящей воды сразу падаетъ на нѣсколько десятыхъ градуса.

Желая изслѣдовать это явленіе, мы произвели новую, дополнительную серію опытовъ, результаты которыхъ представлены въ таблицѣ 7.

Т а б л и ц а 7.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
№	G кгр.	$t_2 - t_1$ °C.	H_K	Δt_{\max}	Δt_{\min}	$\frac{\Delta t_{\max}}{t_2 - t_1}$ %	$\frac{\Delta t_{\min}}{t_2 - t_1}$ %	p мм. рт. ст.	полож. горѣлки	время опускан.
13	3,08	36,31	11180	2,27	3,83	6,2	10,5	275	в.	п.
14	3,08	35,77	11020	2,32	2,53	6,5	7,1	325	„	р.
15	3,19	34,80	11100	2,51	2,24	7,2	6,4	400	„	п.
16	3,21	33,33	10700	1,82	2,63	6,1	7,9	325	н.	„
17	5,06	20,10	10170	0,69	0,28	3,4	1,4	500	„	р.
18	5,84	18,65	10900	0,65	0,30	3,5	1,6	570	„	п.
19	5,98	18,54	11080	1,35	0,69	7,3	3,7	400	в.	р.
20	7,13	15,58	11110	1,17	1,03	7,5	6,6	300	„	п.
21	7,71	14,31	11020	0,78	0,42	5,5	2,9	475	„	р.
22	8,83	12,58	11100	0,85	0,95	6,8	7,5	325	„	п.
23	12,35	8,78	10930	0,97	0,98	11,0	11,2	200	„	р.

В ней приведены результаты отдельных единичных опытов; всего опытов было произведено несколько большее число, но некоторые из них, проведенные в очень близких условиях и потому давшие близкие результаты, нами отклонены, так как вообще все эти опыты были поставлены лишь для качественного освещения вопроса.

Особенность этих опытов в том, что они велись при вполне установленном состоянии температур, при этом температура t_1 свежей воды была постоянна с точностью до $0,01^\circ$, а температура t_2 отходящей воды медленно, равномерно падала вследствие медленного уменьшения расхода керосина в единицу времени—результата неизбежного постепенного падения давления p воздуха в лампе. Когда такое медленное падение температуры устанавливалось, подводили вѣсъ дробы на чашку вѣсовъ такъ, чтобы по истеченіи дальнѣйшихъ 1—1½ мин. стрѣлка вѣсовъ перешла черезъ среднее положеніе, этотъ моментъ отмѣчался; затѣмъ въ нѣкоторыхъ опытахъ, отмѣченныхъ „л.“ въ столбцѣ 11 табл. 7, поздно, т. е. передъ концомъ опыта, въ другихъ, отмѣченныхъ „р.“, значительно раньше переводили лампу опять въ нижнее положеніе, положивъ соотв. гирьку на чашку, подвѣшенную подъ лампой; этотъ моментъ тоже отмѣчался въ записи. Затѣмъ, конечно, отмѣчался обратный переходъ стрѣлки черезъ среднее положеніе, конецъ опыта, но отчеты температуръ, которая послѣ этого сразу поднимается, еще продолжались до тѣхъ поръ, пока опять наступало ея медленное паденіе.

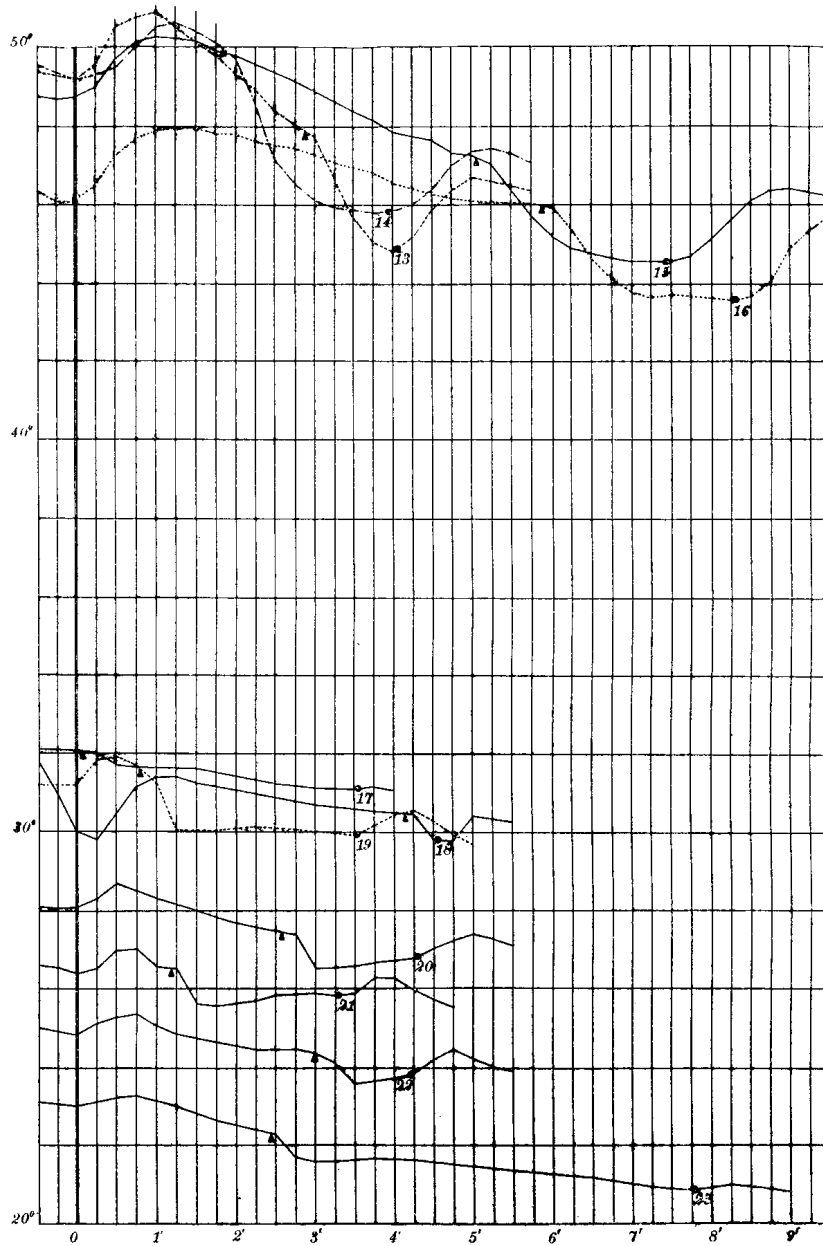
Ради большей наглядности мы вмѣсто цифровыхъ записей отчетовъ температуръ t_2 , дѣлавшихся каждыя 15 сек., даемъ ихъ графически, черт. 30: по осямъ абсциссъ отложено время, по осямъ ординатъ температура въ $^\circ\text{Ц}$.

Чернымъ треугольникомъ у каждой линіи, изображающей ходъ температуры t_2 , отмѣченъ моментъ накладыванія гирьки, т. е. перекачиваніе лампы внизъ; кружечкомъ обозначенъ моментъ окончанія калориметрированія, т. е. собираніе охлаждающей воды, а, слѣдовательно, и вторичный переходъ лампы въ верхнее положеніе. Для нѣкоторыхъ опытовъ ходъ температуры изображенъ пунктирной линіей; сдѣлано это лишь для ясности, чтобы выдѣлить однѣ линіи отъ другихъ.

Далѣе нужно еще замѣтить, что эти опыты велись съ керосиномъ изъ другой бочки, нѣсколько иной теплопроизводительности. Затѣмъ ради сравненія хода температуръ при опытѣ 15 въ дѣйствительности было сожжено 15 гр., а при опытѣ 16 даже 20 гр., при остальныхъ сжигали по 10 гр.; вообще болѣе 10 гр. едва ли целесообразно сжигать, такъ какъ при этомъ слишкомъ измѣняется давленіе p воздуха.

Какъ видно по черт. 30, большинство опытовъ нормально длится около 4 мин.; опытъ можетъ затянуться до 7—8 мин. при сжиганіи больше, чѣмъ 10 гр. керосина, опыты 15 и 16, или при маломъ давленіи p въ лампѣ, опытъ 23, или, наконецъ, вследствие болѣе медленного горѣнія при засореніи горѣлки.

Такъ какъ эти опыты велись исключительно для сравненія вліянія положенія лампы, то мы опредѣляли лишь калориметрическую теплопроизводительность H_k , количества же конденсата g не измѣряли.



Черт. 30.

Наконецъ, въ поясненіе таблицы 7 можно еще добавить слѣдующее: Δt_{\max} . въ столбцѣ 5 показываетъ разность между наивысшей температурой отходящей воды при данномъ опытѣ и средней t_2 , вычисленной,

конечно, тоже только отъ момента перваго прохожденія стрѣлки черезъ среднее положеніе и до момента вторичнаго ея прохожденія при данномъ опытѣ; Δt_{\min} , столбець 6, такую же разницу между низшей и средней t_2 ; въ столбцахъ 7 и 8 эти величины указаны въ % отъ соотв. ($t_2 - t_1$). Остальные столбцы, 1, 2, 3, 4, 9 и 10, тѣ же, что въ таблицѣ 6.

Сперва остановимся нѣсколько на показаніяхъ опытовъ 13—23. Скачекъ температуры вверхъ при перекачиваніи лампы въ верхнее положеніе долженъ быть объясненъ отчасти уменьшеніемъ потери тепла на лучеиспусканіе, отчасти, такъ сказать, добавочнымъ подогревомъ частицъ воды поднимающейся горѣлкой. Такимъ же образомъ скачекъ температуры внизъ при перекачиваніи лампы въ нижнее положеніе долженъ быть объясненъ отчасти увеличеніемъ потери тепла на лучеиспусканіе, отчасти пропускомъ нѣкотораго количества воды менѣе нагрѣтой вслѣдствіе движенія лампы внизъ.

Что это такъ, видно и изъ таблицы 7 и изъ черт. 30: опыты 16—18 съ низшимъ положеніемъ лампы дали H_k менѣе H_k остальныхъ опытовъ; затѣмъ во всѣхъ опытахъ съ близкимъ G опыты „п.“ съ позднимъ накладываніемъ гирьки, т. е. болѣе продолжительнымъ нахожденіемъ лампы въ высшемъ положеніи, даютъ болѣе высокое H_k , чѣмъ соотв. опыты съ „р.“, т. е. раннимъ опусканіемъ лампы и болѣе продолжительнымъ ея нахожденіемъ въ низшемъ положеніи.

Черт. 30 и столбцы 7 и 8 таблицы 7 показываютъ, что говоритъ объ установившейся температурѣ, требуемой при калориметрированіи, собственно совсѣмъ нельзя. Тѣмъ не менѣе, кромѣ опыта 21, при которомъ температура выходящей воды подвергалась какому то непонятнымъ колебаніемъ, измѣненіе температуры идетъ вездѣ очень закономерно. Всѣ попытки тѣмъ или инымъ способомъ уничтожить колебаніе t_2 не дали положительныхъ результатовъ.

Численно вліяніе ранняго опусканія лампы сводится къ пониженію H_k на 0,5 до 1,5%. Равнымъ образомъ H_k , вычисленное въ видѣ средней величины по 8 опытамъ съ высокимъ положеніемъ лампы, получается равнымъ 11068 т. ед. противъ 11122 т. ед., если принять изъ этихъ опытовъ лишь 4 съ позднимъ опусканіемъ лампы, т. е. тоже менѣе на 1,37%.

Всматриваясь въ ходъ температуръ t_2 , мы можемъ отмѣтить еще одну особенность: несмотря на довольно рѣзкія колебанія общее направленіе, опредѣляемое началомъ опыта, треугольникомъ, т. е. точкой перекачиванія лампы внизъ и температурой, устанавливающейся по окончаніи опыта, почти во всѣхъ опытахъ выражается наклонной прямой, или очень пологой кривой, выпуклой къ оси абсциссъ. При этомъ объ площади, ограниченныя, съ одной стороны, ходомъ дѣйствительнаго измѣненія температуръ, съ другой, этой мысленной наклонной прямой и лежащая одна, въ первой половинѣ опыта, выше этой прямой, другая, во второй половинѣ опыта, ниже прямой, по величинѣ приблизительно равны, т. е. какъ бы взаимно уравновѣшиваются.

Все это показываетъ, что несмотря на колебанія температуры t_2 , с р е д н е е тепловое состояніе прибора можно считать довольно близкимъ къ установившемуся съ равномернo падающей температурой вслѣдствіе паденія давленія p воздуха въ лампѣ.

Относительно оцѣнки точности показаній калориметра нужно замѣтить предварительно слѣдующее: при правильномъ веденіи наблюденій, главнымъ образомъ при точномъ и частомъ — у насъ черезъ 15 сек. — отчетѣ термометровъ, калориметръ можетъ дать величину теплопроизводительности или близкую къ истинной или скорѣе болѣе низкую вслѣдствіе неизбежнаго лучеиспусканія и возможныхъ потерь при горѣніи, но едва ли болѣе высокую. Правда, у Грамберга ²³⁾ есть указаніе, что по опытамъ Германскаго Физико-Техническаго Имперскаго Института, произведеннымъ съ калориметрированіемъ чистаго водорода, калориметръ Юнкера даетъ показанія, преувеличенныя на +0,4%. Къ сожалѣнію, намъ не удалось достать отчета объ этихъ опытахъ, и потому мы затрудняемся объяснить, отчего это можетъ происходить. Во всякомъ случаѣ можно съ достаточной точностью считать, что тѣ условія работы калориметра являются наиболѣе правильными, когда приборъ даетъ наибольшія показанія. Исключеніе представляетъ случай, указанный ниже, когда при очень низкой температурѣ охлаждающей воды пропускается много воздуха, выходящаго съ температурой значительно ниже температуры въ помѣщеніи; случай этотъ можно всегда устранить.

Исходя изъ указанныхъ соображеній, мы можемъ на основаніи нашихъ опытовъ, сведенныхъ въ таблицѣ 6, отчасти таблицы 7, отвѣтить на поставленные выше вопросы слѣдующимъ образомъ:

1, точность прибора почти не зависитъ отъ расхода охлаждающей воды въ предѣлахъ ея возможнаго измѣненія, т. е. почти не зависитъ отъ разности температуръ входящей и выходящей воды. Это видно, напр., изъ сравненія опытовъ 1 и 3, съ одной стороны, и 5—10, съ другой, или 13—15 и 19—23; все эти опыты велись при прочихъ равныхъ условіяхъ, если не считать давленія въ лампѣ, которое, какъ увидимъ ниже, не имѣетъ большого значенія. Измѣненіе G отъ 12,89 кгр. до 2,95, т. е. болѣе чѣмъ въ 4 раза остается безъ вліянія на H_k ; это говоритъ въ пользу устойчивости показаній прибора. Теоретически слѣдовало ожидать увеличеніе H_k съ увеличенія G , такъ какъ съ увеличеніемъ расхода воды возрастаетъ и ея скорость движенія, что, какъ извѣстно изъ многочисленныхъ опытовъ ²⁴⁾, благопріятствуетъ обмѣну тепла между газами и водой; кромѣ того, при увеличеніи расхода увеличивается разность температуръ, а это, какъ извѣстно, вызываетъ увеличеніе коэффициента теплопередачи, наконецъ, при увеличеніи расхода при прочихъ равныхъ условіяхъ понижается температура выходящей воды, а, слѣдова-

²³⁾ A. Gramberg, Technische Messungen. 2. Aufl. Berlin 1910. S. 276.

²⁴⁾ Z. V. d. I. 49, 1905 S. 569; 53, 1909 S. 264; 53, S. 327; 53, S. 1808.

тельно, и неизбежная потеря на лучеиспускание; отсутствие влияния G говорит за большой запас поверхности соприкосновения газов и воды;

2, давление воздуха в лампѣ тоже не имѣетъ существеннаго значенія; это видно, напр., изъ сравненія между собой опытовъ 1—3, 7—8, 9—10. Съ теоретической точки зрѣнія можно было бы ожидать лучшихъ результатовъ при большемъ давленіи, такъ какъ въ этомъ случаѣ то же количество керосина сгораетъ скорѣе, скорость продуктовъ горѣнія больше, теплоотдача, слѣдовательно, лучше, кромѣ того, весь опытъ идетъ быстрѣе и потеря на лучеиспускание поэтому меньше. На практикѣ надо однако признать наиболѣе подходящимъ для керосина давленіе около 400 мм. рт. ст.; большее давленіе имѣетъ слѣдующія неудобства: лампа горитъ неровно, очевидно, отъ чрезмѣрной скорости керосина происходятъ небольшія, сами собой проходящія засоренія форсунки; кромѣ того, гораздо труднѣе достигъ надлежащей плотности въ соединеніяхъ; вслѣдствіе этого опытъ, начатый при давленіи въ 600 мм., оканчивается обыкновенно уже лишь при 500—450 мм., вслѣдствіе чего весь процессъ нѣсколько теряетъ характеръ вполне установившагося состоянія, приблизиться къ которому при давленіи около 400 мм. несравненно легче.

3, существенное значеніе имѣетъ положеніе лампы въ приборѣ: чѣмъ пламя находится выше, дальше отъ нижней кромки жаровой трубы, тѣмъ показанія больше; это выступаетъ замѣтно при сравненіи между собой опытовъ 1—2 или 4—5. Объяснить это можно слѣдующимъ образомъ: хотя съ удаленіемъ пламени вглубь прибора уменьшается длина пути и время соприкосновенія горячихъ продуктовъ горѣнія и воды, но длина пути въ приборѣ, очевидно, взята съ такимъ запасомъ, что указанное уменьшеніе ея не оказываетъ вліянія на поглощеніе тепла, зато значительно уменьшается потеря теплоты на лучеиспускание самимъ пламенемъ. Въ виду этого въ дальнѣйшемъ при калориметрированіи мы пользовались сперва упомянутой выше подставкой подъ вѣсы, а впоследствии просто увеличили нѣсколько длину трубки, на концѣ которой у лампы прикрѣплена горѣлка.

4, положеніе дроссельнаго клапана, по крайней мѣрѣ при калориметрированіи жидкаго горючаго, большого значенія не имѣетъ до тѣхъ поръ однако, пока вслѣдствіе чрезмѣрнаго прикрытія его притокъ воздуха не станетъ недостаточенъ, какъ, напр., въ опытѣ 11, а особенно 12 таблицы 6. Въ этомъ случаѣ получаютъ продукты неполнаго горѣнія, образованіе которыхъ, по счастью, сопряжено съ характернымъ запахомъ, особенно при сжиганіи керосина.

Вообще, чтобы показанія калориметра были правильны, надо слѣдить, немного прикрывая дроссель-клапанъ, чтобы находящійся въ выпускномъ каналѣ термометръ показывалъ температуру продуктовъ горѣнія, близкую къ температурѣ въ помещеніи; если температура ихъ будетъ ниже, что часто наблюдается при очень низкой температурѣ по-

ступающей охлаждающей воды, то показанія H_k окажутся преувеличенными вслѣдствіе нагрѣванія воды частію за счетъ тепла воздуха. Въ виду этого для точныхъ опытовъ лучше пользоваться не непосредственно водопроводомъ, а брать воду изъ особаго бака, гдѣ вода принимаетъ комнатную температуру.

Такой бакъ очень полезенъ еще и тѣмъ, что при немъ подача воды очень постоянна, чего нельзя сказать про городской водопроводъ съ его переменнымъ давленіемъ.

Въ заключеніе укажемъ еще, что на основаніи приведенныхъ опытовъ выяснились не только наилучшіе приемы калориметрированія жидкаго горючаго при помощи прибора Юнкера, но можно также до известной степени установить степень точности его показаній.

Въ самомъ дѣлѣ, если принять за достаточно правильные опыты 1, 3 и 5—10 и пользоваться, какъ болѣе правильнымъ, столбцомъ 7, то мы получаемъ среднюю теплопроизводительность H_n' данной пробы 10472 т. ед.. Вычисляя по способу квадратовъ разностей величину ошибки средней величины, получаемъ для нея ± 38 т. ед., т. е. $\pm 0,36\%$; для 8 опытовъ таблицы 7 имѣемъ ± 27 т. ед., или $\pm 0,26\%$. Примемъ ради надежности круглымъ числомъ точность въ $\pm 0,4\%$.

Что касается точности опредѣленія средней величины количества конденсата $g=11,73$ гр., то вычисляя такимъ же путемъ ея ошибку, находимъ ее равной 0,095 гр., или $\pm 0,81\%$. Если принять, что на практикѣ ограничиваются измѣреніемъ конденсата мензуркой, т. е. съ точностью примѣрно въ 0,5 гр. и соотв. округлить величины для g , то это не повліяетъ на среднюю величину g : для тѣхъ же 8 опытовъ, получаемъ $g'=11,73$ гр..

Конечно, такое совпаденіе случайность, тѣмъ не менѣе оно показываетъ, что при достаточно большемъ числѣ опредѣленій g при помощи мензурки средняя величина дастъ дѣйствительную достаточно точно.

Ошибка въ 0,095 гр. соотвѣтствуетъ 6 т. ед., или, относя къ H_n' всего $\pm 0,06\%$. Полная же ошибка получается

$$v = \sqrt{(0,38)^2 + (0,06)^2} = \pm 0,38\%$$

или, какъ мы уже сказали выше, примемъ круглое число $\pm 0,4\%$.

Наконецъ, если принять, что калориметръ Юнкера и для жидкаго горючаго даетъ показанія, преувеличенныя на $0,4\%$, согласно упомянутыхъ выше опытовъ Германскаго Физико-Техническаго Института, то все же можно считать точность опредѣленія H_n' около $\pm 0,8\%$. Если указанное преувеличеніе дѣйствительно остается въ силѣ и для жидкаго горючаго, о чемъ, къ сожалѣнію, мы, не имѣя отчета объ этихъ опытахъ, судить не можемъ, то можно и даже должно вводить соотв. поправку, и тогда точность прибора можно считать $\pm 0,4\%$, что вполне достаточно не для однѣхъ только техническихъ цѣлей.

Съ другой стороны, подводя итоги нашимъ опытамъ съ калори-

метромъ Юнкера, пужно признать, что хотя намъ и удалось найти болѣе правильныя условія работы съ этимъ приборомъ, но что отклоненія отъ нихъ въ обычныхъ для практики предѣлахъ даютъ цифры H_v , отличающіяся отъ истинныхъ никакъ не болѣе 4%, что для большинства практическихъ случаевъ можно считать удовлетворительнымъ.

Это свойство—сравнительно малая зависимость отъ пріемовъ работы и, такъ сказать, универсальность калориметра Юнкера, которымъ можно пользоваться почти для любого жидкаго и газообразнаго горючаго, объясняютъ широкое распространеніе этого прибора въ практикѣ и постепенное вытѣсненіе другихъ калориметровъ для газа; для жидкаго же горючаго, насколько намъ извѣстно, это даже единственный приборъ.

Производство главныхъ опытовъ.

11. Общія указанія.—*Мнѣвшіеся факторы.* Какъ уже сказано выше, главными задачами опытовъ было исследование явленія прдоувки въ рабочемъ цилиндрѣ и характера и величины работы насоса. Исходя изъ этого заданія, при производствѣ отдѣльныхъ серій опытовъ измѣняли для выясненія ихъ вліянія только тѣ факторы, которые, какъ можно было заранѣе предвидѣть, имѣютъ преобладающее вліяніе на указанныя стороны работы машины.

Факторы эти суть:

1, число оборотовъ n машины, интересное постольку, поскольку съ его измѣненіемъ мѣняются скорости воздуха и отработавшихъ газовъ при прохожденіи черезъ соотв. окна;

2, объемъ задней полости V_v , т. е. вреднаго пространства насоса, интересный; какъ въ смыслѣ измѣненія степени подачи насоса, такъ главнымъ образомъ въ смыслѣ измѣненія давленія вытолскаивающаго воздуха, а, слѣдовательно, и начальной скорости его перетеканія въ рабочей цилиндръ;

3, толщина прокладокъ r подъ шатунъ и s подъ крышку цилиндра, интересныя отчасти въ смыслѣ измѣненія степени сжатія и связаннаго съ нимъ давленія расширенія въ моментъ предваренія выпуска, а главнымъ образомъ, въ смыслѣ измѣненія величины и времени открытія оконъ, т. е. опять-таки съ точки зрѣнія скоростей воздуха и газовъ;

4, давленіе воздуха въ большомъ сосудѣ c , получаемое нагнетаніемъ его туда при помощи воздуходувки, интересное въ смыслѣ измѣненія подачи воздуха, скоростей и давленія вытолскаивающаго воздуха;

5, наконецъ, примѣненіе обратнаго клапана въ насосѣ съ точки зрѣнія вліянія его на степень подачи.

Указанные 5 факторовъ мы старались мѣнять въ возможно широкихъ предѣлахъ и систематично.

Правда, при нашихъ опытахъ мѣнялись и другіе факторы, какъ-то: нагрузка машины, температура и количество охлаждающей воды, относительное число пропусковъ и нѣкоторые другіе; однако эти факторы имѣли для насъ лишь второстепенное значеніе, мѣнялись не въ широкихъ предѣлахъ и частью даже помимо воли экспериментатора.

Начало и продолжительность отдѣльныхъ опытовъ. Самый опытъ, вѣрнѣе, производство отчетовъ и наблюденій должно начинаться лишь тогда, когда наступитъ вполнѣ установившееся состояніе. Въ машинахъ внутренняго горѣнія въ отличіе отъ паровыхъ, требующихъ продолжительнаго прогрѣванія, установившееся состояніе наступаетъ довольно скоро—черезъ 20—30 минутъ послѣ того, какъ машина получила соотв. нагрузку. Вѣрнымъ признакомъ установившагося состоянія является постоянство температуры отходящей охлаждающей воды. Этотъ же признакъ указывается и въ ст. 7 правилъ испытанія машинъ внутренняго горѣнія, установленныхъ въ 1906 году О—вомъ Нѣмецкихъ Инженеровъ²⁵⁾. Разумѣется, и остальные отчеты, какъ, напр., температура продуктовъ горѣнія, цвѣтъ (температура) запального шара и др. должны тоже установиться, но это происходитъ обыкновенно еще скорѣе.

Что касается продолжительности отдѣльнаго опыта, то, согласно ст. 7 указанныхъ правилъ, для опредѣленія расхода горючаго опытъ долженъ длиться при полной нагрузкѣ около 1 часа, а въ случаѣ, если кромѣ того опредѣляется расходъ и при меньшей нагрузкѣ, то еще меньше. Въ случаѣ, если цѣль испытанія опредѣленіе механической отдачи, опытъ согласно ст. 8 тѣхъ же правилъ можетъ длиться еще меньше, лишь бы успѣть снять 10 комплектовъ индикаторныхъ діаграммъ, на что достаточно 15—20 минутъ. Такимъ образомъ при вполнѣ установившемся состояніи и производствѣ многочисленныхъ отчетовъ, взаимно контролирующихся другъ друга, можно считать достаточной п о л у ч а с о в у ю продолжительность опыта. Такого же мнѣнія держится, напр., и такой авторитетъ въ данномъ вопросѣ, какъ проф. Р. Молліэ, который говорилъ это лично автору; подтвержденіе этого мнѣнія можно найти въ печати, работахъ его учениковъ, напр., Герберга²⁶⁾; другой изъ его учениковъ—Нэгель, самъ ставшій уже авторитетомъ по вопросу объ испытаніи машинъ внутренняго горѣнія, ограничиваетъ продолжительность опыта даже 20 мин.²⁷⁾.

Нагрузка. Разъ мы поставили себѣ задачей изслѣдованіе явленій, происходящихъ внутри цилиндра, то факторъ, который, очевидно, дол-

²⁵⁾ Z. V. d. I. 50, 1906 S. 1923.

²⁶⁾ Gasmot. 3, 1904 S. 185—187.

²⁷⁾ Z. V. d. I. 51, 1907 S. 1460.

женъ оставаться постояннымъ, чтобы не затемнять вліянія другихъ факторовъ,—нагрузка машины, точнѣе развиваемая ею индикаторная работа; конечно, отнесенная къ одному обороту.

Какъ извѣстно, опредѣлить заранѣе величину индикаторной работы машины внутренняго горѣнія довольно затруднительно; она зависитъ отъ многихъ случайныхъ, не зависящихъ отъ экспериментатора факторовъ, какъ быстрота воспламененія, правильное функционированіе форсунки, охлажденіе водой и др.. Въ виду этого, хотя заранѣе было извѣстно, что величина механической отдачи $\eta_m = N_e/N_i$ въ машинѣ будетъ колебаться и, можетъ быть, довольно значительно, пришлось остановиться на рѣшеніи поддерживать постоянной дѣйствительную, или полезную работу N_e , опредѣляемую по нагрузкѣ тормаза. Что касается величины этой нагрузки, то естественно было остановиться на такъ назыв. „нормальной“, т. е. той, которую заводъ указываетъ при продажѣ машины.

Наша машина считается 10-сильной при 340 обор./мин.. Такъ какъ полезная мощность при работѣ съ тормазомъ Прони выражается въ видѣ:

$$N_e = \frac{GL\pi n}{2250}, \quad (2)$$

или при длинѣ плеча рычага $L = 0,909$ мт., протце, съ точностью до 0,06%,

$$N_e = 0,00127 n G, \quad (3)$$

то при $N_e = 10$ и $n = 340$, получаемъ $G_{10} = 24$ кгр.. Эту-то нагрузку или близкую къ ней $G = 25$ кгр., болѣе удобную для подбора гирь на десятичныхъ вѣсахъ, мы и держали при большинствѣ опытовъ. Меньшая нагрузка $G = 23, 22, 20$ и даже 15 кгр. ставилась лишь нѣсколько разъ или для сравненія или въ тѣхъ случаяхъ, когда машина почему-либо не могла везти нормальной нагрузки. Большая нагрузка $G = 30$ и 31 кгр. ставилась для сравненія и всего лишь 2 раза.

Конечно, подъ G мы подразумѣваемъ нагрузку нетто на чашкѣ вѣсовъ; для уравниванія собственнаго вѣса рычага тормаза передвижка у вѣсовъ стояла всегда на дѣленіи 1,53 кгр..

Для того, чтобы нагрузка дѣйствительно была все время постоянна и точно извѣстна, за тормазомъ во время опыта наблюдаю безотлучно особое лицо и по мѣрѣ вытягиванія ремня постепенно подтягивало его, слѣдя за тѣмъ, чтобы язычекъ вѣсовъ всегда стоялъ, вѣрнѣе, колебался противъ указателя.

Установка пропусковъ. При началѣ каждаго опыта, когда при помощи регулятора установлено требуемое число оборотовъ, и машина нагружена тормазомъ, устанавливалось поворачиваніемъ гайки o , черт. 1 и 2, число пропусковъ въ 1 миц.

Теоретически, имѣя въ виду изслѣдованіе процессовъ внутри рабочаго цилиндра, желательнее, чтобы все индикаторныя діаграммы оста-

вались тождественными, т. е. чтобы подача керосина устанавливалась такъ, чтобы существовало полное равновѣсіе между нагрузкой и индикаторной работой, развиваемой въ цилиндрѣ, иными словами, чтобы пропусковъ совсѣмъ не было.

Однако на практикѣ при отсутствіи воздѣйствія регулятора на количество керосина, подаваемого насосикомъ за 1 ходъ, работа безъ пропусковъ давала бы неустойчивое равновѣсіе: достаточно хоть немного измѣниться вспышкѣ въ цилиндрѣ, или окружному усилию на тормазномъ шкивѣ или, наконецъ, сопротивленію движенію поршня, какъ равновѣсіе будетъ нарушено, машина измѣнитъ число оборотовъ въ ту или другую сторону или даже совсѣмъ остановится.

Для нашихъ опытовъ было особенно важно постоянство числа оборотовъ въ теченіе опыта, поэтому надо было оставлять машину подъ воздѣйствіемъ регулятора и сохранять нѣкоторое, возможно малое число пропусковъ. Въ зависимости отъ постоянства условій работы, главнымъ образомъ измѣненія сопротивленій движенію поршня, запасъ мощности, т. е. число пропусковъ устанавливалось у насъ отъ 3 до 7, иногда до 10% отъ числа оборотовъ.

Работа съ воздуходувкой. При работѣ съ воздуходувкой требовались особыя мѣры предосторожности для полученія установившагося состоянія. Опытъ ставился такимъ образомъ: сперва устанавливалось требуемое число оборотовъ машины, затѣмъ пускали электродвигатель съ воздуходувкой и, постепенно прикрывая задвижку *i*, черт. 8, довели давленіе въ сосудѣ *c* до желаемой высоты и лишь послѣ этого накладывали тормазъ и давали требуемую нагрузку.

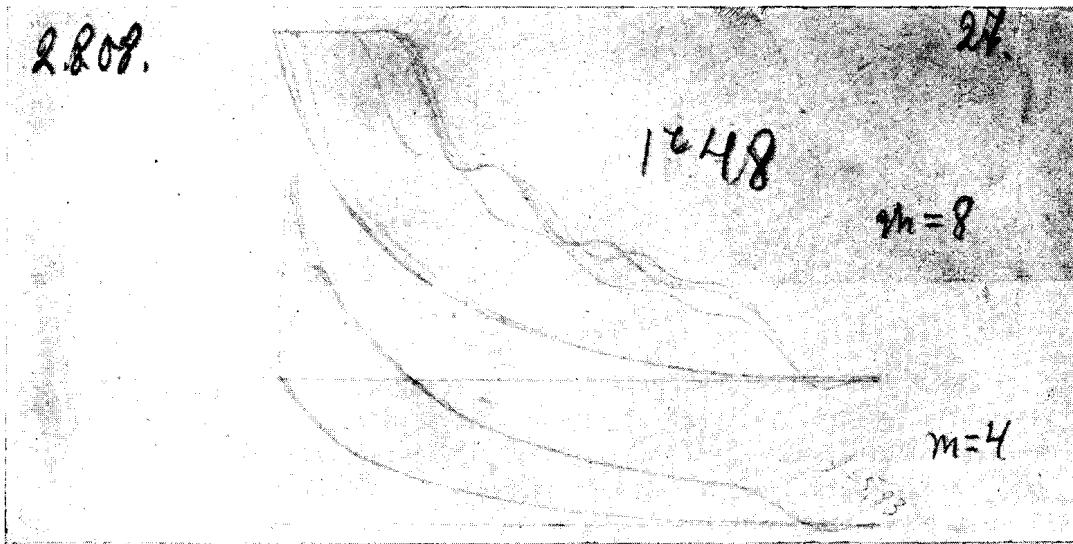
12. Измѣреніе различныхъ величинъ.—*Съемка индикаторныхъ діаграммъ.* Довольно важный вопросъ при съемкѣ діаграммъ, какой бумагой пользоваться: такъ назыв. индикаторной, покрытой тонкимъ слоемъ свинцовой соли (бѣлизъ), и мѣднымъ штифтѣмъ или обыкновенной писчей и графитовымъ карандашомъ? Удобство мѣднаго штифта въ томъ, что онъ не такъ быстро затупляется, но зато освинцованная бумага даетъ большее треніе при движеніи по ней штифта, влѣдствіе рыхлости верхняго слоя, а при рѣзкихъ колебаніяхъ давленія легко рвется даже при слабомъ нажатіи, что неоднократно и наблюдалось при первыхъ нашихъ опытахъ, особенно при появленіи такъ назыв. преждевременныхъ взрывовъ. Въ виду этого при дальнѣйшихъ опытахъ діаграммы съ рабочаго цилиндра снимались на плотной писчей бумагѣ, такъ назыв. министерской.

Самая съемка производилась слѣдующимъ образомъ: каждыя 5 минутъ снимали по двѣ діаграммы на одномъ и томъ же листкѣ, одну полную жесткой пружиной съ $m=3$, 3.5 или 4 мм., смотря по давленію вспышки, и сейчасъ же затѣмъ другую надъ ней, сдвинувъ бумагу, слабой пружиной $m=8$, иногда 10 м..

Несмотря на неполнѣ удовлетворительное налегание отдѣльныхъ обводовъ, т. е. такъ назыв. разбѣиваніе діаграммъ, мы снимали обыкновенно лишь 10 обводовъ, такъ какъ иначе получаются діаграммы, которыя слишкомъ трудно планиметрировать.

Описанный способъ съемки, съ одной стороны, ускоряетъ ее, съ другой, не затемняя діаграммъ, позволяетъ легче сравнивать рабочую діаграмму съ діаграммой заряженія.

Образецъ получавшейся діаграммы, такъ сказать факсимиле съ одной изъ діаграммъ опыта № 27, представленъ на черт. 31.

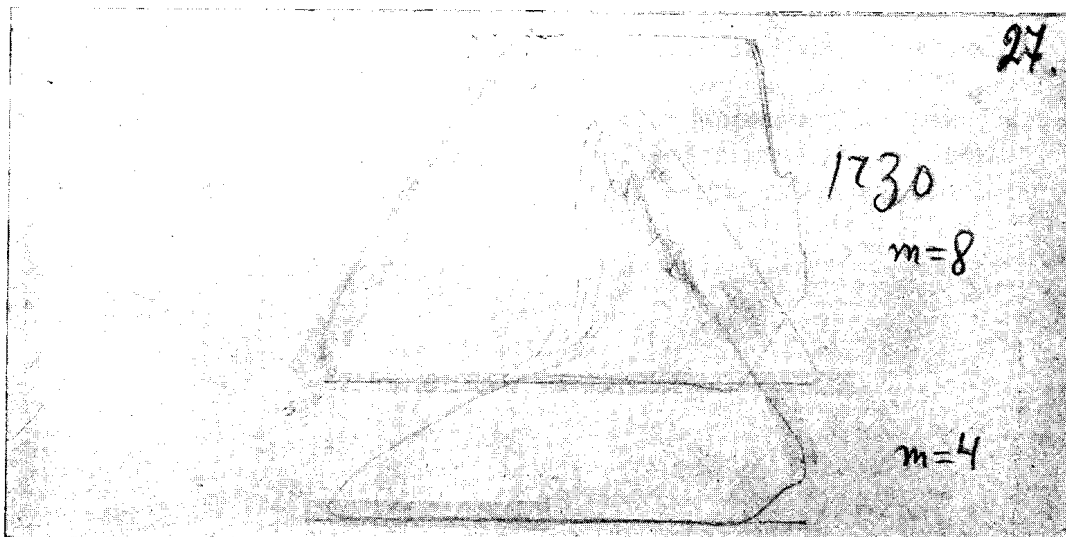


Черт. 31.

Тотчасъ послѣ съемки такой пары діаграммъ снимались одинъ разъ—смѣщенныя діаграммы, тоже попарно—жесткой и слабой пружиной, черт. 32, а слѣдующій разъ, черезъ 5 минутъ,—диаграммы воздушнаго насоса. Такимъ образомъ и тѣ и другія діаграммы снимались черезъ каждыя 10 минутъ, что вполне достаточно, какъ для смѣщенныхъ діаграммъ рабочаго цилиндра, такъ и для діаграммъ насоса, которыя при установившейся работѣ остаются одинаковыми.

Діаграммы съ воздушнаго насоса снимались на индикаторную бумагу. Въ виду сомнѣній относительно получавшихся на этихъ діаграммахъ волнъ, т. е. даютъ ли онѣ дѣйствительныя колебанія давленія или происходятъ подъ вліяніемъ инерціи массъ индикатора, наряду съ съемкой діаграммъ слабой пружиной, $m=160$ мм., снимались на тотъ же листокъ довольно часто, хотя и не при всякомъ опытѣ въ виду требующагося довольно значительнаго времени для смѣны пружины, еще діаграммы болѣе жесткой пружиной, $m=60$ или 80 или 100 мм.. Сличеніе діаграммъ, снятыхъ разными пружинами, должно было служить,

какъ для провѣрки величины площади ихъ, т. е. точности опредѣленія работы насоса, такъ и для выясненія характера отдѣльныхъ линий.



Черт. 32.

Однако, какъ выяснилось впоследствии, влияние инерціи движущихся массъ индикатора, учтенное по способу А. Флигнера²⁸⁾, оказалось настолько значительнымъ, что все діаграммы воздушнаго насоса пришлось соотв. исправлять, какъ это будетъ указано подробнѣе ниже, ч. II.

Факсимиле такой діаграммы дано на черт. 33.

Изрѣдка снимались также смѣщенные діаграммы съ воздушнаго насоса, которымъ первоначально не придавали большого значенія, но которыя впоследствии очень пригодились при вычисленіи поправки на влияние движущихся частей индикатора.

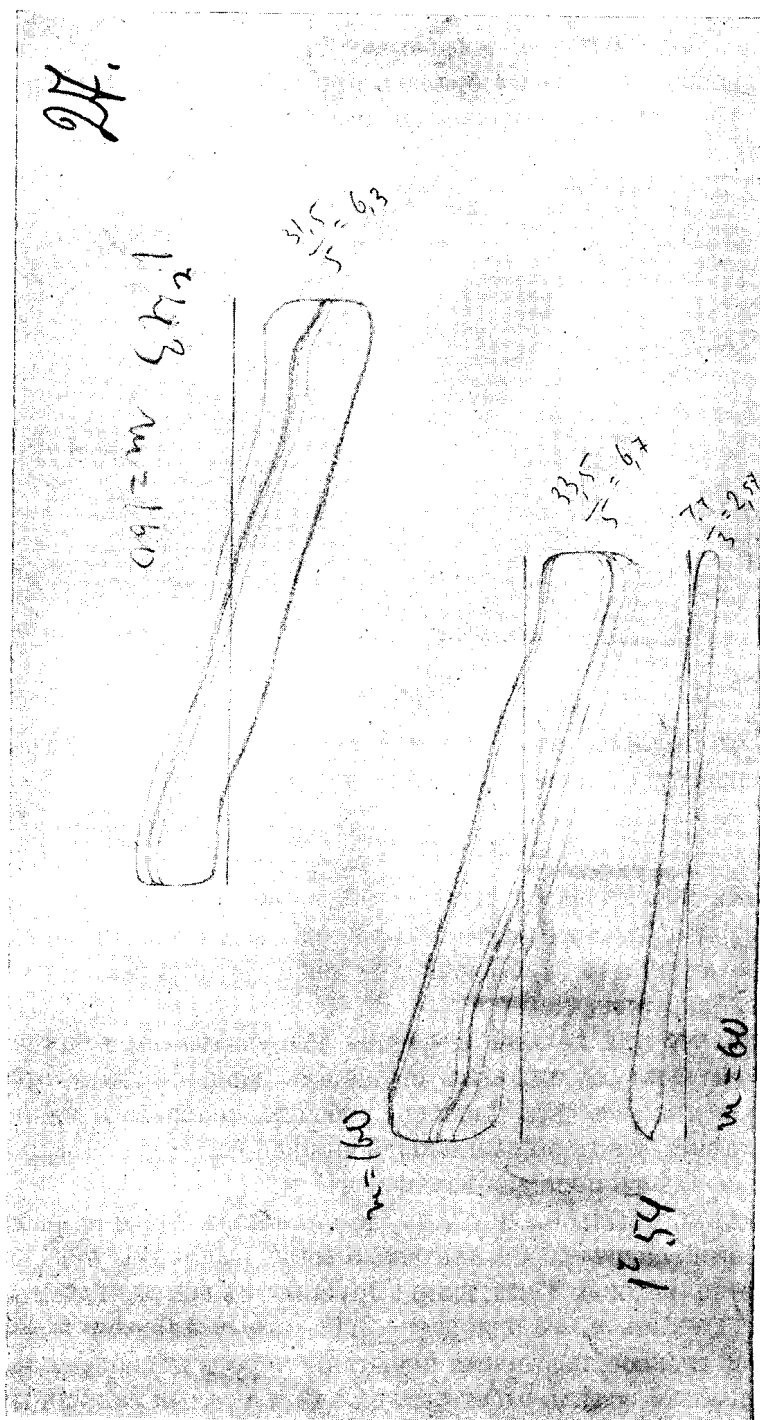
Наконецъ, въ началѣ и въ концѣ каждаго опыта снимались смѣщенные діаграммы въ масштабѣ $m=30$ мм. съ глушителя; съемка съ него нормальныхъ діаграммъ не представляетъ интереса въ виду характера явленія, наступающаго только въ моментъ нахождения поршня около мертвой точки.

Образецъ для того же опыта № 27 представленъ на черт. 34, стр. 64.

Въ заключеніе надо добавить, что все употреблявшіяся пружины отъ времени до времени провѣрялись въ своихъ же индикаторахъ при помощи глицериноваго пресси, измѣннаго прибора Рухгольца²⁹⁾, непосредственною нагрузкой чугунными грузами. По полученнымъ записямъ средней масштабъ пружины вычислялся для всехъ діаграммъ, кромѣ

²⁸⁾ Schweiz Bauz. 18, 1872; Z. V. d. I. 45, 1901 S. 1343.

²⁹⁾ Исп. инд. стр. 17.



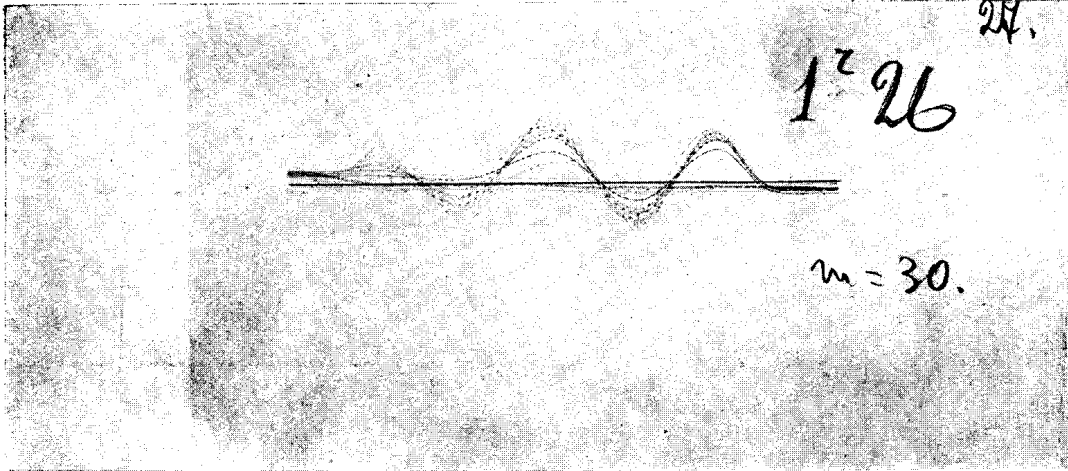
Черт. 33.

полныхъ нормальныхъ диаграммъ рабочаго цилиндра, по формулѣ

$$m = \frac{s}{p}, \quad (4)$$

гдѣ s путь въ мм., пройденный карандашомъ подъ дѣйствіемъ нагрузки

p въ кгр/см.², которая выбиралась или равной или ближайшей большей къ наибольшему давленію, имѣющему мѣсто въ данномъ видѣ діаграммъ. Конечно, величина s бралась при этомъ въ видѣ средней, найденной по трехкратной нагрузкѣ и разгрузкѣ.



Черт. 34.

Масштабъ пружинъ въ 3, 3,5 и 4 мм. рабочихъ діаграммъ опредѣлялся по способу Е. Мейера, т. е. по формулѣ

$$m = \frac{\sum s}{\sum p}, \quad (5)$$

гдѣ $\sum s$ сумма послѣдовательныхъ путей карандаша при возрастаніи и паденіи нагрузки, отсчитываемыхъ всѣ отъ атмосферной линіи, а $\sum p$ сумма соотв. нагрузокъ³⁰⁾. Конечно, $\sum s$ тоже средняя величина изъ нѣсколькихъ, 3 до 7, испытаній.

Очевидно, что при помощи формулы (5) учитывается болѣе сильно вліяніе масштабовъ въ нижнихъ ступеняхъ давленія, какъ это и слѣдуетъ дѣлать для подсчета площади рабочихъ діаграммъ машинъ внутренняго горѣнія, у которыхъ площадь нижней части діаграммы больше, и значительно, чѣмъ площадь верхней части.

Такъ какъ пружины были новыя, до тѣхъ поръ почти не работавшія, то полученные масштабы сравнительно мало разнились отъ номинальных, данныхъ фирмой. Такъ, напр., пружина съ номинальнымъ $m_0=3,0$ дала $m=3,11$ мм. съ $m_0=3,5$ дала $m=3,62$, съ $m_0=4,0$ всего $m=4,01$ мм.. Но что самое главное, повторныя испытанія черезъ нѣсколько дней, а затѣмъ и нѣсколько недѣль работы давали тѣ же самыя величины m . Объясняется это, съ одной стороны, хорошимъ качествомъ пружинъ, затѣмъ сравнительно легкими условіями работы пружинъ,—онѣ оставались

³⁰⁾ Подр. см. Исп. инд. стр. 30 и сл..

всегда совершенно холодными, и, наконец, малой продолжительностью отдельных опытов, т. е. небольшим числом диаграмм на каждый опыт.

Для оценки точности величин, найденных по указанным m , мы вычислили для них по обычной формуле по квадратам разностей величину средней ошибки средней величины ν . Для разных пружин рабочих диаграмм ν колеблется от $\pm 0,13$ до $\pm 0,34\%$.

Для пружин индикатора у воздушного насоса масштабы номинальный $m_0=160$ далъ $m=144,8$ мм.; $m_0=80$ далъ $m=78,20$; $m_0=60$ далъ $m=58,8$ мм.. Наибольшая средняя ошибка ν оказалась у самой мягкой пружины съ $m=144,8$ и равняется $\pm 0,46\%$.

Въ виду указанного обнаруженнаго постоянства найденных m проверка ихъ велась значительно рѣже, чѣмъ обыкновенно при работѣ съ машинами внутренняго горѣнія.

Барометрическое давленіе измѣрялось по упомянутому выше ртутному барометру передъ началомъ cadaго опыта. Въ виду малой продолжительности отдельнаго опыта проверка давленія по окончаніи опыта дѣлалась очень рѣдко. При этомъ не было случая, чтобы за время опыта давленіе замѣтно измѣнилось.

Число оборотовъ измѣрялось по описанному выше счетчику, сцѣпленному съ валомъ машины, при чемъ отчеты дѣлались черезъ каждыя 5 мин. съ точностью до 1 сек. Въ промежуткахъ за постоянствомъ числа оборотовъ слѣдили еще по тахометру.

Число пропусковъ измѣрялось при помощи секундомѣра слѣдующимъ образомъ: секундомѣръ пускался съ первымъ пропускомъ, который въ счетъ однако не вводится, затѣмъ считали пропуски въ теченіе промежутка времени сколо 1 мин. и съ послѣднимъ отсчитаннымъ пропускомъ секундомѣръ останавливали и записывали число пропусковъ и соотв. число сек.. Такое подсчитываніе дѣлалось каждыя 5 минутъ, какъ и вообще большинство остальныхъ наблюдений.

Хотя при пользованіи секундомѣромъ глаза не заняты наблюдениемъ за стрѣлкой часовъ и могутъ слѣдить за керосиновымъ насосикомъ, но услѣдить на-глазъ точно за пропусками при большомъ числѣ оборотовъ и особенно при сколько нибудь значительномъ числѣ пропусковъ очень трудно. Гораздо легче считать пропуски на-ощупь, подкладывая указательный палецъ правой руки подъ собачку у откиднаго лезвія n , черт. 1 и 2: при пропускѣ лезвіе n отгибается внизъ, ударяя довольно чувствительно въ палецъ.

Измѣреніе температуръ. Всѣ отчеты температуръ у машины, т. е. воздуха въ задней полости и продувочномъ каналѣ, охлаждающей воды, поступающей и выходящей, и продуктовъ горѣнія, производились каждыя 5 мин.. Температура въ помещеніи, т. е. воздуха передъ воздуш-

ными часами, измѣрялась передъ началомъ опыта; иногда зимой послѣ часовой работы она поднималась на 0,5 до 1°.

Кромѣ отчета показаній ртутныхъ термометровъ отмѣчалось всегда для вычисленія поправки на выступающій столбикъ ртути, до какого дѣленія соотв. термометръ былъ вдвинутъ.

Большое вниманіе было обращено на провѣрку термометровъ. Всѣ ртутные термометры провѣрялись путемъ сличенія съ нормальными, снабженными свидѣтельствами Германскаго Физико - Техническаго Имперскаго Института.

Сличеніе термометровъ, показывавшихъ до + 80°, велось при помощи подогреванія въ водяной ваннѣ.

Термоэлементъ, служившій для измѣренія температуры продуктовъ горѣнія, провѣрялся въ томъ видѣ, какъ онъ стоялъ во время опытовъ, т. е. вмѣстѣ съ милливольтметромъ и припаянными соединительными проводниками, которыхъ сопротивление было однако ничтожно. Провѣрка производилась по постояннымъ точкамъ: таянія льда (0°), кипѣнія воды (ок. 100°)³¹⁾, при чемъ, конечно, принималась во вниманіе поправка на отклоненіе барометрическаго давленія отъ 760 мм.³²⁾, кипѣнія ртути (ок. 357°) и кипѣнія сѣры (ок. 445°), обѣ тоже съ поправками на барометрическое давленіе.

О взаимной провѣркѣ исправности показаній термоэлемента и ртутнаго термометра при измѣреніи температуры отработавшихъ газовъ сказано уже выше, стр. 30.

Лучеиспусканіе. Для полученія точнаго тепловаго баланса намъ казалось интереснымъ постараться опредѣлить потерю тепла машиной на лучеиспусканіе. Величина этой потери, очевидно, зависитъ отъ разности температуръ цилиндра и головки, съ одной стороны, и воздуха въ помещеніи, съ другой. Такъ какъ послѣдняя температура и безъ того измѣрялась, то дополнительно измѣрять нужно было лишь температуры цилиндра и головки. Однако путемъ ряда измѣреній было установлено, что температура стѣнокъ цилиндра въ нижней части очень близка къ температурѣ поступающей, охлаждающей воды, а въ верхней — къ температурѣ отходящей. Такимъ образомъ среднюю температуру стѣнокъ цилиндра можно считать просто равной средней арифметической изъ температуръ входящей и отходящей охлаждающей воды.

Непосредственно измѣрять пришлось лишь температуры въ разныхъ точкахъ головки; съ этой цѣлью къ соотв. точкѣ прикладывали ртутный термометръ, прикрывая и прижимая его кускомъ азбестоваго картона.

³¹⁾ Описаніе соотв. прибора см. В. Л. Малъевъ „Измѣреніе температуръ для техническихъ цѣлей“, стр. 163, черт. 147;—прибора для ртути и сѣры, тамъ-же стр. 166, черт. 149.

³²⁾ Измѣреніе температуръ, стр. 161.

Какъ и слѣдовало ожидать, температура головки оказалась наивысшей у самого конца, противъ запального шара, постепенно убывая по направленію къ цилиндру.

Въ виду того, что измѣрившіяся температуры въ различныхъ точкахъ головки оставались очень постоянными въ теченіе каждаго опыта, завися, повидимому, главнымъ образомъ отъ расхода керосина, затѣмъ въ виду известной гадательности формулъ, по которымъ пришлось вычислять величину потери на лучеиспусканіе, и, наконецъ, въ виду сравнительно небольшой величины этой потери въ общемъ тепловомъ балансѣ, измѣренія соотв. температуръ производились лишь въ началѣ и въ концѣ опыта, а иногда даже лишь по одному разу, и то не при всѣхъ опытахъ.

Расходъ керосина. Когда работа машины была налажена, и наступало установившееся движеніе, подводили остріе проволоки въ указательномъ стеклѣ керосинового бачка такъ, чтобы остріе было чуть погружено. Черезъ нѣсколько секундъ оно обнажалось, и въ моментъ отрыванія опускающагося уровня керосина отъ острія нажимали собачку секундомѣра. Затѣмъ отвѣшивали въ небольшомъ ведрѣ нѣкоторое количество керосина. Передъ концомъ опыта, т. е. черезъ 25—30 мин., подливали въ расходный бачекъ керосинъ изъ этого ведра, пока остріе опять не погружалось немного въ керосинъ, и слѣдили за моментомъ вторичнаго отрыванія уровня, нажимая въ это мгновеніе собачку секундомѣра, стрѣлка котораго останавливалась и показывала точно, до 0.2", время, за которое было израсходовано количество керосина, равное разности вѣса ведра съ керосиномъ до подливанія его и послѣ того.

Вторичное взвѣшивание ведра, съ остаткомъ керосина, производилось обыкновенно уже по окончаніи опыта, чтобы не ошибиться въ суетѣ, вызывавшейся необходимостью быстро забрать пробы при помощи дифференціатора, снять послѣднія діаграммы и сдѣлать нѣсколько заключительныхъ отчетовъ.

Моменты начала и конца измѣренія керосина были въ то же время моментами начала и конца опыта, но такъ какъ остальные отчеты начинали вести заранѣе и оканчивали тоже немного спустя, то для подсчетовъ брались періоды отчетовъ отъ послѣдняго соотв. отчета передъ началомъ измѣренія керосина и включительно до перваго отчета послѣ окончанія измѣренія керосина, т. е. періоды времени отдѣльныхъ отчетовъ на нѣсколько минутъ больше продолжительности измѣренія керосина. При установившемся движеніи это несущественно и скорѣе даже желательно, такъ какъ увеличиваетъ точность среднихъ величинъ.

Подача воздуха. Отчеты производились по газовымъ часамъ каждыя 5 минутъ, съ точностью до 1 сек.. Собственно говоря, отчеты эти достаточно дѣлать лишь дважды, въ началѣ опыта и въ концѣ его, отмѣчая точно промежутокъ времени между этими отчетами.

Отчеты черезъ каждыя 5 минутъ интересны съ точки зрѣнія провѣрки исполнѣ установленнаго движенія и еще въ томъ отношеніи, чтобы случайной ошибкой при первомъ или послѣднемъ отчетѣ не испортилъ весь опытъ. При отчетѣ черезъ каждыя 5 мин. можно легко обнаружить ошибку въ этихъ отчетахъ и исправить ее, взявъ за начало опыта или предыдущій отчетъ или послѣдующій. Ошибка въ одномъ изъ промежуточныхъ отчетовъ значенія не имѣетъ.

Какъ уже упоминалось, во время опытовъ, чтобы поддерживать уровень воды на требуемой высотѣ, черезъ газовые часы всегда пропускали воду, выходящую изъ перелива крупными каплями.

Расходъ воды. Количество охлаждающей воды опредѣлялось взвѣшиваніемъ обычнымъ путемъ: сперва опредѣлялась тара бака съ остаткомъ воды на днѣ, вѣриѣ, послѣдній уравнивался накладываніемъ на чашку десятичныхъ вѣсовъ чугунной плиты съ дробью; закрывался выпускной кранъ бака, и при началѣ опыта конецъ рукава, висящаго надъ раковиной, перекидывался такъ, чтобы вода начинала течь въ бакъ.

По истеченіи 5 мин., съ точностью до 1 сек., рукавъ перекидывался обратно такъ, что вода текла прямо въ раковину. Взвѣшивалось, по возможности быстро, въ 1—1½ мин., иногда даже въ ½ мин., количество набѣжавшей воды, и рукавъ снова перекидывался на бакъ. Точно черезъ 5 мин. рукавъ снова перекидывался, бакъ взвѣшивался и т. д. Такое взвѣшиваніе черезъ 5 мин. имѣло цѣлью, конечно, исключительно контроль установленнаго движенія.

Взятіе газовыхъ пробъ. Пробы отработавшихъ газовъ при помощи дифференціатора брались или при началѣ опыта или тотчасъ по его окончаніи, какъ описано уже выше.

Пробы для опредѣленія средняго состава отработавшихъ газовъ и производства анализа путемъ сжиганія забирались изъ перваго глушителя въ описанный ниже 15-литровый аспираторъ съ особыми дѣленіями. Чтобы составъ газовъ былъ возможно близокъ къ среднему, заборъ производился постепенно въ теченіе всего опыта.

При упоминавшемся выше заборѣ пробъ изъ выпускной трубы близъ самаго цилиндра, чтобы составъ былъ возможно близокъ къ среднему, пробу, забираемую въ небольшой аспираторъ въ 2—5 литр., брали тоже невдругъ, а постепенно, въ нѣсколько пріемовъ въ теченіе всего опыта.

13. Общій обзоръ веденія опытовъ.—Въ заключеніе, можетъ быть, небезынтересно указать, сколько лицъ принимало участіе въ нашихъ опытахъ, и какъ между ними распредѣлялись обязанности.

Всего обычно участвовало 4 лица: одинъ (помощникъ машиниста) стоялъ у тормазы и слѣдилъ за вѣсами, періодически поджигая тормазъ по мѣрѣ вытяжки ремня; онъ же слѣдилъ за смазкой машины, наполняя по мѣрѣ надобности масленки, и помогалъ при сцѣпкѣ и расцѣпкѣ

индикаторовъ, кромѣ съемки нормальныхъ рабочихъ діаграммъ, при которой и индикаторъ и приводъ подъ руками у снимающаго діаграммы; 2-ое лицо измѣряло расходъ керосина и охлаждающей воды, забирало газовыя пробы для анализа средняго состава и сожженіемъ и помогало автору при заборѣ пробъ посредствомъ дифференціатора; 3-ье лицо дѣлало отчеты по счетчику оборотовъ, всѣхъ температуръ у машины, т. е. по 6—8 приборамъ, и отчеты по воздушнымъ часамъ; 4-ое лицо—самъ авторъ, который производилъ съемку всѣхъ индикаторныхъ діаграммъ и считалъ число пропусковъ; кромѣ того, конечно, онъ же слѣдилъ за общимъ ходомъ опыта и производилъ всѣ остальные, не періодическія измѣренія, какъ-то: барометра, температуры въ помещеніи, температуры головки для вычисленія потери на лучеиспусканіе, слѣдилъ за постоянствомъ подачи охлаждающей воды, регулируя ее краномъ по указанію термометра и 5-минутныхъ отчетовъ расхода ея, бралъ пробы продуктовъ горѣнія при помощи дифференціатора, измѣрялъ расходъ цилиндроваго масла и вбрызгиваемой въ цилиндръ воды въ соотв. опытахъ, устанавливалъ работу воздуходувки, слѣдилъ за переливомъ Кинга у воздушныхъ часовъ и т. п.

Какъ видимъ, на долю каждаго приходилось работы болѣе, чѣмъ достаточно. Если во время самаго опыта что-нибудь разлаживалось, напр., рвался индикаторный шнуръ, или ломался карандашъ, или соскакивалъ приводъ у тахометра, то, хотя налаживаніе и шло очень быстро вслѣдствіе выработавшагося навыка, но часто слѣдующее соотв. наблюденіе вмѣсто промежутка точно черезъ 5 минутъ автору приходилось нѣсколько сдвигать. Впрочемъ при установившемся движеніи это не имѣетъ существеннаго значенія.

Въ виду неполноты исправной работы машины, главнымъ образомъ въ смыслѣ засѣданія поршня, о чемъ подробнѣе сказано ниже, почти послѣ каждаго опыта цилиндръ осматривали, вынимая и очищая поршень и его кольца. Хотя этимъ машина ставилась въ условія, отличающіяся отъ работы на практикѣ, но зато всѣ опыты протекали въ болѣе или менѣе одинаковыхъ условіяхъ, т. е. ослаблялось весьма нежелательное вліяніе переменнаго механическаго коэффиціента полезнаго дѣйствія.

Наконецъ, для полноты картины въ таблицахъ 8—13 представлены образцы всѣхъ записей, которыя велись во время самаго опыта, и въ томъ видѣ, какъ онѣ дѣйствительно у насъ дѣлались.

Каждая запись, таблица, велась на отдѣльномъ листѣ. Записи, которыя дѣлались во время самаго опыта, на таблицахъ выдѣлены курсивнымъ шрифтомъ; остальные данныя, полученныя послѣ опыта при его обработкѣ, изображены обыкновеннымъ шрифтомъ.

Т а б л и ц а 8.

Число оборотовъ.			Опытъ № 32.		7.8.08	
время	счетчикъ	разность	тахом.			
11 ч. 41 м	2523	1471	290			
46	3994	1471	290			
51	5467	1472	290			
56	6939	1477	290			
1 ч. 1 м.	8416	1473	290			
6	9889	1375	290			
11	1264	1470	290			
16	2734	1470	290			
21	4204	1459	290			
26	5663	1462	290			
31	7125		290			

$$\begin{array}{r} 15663 \\ - 3994 \\ \hline 11669 \\ + \\ \text{поправка } 100 \\ \hline 11769 \\ 40 = 294,2 \text{ обор./мин.} \end{array}$$

Т а б л и ц а 9.

Температуры.								Опытъ № 32.		7.8.08	
время	выдается	вода		воздухъ		отработ. газы			$\Delta t_5 = 0$	$\Delta t_6 = \frac{(51-7)(51-22,5)}{6400} = \frac{44.285}{6400} = 0,20^\circ;$	
		хол. t_5	гор. t_6	1 t_2	2 t_3	ртутн. t_4'	тер. моэл. t_4''	холодный спай $\Delta t_4''$			
		0°	+7,0°	-11°	+2°	+200°	-	-			
11 ч. 42 м.		19,3	51	46,5	87	415	408	20,5	$\Delta t_2 = \frac{(47+11)(47-22,5)}{6400} = \frac{58.24,5}{6400} = 0,22^\circ;$		
47		19,3	51	46,7	87	416	410	20,5			
52		19,3	51	47	87	414	408	21,0			
57		19,3	51,5	47	87	413	407	21,0	$\Delta t_3 = \frac{(87-2)(87-22,5)}{6400} = \frac{85.64,5}{6400} = 0,86^\circ;$		
1 ч. 2 м.		19,3	51	47	87	410	402	20,5			
7		19,3	51	47	87	413	405	22,0			
12		19	51	47,5	87	416	405	22,0			
17		19	50,5	47,7	87	413	407	22,5	$\Delta t_4 = \frac{(412,5-200)(412,5-30)}{6400} = \frac{212,5.382,5}{6400} = 12,7^\circ;$		
22		19	51	47,7	87	408	400	22,5			
27		19	51	47,7	87	408	398	23,0			
среднее исправл.		19,18 19,2	51,00 51,2	47,18 47,4	87,00 87,9	412,5 425	404,7 426	21,65 —			

Таблица 10.

Воздушные часы.			Опытъ № 32.	7 8.08
время	отчетъ	разность		
12 ч. 40 м.	2949,96	5,76	3002,26	
45	55,72	5,82	— 2955,72	
50	61,54	5,84	46,54 въ 40 мин.	
55	67,30	5,84		
1 ч. —	73,22	5,85		
5	79,07	5,82		
10	84,89	5,80	$\frac{46,54 \times 60}{40} = 69,81$ мт. ³ /час.	
15	90,69	5,81		
20	96,50	5,76		
25	3002,26	5,71		
30	07,97			

Таблица 11.

Расходъ керосина.					Опытъ № 32.	7.8.08
время начала	продолж. мин.	вѣсъ ведра кпр.	разность	расходъ кпр./час.		
12 ч. 45 м.	38'40,8" =	3,92	2,25	3,492	Изъ бочки № 1. $\delta = 0,820$ при $22,0^\circ$.	
1 ч. 28 м.	=38,68'	1,67				

Таблица 12.

Расходъ охлад. воды.					Опытъ № 32.	7.8.08
время	разность	вѣсъ кпр.	разность вѣса	расходъ кпр./час.		
12 ч. 50 м. —			27,2	333,2		
55 м. —	5	27,20	27,1			
55 м. 30 с.	5	54,30	27,2			
1 ч. — 30 с.	5	81,50	28,0			
6 м. —	5	109,50	28,2			
6 м. 30 с.	5	137,70	28,6			
11 м. 30 с.	5	166,30	17,0			
12 м. —	3	183,30	(28,3)			
17 м. —						
17 м. 30 с.						
22 м 30 с.						
23 м. —						
26 м. —						
всего. . .	33 мин.		183,3			

Таблица 13.

Число пропусковъ.			Опытъ № 32.		7.8.08.
время	продолж. сек.	число пропуск.			
12 ч. 44 м.	49"	10	$B = 746,7$ мм.	t шоловки: 317° 208°	
47	67	10	$t_1 = 22,5^0$	320° 209°	
53	49	10	$V_3 = 88$ атр. (оба сосуда).		
56	52	10	прокладка 10 мм.		
1 ч. 2 м	51,6	10	$G = 25$ кур. на тормазъ.		
8	44	10	разрѣженіе у часовъ 3—4 мм., у верхняго сосуда 0—8 мм.		
12	38	10	вспышка — рычагъ посредитъ, нормальная.		
20	47,6	10	запальный шаръ черный; снизу свѣтитсѣ.		
24	50	10			
всего	448,2	90			

въ 1 мин. $\frac{90.60}{448,2} = 12,5$ пропусковъ.

14. Газовые анализы. — Прежде всего можно отмѣтить, что мы старались всѣ анализы дѣлать возможно скорѣе, тотчасъ по окончаніи опыта, такъ какъ убѣдились при производствѣ описанныхъ выше предварительныхъ опытовъ въ довольно значительной поглощаемости газовъ запорной жидкостью аспиратора даже въ случаѣ примѣненія не чистой воды, а насыщенной поваренной солью.

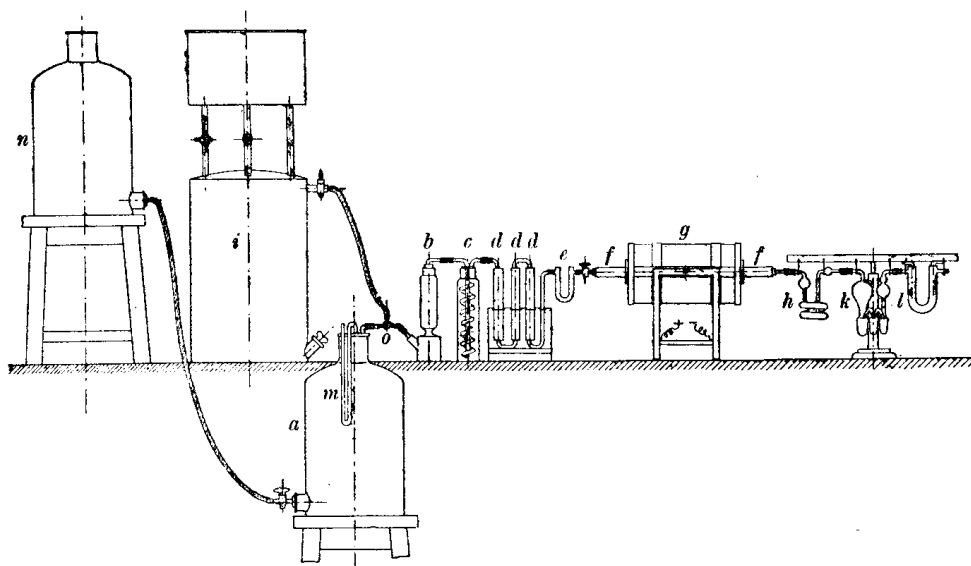
Немедленно послѣ окончанія опыта съ машиной или опытовъ, если ихъ было произведено нѣсколько подрядъ, приступали къ объемному анализу отработавшихъ газовъ при помощи пипетокъ Гемпеля. Этому способу было отдано предпочтеніе передъ болѣе распространеннымъ при техническихъ изслѣдованіяхъ приборамъ Орса, отчасти въ виду болѣе точности его, отчасти въ виду того, что для поглощенія кислорода мы пользовались не пирогалловой кислотой, а фосфоромъ. Дѣло въ томъ, что фосфоръ даетъ болѣе надежные результаты, такъ какъ позволяетъ точно судить о концѣ реакціи по прекращенію образованія бѣлаго дымка, отдѣляющагося отъ кусочковъ фосфора, пока въ газѣ содержится еще хоть небольшое количество кислорода. Неудобство при пользованіи фосфоромъ въ томъ, что онъ отказывается дѣйствовать въ случаѣ малѣйшаго присутствія тяжелыхъ углеводородовъ. Для поглощенія послѣднихъ газъ прогоняли въ пипетку, наполненную дымящейся сѣрной кислотой, чего нельзя дѣлать при обыкновенномъ приборѣ Орса съ 3 сосудами-пипетками.

Послѣ того, какъ были произведены объемные анализы пробъ, взятыхъ при помощи дифференціатора, и средней пробы, переходили къ

анализу средней пробы при помощи сожжения. Послѣдній имѣетъ своей цѣлью опредѣлить количество содержащихся въ отходящихъ газахъ углеводородовъ, окиси углерода и водорода, т. е. выяснитъ потерю вслѣдствіе неполнаго сгорания въ машинѣ рабочей смѣси.

Насколько извѣстно по литературѣ, опредѣленіе потери отъ неполнаго сгорания при испытаніяхъ машинъ внутренняго горѣнія производилось очень рѣдко. Поэтому для соотв. анализа нѣтъ ни строго опредѣленныхъ указаній, ни даже вполне выработанныхъ приборовъ. Пользуясь свѣдѣніями о соотв. опытахъ Ф. Габера³³⁾, Е. Мейера³⁴⁾ и Ф. Гейсера³⁵⁾, авторъ послѣ нѣкоторыхъ предварительныхъ опытовъ выработалъ слѣдующій способъ, въ которомъ приняты всѣ мѣры, чтобы опытъ, дліящийся нѣсколько часовъ, шелъ возможно равномерно и не требовалъ чрезчуръ внимательнаго, утомительнаго наблюденія за собой.

Вся установка изображена схематически на черт. 35: *a* аспираторъ, изъ котораго выходитъ подъ нѣкоторымъ давленіемъ изслѣдуемый газъ,



Черт. 35.

проходящій сперва черезъ сушильную колонку *b* съ CaCl_2 , затѣмъ черезъ промывалку *c* съ растворомъ KNO_3 , гдѣ онъ освобождается отъ CO_2 ; затѣмъ газъ вновь просушивается при прохожденіи черезъ трубки

³³⁾ J. Gasbel. 1896 S. 83.

³⁴⁾ Z. V. d. I. 1902 S. 948.

³⁵⁾ Verh. V. Gew. 86, 1907 S. 437; Gasmot. 7, 1907 S. 134.

d, d. наполненныя—первая натристой известью, а остальные CaCl_2 ; далѣе газъ проходитъ черезъ контрольную U-образную трубку *e* съ CaCl_2 , взвѣшиваемую до и послѣ каждаго опыта. Если вѣсъ трубки *e* не измѣнился, все исправно; если онъ увеличился, значитъ поглощеніе H_2O въ предыдущихъ приборахъ неполное. Впрочемъ при маломъ увеличеніи опыта еще не пропасть, такъ какъ можно считать, что сама трубка *e* поглотила остатокъ H_2O , являясь какъ бы на помощь предыдущимъ приборамъ. Вначалѣ при нѣкоторыхъ опытахъ ставили также контрольный калиаппаратъ непосредственно за промывалкой *e*, но практика показала, что при пользованіи промывалкой системы Вальтера съ змѣвикомъ, въ которой пузырькъ газа приходитъ въ особенно тѣсное и продолжительное соприкосновеніе съ растворомъ KNO_3 , послѣ промывалки никогда не обнаруживается даже слѣдствъ не поглощенной CO_2 . Поэтому ради упрощенія производства опытовъ, уменьшенія числа стыковъ, которые всегда являются слабыми мѣстами даннаго способа и, наконецъ, ради уменьшенія сопротивленія въ системѣ, что желательно въ томъ отношеніи, что съ уменьшеніемъ сопротивленія уменьшается и давленіе въ системѣ, что въ свою очередь уменьшаетъ вѣроятность порчи опыта изъ-за утечки газа, въ большинствѣ опытовъ контрольнаго калиаппарата не ставили. Въ качествѣ мѣры предосторожности, вмѣсто того, мѣняли почаще поглощающую жидкость: по даннымъ Гемпеля³⁶⁾, 1 см.³ раствора KNO_3 крѣпости 1 : 2 можетъ поглотить до 40 см.³ CO_2 , т. е. ок. 72 mgr., мы же никогда не поглощали болѣе 30—40 mgr..

Далѣе, пройдя всѣ перечисленные приборы, газъ, просушенный и освобожденный отъ CO_2 , попадаетъ въ трубку *f*, наполненную кусочками CuO_2 въ видѣ окисленныхъ кусковъ проволоки, діаметромъ ок. 1 мм., длиной отъ 2 до 5 мм.. Трубка *f*, изъ тугоплавкаго стекла, длиной ок. 460 мм., съ внутреннимъ діаметромъ ок. 20 мм., находится въ горизонтальной электрической печи Герэуса *g* и поддерживается во все время опыта при температурѣ краснаго каленія, т. е. ок. 600—700° Ц. При прохожденіи черезъ раскаленный слой CuO_2 содержащіеся въ газѣ окись углерода, водородъ и различные углеводороды сгораютъ частью за счетъ избытка кислорода въ самомъ газѣ, частью отнимая его у CuO_2 , образуя CO_2 и H_2O , которыя затѣмъ улавливаются— H_2O въ поглотительномъ приборѣ *h*, змѣйкѣ Винклера, наполненной крѣпкой сѣрною кислотой, а CO_2 въ калиаппаратѣ *k* съ контрольной U-образной трубкой *i*, наполненной въ первой половинѣ натристой известью, во второй CaCl_2 .

Змѣйка *h* и калиаппаратъ *k* взвѣшиваются на аналитическихъ вѣсахъ, у насъ отъ фирмы Рюпрехтъ, съ точностью до 0,1 mgr. до и послѣ пропусканія газа; соотв. привѣски показываютъ количества вновь образовавшихся воды и углекислоты.

³⁶⁾ W. Hempel, Gasanal. Methoden. 3 Aufl. 1900 S. 181.

Зная количество пропущеннаго газа и принимая, что CO_2 образуется изъ свободнаго углерода, а H_2O изъ свободнаго водорода, нетрудно вычислить количество дополнительнаго тепла, которое могло быть развито при процессѣ горѣнія въ машинѣ при условіи полнаго сгоранія, т. е., чтобы продукты горѣнія совсѣмъ не содержали въ себѣ частей, способныхъ еще окисляться.

Вообще вѣсовой анализъ при помощи сожженія, такъ назыв. элементарный анализъ, считается дѣломъ довольно сложнымъ, кропотливымъ, доступнымъ только опытному химику. Это отчасти справедливо относительно анализа вещества твердаго или жидкаго. Анализъ же газовъ и притомъ при помощи нашихъ приспособленій производится очень просто и удобно.

Однимъ изъ отличительныхъ преимуществъ нашей схемы является пользованіе электрической печью: съ одной стороны печь эта даетъ температуру очень постоянную и равномерную на значительной длинѣ, съ другой, регулированіе температуры при наличности сопротивленія съ мелкими группами и амперметра съ достаточно мелкими дѣленіями очень просто.

Прежде чѣмъ перейти къ описанію производства самого опыта, нелишне упомянуть о примѣненномъ нами способѣ измѣренія подачи газа изъ аспиратора. Первой мыслью было воспользоваться для этого газомѣромъ отъ калориметра Юнкера; однако предварительные опыты показали, что работать съ газомѣромъ при давленіи газа до 200 мм. в. ст., а главное, устанавливать требуемое давленіе довольно неудобно. Кромѣ того, газомѣръ неудобенъ, когда количество пропускаемаго газа невелико, у насъ всего 8—12 лтр., такъ какъ имѣя въ аспираторѣ всего ок. 15 лтр., нельзя быть увѣреннымъ, что пропустивъ черезъ газомѣръ, емкость барабана котораго 3 лтр., 3—6 лтр., мы совершенно удалимъ изъ него газъ, бывший въ немъ передъ тѣмъ, т. е. къ началу опыта газъ можетъ итти все еще съ примѣсью прежняго.

Ближе къ цѣли было воспользоваться аспираторомъ отъ калориметра Грефе, т. е. склянкой въ 5 лтр. съ дѣленіями черезъ $\frac{1}{2}$ лтр. прямо на стеклѣ. Однако противъ этого способа измѣренія говорила слишкомъ малая точность его: на-глазъ оцѣнить уровень воды въ аспираторѣ точнѣе, чѣмъ до 1 мм. невозможно, а при діаметрѣ склянки въ 180 мм. это соотвѣтствуетъ ок. 0,03 лтр.. Если принять во вниманіе, что ошибки при началѣ опыта и концѣ могутъ быть съ разными знаками, т. е. суммарная ошибка возможна до $\pm 0,06$ лтр., это даетъ на 5 лтр. ошибку уже до $\pm 1,2\%$, а то и больше.

Послѣ нѣсколькихъ попытокъ улучшить точность этого аспиратора, мы остановились на мысли воспользоваться для отчета моментовъ прохожденія опредѣленныхъ дѣленій тѣмъ же принципомъ, что и при измѣреніи расхода керосина—появленіемъ или погруженіемъ въ уро-

вень острія. Съ этой цѣлью взяли двѣ 15-литровыхъ склянки съ широкимъ горломъ и тубусомъ у дна и, соединивъ склянки черезъ эти тубусы резиновой трубкой и закрывъ горло склянки для забора газа пробкой, черезъ которую пропустили двѣ стеклянныхъ трубки, одну для пропуска газа, другую для присоединенія водяного манометра, мы получили требуемый намъ аспираторъ. Черезъ пробку, которой закрыли газовую склянку, пропустили 16 штукъ желѣзныхъ, заостренныхъ проволокъ разной длины, при чемъ нижнее остріе было установлено около дна склянки, верхнее около пробки; разстояніе отъ одного острія до слѣдующаго соотвѣтствуетъ 1 лтр.. Градуировку, т. е. установку острий производили при помощи точныхъ вѣсовъ, показывающихъ 0,5 гр. при предѣльной нагрузкѣ въ 50 кгр.. Когда проволоки были разставлены, пробку, утопленную примѣрно на 10 мм. ниже края горловины, залили менделѣевской замазкой. Послѣ этого сосудъ вновь провѣрили, опредѣляя вѣсъ воды между отдѣльными остріями. При этомъ оказалось, что ни одно дѣленіе не равняется 1 лтр.; нѣкоторыя больше, другія меньше; впрочемъ, это не имѣетъ значенія. Зато повторныя измѣренія, притомъ частью произведенныя черезъ нѣсколько времени, дали для тѣхъ же дѣленій величины, разнящіяся между собою не болѣе 10, рѣдко 15 гр.. Произведя 5 градуировокъ и вычисливъ по формулѣ квадратовъ разностей среднюю ошибку средней величины для тѣхъ дѣленій, которыя случайно дали наиболѣе расходящіеся отчеты, мы получили ошибку отъ $\pm 0,7$ до $\pm 2,1\%$. А такъ какъ при нашемъ способѣ градуировки ошибки отдѣльных отчетовъ не вліяютъ на отчеты сосѣднихъ дѣленій, т. е. абсолютная величина ошибки въ лтр. остается неизмѣнной для любого числа дѣленій, то при наименьшемъ расходѣ въ 8 лтр. возможная ошибка оказывается менѣе $\pm 0,5\%$.

Для удобства пользованія дѣленіями по среднимъ величинамъ изъ 5 градуировокъ была составлена таблица, по которой можно прямо находить объемъ, соотвѣтствующій разстоянію отъ любого острія до любого же острія, выше него лежащаго.

Единственныя условія, важныя для точности измѣреній этимъ аспираторомъ, чтобы склянка стояла на строго горизонтальной поверхности, и вода притекала не слишкомъ быстро, т. е. уровень ея былъ спокоенъ. И то и другое при нашихъ опытахъ вполне соблюдалось.

Чтобы покончить съ аспираторомъ надо еще добавить, что по истеченіи нѣкотораго времени обнаружилось, что проволоки, несмотря на оцинковку, стали ржавѣть и концы ихъ стали какъ бы смѣшаться вслѣдствіе нарастающей ржавчины; кромѣ того, запорная жидкость, вода, насыщенная поваренной солью, стала мутнѣть, что тоже начало мѣшать точности отчетовъ. Желѣзныя проволоки мы замѣнили мѣдными, указанные неприятыя явленія ослабились, но не пропали совсемъ. Впрочемъ хорошіе результаты получились лишь послѣ замѣны

проволокъ стеклянными палочками, ок. 3 мм. толщиной, съ оттянутыми на лампѣ кончиками. Градуировка послѣ этого была произведена такъ же, какъ выше описано, и для пользованія составлена такая же новая таблица по среднимъ величинамъ.

Наконецъ, при соединеніи газовой склянки съ склянкой для перепуска воды въ тубусъ газовой склянки былъ вставленъ посредствомъ резиновой пробки стеклянный кранъ, котораго назначеніе регулировать скорость воды—выпуска при засасываніи газа и обратнаго впуска ея при удаленіи газа для анализа.

Самый анализъ посредствомъ сожженія велся слѣдующимъ образомъ: сперва постепенно прогрѣвалась печь; для этого замыкался электрическій токъ при введенныхъ сопротивленіяхъ такъ, чтобы сначала шелъ токъ всего въ 2 амп., черезъ каждыя 10 мин. выводили часть сопротивленій, прибавляя по 2 амп., пока сила тока не доходила до 10 амп., при которыхъ и велся самый опытъ. Пока печь *g* и находящаяся въ ней трубка *f* съ CaO_2 прогрѣвались, производилась провѣрка плотности всѣхъ стыковъ, для чего при закрытомъ выходномъ концѣ трубки *f* въ систему пускался воздухъ изъ цинковаго газомѣра *i*, присоединявшася при помощи трехходоваго крана *o*. Если все было плотно, воздухъ вскорѣ переставалъ поступать, что обнаруживается по прекращенію движенія пузырьковъ въ промывалкѣ *c*, въ противномъ случаѣ разыскивали мѣсто утечки, смачивая по очереди всѣ стыки водой, какъ при разыскиваніи прокола въ велосипедной шинѣ, и исправляли найденную неплотность. Такіе случаи неплотности бывали, хотя и рѣдко, и происходили почти всегда отъ трещинъ въ менделѣвской замазкѣ, которой были залиты концы хлоркальціевыхъ трубокъ *d*, *d*. Затѣмъ взвѣшивали контрольную трубку *e* и, когда трубка *f* была почти нормально раскалена, начинали пропускать черезъ всю систему воздухъ изъ газомѣра *i*, присоединивъ однако къ выходному концу трубки *f* простую хлоркальціевую трубку. Воздухъ пропускался отчасти, чтобы снова окислить кусочки мѣди, которые могли остаться не возстановленными отъ предыдущаго опыта, а главнымъ образомъ, чтобы, прогоняя черезъ трубку *f* сухой и чистый воздухъ, получить увѣренность, что въ ней не останется даже слѣдовъ сырости и углекислоты, которыя могли бы попасть изъ атмосферы послѣ предыдущаго опыта.

Во время этой операціи производилось взвѣшиваніе калиаппарата *k* и змѣйки *h*, а также подводился уровень воды въ аспираторъ *a* до соприкосновенія съ ближайшимъ остриемъ, и подгонялось по водяному манометру *m* давленіе газа до требуемой высоты 170—190 мм. Последнее достигалось тѣмъ, что, доведя при подводѣ уровня подачи воды изъ склянки *n* давленіе до нѣсколько болѣеи величины, спускали избытокъ его, сообщая аспираторъ на мгновеніе съ атмосферой путемъ слабого отжиманія зажима на резиновой трубкѣ.

Когда всё эти подготовительныя работы были закончены, прекращали пропускъ воздуха изъ газомѣра, присоединяли къ системѣ аспираторъ *a*, вмѣсто предохранительной хлоркальціевой трубки присоединяли соединенные между собой змѣйку *k*, калиаппаратъ *k* и контрольную хлоркальціевую трубку *l* и затѣмъ, открывъ зажимъ у аспиратора *a* и повернувъ въ соотв. положеніе трехходовой кранъ *o*, начинали пропускъ анализируемаго газа. При этомъ записывалось, какое остріе касается уровня, давленіе въ аспираторѣ, температура газа (въ помѣщеніи) и барометрическое давленіе.

Скорость пропуска газа, важная въ смыслѣ правильнаго хода реакціи, устанавливалась такъ, чтобы можно было легко считать пузырьки, проскакивающіе черезъ калиаппаратъ. Габеръ³⁷⁾ говоритъ, что при своихъ опытахъ онъ держалъ скорость значительно ниже 3 см.³/сек., т. е. 10,8 лтр./час.; мы же убѣдились, что надо вести опытъ такъ, чтобы пропускать лишь 2—2,5 лтр., во всякомъ случаѣ не болѣе 3 лтр. въ часъ; въ противномъ случаѣ нельзя быть увѣреннымъ, что поглощеніе CO₂ и H₂O произошло полностью.

Необходимое регулированіе скорости производилось двумя путями: съ одной стороны, увеличивая или уменьшая давленіе въ аспираторѣ *a*, для чего открываютъ болѣе или менѣе кранъ для перепуска воды, съ другой, прикрывая болѣе или менѣе кранъ на выходномъ концѣ хлоркальціевой трубки *l*. На первый взглядъ казалось бы, что кранъ трубки *l* лишній, можно открывать выходъ газа полностью, но практика показала, что вслѣдствіе большой емкости всей системы и періодичности подачи газа черезъ промывалку *c* пузырьки черезъ калиаппаратъ *k* идутъ неравномѣрно: 5—6 пузырьковъ проскочатъ очень быстро, затѣмъ происходитъ остановка, затѣмъ опять 5—6 пузырьковъ, и опять остановка и т. д.. Если же прикрывать краникъ на хлоркальціевой трубкѣ *l*, то хотя при этомъ въ системѣ устанавливается нѣсколько большее давленіе, но зато пузырьки газа идутъ совершенно равномѣрно, и общій пропускъ газа даже нѣсколько увеличивается.

Во время самаго опыта роль наблюдателя сводится лишь къ тому, чтобы отъ времени до времени взглянуть, поддерживается ли установившееся состояніе, т. е.:

- 1, равномѣрно ли идутъ пузырьки газа черезъ калиаппаратъ *k*;
- 2, надлежащій ли цвѣтъ (температуру) имѣетъ трубка *f*;
- 3, не измѣнилось ли давленіе въ аспираторѣ *a*.

Если пузырьки начинаютъ идти неравномѣрно, т. е. періодически, что вообще говоря возможно лишь въ томъ случаѣ, если сразу ихъ прохожденіе было не вполне налажено, то надо еще нѣсколько прикрыть краникъ у трубки *l*.

³⁷⁾ J. Gasbel. 1896 S. 84.

Если трубка f начинает темнѣть, надо немного передвинуть контактъ на мелкомъ реостатѣ, увеличивъ силу тока на 0,2—0,3 амп.; если, наоборотъ, цвѣтъ оя начинаетъ становиться слишкомъ яркимъ, то во избѣжаніе чрезмѣрнаго размягченія стекла, при чемъ легко можетъ раздуть трубку f , силу тока надо немного уменьшить, увеличивъ сопротивленію.

Наконецъ, если давленіе въ аспираторѣ упадетъ, т. е. сразу не было еще достаточно урегулирована скорость газа, то надо немного увеличить подачу воды изъ склянки n ; если давленіе, наоборотъ, возрастаетъ, что можетъ произойти вслѣдствіе увеличенія сопротивленій въ системѣ, напр., отъ засоренія калипарата отлагающимися нерастворяющимися кристаллами или отъ смачиванія первой трубки d съ натристой известью, то помочь обыкновенно нельзя, надо прервать опытъ во избѣжаніе раздутія трубки f . Если при этомъ успѣло пройти не менѣе 5 лтр., то опытъ можно просто закончить, доведя уровень до ближайшаго острія и произведя затѣмъ всѣ дальнѣйшія манипуляціи и вычисления. Если же прошло менѣе 5 лтр., то въ аспираторѣ осталось еще достаточно газа для новаго опыта, къ которому и приступаютъ, устранивъ излишнее сопротивление въ системѣ. Впрочемъ такого рода нарушенія бываютъ рѣдко.

Какъ видимъ, всѣ наблюденія крайне просты и неутомительны. Для контроля быстроты пропуска газа полезно еще отмѣчать время прохожденія послѣдовательныхъ острій и, если скорость велика, т. е. 1 лтр. проходитъ въ 20 или менѣе минутъ, слегка уменьшать давленіе въ аспираторѣ.

Здѣсь будетъ кстати отмѣтить преимущества крана у аспиратора для перепуска воды въ смыслѣ регулированія давленія. Первоначально постоянство давленія газа предполагалось достигать поддерживаніемъ постоянной разности уровней въ верхней склянкѣ n и въ аспираторѣ a . Для этого пришлось бы склянку n постепенно приподнимать по мѣрѣ убыли въ ней воды. Соотв. приспособленіе, напр., въ видѣ табуретки съ поднимающейся на винтъ крышкой, или качающееся по образцу приборъ для образованія углекислоты, выходитъ для 15-литровыхъ склянокъ довольно громоздкимъ; кромѣ того, оно требуетъ непрерывнаго наблюденія и перестановки. Автоматическое поддерживаніе постоянной разности уровней, напр., при помощи подобія вѣсовъ, было бы очень сложно. Тогда мы прибѣгли къ мысли сдѣлать расходъ воды постояннымъ, уничтоживъ вліяніе измѣненія разностей уровней тѣмъ, что сдѣлали очень большимъ сопротивленіе движенію воды. Дѣйствительно опыты это подтвердили: поставивъ кранъ съ отверстіемъ въ 3 мм. и открывая это отверстіе лишь на очень малую величину, мы получили расходъ воды, остававшійся практически постояннымъ при измѣненіи разности уровней въ предѣлахъ отъ 1400 до 600 мм.; давленіе газа въ аспи-

раторъ можно было при этомъ имѣть отъ 170 до 200 мм. в. ст. въ зависимости отъ сопротивленій истеченія газа. Можетъ быть, нѣсколько регулирующее вліяніе оказывалось мало замѣтнымъ измѣненіемъ расхода газа. Во всякомъ случаѣ, разъ кранъ былъ установленъ правильно въ началѣ опыта, его не приходилось уже болѣе трогать, и тѣмъ не менѣе давленіе въ аспираторѣ, несмотря на указанно сильное измѣненіе разности уровней, оставалось практически постояннымъ.

Самый анализъ считался оконченнымъ, когда было пропущено 8—10 лтр., смотря по скорости, которую удаюсь установить. Послѣ этого въ моментъ соприкосновенія уровня съ ближайшимъ остриемъ, поворотомъ трехходоваго крана *o* прекращаютъ пропускъ газа и пускаютъ воздухъ изъ газомѣра *i*, чтобы, вытѣснивъ изъ системы газъ, заставить его весь пройти черезъ поглотительные приборы; этимъ же пропускомъ воздуха снова окисляются кусочки мѣди, возстановливающейся при образованіи CO_2 и H_2O . При этомъ кранъ у дна аспиратора надо, конечно, закрыть, иначе вслѣдствіе возрастающаго давленія газа послѣдній вырвется наружу, вытѣснивъ воду изъ манометра *m*.

По истеченіи получасоваго пропуска воздуха опытъ можно считать совершенно законченнымъ. Тогда надо отнять змѣйку *h*, калиаапаратъ *k* и хлоркальціевую трубку *l*, поставивъ вмѣсто нихъ предохранительную хлоркальціевую трубку, а ихъ, закупоривъ стеклянными палочками—пробками, итти взвѣшивать. Взвѣшивание каждаго изъ приборовъ *h*, *k* и *l* производилось согласно совѣтовъ всѣхъ аналитиковъ³⁸⁾ по снятіи съ него всѣхъ резиновыхъ трубокъ.

Затѣмъ взвѣшивали также контрольную хлоркальціевую трубку *e*. Въ это же время давали остывать печи, постепенно уменьшая силу тока.

Конечно, въ моментъ прекращенія пропуска газа вновь записывали давленія въ аспираторѣ, барометра и температуру въ помѣщеніи.

Какъ видимъ, весь опытъ при налаженной системѣ идетъ очень просто и требуетъ даже не столько навыка, сколько главнымъ образомъ акуратности. Единственными обстоятельствами, которыя могутъ попрежнему мѣшать въ извѣстныхъ случаяхъ распространенію въ практикѣ такого анализа, важность котораго, какъ увидимъ ниже, несомнѣнна, это нѣсколько большая стоимость необходимыхъ приборовъ, главнымъ бразомъ аналитическихъ вѣсвоѣ и печи, если таковые не имѣются уже для другихъ надобностей, и значительное время, идущее на производство каждаго анализа: отъ момента начала разогрѣванія печи до полнаго окончанія опыта, т. е. выключенія тока, проходитъ 5—6 часовъ.

Для полноты картины въ табл. 14 представленъ образецъ записи во время одного изъ опытовъ. Такъ же, какъ и въ предыдущихъ таблицахъ, курсивомъ выдѣлены записи, произведенныя во время самаго опыта,

³⁸⁾ См. напр. Тредуэлль, Курсъ аналитической химіи, Одесса 1906, т. II, стр. 272; Бляхеръ, Теплота въ заводскомъ дѣлѣ, Рига 1905, стр. 27.

Таблица 14.

Анализ сожженіемъ.		Къ опыту № 32.				8.8.08	
время	про- долж. мин.	№ острия	соотв. объемъ лтр.	давн. аспират. мм.	баром мм.	t° Ц.	
11 ч. 25 м.		2	14,125	160	747,2	24 0	<p>расходъ газа:</p> $\left(\frac{14,125.759}{737,4} - \frac{9,12.762}{737,4} \right) \frac{288}{297} =$ $(14,53 - 9,43) \frac{288}{297} =$ $= 4,945 \text{ лтр.}$
55 м.	30	3		11,8 рт. ст.			
12 ч. 27 м.	32	4			759		
1 ч. 02 м.	35	5		185			
41 м.	39	6					
2 ч. 21 м.	44	7	9,120	302	747,2	24,0	
				14,8 рт. ст.	762		

Вѣса.

приборъ	до опыта гр.	послѣ гр.	увелич. мр.	на 1 лтр. мгр.
контр. (e)	37,0571	37,0570	- 0,1	
H ₂ SO ₄ (g)	89,3347	89,3566	+ 21,9	H ₂ O = 4,43
KNO (h)	38,4028	38,4079	+ 5,1	CO ₂ = 11,99
CaCl ₂ (i)	51,8352	51,8894	+ 54,2	

обыкновеннымъ шрифтомъ — подсчеты, сдѣланные по окончаніи опыта. Цифры для H₂O и CO₂ въ послѣднемъ столбцѣ нижней половины таблицы получены дѣленіемъ увеличенія вѣса соотв. прибора на расходъ газа, приведенный къ 737,4 мм. рт. ст. и 15° Ц.

Вспомогательные опыты.

15. Изслѣдованіе керосина. — Для составленія полнаго тепловаго баланса работы машины надо было знать съ возможной точностью теплопроизводительность керосина и его составъ, а также было полезно знать для оцѣнки процесса горѣнія и температуру вспышки употреблявшагося керосина.

Теплопроизводительность керосина. Опредѣлялась она при помощи калориметра Юнкера, при чемъ мы пользовались, конечно, всѣми указаніями, добытыми посредствомъ описанныхъ выше предварительныхъ опытовъ.

Опытъ производился съ каждой пробой три раза; сжигалось по 10 гр. керосина. Сжигать болѣе 10 гр. въ одинъ пріемъ трудно и нецѣлесообразно, такъ какъ, съ одной стороны, при этомъ получается очень много охлаждающей воды, одного вебра для ея собиранія и взвѣшиванія оказывается недостаточнымъ, а, съ другой, при болѣе значительной продолжительности опыта черзчуръ измѣняется, именно падаетъ къ концу опыта давленіе воздуха въ лампѣ, и требованіе установившагося состоянія не можетъ быть выполнено даже приблизительно.

Въ качествѣ расчетной величины для тепловаго баланса вычислялась такъ назыв. полезная теплопроизводительность H_p , т. е. за вычетомъ тепла, соответствующаго скрытой теплотѣ парообразованія полученнаго при калориметрированіи конденсата.

Само опредѣленіе количества конденсата дѣлалось не для каждой 10 гр. керосина, а для 30—50 гр.; для этого собирали конденсатъ отъ всѣхъ 3 опредѣленій, а иногда по окончаніи опыта собственно калориметрированія сжигали еще нѣкоторое количество керосина, продолжая собирать конденсатъ. Для увеличенія точности опредѣленіе количества конденсата дѣлали не по объему, какъ это практикуется обыкновенно, а путемъ взвѣшиванія, такъ же, какъ и количество пропущенной охлаждающей воды. Взвѣшиваніе конденсата производилось на химическихъ вѣсахъ съ точностью до 0,01 гр.,— охлаждающей же воды на десятичныхъ съ точностью до 0,005 кгр..

Довольно существенный вопросъ, какъ брать пробу для калориметрированія. Керосинъ, находясь въ сосудѣ, который, какъ у насъ бочка, не герметически закрытъ, хотя медленно, но испаряется, что можетъ отражаться и на составѣ и на теплотворной способности его, особенно верхнихъ слоевъ его въ бочкѣ. Поэтому важно, чтобы проба для калориметрированія точно соответствовала керосину, которымъ пользуются при работѣ. У насъ это достигалось тѣмъ, что пробу брали черезъ кранъ, находящійся у дна бочки, такъ же, какъ и для работы машины. Калориметрированіе производилось два раза, въ началѣ, когда бочку только что откупоривали, и подъ конецъ. Впрочемъ объ эти пробы изъ каждой бочки давали теплотворную способность и составъ керосина, въ предѣлахъ точ-

ности измѣренія, совершенно одинаковыя. Да и вообще теплопроизводительность керосина, который доставлялся всегда конторой бр. Нобель, колебалась очень мало

Составъ керосина. Для нѣкоторыхъ вычисленій намъ было необходимо знать составъ керосина, не въ томъ смыслѣ, конечно, какіе и сколько каждаго въ него входитъ различныхъ углеводородовъ, а лишь сколько онъ содержитъ по вѣсу водорода и углерода. Въ виду того, что числа эти достаточно было знать съ умѣренной точностью, мы не производили настоящаго элементарнаго анализа, а вычисляли содержаніе H_2 и C по количеству конденсата, находимаго при калориметрированіи, считая, что кромѣ водорода и углерода керосинъ больше ничего не содержитъ, т. е. пренебрегая небольшимъ содержаніемъ кислорода, а, можетъ быть, и сѣры.

Составъ этотъ мы находимъ изъ слѣдующихъ простыхъ соображеній: 1 кгр. керосина при сжиганіи давалъ у насъ въ среднемъ 1,173 кгр. конденсата; принимая молекулярный вѣсъ воды H_2O въ 18,06 и водорода H_2 въ 2,016, находимъ содержаніе H_2 по вѣсу
$$\frac{1,173 \cdot 2,016}{18,016} = 0,1313,$$
 т. е. 13,13%.

Содержаніе углерода C оказывается, слѣдовательно, при указанномъ выше упрощающемъ предположеніи равнымъ 86,87%.

Для контроля мы сравнивали получавшіяся цифры съ имѣющимися въ литературѣ²⁹⁾, совпаденіе получилось достаточно удовлетворительное.

Температура вспышки керосина, интересная только въ качествѣ характеристики употребляющагося горючаго, опредѣлялась обычнымъ способомъ при помощи прибора Абея № S & R 2883, снабженнаго свидѣтельствомъ Германскаго Физико-Техническаго Института. Температура эта $t_{вс}$ въ большинствѣ пробъ была около 34° Ц, но если керосинъ постоялъ въ открытомъ ведрѣ сутки, то $t_{вс}$ повышалось примѣрно до 40°; дальнѣйшее стояніе керосина на $t_{вс}$, повидимому, вліянія болѣе не оказывало. Въ одной изъ бочекъ $t_{вс}$ оказалось равнымъ 39,5°, а изъ ведра послѣ сутокъ стоянія около 44,0°.

Равнымъ образомъ температура $t_{вс}$ повышалась на 3—4°, если на дно чашечки, въ которой въ приборѣ подогревается керосинъ, пустить немного воды. Это обстоятельство заслуживаетъ особеннаго вниманія въ виду того, что въ данной машинѣ имѣется приспособленіе для выпуска воды въ камеру сжатія. Къ сожалѣнію, автору пока еще не удалось подойти ближе къ вопросу о вліяніи присутствія воды на процессъ воспламененія и горѣнія.

16. Работа вращенія маховиковъ.—Для тепловаго баланса необходимо найти работу тренія поршня, превращающуюся въ тепло и уно-

²⁹⁾ Энглеръ и Гейоранскій даютъ для бакинскаго керосина, получаемаго перегонкой при температурѣ выше 200° (Нобель указываетъ перегонку своего керосина 220—270° Ц.), $C=86,97\%$, $H_2=12,76\%$, $O_2=0,30\%$. Berl. Ber. 1895 S. 2503; Muspratt, Technische Chemie, 4 Aufl., 1898, B. 6, S. 2143.

симую охлаждающей водой. Зная полную работу, развитую горючимъ въ цилиндрѣ, т. е. индикаторную работу машины, и полезную работу—нагрузку тормазы, получаемъ въ видѣ разности ихъ полную потерю работы на сопротивленія. Послѣднія могутъ быть разбиты на 3 группы:

1, работа, затрачиваемая на полученіе сжатого воздуха для продувки цилиндра;

2, работа, затрачиваемая на вращеніе маховиковъ и эксцентрикковъ, для керосинового насосика и индикаторнаго привода и, наконецъ,

3, работа тренія поршня.

Такъ какъ работа для полученія сжатого воздуха есть индикаторная работа насоса, съ котораго при нашихъ опытахъ снимали діаграммы, т. е. она намъ извѣстна, то для вычисленія работы тренія поршня, оказывается, достаточно опредѣлить тѣмъ или инымъ путемъ работу вращенія главнаго вала съ сидящими на немъ деталями.

Наибольшую часть потери работы вращенія вала нужно ожидать отъ тренія маховиковъ о воздухъ. Работу этого тренія можно было бы опредѣлить по готовымъ формуламъ, указываемымъ различными авторами.

Такъ О. Мюллеръ ⁴⁰⁾ выводитъ формулу, которую можно написать, упростивъ ее, правильнѣе въ видѣ

$$N_r = 0,25 \left(\frac{n}{100} \right)^3 \delta br^4 m, \quad (6)$$

гдѣ n число обор./мин., δ нѣкоторый эмпирической коэффицентъ, b ширина спицы въ осевомъ направленіи вала въ мт., r внутренній діаметръ обода въ мт., m число спиць. Коэффицентъ δ мѣняется въ зависимости отъ сѣченія спиць; для эллиптическаго сѣченія Мюллеръ предлагаетъ брать $\delta=0,6$; однако, чтобы учесть не только сопротивленіе спиць, но и самаго обода, намъ кажется ближе къ дѣйствительности брать $\delta=0,8$. Подставляя для нашего случая $n=300$, $b=0,4$, $r=0,53$ и $m=6 \times 2$, получаемъ $N_r=0,21$ л. с..

Впрочемъ въ литературѣ есть указаніе ⁴¹⁾, что эта формула даетъ въ извѣстномъ случаѣ величину N_r преувеличенную и притомъ раза въ 3.

По новѣйшимъ опытаамъ, обработаннымъ Бекеромъ ⁴²⁾, сопротивленіе воздуха вращенію маховиковъ можно учесть по формулѣ

$$N'_r = v^{2,5} D^2 (1 + 5 b_0^2) 10^{-5}, \quad (7)$$

гдѣ v окружная скорость на ободѣ маховика въ мт./сек., D діаметръ, а b_0 ширина обода въ мт..

Для нашей машины при $n=300$, $D=1,255$ и $b_0=0,09$ выраженіе (7) даетъ $N_r=0,057$ л. с..

⁴⁰⁾ Z. V. d. I. 1888 S. 283.

⁴¹⁾ Z. V. d. I. 1901 S. 1788.

⁴²⁾ Electr. Kraftbetr. u. Bahn. 1907 S. 490.

Имѣя въ виду такую разнорѣчивость готовыхъ формулъ, съ одной стороны, и трудность съ сколько нибудь удовлетворительной точностью подсчитать остальные потери, связанныя съ вращеніемъ главнаго вала, какъ-то: треніе въ коренныхъ подшипникахъ, въ эксцентрикахъ съ соотв. тягами и приведеніе въ дѣйствіе тахомтера и масленки Мальрупа, мы рѣшили прибѣгнуть къ опредѣленію всей суммарной потери при вращеніи вала K , при помощи непосредственныхъ опытовъ.

Опыты эти были поставлены слѣдующимъ образомъ: отцѣпивъ шпунтъ, вращали коренной валъ со всеѣми связанными съ нимъ деталями и приборами при помощи небольшого шунтового электродвигателя посредствомъ ременнаго привода. Число оборотовъ электродвигателя можно было мѣнять черезъ небольшія ступени въ широкихъ предѣлахъ, отъ 190 до 780, что въ виду передаточнаго числа между шкивами электродвигателя и машины, равнаго 0,54, дастъ для машины n отъ 103 до 422, т. е. въ предѣлахъ даже болѣе широкихъ, чѣмъ намъ нужно.

Сами опыты велись слѣдующимъ образомъ: поставивъ рукоятку пускового (оно же и регулировочное) сопротивленія на извѣстный контактъ, дожидались, пока установятся числа оборотовъ электродвигателя и маховиковъ, измѣряли эти числа при помощи ручнаго центробѣжнаго тахометра фирмы Т. Горнъ и одновременно отмѣчали показанія точныхъ, провѣренныхъ вольтметра, включеннаго у самыхъ зажимовъ электродвигателя, и амперметра, показывавшаго силу тока, идущаго въ якорь двигателя, а также и второго, показывавшаго силу тока, идущаго въ индукторы двигателя. Пользоваться для этихъ отчетовъ показаніями приборовъ на распредѣлительной доскѣ, конечно, нельзя было, такъ какъ вольтажъ за регулировочнымъ сопротивленіемъ былъ много ниже, всего 45 до 128 вольтъ, тогда какъ вольтметръ на доскѣ все время показывалъ 226 вольтъ. Что касается силы тока, то часть ея и довольно значительная шла въ индукторы; напр., при наименьшемъ числѣ оборотовъ въ индукторы шло около 1,0 амп. при силѣ тока, идущаго въ якорь, 6,9 амп., т. е. около 16% всего тока, а при наибольшемъ числѣ оборотовъ соотв. 0,7 и 15,0 амп., т. е. все еще 4,5%.

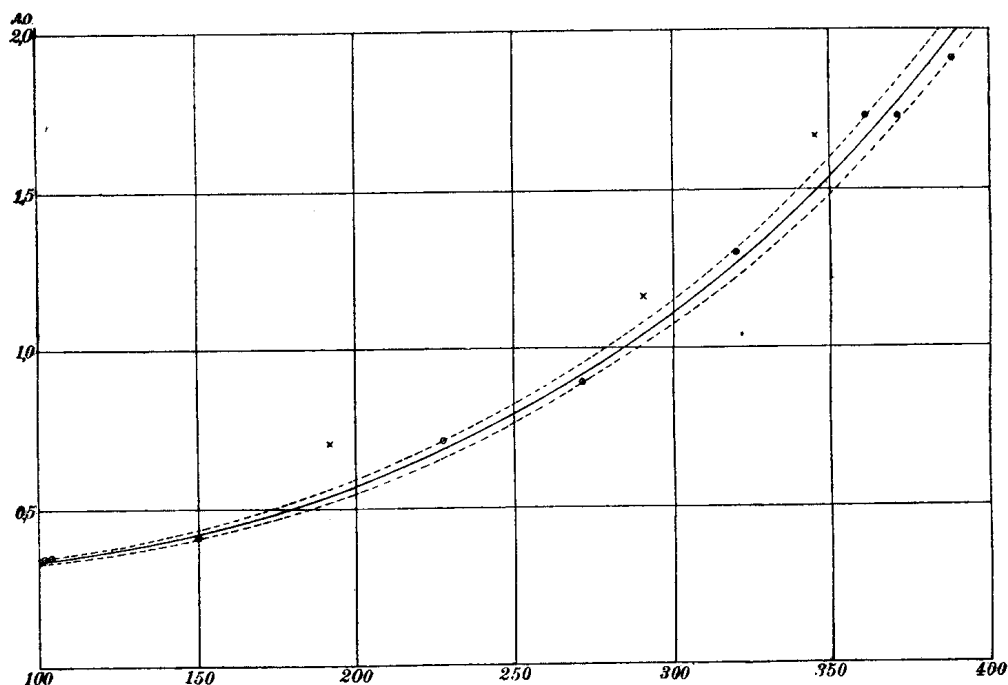
Когда показанія всеѣхъ приборовъ при наименьшемъ числѣ оборотовъ вполне установились, на что требовалось 20—25 мин., записывали числа оборотовъ, показанія вольтметра и амперметровъ; переставляли рукоятку сопротивленія на слѣдующій контактъ, уменьшая величину сопротивленія току, идущему въ якорь, и тѣмъ увеличивая число оборотовъ; опять ждали вполне установившагося состоянія, производили всеѣ требуемые отчеты; затѣмъ передвигали рукоятку сопротивленія на слѣдующій контактъ и т. д. до наивысшаго числа оборотовъ. Послѣ этого такимъ же путемъ шли, уменьшая число оборотовъ.

Перемножая число амперъ, идущихъ въ якорь при какомъ нибудь числѣ оборотовъ электродвигателя, на число вольтъ у зажимовъ, мы получаемъ расходъ энергіи въ ваттахъ при соотв. числѣ оборотовъ. Однако изъ этой энергіи надо еще вычесть неизбѣжныя потери въ самомъ эле-

ктродвигателѣ, равныя i^2r , гдѣ i соотв. сила тока въ амп., идущаго въ якорь, а r сопротивление якоря, найденное нами для нашего электродвигателя около 0,6 ома. Кромѣ того, надо вычесть работу вращения самаго якоря электродвигателя, которую мы нашли, измѣряя силу тока и напряжение при холостомъ ходѣ электродвигателя.

Остатокъ энергіи въ уаттахъ, раздѣленный на 736 и помноженный на коэффициентъ отдачи ременной передачи η_p , при чемъ съ достаточной точностью можно принять $\eta_p=0,95$, дастъ расходъ работы на вращеніе маховиковъ и вала въ л. с. при соотв. числѣ оборотовъ.

Результаты опытовъ представлены графически на черт. 36: крестиками обозначены опыты съ возрастающимъ числомъ оборотовъ, кружочками—съ убывающимъ. Соединяя отдѣльныя точки плавной кривой,



Черт. 36.

мы видимъ сразу, что цифры для возрастающаго n лежатъ выше кривыхъ, соединяющихъ цифры для убывающаго n . Первое само собой являющееся объясненіе меньшей затраты работы при убывающемъ n —это вліяніе живой силы маховиковъ; однако это объясненіе отпадаетъ, если вспомнить, что отчеты въ обоихъ случаяхъ, увеличивающемся и уменьшающемся n , дѣлались лишь послѣ того, какъ наступало вполне установившееся состояніе. Скорѣе явленіе можно объяснить уменьшеніемъ тренія вслѣдствіе разогрѣванія масла. Къ сожалѣнію, въ одинъ вечеръ нельзя было повторить всю серію опытовъ за недостаткомъ времени, а съ другой стороны, своевременно не пришло въ голову повести испытаніе въ обратномъ порядкѣ, начавъ съ наибольшаго числа оборотовъ. Черезъ нѣсколько дней послѣ постановки этихъ опытовъ пропала возможность

ихъ повторить: была разобрана аккумуляторная батарея электрической станціи Института, отъ которой брали токъ для электродвигателя. Попытка же повторить опыты, получая энергію отъ динамо-машины, дала совершенно неудовлетворительные результаты: измѣненія расхода тока въ сѣти такъ отражались на электродвигателѣ, что нельзя было получить установившагося состоянія, и добытые такимъ путемъ результаты давали отклоненія и выше и ниже кривой черт. 36.

Въ концѣ концовъ мы рѣшили, не прибѣгая къ новымъ опытамъ, считать за работу сопротивленій на черт. 36 среднюю, сплошную линію, какъ- бы откинувъ опыты съ возрастающимъ n . Въ пользу такого рѣшенія говоритъ то обстоятельство, что вообще величина всѣхъ сопротивленій въ совокупности далеко не постоянна: бѣльшая или меньшая затяжка хомутовъ эксцентриковъ, лучшая или худшая смазка движущихся частей—все это можетъ оказывать значительное вліяніе; такъ, напр., мы замѣтили, что подъ вліяніемъ одного только передвиганія площадки m у регулятора, черт. 1 и 2, изъ одного крайняго въ другое крайнее положеніе, соотвѣтственно наименьшему и наибольшему числу оборотовъ, при предыдущихъ испытаніяхъ съ электродвигателемъ, число оборотовъ машины при почти не измѣняющихся показаніяхъ вольтметра и амперметровъ измѣняется примѣрно на 5—8%, падая при придвиганіи площадки къ коренному валу, что при регулированіи соотвѣтствуетъ увеличенію числа оборотовъ, и наоборотъ, возрастая при ея отодвиганіи. При среднемъ числѣ оборотовъ, около 300, обычное измѣненіе на $\pm 2\%$, т. е. въ предѣлахъ 12 оборотовъ, какъ видно по діаграммѣ черт. 36, соотвѣтствуетъ измѣненію сопротивленій на $\pm 0,08$ л. с., т. е. значительно болѣе возможной ошибки, съ которой найдена наша средняя кривая; ошибка эта при $n=300$ соотвѣтствуетъ $\pm 0,04$ л. с.. Если же относить точность опредѣленія средней кривой къ индикаторной работѣ машины при соотв. n и при нормальной полезной нагрузкѣ 24 кгр. на вѣсахъ тормазы, то получимъ какъ предѣлы: при $n=200$ точность 0,02 л. с. на $N_1=8,6$ л. с., т. е. $\pm 0,2\%$, при $n=300$ точность $\pm 0,4$ л. с. на $N_1=15,5$ л. с., т. е. около $\pm 0,3\%$.

Ошибка отъ непринятія во вниманіе положенія площадки m , входящая, какъ указано, до $\pm 0,04 n$, соотвѣтствуетъ при $n=200$ около 0,034 л. с., или относя ее къ соотв. N_1 , $\pm 0,4\%$, а при $n=300$ уже около 0,14 л. с., или соотв. $\pm 0,9\%$.

Такимъ образомъ суммарная возможная ошибка величины R составляетъ въ худшемъ случаѣ при $n=300$ всего $\pm 0,54$ л. с., т. е. 1,1%.

Такимъ образомъ точность, съ которой средняя кривая черт. 36 по нашимъ опытамъ выражаетъ работу сопротивленій вращенія вала со всѣми связанными съ нимъ деталями и приборами, можно считать достаточно удовлетворительной.

При подсчетахъ при дальнѣйшей разработкѣ опытнаго матеріала работа сопротивленій бралась прямо въ видѣ ординаты средней кривой черт. 36 для соотв. числа оборотовъ.

17. Утечка воздуха черезъ воздуходувку.— При первыхъ же опытахъ съ подачей воздуха подъ давленіемъ при помощи воздуходувки системы Рута мы обратили вниманіе на образованіе пузырей изъ масла у мѣстъ выхода изъ подшипниковъ валиковъ воздуходувки. Пузыри эти обнаруживали утечку воздуха, засасываемаго воздуходувкой черезъ воздушные часы. Утечка эта, судя по величинѣ и числу пузырей, на-глазъ казалась неособенно значительной. Однако при составленіи теплого баланса для этихъ опытовъ стали получаться необычайно большія числа для потери тепла, унесеннаго продуктами горѣнія.

Число это получается въ видѣ произведенія количества продуктовъ горѣнія на ихъ теплоемкость и температуру. Ошибки, по крайней мѣрѣ значительной, при вычисленіи теплоемкости не могло быть, равно какъ и въ отчетахъ температуръ, которые всегда провѣрялись, какъ указывалось уже выше, да и вообще при высокихъ температурахъ приборы скорѣе показываютъ температуру ниже дѣйствительной, а отнюдь не выше ея. Такимъ образомъ единственнымъ возможнымъ источникомъ ошибки оказалось количество продуктовъ горѣнія, или, точнѣе, количество воздуха, такъ какъ вѣсъ керосина измѣрялся такъ, что никакихъ сомнѣній относительно его правильности не могло быть, да къ тому же онъ составляетъ лишь небольшую часть общаго вѣса продуктовъ горѣнія.

Такимъ образомъ тепловой балансъ подтвердилъ наши предварительныя сомнѣнія относительно утечки воздуха черезъ подшипники воздуходувки и обнаружилъ ея значительность. Въ виду полной невозможности устранить эту утечку въ силу конструкціи данной воздуходувки, пришлось примириться съ фактомъ утечки и лишь постараться опредѣлить необходимую поправку. Поправку эту можно или вычислить, опираясь на другія данныя, какъ будетъ указано ниже, или найти непосредственными опытами. Въ виду важности знать точно расходъ воздуха мы не ограничились вычисленіемъ поправки, а постарались провѣрить ее и опытнымъ путемъ.

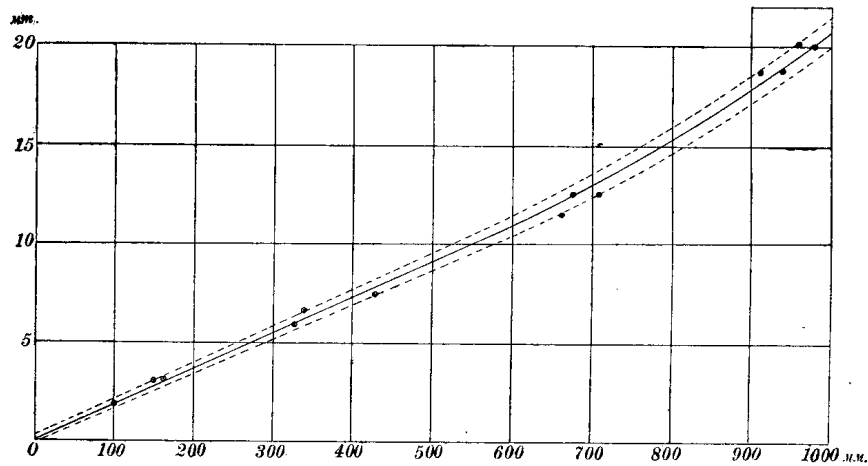
Прежде всего надо было рѣшить, отъ чего поправка можетъ зависеть. Предполагая постоянство сопротивленій утечки, т. е. величину зазоровъ и густоту и количество масла ихъ заполняющаго, что въ дѣйствительности соблюдалось при нашихъ опытахъ, можно сказать съ увѣренностью, что утечка зависитъ исключительно отъ избыточнаго давленія воздуха въ воздуходувкѣ. Ни количество подаваемого воздуха, ни температура въ помѣщеніи, ни барометрическое давленіе, по крайней мѣрѣ въ тѣхъ небольшихъ предѣлахъ, въ которыхъ эти двѣ величины колебались при нашихъ опытахъ, ни, наконецъ, число оборотовъ воздуходувки какъ таковое, на утечку не могли оказывать сколько нибудь замѣтнаго вліянія.

Принимая это во вниманіе, мы сразу получили очень простой ходъ предстоящихъ опытовъ: надо было запереть полезный выходъ воздуха и, устанавливая вращеніемъ воздуходувки извѣстное давленіе въ воздушномъ сосудѣ *c*, черт. 8, измѣрить по воздушнымъ часамъ соотв. расходъ воздуха, который и дастъ прямо искомую утечку при данномъ давленіи.

Опыты велись следующим образом: отключивъ при помощи заглушки отъѣтвление воздухопровода къ нашей двухтактной машинѣ и оставивъ въ остальномъ воздухопроводъ въ такомъ же видѣ, какъ во время опытовъ, приводили воздуходувку во вращеніе, нагнетая воздухъ въ сосудъ *c* до требуемаго давленія. Какъ только послѣднее было достигнуто, начинали дѣлать отчеты по воздушнымъ часамъ, стараясь въ то же время сохранять возможно постояннымъ установленное давленіе, которое отчитывалось по водяному или соотв. ртутному манометру.

Установка той или иной высоты давленія достигалась просто измѣненіемъ числа оборотовъ воздуходувки.

Несмотря на то, что за отсутствіемъ электрическаго тока вращеніе воздуходувки пришлось производить вручную, способъ этотъ далъ вполне удовлетворительные результаты, представленные графически на черт. 37: повторные опыты дали очень близкіе результаты и всѣ точки лежатъ достаточно близко къ средней кривой.



Черт. 37.

Какъ видимъ, кривая, представляющая утечку воздуха въ м³/час. въ зависимости отъ давленія, очень близка къ наклонной прямой и пересекаетъ ось абсциссъ при $p=0$ мм. в. ст., что легко объяснить: сопротивленія просачиванію въ дѣйствительности невелики, поэтому утечки совсѣмъ нѣтъ только при отсутствіи давленія.

Пользуясь діаграммой черт. 37, мы получаемъ для любого давленія до 1300 мм. прямо утечку воздуха въ м³/час., которую надо вычитать изъ соотв. показаній воздушныхъ часовъ.

Точность вводимой поправки на утечку по черт. 37 колеблется отъ $\pm 0,3$ м³. примѣрно до $\pm 0,7$ м³., относя же ее къ соотв. полному расходу воздуха, измѣнявшемуся отъ 90 до 120 м³/час., получаемъ $\pm 0,33$ до $\pm 0,60\%$.

Добавленіе.

18. Затрудненія при опытахъ.— Хотя описанныя ниже затрудненія, встрѣчавшіяся во время постановки опытовъ, и не имѣютъ непосредственнаго отношенія къ задачамъ нашихъ опытовъ, но мы считаемъ все же полезнымъ познакомить съ ними, такъ какъ, во-первыхъ, это дастъ матеріалъ для сужденія о томъ, дѣйствительно ли мы достигли при нашихъ опытахъ крайняго предѣла точности, возможной при работѣ съ имѣвшейся у насъ машиной, и вмѣстѣ съ тѣмъ представить картину, которая дастъ мѣрку для оцѣнки нашихъ опытовъ, и, во-вторыхъ, мы думаемъ, что указанія средствъ, при помощи которыхъ мы боролись съ затрудненіями, большинство которыхъ можетъ быть отнесено въ отдѣлъ неисправностей машины, могутъ пригодиться и другимъ при постановкѣ подобныхъ опытовъ, а отчасти и вообще лицамъ, которымъ приходится имѣть дѣло съ керосиновыми машинами.

Засѣданіе поршня. Наибольшія затрудненія испытали мы съ тѣмъ обстоятельствомъ, что послѣ нѣкотораго времени работы, 1—2 часа, машина сама собой останавливалась вслѣдствіе чрезмѣрнаго увеличенія тренія поршня, что обнаруживалось при поворачиваніи маховиковъ при попыткѣ вновь ее пустить. Немного погодя, минутъ черезъ 20—40, машину въ большинствѣ случаевъ можно было опять провертывать и притомъ такъ же легко, какъ до опыта. Очевидно, что такое увеличеніе тренія поршня, пропадающее скоро при охлажденіи машины, можетъ быть объяснено только расширеніемъ поршня вслѣдствіе его нагрѣванія.

Это расширеніе могло быть двухъ родовъ: или равномерное, которое вызываетъ засѣданіе просто вслѣдствіе недостаточности зазора между поршнемъ и цилиндромъ, или одностороннее, которое можетъ вызвать засѣданіе даже при совершенно достаточномъ зазорѣ, измѣренномъ при холодномъ состояніи поршня и цилиндра, и происходитъ отъ того, что сѣченіе поршня изъ круглаго дѣлается эллиптическимъ.

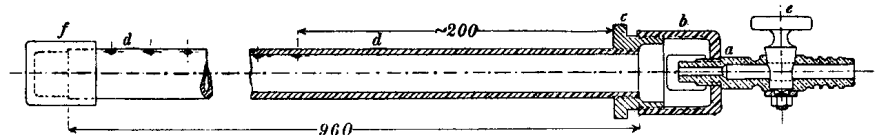
Имѣя въ виду конструкцію поршня—очень простую, безъ всякихъ реберъ, и тщательность работы, которой вообще извѣстенъ заводъ Л. Нобеля, мы предположили первоначально лишь недостаточность зазора между поршнемъ и цилиндромъ, которая должна была скоро пропасть сама собой вслѣдствіе неизбежнаго износа поршня. За правильность такого предположенія какъ будто говорило еще слѣдующее обстоятельство: работать съ машиной мы начали лѣтомъ; въ теченіи лѣта какаго-либо увеличенія засѣданія поршня не было установлено, отчасти, можетъ быть, вслѣдствіе обнаружившагося другого затрудненія, о которомъ будетъ подробнѣе сказано особо, именно со смазкой поршня.

Съ осени засѣданіе поршня стало замѣтно увеличиваться, въ смыслѣ уменьшенія періода времени отъ момента пуска машины до ея самопроизвольной остановки вслѣдствіе чрезмѣрнаго возрастанія тренія пор-

шня. Такъ какъ одновременно съ тѣмъ стала понижаться температура охлаждающей воды, которая пускалась въ машину прямо изъ городского водопровода, то мы сочли это лишь за подтвержденіе нашего предположенія о вліяніи разности температуръ стѣнокъ охлаждаемаго цилиндра и неохлаждаемаго поршня. Такимъ же подтвержденіемъ нашего предположенія мы считали установленный опытами фактъ, что машина останавливалась скорѣе при большемъ количествѣ пропускаемой воды и соотв. болѣе низкой температурѣ ея при выходѣ.

Продолжая питать надежду на естественное уменьшеніе діаметра горшня и увеличеніе діаметра цилиндра вслѣдствіе неизбежнаго износа, мы направили свои усилія на созданіе условій для увеличенія продолжительности работы машины отъ момента пуска до вынужденной остановки. Въ этихъ видахъ мы обратили вниманіе сперва на крайне неравномерное распредѣленіе температуръ по окружности въ наружной стѣнкѣ цилиндра при низкой температурѣ, вслѣдствіе чего при существующемъ въ нашей машинѣ впускѣ воды сбоку внизу это мѣсто цилиндра имѣло на ощупь рукой очень низкую температуру; послѣдняя увеличивалась отсюда по всѣмъ направленіямъ, достигая наибольшей величины вверху и отчасти сбоку, на противоположной впуску воды сторонѣ. Мы сдѣлали добавочный впускъ воды съ другой стороны; на ощупь рукой температура стѣнокъ стала болѣе равномерной; однако засѣданіе поршня не только не уменьшилось, а даже какъ будто возрасло. Тогда мы прибѣгли къ другому, совершенно необычному и едва ли кѣмъ либо еще примененному способу—къ искусственному подогреванію охлаждающей воды.

Подогреваніе воды производилось непосредственно при движеніи ея по водопроводной трубѣ при помощи особой, сконструированной нами газовой горѣлки, черт. 38: свѣтильный газъ поступаетъ по мѣдному



Черт. 38.

соплу *a*, имѣющему діаметръ въ 4 мм. и винченному въ колпакъ *b*, соединяющій сопло съ самой горѣлкой—1" желѣзной трубой *d* при помощи переходной муфты *c*; въ колпакѣ *b* двѣ вырѣзки для засасыванія воздуха, а въ трубкѣ *d* до 50 отверстій, діаметромъ около 4 мм., расположенныхъ зигзагомъ въ два ряда, начиная отъ противоположнаго соплу конца, закрытаго при помощи колпака *f*, и оканчивающихся примѣрно за 200 мм. до сопла; при болѣе близкомъ разстояніи этихъ отверстій отъ сопла пламя перескакиваетъ въ устье сопла. Разстояніе между обоими рядами около 15 мм., а разстояніе между отверстиями въ каждомъ ряду около 25 мм.. Каждое отверстие даетъ отдѣльный язычекъ пламени, вы-

сотою отъ 10 до 30 мм., смотря по положенію крана *e*, которымъ можно регулировать притокъ газа. Горѣлка присоединялась къ газопроводу при помощи резиновой трубки съ діаметромъ въ 15 мм. и подвѣшивалась подъ водопроводной трубкой на разстояніи около 20 мм. ниже ея на проволочныхъ крючкахъ.

Устроенная такимъ образомъ горѣлка дала прекрасные результаты: пламя язычковъ было синее, почти безцвѣтное, тепловатая отдача η_t достаточно высокая. Именно, при помощи 2 такихъ горѣлокъ, подвѣшенныхъ подъ 1½" водопроводной трубой одна за другой, температура воды при расходѣ ея около 400 кгр./часъ, поднималась съ +3° до +16° Ц.; расходъ газа составлялъ на объ горѣлки около 4 мт.³/час.; теплопроизводительность его была опредѣлена при помощи калориметра Юнкерса около 5000 т. ед., что дастъ:

$$\eta_t = \frac{400(16-3)}{5000 \cdot 4} = 0,26,$$

т. е. 26%.

Однако, когда мы пустили машину съ подогреваемой такимъ образомъ водой, никакого улучшенія не наступило. Такимъ образомъ послѣ ряда безплодныхъ попытокъ мы принуждены были признать, что наше предположеніе о простой недостаточности величины зазора не вѣрно. Осталось только второе предположеніе, что при нагрѣваніи во время работы или поршень или самъ цилиндръ теряютъ круглую форму, что и вызываетъ защемленіе. Мысль о такой неправильной деформациі цилиндра пришлось сразу же отбросить, съ одной стороны, вслѣдствіе того, что температура его подѣ дѣйствіемъ охлаждающей воды очень невысока, съ другой, въ виду того, что упомянутая выше попытка уничтожить засѣданіе путемъ добавочнаго впуска охлаждающей воды, благодаря чему дѣйствительно было получено болѣе равномерное распределеніе температуръ въ стѣнкахъ, нисколько не повліяла въ благопріятномъ смыслѣ на явленіе засѣданія поршня.

Такимъ образомъ, слѣдуя методу постепеннаго исключенія, мы принуждены были, наконецъ, признать справедливость возникавшаго и раньше предположенія, что поршень, получивъ при отливкѣ внутрення напряженія, при нагрѣваніи деформируется неправильно, скорѣе всего принимая нѣсколько эллиптическое сѣченіе, при чемъ эта неправильная деформациа съ теченіемъ времени постепенно возрастала, увеличивая засѣданіе поршня, мы же ошибочно приписывали это послѣднее обстоятельство случайно происходившему одновременно съ этимъ пониженію температуры воды въ городской сѣти.

Вполнѣ радикальнымъ средствомъ исправленія поршня было бы отжигъ его и провѣрка на токарномъ станкѣ или, еще лучше, изготовленіе новаго поршня. Не рискуя прибѣгать въ Томскѣ къ первому средству и не имѣя возможности немедленно прибѣгнуть къ послѣднему, мы

рѣшили продолжать опыты съ старымъ поршнемъ, чуть уменьшивъ его диаметръ и постаравшись снять побольше матеріала въ тѣхъ мѣстахъ, которыя входили въ цилиндръ особенно плотно, и которыя можно было обнаружить по слѣдамъ износа. Работу эту исполнилъ вручную при помощи личного подпилка и наждачной шкурки механикъ лаборатории, и весьма удачно. Машина послѣ этого стала работать значительно лучше, такъ что удалось закончить съ этимъ поршнемъ всю серію необходимыхъ для нашихъ цѣлей опытовъ.

Неудовлетворительность смазки поршня. Выясненію истинной причины засѣданія поршня сильно помѣшали еще затрудненія со смазкой поршня. Первые же опыты работы съ машиной показали, что смазывать цилиндръ и поршень обыкновеннымъ машиннымъ масломъ, съ температурой вспышки $t_{вс} = 190^\circ$, нельзя: выниманіе поршня обнаруживало на стѣнкахъ поршня и цилиндра сильный нагаръ, съ трудомъ отчищавшійся при помощи отмачиванія керосиномъ и соскабливанія желѣзнымъ скребкомъ.

Попробовали наливать въ масленку такъ назыв. цилиндрическое масло съ болѣе высокой температурой вспышки $t_{вс} = 240^\circ$,—результаты получились въ сущности такіе же неудовлетворительные. Тогда рѣшили обратиться къ смазкѣ при помощи такъ назыв. вискозина, продукта съ очень высокой $t_{вс} = 300^\circ$, изготовляемаго фирмой бр. Нобель специально для смазки цилиндровъ машинъ Дизеля. Вискозинъ этотъ при комнатной температурѣ такъ густъ, что не можетъ поступать изъ капельной масленки, а его нужно подавать при помощи насоса. Впрочемъ намъ пришлось все равно прибѣгнуть къ насосу для подачи смазки подъ давленіемъ для тѣхъ опытовъ, когда работали съ воздухоудвкой, такъ какъ капельная масленка подаетъ смазку подъ дѣйствіемъ разрѣженія, наступающаго въ задней полости при всасывающемъ ходѣ. При работѣ съ воздухоудвкой это разрѣженіе или пропадаетъ или по крайней мѣрѣ настолько уменьшается, что даже жидкое масло не идетъ въ цилиндръ.

Впрочемъ надежды, возлагавшіяся на вискозинъ, не оправдались: оказалось, что сортъ его, который можно получать въ Томскѣ, содержитъ въ себѣ много смолистыхъ веществъ, образующихъ послѣ сильнаго нагрѣванія родъ эмали; дѣйствіе этой эмали особенно сказывалось на поршневыхъ кольцахъ, которыя очень скоро засѣдали, переставали пружинить, вслѣдствіе чего уменьшается предварительное сжатіе вслѣдствіе пропуска воздуха, и вообще нарушается правильность работы машины.

Однимъ изъ обстоятельствъ, значительно мѣшавшихъ правильному дѣйствію смазки поршня, оказалось явленіе, обнаруженное лишь послѣ ряда опытовъ, именно—попаданіе продуктовъ горѣнія въ верхній каналъ, по которому поступаетъ воздухъ для продувки, и черезъ который проходитъ трубка, подающая масло на поршень. Попаданіе въ этотъ ка-

наль продуктовъ горѣнія, имѣющихъ большую скорость и высокую температуру, вызывало сразу два нежелательныхъ явленія: съ одной стороны, разбрызгиваніе свободно падавшихъ изъ трубки капель смазки, т. е. уменьшеніе полезной подачи ея, съ другой же, испареніе подѣйствіемъ высокой температуры продуктовъ горѣнія наиболѣе летучихъ и жидкихъ составныхъ частей смазки, т. е. уменьшеніе смазывающей способности ея и облегченіе образования упомянутаго выше нагара или эмали.

Только послѣ того, какъ постепенно выяснялись все эти обстоятельства, удалось, наконецъ, наладить смазку надлежащимъ образомъ: разбрызгиваніе было устранено тѣмъ, что паденіе открытой капли было уничтожено, для чего трубку отъ насоса продолжили почти до самой поверхности поршня, а большое отверстіе около 30 мм. въ діаметрѣ, въ стѣнкѣ цилиндра, черезъ которое капля масла падаетъ на поршень, закрывали жестяной крышкой, пропустивъ черезъ послѣднюю лишь трубку насоса; испареніе же масла было отчасти уже устранено уничтоженіемъ открытой капли, а затѣмъ еще тѣмъ, что конецъ трубки отъ насоса, нагреваемый попадающими въ перепускной каналъ продуктами горѣнія, обернули асбестовымъ шнуромъ и тѣмъ изолировали отъ дѣйствія высокой температуры; и, наконецъ, вискозинъ бр. Нобель замѣнили американскимъ специальнымъ масломъ для машинъ внутренняго горѣнія фирмы Вакуумъ-Ойлъ Компани, сортъ „Гаргойль В“. Температура вспышки его была найдена нами при помощи прибора Маркуссона около $+270^{\circ}$ Ц., удѣльный вѣсъ его $\delta=0.89$; при прокаливаніи оно даетъ лишь ничтожный остатокъ въ видѣ чернаго порошка.

Налаженная такимъ образомъ смазка стала дѣйствовать вполне исправно.

Смазка кривошипа. Небольшое затрудненіе возникло также при работѣ съ воздуходувкой относительно смазки кривошипа колѣнчатаго вала. Нормально кривошипъ смазывается при помощи обыкновенной капельной масленки съ обратнымъ клапаномъ; всасываніе масла производится подѣйствіемъ разрѣженія въ кривошипной полости при всасывающемъ ходѣ. При работѣ съ воздуходувкой, какъ уже упоминалось выше, разрѣженіе это пропадаетъ, и масло перестаетъ итти.

Замѣнивъ обыкновенную масленку таковой съ поршневымъ насоскомъ, приводимымъ въ дѣйствіе при помощи храпового механизма, мы устранили и это затрудненіе.

Неплотности въ щелкахъ. Довольно много хлопотъ представило еще достиженіе плотности въ задней кривошипной полости; въ силу конструкции машины плотность достигается здѣсь исключительно прилеганіемъ на большой поверхности шайбъ y, y , черт. 4; при работѣ шайбы эти довольно быстро стираются, и происходитъ просачиваніе воздуха. При засасываніи воздуха изъ атмосферы такое просачиваніе, какъ указывалось выше, не имѣетъ особенно большого вліянія, но при работѣ съ

воздуходувкой оно может сильно изменять действительный расход воздуха, который будет значительно меньше найденного по показаниям воздушных часов. Наиболее действительным средством для устранения неплотности было бы устройство пружин между дисковыми щечками вала и шайбами y, y , чтобы последние всегда прижимались к крышкам, как это делается в некоторых небольших двухтактных машинах автомобильного типа. Не желая однако усложнять конструкцию, с одной стороны, и имея в виду, что машина работает исключительно для опытов, т. е. в общем в течение сравнительно небольшого времени, когда изнашивание шайб происходит медленно, мы ограничились только плотной пригонкой шайб y, y к щечкам вала и крышкам и последующей компенсацией изнашивания шайб путем уменьшения толщины бумажных прокладок под крышками x, x .

Результаты в смысле плотности оказались вполне удовлетворительными, в чем легко было убедиться, слѣдя за утечкой воздуха в видѣ пузырей через масляную заливку коренных подшипниковъ.

Подача керосина. Наибольшія затрудненія оказались съ подачей и распыливаніемъ керосина. Затрудненія эти, несмотря на все усилія, такъ и не удалось устранить полностью, и это обстоятельство замѣтно отразилось на результатахъ опытовъ и заставило, къ сожалѣнію, сильно сузить область вопросовъ, на которые наши опыты могли дать отвѣтъ.

Затрудненія эти можно разбить на 2 группы: на неисправное дѣйствіе керосиноваго насосика и неудовлетворительное дѣйствіе форсунки.

Неправильное дѣйствіе насосика проявлялось въ томъ, что онъ подавалъ керосинъ то въ нужномъ количествѣ, то вдругъ меньше, иногда даже совсѣмъ переставалъ подавать, а потомъ опять начиналъ дѣйствовать правильно. Такія нарушенія подачи наступали періодически черезъ 5—10, иногда 30 минутъ.

Какъ выяснилось послѣ тщательныхъ изысканій, причины неправильной подачи керосина были слѣдующія: неисправное состояніе всасывающаго клапана въ вырѣзѣ насоса, подогреваніе керосина на пути изъ бачка до насоса и, наконецъ, недостаточное сѣченіе подающей трубки на этомъ же пути.

Первая причина была устранена, конечно, очень легко, притиркой клапана и соотв. регулировкой его пружины.

Что касается нагреванія керосина, то оно происходило отъ того, что первоначально керосиновая трубка соприкасалась почти на всей длинѣ съ идущей рядомъ съ ней трубкой, отводящей охлаждающую воду, нагревную до 50—60° Ц. Хотя установить вліяніе нагреванія керосина непосредственными наблюденіями было трудно, тѣмъ не менѣе мы считали возможнымъ образованіе паровъ керосина подъ одновременнымъ вліяніемъ повышенной температуры и уменьшеннаго давленія при всасывающемъ ходѣ. Образованіе даже небольшихъ пузырьковъ пара при тѣхъ незначительныхъ количествахъ, которыя подаются насосикомъ за

1 ходъ—0,26 до 0,30 см.³,—конечно, должно было сильно уменьшать объемную подачу насоса.

Нагрѣваніе было совершенно устранено тѣмъ, что между водоотводящей трубой и прикрѣпленной къ ней керосиновой трубкой были проложены деревянные бабышки, такъ что разстояніе между трубами получилось около 15 мм., а кромѣ того, керосиновая трубка была обернута азбестовымъ шнуромъ.

Когда однако все это не помогло, насосъ продолжалъ работать плохо, хотя и нѣсколько лучше прежняго, мы обратили вниманіе на скорость въ керосиноподводящей трубкѣ. Для этого мы опредѣлили уголъ поворота вала, соответствующій времени всасывающаго хода керосинового насосика; уголъ этотъ оказался равнымъ 32°. Принимая наибольший расходъ керосина до 6 кгр./час., какъ это выяснилось изъ нашихъ опытовъ, вычислили среднюю скорость всасыванія: при діаметрѣ трубки, присланной съ завода, $d=3,8$ мм., т. е. площади сѣченія, $f=11,34$ мм.², и удѣльномъ вѣсѣ керосина $\delta=0,821$, получасмъ необходимую скорость движенія керосина

$$c = \frac{6.360}{32.0.821.3600.1000.0,00001134} = 2,0 \text{ мт./сек.},$$

скорость довольно значительную. Когда же мы измѣрили расходъ керосина изъ бачка самотекомъ, отнявъ конецъ трубки отъ насоса, то получили расходъ всего въ 11,2 до 13,8 кгр./час., что соответствуетъ скорости всего въ 0,33 до 0,41 мт./сек., т. е. въ 5—6 разъ меньше, чѣмъ намъ требуется. Впрочемъ этого и слѣдовало ожидать, имѣя въ виду довольно значительную длину трубопровода, малый напоръ и значительное сопротивленіе тренія при такомъ маломъ діаметрѣ.

Послѣ этого подсчета трубка была замѣнена другой съ діаметромъ $d=9,5$ мм.. Измѣреніе расхода керосина самотекомъ съ этой новой трубкой дало отъ 174,6 до 190,0 кгр./час., т. е. скорости отъ 5,2 до 5,7 мт./сек., или примѣрно въ 2½ раза больше, чѣмъ намъ необходимо.

Интересно отмѣтить, что разность между наибольшимъ и наименьшимъ расходомъ керосина при тонкой трубкѣ, $13,8-11,2=2,6$ кгр., составляла около 19% отъ наибольшаго расхода, тогда какъ при второй трубкѣ разность $190,0-174,6=15,4$ кгр. составляетъ всего 8%, т. е. случайныя, незамѣтныя и неустранимыя измѣненія условій движенія керосина, какъ напр., измѣненіе высоты напора или попаданіе соринки, при большой трубкѣ отражаются на расходѣ керосина гораздо менѣе. Работа насоса должна получаться значительно надежнѣе и равномернѣе. И дѣйствительно, съ новой трубкой насосъ сталъ работать вполне исправно.

Форсунка. Гораздо хуже обстояло дѣло съ форсункой. Съ ней происходили двѣ непріятности: или она легко засорялась или плохо распыливалась.

Засариваніе было отчасти устранено, да и то несовсѣмъ, тѣмъ, что кромѣ мельчайшей металлической сѣтки, 1600 отверстій въ 1 см.², изъ которой былъ сдѣланъ колпачекъ на конецъ трубки, берущей керосинъ у дна бачка, на бачекъ была сдѣлана рамка съ фланелевымъ мѣшкомъ—фильтромъ, черезъ который керосинъ и пропускался при наливаніи. Этотъ же фильтръ предохранялъ бачекъ отъ попаданія въ него сора извнѣ.

Особенно много труда было затрачено на подысканіе наиболѣе цѣлесообразной конструкціи форсунки, которую мы передѣлывали нѣсколько разъ. При маломъ отверстіи, черезъ которое распыливается керосинъ, получается слишкомъ большое сопротивленіе движенію поршня насосика, и недостаточна подача керосина, при большомъ—керосинъ хуже распыливается, и, кромѣ того, періодически получается капля керосина, которая проходитъ черезъ машину, конечно, не успѣвъ сгорѣть.

Попытки замѣнить у форсунки одно отверстіе 2—3 меньшими оказались неудачными, такъ какъ, хотя такая форсунка въ началѣ дѣйствуетъ хорошо, но слишкомъ легко и быстро засоряется, несмотря ни на какія фильтры.

То же самое оказалось и съ форсункой особой конструкціи, безъ отверстій, а съ круговой щелью, образованной конической выточкой—раззенковкой въ концѣ наконечника форсунки и ввернутымъ въ него конусомъ.

Въ концѣ концовъ пришлось вернуться къ типу форсунки, присланной заводомъ, и примириться съ тѣмъ, что часть керосина, не распыливаемая и падающая въ видѣ капель, проходитъ черезъ машину, не сгорая, и, увеличивая бесполезно расходъ керосина, понижаетъ дѣйствительную тепловую отдачу η_t машины.

Въ заключеніе, можетъ быть, интересно сообщить о слѣдующемъ явленіи: давленіе, которое наступаетъ въ керосиновомъ насосикѣ при ударномъ дѣйствіи, такъ велико, что постепенно пробиваетъ стѣнки штуцера у нагнетательнаго клапана; штуцеръ этотъ литой, латунный; толщина стѣнки около 3 мм.; раковинъ, насколько замѣтно, нѣтъ. Утечку керосина, происходившую прямо черезъ толщину штуцера, удалось устранить, лишь нагнавъ на штуцеръ плотно приточенную латунную трубку и пропаявъ ее въ одно цѣлое со штуцеромъ.

Равнымъ образомъ трудно было получить плотность въ стыкахъ этихъ штуцеровъ: кожанная и свинцовая прокладки при частомъ развинчиваніи раздавливаются; одной притирки торца недостаточно; удовлетворительные результаты были получены лишь при подкладываніи колецъ изъ красной мѣди.

Работа съ воздуходувкой. Къ числу затрудненій, встрѣченныхъ нами при опытахъ, можно еще отнести трудность пуска въ ходъ машины при работѣ съ воздуходувкой, особенно при подачѣ воздуха прямо въ

заднюю полость, т. е. при работѣ, такъ сказать, готовымъ сжатымъ воздухомъ, безъ насоса. Однако эту трудность, заключающуюся главнымъ образомъ въ необычайности условій работы, удалось скоро преодолѣть, выработавъ послѣ нѣсколькихъ попытокъ особыя приемы, о которыхъ уже было сказано выше.

ГЛАВА III.

Обработка опытного материала.

19. Общія указанія. — Обработку сырого цифрового материала, полученнаго при научномъ испытаніи машины внутренняго горѣнія, можно, какъ мы думаемъ, разбить на три стадіи:

1, выводъ среднихъ цифръ изъ всѣхъ производившихся во время опытовъ записей,

2, вычисленіе обычныхъ величинъ, характеризующихъ данный опытъ, главнымъ образомъ полного теплового баласа со всѣми его составными частями, и сводка ихъ въ соотв. таблицы и, наконецъ,

3, выясненіе новыхъ, не шаблонныхъ результатовъ, ради которыхъ данные опыты ставились, или которые обрисовались при ихъ производствѣ и обработкѣ.

Точность и ея нахожденіе. При вычисленіи среднихъ цифръ мы старались избѣгать ошибки, часто встрѣчающейся въ технической литературѣ даже у лучшихъ авторовъ, именно, чрезмѣрнаго увлеченія числомъ десятичныхъ знаковъ. При вычисленіи средней арифметической величины мы брали ее лишь на одинъ знакъ больше, чѣмъ каждое изъ слагаемыхъ. При вычисленіи средней величины въ видѣ произведенія двухъ или нѣсколькихъ среднихъ величинъ мы брали лишь такое число десятичныхъ знаковъ или соотв. замѣняли единицы, иногда и десятки нулями, чтобы отбрасываніе лишннихъ знаковъ округляло данное число какъ разъ въ предѣлахъ возможной точности его опредѣленія въ нашихъ опытахъ. При этомъ всѣ вычисленія производились при помощи счетной линейки системы „Прэцизионъ“ А. Нестлера, соответствующей по точности обыкновенной линейкѣ, длиной въ 50 см..

Въ качествѣ мѣрки точности мы находили среднюю ошибку средней величины m по извѣстной формулѣ:

$$m = \pm \sqrt{\frac{\Sigma [\delta_n]^2}{n(n-1)}}, \quad (8)$$

гдѣ $\Sigma [\delta_n]^2$ сумма квадратовъ разностей отдѣльныхъ измѣреній и средней величины, а n число произведенныхъ измѣреній.

Собственно точность v мы выражали въ % отъ средней величины a

$$v = \pm \frac{100 m}{a} \quad (9)$$

Если измѣреніе производилось однократно, какъ напр., отмѣтка момента прохожденія уровня керосина мимо острія или вѣсъ ведра съ керосиномъ, то ошибку вычисляли по соотв. возможному отклоненію величины a на величину p , т. е.

$$\nu = \pm \frac{100 p}{a}. \quad (10)$$

Если какая-нибудь величина A составляется въ видѣ произведенія или частнаго нѣсколькихъ величинъ, то, средняя ошибка производной величины ν' , конечно, равна суммѣ ν составляющихъ.

Если величина A получается какъ сумма или разность нѣсколькихъ величинъ, то ея средняя ошибка ν'' вычислялась по формулѣ

$$\nu'' = \pm \sqrt{\sum [\nu]^2}, \quad (11)$$

гдѣ средняя ошибка ν въ % каждой отдѣльной величины a должна определяться по средней абсолютной ошибкѣ m не относительно соотв. a , а относительно всего A , т. е. въ этомъ случаѣ

$$\nu = \frac{100 m}{a}. \quad (12)$$

Такого рода вычисленіе среднихъ ошибокъ помимо того, что даетъ объективную мѣрку для оцѣнки опытовъ и ихъ результатовъ, очень полезно, съ одной стороны, при выборѣ числа значащихъ цифръ у результата, съ другой, доказывая иной разъ невозможность достичь особенной точности при опредѣленіи той или иной величины, или, наоборотъ, обнаруживая значительно ббольшую точность какой-нибудь величины, чѣмъ это обыкновенно принято считать.

Вообще такое вычисленіе точности отдѣльныхъ величинъ и всего результата при техническихъ измѣреніяхъ почти не практикуется, и, какъ мы надѣемся показать въ дальнѣйшемъ, совершенно напрасно. Соотв. вычисленія въ общемъ незатруднительны, а даютъ очень интересные, подчасъ совершенно неожиданные результаты.

Критика и исправленіе записей. Что касается далѣе вывода среднихъ цифръ, то мы считали необходимымъ не ограничиваться однимъ механическимъ вычисленіемъ среднихъ арифметическихъ величинъ для отдѣльныхъ отчетовъ, а относиться къ нимъ всегда критически, т. е., при выводѣ среднихъ величинъ внимательно всматриваться въ каждый отдѣльный отчетъ и, если онъ является сомнительнымъ, то или исправить его, если это возможно, пользуясь другими данными, или совсѣмъ вычеркнуть его, если это возможно, или, наконецъ, даже забраковать и отбросить весь данный опытъ, но отнюдь не относиться слѣпо до вѣрчиво къ разъ сдѣланной записи. Дѣло въ томъ, что мы неоднократно убѣждались въ возможности, можно сказать, неизбежности ошибокъ въ отчетахъ или даже описокъ въ записяхъ при производствѣ такихъ опытовъ, какъ наши, когда каждая секунда на счету, когда все вниманіе поглощено послѣдовательно производимыми различными отчетами.