

Конечно, при выводѣ среднихъ цифръ отнюдь не слѣдуетъ вдаваться также и въ другую крайность: въ слишкомъ легкое отношеніе къ цифрамъ и поспѣшную замѣну однихъ чиселъ другими. Отъ проницательности, осторожности и, можно сказать, особаго чутія лица, обрабатывающаго сырой матеріалъ, зависитъ въ значительной мѣрѣ цѣнность и точность конечныхъ результатовъ опытовъ.

Что касается критики сдѣланныхъ записей и ихъ исправленія, то здѣсь возможны нѣсколько случаевъ: простѣйшій, когда идетъ рядъ отчетовъ, которые должны, вообще говоря, оставаться постоянными, какъ, напр., температура вступающей охлаждающей воды или расходъ этой же воды въ единицу времени. Если, напр., все время температура эта стояла равной $14,5^{\circ}$, а только въ одномъ изъ промежуточныхъ отчетовъ стоитъ $17,5^{\circ}$, то очевидно, это описка, которую нельзя принимать во вниманіе при вычисленіи средней величины; то же самое съ рѣзкимъ измѣненіемъ расхода воды, если только водяной вентиль во время опыта не трогали, и т. д.

Второй случай, когда ошибка въ какой-нибудь записи можетъ быть проверена по другой записи. Такъ, напр., въ одномъ изъ опытовъ было отмѣчено, что опытъ производился съ привернутыми добавочными колпаками t_1 и t_2 у задней полости, другія же данныя, какъ, напр., расходъ работы на воздушный насосъ и его объемная подача, какъ будто этому противорѣчили. И вотъ достаточно было наложить индикаторную діаграмму воздушнаго насоса сомнительнаго опыта на діаграммы опытовъ, произведенныхъ съ тѣмъ же числомъ оборотовъ, но разными объемами V_3 задней полости, чтобы сразу увидать, что опытъ этотъ былъ произведенъ дѣйствительно безъ добавочныхъ колпаковъ.

Другой примѣръ—съ показаніями счетчика оборотовъ. Записи производились черезъ каждыя 5 мин. съ точностью до 1 сек.; и вотъ оказывалось, что при совершенно равномерной работѣ машины во многихъ опытахъ попадались отчеты, когда число оборотовъ за 5-минутный промежутокъ было примѣрно на 100 оборотовъ меньше предыдущихъ и послѣдующихъ отчетовъ. Предположеніе, что машина въ этотъ промежутокъ времени дѣлала примѣрно на 20 обор./мин. меньше, казалось мало вѣроятнымъ, съ одной стороны, вслѣдствіе періодичности наблюдавшагося явленія, съ другой, въ виду того, что оно совершенно не замѣчалось во время самого опыта, напр., по тахометру. Вглядываясь въ записи, мы замѣтили, что уменьшеніе числа оборотовъ происходило при прохожденіи стрѣлки отъ показаній 9000 до 10000. Тогда мы предположили неисправность въ конструкціи счетчика. Доказать это удалось слѣдующимъ образомъ: при данномъ среднемъ числѣ оборотовъ машины при каждомъ ходѣ засасывается опредѣленный объемъ воздуха, который можно считать постоянной величиной; если число оборотовъ вдругъ падаетъ на 100 въ теченіе 5 мин., т. е. понижается на это время на 6—10%, то на такую же величину долженъ упасть и отчетъ, сдѣлан-

ный по воздушнымъ часамъ за эти 5 мин.. Просматривая записи подачи воздуха, мы увидали, что послѣдняя всегда шла равномерно, безъ пониженія, слѣдовательно, и число оборотовъ должно было стоять постояннымъ, а уменьшеніе его на 100 объясняется ошибкой прибора, которую можно устранить, добавивъ эти 100 оборотовъ къ общему числу, по которому вычисляется среднее число оборотовъ соотв. опыта.

Впослѣдствіи, разбирая счетчикъ, мы обнаружили и причину этой ошибки—неправильность въ нарѣзкѣ зубцовъ на одномъ изъ червячныхъ колесъ.

Наконецъ, третій случай исправленія показаній, это когда ошибка обнаруживается лишь путемъ болѣе сложныхъ вычисленій и сопоставленій. Ограничимся однимъ примѣромъ—расходомъ воздуха при работѣ съ воздухоудвкой.

Хотя выше, § 17, мы указали уже способъ, которымъ нашли соотв. поправку непосредственно опытнымъ путемъ, тѣмъ не менѣе намъ кажется небезынтереснымъ указать еще и тотъ, такъ сказать косвенный способъ, которымъ мы хотѣли первоначально опредѣлить эту поправку, опираясь на другія опытные данныя.

Какъ мы уже упоминали, необходимость ввести поправки въ показанія воздушныхъ часовъ при работѣ съ воздухоудвкой обнаружилась при разсмотрѣніи величины тепла, унесеннаго продуктами горѣнія въ % отъ всего располагаемаго тепла. При этомъ нужно оговориться, что за располагаемое тепло при этихъ вычисленіяхъ мы принимали тепло, полученное изъ такъ назыв. исправленнаго теплового баланса, при которомъ мы попытались исключить вліяніе неисправнаго дѣйствія нашей форсунки, и о которомъ сказано подробно ниже въ § 22.

Когда мы расположили всѣ опыты съ воздухоудвкой по возрастающему давленію, таблица 15, то сразу бросилось въ глаза совершенно

Таблица 15.

Опытъ №	p мм.	$q_{пр}$ %	L_o мт. ³	σ мт. ³	L_o' мт. ³	$Q_{пр}$ т. ед.	$Q'_{пр}$ т. ед.	$q'_{пр}$ %	L_o^* мт. ³	$Q_{пр}^*$ т. ед.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
56	156	34,2	96,6	3,7	92,9	9460	9080	33,9	93,8	9420
57	218	34,8	100,7	5,2	95,5	9740	9230	33,6	96,6	9690
61	270	36,2	90,1	6,5	83,6	10330	9580	34,4	85,2	9920
63	285	36,3	103,7	7,1	96,6	12440	11580	35,7	98,5	12030
58	405	37,6	121,4	9,9	111,5	11640	10680	35,4	114,0	11190
53	610	39,8	122,4	15,0	107,4	8220	7230	36,8	111,1	7720
62	644	41,0	120,4	15,9	104,5	13120	11410	37,6	103,6	12060
65	915	43,4	166,4	22,6	143,8	15940	13700	38,8	148,2	14540
71	1287	42,1	119,1	31,9	87,2	13900	10180	34,7	86,7	10430
72	1294	42,2	137,1	32,1	105,0	17340	13310	35,8	102,0	13150

закономѣрное возрастаніе съ повышеніемъ давленія % количества тепла $q_{пр}$, унесеннаго продуктами горѣнія, столбецъ 3. Тогда мы рѣшили ввести для величины L_o , столбецъ 4, такую поправку, чтобы величины $q'_{пр}$

приблизились къ среднимъ для всѣхъ опытовъ, т. е. лежали по возможности въ предѣлахъ 33 до 36 %. Исходя изъ того соображенія, что при давленіи примѣрно около 10 мм. прекращается выходъ воздушныхъ пузырьковъ изъ кольцевыхъ подшипниковъ воздухоудвки, и считая, какъ было подробно мотивировано выше, что утечка зависитъ только отъ давленія, мы нашли послѣ нѣсколькихъ пробъ, что поправку σ можно вычислить по выраженію

$$\sigma = 0,025 (p - 10), \quad (13)$$

гдѣ p давленіе въ мм. вод. ст., 0,025 эмпирическій коэффициентъ, при которомъ σ получается прямо въ мт.³/час.. Вычисленные по выраженію (13) σ представлены въ столбцѣ 5, а исправленная по нимъ подача воздуха L_0' въ столбцѣ 6. Затѣмъ было вычислено по L_0' тепло $Q_{вр}'$, унесенное продуктами горѣнія, столбецъ 8. Измѣнивъ сообразно $Q_{вр}'$ „исправленный“ тепловой балансъ, мы перечислили это тепло въ % отъ полного тепла и получили столбецъ 9. Какъ видимъ, величины $q_{вр}'$, почти для всѣхъ опытовъ лежатъ уже въ нормальныхъ предѣлахъ. Далѣе для сравненія приведены въ столбцѣ 7 $Q_{вр}$ до исправленія σ , а въ столбцѣ 10 расходъ воздуха L_0^* , исправленный по непосредственнымъ опытамъ, и, наконецъ, въ столбцѣ 11 то же тепло $Q_{вр}^*$, но вычисленное по L_0^* . Мы видимъ совпаденіе между L_0' и L_0^* достаточно удовлетворительное; наибольшее отклоненіе въ опытѣ № 62 не достигаетъ еще 3,8 %.

Правда, въ разбираемомъ примѣрѣ поправку удалось найти точнѣе опытнымъ путемъ, но въ другихъ случаяхъ, особенно въ испытаніяхъ на практикѣ аналогичный пріемъ вычисленія поправки можетъ оказаться очень полезнымъ.

Конечно, поправку расхода воздуха, точнѣе, самый расходъ этотъ было бы гораздо проще вычислить прямо по расходу керосина и составу продуктовъ горѣнія, какъ объ этомъ еще будетъ сказано ниже. Однако въ виду все того же неудовлетворительнаго дѣйствія форсунки отъ этого способа пришлось отказаться.

Другимъ примѣромъ исправленія записей опыта путемъ болѣе или менѣе сложныхъ вычисленій можетъ служить опредѣленіе полезнаго расхода керосина, т. е. за вычетомъ оставшагося не распыленнымъ вслѣдствіе неисправнаго дѣйствія форсунки. Объ этомъ сказано подробно ниже въ § 22 при вычисленіи такъ назыв. „исправленного“ теплового баланса.

Въ заключеніе можно замѣтить, что, чѣмъ внимательнѣе ведутся наблюденія и производятся записи, тѣмъ, конечно, меньше ошибокъ обнаруживается при ихъ обработкѣ, тѣмъ меньше исправленій приходится вносить; однако избѣжать ошибокъ, а, слѣдовательно, и необходимости исправленій совершенно, при такого рода опытовъ, по нашему глубокому убѣжденію, невозможно.

Чтобы дать возможность судить, насколько правильно велись у насъ всѣ наблюденія, и много ли исправленій пришлось внести, въ приложенныхъ къ послѣдней главѣ основныхъ таблицахъ 26—29 всѣ цифры, которыя подверглись измѣненію при обработкѣ, отмѣчены звѣздочкой; цифры, взятые не изъ наблюденій, а по соображенію или по аналогіи съ другими подходящими опытами, напечатаны курсивомъ; наконецъ, цифры, которыя независимо отъ способа ихъ полученія, внушаютъ сомнѣнія, заключены въ скобки.

20. Вычисленіе работъ. — Одной изъ наиболѣе важныхъ цифръ при большинствѣ испытаній является опредѣленіе дѣйствительной работы.

При производствѣ научныхъ опытовъ обыкновенно болѣе важно точное опредѣленіе индикаторной работы, но и знаніе дѣйствительной работы необходимо, коль скоро хотятъ составить полный тепловой балансъ, т. е. учесть и теплоту работы тренія поршня.

Дѣйствительная работа. При описанномъ выше пользованіи нашимъ тормазомъ все вычисленіе сводилось къ подстановкѣ въ выведенное выше, стр. 59, выраженіе

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

соотв. нагрузки вѣсовъ G кгр. и числа оборотовъ n .

Что касается степени точности опредѣленія N_e , то она зависитъ отъ точности вѣсовъ, затѣмъ отъ внимательности лица, поддерживающаго вѣсы въ равновѣсіи, и, наконецъ, отъ точности опредѣленія n .

Вѣсы, какъ уже указывалось, позволяли измѣрять нагрузку съ точностью до 0,02 кгр., что при $G=25$ кгр. составляетъ $\pm 0,08\%$.

Внимательность лица можно охарактеризовать наибольшимъ отклоненіемъ во время работы машины язычка вѣсовъ отъ положенія равновѣсія. Неоднократными наблюденіями это отклоненіе было найдено не превосходящимъ 30 мм., что для данныхъ вѣсовъ при $G=25$ соотвѣствуетъ грузу въ 0,3 кгр., или $\pm 1,2\%$. Однако такія отклоненія наступали лишь на мгновеніе и сейчасъ же выравнивались, поэтому можно считать, что въ среднемъ ошибку отъ невнимательности можно выразить величиной не болѣе половины указанной, т. е. $\pm 0,6\%$.

Точность нахожденія n можно опредѣлить, считая возможнымъ ошибки въ отчетахъ времени по 1 сек. въ началѣ и въ концѣ опыта, или на 30 мин. возможна ошибка по 0,055%; средняя ошибка обоихъ наблюденій получается равной $0,055 \cdot \sqrt{2} = \pm 0,08\%$.

Прибавляя еще ошибку, съ которой ради округленія найденъ числовой коэффициентъ въ выраженіи (3), т. е. 0,06%, получаемъ величину возможной ошибки при опредѣленіи N_e въ видѣ

$$\gamma_1 = 0,08 + 0,6 + 0,08 + 0,06 = \pm 0,82\%, \quad (14)$$

что въ данномъ случаѣ совершенно достаточно, тѣмъ болѣе, что эту величину можно считать лишь предѣломъ ошибки, которая въ дѣйствительности всегда значительно меньше.

Индикаторная работа опредѣлялась по снятымъ діаграммамъ при помощи планиметрированія. Планиметрированіе каждой діаграммы нормально производилось по два раза, объѣзжая всѣ 8—10 обводовъ діаграммы. Въ большинствѣ случаевъ оба отчета получались или тождественные, или очень близкіе между собой; въ такомъ случаѣ площадь опредѣляли какъ среднее арифметическое изъ этихъ отчетовъ. При болѣе значительной разницѣ отчетовъ все планиметрированіе повторяли снова и, если опять получалась значительная разница, что происходило при большомъ числѣ сильно отличающихся другъ отъ друга обводовъ, то брали среднее изъ всѣхъ 5—6 планиметрированій всѣхъ обводовъ данной діаграммы.

Найдя среднюю площадь каждой діаграммы, вычисляли по ней среднюю площадь f въ мм. для всего опыта. Затѣмъ находили среднее индикаторное давленіе въ кгр./см.²

$$p_i = \frac{f}{l m}, \quad (15)$$

гдѣ m масштаб индикаторной пружины въ мм.: кгр./см.², найденный при провѣркѣ, а l длина діаграммъ въ мм..

Нужно замѣтить, что несмотря на очень короткій шнуръ при томъ измѣненіи числа оборотовъ, которое у насъ имѣло мѣсто,—отъ 180 до 370, вытяжка шнура сказывалась, увеличивая l отъ 76,5 до 77,5 мм.; впрочемъ на среднюю высоту діаграммъ такое удлиненіе практически вліянія не оказывало.

Индикаторная работа вычислялась на основаніи обычнаго выраженія

$$N_i = \frac{F p_i (H n - i)}{60.75}, \quad (16)$$

гдѣ i среднее число пропусковъ въ 1 мин.. Подставляя для площади поршня его величину $F = 0,25 \cdot \pi \cdot (22,226)^2 = 387,98$ см.², а для хода $H = 0,251$ мт., получаемъ выраженіе, которымъ и пользовались въ дѣйствительности при подсчетахъ,

$$N_i = 0,02164 p_i (n - i). \quad (17)$$

Найдемъ теперь возможную ошибку въ опредѣленіи N_i ; она опредѣлится въ видѣ суммы ошибокъ всѣхъ трехъ множителей.

Ошибка числового коэффициента, въ свою очередь, равняется суммѣ ошибокъ величинъ D^2 и H , т. е. какъ было указано выше, стр. 16, ошибка равняется $0,02 \cdot 2 + 0,04 = \pm 0,08\%$.

Что касается возможной ошибки въ опредѣленіи p_i , то по изслѣдованіямъ проф. Мейера ⁴³⁾ для машинъ внутренняго горѣнія она можетъ доходить въ случаѣ діаграммъ съ сильнымъ несовпаденіемъ отдѣльныхъ обводовъ, какъ у насъ, при принятіи всѣхъ мѣръ предосторожности все же до 2 даже 3%.

⁴³⁾ Z. V. d. I. 1901 S. 1348.

Впрочемъ среднюю ошибку p_1 можно опредѣлить и точнѣе для нашего случая, имѣя въ виду выраженіе (15). Изъ трехъ слагаемыхъ, ошибокъ величинъ f , l и m , среднюю ошибку f мы нашли для цѣлаго ряда нашихъ діаграммъ, пользуясь формулой (8), колеблющейся въ предѣлахъ отъ $\pm 0,80$ до $\pm 1,28\%$; возьмемъ, конечно, наибольшую величину. Среднюю ошибку, неизбежную при планиметрированіи, можно считать по указаніямъ многихъ авторовъ⁴⁴⁾, не болѣе $\pm 0,2\%$.

Ошибка въ опредѣленіи l при помощи штангенциркуля возможна въ 0,1 мм., т. е. при среднемъ $l=77,0$ мм. около $\pm 0,13\%$.

Среднюю ошибку масштаба m можно принять, какъ было указано выше, стр. 65, для употреблявшихся пружинъ равной $\pm 0,34\%$.

Такимъ образомъ суммарная средняя ошибка для p_1 получается $1,28+0,2+0,13+0,34=\pm 1,95\%$, т. е. довольно близко къ указываемой Е. Мейеромъ величинѣ.

Что касается возможной ошибки въ опредѣленіи величины $(n-i)$, то она вычисляется по формулѣ (11) по ошибкамъ n , найденной выше, стр. 104, равной $\pm 0,08\%$, и ошибкамъ опредѣленія i . Вычисляя по квадратамъ разностей для ряда опытовъ съ наиболѣе колебавшимся i среднюю ошибку его, мы нашли для нея въ качествѣ высшаго предѣла величину $\pm 1,07\%$, отнесенную уже къ разности $(n-i)$. Такъ какъ $(n-i)$ опускалось иногда до 0,9 n , то и ошибку величины n надо отнести тоже къ 0,9 n , что дастъ для нея $\pm 0,09\%$. Тогда средняя ошибка величины $(n-i)$ получается по формулѣ (11) равной $\sqrt{(1,07)^2+(0,09)^2}=\pm 1,07\%$.

Такимъ образомъ окончательно возможную ошибку при вычисленіи N_1 можно считать равной

$$\nu_2 = 0,08 + 1,95 + 1,07 = \pm 3,10\%. \quad (18)$$

Какъ видимъ, несмотря на всѣ мѣры предосторожности, точность опредѣленія индикаторной работы такой машины не очень велика. Имѣя это въ виду, можно бы работу N_1 въ таблицѣ 26 вычислять только съ однимъ десятичнымъ знакомъ, такъ какъ при условіяхъ работы нашей машины и нашихъ испытаній и онъ уже является нѣсколько гадательнымъ, однако мы вычислили и второй десятичный знакъ, исключительно имѣя въ виду опредѣленіе работы тренія поршня R_n .

Въ самомъ дѣлѣ, отбрасываніе второго и слѣдующихъ десятичныхъ знаковъ равносильно въ данномъ случаѣ возможной ошибкѣ въ $\pm 0,05$ л. с.. Относительно N_1 , колеблющагося у насъ отъ 8,2 до 16,0 л. с., эта величина составляетъ всего отъ 0,32 до 0,61%. Считая по наибольшей величинѣ, получаемъ увеличенную вслѣдствіе отбрасыванія второго десятичнаго знака среднюю ошибку равной $\nu_2' = \sqrt{(3,10)^2 + (0,61)^2} = \pm 3,16\%$, т. е. въ сущности такое отбрасываніе почти не отражается. На-

⁴⁴⁾ См. напр. Gramberg, Techn. Mess., S. 46

оборотъ, R_n сама составляетъ всего примѣрно отъ 1,0 до 2,5 л. с., т. е. относительно нея отбрасываніе второго десятичнаго знака составляетъ ошибку отъ 2 до 5%, что, конечно, уже весьма существенно и нежелательно.

Не слѣдуетъ, однако, думать, что нахожденіе индикаторной мощности N_1 у насъ было сопряжено съ исключительно большими неточностями, скорѣе наоборотъ; мы только постарались опредѣлить эту точность, чего обыкновенно не дѣлается. Объясняется же сравнительно значительная возможная ошибка γ_2 тѣмъ, что для опредѣленія N_1 надо произвести очень большое число отчетовъ, измѣреній и вычисленій, при чемъ всѣ отдѣльныя ошибки взаимно не уничтожаются, а накапливаются.

Индикаторная работа воздушнаго насоса N_1' опредѣлялась тоже при помощи планиметра и при томъ такъ же, какъ и работа самой машины.

Такъ же находили по средней площади f' среднее индикаторное давленіе $p_1' = \frac{f'}{l \cdot m'}$.

Работа насоса вычислялась по аналогическому выраженію

$$N_1' = 0,02164 p_1' n. \quad (19)$$

Что касается точности опредѣленія N_1' , то она нѣсколько больше. Именно для числового множителя средняя ошибка остается та же, что и для рабочаго цилиндра, т. е. $\pm 0,08\%$; равнымъ образомъ и для n ошибка та же $\pm 0,08\%$. Средняя ошибка величины p_1' складывается, во-первыхъ, изъ средней ошибки f' , которую мы нашли, подсчитывая разности отдѣльныхъ площадей, по формулѣ (8), доходящей до $\pm 5,0\%$. Такое сильное различіе отдѣльныхъ f' явилось для насъ нѣкоторой неожиданностью, такъ какъ мы предполагали, что діаграммы насоса будутъ очень постоянны. Обнаруженное непостоянство діаграммъ объяснилось лишь въ послѣдствіи: оно происходило отъ обратнаго прониканія продуктовъ горѣнія, имѣющихъ значительное давленіе, въ заднюю насосную полость вслѣдствіе несоотвѣтствія между моментами открытія оконъ g и f . Если бы діаграммы съ насоса снимались чаще, — въ большемъ числѣ, то средняя ошибка p_1' получилась бы значительно меньше; однако на это обстоятельство мы обратили вниманіе лишь къ концу всѣхъ опытовъ. Впрочемъ, какъ увидимъ сейчасъ, ошибка въ N_1' , отнесенная къ N_1 , не такъ велика.

Далѣе идетъ возможная ошибка планиметрированія; она остается безъ измѣненія, $\pm 0,20\%$; равнымъ образомъ не мѣняется и возможная ошибка величины l , равная по предыдущему $\pm 0,13\%$. Средняя ошибка масштаба m' вслѣдствіе большей мягкости пружины, какъ указывалось уже выше, стр. 65, получилась нѣсколько больше, именно равна $\pm 0,46\%$.

Такимъ образомъ, суммарная возможная ошибка для p_1' равняется $5,0 + 0,2 + 0,13 + 0,46 = \pm 5,79\%$, а возможная ошибка опредѣленія работы N_1'

$$\nu_3 = 0,08 + 0,08 + 5,79 = \pm 5,95\%. \quad (20)$$

Однако, если относить эту ошибку къ работѣ цилиндра N_1 , относительно которой N_1' составляетъ у насъ 0,025 до 0,10, и взять, конечно, верхній предѣлъ, т. е. $N_1 = 0,1N_1$, то возможная ошибка получается равной всего $\pm 0,60\%$.

Что касается числа десятичныхъ знаковъ, съ которымъ вычислены N_1' , то, строго говоря, здѣсь можно было бы ограничиться 1 знакомъ, но для лучшаго сравненія чиселъ N_1' между собой при различныхъ опытахъ, а главнымъ образомъ для вычисленія работы тренія поршня R_n , мы сохранили вездѣ по 2 знака. Хотя третій десятичный знакъ является въ данномъ случаѣ въ то же время всего третьей значащей цифрой, но его отбрасываніе равносильно, а въ большинствѣ случаевъ даже менѣе, погрѣшности въ 1%, т. е. значительно меньше средней ошибки самой величины N_1' .

Какъ уже упоминалось, чтобы выяснитъ вліяніе инерціи движущихся частей индикатора, при болѣе значительныхъ числахъ оборотовъ n , а для контроля и въ нѣсколькихъ опытахъ съ умѣреннымъ n , кромѣ диаграммъ, снимаемыхъ обычной пружиной съ $m=160$ мм., на тотъ же листокъ бумаги снимались диаграммы и болѣе жесткими пружинами.

При подсчетахъ мы нашли, что при $n < 280$ среднія давленія p_1' , найденныя при помощи планиметра, какъ диаграммъ снятыхъ самой слабой, такъ и болѣе жесткими пружинами, оказывались въ предѣлахъ точности величины p_1' , т. е. $\pm 6\%$, одинаковыми. Такія же величины p_1' давали и диаграммы, очертанія которыхъ были исправлены на вліяніе инерціи движущихся частей индикатора по упомянутому выше способу Флигнера.

При болѣе значительныхъ n давленія p_1' , найденныя по различнымъ диаграммамъ, отличались между собой сильнѣе, очевидно, вслѣдствіе вліянія инерціи движущихся частей индикатора. Въ этихъ опытахъ N_1' опредѣляли по диаграммамъ, снятымъ болѣе жесткими пружинами, какъ менѣе искаженнымъ, и тоже по исправленіи ихъ по способу Флигнера.

Работа сопротивленій R опредѣлялась, какъ уже указано выше, въ видѣ разности

$$R = N_i - N_1' - N_e.$$

Полученную такимъ образомъ величину R разбивали еще на 2: по диаграммѣ черт. 36 опредѣляли работу сопротивленія вращающихся частей R_n , а остатокъ считали работой тренія поршня R_n , т. е.,

$$R_n = N_i - N_1' - N_e - R_n. \quad (21)$$

Посмотримъ, чему равняется возможная ошибка при опредѣленіи этихъ величинъ, отнесенная къ N_i , часть которой онѣ составляютъ.

Для R_b возможная ошибка вследствие неточностей опыта была найдена выше, стр. 74, равной $\nu_4 = \pm 1,1\%$.

Возможную ошибку ν_5 въ опредѣленіи R_n можно вычислить по формулѣ (11), имѣя въ виду ур—іе (21), по соотв. ν , именно:

$$\nu_5 = \sqrt{(3,10)^2 + (0,60)^2 + (0,82)^2 + (1,1)^2} = \pm 3,44\% \quad (22)$$

Просматривая таблицу 27, видимъ, что R_n составляетъ отъ 0,06 до 0,18 N_i ; такимъ образомъ возможная ошибка въ его опредѣленіи, отнесенная къ нему самому, составляетъ отъ 19 до 57%!... Къ сожалѣнію, помочь дѣлу нельзя ничѣмъ, такъ какъ вина здѣсь не въ невнимательности или неточности при производствѣ отдѣльныхъ наблюденій, а въ неблагоприятномъ стеченіи обстоятельствъ, въ силу котораго при опредѣленіи R_n скопляются всѣ ошибки отдѣльныхъ, многочисленныхъ наблюденій.

Это вычисленіе лишній разъ подтверждаетъ, что оцѣнку точности какой нибудь величины при испытаніяхъ никогда нельзя производить на глазъ.

Механическая отдача. Хотя вопросъ о механической отдачѣ собственно не входитъ въ кругъ нашихъ задачъ, но для полноты картины, съ одной стороны, и въ виду легкости его вычисленія, съ другой, мы опредѣляли ее для всѣхъ опытовъ.

Что касается самаго понятія и способа вычисленія механической отдачи внутренняго горѣнія, то въ ст. 17 упоминавшихся выше правилъ О-ва Нѣмецкихъ Инженеровъ вопросъ этотъ послѣ горячаго обмѣна мнѣній въ Z. V. d. I. за 1905 г., въ которомъ принялъ участіе и авторъ настоящей работы, рѣшенъ въ томъ смыслѣ, что механической отдачей надо считать отношеніе полезной работы къ разности индикаторныхъ работъ, развитыхъ въ цилиндрѣ машины и поглощенныхъ вспомогательными механизмами ея. Въ нашемъ случаѣ

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_i - N_i'} \quad (23)$$

Подчиняясь указаннымъ и общепринятымъ теперь правиламъ и вычисляя и для своихъ опытовъ η_m по формулѣ (23), авторъ, будучи несогласенъ съ такимъ толкованіемъ понятія о механической отдачѣ⁴⁵⁾ и полагая, что за индикаторную мощность надо считать полную индикатор-

⁴⁵⁾ См. Извѣст. СІБ. Полит. Инст. 1905 г., т. 3, вып. 1—2, стр. 159 и Z. V. d. I. 59, 1905, S. 1906.

Подтвержденіе правильности взгляда автора можно видѣть хотя бы въ томъ, что и до сихъ поръ многіе экспериментаторы, какъ напр. такой специалистъ, какъ проф. Ромбергъ, (см. Z. V. d. I. 1910, S. 1900) продолжаютъ вычислять механическую отдачу, кромѣ обь ательной формулы (23), также и по формулѣ (24) или близкимъ къ нимъ.

ную работу N_1 , развитую въ рабочемъ цилиндрѣ, при чемъ механическая отдача получается, слѣдовательно, изъ выраженія

$$\eta_m' = \frac{N_e}{N_1}, \quad (24)$$

позволили себѣ вычислить и привести рядомъ для сравненія величину механической отдачи и по своему способу.

Что касается возможной ошибки величины η_m и η_m' , то для первой изъ нихъ она получается въ видѣ

$$\nu_m = 0,82 + \sqrt{(3,10)^2 + (0,60)^2} = \pm 3,98, \quad (25)$$

для второй же, η_m' , въ видѣ

$$\nu_m' = 0,82 + 3,10 = \pm 3,92. \quad (26)$$

Какъ видимъ, точность эта настолько умѣренная, что выражая η_m и η_m' въ %, можно бы, пожалуй, не писать ни одного десятичнаго знака, такъ какъ такое округленіе чиселъ соотвѣствуетъ ошибкѣ не болѣе $\pm 0,7\%$, т. е. значительно менѣе ν_m и ν_m' . Однако мы предпочли все же указать одинъ десятичный знакъ, благо онъ самъ всегда получается при вычисленіи η_m и η_m' на счетной линейкѣ.

21. Тепловой балансъ. — Къ тепловому балансу работы машинъ внутренняго горѣнія большинство даже серьезныхъ экспериментаторовъ относится, по нашему мнѣнію, недостаточно внимательно. Такъ при составленіи теплового баланса при испытаніи паровыхъ установокъ принимаютъ во вниманіе и вычисляютъ всѣ величины, поддающіяся измѣренію и подсчету, тогда какъ при испытаніяхъ машинъ внутренняго горѣнія обыкновенно ограничиваются вычисленіемъ лишь 3 величинъ: тепла, превращеннаго въ работу, унесеннаго охлаждающей водой и унесеннаго продуктами горѣнія. Лишь иногда опредѣляютъ потерю тепла отъ неполнаго горѣнія⁴⁶⁾ и еще рѣже работу тренія поршня и потерю на лучеиспусканіе⁴⁷⁾.

Объясняется такое отношеніе къ тепловому балансу по всей вѣроятности, нѣкоторой затруднительностью дополнительныхъ вычисленій и сравнительно небольшой точностью ихъ результатовъ. Тѣмъ не менѣе мы рѣшили постараться, не ограничиваясь указанными тремя основными слагаемыми, составить по возможности полный и подробный тепловой балансъ.

Въ виду этого при составленіи теплового баланса мы разбиваемъ полное количество тепла Q , содержащееся въ керосинѣ, израсходованномъ при соотв. опытѣ, на слѣдующія составныя части:

1, тепло Q_1 , соотвѣтствующее индикаторной работѣ N_1 рабочаго цилиндра;

2, тепло Q_2 , унесенное охлаждающей водой; но такъ какъ часть этого тепла получается не непосредственно за счетъ сгорѣвшаго керосина, а

⁴⁶⁾ J. Gasbel. 1896. S. 81; Z. V. d. I. 1902 S. 948; Gasmot. 7, 1907 S. 134.

⁴⁷⁾ A. Slaby, Colorim. Unters. ü. d. Kreisprozess d. Gasmasch. Berlin. 1894 S. 36.

есть превращенная въ тепло работа тренія поршня, уже вошедшая сама собой въ тепло индикаторной работы Q_i , то сверхъ тепла, унесеннаго охлаждающей водой, надо ввести въ балансъ еще

3, тепло Q_n , соответствующее работѣ тренія поршня, но взятое, конечно, съ отрицательнымъ знакомъ;

4, тепло $Q_{пр}$, унесенное продуктами горѣнія, въ зависимости отъ ихъ теплоемкости и температуры;

5, тепло $Q_{вб}$, унесенное взбрызгиваемой водой, въ тѣхъ опытахъ, когда работали съ подачей воды въ цилиндръ;

6, тепло $Q_{нг}$, потерянное вслѣдствіе неполнаго горѣнія;

7, тепло $Q_{л}$, потерянное на лучеиспусканіе;

8, тепло $Q_{ж}$, соответствующее живой силѣ отработавшихъ газовъ, устремляющихся въ выпускъ съ большою скоростью подъ вліяніемъ избытка давленія въ концѣ расширенія;

9, сводится балансъ такъ назыв. невязкой Q_0 , которая въ случаѣ правильно произведенныхъ наблюденій и вычисленій не должна превосходить возможной средней ошибки, вычисленной по вѣроятнымъ ошибкамъ всѣхъ перечисленныхъ 8 слагаемыхъ.

Полное располагаемое тепло Q вычисляется какъ произведеніе часового расхода керосина k въ кгр. на его полезную теплопроизводительность H_n ,

$$Q = k H_n. \quad (27)$$

Опредѣлимъ величину возможной ошибки величины Q . Возможную ошибку въ отчетѣ моментовъ прохожденія уровня керосина мимо измѣрительной иглы можно принять на основаніи нашихъ наблюденій равной $\pm 0,2$ сек. въ началѣ и въ концѣ, или отъ 30 мин. по $\pm 0,011\%$, средняя же ошибка обоихъ отчетовъ $0,011 \times \sqrt{2} = \pm 0,02\%$. Ошибка при каждомъ взвѣшиваніи керосина можетъ составить по 0,005 кгр., или при минимальномъ расходѣ въ 1,3 кгр. это даетъ по $\pm 0,385\%$, вѣроятная же ошибка обоихъ взвѣшиваній $0,385 \times \sqrt{2} = \pm 0,54\%$. Такимъ образомъ средняя ошибка опредѣленія k составляетъ $0,02 + 0,54 = \pm 0,56\%$.

Считая, какъ указывалось выше, стр. 56, возможную ошибку величины H_n равной $\pm 0,8\%$, получаемъ среднюю ошибку величины Q

$$\nu = 0,56 + 0,80 = \pm 1,36\%. \quad (28)$$

Тепло Q_i , равное индикаторной работѣ, получается въ видѣ произведенія индикаторной мощности на тепловой эквивалентъ 1 л. с., т. е.

$$Q_i = 632,3 N_i. \quad (29)$$

Такъ какъ механическій эквивалентъ тепла $E=427$ считается въ настоящее время опредѣленнымъ съ точностью до $\pm 0,2\%$ ⁴⁸⁾, а величину N_i мы нашли съ точностью $3,1\%$, то точность величины Q_i

⁴⁸⁾ См. напр. Gramberg, Techn. Mess. S. 251.

$$\nu_i = 0,2 + 3,1 = \pm 3,3\% \quad (30)$$

Тепло Q_v , унесенное охлаждающей водой, получается въ видѣ произведенія расхода воды w въ кгр./час. на разность температуръ ея при выходѣ и входѣ въ машину

$$Q_v = w(t_6 - t_5), \quad (31)$$

Возможная ошибка выясняется слѣдующимъ образомъ: при опредѣленіи расхода воды на каждыя 5 мин. возможна ошибка въ отчетѣ момента по 1 сек. въ началѣ и концѣ, т. е. по 0,33%, а вѣроятная ошибка обоихъ отчетовъ $0,33 \cdot \sqrt{2} = \pm 0,46\%$. При взвѣшиваніи возможна ошибка въ 0,05 кгр. при каждомъ взвѣшиваніи, но такъ какъ при нашемъ порядкѣ измѣренія расхода воды послѣдняя не выливалась изъ бака во все время опыта, то ошибка должна относиться не къ 5-минутному расходу, а къ полному дѣйствительному расходу въ теченіе опыта; эта величина у насъ колебалась отъ 85 до 200 кгр., т. е. ошибка каждого взвѣшиванія составляетъ отъ 0,03 до 0,06%, а вся возможная ошибка при взвѣшиваніи можетъ дойти до 0,06. $\sqrt{2} = \pm 0,08\%$, а средняя ошибка величины w составляетъ, слѣдовательно, $0,46 + 0,08 = \pm 0,54\%$.

Вычисляя далѣе по формулѣ (8) среднія ошибки среднихъ величинъ для t_6 и t_5 и относя ихъ къ соотв. разности $(t_6 - t_5)$, мы нашли изъ большого ряда опытовъ, что онѣ колеблются для t_6 отъ $\pm 0,90$ до $\pm 3,56\%$, для t_5 отъ 0 до $\pm 0,29\%$. Такимъ образомъ средняя суммарная ошибка равна

$$\sqrt{(3,56)^2 + (0,29)^2} = \pm 3,57\%$$

Возможная ошибка всей величины Q_v равняется, слѣдовательно,

$$\nu_v = 0,54 + 3,57 = \pm 4,11\% \quad (32)$$

Тепло Q_n , равное работѣ тренія поршня, получается просто въ видѣ произведенія этой работы въ л. с. на тепловой эквивалентъ работы, т. е.

$$Q_n = 632,3 R_n. \quad (33)$$

Вѣроятная ошибка теплового эквивалента, какъ сказано выше, равна $\pm 0,2\%$, а работы R_n по формулѣ (22) равна 3,44%; такимъ образомъ средняя ошибка величины Q_n равна

$$\nu_n = 0,2 + 3,44 = \pm 3,64\% \quad (34)$$

Тепло $Q_{пр}$, унесенное продуктами горѣнія, вычисляется сложнѣе. Для вычисленія этой потери надо сперва рѣшить, принимать ли теплоемкости газовъ постоянными или измѣняющимися съ температурой. Большинство опубликованныхъ опытовъ съ машинами внутреннего горѣнія вычислены съ постоянными теплоемкостями; однако за послѣднее время вопросъ объ измѣняемости теплоемкостей работами многихъ изслѣдователей и ученыхъ значительно подвинутъ впередъ; теперь выясненъ болѣе или менѣе удовлетворительно не только характеръ зависимости теплоемкости отъ температуры, но и опредѣлены числовыя значенія соотв. коэффициентовъ. Въ виду этого въ послѣднее время и при обра-

боткѣ опытовъ съ машинами внутренняго горѣнія стали пользоваться измѣняющимися теплоемкостями, хотя вычисленія съ ними безусловно сложнѣе или, вѣрнѣе, кропотливѣе.

Не будучи вообще сторонникомъ усложненія техническихъ вычислений, но въ то же время стремясь увеличить точность полученныхъ результатовъ, авторъ тоже рѣшился при нижеслѣдующихъ вычисленіяхъ принять во вниманіе измѣненіе теплоемкости.

Что касается газовъ, то для нихъ можно считать доказаннымъ, что теплоемкости, завися настолько слабо отъ давленія, по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ измѣненія его въ обычной практикѣ, что его вліяніемъ можно пока пренебрегать, возрастаютъ и довольно значительно съ температурой. Зависимость можетъ быть выражена для большинства газовъ простой формулой

$$(C_p)_{0^t} = a + b t, \quad (35)$$

дающей величину средней теплоемкости 1 мт.³ газа, отнесеннаго къ опредѣленной температурѣ и давленію, у насъ 15° и 1 кгр./см.², между предѣлами 0 и t° Ц.

Однако лишь только мы переходимъ къ практическому пользованію формулой (35), т. е. обращаемся къ числовымъ значеніямъ эмпирическихъ коэффиціентовъ a и b , какъ оказывается, что разные авторы, одинаково авторитетные, придаютъ имъ совершенно различныя значенія. Затрудняясь, кому изъ нихъ отдать предпочтеніе, мы составили нижеслѣдующую таблицу 16, въ которой представлены теплоемкости $(C_p)_0$ для различныхъ газовъ, входящихъ въ составъ продуктовъ горѣнія, N_2 , O_2 , CO и CO_2 и теплоемкости $(c_p)_{100}$ для 1 кгр. перегрѣтаго водяного пара, вычисленныя по указаніямъ различныхъ авторовъ для температуръ отъ 250° до 500° Ц., въ каковыхъ предѣлахъ обыкновенно колеблется температура отработавшихъ газовъ при выходѣ изъ машины внутренняго горѣнія.

Всматриваясь въ ряды цифръ таблицы 16, мы видимъ, что вопросъ о точной величинѣ теплоемкости до сихъ поръ въ сущности является нерѣшеннымъ.

Начнемъ съ теплоемкостей для N_2 и CO . Всѣ 4 взятыхъ нами изъ различныхъ источниковъ формулы даютъ приблизительно одинаковое возрастаніе теплоемкости съ температурой, однако замѣтно отличаются другъ отъ друга постоянной величиной a . Если за наиболѣе вѣроятную взять среднее арифметическое изъ всѣхъ 4 величинъ для какой нибудь температуры, то оказывается, что наибольшая и наименьшая величины отличаются отъ этой средней примѣрно на $\pm 0,007$ т. ед., т. е. около

2,5%. Если сопоставить съ этимъ, что въ предѣлахъ отъ 250° до 500° Ц. теплоемкости, по сравненію съ средней величиной, около 375° Ц., измѣняются всего на $\pm 0,003$ т. ед., т. е. около $\pm 1,1\%$, то станетъ ясно, что для вычисленія абсолютной величины тепла, уносимаго продуктами горѣнія, бесполезно усложнять вычисленія введеніемъ измѣ-

няемости теплоемкости, разъ эта измѣняемость менѣ степени точно-сти, съ которой теплоемкость можетъ считаться извѣстной.

Таблица 16.

Авторъ.	Вещество.	коэффициенты		среднія теплоемкости (C_p) t_0 при различныхъ t .						постоянная теплоемк. C_p .
		a	b	250°	300°	350°	400°	450°	500°	
Шреберъ-Лангенъ ⁴⁹⁾	N ₂ и CO	0,278	0,0000217	0,283	0,285	0,286	0,287	0,288	0,289	0,284
Моллиэ ⁵⁰⁾	" "	0,277	0,000025	0,283	0,285	0,286	0,287	0,288	0,290	
Нэгель ⁵¹⁾	" "	0,266	0,0000249	0,272	0,273	0,275	0,286	0,277	0,278	
Гольборнъ и Ген- нингъ ⁵²⁾	" —	0,270	0,0000219	0,275	0,277	0,278	0,279	0,280	0,281	
Шреберъ-Лангенъ.	O ₂	0,277	0,0000218	0,282	0,284	0,285	0,286	0,287	0,288	0,284
Моллиэ	"	0,277	0,0000254	0,283	0,285	0,286	0,287	0,288	0,290	
Нэгель	"	0,275	0,0000214	0,285	0,287	0,289	0,292	0,294	0,296	
Шреберъ-Лангенъ.	CO ₂	0,38	0,000078	0,399	0,403	0,407	0,411	0,415	0,419	0,37
Моллиэ	"	0,361	0,0001	0,386	0,391	0,396	0,401	0,406	0,411	
Нэгель	"	0,368	0,000099	0,393	0,398	0,403	0,408	0,413	0,418	
Гольборнъ и Ген- нингъ	"	0,362	+0,0001347 -0,732512	0,394	0,400	0,406	0,411	0,417	0,422	
Шреберъ-Лангенъ и Нэгель	H ₂ O	0,438	0,000119	0,480	0,486	0,492	0,498	0,503	0,509	0,50
Моллиэ	"	0,438	0,000115	0,478	0,484	0,490	0,496	0,501	0,507	
Гольборнъ и Ген- нингъ	"	0,467	-0,00001687 +0,4472	0,466	0,467	0,467	0,467	0,468	0,469	
Моллиэ ⁵³⁾	"	—	—	0,489	0,487	0,484	0,484	0,483	0,482	
Моллиэ-Лангенъ ⁵⁴⁾ .	"	(0,438)	(0,000119)	0,481	0,485	0,489	0,494	0,499	0,504	

Съ теплоемкостями для другихъ газовъ, O₂ и CO₂, дѣло обстоитъ нѣ-сколько лучше: возможная ошибка отъ недостаточной точности, съ кото-рой извѣстны коэффициенты a и b , значительно меньше величины, на ко-торую теплоемкость мѣняется съ температурой, такъ что для O₂ и CO₂,

⁴⁹⁾ Schüle, Techn. Wärmemechanik, Berlin. 1909. S. 40.

⁵⁰⁾ Hütte, 20 Aufl. 1908,

⁵¹⁾ A. Nägel, Einfluss d. Mischungsverhältnisses. Berlin 1907 S. 53

⁵²⁾ Schüle, Techn. Wärmem. S. 354.

⁵³⁾ Mollier, Neue Tabellen u. Diag. f. Wasserdampf. Berlin. 1906 S. 14.

⁵⁴⁾ Mollier, N. Tabell. u. Diag. S. 18.

вообще говоря, можно было бы принять во вниманіе эту измѣняемость. Однако, если принять во вниманіе, что азотъ въ продуктахъ горѣнія составляетъ обыкновенно свыше 80% по объему, а тепло уносимое имъ составляетъ около 75% всего тепла $Q_{пр}$, то погоня за большей точностью при опредѣленіи тепла, уносимаго O_2 и CO_2 , оказывается нецѣлесообразной.

Съ теплоемкостью для перегрѣтаго водяного пара H_2O дѣло обстоитъ еще хуже: помимо очень значительной разницы въ числовыхъ величинахъ a и b , самый законъ измѣненія у разныхъ авторовъ принимается совершенно различный. Согласно таблицъ Молліэ⁵³⁾ теплоемкость съ температурой даже не возрастаетъ, а, наоборотъ, убываетъ, а по опытамъ Гольборна и Геннинга она возрастаетъ такъ медленно, что ее можно при нашихъ температурахъ считать смѣло постоянной.

Такимъ образомъ таблица 16 указываетъ вполне опредѣленно, что при вычисленіяхъ абсолютной величины теплосодержанія продуктовъ горѣнія пользованіе измѣняющимися теплоемкостями при современномъ состояніи нашихъ опытныхъ данныхъ о величинахъ коэффициентовъ a и b не увеличиваетъ точности вычисленій. Принятіе во вниманіе измѣняемости теплоемкостей газовъ можетъ быть цѣлесообразнымъ и полезнымъ лишь для опытовъ, при которыхъ изслѣдуется именно вліяніе температуры.

Въ виду вышеизложеннаго мы рѣшили пока пользоваться по прежнему постоянными теплоемкостями, вычисливъ ихъ приблизительно какъ среднія по даваемымъ различными авторами формуламъ и для средней температуры около 375° Ц.

Принятія нами такимъ образомъ теплоемкости указаны въ послѣднемъ столбцѣ таблицы 16 жирнымъ шрифтомъ.

Переходя теперь къ формулѣ, по которой мы вычисляли тепло $Q_{пр}$, унесенное продуктами горѣнія, надо замѣтить, что мы постарались составить ее такъ, чтобы она была по возможности проста и удобна для многократнаго пользованія, но въ то же время и достаточно точна.

Послѣ нѣсколькихъ измѣненій и исправленій выраженіе это приобрѣло, наконецъ, слѣдующій видъ:

$$Q_{пр} = 0,01 [0,405 CO_2 + 0,281 (CO + N_2)] (G_{пр} - G^{в'} - G^{в''}) v (t_4 - 15^0) + (G_{в'} + G_{в''}) 0,487 (t_4 - 100^0) + G_{в'} 624,3. \quad (36)$$

Пояснимъ его составъ и выводъ.

Первая особенность выраженія (36), отличающая его отъ обычно указываемыхъ, состоитъ въ томъ, что продукты горѣнія въ немъ разбиты на двѣ группы: на газообразную часть, такъ сказать сухіе газы, и на пары воды. Сухіе газы для удобства вычисленій переведены въ мт.³, а пары воды оставлены въ кгр..

Объемъ сухихъ газовъ полученъ въ видѣ разности полного количества продуктовъ горѣнія $G_{пр}$ въ кгр. изъ столбца 17 таблицы 27 и воды

$(G_v' + G_v'')$, столбцы 18 и 19, помноженной на удѣльный объемъ v этихъ сухихъ газовъ.

Количество продуктовъ горѣнія $G_{пр}$ можно вычислить въ видѣ суммы вѣса воздуха и часового расхода керосина k . Вѣсъ воздуха мы находили въ видѣ произведенія изъ часового расхода его L мт.³, найденнаго по часамъ, на его удѣльный вѣсъ γ , который мы вычисляли въ предположеніи, что воздухъ при прохожденіи мокрыхъ воздушныхъ часовъ въполнѣ насыщается водянымъ паромъ, и пользовались формулой⁵⁵⁾

$$\gamma = \gamma'' \frac{h}{737,4} - \varphi \Delta, \quad (37)$$

гдѣ γ'' удѣльный вѣсъ сухого воздуха, который мы брали изъ таблицы 17 по температурѣ t помещенія, столбецъ 12 таблицы 26, такъ же, какъ и поправку на влажность Δ ; h высота барометра въ мм., столбецъ 10 таблицы 26, а φ степень влажности, измѣняющаяся отъ 0 при сухомъ воздухѣ до 1 при насыщенномъ; у насъ, конечно, $\varphi = 1$.

Такимъ образомъ, найдя по выраженію (37) γ , мы имѣемъ

$$G_{пр} = L_0 \gamma + k. \quad (38)$$

Чтобы найти вѣсъ с у х и хъ продуктовъ горѣнія, надо опредѣлить, во-первыхъ, количество воды G_v' , увлеченной изъ часовъ.

Для этого можно взять изъ той же таблицы 17 количество воды γ' .

Таблица 17.

$t^\circ \text{ Ц.}$	γ' гр.	γ'' кгр./мт. ³	Δ кгр./мт. ³	t	γ'	γ''	Δ
12	10,7	1,200	0,007	19	16,3	1,171	0,010
13	11,4	1,196	0,007	20	17,3	1,167	0,011
14	12,1	1,192	0,007	21	18,3	1,163	0,011
15	12,8	1,188	0,008	22	19,4	1,159	0,012
16	13,7	1,183	0,008	23	20,6	1,155	0,013
17	14,5	1,179	0,009	24	21,8	1,151	0,013
18	15,4	1,175	0,009	25	23,1	1,148	0,014

насыщающее 1 мт.³ воздуха при соотв. температурѣ t° , и умножить на объемъ воздуха, перечисленный на нормальное давленіе, т. е.

$$G_v' = \gamma L_0 \frac{h}{737,4}; \quad (39)$$

затѣмъ надо найти вѣсъ воды G_v'' , образующейся при горѣніи: зная количество конденсата g , получающейся изъ 10 гр. керосина при калори-

⁵⁵⁾ Hütte, 19 Aufl. 1905, I. S. 296.

метрированіи, въ нашихъ опытахъ $g=11,73$ гр. т. е. на 1 кгр. керосина получается 1,173 кгр. воды, получаемъ:

$$G'' = 1,173 k. \quad (40)$$

Удѣльный объемъ сухихъ продуктовъ горѣнія, состоящихъ въ сущности всего изъ 4 газовъ, CO_2 , O_2 , CO и N_2 , мѣняется въ предѣлахъ измѣненія состава продуктовъ горѣнія очень мало, всего примѣрно отъ $v=0,833$ при наименьшемъ содержаніи CO_2 и до $v=0,821$ при наибольшемъ, бывшемъ при нашихъ опытахъ, какъ это видно по таблицѣ 18, въ

Таблица 18.

CO_2	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0
v	0,838	0,834	0,830	0,827	0,824	0,821

которой указаны удѣльные вѣса продуктовъ горѣнія съ разнымъ содержаніемъ CO_2 , при чемъ содержаніе O_2 принималось равнымъ ($18-\text{CO}_2$) въ %, а $\text{CO} + \text{N}_2 = 82\%$, обозначая черезъ соотв. химическія обозначенія газовъ ихъ содержаніе въ %. Удѣльный объемъ вычислялся по даннымъ Молліэ⁵⁶⁾ по формулѣ

$$v = \frac{100}{1,804 \text{ CO}_2 + 1,312 \text{ O}_2 + 1,15,82}. \quad (41)$$

Въ виду сравнительно слабаго вліянія на v содержанія даже CO_2 , не говоря уже про остальные газы, мы рѣшили, не вычисляя v для каждаго опыта по точному составу его продуктовъ горѣнія, брать его прямо изъ таблицы 18 по ближайшему содержанію CO_2 , т. е. принимая v измѣняющимися какъ бы скачками.

Первый многочленный множитель въ выраженіи (36) не требуетъ особыхъ поясненій: это суммарная теплоемкость даннаго газа.

Далѣе, изъ температуры продуктовъ горѣнія t_4 мы вычитаемъ 15° , чтобы отнести всю потерю тепла къ температурѣ 15° , которая въ настоящее время принята за исходную въ научно-техническихъ вычисленіяхъ.

Что касается второго слагаемаго въ выраженіи (36), то оно представляетъ теплоту перегрѣва паровъ всей воды, улетающей съ отработавшими газами; изъ t_4 вычитается 100° потому, что 100° есть начало перегрѣва при давленіи 1 атм.; остальные множители послѣ всего сказаннаго выше понятны сами собой.

Третье слагаемое въ выраженіи (36) есть теплота, которая выдѣлилась бы изъ воды, увлеченной изъ воздушныхъ часовъ, при ея конденсированіи и охлажденіи до нормальной температуры 15°Ц. 624,3 есть разность полного теплосодержанія 1 кгр. насыщеннаго пара при 1 атм., $i''=639,3$ ⁵⁷⁾, и теплоты жидкости при 15°Ц. , $i'=15,0$ т. ед.. Въ это слагаемое не входитъ теплота конденсированія воды G'' , образующейся

⁵⁶⁾ Hütte, 19 Aufl. I. S. 282.

⁵⁷⁾ Mollier, N. Tabell. u. Diagr., Taf. II.

при горѣніи керосина, такъ какъ мы вичитали ее уже изъ полного развиваемаго тепла, вычисляя и пользуясь такъ назыв. полезной теплопроизводительностью H_n .

Теперь опредѣлимъ вѣроятную ошибку величины Q_{np} при вычисленіи ее помощью выраженія (36) по нашимъ даннымъ.

Начнемъ съ перваго многочлена перваго слагаемаго: ошибка при газовомъ анализѣ возможна и довольно велика, но если анализъ проводить по три раза и брать среднюю изъ полученныхъ цифръ, сохраняя при томъ лишь одинъ десятичный знакъ, то средняя ошибка средней величины, вычисленная для большого числа анализовъ по формулѣ (8), для CO_2 и O_2 , оказывается, не превосходить $\pm 0,12\%$ отъ всего количества газа. Если относить эту ошибку къ количеству даннаго газа въ смѣси, то получается нѣсколько различная величина, въ зависимости отъ его содержаніи въ смѣси. Такъ для CO_2 , содержаніе которой у насъ мѣнялось въ предѣлахъ отъ 3,0 до 8,7%, это составитъ отъ $\pm 4,0$ до $\pm 1,4\%$, для O_2 , содержаніе котораго мѣнялось отъ 7 до 15%, это составитъ всего отъ $\pm 1,7$ до $\pm 0,8\%$. Ошибка въ опредѣленіи средней величины для CO , какъ оказывается, не превосходить $\pm 0,06\%$, однако относя это къ содержанію ее въ смѣси, колебавшемуся отъ 0,1 до 1,5%, получаемъ отъ ± 60 до $\pm 4\%$, т. е. точность очень и очень незначительная. Средняя ошибка въ опредѣленіи содержанія N_2 , получившагося въ видѣ остатка до 100% послѣ опредѣленія CO_2 , O_2 и CO , можетъ быть найдена по формулѣ (11) въ видѣ $v = \sqrt{(0,12)^2 + (0,12)^2 + (0,06)^2} = \pm 0,18\%$. Относя же это къ содержанію N_2 около 82%, получаемъ $\pm 0,22\%$. Интересующая насъ средняя ошибка суммарной величины $(CO + N_2)$ въ выраженіи (36) составляетъ всего $\sqrt{(0,12)^2 + (0,12)^2} = \pm 0,17\%$.

Возможныя ошибки въ опредѣленіи теплоемкостей мы посчитаемъ равными наибольшему отклоненію переменныхъ величинъ теплоемкостей по таблицѣ 16 отъ принятыхъ нами среднихъ, постоянныхъ.

Для CO_2 отклоненія составляютъ—0,019 и +0,014, или по наибольшей величинѣ $\pm 4,69\%$; для O_2 —0,005 и +0,009, или такъ же $\pm 3,20\%$. Для H_2O отклоненія составляютъ —0,18 и +0,022, или по наибольшему отклоненію $\pm 4,52\%$.

Участіе отдѣльныхъ произведеній изъ теплоемкости на % содержаніе соотв. газа въ суммарной теплоемкости соотвѣтствуетъ для средняго состава газа 0,08, 0,12 и 0,80, тогда средняя ошибка суммарной теплоемкости по выраженіямъ (9) и (11), получается равной

$$v_{\text{св}} = \sqrt{[(4,69+0,12)0,08]^2 + [(3,13+0,12)0,12]^2 + [(3,20+0,17)0,80]^2} = \pm 2,75\%. \quad (42)$$

Ошибка въ опредѣленіи вѣса сухихъ газовъ составляется, во-первыхъ, изъ ошибки въ опредѣленіи величины G_{np} , а та, въ свою очередь, изъ ошибки при измѣреніи расхода воздуха L , въ которой главная составная часть—ошибка въ показаніяхъ газовыхъ часовъ, принятая нами, согласно указанію фирмы, стр. 18, въ $\pm 3,0\%$; слѣдующая ошибка—въ

отчетъ моментовъ по 1 сек. въ началѣ и концѣ, т.-е. на 30 м. по 0,055%, или всего $v=0,055 \sqrt{2} = \pm 0,08\%$. Такимъ образомъ вся ошибка въ опредѣленіи объема воздуха L составляетъ $3,0 + 0,08 = \pm 3,08\%$.

Нѣсколько труднѣе оцѣнить ошибку въ опредѣленіи γ , зависящую отъ того, что мы не увѣрены, дѣйствительно ли воздухъ при прохожденіи черезъ часы всегда успѣваетъ вполне насытиться влагой. Если предположить, что при болѣе значительныхъ скоростяхъ его, т. е. большемъ числѣ оборотовъ воздухъ былъ не насыщенный, а влажность его ϕ достигала лишь средней арифметической между полнымъ насыщеніемъ и влажностью въ помѣщеніи, составляющей у насъ около 0,50, т. е. считать возможнымъ пониженіе ϕ до 0,75, то ошибка m изъ-за принятія $\phi=1,0$ составитъ, если имѣть въ виду выраженіе (37), $m=0,25 \cdot \Delta/\gamma$; при этомъ m возрастаетъ съ температурой. При наивысшей бывшей у насъ температурѣ $t=+25^\circ$, если пренебречь сравнительно незначительнымъ вліяніемъ h , имѣемъ $v = \pm 0,31\%$.

Такимъ образомъ вся ошибка въ опредѣленіи вѣса воздуха составляетъ не болѣе $3,08 + 0,31 + 0,13 = \pm 3,52\%$, а если отнести ее къ $G_{\text{пр}}$ отъ которыхъ $L\gamma$ составляетъ не болѣе 96,5%, то имѣемъ всего $\pm 3,40\%$.

Ошибка въ опредѣленіи вѣса керосина k найдена уже выше, стр. 111, равной $\pm 0,56\%$, а относя ее къ $G_{\text{пр}}$, получаемъ $0,56 \cdot 0,035 = \pm 0,02\%$.

Средняя ошибка $G_{\text{пр}}$ равняется такимъ образомъ $\sqrt{(3,40)^2 + (0,02)^2} = \pm 3,40\%$.

Средняя ошибка G_v' опредѣлится согласно выраженія (39) въ видѣ суммы ошибокъ величинъ γ' , L и h . Ошибка величины γ' вслѣдствіе измѣненія γ' въ таблицѣ 17 черезъ 1° можетъ достигнуть наибольшей величины $\frac{(23,1 - 21,8) 100}{2 \cdot 21,8} = \pm 2,98\%$. Самая крупная ошибка мо-

жетъ произойти отъ невѣрнаго допущенія $\phi=1$; если считать, что возможно пониженіе влажности до $\phi=0,75$, то эта ошибка составляетъ $+25\%$. Далѣе ошибка въ опредѣленіи L по указанному выше составляетъ $\pm 3,08\%$. Возможную ошибку въ опредѣленіи h можно считать $\pm 0,5$ мм., т. е. $\pm 0,07\%$, а вся ошибка величины G' равняется $2,98 + 25,0 + 3,8 + 0,07 = \pm 31,13\%$.

Ошибка въ опредѣленіи G_v'' составляется, во-первыхъ, изъ средней ошибки въ опредѣленіи k , составляющей $\pm 0,56\%$; затѣмъ изъ средней ошибки въ опредѣленіи состава керосина, т. е. количества конденсата 1,173; средняя ошибка этой величины, какъ указано выше, стр. 56, составляетъ $\pm 0,81\%$. Такимъ образомъ полная ошибка величины G'' равна $0,56 + 0,81 = \pm 1,37\%$.

Полная ошибка въ опредѣленіи вѣса сухихъ газовъ получится, если принять во вниманіе, что $G_{\text{пр}}$ составляетъ отъ этого вѣса до 106%, G_v' примѣрно до 1,9%, а G_v'' около 4%, или для полной вязки можно принять 4,1%. Тогда полная ошибка получается

$$v = \sqrt{(3,40,1,06)^2 + (31,13,0,019)^2 + (1,37,0,041)^2} = \pm 3,65\% \quad (43)$$

Слѣдующая ошибка въ выраженіи (36)—въ опредѣленіи удѣльнаго объема v ; ошибка эта зависитъ, съ одной стороны, отъ принятія измѣненія содержанія CO_2 скачками черезъ 1%, согласно таблицы 18, что можетъ дать ошибку до $\pm 0,18\%$ и, съ другой, отъ пренебреженія измѣненіемъ содержанія O_2 ; въ худшемъ случаѣ эта ошибка не превосходитъ, какъ легко высчитать, принявъ содержаніе O_2 менѣе на 3%, величины $+ 0,30\%$, а всего ошибка v не болѣе

$$v = 0,18 + 0,30 = \pm 0,48\% \quad (44)$$

Ошибка въ измѣреніи t_4 зависитъ отъ двухъ величинъ—точности милливольтметра, составляющей у насъ $\pm 1^\circ$, и средней ошибки средней величины вслѣдствіе колебанія отчетовъ. Изъ цѣлаго ряда опытовъ средняя ошибка по формулѣ (8) была найдена колеблющейся отъ $\pm 1,1$ до $\pm 2,8^\circ$. По формулѣ (11) средняя ошибка обоихъ факторовъ

$$m = \sqrt{(1,0)^2 + (2,8)^2} = \pm 3,0^\circ, \text{ а относя это къ наименьшей величинѣ } (t_4 - 15) \text{ при } t_4 = 250^\circ, \text{ получаемъ}$$

$$v = \frac{3,100}{250 - 15} = \pm 1,28\% \quad (45)$$

Такимъ образомъ полная ошибка перваго члена равна суммѣ выраженій (42) до (45), т. е.

$$v = 2,75 + 3,65 + 0,48 + 1,28 = \pm 8,16\% \quad (46)$$

Перейдемъ теперь ко второму члену выраженія (36). Ошибки величины $G'_v + G''_v$ найдемъ по соотв. ошибкамъ въ 31,13% и 1,37%, замѣтивъ, что G'_v , отнесенное къ суммѣ обѣихъ величинъ, составляетъ не болѣе 0,26, а на долю G''_v остается, слѣдовательно, 0,74 т. е. ошибка ихъ суммы

$$v = \sqrt{(31,13,0,26)^2 + (1,37,0,74)^2} = \pm 8,15.$$

Точность множителя 0,487, теплоемкости H_2O , согласно таблицы 18 по указанному выше $\pm 4,52\%$

Средняя ошибка въ температурѣ t_4 по указанному выше $\pm 3,0^\circ$, а относя это къ величинѣ перегрѣва $t_4 - 100^\circ$ при наименьшей температурѣ $t_4 = 250^\circ$, получаемъ $\pm 2,0\%$; ошибка всего второго члена

$$v = 8,15 + 4,52 + 2,0 = \pm 14,67\% \quad (47)$$

Ошибка послѣдняго члена составляется изъ ошибки величины G'_v , равной $\pm 31,13\%$ и ошибки въ теплотѣ 624,3 вслѣдствіе пренебреженія колебаніемъ барометрическаго давленія; во время нашихъ опытовъ наибольшее давленіе бывало 772 мм., что соотвѣтствуетъ увеличенію теплоты на 0,6 т. ед., или $v = 0,10\%$. Но такъ какъ первая ошибка можетъ давать лишь преувеличеніе, а вторая преуменьшеніе, то наибольшая ошибка будетъ, если второй не будетъ, т. е. всю ошибку надо считать

$$v = 31,13\% \quad (48)$$

Суммарную ошибку всѣхъ трехъ слагаемыхъ мы получимъ, замѣтивъ, что относительно Q_{np} величина третьяго члена, дающаго наибольшую ошибку, составляетъ не болѣе 8%; величина второго члена колеблется отъ 6 до 10%, примемъ 8%, такъ что на долю перваго остается лишь 84%, хотя въ дѣйствительности онъ составляетъ отъ 85 до 95%, по формулѣ (11)

$$\nu_{np} = \sqrt{(8,16.0,84)^2 + (14,67.0,08)^2 + (31,13.0,08)^2} = \pm 7,29\% \quad (49)$$

Какъ видимъ, вслѣдствіе большого числа наблюдений и измѣреній, необходимыхъ для вычисленія Q_{np} , несмотря на достаточную точность отдѣльныхъ цифръ результатъ вслѣдствія накопленія возможныхъ ошибокъ получается неособенно точный.

Тепло Q_6 , унесенное взбрызгиваемой водой, вычисляется, конечно, по той же формулѣ, что и тепло, уносимое водой, попадающей изъ чашовъ, т. е.

$$Q_{в6} = G[(t - 100)0,487 + 624,3]. \quad (50)$$

Ошибка въ опредѣленіи $Q_{в6}$ можетъ быть найдена по слѣдующимъ соображеніямъ: ошибка въ опредѣленіи G составляла при измѣреніи мензуркой около $\frac{1}{2}$ дѣленія, или 2,5 см.³ на 250 см.³, т. е. $\pm 1,0\%$; ошибка температуры перегрѣва t_a по указанному выше $\pm 2,0\%$; ошибка теплоемкости 0,487 не болѣе $\pm 4,52\%$; тогда суммарная ошибка перваго члена составляетъ $2,0 + 4,52 = \pm 6,52\%$. Второй членъ, 624,3 т. ед., можетъ дать ошибку до $\pm 0,1\%$. Суммарная ошибка обоихъ членовъ въ большихъ скобкахъ по формулѣ (11) получается, имѣя въ виду, что первый членъ составляетъ не болѣе 25% отъ суммы обоихъ,

$$\nu = \sqrt{(6,52.0,25)^2 + (0,1.0,75)^2} = \pm 1,64\%.$$

Такимъ образомъ вся ошибка величины $Q_{в6}$ составляетъ лишь

$$\nu = 1,0 + 1,64 = \pm 2,64\%. \quad (51)$$

Тепло $Q_{нг}$, потерянное вслѣдствіе неполнаго горѣнія, опредѣлялось слѣдующимъ образомъ: анализъ при помощи сожженія давалъ количества CO_2 и H_2O въ mgr., получившіяся при пропускѣ нѣкотораго количества V_d лтр. продуктовъ горѣнія. Конечно, объемъ V_d долженъ быть отнесенъ къ $+15^\circ C$. и $p=737,4$ мм., для чего надо лишь знать температуру t , барометрическое давленіе B и давленіе въ аспираторѣ p_0 во время анализа. Зная V_d , мы опредѣляли количества вновь образованныхъ CO_2 и H_2O на 1 мт.³.

Самое потерю отъ неполнаго горѣнія мы вычисляемъ, допуская, что вся CO_2 образовалась непосредственно изъ CO , а H_2O изъ H_2 . Это допущеніе можно сдѣлать въ данномъ случаѣ съ достаточнымъ правомъ въ виду того, что при нашихъ опытахъ въ продуктахъ горѣнія тяжелыхъ углеводородовъ $C_n H_{2n}$ почти никогда не содержалось; въ рѣдкихъ случаяхъ наблюдались лишь слѣды ихъ; тоже самое и относительно метана. Впрочемъ, если бы CO_2 и H_2O получались даже отчасти и изъ углеводо-

родовъ, ошибка отъ предыдущаго допущенія ничтожна. Считая по даннымъ Томсона⁵⁸⁾, что одна граммъ-молекула H_2 развиваетъ при сгораніи 57,67 т. ед., а CO соотв.—68,09 т. ед., получаемъ на 1 гр. образованной H_2O — 3,204 т. ед. и соотв. на 1 гр. CO_2 — 1,548 т. ед.. По этимъ даннымъ, зная полученные при анализѣ количества CO_2 и H_2O въ гр. на 1 мт.³, находимъ потерю отъ неполнаго горѣнія на 1 мт.³, а затѣмъ, зная часовой объемъ сухихъ продуктовъ горѣнія ($G_{вр} - G'_в - G''_в$) v , найдемъ и полную потерю при соотв. опытѣ.

Такимъ образомъ выраженіе для вычисленія часовой потери отъ неполнаго горѣнія получается

$$Q^{вр} = [(CO_2 : V_d) \cdot 1,548 + (H_2O : V_d) \cdot 3,204] (G_{вр} - G'_в - G''_в) v. \quad (52)$$

Опредѣлимъ среднюю ошибку этой величины: анализъ сожженіемъ давалъ при повторной провѣркѣ отклоненія въ опредѣленіи ($CO_2 : V_d$) и ($H_2O : V_d$) до $\pm 5\%$. Такая довольно значительная ошибка объясняется сравнительной сложностью и многочисленностью превходящихъ отчетовъ и измѣреній. Ее можно было бы предвидѣть заранѣе, подсчитавъ всѣ возможныя частичныя ошибки: когда отмѣчается моментъ соприкосновенія поднимающагося уровня воды въ аспираторѣ съ остриемъ измѣрительнаго прутка, т. е. въ опредѣленіи V_d возможна, какъ указывалось выше, стр. 76, ошибка до $\pm 0,5\%$; при опредѣленіи температуры газа въ аспираторѣ возможна ошибка до $0,25^\circ$, да, кромѣ того, точность термометровъ, употреблявшихся для этой цѣли, оказалась при провѣркѣ $\pm 0,2^\circ$, а всего возможная ошибка въ отчетѣ температуръ $0,25 + 0,2 = 0,45^\circ$, что даетъ отнесенную къ 278° ошибку до $\pm 0,16\%$; ошибка при опредѣленіи давленія въ аспираторѣ возможна до 3 мм. водяного столба, или 0,22 мм. рт. ст., да барометръ Краевича давалъ отчеты съ точностью до 0,1 мм., а вмѣстѣ, такъ какъ давленія складываются

$(0,22)^2 + (0,1)^2 = \pm 0,24$ мм. или, относя къ нормальному давленію 737,4 мм. рт. ст., $\pm 0,03\%$; само взвѣшиваніе на вѣсахъ, обладающихъ чувствительностью въ 0,1 мгр., давало у насъ при повторныхъ взвѣшиваніяхъ отклоненія до 0,2 мгр., что при привѣскѣ въ 20 мгр. равносильно возможной ошибкѣ до 1% . Въ суммѣ всѣ эти ошибки даютъ $0,5 + 0,32 + 0,03 + 1,0 = \pm 1,85\%$. Остальные $3,15\%$ до найденныхъ 5% легко объяснить вліяніемъ поглощенія газовъ запорной жидкостью аспиратора въ связи съ большой площадью соприкосновенія при стояніи пробы въ продолженіе нѣсколькихъ часовъ до повторнаго анализа.

Такъ какъ при различныхъ опытахъ то потеря тепла ($CO_2 : V_d$) $\cdot 1,548$ получалась болѣе $H_2O : V_d$ $\cdot 3,204$, то—наоборотъ, а часто эти потери получались примѣрно равными, то можно съ достаточной точностью указанную ошибку въ $\pm 5\%$ въ опредѣленіи CO_2 и H_2O считать вообще на весь первый множитель въ скобкахъ выраженія (52).

⁵⁸⁾ Verh. Ver. Gewerbeff. 1907, Heft. 7. S. 437.

Ошибка второго множителя ($G_{\text{пр}} - G'_b - G''_b$) выше, стр. 120, уже найдена равной $\pm 3,65\%$, а ошибка удѣльнаго объема равной $\pm 0,48\%$.

Такимъ образомъ средняя ошибка всей величины $Q_{\text{пр}}$ получается равной

$$\nu_{\text{пр}} = 5,0 + 3,65 + 0,48 = \pm 9,13\%. \quad (53)$$

Тепло, потерянное на лучеиспускание, вычислялось нами на основаніи температуры стѣнокъ отдѣльныхъ частей машины. Какъ уже указывалось, излучающія поверхности можно разбить на двѣ категоріи: поверхность цилиндра, имѣющую сравнительно невысокую температуру, и головки, которая вслѣдствіе отсутствія охлажденія въ данной машинѣ имѣетъ во время работы довольно высокую температуру, отъ 130° до 400° , въ зависимости отъ мѣста измѣренія и условій работы, главнымъ образомъ, отъ нагрузки машины. Въ виду этого и количество излучаемаго тепла мы вычисляли въ видѣ двухъ независимыхъ слагаемыхъ.

И то и другое слагаемое должно вычисляться по общей формулѣ

$$Q = \alpha f z (t - \vartheta), \quad (54)$$

гдѣ α коэффициентъ теплопередачи въ т. ед./мт.², f поверхность въ мт.², z время въ час., которое у насъ равно 1, t температура излучающей поверхности, а ϑ окружающей жидкости, у насъ воздуха помѣщенія t_0 .

Коэффициентъ теплопередачи α является слабымъ мѣстомъ этой формулы для нашихъ опытовъ, такъ какъ онъ выражается черезъ скорость движенія воздуха, которую намъ какъ разъ очень трудно опредѣлить. Именно ⁵⁹⁾:

$$\alpha = 2 + 10\sqrt{w} \quad (55)$$

гдѣ w выражается въ мт./сек. и въ нашемъ случаѣ зависитъ отъ цѣлаго ряда самыхъ разнообразныхъ причинъ: движенія воздуха, вызываемаго вращеніемъ маховиковъ, восходящаго тока воздуха подъ дѣйствіемъ нагрѣванія его стѣнками машины, неизбежнаго сквозняка при лѣтнихъ опытахъ и, наконецъ, хожденія кругомъ наблюдателей. Такимъ образомъ и скорость w и направленіе движенія являются не только неопредѣленными, но и непрерывно мѣняющимися. При помощи отчасти непосредственныхъ измѣреній анемометромъ, отчасти нѣкоторыхъ побочныхъ наблюденій и теоретическихъ соображеній намъ удалось установить, что среднюю скорость воздуха около цилиндра машины можно считать колеблющейся для отдѣльныхъ опытовъ отъ 1 до 3 мт./сек.. Если ради простоты взять для всѣхъ опытовъ для v среднее арифметическое, 2 мт./сек., то получаемъ для α величину 16; подставляя же крайніе предѣлы для w , 1 и 3, получаемъ 12 и 19, т. е. ошибка величины α можетъ быть отъ -25% до $+19\%$; въ виду неувѣренности всего вычисленія α правильнѣе считать возможную ошибку $\pm 25\%$.

Что касается температуры t , то для цилиндра средняя температура съ достаточной точностью выражается средней арифметической изъ

⁵⁹⁾ Hütte, 19. Aufl. 1905, I, S. 281

температуры воды, входящей t_5 и выходящей t_6 , что же касается температуры головки, то она въ разныхъ точкахъ очень различна: она выше близъ запального шара, колеблясь въ этихъ точкахъ отъ 200 до 400°, смотря по условіямъ работы машины, и значительно ниже, отъ 130 до 280°, у присоединенія головки къ цилиндру. Въ виду достаточно равномернаго паденія температуры по направленію отъ запального шара къ цилиндру мы сочли возможнымъ брать при подсчетахъ прямо среднюю температуру t_c , которая мѣнялась, слѣдовательно, отъ +165 до +340°.

Вглядываясь въ соотношеніе между вычисленной по наблюденіямъ средней температурой t_c , и температурой отходящихъ продуктовъ горѣнія t_4 , нетрудно замѣтить, что t_c больше у опытовъ съ высотой t_4 и наоборотъ, что вполне понятно. При этомъ оказывается, что соотношеніе между ними можетъ быть выражено численно и притомъ помощью очень простаго выраженія, именно

$$t_c = (t_{rp} + 100) \cdot 0,5 \quad (56)$$

Сравнивая t_c , вычисленные по этому выраженію (36) и найденныя изъ непосредственныхъ наблюденій, мы видимъ, что разница между этими величинами не превосходитъ $\pm 5\%$. Принимая во вниманіе извѣстную неувѣренность въ вычисленіи t_c даже и по непосредственнымъ наблюденіямъ, можно считать эту ошибку вполне допустимой.

Въ виду ограниченности числа наблюдателей, занятыхъ всецѣло другими, болѣе важными отчетами, и найденной зависимости (56), измѣреніе температуръ въ разныхъ точкахъ головки было сдѣлано лишь при 5 опытахъ, для остальныхъ t_c вычислялось по ур—ію (56).

Чтобы еще упростить вычисленія можно вмѣсто температуры въ помѣщеніи t_0 брать прямо +20° Ц., что вѣрно съ точностью $\pm 5^\circ$. Тогда получаемъ вмѣсто $(t-3)$ въ ур—и (54), въ связи съ ур—емъ (56), просто $(0,5t_4-30)$.

Наконецъ, что касается площади f въ выраженіи (54), то она была найдена непосредственнымъ измѣреніемъ соотв. размѣровъ равной $f_1 = 0,60$ мт.² для цилиндра и $f_2 = 0,30$ мт.² для головки.

Такимъ образомъ окончательно выраженіе для тепла Q_1 , теряемаго на лучеиспусканіе, получается въ видѣ

$$Q_1 = \alpha \{f_1 [0,5(t_5 + t_6) - t_0] + f_2 [0,5t_4 + 30]\}, \quad (57)$$

гдѣ t_5 и t_6 соотв. температуры воды входящей и выходящей, t_0 температура въ помѣщеніи, t_4 температура продуктовъ горѣнія брались изъ таблицы 26 сводки наблюденій при соотв. опытѣ.

Опредѣлимъ теперь среднюю ошибку этой величины Q_1 . Ошибка перваго множителя α по указанному выше можетъ быть принята равной $\pm 25\%$; средняя ошибка въ опредѣленіи величины f_1 найдена путемъ повторныхъ измѣреній около $\pm 1,5\%$; температуры воды найдены съ средней наибольшей ошибкой, вычисленной по формулѣ (8): t_5 съ ошибкой $\pm 0,07^\circ$, и t_6 съ $\pm 0,78^\circ$, а для температуры t_0 можно считать $\pm 0,5^\circ$;

при вычисленіи суммарной ошибки этого трехчлена ошибки величинъ t_5 и t_6 надо принять, конечно, тоже съ множителемъ 0,5, тогда получаемъ $= \sqrt{(0,35)^2 + (0,36)^2 + (0,5)^2} = \pm 0,62$; имѣя въ виду, что абсолютное значеніе этого трехчлена колеблется въ разныхъ опытахъ отъ 2° до 20° , находимъ соотв. γ отъ $\pm 3,1$ до $\pm 31\%$; а для всего перваго члена γ по наибольшей величинѣ равна $1,5 + 31 = \pm 32,5\%$. Далѣе, средняя ошибка площади f_2 опредѣлена равной тоже около $\pm 1,5\%$; средняя ошибка t_4 найдена выше стр. 120, равной $\pm 3^\circ$, въ величинѣ 30° можетъ по указанному выше скрываться ошибка до $\pm 5^\circ$; ихъ суммарная ошибка $m = \sqrt{(0,5 \cdot 3)^2 + 5^2} = \pm 5,22^\circ$, а относя ко всему двучлену, наименьшее значеніе котораго у насъ было около 155° , получаемъ среднюю ошибку $\pm 3,36\%$, а для всего втораго члена $1,5 + 3,36 = \pm 4,86\%$.

Суммарную ошибку выраженія въ скобкахъ мы найдемъ, замѣтивъ, что при подсчетахъ величина перваго слагаемаго составляетъ у насъ отъ 3 до 20% отъ $Q_{\text{ж}}$, а втораго слагаемаго, слѣдовательно, отъ 80 до 97% ; чтобы не преуменьшить ошибку возьмемъ менѣе выгодный случай, т. е. 20% и 80% . Въ такомъ случаѣ получаемъ

$$\gamma = 25 + \sqrt{(32,5 \cdot 0,2)^2 + (4,86 \cdot 0,8)^2} = 25 + 7,57 = \pm 32,57\% \quad (58)$$

Какъ видимъ, точность довольно неудовлетворительная, но происходящая главнымъ образомъ отъ невозможности опредѣлить достаточно надежно скорость воздуха w .

Тепло $Q_{\text{ж}}$, соотвѣтствующее живой силѣ отработавшихъ газовъ, устремляющихся съ большой скоростью подъ вліяніемъ избытка давления въ концѣ расширения, можно вычислить по формулѣ

$$Q_{\text{ж}} = A \frac{G_{\text{пр}} w_3^2}{2g}, \quad (59)$$

гдѣ $G_{\text{пр}}$ вѣсъ продуктовъ горѣнія въ кг/час., g ускореніе силы тяжести, которое для Томска можно считать равнымъ 9,817 мт./сек., слѣдовательно, $G_{\text{пр}}/g$ есть масса улетающихъ газовъ; w_3 средняя скорость выпуска. Въ дѣйствительности эта скорость, конечно, переменная, и для теоретически точнаго вычисленія живой силы слѣдовало бы вмѣсто $G_{\text{пр}} w_3^2$ брать сумму изъ произведеній квадрата мгновенныхъ скоростей на соотв. часть вѣса продуктовъ горѣнія, однако такое вычисленіе было бы очень сложно и, кромѣ того, въ виду ряда неопредѣленностей, не дало бы взаимнѣй болѣе точности. Среднія скорости w_3 мы брали такъ же, какъ и $G_{\text{пр}}$, изъ таблицы 27. Нахожденіе этой скорости указано подробно ниже, въ § 24. Наконецъ, A въ выраженіи (59) тепловой эквивалентъ работы и принимался равнымъ $\frac{1}{427}$.

Подставляя вмѣсто A и g указанныя числовыя величины, мы получаемъ окончательное выраженіе, которымъ мы пользовались въ дѣйствительности при вычисленіяхъ,

$$Q_{\text{ж}} = 0,0001193 G_{\text{пр}} w_3^2. \quad (60)$$

Точность величины $Q_{ж}$ можетъ быть найдена изъ слѣдующихъ соображеній: точность величины g равна $\pm 0,001$, т. е. $\pm 0,01\%$; точность величины A , какъ указано на стр. 111, $\pm 0,2\%$; точность величины w_3 найдена ниже, § 24, равной $\pm 23,28\%$. Такимъ образомъ средняя ошибка величины Q получается

$$\nu_{ж} = 0,01 + 0,2 + 3,4 + 23,28.2 = \pm 50,17\%. \quad (61)$$

Какъ видимъ, точность болѣе чѣмъ неудовлетворительная, но зависящая, какъ увидимъ ниже, § 24, главнымъ образомъ отъ недостаточной освѣдомленности относительно величины коэффициента сжатія струи газа при прохожденіи черезъ выпускное окно f . Впрочемъ, какъ увидимъ ниже, въ виду незначительности величины $Q_{ж}$ и ошибка ея $\nu_{ж}$ существеннаго вліянія на тепловой балансъ не оказываетъ.

Невязка. Опредѣливъ подробно величины среднихъ ошибокъ, которыя можно ожидать при вычисленіи отдѣльныхъ слагаемыхъ нашего теплового баланса, интересно вычислить суммарную среднюю ошибку ν_c теплового баланса, чтобы съ ней сравнивать получавшуюся у насъ въ дѣйствительности невязку. Если предыдущія наши вычисленія были всѣ правильны и при производствѣ самаго опыта не было допущено никакихъ исключительныхъ погрѣшностей, то невязка теплового баланса должна быть всегда ниже величины ν_c .

Для того, чтобы вычислить ν_c по формулѣ (11) надо предварительно перечислить найденныя выше величины отдѣльныхъ ν , отнеся ихъ по формулѣ (12) всѣ къ одной и той же величинѣ, именно къ полному располагаемому теплу Q .

Ради нагляднаго обзора всей картины возможныхъ ошибокъ онѣ сгруппированы всѣ въ нижеслѣдующей таблицѣ 19, въ поясненіе которой можно добавить слѣдующее: первый столбецъ указываетъ въ $\%$ отъ полного располагаемаго тепла Q колебаніе участія соотв. слагаемаго въ

Таблица 19.

составныя части теплового баланса.		% отъ Q въ дѣйств. отъ—до	принято	ошибка ν %	отнес. къ Q ν' %
Q	тепло, соотв. полн. расходу керосина	100	100	1,36	1,36
Q_i	превращенн. въ индик. работу	15—22	20	3,3	0,66
$Q_{\text{н}}$	унесенное охлаждающ. водой	20—34	30	4,11	1,23
$Q_{\text{п}}$	соотв. работъ тренія поршня	1—4	—2	3,64	—0,07
$Q_{\text{пр}}$	унесенное продуктами горѣнія	19—33	30	7,29	2,19
$Q_{\text{вб}}$	вбрызгиваем. водой	0—6	0	2,64	—
$Q_{\text{вт}}$	потерянное отъ неполн. горѣн.	3—10	6	9,13	0,55
Q^1	на лучеиспускан	2—3	3	32,57	0,98
$Q^{\text{ж}}$	соотв. живой силѣ выпуск. газ.	1—2	1	50,17	0,50

общемъ балансѣ; второй столбецъ показываетъ среднее % участіе даннаго слагаемаго, принятаго нами для опредѣленія величины соотв. ν' , отнесеннаго согласно формулѣ (12) ко всему Q и указаннаго въ столбцѣ четвертымъ; третій столбецъ даетъ величины отдѣльныхъ, найденныхъ выше ν , см. (28), (30), (32), (34), (49), (51), (53), (58) и (61).

Какъ видимъ, вычисляя ν_c по ν' согласно формулы (11), мы получаемъ

$$\nu_c = \sqrt{(0,66)^2 + (1,23)^2 + (0,07)^2 + (2,19)^2 + (0,55)^2 + (0,98)^2 + (0,48)^2} = \pm 2,87\% \quad (62)$$

Оказывается, несмотря на очень и очень большое число измѣреній и вычисленій, средняя суммарная ошибка очень невелика.

Даже если предположить невозможный въ дѣйствительности случай, что въ какомъ-нибудь отдѣльномъ опытѣ всѣ ошибки ν' достигли наибольшей величины, указанной въ таблицѣ 19, и оказались притомъ всѣ съ однимъ знакомъ, то происшедшая отъ этого суммарная ошибка $\Sigma \nu'$, являющаяся высшимъ предѣломъ допустимой невязки опыта, равна всего

$$\Sigma \nu' = 0,66 + 1,23 + 0,07 + 2,19 + 0,55 + 0,98 + 0,48 = \pm 6,06\% \quad (63)$$

Такимъ образомъ при правильномъ веденіи всѣхъ измѣреній и отчетовъ тепловой балансъ долженъ всегда сходиться съ очень небольшою невязкой, около $\pm 3\%$, максимумъ $\pm 6\%$.

Въ заключеніе можно замѣтить, что величины найденныхъ нами ν_c и $\Sigma \nu'$ имѣютъ значеніе не только для нашихъ опытовъ, а вообще могутъ разсматриваться какъ характеристика точности правильно поставленнаго испытанія.

Впрочемъ, если при испытаніи не производится опредѣленія потерь вслѣдствіе неполнаго горѣнія и лучеиспусканія и тепла, соотвѣтствующаго работѣ тренія поршня, то предѣлъ невязки, конечно, увеличится.

Средняя ошибка величинъ Q_i , $Q_{\text{н}}$ и $Q_{\text{пр}}$ получается по формулѣ (11) около $\pm 2,8\%$. Предѣлъ же невязки получится, если къ этой величинѣ добавить величины $Q_{\text{л}}$, $Q_{\text{пр}}$, $Q_{\text{д}}$ и $Q_{\text{ж}}$, выраженные въ % отъ Q , т. е. получаемъ для невязки

$$[\nu] = \pm 2,8 - 2 \pm 6 + 3 + 1 = \pm 10,8\% \quad (64)$$

А наивысшій предѣлъ невязки, равный прямо суммѣ всѣхъ трехъ ошибокъ и не вычисленныхъ четырехъ слагаемыхъ теплового баланса

$$[\Sigma \nu] = 0,66 + 1,23 + 2,19 - 2 + 6 + 3 + 1 = 12,08\% \quad (65)$$

Какъ видимъ, пренебреженіе потерей на неполное горѣніе даетъ довольно плачевные результаты.

Разумѣется, въ случаѣ меньшей величины этой потери, т. е. въ машинахъ съ лучшимъ распыливаніемъ жидкаго горючаго, какъ напр., въ машинахъ, работающих по принципу Дизеля, или въ газовыхъ маши-

нахъ съ хорошимъ смѣшиваніемъ газа и воздуха, величина невязки должна приближаться къ вычисленнымъ нами предѣламъ $\pm 3\%$ или въ худшемъ случаѣ $\pm 6\%$. При этомъ можно считать, что въ большинствѣ машинъ величины— Q и Q_d , численно почти равныя, взаимно уравниваются, и ихъ пренебреженіе на невязку не оказываетъ существеннаго вліянія.

22. Исправленный тепловой балансъ. — Обращаясь къ нашимъ опытамъ, таблица 28, видимъ, что невязка нерѣдко доходитъ до 30 и даже 40% вмѣсто допустимой 3,0 или въ худшемъ случаѣ 6%. Такъ какъ мы увѣрены, что никакихъ грубыхъ ошибокъ ни при наблюденіяхъ, ни при вычисленіи отдѣльныхъ слагаемыхъ теплового баланса нами сдѣлано не было, то остается одно предположеніе, что такая поразительно большая невязка происходитъ отъ того, что полное располагаемое тепло Q въ дѣйствительности значительно меньше, чѣмъ вычисленное нами.

Величина Q у насъ вычислялась, какъ произведеніе полезной теплопроизводительности H_n и измѣреннаго часового расхода керосина k . Такъ какъ ошибки въ опредѣленіи величины H_n выше вычисленной, составляющей всего около $\pm 0,8\%$, не можетъ быть, то, слѣдовательно, дѣйствительный расходъ керосина k меньше найденнаго нами. Такъ какъ ошибки въ измѣреніи подаваемого насосомъ керосина, выше вычисленной, составляющей всего около $\pm 0,6\%$, тоже быть не могло, то остается единственное объясненіе, что не весь подаваемый керосинъ участвуетъ въ рабочемъ процессѣ, часть его проходитъ черезъ машину, совсѣмъ не воспламеняясь. Такое явленіе возможно, если вспомнить обнаруженное неисправное дѣйствіе форсунки, которая подаетъ часть керосина, не распыливая, въ видѣ крупныхъ капель, которыя при томъ незначительномъ періодѣ времени, которое представляется на воспламенение и горѣніе, конечно, не успѣютъ испариться и сгорѣть. Именно, считая даже, что на горѣніе представляется весь расширительный ходъ, цѣлый полоборота, т. е. допуская догораніе до момента начала выпуска, мы даже при минимальномъ числѣ оборотовъ ок. 200 въ мин. имѣемъ всего 0,15 сек..

Однако, какъ ни правдоподобно указанное объясненіе, его надо еще доказать посредствомъ цифръ. Такое доказательство мы можемъ произвести на основаніи анализа продуктовъ горѣнія. Именно, если мы знаемъ количество продуктовъ горѣнія, то по содержанію въ нихъ CO_2 и CO , а также по количеству вновь полученной CO_2 при анализѣ посредствомъ сжиганія, нетрудно вычислить количество углерода C , улетѣвшее при данномъ опытѣ въ выпускную трубу, а зная % содержаніе C въ керосинѣ, и всѣ керосина, дѣйствительно сгорѣвшаго въ цилиндрѣ машины.

Этотъ подсчетъ можно провѣрить еще другимъ, правда, менѣе точнымъ способомъ, но все же желательнымъ, такъ какъ онъ одновременно провѣряетъ правильность, точнѣе правдоподобность состава продуктовъ горѣнія, найденнаго посредствомъ анализа. Этотъ способъ основанъ

на опредѣленіи по количеству воздуха и его составу (содержаніи O_2), съ одной стороны, и по количеству продуктовъ горѣнія и ихъ составу (содержанію O_2), съ другой, количества кислорода, ушедшаго на горѣніе. Если бы мы могли опредѣлить и количество воды H_2O , образовавшейся при горѣніи, то можно было бы сдѣлать полную провѣрку: количество кислорода, вошедшее въ H_2O , CO_2 и CO , плюсъ оставшееся должно было бы равняться количеству кислорода въ засосанномъ воздухѣ. Къ сожалѣнію, очень трудно опредѣлить содержаніе паровъ H_2O въ продуктахъ горѣнія, поэтому проще, найдя количество израсходованнаго кислорода и зная количество его, необходимое для сгоранія 1 кгр. керосина при соединеніи углерода частью въ CO_2 , частью въ CO , согласно анализа, найти въ видѣ частнаго отъ дѣленія этихъ количествъ одного на другое количество керосина, которое могло сгорѣть. Довольно часто происходящая ошибка—преуменьшенное содержаніе O_2 по анализу, даетъ преувеличенное количество керосина. Такая ошибка возможна, такъ какъ O_2 поглощается при помощи соприкосновенія съ фосфоромъ довольно медленно, и притомъ даже слѣды тяжелыхъ углеводородовъ еще замедляютъ реакцію, если только не совсѣмъ ее прекратить.

Кромѣ того, какъ уже указывалось выше, возможно и, навѣрное, почти всегда происходило явленіе догорания паровъ керосина въ выпускной трубѣ. Это, конечно, тоже уменьшаетъ содержаніе O_2 , обнаруживаемое при анализѣ отработавшихъ газовъ, забиравшихся изъ глушителя. Возможная ошибка въ опредѣленіи расхода воздуха L_0 оказываетъ обратное вліяніе: преувеличенное показаніе часовъ даетъ такую же преувеличенную цифру для расхода керосина, преуменьшенное — преуменьшенное же.

Самый подсчетъ количества сгорѣвшаго керосина по количеству обнаруженнаго углерода C можно произвести слѣдующимъ образомъ: количество продуктовъ горѣнія въ мт.³ должно быть принято въ данномъ случаѣ равнымъ $(G_{пр} - G_v'')$ v ; брать прямо $(G_{пр} - G_v' - G_v'')$ v нельзя, такъ какъ при анализѣ помощью пипетокъ съ водой въ качествѣ запорной жидкости, равно какъ и при нашемъ анализѣ посредствомъ сжиганія мы опредѣляемъ составъ не сухихъ газовъ, а газовъ, которые можно считать насыщенными водой. Умножая этотъ объемъ продуктовъ горѣнія на CO_2 , % содержаніе углекислоты по анализу, а затѣмъ на 1,804. $\frac{12}{44} = 0,492$, т. е. вѣсъ углерода въ 1 мт.³ углекислоты, получаемъ количество углерода въ кгр., содержащагося въ углекислотѣ продуктовъ горѣнія.

Далѣе, умножая этотъ же объемъ на CO . 1,148. $\frac{12}{28} = 0,492$ CO , гдѣ CO есть % содержаніе окиси углерода, найденное при анализѣ, получаемъ количество углерода въ кгр., содержащееся въ окиси углерода.

Наконецъ, умножая объемъ газовъ на $\text{CO}_2' \frac{12}{44} = 0,273 \text{ CO}_2'$, гдѣ CO_2' прямо количество углекислоты въ кгр. на 1 мт.³, найденное при анализѣ посредствомъ сжигенія, получаемъ вѣсъ углерода въ не сгорѣвшихъ при работѣ машины углеводородахъ.

Сумма вычисленныхъ такимъ образомъ трехъ величинъ даетъ вѣсъ углерода въ сгорѣвшемъ, или, вѣрнѣе, такъ или иначе участвовавшемъ въ рабочемъ процессѣ керосинѣ k_2 , а считая по указанному выше, стр. 83, въ составѣ керосина 13,13 Н₂, т. е. 86,87% С и умножая на $\frac{100}{86,87} = 1,15$, получаемъ искомый вѣсъ керосина

$$k_2 = (G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}'') v [(\text{CO}_2 + \text{CO}) 0,492 + \text{CO}_2' \cdot 0,273] 1,151. \quad (66)$$

Найдемъ еще среднюю ошибку этого k_2 : ошибка величины $G_{\text{пр}}$ найдена уже выше равной 3,40%, а отнесенная къ $(G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}'')$, разность которыхъ составляетъ примѣрно около 95% отъ $G_{\text{пр}}$, составляетъ $\pm 3,58\%$. Ошибка въ опредѣленіи $G_{\text{в}}''$ найдена равной $\pm 1,37\%$, а относя ее къ $(G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}'')$, получаемъ всего $\pm 0,07\%$; средняя суммарная ошибка величины $(G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}'')$ составляетъ $\pm \sqrt{(3,58)^2 + (0,07)^2} = \pm 3,58\%$. Далѣе, возможная ошибка величины удѣльнаго объема v составляетъ по указанному выше, стр. 120, $\pm 0,48\%$.

Ошибку величины $(\text{CO}_2 + \text{CO})$ можно считать, пренебрегая ошибкой отъ СО въ виду малаго вліянія этой величины, равной ошибкѣ CO_2 , т. е. около 5%; ошибка въ опредѣленіи CO_2' равна тоже $\pm 5\%$, но такъ какъ весь этотъ членъ составляетъ въ среднемъ около 1% отъ перваго, то его ошибку можно считать равной $\pm 0,05\%$; въ такомъ случаѣ суммарная средняя ошибка получается равной $\sqrt{(5,0)^2 + (0,05)^2} = \pm 5,0\%$.

Ошибка въ множителѣ 1,15 равна точности анализа керосина, т. е. $\pm 0,81\%$.

Такимъ образомъ полная ошибка величины k_2 равна

$$v = 3,58 + 0,48 + 5,0 + 0,81 = \pm 9,87\%. \quad (67)$$

Какъ видимъ, точность невелика, но объясняется большимъ числомъ нужныхъ измѣреній и неблагоприятнымъ накопленіемъ ошибокъ при полученіи результата отъ перемноженія четырехъ членовъ.

Перейдемъ теперь къ составленію подобнаго же выраженія для нахождения расхода k_3 по количеству израсходованнаго кислорода.

Количество кислорода въ кгр., поступившаго въ цилиндръ машины при продувкѣ, найдется въ видѣ разности вѣсовъ насыщеннаго воздуха и увлеченной изъ газовыхъ часовъ воды $(L_{\text{ог}} - G_{\text{в}}')$, помноженной на 0,232, т. е. содержаніе въ воздухѣ кислорода по вѣсу.

Остатокъ кислорода послѣ горѣнія, тоже въ кгр., получится умноженіемъ объема продуктовъ горѣнія безъ вновь образованной воды, т. е. $(G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}'') v$ на O_2 , содержаніе кислорода, найденное посредствомъ объ-

емнаго анализа, и на 1,312, т. е. удѣльный вѣсъ кислорода.

Разность вѣса O_2 до горѣнія и послѣ него, раздѣленная на количество O_2 , необходимое для сгорания 1 кгр. керосина извѣстнаго намъ состава, вѣрнѣе, для полнаго сгорания его водорода и для сгорания углерода частью въ CO_2 , частью въ CO , даетъ намъ искомое количество сгорѣвшаго керосина.

Разумѣется, при этомъ подсчетѣ не нужно принимать во вниманіе CO_2 , образующуюся вѣшь при анализѣ посредствомъ сжиганія, такъ какъ углеродъ, входящій въ ея составъ, при горѣніи въ машинѣ не участвовалъ въ процессѣ и не вліялъ, слѣдовательно, на содержаніе O_2 въ продуктахъ горѣнія. Вмѣстѣ съ тѣмъ надо имѣть въ виду, что по той же причинѣ величина расхода керосина при разбираемомъ способѣ вычисленія должна получаться нѣсколько меньше дѣйствительной.

Необходимое для указаннаго горѣнія количество кислорода можно найти изъ слѣдующихъ соображеній: при содержаніи H_2 въ 13,13% на сжиганіе водорода изъ 1 кгр. керосина надо $0,1313 \cdot 16/2 = 1,015$ кгр., для сжиганія углерода въ CO_2 надо $0,8687 \cdot 32/12 = 2,32$ кгр., а въ CO надо вдвое меньше, или 1,16 кгр., а всего надо для сжиганія углерода, если CO_2 и CO обозначаютъ въ % соотв. содержаніе этихъ газовъ,

$$2,32 \cdot \frac{CO_2}{CO_2 + CO} + 1,16 \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} = 2,32 \frac{CO_2 + 0,5 CO}{CO_2 + CO}.$$

Такимъ образомъ получаемъ окончательное выраженіе

$$k_3 = \frac{(L_0\gamma - G'_v) 0,232 - (G_{np} - G''_v) v \cdot 0,1312}{1,05 + 2,32 \frac{CO_2 + 0,5 CO}{CO_2 + CO}}. \quad (68)$$

Среднюю возможную ошибку вычисленной такимъ образомъ величины k_3 найдемъ изъ слѣдующихъ соображеній: ошибку произведенія $L_0\gamma$ мы нашли выше равной $\pm 3,52\%$; ошибку величины G'_v нашли равной $\pm 31,13\%$; средняя суммарная ошибка ихъ равна, принимая во вниманіе, что $L_0\gamma$ составляетъ отъ $(L_0\gamma - G'_v)$ около 102%, а G'_v соотв. 1,9%, $\sqrt{(3,52 \cdot 1,02)^2 + (31,13 \cdot 0,019)^2} = \pm 3,62\%$; ошибка въ составѣ воздуха, множителя 0,232, возможна въ $\pm 0,5\%$, а полная ошибка перваго члена $3,62 + 0,5 = \pm 4,12\%$. Относя эту ошибку ко всему числителю, который составляетъ въ среднемъ 50% отъ перваго члена, получаемъ $\pm 8,24\%$. Далѣе, средняя ошибка величины $(G_{np} - G''_v)$ по найденному выше $\pm 3,58\%$; ошибка величины v возможна до $\pm 0,48\%$; ошибка O_2 , т. е. анализа, не болѣе $\pm 1,7\%$. Суммарная ошибка втораго члена $3,58 + 0,48 + 1,70 = \pm 5,76\%$. Имѣя въ виду, что въ среднемъ онъ близокъ къ разности обоихъ членовъ, можемъ считать, что % ошибка его, отнесенная ко всему числителю, остается та же $\pm 5,76\%$. Суммарная средняя ошибка всего числителя $\sqrt{(8,24)^2 + (5,76)^2} = \pm 10,05\%$.

Въ знаменателѣ ошибка можетъ происходить отъ округленія атом-

ныхъ вѣсовъ и анализа керосина—коэффициентовъ 1,05 и 2,32, а также отъ газоваго анализа; впрочемъ вліяніе послѣдняго выражается дробью, очень близкой къ 1, такъ что ошибка его ничтожна. Ошибка отъ нашего анализа керосина составляетъ для каждаго изъ коэффициентовъ по $\pm 0,81\%$, относя же ко всему числителю, получаемъ для перваго $0,81 \frac{1,05}{1,05+2,32} = \pm 0,25\%$, для втораго же $0,81 \frac{2,32}{1,05+2,32} = \pm 0,56\%$; при вычисленіи суммарной ошибки надо замѣтить, что ошибки у обоихъ членовъ обязательно съ разными знаками, слѣдовательно, ихъ вліяніе взаимно ослабляется, и суммарная ошибка будетъ всего $0,56-0,25 = \pm 0,31\%$.

Такимъ образомъ полная ошибка величины k_3

$$\nu = 10,05 + 0,31 = \pm 10,36\%. \quad (69)$$

Какъ видимъ, точность вычисленія величины k_3 очень небольшая, тѣмъ не менѣе, въ виду обнаружившейся невязки въ тепловомъ балансѣ, доходящей до 30—40%, и этотъ контроль можетъ имѣть нѣкоторое значеніе.

Въ виду выяснившейся такимъ образомъ недостаточной надежности всѣхъ трехъ цифръ расхода керосина: непосредственно измѣреннаго k_1 , вычисленнаго по обнаруженному углероду k_2 и по израсходованному кислороду k_3 , т. е. въ виду обнаружившейся большой невязки при составленіи тепловаго баланса по k_1 и большихъ возможныхъ согласно выражений (67) и (69) ошибокъ при вычисленіи величинъ k_2 и k_3 , мы рѣшили сдѣлать еще одну попытку—составить тепловой балансъ по отдѣльнымъ извѣстнымъ намъ слагаемымъ. Такой тепловой балансъ, у котораго полное тепло Q' получено не непосредственнымъ измѣреніемъ, а какъ алгебраическая сумма изъ всѣхъ указанныхъ слагаемыхъ, мы назвали и спр ав л е н н ы мъ тепловымъ балансомъ. Для полученнаго такимъ образомъ Q' на полезную теплопроизводительность, мы получаемъ часовой расходъ керосина k_4 , соотвѣтствующій исправленному тепловому балансу. Средняя ошибка его найдется по ошибкамъ Q' и H_n

$$= 2,87 + 0,80 = \pm 3,67\%. \quad (70)$$

Всѣ четыре величины расхода керосина k_1 , k_2 , k_3 и k_4 сведены въ результатъ въ столбцахъ 2—5 таблицы 20, приведенной на слѣдующихъ страницахъ 133—134. Чтобы убѣдиться въ правильности величинъ k_4 , въ слѣдующихъ столбцахъ 6—7 и 8—9 указаны предѣлы для k_2 и k_3 согласно возможнымъ ошибкамъ, т. е. $k_2' = k_2(1-0,0987) = 0,9013 k_2$ и $k_2'' = k_2(1+0,0987) = 1,0987 k_2$ и соотв. $k_3' = 0,8964 k_3$ и $k_3'' = 1,1036 k_3$. Если величина k_4 лежитъ между k_2' или k_3' , съ одной стороны, и k_2'' или k_3'' , съ другой, она вычислена въ предѣлахъ точности нашихъ измѣреній правильно. Какъ видимъ, во всѣхъ нашихъ опытахъ это соблюдено полностью и даже больше, именно: k_4 лежитъ въ большинствѣ случаевъ еще въ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ, т. е. одновременно какъ между k_2' и k_2'' , такъ равно и между k_3' и k_3'' .

Такимъ образомъ за наиболѣе достовѣрную величину надо признать расходъ керосина k_4 , вычисленный по исправленному тепловому балансу.

Разность $k_1 - k_4$, столбецъ 10, есть то количество керосина, которое не распыливается форсункой, попадаетъ въ цилиндръ машины въ видѣ капель и проходитъ черезъ него, не участвуя въ процессѣ горѣнія. Какъ видимъ, эта величина довольно значительна, но, какъ уже указывалось, всѣ старанія уничтожить ее или хотя бы уменьшить, не увѣнчались успѣхомъ. Повидимому, надо для этого сдѣлать совершенно новую форсунку, иной конструкціи.

Таблица 20.

№ опыта	k_1	k_2	k_3	$k_4 = Q/H_{II}$	k_2'	k_2''	k_3'	k_3''	$k_1 - k_4$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	4,210	3,22	3,61	3,57	2,90	3,55	3,23	3,98	0,64
2	4,390	3,69	3,35	3,80	3,32	4,05	3,00	3,70	0,59
3	3,373	2,10	2,25	2,36	1,89	2,31	2,02	2,48	1,01
4	3,322	2,07	2,46	2,34	1,87	2,27	2,21	2,72	0,98
5	3,333	2,62	2,72	2,63	2,36	2,88	2,44	3,00	0,70
6	3,148	2,56	2,65	2,56	2,31	2,81	2,38	2,92	0,59
7	3,880	2,84	2,90	3,14	2,56	3,12	2,50	3,20	0,74
8	3,803	2,84	2,90	3,16	2,56	3,12	2,60	3,20	0,64
9	3,822	2,80	2,90	3,12	2,52	3,09	2,60	3,20	0,70
10	3,662	2,80	2,89	3,10	2,51	3,09	2,59	3,19	0,56
11	3,991	2,86	2,92	3,18	2,58	3,14	2,62	3,22	0,81
12	3,940	2,91	3,11	3,22	2,62	3,20	2,79	3,43	0,72
13	4,315	2,97	3,03	3,28	2,68	3,27	2,72	3,34	1,04
14	4,270	3,00	3,04	3,38	2,71	3,30	2,73	3,36	0,89
15	5,625	4,14	4,31	4,46	3,73	4,55	3,86	4,76	1,17
16	5,365	3,89	4,41	4,43	3,50	4,28	3,95	4,87	0,94
17	3,370	2,20	2,22	2,45	1,98	2,42	1,99	2,45	0,92
18	3,359	2,24	2,27	2,47	2,02	2,43	2,03	2,50	0,89
19	3,700	2,90	2,86	3,02	2,60	3,18	2,53	3,16	0,68
20	3,715	2,89	2,84	3,02	2,59	3,17	2,51	3,14	0,70
21	4,175	2,96	2,97	3,28	2,67	3,27	2,66	3,28	0,90
22	3,892	2,73	2,81	3,00	2,51	3,06	2,52	3,10	0,89
23	3,810	2,65	2,77	2,96	2,39	2,91	2,48	3,06	0,85
24	6,980	3,76	3,91	3,89	3,39	4,14	3,50	4,31	3,09
25	4,731	3,73	3,71	3,85	3,37	4,10	3,32	4,09	0,88
26	4,720	3,77	3,76	3,92	3,40	4,15	3,37	4,15	0,80
27	2,888	2,19	2,24	2,27	1,98	2,40	2,01	2,47	0,62
28	2,850	2,02	2,08	2,19	1,82	2,22	1,86	2,30	0,66
29	3,628	2,70	2,69	2,96	2,44	2,97	2,41	2,97	0,67
30	3,565	2,65	2,67	2,90	2,39	2,91	2,39	2,95	0,67
31	3,562	2,91	3,01	3,00	2,63	3,19	2,70	3,32	0,56
32	3,492	2,88	3,00	3,00	2,60	3,17	2,69	3,31	0,49
33	4,410	3,40	3,74	3,58	3,07	3,73	3,35	4,13	0,83
34	4,457	3,34	3,39	3,58	3,01	3,67	3,04	3,74	0,88
35	4,254	3,39	3,51	3,53	3,06	3,72	3,15	3,87	0,71
36	4,382	3,73	3,78	3,70	3,37	4,09	3,39	4,17	0,68
37	2,678	2,13	2,15	2,05	1,92	2,34	1,93	2,37	0,63
38	2,660	2,05	2,07	2,01	1,85	2,25	1,86	2,28	0,65
39	3,496	2,21	2,41	2,23	1,99	2,43	2,16	2,66	1,17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
40	3,660	2,29	2,50	2,28	2,07	2,50	2,24	2,76	1,38
41	2,600	1,95	2,02	1,98	1,76	2,14	1,81	2,23	0,62
42	2,533	1,94	1,96	1,94	1,75	2,13	1,76	2,16	0,59
43	2,852	1,83	1,93	2,06	1,65	2,03	1,73	2,13	0,79
44	3,328	2,37	2,50	2,56	2,14	2,60	2,24	2,76	0,77
45	3,580	2,70	2,75	2,76	2,44	2,97	2,47	3,03	0,82
46	4,530	3,91	3,89	3,81	3,53	4,24	3,49	4,29	0,71
47	3,458	2,61	2,63	2,70	2,36	2,87	2,36	2,90	0,76
48	4,313	3,53	3,45	3,58	3,19	3,87	3,09	3,81	0,73
49	4,888	4,00	3,95	4,17	3,61	4,39	3,54	4,36	0,72
50	2,973	1,92	2,22	2,13	1,80	2,19	1,99	2,45	0,84
51	3,087	2,01	2,06	2,24	1,81	2,21	1,85	2,27	0,85
52	2,740	2,10	2,95	2,20	1,89	2,31	1,90	2,32	0,54
53	2,878	2,06	2,29	2,50	1,86	2,12	2,05	2,53	0,38
54	4,572	3,47	3,48	3,63	3,13	3,81	3,12	3,83	0,94
55	3,807	2,71	2,87	2,97	2,45	2,97	2,57	3,17	0,84
56	3,667	2,51	2,57	2,76	2,26	2,77	2,30	2,84	0,91
57	3,672	2,56	2,89	2,80	2,31	2,81	2,59	3,19	0,87
58	4,097	2,88	2,98	3,15	2,60	3,17	2,67	3,29	0,95
59	4,212	2,94	3,21	3,23	2,65	3,23	2,88	3,54	0,98
60	4,063	2,99	3,04	3,28	2,70	3,28	2,73	3,35	0,78
61	3,216	2,54	2,59	2,78	2,29	2,79	2,32	2,86	0,44
62	3,474	2,93	3,07	3,17	2,65	3,21	2,75	3,39	0,30
63	3,840	3,23	3,18	3,43	2,92	3,55	2,85	3,51	0,41
64	3,884	2,74	2,77	3,02	2,47	3,01	2,48	3,06	0,86
65	4,097	3,18	3,28	3,55	2,87	3,49	2,94	3,62	0,55
66	3,628	2,74	2,98	2,93	2,47	3,01	2,67	3,29	0,70
67	3,848	2,95	3,08	3,15	2,66	3,24	2,76	3,40	0,70
68	5,207	3,80	4,11	4,16	3,43	4,17	3,68	4,54	1,05
69	3,268	2,37	2,41	2,50	2,14	2,60	2,16	2,66	0,77
70	3,436	2,54	2,66	2,77	2,29	2,79	2,39	2,93	0,67
71	3,400	2,74	2,94	2,97	2,47	3,01	2,64	3,25	0,43
72	4,090	3,12	3,27	3,53	2,81	3,43	2,93	3,61	0,56
73	3,478	2,70	2,91	2,94	2,44	2,97	2,61	3,21	0,54
74	3,455	2,70	2,87	2,95	2,44	2,97	2,57	3,17	0,51
75	3,570	2,62	2,80	2,91	2,36	2,91	2,51	3,09	0,66

23 Степень сжатія.—Для сравненія отдѣльныхъ опытовъ, а также для характеристики условій работы машины полезно опредѣлить возможно точно такъ назыв. степень сжатія, которая есть отношеніе объема V_1 , занимаемаго газомъ въ началѣ сжатія, къ объему V_2 въ концѣ сжатія. Для воздушныхъ компрессоровъ, въ которыхъ объемъ V_2 измѣняется въ зависимости отъ момента начала подачи сжатого воздуха, степень сжатія часто выражаютъ отношеніемъ соотв. давленій p_2 къ p_1 , конечно, въ нѣкоторой степени $\frac{1}{n}$, гдѣ n показатель линіи сжатія.

Сжатіе ϵ въ рабочемъ цилиндрѣ. Въ четырехтактныхъ машинахъ степень сжатія, или проще прямо „сжатіе“ вычисляется обыкновенно просто въ видѣ отношенія объемовъ занятыхъ газами въ одной и другой мертвой точкѣ, т. е.

$$\epsilon = \frac{V}{V_c} = \frac{V_x + V_c}{V_c}, \quad (70)$$

гдѣ по указанному выше V_x объемъ, описываемый поршнемъ, а V_c объемъ камеры сжатія.

Очевидно, въ выраженіи (70) пренебрегается запаздываніемъ закрытія всасывающаго клапана, что въ виду небольшой величины его, отъ 3 до 5% хода поршня, вообще говоря, допустимо.

Въ двухтактной машинѣ началомъ сжатія надо считать моментъ закрытія выпускного окна кромкой поршня, такъ какъ здѣсь запаздываніе значительно больше; именно, оно соотвѣтствуетъ углу поворота кривошипа въ 50—60°, иногда до 72°, т. е. 0,14—0,17 даже до 0,20 части времени одного оборота, а отнесенное къ части хода, соотвѣтствуетъ 15—21% и до 30%. Считать моментомъ начала сжатія мертвое положеніе поршня при этихъ условіяхъ, конечно, нельзя. Съ другой стороны, нельзя сжатіе, вычисленное съ принятымъ во вниманіе запаздываніемъ конца выпуска, сравнивать непосредственно съ сжатіемъ четырехтактной машины, вычисленнымъ по ур—ію (70), такъ какъ, нельзя забывать, что въ цилиндрѣ четырехтактной машины въ моментъ начала сжатія давленіе ниже атмосфернаго, тогда какъ въ цилиндрѣ двухтактной оно выше атмосфернаго, вмѣстѣ съ тѣмъ въ двухтактной машинѣ закрытіе выпускного окна, какъ видно, напр., ниже на черт. 45, происходитъ довольно медленно, кривая скорости выпуска, если ее построить, поднимется рано до значительной высоты, указывая на наступленіе сильнаго мятія, вслѣдствіе чего фактическій выпускъ прекращается раньше, до полнаго закрытія окна. Оба указанныхъ обстоятельства вліяютъ на величину дѣйствительнаго сжатія въ томъ смыслѣ, что увеличиваютъ ее, приближая къ величинѣ сжатія четырехтактной машины.

Если кромѣ этихъ двухъ обстоятельствъ имѣть въ виду, что кривая скорости выпуска, т. е. дѣйствительный моментъ начала сжатія зависитъ еще отъ числа оборотовъ,—чѣмъ оно выше, тѣмъ раньше онъ наступаетъ, тѣмъ сжатіе больше, приближаясь къ сжатію въ четырехтактной машинѣ, и, наоборотъ,—то станетъ яснымъ, что сжатіе ϵ въ двухтактной машинѣ величина довольно неопредѣленная.

Въ виду всего этого мы рѣшили вычислять для сжатія двѣ величины:

$$\epsilon' = \frac{V_x + V_c}{V_c} \quad (71)$$

и

$$\epsilon'' = \frac{V_x' + V_c}{V_c}, \quad (72)$$

гдѣ V_x' объемъ, описываемый поршнемъ отъ момента закрытія выпускного окна до мертвой точки.

Дѣйствительная степень сжатія ϵ_0 лежитъ между этими двумя величинами ϵ' и ϵ'' . Ее можно было бы вычислить при помощи индикаторныхъ діаграммъ, на которыхъ довольно ясно виденъ моментъ начала подъема линіи сжатія. Однако въ виду зависимости этого сжатія ϵ_0 отъ числа оборотовъ машины, мѣнявшагося въ нашихъ опытахъ въ очень широкихъ предѣлахъ, и вообще сравнительно малаго вліянія сжатія на

работу машины, значительно меньшаго, чѣмъ, напр., вліяніе момента вспышки, зависящаго тоже отъ числа оборотовъ, мы рѣшили такихъ вычисленій ϵ_0 не дѣлать, тѣмъ болѣе, что оно, несмотря на нѣкоторую кропотливость, все равно не можетъ дать цифръ, вполне сравнимыхъ съ цифрами четырехтактныхъ машинъ.

Вообще въ силу конструкціи нашей машины оказалось невозможнымъ мѣнять степень сжатія въ очень широкихъ предѣлахъ, такъ какъ, какъ уже указывалось, и какъ это ясно видно по черт. 45, съ измѣненіемъ ϵ помощью измѣненія длины шатуна L мѣняются, и гораздо сильнѣе, площади открытія оконъ e , g и f для всасыванія воздуха, продувки и выпуска отработавшихъ газовъ, а съ ними мѣняются и соотв. скорости воздуха и газовъ, имѣющія существенное значеніе для рабочаго процесса.

Сжатіе ϵ_n въ насосъ. Величину эту мы вычисляли, во-первыхъ, по двумъ выраженіямъ, аналогичнымъ (71) и (72): или въ видѣ ϵ_n' — отношенія объема задней полости при одномъ мертвомъ положеніи поршня къ объему ея при другомъ мертвомъ положеніи поршня, или въ видѣ ϵ_n'' , принимая во вниманіе моменты закрытія всасывающаго окна e и открытія перепускнаго окна g . На первый взглядъ первый способъ, величина ϵ_n' , должна пожалуй слишкомъ отличаться отъ ϵ_n'' ; однако подсчетъ показываетъ, что вліяніе оконъ не особенно велико, всего 2 до 3%, какъ видно по таблицѣ 21.

Дѣйствительная степень сжатія ϵ_n лежитъ, очевидно, между величинами ϵ_n' и ϵ_n'' вслѣдствіе такого же, какъ и въ рабочемъ цилиндрѣ, вліянія мятія, но только здѣсь оно сказывается вдвойнѣ: моментъ начала дѣйствительнаго сжатія наступаетъ раньше, а моментъ начала продувки позже теоретическихъ моментовъ начала открытія соотв. окна. Равнымъ образомъ и вліяніе числа оборотовъ n сказывается вдвойнѣ: чѣмъ выше n , тѣмъ сдвиги дѣйствительныхъ моментовъ больше, а, слѣдовательно, ϵ_n увеличивается и приближается къ ϵ_n' , чѣмъ n ниже, тѣмъ, наоборотъ ϵ_n приближается къ ϵ_n'' .

Третій способъ вычисленія сжатія въ насосѣ, который мы хотѣли было примѣнить для сравненія съ предыдущими, основанъ на томъ, что при очень слабомъ сжатіи, какъ въ нашемъ насосѣ, можно съ достаточной точностью считать линію сжатія изотермой, т. е. принимать законъ измѣненія давленія

$$p_1 V_1 = p_2 V_2.$$

тогда степень сжатія ϵ_n''' вычисляется просто въ видѣ отношенія давленій p_2 въ концѣ сжатія и p_1 въ началѣ его. Давленія можно было бы брать съ индикаторной діаграммы. Однако, имѣвшій мѣсто прорывъ газовъ изъ рабочей полости цилиндра, а также хотя и слабое, но неизбѣжное нагрѣваніе воздуха отъ стѣнокъ поршня и цилиндра будутъ увеличивать ϵ_n''' ; съ другой стороны, какъ уже указывалось, діаграммы нѣ-

сколько искажались вліяніемъ инерціи массъ движущихся частей индикатора. Въ виду этого, мы отказались отъ пользованія этимъ способомъ.

Таблица 21.

№ опыта.	степень сжатія				1	2	3	4	5
	въ рабоч. цилиндрѣ		въ насосѣ		37	38	39	40	41
	ϵ'	ϵ''	ϵ_n'	ϵ_n''					
1	2	3	4	5	37	38	39	40	41
1	4,86	3,85	1,146	1,105	4,58	3,58	1,112	1,079	
2	"	"	"	"	"	"	"	"	"
3	"	"	"	"	"	"	"	"	"
4	"	"	"	"	"	"	"	"	"
5	4,58	3,58	1,208	1,145	4,53	3,67	1,111		
6	"	"	"	"	"	"	"	"	"
7	"	"	"	"	"	"	"	"	"
8	"	"	"	"	"	"	"	"	"
9	"	"	"	"	"	"	"	"	"
10	"	"	"	"	"	"	"	"	"
11	"	"	"	"	"	"	"	"	"
12	"	"	"	"	"	"	"	"	"
13	"	"	"	"	"	"	"	"	"
14	"	"	"	"	"	"	"	"	"
15	"	"	"	"	"	"	"	"	"
16	"	"	"	"	"	"	"	"	"
17	"	"	1,147	1,106	"	"	"	"	"
18	"	"	"	"	"	"	"	"	"
19	"	"	"	"	"	"	"	"	"
20	"	"	"	"	"	"	"	"	"
21	"	"	"	"	"	"	"	"	"
22	"	"	"	"	"	"	"	"	"
23	"	"	"	"	"	"	"	"	"
24	"	"	"	"	"	"	"	"	"
25	"	"	"	"	"	"	"	"	"
26	"	"	"	"	"	"	"	"	"
27	"	"	1,112	1,079	"	"	"	"	"
28	"	"	"	"	"	"	"	"	"
29	"	"	"	"	"	"	"	"	"
30	"	"	"	"	"	"	"	"	"
31	"	"	"	"	"	"	"	"	"
32	"	"	"	"	"	"	"	"	"
33	"	"	"	"	"	"	"	"	"
34	"	"	"	"	"	"	"	"	"
35	"	"	"	"	"	"	"	"	"
36	"	"	"	"	"	"	"	"	"

Наконецъ, величину сжатія ϵ_n можно было бы вычислять еще и по объемамъ V_1 и V_2 въ моменты начала и конца сжатія, взятымъ непосредственно съ индикаторной діаграммы. Однако, такъ же, какъ и для рабочаго цилиндра, способъ этотъ былъ бы сравнительно кропотливъ, а, главное, точность его слишкомъ сомнительна въ виду особенно большого вліянія упоминавшагося уже искаженія діаграммъ инерціей массъ движущихся частей индикатора при сравнительно маломъ отклоненіи линіи сжатія отъ горизонтальной линіи. Даже по діаграммѣ, исправленной по способу Флигнера, нельзя опредѣлить величины V_1 и V_2 съ до-

статочной точностью. Ошибка отъ искаженія діаграммы можетъ быть какъ въ сторону преувеличенія ϵ_n , такъ и въ сторону преуменьшенія его; все зависитъ отъ члена оборотовъ и періода колебанія пружины. Въ виду этого, мы къ данному способу рѣшили вовсе не прибѣгать.

Чтобы не затемнять основной таблицы 26, въ ней вовсе не были указаны степени сжатія ϵ въ рабочемъ цилиндрѣ и ϵ_n въ насосѣ, а были лишь отмѣчены объемы камеры сжатія V_c , задней полости V_z , толщина прокладки r и кольца s , т. е. величины, характеризующія постановку даннаго опыта и позволяющія вычислять соотв. степень сжатія.

Степени сжатія, вычисленные по различнымъ, указаннымъ сейчасъ приемамъ, собраны въ отдѣльную таблицу 21, стр. 137.

Что касается степени точности вычисленныхъ величинъ ϵ и ϵ_n , то опредѣлять ихъ обычнымъ путемъ, по возможнымъ и среднимъ ошибкамъ различныхъ измѣреній очень затруднительно, да и едва ли стоитъ въ виду того, что дѣйствительныя степени сжатія все же остаются неизвѣстными. Можно сказать, что дѣйствительныя степени сжатія лежатъ гдѣ-то посрединѣ между соотв. наибольшей и наименьшей теоретической степенью сжатія.

Въ частности для рабочаго цилиндра, если вычислять степень сжатія ϵ какъ среднее арифметическое между соотв. ϵ' и ϵ'' , то оказывается, какъ видно по таблицѣ 21, что это ϵ отличается отъ ϵ' и ϵ'' на величину очень значительную, отъ ± 9 до $\pm 13\%$. Вычисляя ϵ_0 при помощи индикаторной діаграммы, снятой слабой пружиной, на выдержку для нѣсколькихъ опытовъ, мы убѣдились, что она довольно близка къ указанной средней величинѣ ϵ , отличаясь отъ нея не болѣе ± 3 , въ худшемъ случаѣ $\pm 5\%$. Эту послѣднюю величину $\pm 5\%$ и можно принять за возможную ошибку въ степени сжатія, найденному какъ $\epsilon = 0,5 (\epsilon' + \epsilon'')$. Въ общемъ съ такой точностью можно вполне примириться, такъ какъ величина ϵ въ нашихъ изслѣдованіяхъ служитъ лишь для полноты характеристики работы машины и ни въ какія дальнѣйшія вычисленія не входитъ.

Что касается воздушнаго насоса, то въ немъ среднее арифметическое между ϵ' и ϵ'' отличается отъ нихъ не болѣе $\pm 1,5\%$; эту же величину $1,5\%$ можно, слѣдовательно, вполне смѣло принять за наибольшую возможную ошибку.

24. Скорости воздуха и выпуска.—Для выясненій условій работы, именно явленій продувки двухтактной машины, было очень интересно и даже важно постараться вычислить скорости, съ которыми воздухъ и отработавшіе газы проходятъ черезъ соотв. окна.

Не задаваясь пока сравнительно трудной задачей найти дѣйствительныя скорости въ послѣдовательные моменты соотв. явленія, что можно было бы сдѣлать, сопоставляя соотв. линіи индикаторныхъ діаграммъ, рабочихъ и смѣщенныхъ, снятыхъ слабой пружиной, и кривыя

открытія соотв. окна, мы ограничились пока вычисленіемъ лишь средних скоростей.

Несмотря на различіе явленій, имѣющихъ мѣсто при прохожденіи трехъ оконъ нашей машины—всасывающаго e и перепускного g для воздуха и выпускного f для отработавшихъ газовъ, вычисленіе средних скоростей можно дѣлать по одной и той же формулѣ, мѣняя въ ней лишь нѣкоторые цифровые коэффициенты. Формулу эту можно написать въ общемъ видѣ, обозначивъ черезъ w среднюю скорость, V_0 объемъ газа въ мт.³, проходящій за каждый оборотъ машины, f —среднюю величину открытія окна въ мт.², t —продолжительность открытія его въ сек. и α коэффициентъ сжатія струи, въ видѣ

$$w = V_0 / \alpha f t, \quad (73)$$

при чемъ w получается, очевидно, въ мт./сек..

Укажемъ теперь, какъ найти требуемыя величины V_0 , α , f и t и вмѣстѣ съ тѣмъ постараемся сдѣлать формулу (73) удобнѣе для быстрыхъ числовыхъ вычисленій.

Объемъ газа V_0 , проходящій черезъ данное окно при каждомъ оборотѣ машины, очевидно, выразится черезъ часовой объемъ соотв. газа V . о точномъ опредѣленіи котораго будетъ сказано ниже, и числу оборотовъ n машины въ видѣ

$$V_0 = V/60n. \quad (74)$$

Величиной коэффициента α придется задаваться на основаніи общихъ соображеній гидравлики и аэродинамики.

Далѣе, среднюю площадь f открытія окна можно находить слѣдующимъ образомъ: строимъ кривую открытія окна, откладывая по оси абсциссъ углы поворота кривошипа, по оси ординатъ—величину открытія соотв. окна при данномъ положеніи кривошипа. Найдя при помощи планметра среднюю высоту h мм. площади, ограниченной этой кривой открытія окна и осью абсциссъ, и обозначая черезъ h_0 ординату, выражающую полное открытіе окна, мы имѣемъ, очевидно,

$$f = f_0 h / h_0, \quad (75)$$

гдѣ f_0 есть полная площадь открытія окна, выражаемая ординатой h_0 .

Такъ какъ движеніе газовъ черезъ соотв. окно происходитъ не все время, пока оно открыто, а прекращается до его закрытія вслѣдствіе того, что давленія передъ окномъ и за нимъ выравниваются въ болѣе короткій промежутокъ времени, чѣмъ продолжительность открытія окна, то въ качествѣ площади f надо брать не всю площадь, ограниченную кривой открытія, а лишь часть ея до момента выравниванія давленія. Опредѣленіе этого момента можно произвести при помощи соотв. индикаторной діаграммы; подробнѣе объ этомъ сказано ниже.

Время t можно выразить при помощи угла β' , поворота кривошипа

машины отъ мертвѣго положенія въ моментъ начала открытія окна, и игла β'' , соотвѣтствующаго упомянутому выше моменту выравниванія давленій, т. е. прекращенія перетеканія газа, и числа оборотовъ n въ мин. въ видѣ

$$t = \frac{60 (\beta'' - \beta')}{n \cdot 360} = \frac{(\beta'' - \beta')}{6n}. \quad (76)$$

Подставляя выраженія (74)—(76) въ выраженіе (73), имѣя въ виду, что f_0 выражено въ см.², а V въ мт.³, и произведя сокращенія, получаемъ

$$w = \frac{1500 V h_0}{\alpha f_0 h (\beta'' - \beta')}, \quad (77)$$

гдѣ h_0 , α и f_0 для даннаго окна величины постоянныя. Поэтому, полагая

$$\frac{1000 h_0}{\alpha f_0} = k, \quad (78)$$

получаемъ простое выраженіе

$$w = \frac{k V}{h (\beta'' - \beta')}. \quad (79)$$

На первый взглядъ можетъ показаться страннымъ, что въ выраженіе (79) не входитъ число оборотовъ n , т. е. какъ будто скорость w отъ n не зависитъ, тогда какъ въ дѣйствительности, очевидно, чѣмъ больше n , тѣмъ меньше время открытія t въ ур—и (73) согласно выраженія (76), и тѣмъ больше получается w . Объясняется это кажущееся противорѣчіе тѣмъ, что число оборотовъ n входитъ скрытымъ образомъ въ выраженіе (79); именно, по выраженію (74) $V = 60V_0 \cdot n$. Въ ур—іе (79) мы вводимъ V , а не V_0 просто ради удобства, такъ какъ величина V у насъ измѣряется почти непосредственно, а V_0 можетъ быть вычислено лишь по V , при чемъ надо сдѣлать два лишнихъ дѣйствія—дѣленія и внести вмѣстѣ съ тѣмъ дополнительную ошибку отъ неточности опредѣленія n и самихъ дѣленій.

Въ заключеніи замѣтимъ, что величиной коэффиціента сжатія α струи приходится задаваться. Это самое слабое мѣсто нашего расчета. Гюльднеръ ⁶⁰⁾ даетъ для α величину 0,60 до 0,65, оговариваясь, что это съ запасомъ, т. е. въ дѣйствительности α можетъ быть больше для оконъ двухтактныхъ машинъ. Величина безусловно мала. По Грасгофу ⁶¹⁾ при истеченіи воздуха черезъ небольшое круглое отверстіе съ $d=14$ мм. въ тонкой стѣнкѣ $\alpha=0,65$; при короткомъ цилиндрическомъ насадкѣ безъ закругленія получается $\alpha=1$. При болѣе значительной площади отверстія вліяніе сжатія значительно уменьшается. Косвенное подтвержденіе нашей точки зрѣнія, что α больше, чѣмъ даетъ Гюльднеръ, можно

⁶⁰⁾ Güldner. 2. Aufl. 1905 S. 181.

⁶¹⁾ Hütte. 19. Aufl. 1905 I. S. 332.

видѣть въ результатахъ опытовъ Гутермута⁶²⁾, который получалъ для истечения водяного пара изъ очень узкихъ отверстій α до 0,93; для отношенія давленія, близкаго къ нашему, онъ получилъ $\alpha=0,70$.

Не имѣя, къ сожалѣнію, соотв. опытовъ съ воздухомъ, мы считаемъ возможнымъ взять величину $\alpha=0,70$, отчасти опираясь на результаты, полученные Гутермутомъ. Разумѣется, точность величины α невелика, не болѣе $\pm 5\%$, вѣрнѣе даже считать $\alpha = \pm 10\%$.

Въ виду указанной недостаточной точности коэффициента α его приходится считать, конечно, одинаковымъ для всѣхъ трехъ оконъ e , f и g .

Теперь перейдемъ къ вычисленію w въ отдѣльныхъ частныхъ случаяхъ.

Скорость всасыванія воздуха. При вычисленіи этой скорости, обозначимъ ее w_1 , мы пользовались ур-емъ (79) въ связи съ ур-емъ (78). Укажемъ сперва нахожденіе числовыхъ значеній отдѣльныхъ множителей.

Объемъ V въ выраженіи (79) мы имѣемъ въ таблицѣ 26, столбецъ 29; это часовой расходъ воздуха L_0 , найденный по воздушнымъ часамъ. Небольшимъ увеличеніемъ объема вслѣдствіе пониженія давленія по сравненію съ атмосфернымъ, какъ результатъ сопротивленій при прохожденіи воздушныхъ часовъ, трубопровода и самаго окна e , можно смѣло пренебречь, такъ какъ всѣ эти сопротивленія, согласно нашихъ измѣреній, не превосходятъ 5—10 мм. в. ст., т. е. вызываютъ измѣненіе объема не болѣе $\pm 0,1\%$.

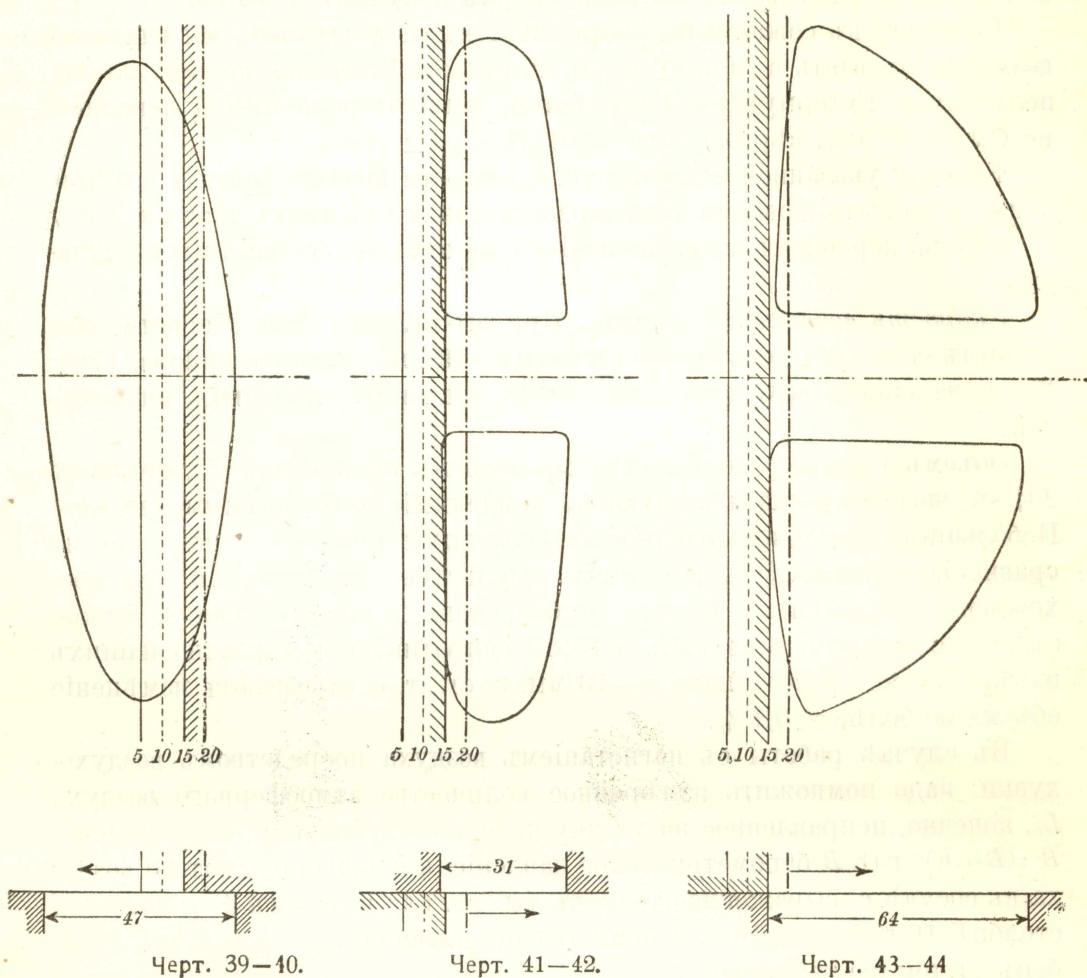
Въ случаѣ работы съ нагнетаніемъ воздуха посредствомъ воздуходувки надо помножить измѣренное количество атмосфернаго воздуха L_0 , конечно, исправленное на утечку черезъ воздуходувку, на отношеніе $B : (B+h)$, гдѣ B барометрическое давленіе, а h давленіе сжатого воздуха въ сосудѣ c , выраженное тоже въ мм. рт. ст.; величина B указана въ столбцѣ 10 таблицы 26, а h найдется по давленію p въ мм. в. ст., столбецъ 11 той же таблицы.

При нормальныхъ опытахъ измѣненія температуры воздуха на пути отъ часовъ до машины происходитъ не можетъ. Возможное и то очень незначительное повышеніе его температуры при работѣ съ воздуходувкой должно пропасть при сравнительно медленномъ движеніи воздуха по трубопроводу и во время нахожденія его въ сосудѣ c . Къ тому же въ этомъ случаѣ сама точность измѣренія количества воздуха L_0 такова, что вліяніе измѣненія температуры оказалось бы значительно меньше возможной ошибки опредѣленія величины L_0 .

Что касается постояннаго множителя, обозначимъ его для окна e черезъ k_1 , то отдѣльные множители, изъ которыхъ онъ составляется согласно ур-ю (78), имѣютъ слѣдующее значеніе: площадь полного открытія окна e , изображеннаго на черт. 39—40, стр. 142, была найдена

⁶²⁾ Z. V. d. I. 1904, S. 84.

при помощи планиметра $f_0 = 54,7$ см.²; h_0 есть высота ординаты, выражающей f_0 для окна e на черт. 45, стр. 143; $\alpha = 0,7$.



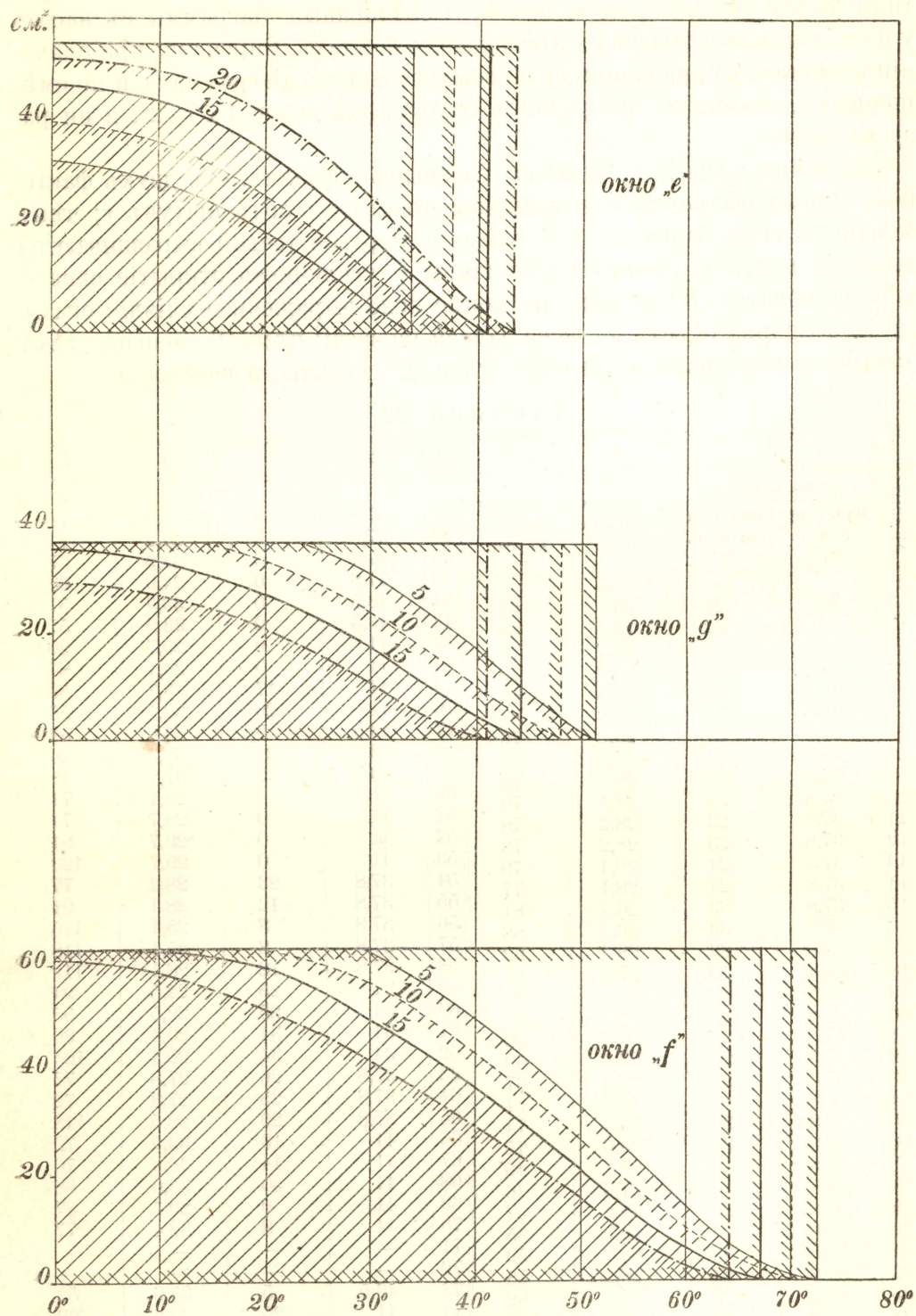
Черт. 39—40.

Черт. 41—42.

Черт. 43—44

Для получения средней высоты h мы поступали слѣдующимъ образомъ: опредѣляли положеніе кромки поршня сперва при мертвомъ положеніи при данной прокладкѣ r . На черт. 39 и 40 показаны эти положенія при всѣхъ четырехъ примѣнявшихся прокладкахъ, при этомъ положеніе при $r = 15$ мм., какъ нормальной для данной машины, выдѣлено толстой линіей и штриховкой. При помощи планиметра находили соотв. величину свободной площади окна. Затѣмъ находили положеніе кромки поршня при углахъ поворота кривошипа 10° , 20° и т. д. и соотв. свободную площадь окна. Наконецъ, опредѣляли уголъ β° , при которомъ кромка поршня закрываетъ совсѣмъ окно e , или соотв. начинаетъ его открывать. На черт. 45 вверху показаны полученныя так. обр. кривыя открытія окна e для одной половины симметричнаго движенія поршня. Высота прямоугольника, равновеликаго площади, ограниченной осью абсциссъ соотв. кривой открытія и ординатой, восстановленной въ точкѣ

соотвѣтствующей углу β_1'' , конца всасыванія, и имѣющаго одинаковую длину основанія, дасть искомую величину h .



Черт. 45.

Углы β_1'' находились по индикаторнымъ діаграммамъ, снятымъ съ

воздушнаго насоса. Для большей надежности нахождение угла β_1'' слѣдовало бы дѣлать по смѣщеннымъ диаграммамъ. Къ сожалѣнію, мы обратили на это вниманіе лишь послѣ, и смѣщенные диаграммы съ насоса у насъ снимались только въ нѣсколькихъ опытахъ. Впрочемъ, при сличеніи величинъ β_1'' , найденныхъ по обыкновеннымъ диаграммамъ и по смѣщеннымъ, оказалось, что разница составляетъ около $1,5^\circ$ — 2° , и ни разу не болѣе 3° .

Величина угла β_1'' зависитъ, главнымъ образомъ, отъ двухъ факторовъ: числа оборотовъ n и толщины прокладки подъ шатунъ r ; чѣмъ больше n , тѣмъ больше и β_1'' , позже за мертвой точкой выравниваются давленія воздуха; увеличеніе толщины r , увеличивая открытіе окна s , вліяетъ обратно. Нѣкоторое, но менѣе ясно выраженное вліяніе оказываетъ величина объема V_z , всей задней полости: чѣмъ V_z меньше, тѣмъ скорѣе выравниваются давленія, тѣмъ β_1'' меньше, и наоборотъ.

Таблица 22.

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
№ опыта	углы поворота		среднее открытіе h см. ²	средняя скор. w_1 мт./сек.					
	нач. откр. до м. п. β_1' °	кон. всас. за м. п. β_1'' °							
1	41	21	34	62	37	37,8	0	24,9	78
2	41	22	34	65	38	37,8	0	24,9	77
3	41	0	29,7	78	39	37,8	0	24,9	67
4	41	0	29,7	79	40	37,8	0	24,9	68
5	37,8	10	27,6	89	41	43,5	0	33,9	57
6	37,8	10	27,6	88	42	43,5	0	33,9	57
7	37,8	23	28,2	76	43	41	0	29,7	90
8	37,8	23	28,2	76	44	41	0	29,7	86
9	37,8	24	28,1	79	45	41	17	33,7	56
10	37,8	24	28,1	79	46	41	29	33,1	55
11	37,8	23	28,2	78	47	43,5	5	35,6	62
12	37,8	23	28,2	78	48	43,5	23	38,4	46
13	37,8	24	28,1	79	49	43,5	32	37,7	48
14	37,8	24	28,1	77	50	41	0	29,7	71
15	37,8	33	26,4	87	51	41	0	29,7	74
16	37,8	33	26,4	88	52	41	0	29,7	91
17	37,8	23	28,2	62	53	41	0	29,7	123
18	37,8	10	27,6	56	54	37,8	23	28,2	77
19	37,8	23	28,2	66	55	37,8	12	28,1	91
20	37,8	23	28,2	66	56	37,8	8	25,1	115
21	37,8	23	28,2	66	57	37,8	8	25,1	118
22	37,8	25	27,8	69	58	37,8	12	28,1	112
23	37,8	23	28,2	67	59	34	25	22,5	94
24	37,8	32	26,6	74	60	34	25	22,5	95
25	37,8	33	26,4	74	61	34	34	20,4	86
26	37,8	32	26,6	75	62	34	34	20,4	105
27	37,8	10	27,6	45	63	37,8	26	27,8	77
28	37,8	10	27,6	46	64	37,8	25	27,8	72
29	37,8	23	28,2	57	65	37,8	20	28,5	118
30	37,8	23	28,2	55	66	41	13	33,5	72
31	37,8	23	28,2	59	67	41	14	33,6	70
32	37,8	23	28,2	58	68	41	30	33,0	68
33	37,8	29	27,2	62	69	41	0	29,7	87
34	37,8	29	27,2	61	70	41	8	32,4	77
35	37,8	29	27,2	62	71	—	—	—	—
36	37,8	29	27,2	62	72	—	—	—	—
					73	43,5	5	35,6	52
					74	41	25	33,8	60
					75	43,5	5	35,6	70

Въ таблицѣ 22, стр. 144, указаны величины β_1' —начала открытія окна e въ зависимости отъ толщины прокладки r , β_1'' —конца всасыванія, h —средняя высота открытія, выражающая среднюю площадь открытія f въ масштабѣ 1 мм.=1 см.², и вычисленныя по этимъ даннымъ и по k_1 и V величины средней скорости всасыванія w_1 .

Найдемъ теперь среднюю ошибку въ опредѣленіи величины w_1 . Средняя ошибка въ измѣреніи L_0 найдена выше, стр. 119, $\nu=3,08\%$. Возможная ошибка величины k_1 получится равной ошибкѣ коэффициента α , принятой нами выше, стр. 141, равной $\pm 10\%$; отношеніе h_0/f_0 выражаетъ собственно лишь масштабъ открытія f и ошибки не даетъ; возможная ошибка величины h можетъ быть принята изъ повторныхъ измѣреній равной $\pm 2\%$. Точность измѣренія угловъ β_1' составляетъ около $0,5^\circ$, а угловъ β_1'' , по указанному выше, $\pm 2^\circ$; средняя ошибка разности составляетъ $\sqrt{(0,5)^2 + (2,0)^2} = \pm 2,06^\circ$; какъ видимъ по таблицѣ 22, разность $\beta_1'' - \beta_1'$, въ данномъ случаѣ равная суммѣ $\beta_1'' + \beta_1'$, такъ какъ моментъ окончанія всасыванія лежитъ послѣ прохожденія мертвой точки, почти для всѣхъ опытовъ не больше 40° , поэтому относительная ошибка составляетъ не болѣе $\pm 5,16\%$.

Такимъ образомъ суммарная ошибка

$$\nu = 3,08 + 10 + 2 + 5,16 = \pm 20,24. \quad (80)$$

Какъ видимъ, точность довольно небольшая, однако для сравненія отдѣльныхъ опытовъ между собой точность значительно больше, именно около 10% , такъ какъ при такомъ сравненіи главный источникъ возможной ошибки, вліяніе коэффициента α , отпадаетъ.

Въ опытахъ съ воздуходувкой ошибка ν еще немного увеличивается вслѣдствіе меньшей точности опредѣленія расхода воздуха. Ошибкой величины $B : (B+h)$ можно пренебречь; такъ какъ согласно указанію стр. 89 при введеніи поправки на утечку возможна ошибка до $\pm 0,6\%$, то ошибка въ расходѣ воздуха получается вмѣсто $\pm 3,08\%$ уже $\sqrt{(3,08)^2 + (0,6)^2} = \pm 3,12\%$, и полная ошибка величины w_1 въ этомъ случаѣ

$$\nu = 3,12 + 10 + 2 + 5,16 = 20,28. \quad (81)$$

Скорость впуска воздуха. При опредѣленіи скорости воздуха, перепускаемаго изъ задней полости въ рабочій цилиндръ, обозначимъ эту скорость w_2 , надо объемъ воздуха L_0 перечислить, принявъ во вниманіе измѣненіе его давленія и температуры.

Въ качествѣ средняго давленія можно принять какъ первое приближеніе среднее арифметическое изъ давленія p_1 въ моментъ начала впуска и давленія p_2 при окончаніи его. И то и другое давленіе можно измѣрить по индикаторной діаграммѣ насоса. Такъ какъ давленіе воздуха до машины измѣряется барометромъ, т. е. въ мм. ртутнаго столба, то и величины p_1 и p_2 надо выразить тоже въ мм. рт. ст., и притомъ будемъ обозначать ими величины избыточныхъ давленій надъ атмосферной линіей діаграммы.

Что касается температуры воздуха, то первоначально мы измѣряли ее въ двухъ мѣстахъ: въ концѣ перепускнаго канала, у самаго выпуска въ рабочій цилиндръ черезъ окно g , температура t_3 въ таблицѣ 26, и въ началѣ перепускнаго канала t_2 , тамъ же столбецъ 14. Впослѣдствіи, когда мы установили проникновеніе продуктовъ горѣнія въ перепускной каналъ, мы поставили подальше отъ окна g еще третій термометръ, пропустивъ его черезъ крышку u_1 . Показанія этого термометра, t_1 , столбецъ 13 таблицы 26, слѣдуетъ считать температурой воздуха въ задней полости. Для тѣхъ опытовъ, когда температура t_1 не измѣнялась, можно считать съ точностью до $\pm 5^\circ$, что $t_1 = 0,5(t_0 + t_2)$.

Причины, заставившія отбросить какъ преувеличенныя температуры t_3 , слѣдующія: на концѣ термометра, дававшего показанія t_3 , послѣ каждаго опыта садилось много копоти; кромѣ того, показанія его никогда не были спокойны: конецъ столбика ртути прыгалъ на нѣсколько градусовъ при каждомъ оборотѣ машины. Наконецъ, простой подсчетъ количества тепла, которое воздухъ можетъ получить при прохожденіи черезъ перепускной каналъ отъ соприкосновенія съ его стѣнками, показываетъ, что тепло, соотвѣтствующее повышенію температуры $t_3 - t_2$, въ нѣсколько разъ больше. Хотя все это относится и къ термометру, дававшему показанія t_2 , но въ значительно меньшей мѣрѣ: столбикъ его колебался на доли градуса, конецъ термометра почти не покрывался копотью; правда, повышеніе температуры $t_2 - t_1$ не можетъ быть объяснено однимъ нагрѣваніемъ отъ стѣнокъ машины; наконецъ, неоднократный анализъ воздуха, взятаго изъ задней полости не обнаруживалъ присутствія тамъ углекислоты. Такимъ образомъ продукты горѣнія, очевидно, не успѣвали пройти перепускной каналъ и попасть въ заднюю полость. Не могли они, слѣдовательно, вліять черезчуръ замѣтно на термометръ t_2 , стоявшій у дальняго конца перепускнаго канала, если считать отъ окна g . Въ виду всего этого мы считаемъ, что температура воздуха при прохожденіи черезъ окно g можно принимать равной t_3 ; кромѣ того, если мы, принявъ ее равной t_2 , дѣлаемъ ошибку въ смыслѣ преувеличенія температуры, а, слѣдовательно, и объема V , то эта ошибка ослабляется, можетъ быть, почти уравнивается тѣмъ, что мы при подсчетѣ объема не принимаемъ во вниманіе того, что черезъ окно g проходилъ не одинъ воздухъ, а и попаваніе въ перепускной каналъ продукты горѣнія.

Принимая все это во вниманіе, можно найти объемъ воздуха, проходившаго черезъ окно g , въ видѣ

$$V_2 = \frac{L_0 B (273 + t_2)}{[B + 0,5(p_1 + p_2)](273 + t_0)} \quad (82)$$

Что касается постояннаго множителя, обозначимъ его для этого окна черезъ k_2 , то составляющіе его согласно ур—ія (78) множители имѣютъ слѣдующее значеніе: площадь полного открытія окна g , изображен-

наго на черт. 41—42, стр. 141, была найдена при помощи планиметра $f_0 = 37,4$ см.²; h_0 есть высота ординаты, выражающей f_0 для окна g на черт. 45, стр. 142; $\alpha = 0,7$.

Среднюю высоту ординаты h мы получали точно такимъ же путемъ, какъ и для окна e , съ той только разницей, что и уголъ β_2' , соответствующій началу впуска, пришлось брать съ индикаторной диаграммы насоса, такъ какъ для большинства опытовъ подъ вліяніемъ проникновенія продуктовъ горѣнія въ перепускной каналъ, онъ значительно меньше угла, соответствующаго началу открыванія окна g кромкой поршня.

Таблица 23.

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
№ опыта	углы поворота въ°		среднее от- крыт. h мм.	средн. давл.		средн. скор. u_2 мт / сек.									
	начало откр. β_2	начало впуск. β_2'		p_1	p_2										
			конечн. впуск. β_2''	мм.	рт.	ст.									
1	44,5	20	26	32,4	106	27	89	42	41	27	8	25,4	107	28	92
2	44,5	20	26	32,4	106	27	93	43	44,5	29	5	30,6	140	41	100
3	44,5	25	10	32,6	98	34	81	44	44,5	29	5	30,6	140	51	97
4	44,5	25	10	32,6	98	37	82	45	44,5	29	15	31,5	121	32	76
5	48	25	9	36,0	143	64	90	46	44,5	26	23	32,0	124	18	80
6	48	25	9	36,0	148	61	90	47	41	24	13	27,0	139	46	84
7	48	23	20	37,2	135	34	80	48	41	21	23	26,2	124	26	99
8	48	23	20	37,2	135	37	79	49	41	18	28	25,9	137	22	113
9	48	23	20	37,2	135	34	83	50	41	30	4	30,7	140	60	78
10	48	23	20	37,2	148	37	83	51	41	30	4	30,7	146	69	81
11	48	23	20	37,2	135	37	82	52	41	33	5	29,9	140	41	92
12	48	23	20	37,2	135	44	81	53	41	33	5	29,9	192	60	127
13	48	23	20	37,2	145	32	83	54	48	32	8	33,5	171	41	99
14	48	23	20	37,2	148	27	82	55	48	32	4	34,0	186	48	96
15	48	24	24	36,9	118	34	90	56	48	35	2	33,1	204	52	99
16	48	24	24	36,9	160	25	92	57	48	33	2	33,7	208	52	107
17	48	30	15	35,4	98	44	66	58	48	33	2	33,7	217	54	125
18	48	30	15	35,4	98	44	65	59	51,5	32	6	36,6	160	34	87
19	48	28	17	36,2	86	44	71	60	51,5	32	6	36,6	160	34	89
20	48	28	17	36,2	98	34	71	61	51,5	32	6	36,6	102	50	85
21	48	28	17	36,2	98	34	71	62	51,5	32	8	35,8	121	51	105
22	48	28	17	36,2	106	21	75	63	48	30	22	35,6	100	39	75
23	48	28	17	36,2	110	18	73	64	48	32	10	34,7	154	38	81
24	48	23	30	35,7	119	31	72	65	48	35	10	33,5	222	51	127
25	48	23	30	35,7	119	31	73	66	44,5	23	12	33,3	183	53	105
26	48	23	30	35,7	119	31	73	67	44,5	23	12	33,3	169	53	105
27	48	36	7	32,9	89	46	60	68	44,5	25	27	31,2	181	31	95
28	48	36	7	32,9	92	49	60	69	44,5	30	2	30,0	188	64	103
29	48	28	15	36,3	82	26	63	70	44,5	30	2	30,0	188	56	118
30	48	28	15	36,3	80	28	61	71	44,5	30	2	30,0	140	31	122
31	48	28	17	36,2	80	28	62	72	44,5	30	5	30,6	141	31	132
32	48	28	17	36,2	80	28	62	73	41	22	19	27,1	84	58	79
33	48	28	19	36,2	87	26	67	74	48	30	20	35,7	152	24	73
34	48	28	19	36,2	92	27	65	75	41	22	15	27,2	180	50	115
35	48	26	26	36,5	92	27	60								
36	48	26	26	36,5	95	26	60								

Въ таблицѣ 23 указаны величины угла β_2 —начала открытія окна g въ зависимости отъ толщины прокладки подъ шатунъ r , β_2' —дѣйстви-

тельнаго начала перепуска воздуха, β_2'' —конца перепуска, h —средней высоты открытія, выражающей среднюю площадь открытія f въ масштабѣ 1 мм.=1 см.², и p_1 и p_2 избыточные давленія перепускаемаго воздуха въ мм. ртутнаго столба. Послѣдній столбецъ, 8, содержитъ вычисленныя по всѣмъ этимъ величинамъ и по k_2 и V_2 , ур-іе (82), среднія скорости перепуска воздуха w_2 въ мт./сек.

Найдемъ теперь среднюю возможную ошибку въ опредѣленіи величины w_2 . Средняя ошибка величины k_2 по указанному выше равна ошибкѣ величины α , т. е. 10%. Ошибка величины V_2 составитъ слѣдующимъ образомъ: ошибка величины L_0 равна по стр. 119 всего 3,08%; ошибкой величины B можно пренебречь, такъ какъ она входитъ и въ числитель и въ знаменатель, а ошибка въ опредѣленіи 0,5. $(p_1 + p_2)$ составляетъ не болѣе 1 мм. рт. ст., что, отнесенное къ наименьшей величинѣ 0,5 $(p_1 + p_2) \approx 54$ мм., даетъ $\pm 1,85\%$, а отнесенное къ $[B + 0,5(p_1 + p_2)]$ даетъ $\pm 0,13\%$; ошибка въ опредѣленіи средней температуры t_2 , найденная по квадратамъ разностей, составляетъ въ худшемъ случаѣ 2°, а отнесенная къ $(273 + t_2)$ соответствуетъ въ худшемъ случаѣ $\pm 0,07\%$; ошибка температуры t_0 , какъ указывалось выше, не болѣе 0,5°, или отнесенная къ $(273 + t_0)$ въ худшемъ случаѣ при $t_0 = 12^\circ$ не болѣе $\pm 0,18\%$; полная ошибка величины V_2 получается въ видѣ $v = 3,08 + 0,13 + 0,07 + 0,18 = \pm 3,46\%$. Возможная ошибка величины h была найдена рядомъ повторныхъ измѣреній равной $\pm 2\%$. Точность измѣренія угловъ β_2' и β_2'' составляетъ въ худшемъ случаѣ по $\pm 3^\circ$, средняя ошибка ихъ разности равна, слѣдовательно, $\sqrt{3^2 + 3^2} = \pm 4,24^\circ$, относя къ наименьшей величинѣ $\beta_2'' - \beta_1'$, составляющей согласно таблицѣ 23 не менѣе 29° , такъ какъ углы лежатъ по разную сторону отъ мертвой точки, получаемъ $\pm 14,62\%$.

Такимъ образомъ, суммарная ошибка

$$v = 3,46 + 10,0 + 2,0 + 14,62 = \pm 20,08. \quad (83)$$

Какъ видимъ, точность нахождения величины w_2 должна быть признана довольно неудовлетворительной. Причина этого лежитъ главнымъ образомъ въ неправильности открытія выпускнаго окна f , не дающаго достаточной величины предваренія выпуска. Для сравненія отдѣльныхъ опытовъ между собой точность немного больше, именно отпадаетъ вліяніе величины α , т. е. получаемъ $v \approx 10\%$.

Вліяніемъ уменьшенія точности измѣренія воздуха при работѣ съ воздухоподувкой можно въ данномъ случаѣ совершенно пренебречь.

Скорость выпуска. Объемъ V продуктовъ горѣнія можно разсматривать какъ сумму двухъ объемовъ—сухихъ газовъ и водяныхъ паровъ. Объемъ первыхъ при 15° Ц. уже былъ найденъ выше, стр. 115, именно это $(G_{\text{пр}} - G_{\text{в}}' - G_{\text{в}}'') v$; чтобы принять во вниманіе увеличеніе объема въ слѣдствіе высокой температуры надо эту величину помножить на $(273 + t_4) : 288$. Нѣсколько сложнѣе вопросъ, какое давленіе имѣютъ

продукты горѣнія при прохожденіи черезъ выпускное окно f . Теоретически это давленіе должно бы равняться атмосферному, но принимая во вниманіе довольно значительную длину отводящей трубы и колебанія давленія, наблюдавшіяся даже въ глушителяхъ и обнаруженныя при помощи упомянутой выше съемки діаграммъ съ него, будетъ правильнѣе принять это давленіе равнымъ давленію въ рабочемъ цилиндрѣ; это послѣднее можно считать за среднее арифметическое между давленіемъ p_3 въ моментъ начала выпуска, т. е. въ концѣ расширенія и p_4 въ моментъ окончанія выпуска. Давленіе p_3 мы находили по индикаторной діаграммѣ рабочаго цилиндра, снятой слабой пружиной; давленіе p_4 мы считали равнымъ атмосферному, т. е. выраженнымъ высотой барометра B . Давленіе p_3 мы выражали тоже въ мм. рт. столба. Такимъ образомъ, объемъ газовъ надо помножить на $B/(B+0,5p_3)$.

Объемъ водяныхъ паровъ можетъ быть вычисленъ, какъ объемъ перегрѣтаго пара, вѣсомъ $G'_s + G''_s$, а въ случаѣ работы съ вбрызгиваніемъ воды $G'_s + G''_s + g$, при давленіи p_3 и температурѣ t_4 . Имѣя въ виду, что вообще точность нахожденія скоростей w_3 очень невелика, а, кромѣ того, что объемъ водяныхъ паровъ составляетъ лишь небольшую часть общаго объема продуктовъ горѣнія, не свыше 10—12%, мы рѣшили для простоты вычисленій считать p_3 постояннымъ и равнымъ средней величинѣ около 1,7 кгр./см.² абс.

Для вычисленія объема мы пользовались обычнымъ выраженіемъ Цейнера для объема 1 кгр. перегрѣтаго пара

$$v_n = v'' + 50,9 \frac{t - \vartheta}{P}. \quad (84)$$

Подставляя для объема насыщеннаго пара его величину при 1,7 атм., равную 1,04 мт.³, для температуры насыщеннаго пара $\vartheta = 114,5^\circ$, для давленія $P = 17000$ кгр./мт.² и произведя возможныя сокращенія, получаемъ

$$v_n = 0,70 + 0,003 t_4. \quad (85)$$

Такимъ образомъ, полный объемъ продуктовъ горѣнія вычислялся по выраженію

$$V = (G_{np} - G'_s - G''_s) v \frac{(273 + t_4)B}{(B + 0,5p_3)} + (G'_s + G''_s + g)(0,70 + 0,003 t_4). \quad (86)$$

Постоянный множитель k_3 опредѣлялся согласно выраженія (78) по слѣдующимъ даннымъ: площадь полнаго открытія окна f_0 , изображеннаго на черт. 43 и 44, стр. 141, была найдена планиметрированіемъ $f_0 = 63,5$ см.²; h_0 есть высота ординаты, выражающей f_0 для этого окна на черт. 45; $\alpha = 0,7$.

Среднюю высоту, ординату h , мы получили точно такимъ же путемъ, какъ и для окна e , при чемъ углы β_3 находились въ зависимости отъ толщины прокладки r , а углы β_3'' по индикаторнымъ діаграммамъ рабочаго цилиндра; при этомъ оба угла отрицательны, соотв. моменты оба лежатъ до мертвой точки. Величина угла β_3'' зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: числа оборотовъ n и толщины прокладки r ; чѣмъ боль-

ше n , тѣмъ β_3'' меньше, ближе къ мертвой точкѣ оканчивается выпускъ; такъ же влияетъ и величина прокладки: тѣмъ она больше, тѣмъ меньше уголъ β_3'' .

Таблица 24.

1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
№ опыта	углы повор. кривош. въ °			среднее	избыт.	средн.							
	начало	начало	конецъ	открыт	давлен.	скорос.							
	откр.	выпуск	выпуск	h	p_3	w_3							
	β_3	β_3'	β_3''	мм.	кг./см. ²	мт./сек.							
							37	70	62	44	16,5	1,47	214
							38	70	62	44	16,5	1,47	210
							39	70	63	46	15,0	1,37	229
							40	70	63	46	15,0	1,42	233
							41	64	55	35	17,0	1,47	210
							42	64	55	35	17,0	1,46	210
1	67	58	34	20,6	1,40	286	43	67	61	36	19,8	1,27	232
2	67	57	34	20,6	1,38	295	44	67	61	39	17,3	1,38	282
3	67	59	37	18,7	1,27	220	45	67	60	36	19,8	1,38	245
4	67	59	37	18,7	1,27	219	46	67	57	35	21,0	1,52	284
5	70	63	41	19,3	1,44	259	47	64	57	35	17,0	1,52	283
6	70	63	42	18,5	1,44	278	48	64	54	32	19,0	1,52	295
7	70	61	37	22,4	1,44	248	49	64	54	27	21,7	1,52	266
8	70	61	37	22,4	1,44	247	50	64	58	38	18,0	1,30	216
9	70	61	36	23,0	1,51	228	51	64	57	38	18,0	1,42	229
10	70	61	36	23,0	1,41	230	52	64	57	38	18,0	1,46	230
11	70	61	37	22,4	1,51	240	53	64	57	38	18,0	1,46	347
12	70	61	37	22,4	1,38	250	54	70	61	38	21,0	1,58	322
13	70	61	36	23,0	1,41	244	55	70	63	40	20,0	1,52	265
14	70	61	37	22,4	1,41	254	56	70	64	40	20,0	1,52	270
15	70	58	35	23,5	1,41	317	57	70	63	40	20,0	1,52	276
16	70	58	35	23,5	1,41	312	58	70	63	40	20,0	1,52	276
17	70	62	42	18,5	1,24	196	59	72,5	61	43	24,7	1,56	242
18	70	62	42	18,5	1,24	194	60	72,5	61	43	24,7	1,37	247
19	70	61	39	20,5	1,24	263	61	72,5	66	43	24,7	1,55	224
20	70	61	39	20,5	1,27	259	62	72,5	62	43	24,7	1,55	277
21	70	61	39	20,5	1,25	270	63	70	62	40	20,0	1,33	334
22	70	60	39	20,5	1,25	270	64	70	61	40	20,0	1,28	318
23	70	61	39	20,5	1,33	255	65	70	61	36	23,5	1,28	325
24	70	58	37	22,4	1,33	299	66	67	57	37	18,7	1,55	303
25	70	57	37	22,4	1,33	293	67	67	56	34	20,6	1,30	264
26	70	58	37	22,4	1,38	286	68	67	55	30	23,0	1,46	258
27	70	63	44	16,5	1,38	258	69	67	59	39	17,3	1,47	275
28	70	63	43	17,5	1,58	220	70	67	59	36	19,8	1,49	254
29	70	60	39	20,5	1,58	230	71	67	59	36	19,8	1,25	296
30	70	60	39	20,5	1,38	233	72	67	59	32	22,0	1,23	295
31	70	61	40	19,3	1,44	258	73	64	57	32	17,0	1,49	295
32	70	61	40	19,3	1,26	269	74	70	62	40	19,3	1,30	313
33	70	59	38	21,0	1,46	261	75	64	57	30	17,0	1,39	254
34	70	59	38	21,0	1,38	262							
35	70	59	38	21,0	1,47	260							
36	70	59	38	21,0	1,47	276							

Кромѣ уголъ β_3 , начала открытія выпуска, мы находили еще по индикаторнымъ диаграммамъ угла β_3' , видимого начала выпуска. Однако, путемъ контрольного вычисленія скоростей w_3 по $(\beta_3' - \beta_3'')$ и соотв. h мы убѣдились, что замѣна угла β_3 угломъ β_3' не вызываетъ почти никакой разницы. Такъ какъ опредѣленіе уголъ β_3 значительно надежнѣе, чѣмъ β_3' , то при вычисленіи w_3 мы пользовались углами β_3 ; углы β_3' приведены въ таблицѣ 24 лишь для полноты картины. Кромѣ уголъ β_3 , β_3' и β_3'' , въ таблицѣ 24 указаны величина открытія h , выражающаго среднюю площадь открытія окна f въ масштабѣ 1 мм. = 1 см.², среднее избыточное давленіе p_3 выпуска въ кг./см.² и, наконецъ, вычисленные

по этимъ даннымъ и по h_3 и V величины средней скорости выпуска.

Найдемъ теперь среднюю ошибку въ опредѣленіи величины w_3 . Средняя ошибка объема V найдется по слѣдующимъ даннымъ: ошибка вса газовъ составляетъ, какъ было найдено на стр. 120, $\pm 3,65\%$; затѣмъ ошибка удѣльнаго объема v составляетъ $\pm 0,48\%$, стр. 120; ошибка величины t_4 , могущая составить 3° , т. е. при наименьшемъ t_4 около 250° , отнесенная къ $(273 + t_4)$, составитъ всего $\pm 0,57\%$; ошибка отчета барометра B составляетъ по указанному выше до 0,5 мм. или $\pm 0,07\%$. Ошибка величины $(B + 0,5p_3)$ въ знаменателѣ составитъ изъ той же ошибки $B \pm 0,07\%$; но такъ какъ B отъ всей суммы составляетъ лишь около $\frac{2}{3}$, то и его ошибка, отнесенная къ суммѣ, равняется всего $\pm 0,05\%$; ошибка величины p_3 составляетъ около 0,05 атм., что отъ $0,5 p_3$ составляетъ въ среднемъ 7% , а отъ всей суммы $\pm 2,33\%$. Полная ошибка знаменателя равна, слѣдовательно, $\sqrt{(0,05)^2 + (2,33)^2} = \pm 2,33\%$. Такимъ образомъ, ошибка всего перваго слагаемаго $v = 3,65 + 0,48 + 0,57 + 0,07 + 2,33 = \pm 7,10\%$. Ошибка второго слагаемаго: средняя ошибка G_v' по стр. 119 составляетъ $\pm 31,13\%$; ошибка G_v'' составляетъ $\pm 1,37\%$; ошибка g $\pm 1,0\%$, но такъ какъ съ вбрызгиваніемъ мы работали очень рѣдко, то ошибкой величины g , къ тому же сравнительно очень мало вліяющей на общій результатъ, можно совершенно пренебречь. Величина G_v' въ большинствѣ опытовъ составляетъ согласно таблицы 27 не болѣе 30% отъ $(G_v' + G_v'')$, исключенія составляютъ лишь опыты 49, 53 и 65; въ виду ихъ немногочисленности оставимъ ихъ въ сторонѣ, а для остальныхъ опытовъ средняя ошибка величины $(G_v' + G_v'')$ оказывается въ худшемъ случаѣ равной величинѣ $\sqrt{(31,3 \cdot 0,3)^2 + (1,37 \cdot 0,7)^2} = \pm 9,39\%$. Средняя ошибка величины удѣльнаго объема перегрѣтаго пара влѣдствіе того, что мы приняли для простоты среднее давленіе, равнымъ 1,7 атм., если считать возможными отклоненія въ $\pm 0,1$ атм., мы найдемъ по выраженію (84) слѣдующимъ образомъ: ошибка величины v'' доходитъ до 0,06 мт.³, т. е. при $v'' = 1,04$ мт.³ должна считаться $\pm 5,8\%$; средняя ошибка величины t , у насъ t_4 , по указанному выше 3° , а величины ϑ до 4° , вмѣстѣ $\sqrt{(3)^2 + (4)^2} = 5^\circ$; при $t_4 = 250$ это составитъ $\pm 3,65\%$ отъ $t - \vartheta$; ошибка P въ 1000 кгр./мт.² составляетъ $\pm 5,89\%$, вся ошибка второго слагаемаго $3,65 + 5,89 = 9,54\%$; относительныя вліянія перваго и второго слагаемаго выражаются коэффициентами 0,45 и 0,55, слѣдовательно, суммарная ошибка $v = \sqrt{(5,8 \cdot 0,45)^2 + (9,5 \cdot 0,55)^2} = \pm 5,84$. Вся ошибка объема пара равняется, слѣдовательно, $9,39 + 5,84 = \pm 15,23\%$.

Въ виду бѣльшей % ошибки второго слагаемаго въ выраженіи (86) для надежности примемъ его вліяніе равнымъ наибольшему изъ всѣхъ опытовъ; для большинства опытовъ оно не превосходитъ 10% отъ V ; наибольшее же значеніе $12,5\%$. Тогда вся ошибка величины V

$$v = \sqrt{(8,1 \cdot 0,875)^2 + (15,23 \cdot 0,125)^2} = \pm 7,33.$$

Возможная ошибка множителя k_3 по прежнему $\pm 10\%$. Возможная ошибка величины h была найдена около $\pm 2\%$. Точность измѣренія угла β_3 составляетъ около $0,5^\circ$, а угла β_3'' при измѣреніи его по смѣщенной діаграммѣ около 1° ; средняя ошибка ихъ разности $\sqrt{(0,5)^2 + (1)^2} = \pm 1,12^\circ$, а отнесенная къ наименьшей разности $\beta_3'' - \beta_3$, составляющей согласно таблицы 24 около 28, даетъ $\nu = 4,00\%$. Такимъ образомъ полная средняя ошибка величины w_3

$$\nu = 7,33 + 10,0 + 2,0 + 4,00 = \pm 23,33. \quad (87)$$

Какъ видимъ, точность нахождения величины w_3 должна быть признана довольно неудовлетворительной. Причина по прежнему лежитъ главнымъ образомъ въ неопредѣленности величины α , а затѣмъ въ многочисленности наблюдений и вычислений, необходимыхъ для нахождения часового объема V . Для сравненія отдѣльныхъ опытовъ между собой точность немного больше, вслѣдствіе отпаденія вліянія величины α , именно тогда $\nu = 13,33\%$.

25. Опредѣленіе другихъ характеристикъ опыта.—Теперь остается еще сказать нѣсколько словъ объ остальныхъ числахъ, полученныхъ нами при обработкѣ опытовъ и приведенныхъ въ таблицѣ 27. Числа эти тоже характеризуютъ работу машины, и нѣкоторыя, какъ расходъ горючаго на 1 л. с., приводится обычно въ отчетахъ объ испытаніяхъ машинъ, другія, какъ расходъ воздуха на 1 кгр. горючаго имѣютъ общій интересъ, хотя обыкновенно и не вычисляются, и, наконецъ, такія числа, какъ подача воздуха и характеристики продувки имѣютъ особый интересъ, такъ какъ даютъ матеріалъ для отвѣта на поставленные нами основные вопросы, ради которыхъ главнымъ образомъ и были предприняты наши опыты.

Расходъ керосина на 1 л. с. Сами по себѣ эти цифры имѣютъ очень большой интересъ, не только теоретическій, но и, главнымъ образомъ, чисто практическій. Къ сожалѣнію, вслѣдствіе неисправнаго дѣйствія форсунки онѣ сопряжены у насъ съ довольно значительной ошибкой. Именно, если за основу брать дѣйствительно измѣренный расходъ k_1 кгр./час., то возможна ошибка, равная примѣрно величинѣ невязки теплого баланса, столбецъ 24 таблицы 28; величина этой невязки доходитъ до $+44\%$. Нѣсколько благопріятнымъ обстоятельствомъ является то, что невязка у насъ всегда положительна, слѣдовательно, найдя по k_1 величину c въ гр./л. с. час., мы можемъ быть увѣрены, что дѣйствительный расходъ c' былъ менѣе c , и послѣдній является лишь его наивысшимъ предѣломъ. Вычислять c по расходу керосина k_4 , найденному по исправленному тепловому балансу, мы считали бесполезнымъ, такъ какъ для практики важенъ не тотъ расходъ, который машина могла бы обнаружить, если бы она была въ полной исправности, у насъ имѣла бы исправно дѣйствующую форсунку, а тотъ, съ которымъ она дѣйствительно работала.

Числа $c_e = k_1/N_e$ и $c_i = k_1/N_i$ приведены въ столбцахъ 23 и 24 таблицы 28.

Расходъ тепла на 1 л. с. Въ виду различныхъ теплопроизводительностей горючихъ при болѣе научномъ изслѣдованіи работы предпочитаютъ вычислять расходъ не горючаго, а прямо тепла на 1 дѣйствительную или индикаторную лошадиную силу.

Такъ какъ обѣ эти цифры имѣютъ скорѣе теоретическій интересъ, то мы вычисляли ихъ какъ для дѣйствительнаго количества тепла Q , такъ и по теплу Q' исправленнаго теплового баланса, столбцы 5 и 6 таблицы 28 и столбцы 4 и 5 таблицы 29.

Что касается точности величинъ Q/N_e и Q/N_i , то ее бесполезно вычислять, разъ невязка теплового баланса, т. е. величины Q доходитъ до 44%. Точность величинъ Q'/N_i и Q'/N_e можетъ быть вычислена слѣдующимъ образомъ: средняя ошибка величины Q' равна $\pm 2,87\%$, ур-іе (62), стр. 127; средняя ошибка величины N_i равна по ур-ію (18), стр. 106, всего $\pm 3,10\%$; средняя ошибка величины N_e равна по ур-ію (14), стр. 104, всего $\pm 0,82\%$. Такимъ образомъ, средняя ошибка величины Q'/N_i составляетъ $2,87 + 3,10 = \pm 5,97\%$, а величины $Q'/N_e = 2,87 + 0,82 = \pm 3,69\%$.

Расходъ воздуха на 1 кгр. керосина. Для оцѣнки условій горѣнія и сравненія съ теоретически необходимымъ количествомъ у насъ вычисленъ расходъ воздуха въ мт.³ на 1 кгр. керосина по k_1 .

Для болѣе правильнаго сравненія объемъ воздуха мы относили къ нормальному давленію $B=787,4$ и $t=15^\circ$ Ц., и брали воздухъ сухой, безъ влаги, увлекавшейся изъ часовъ, т. е. пользовались выраженіемъ

$$L = (L_0\gamma - G_v') 0,8418. \quad (91)$$

Величины L указаны въ столбцѣ 30 таблицы 26.

Средняя ошибка отношенія L/k_1 , столбецъ 26 таблицы 27, очевидно, равна: для числителя, по стр. 131, $\pm 3,62\%$, а для знаменателя, по стр. 111, всего $\pm 0,56\%$, а всего $\pm 4,18\%$.

Отношенія L/k_1 мы не вычисляли, такъ какъ оно почти пропорціо-нально L/k_1 , будучи въ среднемъ на 20% больше его.

Подача воздушнаго насоса. При подсчетѣ объема воздуха, подаваемого насосомъ за 1 ходъ, надо брать, конечно, объемъ воздуха L_0 , измѣренный непосредственно по часамъ, такъ какъ нельзя ставить въ вину насосу болѣе высокую температуру всасываемаго воздуха, чѣмъ нормальная $+15^\circ$ Ц., или болѣе низкое давленіе барометра, и наоборотъ, не говоря уже о присутствіи извѣстнаго количества водяныхъ паровъ въ воздухѣ, засасываемомъ черезъ воздушные мокрые часы.

Хотя средняя подача воздуха въ литр. на 1 ходъ даетъ достаточную точку опоры для сравненія работы насоса при различныхъ условіяхъ, но нагляднѣе вычислить для этого такъ называемую дѣйствительную объемную подачу насоса λ_0 , т. е. отношеніе дѣйствительно засосаннаго объема къ теоретическому. За теоретическій объемъ принято считать объемъ, описываемый поршнемъ, равный для нашей машины 9,74 литр., стр. 16. Такимъ образомъ получаемъ, имѣя въ виду, что

объемъ воздуха L_0 выраженъ въ мт.³, а $V_x=9,74$ лтр., и чтобы выразить λ_0 въ %, умножая выраженіе ея на 100.

$$\lambda_0 = \frac{1000.L_0.100}{60.n.9,74} = \frac{171,2 L_0}{n}. \quad (92)$$

Это λ_0 даетъ масштабъ для абсолютной оцѣнки дѣйствія насоса. Для сравненія же отдѣльныхъ опытовъ между собой нельзя упускать изъ виду, во-первыхъ, что конструкція нашего насоса съ распределеніемъ кромками поршня такова, что даже въ случаѣ отсутствія вреднаго пространства и сопротивленій теоретическая подача отнюдь не можетъ достигнуть 1, и, во-вторыхъ, что объемъ воздуха, который теоретически можетъ быть засосанъ насосомъ, величина переменная, зависящая отъ толщины прокладки r подъ шатуномъ. Вслѣдствіе измѣненія момента закрытія всасывающаго окна e кромкой поршня мы имѣемъ для различныхъ примѣнявшихся прокладокъ слѣдующіе теоретическіе объемы всасыванія V_x' : при прокладкѣ въ 5 мм. 8,69 лтр., при 10 мм.—8,50 лтр., при 15 мм.—8,30 лтр. и при 20 мм.—8,11 лтр.

Однако, разъ мы принимаемъ во вниманіе окно e , то надо принять во вниманіе также и перенусное окно g , тогда объемъ, описываемый поршнемъ между этими окнами, получается величиной постоянной, именно $V_x'=7,10$ лтр..

Такимъ образомъ мы вычисляли, если такъ можно выразиться, наибольшую полезную объемную подачу, еще по второму выраженію

$$\lambda_0' = \frac{1000.L_0.100}{60.n.7,10} = \frac{234,9.L_0}{n}.$$

Что касается степени точности величинъ (92) и (93), то она можетъ быть вычислена на основаніи слѣдующихъ данныхъ: средняя ошибка величины L_0 была уже найдена выше, стр. 119, $\pm 3,08\%$; ошибка величины $n \pm 0,08\%$, стр. 104; ошибка величины $V_x=9,74$ по стр. 16 равна $\pm 0,08\%$; такимъ образомъ ошибка величины λ_0

$$\nu = 3,08 + 0,08 + 0,08 = \pm 3,24\%. \quad (94)$$

Для нахождения средней ошибки величины λ_0' надо знать ошибку величины V_x' , которая можетъ быть найдена, если обратить вниманіе, какимъ образомъ получается V_x' , именно

$$V = V_x - e \cdot \pi \cdot D^2 \cdot 4.1000000,$$

гдѣ e разстояніе въ мм. хода поршня при разныхъ прокладкахъ отъ мертваго положенія до закрытія окна e , и отъ другого мертваго положенія до закрытія окна g , D діаметръ цилиндра въ мм.; среднюю ошибку величины e можно считать равной 0,5 мм. съ каждой стороны, т. е. всего $0,5 \cdot \sqrt{2} = \pm 0,71$ мм., при $e=46$ находимъ его среднюю ошибку $\pm 1,55\%$; ошибка величины D^2 составляетъ, стр. 16, $0,02 \times 2 = 0,04$, а ихъ общая ошибка $1,55 + 0,04 = \pm 1,59\%$. Абсолютно второй членъ, вычитаемое, равенъ 2,64 лтр., относя же ошибку его къ разности, имѣемъ уже $1,59 \cdot 2,64 / 7,10 = 0,59\%$; ошибка V_x , отнесенная тоже къ разности,

равна $0,08 \cdot 9,74/7,10 = 0,11\%$; суммарная средняя ошибка равна $\sqrt{(0,59)^2 + (0,11)^2} = \pm 0,60\%$. Такимъ образомъ получаемъ среднюю ошибку величины λ_0'

$$\nu' = 3,08 \pm 0,08 \pm 0,60 = \pm 3,76\%_0. \quad (95)$$

Относительная величина работы заряженія ξ . Судить о работѣ заряженія можно или по индикаторному давленію въ насосѣ p_1' , столбецъ 10 таблицы 27, или по работѣ насоса N_1' , столбецъ 11; но все же эти двѣ величины не даютъ достаточно ясной картины, особенно для сравненія между собой опытовъ, происходившихъ въ различныхъ условияхъ; для этой цѣли очень удобно выразить работу N_1' въ доляхъ работы машины N_1 , именно

$$\xi = N_1'/N_1. \quad (96)$$

Вычисленные такимъ образомъ величины ξ , столбецъ 12, позволяютъ судить съ увѣренностью, какъ вліяютъ на работу заряженія такіе факторы, какъ измѣненіе числа оборотовъ n , объема задней полости V_1 и величина открытія окна e .

О точности величины ξ можно судить слѣдующимъ образомъ: среднюю ошибку ξ можно бы найти просто въ видѣ суммы ошибокъ N_1 и N_1' , выражений (18) и (20), т. е.

$$\nu = 3,10 + 5,95 = \pm 9,05\%_0. \quad (97)$$

Однако точнѣе вычислять среднюю ошибку, принявъ во вниманіе значенія величинъ N_1 и N_1' ; именно, подставляя для нихъ выраженія (17) и (19) и произведя сокращеніе, получаемъ

$$\xi = \frac{p_1' \cdot n}{p_1(n-i)}.$$

Среднія ошибки величинъ p_1 и p_1' , $n-i$ и n были найдены выше, стр. 106 и 108, соотв. $\pm 1,95$, $\pm 5,79$, $\pm 1,07$ и $\pm 0,08\%$; тогда ошибка величины ξ

$$\nu = 1,95 + 1,07 + 5,79 + 0,08 = \pm 8,89. \quad (98)$$

Въ данномъ случаѣ разниа между величиной (98) и (97) невелика, но въ другихъ случаяхъ вычисленіе ошибки по примѣру выраженія (96) можетъ вызвать и замѣтное преувеличеніе средней ошибки.

Характеристики продувки. Произведя анализы пробъ отработавшихъ газовъ, взятыхъ при помощи дифференціатора, мы получаемъ рядъ чиселъ, по которымъ можно судить объ измѣненіи состава газовъ за періодъ выпуска, происходящаго одновременно съ продувкой цилиндра воздухомъ. Измѣненіе состава происходитъ такимъ образомъ, что содержаніе CO_2 постепенно уменьшается, а содержаніе O_2 возрастаетъ. Однако числа, получаемыя изъ анализа, очень ненаглядны, какъ видно по табл. 25, стр. 156, въ которой они собраны, чтобы не затемнять основной табл. 26 и безъ того довольно громоздкой. Кромѣ того, что особенно важно, числа таблицы 25 не позволяютъ производить сравненія разныхъ опытовъ между собой, такъ какъ вслѣдствіе различнаго среднего состава продуктовъ горѣнія близкія по абсолютной величинѣ $\% \text{CO}_2$ или O_2 могутъ означать все же различныя явленія.

Таблица 25.

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
№ опыта	№ отверстия	содержаніе отработавшихъ газовъ по анализу				характеристики продувки по									
		CO ₂	O ₂	CO	N ₂	CO ₂	O ₂								
		°/о	°/о	°/о	°/о	ψ ₁	ψ ₂								
1	1	(2,9)	(14,3)	0,4	82,4			17	1	(3,9)	(14,2)	0,2	81,7	87	29
	2	6,5	10,7	0,6	82,2				2	6,5	11,8	0,4	81,3		
	3	5,7	11,2	0,7	82,4				3	5,5	12,6	0,5	81,4		
	4	4,1	13,1	0,3	82,5				4	3,8	14,3	0,3	81,6		
	5	2,6	14,7	0,1	82,6				5	2,5	15,8	0,0	81,7		
	средн.	4,73	12,43						средн.	4,58	13,63				
2	1	(3,0)	(14,6)	0,1	82,3			21	1	(2,7)	(15,2)	0,2	81,9	86	31
	2	6,4	11,0	0,3	82,3				2	6,8	11,1	0,5	81,6		
	3	5,6	11,7	0,3	82,4				3	6,0	12,0	0,5	81,5		
	4	3,9	13,4	0,2	82,5				4	4,1	13,8	0,3	81,8		
	5	2,6	14,9	0,0	82,5				5	2,6	15,1	0,2	82,1		
	средн.	4,63	12,75						средн.	4,88	13,00				
3	2	6,6	10,9	0,4	82,1			24	2	6,9	10,4	0,6	82,1	80	31
	3	5,4	12,0	0,4	82,2				3	6,3	10,8	0,8	82,1		
	4	3,4	13,5	0,2	81,9				4	4,4	13,0	0,3	82,3		
	5	2,7	14,9	0,1	82,3				5	2,8	14,2	0,3	82,7		
	средн.	4,53	12,83						средн.	5,10	12,10				
5	2	6,6	10,9	0,4	82,1			28	2	6,7	11,1	0,3	81,9	76	29
	3	5,4	12,0	0,4	82,2				3	5,7	12,1	0,3	81,9		
	4	3,4	13,5	0,2	81,9				4	4,1	13,4	0,3	82,2		
	5	2,7	14,9	0,1	82,3				5	3,0	14,8	0,1	82,1		
	средн.	4,63	12,75						средн.	4,88	12,80				
7	2	6,6	10,9	0,4	82,1			30	2	8,0	9,9	0,2	81,9	66	29
	3	5,4	12,0	0,4	82,2				3	7,3	10,8	0,3	81,6		
	4	3,4	13,5	0,2	81,9				4	5,0	12,8	0,2	82,0		
	5	2,7	14,9	0,1	82,3				5	4,0	13,3	0,1	82,6		
	средн.	4,53	12,83						средн.	6,08	11,70				
9	1	(2,5)	(15,7)	0,1	81,7			32	2	8,0	9,4	0,2	82,4	51	27
	2	6,0	11,8	0,5	81,7				3	7,4	9,8	0,2	82,6		
	3	4,8	13,2	0,4	81,6				4	5,9	11,4	0,1	82,6		
	4	3,0	15,0	0,2	81,8				5	4,7	12,3	0,1	82,9		
	5	2,4	16,0	0,0	81,6				средн.	6,50	10,68				
11	2	6,0	11,7	0,5	81,8			34	2	8,0	9,6	0,3	82,1	60	28
	3	5,2	12,8	0,4	81,6				3	7,6	9,9	0,3	82,2		
	4	3,7	14,4	0,3	81,6				4	5,1	12,1	0,4	82,4		
	5	2,2	15,9	0,1	81,8				5	4,2	12,7	0,1	83,0		
	средн.	4,28	13,70						средн.	6,23	11,05				
13	2	5,9	11,9	0,4	81,8			36	2	9,0	8,6	0,3	82,1	52	27
	3	5,2	12,9	0,3	81,6				3	8,3	9,3	0,2	82,2		
	4	3,9	14,6	0,1	81,4				4	6,9	10,2	0,2	82,7		
	5	2,1	16,0	0,0	81,9				5	5,2	11,3	0,1	83,4		
	средн.	4,28	13,85						средн.	7,35	9,85				
13	2	6,1	11,8	0,4	81,7			38	2	7,9	9,6	0,2	82,3	55	28
	3	5,3	12,7	0,3	81,7				3	7,1	10,3	0,2	82,4		
	4	4,1	14,3	0,1	81,5				4	5,7	11,6	0,1	82,6		
	5	2,1	15,9	0,1	81,9				5	4,4	12,7	0,0	82,9		
	средн.	4,40	13,68						средн.	6,33	11,05				
13	2	6,6	11,4	0,3	81,7			40	2	7,5	8,7	1,2	82,6	53	28
	3	5,6	12,6	0,2	81,6				3	6,7	9,1	1,5	82,7		
	4	4,3	14,2	0,1	81,4				4	5,8	10,3	1,0	82,9		
	5	2,3	15,6	0,2	81,9				5	4,3	11,5	0,5	83,7		
	средн.	4,70	13,45						средн.	6,08	9,90				

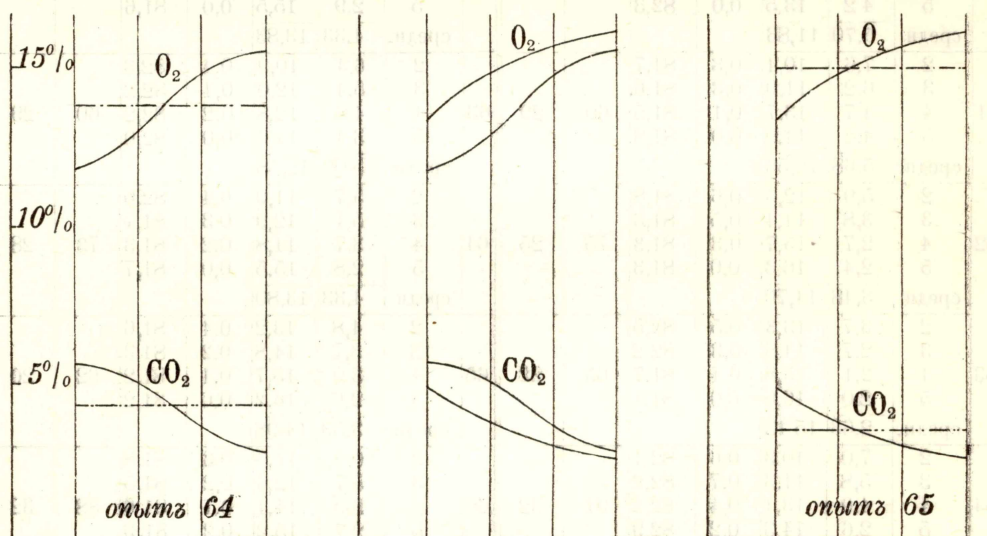
Таблица 25, продолженіе.

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
43	2	5,2	13,0	0,4	81,4	84	25	56	2	6,6	11,6	0,5	81,3	86	30
	3	4,4	13,9	0,3	81,4				3	5,2	13,2	0,3	81,3		
	4	3,1	15,3	0,2	81,4				4	3,0	15,4	0,3	81,3		
	5	2,1	16,7	0,0	81,2				5	2,8	15,8	0,0	81,4		
	средн.	3,70	14,73						средн.	4,40	14,00				
44	2	7,2	10,8	0,4	81,6	80	31	58	2	5,5	12,4	0,4	81,7	78	25
	3	6,0	12,0	0,4	81,6				3	3,9	14,2	0,3	81,6		
	4	3,6	14,5	0,1	81,8				4	2,9	15,8	0,1	81,2		
	5	3,2	14,8	0,1	81,9				5	2,6	16,1	0,0	81,3		
	средн.	5,00	13,03						средн.	3,73	14,63				
45	2	6,9	11,1	0,3	81,7	81	30	59	2	6,4	11,0	0,5	82,1	74	29
	3	5,9	12,0	0,3	81,8				3	5,4	11,8	0,5	82,3		
	4	3,5	14,8	0,2	81,5				4	4,1	13,2	0,4	82,3		
	5	3,0	15,1	0,0	81,9				5	2,9	14,7	0,0	82,4		
	средн.	4,83	13,40						средн.	4,73	12,68				
47	2	7,0	11,3	0,2	81,5	71	27	60	2	6,7	10,6	0,4	82,3	76	31
	3	6,3	11,8	0,3	81,6				3	5,7	11,5	0,4	82,4		
	4	5,0	13,0	0,2	81,8				4	4,1	13,1	0,3	82,5		
	5	3,2	14,7	0,0	82,1				5	3,0	14,4	0,0	82,6		
	средн.	5,38	12,70						средн.	4,88	12,40				
48	2	7,5	9,2	0,4	82,9	55	30	61	2	6,7	10,9	0,5	81,9	73	29
	3	6,8	9,9	0,3	83,0				3	5,3	12,2	0,3	82,2		
	4	5,2	11,7	0,1	83,0				4	4,0	13,9	0,1	82,0		
	5	4,2	12,4	0,2	83,2				5	3,2	14,6	0,0	82,2		
	средн.	5,93	10,6						средн.	4,80	12,90				
50	2	7,8	9,9	0,2	82,1	63	30	62	2	6,2	11,8	0,4	81,6	76	27
	3	6,4	10,9	0,3	82,4				3	4,7	13,2	0,4	81,7		
	4	4,8	13,0	0,2	82,0				4	3,5	14,8	0,3	81,4		
	5	4,2	13,5	0,0	82,3				5	2,9	15,5	0,0	81,6		
	средн.	5,70	11,83						средн.	4,33	13,83				
51	2	7,6	10,4	0,3	81,7	60	29	63	2	6,4	10,9	0,4	82,3	60	29
	3	6,2	11,9	0,3	81,6				3	5,4	12,0	0,4	82,2		
	4	4,7	13,7	0,1	81,5				4	4,8	12,8	0,2	82,2		
	5	4,2	14,0	0,0	81,8				5	3,4	14,6	0,0	82,0		
	средн.	5,68	12,56						средн.	5,00	12,58				
52	2	5,0	12,6	0,6	81,8	75	25	64	2	5,7	11,9	0,4	82,0	73	28
	3	3,8	14,4	0,5	81,3				3	5,1	12,9	0,3	81,7		
	4	2,7	15,7	0,3	81,3				4	3,7	14,8	0,2	81,3		
	5	2,4	16,3	0,0	81,3				5	2,8	15,5	0,0	81,7		
	средн.	3,48	14,70						средн.	4,33	13,80				
53	2	3,7	13,3	0,5	82,5	65	22	65	2	4,8	13,2	0,4	81,6	62	20
	3	2,7	14,8	0,3	82,2				3	3,7	14,8	0,2	81,3		
	4	2,1	15,8	0,4	81,7				4	3,0	15,7	0,1	81,2		
	5	2,0	16,6	0,0	81,4				5	2,6	16,2	0,0	81,2		
	средн.	2,63	15,13						средн.	3,53	14,98				
54	2	7,0	10,3	0,6	82,1	91	32	66	2	6,9	11,0	0,3	81,8	88	32
	3	5,8	11,3	0,7	82,2				3	5,7	12,6	0,2	81,5		
	4	4,0	13,4	0,4	82,2				4	3,9	14,4	0,1	81,6		
	5	2,6	14,3	0,2	82,9				5	2,7	15,2	0,2	81,9		
	средн.	4,85	12,33						средн.	4,80	13,30				
55	2	7,0	10,7	0,4	81,9	104	41	67	2	7,5	10,7	0,4	81,9	89	32
	3	5,6	12,7	0,4	81,3				3	5,9	11,6	0,3	82,2		
	4	3,6	15,0	0,2	81,2				4	4,3	13,9	0,1	81,7		
	5	2,2	16,3	0,1	81,4				5	2,9	14,2	0,0	82,9		
	средн.	4,60	13,68						средн.	5,15	12,53				

Таблица 25, продолженіе.

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
68	2	6,5	11,5	0,4	81,6			71	1	(4,5)	(13,4)	0,2	81,9		
	3	5,4	12,5	0,4	81,7				2	7,2	11,2	0,3	81,3		
	4	4,1	14,8	0,1	81,0	81	30		3	6,2	11,9	0,4	81,5	79	30
	5	2,7	15,6	0,0	81,7				4	5,0	13,2	0,2	81,6		
	средн.	4,73	13,60						5	3,0	15,1	0,0	81,9		
69	2	8,0	10,2	0,4	81,4			73	средн.	5,35	12,85				
	3	6,0	12,0	0,3	81,7				2	7,2	9,5	0,3	83,0		
	4	3,6	14,7	0,1	81,6	92	36		3	6,9	9,7	0,2	83,2		
	5	3,2	14,9	0,0	81,9				4	5,1	11,0	0,2	73,7	63	29
	средн.	5,20	12,95						5	3,6	12,6	0,0	83,8		
70	2	5,9	11,8	0,4	81,9			75	средн.	5,10	10,70				
	3	5,0	13,1	0,3	81,6				2	5,8	11,5	0,5	82,2		
	4	3,7	14,7	0,2	81,4	85	32		3	5,1	12,3	0,4	82,2		
	5	2,3	16,2	0,0	81,5				4	3,5	13,9	0,3	82,3	77	28
	средн.	4,23	13,95						5	2,5	15,3	0,0	82,2		

Для сравненія намъ важны числа, указывающія не составъ газа, а законъ измѣненія состава. Такія числа можно было бы получить, напр., приравнивая содержаніе CO_2 и O_2 въ пробѣ изъ 2-го, начальнаго, отверстия каждаго опыта единицѣ; тогда убывающія правильныя дроби, получающіяся отъ дѣленія % содержанія CO_2 въ пробахъ изъ слѣдующихъ отверстій на % содержаніе CO_2 изъ 2-го отверстия, и возрастающія числа нѣсколько больше единицы, получающіяся такимъ же способомъ для O_2 , позволяютъ судить о законѣ измѣненія состава во время продувки. Недостатокъ такого способа—ненаглядность получающихся цифръ.



Черт. 46

Второй способъ, который мы хотѣли было примѣнить, это графическое изображеніе измѣненій содержанія CO_2 и O_2 . Примѣръ такого графическаго изображенія данъ на черт. 46 для опытовъ 64 и 65. По осямъ

ординатъ отложено % содержаніе CO_2 и O_2 , по осямъ абсциссъ равныя промежутки, изображающіе хотя бы разстоянія по времени между пробами изъ послѣдовательныхъ отверстій 2—5. Надписями отмѣчены кривыя соотв. опытовъ. Черт. 46 обнаруживаетъ сразу достоинства и недостатки этого способа: способъ очень наглядный, но для сравненія кривыя должны быть наложены другъ на друга, тогда, средняя часть черт. 46, ясно видно, что продувка сжатымъ воздухомъ, опытъ 65, вызываетъ вихревыя движенія и даетъ подъ конецъ продувки несмотря на большее количество продувочнаго воздуха зарядъ съ большимъ содержаніемъ CO_2 , т. е. продуктовъ горѣнія. Разсмотрѣніе же кривыхъ отдѣльно, лѣвая и правая часть черт. 46, этой картины не обнаруживаютъ совсѣмъ. Разумѣется, наложеніе другъ на друга кривыхъ 75 опытовъ, или даже хотя бы 46, при которыхъ удалось взять пробы при помощи дифференціатора, невозможно, и потому мы отказались и отъ этого способа, несмотря на его достоинство наглядности.

Способъ, которымъ мы рѣшили воспользоваться, состоитъ въ вычисленіи отношенія разности между наибольшимъ и наименьшимъ содержаніемъ соотв. газа, т. е. пробъ изъ отверстій 2 и 5, къ среднему содержанію его изъ всѣхъ 4 отверстій. Если обозначить содержаніе напр. CO_2 въ % изъ 2-го отверстія буквой a , изъ 3-го— b , изъ 4-го— c и 5-го— d , то характеристика ψ вычисляется въ видѣ

$$\psi = \frac{4(a-d)}{a+b+c+d}. \quad (99)$$

Понятно, при такомъ способѣ законъ измѣненія содержанія CO_2 и O_2 предполагается въ видѣ наклонной прямой; хотя это и не вполне соответствуетъ дѣйствительности, какъ видно по черт. 46 и по числамъ таблицы 25, но допустимо, особенно, если принять во вниманіе, что разница во времени между прохожденіемъ золотника дифференціатора мимо послѣдовательныхъ отверстій намъ, строго говоря, даже неизвѣстна и въ зависимости отъ вытяжки шнура золотника и его длины даже и не можетъ быть опредѣлена со сколько нибудь значительной точностью, такъ что и принятіе разстояній между отверстіями на черт. 46 тоже не больше, какъ первое грубое приближеніе. Хотя значеніе чиселъ анализа пробъ изъ отверстій 3 и 4 такимъ образомъ какъ-бы нѣсколько уменьшается или даже теряется, но все же они очень нужны, такъ какъ позволяютъ судить о ходѣ измѣненія состава газовъ и являются надежнымъ контролемъ правильности забора и анализа всѣхъ 4 пробъ.

Ради удобства занесенія характеристики ψ въ таблицу 27 мы умножали выраженіе (99) на 100, т. е. вычисляли ψ въ % по выраженію

$$\psi = \frac{400(a-d)}{a+b+c+d}. \quad (100)$$

Этимъ мы избѣгаемъ запятыхъ въ десятичныхъ дробяхъ болѣе единицы и нулей въ дробяхъ менѣе единицы.

Вычисленныя по выраженію (100) характеристики ψ_1 для CO_2 и ψ_2 для O_2 представлены въ столбцахъ 29 и 30 таблицы 27. Измѣненіе CO слишкомъ мало, и нахожденіе его при помощи анализа пипетками Гемпеля слишкомъ неточно, чтобы стоило вычислять какую нибудь характеристику еще и для него, тѣмъ болѣе, что CO_2 и O_2 рисуютъ картину достаточно наглядно.

Какое же значеніе найденныхъ нами ψ_1 и ψ_2 ? Чѣмъ онѣ абсолютно меньше, тѣмъ меньше относительное измѣненіе состава для даннаго опыта, тѣмъ сильнѣе происходитъ перемѣщиваніе продуктовъ горѣнія съ врывающимся сжатымъ воздухомъ, тѣмъ хуже происходитъ процессъ удаленія отработавшихъ газовъ. Наоборотъ, чѣмъ ψ_1 и ψ_2 больше, тѣмъ больше измѣненіе состава выходящихъ газовъ, тѣмъ лучше дѣйствуетъ продувка.

Что касается степени точности величинъ ψ_1 и ψ_2 , то хотя ихъ можно вычислить по величинамъ a и b , вѣрнѣе по среднимъ ошибкамъ ихъ опредѣленія, но дѣлать этого не стоитъ по слѣдующему соображенію: при различныхъ числахъ оборотовъ и прокладкахъ r подъ шатунъ, а также и длинѣ шнура золотника, отверстія 2 и 5, которыя по нашему предположенію должны соответствовать наибольшимъ и наименьшимъ содержаніямъ CO_2 и O_2 , въ дѣйствительности, конечно, не соответствуютъ этимъ моментамъ и притомъ на разныя, не поддающіяся вычисленію величины.

Примѣрно на глазъ по нѣкоторымъ соображеніямъ и подсчетамъ можно оцѣнить эту точность около $\pm 10\%$. Впрочемъ, для качественнаго сужденія о характерѣ выполаскиванія эта точность очень удовлетворительна.

Объ остальныхъ числахъ, собранныхъ въ таблицахъ 26—29, мы не распространяемся, такъ какъ они достаточно понятны по заголовкамъ таблицъ.

ГЛАВА IV.

Результаты опытов.

26. Работа насоса. — Начнемъ съ изслѣдованія вліянія на работу воздушнаго насоса различныхъ измѣнявшихся во время опытовъ условій.

Измѣненіе объема V_3 . Даже безъ опытовъ, заранѣе можно было предвидѣть, что наибольшее вліяніе окажетъ измѣненіе объема V_3 задней кривошипной полости. Измѣненіе это, производимое прибавленіемъ указанныхъ выше, стр. 17, колпачковъ t_1 и t_2 съ объемами $V_1=19,47$ и $V_2=21,17$ лтр., въ сущности сводится къ увеличенію объема вреднаго пространства насоса. Такое увеличеніе въ свою очередь даетъ уменьшеніе объемной подачи насоса λ , опредѣляемой по индикаторной діаграммѣ насоса. Зависимость λ отъ величины вреднаго пространства можетъ быть выражена уравненіемъ

$$\lambda = 1 - \alpha \left[\frac{V_4}{V_x} - 1 \right],^{63)} \quad (101)$$

гдѣ α есть относительная величина вреднаго пространства, т. е. отношеніе объема вреднаго пространства V_0 къ объему, описываемому поршнемъ, V_x , $\alpha = V_0/V_x$, а V_4 объемъ воздуха въ концѣ расширенія его во вредномъ пространствѣ, т. е. въ моментъ начала всасыванія. Въ компрессорахъ нормальнаго типа α обычно колеблется отъ 0,01 до 0,05 въ зависимости отъ распредѣлительныхъ органовъ.

Для нашего насоса вопросъ объ опредѣленіи величины α осложняется тѣмъ обстоятельствомъ, что на первый взглядъ нѣсколько затруднительно сказать съ увѣренностью, какую величину правильнѣе считать за объемъ, описываемый поршнемъ. Въ зависимости отъ принятія той или иной величины для V_x мѣняется и величина V_0 , у насъ V_3 , что опять таки отзывается на величинѣ α .

Въ качествѣ величины V_x можно, во-первыхъ, принять просто полный объемъ, описываемый поршнемъ, $V_x=9,74$ лтр.. Во-вторыхъ, можно принять во вниманіе, что части хода поршня, пока открыто всасывающее окно e и перепускное окно g , являются бесполезными, тогда получаемъ $V_x'=7,10$ лтр., какъ указано на стр. 154. Въ зависимости отъ того, какую величину мы будемъ считать за объемъ, описываемый порш-

⁶³⁾ см. напр. Малѣевъ, Техническая термодинамика. Томскъ 1907, стр. 111.

немъ, V_x или V_x' , будетъ мѣняться и величина V_z ; кромѣ того для $V_x = 9,74$ лтр. она будетъ еще мѣняться въ зависимости отъ толщины прокладки r подъ шатунъ; для случая $V_x' = 7,10$ лтр. объемъ вреднаго пространства, очевидно, отъ величины r не зависитъ.

Относительная величина вреднаго пространства получается въ нашемъ насосѣ $\alpha = V_z/V_x$, соотв. $\alpha' = V_z'/V_x'$. Всѣ перечисленныя величины для нашего насоса указаны въ таблицѣ 30; въ скобки заключены величины, соотвѣтствующія сочетаніямъ изъ r и дополнительныхъ колпаковъ, фактически не имѣвшихъ мѣста при нашихъ 75 опытахъ.

Таблица 30.

1	2	3	4	5	6	7	8
доавочные колпаки	прокладки r мм.	V_x лтр.	V_x' лтр.	V_z лтр.	V_z' лтр.	α	α'
безъ колпаковъ	5	9,74	7,10	46,74	47,33	4,80	6,67
	10	"	"	46,93	"	4,82	"
	15	"	"	47,13	"	4,84	"
	20	"	"	47,32	"	4,86	"
съ колпакомъ t_1	(5)	9,74	7,10	(66,21)	67,80	(6,80)	9,55
	10	"	"	66,40	"	6,82	"
	15	"	"	66,59	"	6,84	"
	20	"	"	66,79	"	6,86	"
съ колпаками t_1 и t_2	(5)	9,74	7,10	(87,38)	88,97	(8,97)	12,53
	10	"	"	87,57	"	8,99	"
	(15)	"	"	(87,76)	"	(9,01)	"
	20	"	"	87,96	"	9,02	"
съ колпаками t_1 и t_2 и вентилемъ	20	9,74	7,10	88,97	90,67	9,20	12,77

Таблица 30 показываетъ, что въ зависимости отъ того, какую величину мы выберемъ для V_x , величина α колеблется при однихъ и тѣхъ дополнительныхъ колпакахъ на величину 1,87 до 3,56, т. е. въ 36 до 355 (!) разъ болѣе абсолютной обычной величины α нормальныхъ компрессоровъ; въ % отъ величины α' наибольшія колебанія составляютъ до 28%.

Принимая во вниманіе явленія, происходящія въ насосѣ за обратный, всасывающій ходъ, надо признать болѣе правильной величину $\alpha' = V_z'/7,10$. Въ такомъ случаѣ при нашихъ опытахъ α мѣнялась отъ 6,67 до 12,53, даже 12,77, что для сравненія болѣе чѣмъ достаточно.

Выше, стр. 154 и таблица 27, мы опредѣляли дѣйствительную подачу λ_0 и названную нами наибольшей полезной подачей λ_0' . Отношеніе

величины λ_0 къ λ , вычисленной по выраженію (101), должно быть правильной дробью, выражающей вліяніе тепловыхъ явленій и измѣненій давленій, т. е. сопротивленій всасыванію.

Вопросъ о томъ, какое отношеніе λ_0/λ или λ_0'/λ' брать за показателъ вліянія сопротивленій всасыванію, такъ какъ вліяніе тепловыхъ явленій едва ли велико, можно рѣшить по тѣмъ же соображеніямъ, какъ выше, для α' ; именно, теоретически болѣе близкой къ дѣйствительности должна быть величина λ_0'/λ' . Однако, въ нижеслѣдующей таблицѣ 31 указаны также и отношенія λ_0/λ , которыя, какъ увидимъ ниже, тоже пригодятся.

Въ виду того, что при первомъ же бѣгломъ просмотрѣ выяснилось, что, впрочемъ, можно было предвидѣть и заранѣе, очень сильное вліяніе объема V_3 , опыты въ таблицѣ 31 приведены не въ хронологическомъ порядкѣ, какъ въ предыдущихъ таблицахъ, а въ группировкѣ по дополнительнымъ колпакамъ t_1 и t_2 , а въ каждой изъ трехъ получившихся такимъ образомъ основныхъ группъ еще по толщинѣ прокладки r , тоже вліяющей на V_3 , и по возрастающему числу оборотовъ n , вліяющему на λ_0 . Для наглядности таблицы мы брали для n только 3 первыхъ цифры. Въ связи съ таблицей 30 этихъ указаній достаточно для нахожденія, если потребуется, для каждаго опыта соотв. V_3 и α .

Опыты съ воздухоподувкой, какъ происходившіе въ существенно иныхъ условіяхъ, выдѣлены въ отдѣльную таблицу 32.

Въ таблицѣ 31 указаны заодно еще величины p_1' и ξ , взятые изъ таблицы 27, и вычисленныя по даннымъ таблицъ 26 и 27 величины L_0/N_1' , подача воздуха въ часъ на 1 инд. л. с. насоса. О нихъ будетъ сказано ниже особо. Замѣтимъ еще, что въ дѣйствительности при наличности индикаторной діаграммы вычисленіе λ производится не по ур-ію (101), а по выраженію

$$\lambda = 1 - \frac{a}{l}, \quad (102)$$

гдѣ l длина діаграммы въ мм., а a разстояніе по діаграммѣ въ мм. отъ конца діаграммы, начала расширенія во вредномъ пространствѣ, до точки пересѣченія атмосферной линіи линіей расширенія. Вліяніе оконъ e и g учитывается выраженіемъ

$$\lambda' = 1 - \frac{a-g}{l-h}, \quad (103)$$

гдѣ g разстояніе по діаграммѣ до момента закрытія перепускного окна g въ зависимости отъ толщины прокладки r , а h постоянная величина длины части діаграммы, соотвѣтствующая открытію оконъ e и g .

Прежде чѣмъ перейти къ разбору выводовъ, вытекающихъ изъ разсмотрѣнія таблицы 31, можно еще указать на слѣдующее обстоятельство: величины λ и λ' , вычисленныя по ур-ію (102) и (103), при чемъ величины a и l брались съ соотв. индикаторныхъ діаграммъ насоса, къ

сожалѣнію, не могутъ претендовать на большую точность. Дѣло въ томъ, что на діаграммахъ линіи расширенія во вредномъ пространствѣ при съемкѣ нѣсколькихъ обводоу далеко не покрываютъ одна другую, какъ это видно, напр., на черт. 33, стр. 63, а даютъ такъ назыв. разсѣиваніе, вслѣдствіе чего и величина a получается для разныхъ обводоу одной и той же діаграммы очень различной. Причина такого разсѣиванія лежитъ, повидимому, въ указанномъ уже выше недостаточномъ предвареніи выпуска, а также въ регулированіи работы машины пропусками. Чтобы опредѣлить λ по ур-ю (102), для величины a приходится, слѣдовательно, брать среднюю величину, такъ сказать на-глазъ, такъ какъ число обводоу съ высокой линіей расширенія и низкой на разныхъ діаграммахъ одного опыта получается различное.

Кромѣ этого обстоятельства, при мелкомъ масштабѣ индикаторной пружины, $m=20$ до 40 мм., линія расширенія идетъ такъ отлого, что трудно опредѣлить съ достаточной точностью пересѣченіе ея съ горизонтальной, атмосферной линіей. Если брать болѣе слабую пружину, то величина неточности отъ тренія получается почти равной высотѣ діаграммы, какъ указано на стр. 26. Болѣе удовлетворительные результаты получились при увеличеніи масштаба ординатъ діаграммъ путемъ примѣненія индикатора съ большимъ поршнемъ; при $d=40$ мм. мы могли съ сравнительно не очень слабыми пружинами получать достаточно высокія діаграммы. Къ сожалѣнію, движущіяся массы этого индикатора довольно значительны, и при увеличеніи числа оборотоу машины свыше 240—250 діаграммы получаютъ съ сильными волнами. Исправленіе этихъ діаграммъ по способу Флигнера, какъ указывалось на стр. 62, позволило пользоваться ими для опредѣленія среднего индикаторнаго давленія p_1' насоса и затрачиваемой на него работы N_1' , но при полоугомъ ходѣ линіи расширенія все же оставляетъ сомнѣніе въ точности опредѣленія величины a .

Мы попробовали въ виду этого замѣнить въ выраженіи (101) отношеніе обѣмовъ V_4/V_0 отношеніемъ соотв. давленій p_4 и p_0 , считая линію расширенія политропой. Тогда выраженіе (101) получаетъ видъ

$$\lambda = 1 - \alpha \left[\left(\frac{p_4}{p_0} \right)^{\frac{1}{n}} - 1 \right], \quad (104)$$

гдѣ n показатель политропы мы опредѣляли по извѣстному способу⁶⁴⁾ по индикаторной діаграммѣ. Однако вслѣдствіе того же сильнаго разсѣиванія отдѣльныхъ обводоу величина n получалась очень различной, колеблясь примѣрно отъ 1,30 до 1,70. Величины $n > 1,40$, дающія политропы якобы съ отнятіемъ тепла, что въ нашемъ случаѣ было безусловно невозможно, сразу показываютъ ненадежность этого способа; и дѣйствительно вычисленные для нѣсколькихъ опытоу по этимъ n по выраженію (104) λ оказались еще менѣ точными, чѣмъ приведенныя

⁶⁴⁾ см. напр. Малъевъ, Техн. термод. стр. 61.

въ таблицѣ 31, вычисленные по выраженію (102) и (103), почему мы ими не стали пользоваться.

Таблица 31.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
№ опыта	добаво Н. колпачки	про-клад-ка r	обор. въ мин. n	w_1	λ_0	λ_0'	λ	λ'	λ_0/λ	λ_0'/λ'	p_i'	ξ %	$L_0 \cdot N_i'$ мт. ³	
59	—	5	281	94	0,531	0,728	0,737	0,863	0,72	0,84	0,143	6,6	100	
60	—	—	283	95	0,532	0,730	0,737	0,863	0,72	0,85	0,145	6,9	99	
5	—	10	228	89	0,616	0,845	0,763	0,872	0,81	0,97	0,144	7,3	116	
6	—	—	228	88	0,610	0,837	0,763	0,872	0,80	0,96	0,149	7,5	110	
55	—	"	248	91	0,614	0,842	0,750	0,854	0,82	0,99	0,160	7,5	104	
64	—	"	274	72	0,552	0,757	0,737	0,836	0,75	0,91	0,138	7,0	108	
7	—	"	293	76	0,533	0,731	0,710	0,800	0,75	0,91	0,133	6,7	108	
8	—	"	293	76	0,530	0,727	0,710	0,800	0,75	0,91	0,132	6,6	108	
54	—	"	295	77	0,537	0,737	0,723	0,818	0,74	0,90	0,151	7,1	96	
11	—	"	295	78	0,542	0,743	0,710	0,800	0,76	0,93	0,134	6,8	109	
12	—	"	295	78	0,539	0,739	0,710	0,800	0,76	0,92	0,127	6,4	115	
14	—	"	298	79	0,539	0,739	0,710	0,800	0,76	0,92	0,132	6,9	111	
13	—	"	299	78	0,550	0,754	0,710	0,800	0,77	0,94	0,131	7,0	113	
9	—	"	299	79	0,543	0,745	0,710	0,800	0,76	0,93	0,130	6,7	113	
10	—	"	299	79	0,543	0,745	0,710	0,800	0,76	0,93	0,131	6,7	112	
74	—	"	299	60	0,530	0,727	0,697	0,782	0,76	0,93	0,130	6,6	110	
15	—	"	374	87	0,519	0,712	0,671	0,746	0,77	0,95	0,126	8,9	112	
16	—	"	377	88	0,523	0,717	0,672	0,747	0,78	0,96	0,129	9,1	100	
69	—	15	205	87	0,619	0,849	0,704	0,764	0,88	(1,11)	0,158	7,8	106	
70	—	"	233	77	0,629	0,858	0,711	0,773	0,88	(1,11)	0,160	7,9	105	
66	—	"	263	72	0,589	0,808	0,737	0,809	0,80	(1,00)	0,155	7,8	103	
67	—	"	279	70	0,557	0,764	0,697	0,755	0,80	(1,01)	0,141	6,7	107	
68	—	"	359	68	0,529	0,726	0,679	0,730	0,78	(1,00)	0,140	6,5	102	
75	—	20	270	70	0,535	0,734	0,695	0,724	0,77	(1,01)	0,138	7,0	105	
					ср. 0,557		ср. 0,715				ср. 0,140		7,0	107
18	t_1	10	226	56	0,555	0,761	0,710	0,800	0,78	0,95	0,088	4,9	166	
17	"	"	228	62	0,561	0,770	0,710	0,800	0,79	0,96	0,089	4,8	170	
19	"	"	293	66	0,464	0,637	0,627	0,681	0,74	0,93	0,087	4,6	145	
20	"	"	293	66	0,462	0,634	0,627	0,681	0,74	0,93	0,087	4,5	144	
21	"	"	293	66	0,463	0,635	0,671	0,744	0,69	0,85	0,089	4,7	142	
23	"	"	295	67	0,469	0,643	0,671	0,744	0,70	0,86	0,097	6,0	131	
22	"	"	304	69	0,470	0,645	0,671	0,744	0,70	0,87	0,096	5,8	133	
26	"	"	357	75	0,464	0,637	0,605	0,656	0,77	0,97	0,094	4,8	133	
24	"	"	358	74	0,456	0,625	0,605	0,656	0,75	0,95	0,092	5,6	135	
25	"	"	365	74	0,456	0,625	0,605	0,656	0,75	0,95	0,093	5,6	132	
3	"	15	211	78	0,541	0,742	0,605	0,628	0,89	(1,18)	0,091	4,7	159	
4	"	"	216	79	0,529	0,726	0,598	0,618	0,88	(1,17)	0,092	4,7	156	
44	"	"	218	86	0,570	0,782	0,658	0,701	0,87	(1,12)	0,118	5,9	130	
43	"	"	228	90	0,572	0,785	0,664	0,710	0,86	(1,11)	0,118	7,3	131	
45	"	"	261	56	0,497	0,682	0,638	0,673	0,78	(1,01)	0,089	4,3	152	
46	"	"	331	55	0,460	0,631	0,625	0,656	0,74	0,96	0,086	4,1	144	
1	"	"	329	62	0,477	0,655	0,605	0,628	0,79	(1,04)	0,089	4,4	146	
2	"	"	343	65	0,483	0,663	0,611	0,636	0,79	(1,04)	0,089	4,4	147	
50	"	20	184	71	0,560	0,768	0,633	0,674	0,88	(1,14)	0,101	5,6	151	
51	"	"	199	74	0,543	0,745	0,611	0,638	0,89	(1,17)	0,104	4,9	141	
52	"	"	215	91	0,612	0,826	0,664	0,710	0,92	(1,16)	0,118	6,1	141	
47	"	"	239	62	0,532	0,730	0,697	0,728	0,76	(1,00)	0,050	4,8	149	
48	"	"	325	46	0,430	0,590	0,632	0,638	0,68	0,92	0,057	3,9	144	
49	"	"	367	48	0,450	0,617	0,630	0,620	0,73	(1,00)	0,072	4,4	134	
					ср. 0,503		ср. 0,640				ср. 0,091		5,0	144

Таблица 31, продолженіе.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
39	t_1+t_2	10	184	67	0,407	0,558	0,539	0,565	0,76	0,99	0,052	2,3	210
40	"	"	187	68	0,407	0,558	0,539	0,565	0,76	0,99	0,051	2,3	212
38	"	"	196	77	0,441	0,605	0,618	0,673	0,71	0,90	0,064	3,1	188
37	"	"	198	78	0,443	0,608	0,618	0,673	0,72	0,90	0,064	3,3	184
27	"	"	212	45	0,480	0,658	0,627	0,684	0,77	0,96	0,060	3,1	213
28	"	"	218	46	0,477	0,654	0,627	0,684	0,76	0,96	0,051	3,1	218
30	"	"	280	55	0,403	0,553	0,605	0,656	0,67	0,84	0,051	2,6	213
29	"	"	287	57	0,403	0,553	0,605	0,656	0,67	0,84	0,051	2,6	212
31	"	"	294	59	0,411	0,564	0,618	0,673	0,67	0,84	0,057	3,0	197
32	"	"	294	58	0,405	0,555	0,618	0,673	0,66	0,83	0,052	2,6	212
34	"	"	329	61	0,399	0,547	0,589	0,620	0,68	0,88	0,056	2,8	192
35	"	"	330	62	0,41	0,564	0,589	0,620	0,70	0,91	0,058	2,7	193
36	"	"	334	62	0,401	0,550	0,589	0,620	0,68	0,89	0,059	3,0	182
33	"	"	337	62	0,398	0,546	0,589	0,620	0,68	0,88	0,053	2,7	201
41	"	20	210	57	0,478	0,656	0,631	0,637	0,76	(1,03)	0,067	3,6	196
42	"	"	211	57	0,475	0,651	0,631	0,637	0,75	(1,02)	0,068	3,6	189
73	"	"	266	52	0,399	0,547	0,513	0,475	0,78	(1,15)	0,050	2,7	215
					ср. 0,426						ср. 0,057	2,9	202

Вліяніе V_3 на λ_0 и λ легко устанавливается при помощи таблицы 31: чѣмъ V_3 больше, тѣмъ λ_0 меньше, какъ и слѣдовало ожидать. Особенно вышукло это выясняется при помощи среднихъ величинъ λ_0 , равныхъ послѣдовательно: 0,557 для наименьшаго объема V_3 , безъ дополнительныхъ колпаковъ, 0,503 при одномъ колпакѣ t_1 и 0,426 при обоихъ колпакахъ t_1 и t_2 . Среднихъ величинъ для λ_0' мы не вычисляли, такъ какъ соотношение получилось бы точно такое же. Измѣненіе λ характеризуется соотв. величинами 0,715, 0,640 и 0,597, т. е. съ достаточной точностью одинаково съ измѣненіемъ λ_0 . Когда мы приступали къ составленію таблицы 31, мы считали наиболѣе близкой къ истинной величинѣ λ' , столбецъ 9. Сравненіе отношений λ_0/λ и λ_0/λ' , столбцы 10 и 11, показало, что это не такъ: отношеніе λ_0/λ , повидимому, нѣсколько мало, вліяніе сопротивленій всасыванію едва ли такъ велико, какъ это даетъ столбецъ 10; зато отношеніе λ_0'/λ' , будучи гораздо закономѣрнѣе, о чемъ будетъ сказано ниже, даетъ явно, невѣрные абсолютно числовыя величины; безусловно должно быть $\lambda_0'/\lambda' < 1$, тогда какъ оно чуть ли не у трети опытовъ > 1 . Объясняется это тѣмъ, что мы пренебрегли мятіемъ воздуха при прохожденіи оконъ e и g ; фактически изъ-за мятія полезный ходъ поршня получается больше, чѣмъ мы его приняли, т. е. $V_x' > 7,10$ лтр.; если ввести эту поправку, то величина λ_0' уменьшится, а λ' увеличится и отношеніе λ_0'/λ' значительно уменьшится. Въ виду затруднительности и гадательности опредѣленія поправки, мы ее не приводили, тѣмъ болѣе, что величины λ_0'/λ' не имѣютъ для нашихъ цѣлей особенно большого значенія.

Итакъ: съ увеличеніемъ V_3 , т. е. α и объемная подача λ_0 и дѣйствительная подача λ падаютъ.

Вліяніе V_3 на p_1' и на ξ такое же точно, какъ и на λ : съ увеличеніемъ V_3 среднее индикаторное давленіе p_1' и относительная величина работы заряженія $\xi = N_1'/N_1$ падаютъ и притомъ почти точно въ одинаковой мѣрѣ. Для тѣхъ же трехъ величинъ V_3 мы имѣемъ p_1' въ среднемъ 0.140, 0.091 и 0.057, соотв. среднія значенія ξ 7,0, 5,0 и 2,9%. Впрочемъ вліяніе V_3 скорѣе косвенное, главнымъ образомъ вліяетъ паденіе λ_0 , т. е. уменьшеніе количества подаваемого воздуха; что это именно такъ, легко установить, сопоставляя опыты съ одинаковымъ V_3 , но разными λ_0 , напр. 55 и 64, 70 и 66, 4 и 52 и т. д.

Вліяніе V_3 на L_0/N_1' , т. е. на подачу воздуха на л. с., согласно таблицы сводится къ увеличенію съ увеличеніемъ V_3 ; однако вліяніе V_3 лишь косвенное. L_0/N_1' возрастаетъ вслѣдствіе уменьшенія p_1' , такъ что отношеніе это возрастаетъ не за счетъ увеличенія числителя, что было бы особенно желательно, а наоборотъ, за счетъ убыли знаменателя. Для нашихъ трехъ случаевъ среднія величины получились соотв. 107, 144 и 202 мт.³/л. с..

Вліяніе числа оборотовъ n . При прочихъ равныхъ условіяхъ λ_0 съ увеличеніемъ n падаетъ, какъ и слѣдовало ожидать. Недостаточная ясность этой зависимости между n и λ объясняется указанной уже выше неточностью опредѣленія величинъ λ .

Величина p_1' съ увеличеніемъ n тоже падаетъ, но это объясняется не улучшеніемъ работы насоса, а просто уменьшеніемъ λ_0 .

О закономерномъ вліяніи на величину ξ измѣненія n говорить трудно, такъ какъ ξ есть результатъ слишкомъ многихъ обстоятельствъ. То же должно быть сказано и относительно величины L_0/N_1' ; впрочемъ, нѣкоторое уменьшеніе ея съ возрастаніемъ n замѣтно; объясняется оно главнымъ образомъ паденіемъ λ_0 .

Было бы очень интересно установить зависимость между n и температурой t_1 или t_2 воздуха въ насосѣ. Къ сожалѣнію, сдѣлать этого нельзя, такъ какъ t_1 и t_2 находятся подъ гораздо болѣе сильнымъ вліяніемъ температуры t_4 отработавшихъ газовъ, которая ни въ какой зависимости отъ n не находится.

Что касается скорости всасыванія w_1 , то она находится при прочихъ равныхъ условіяхъ, т. е. одинаковыхъ V_3 и r , въ прямой зависимости отъ двухъ величинъ: она должна возрастать съ увеличеніемъ n и падать съ уменьшеніемъ λ_0 . Въ виду того, что n и λ сами измѣняются въ противоположныхъ направленіяхъ, установить какую нибудь закономерность измѣненія w_1 нельзя. Нѣкоторое уменьшеніе w_1 съ увеличеніемъ V_3 , т. е. α , объясняется соотв. уменьшеніемъ λ_0 .

Примѣненіе различныхъ прокладокъ r согласно таблицы 31 даю именно тѣ результаты, какіе слѣдовало ожидать. Какъ видно по черт. 39, 40 и 45, стр. 142 и 143, утолщеніе прокладки r увеличиваетъ открытіе окна e , а, слѣдовательно, уменьшаетъ сопротивленія всасыванію. Дѣйствительно числа таблицы 31 показываютъ при одинаковыхъ V_3 и n съ

увеличеніемъ r увеличеніе λ_0 и уменьшеніе w_1 . Такъ какъ p_1' зависитъ одновременно отъ открытія и окна e и окна g , мѣняющагося согласно стр. 142 и 143 съ измѣненіемъ r въ противоположныхъ направленіяхъ, то вліяніе r на p_1' установить нельзя.

Вліяніе обратнаго клапана. Опыты 1—65 были проведены съ обратнымъ клапаномъ, черт. 6 и 7 стр. 15; при опытахъ 66—75 клапанъ этотъ былъ удаленъ. Несмотря на немногочисленность опытовъ безъ клапана и нѣкоторую затруднительность сравненія этихъ опытовъ съ опытами, проведенными съ клапаномъ, въ виду того, что они были проведены съ разными r , что было замѣчено, къ сожалѣнію, лишь по окончаніи всѣхъ опытовъ, вліяніе клапана обнаруживается довольно ясно и опредѣленно. Сравнивая опытъ 73, съ одной стороны, и 41 и 42, съ другой, ясно видно, что присутствіе обратнаго клапана повышаетъ λ_0 , а вмѣстѣ съ тѣмъ и p_1' , ξ и L_0/N_1' ; вмѣсто опытовъ 41 и 42 можно взять опыты 29—32: несмотря на большее n и меньшее r , т. е. два обстоятельства, понижающія λ_0 , у этихъ опытовъ λ_0 замѣтно выше, чѣмъ у опыта 73. То же самое видно при сравненіи опыта 74 и 9—14. Менѣе ясное вліяніе обратнаго клапана въ опытахъ 66—70 должно быть отнесено на счетъ одновременнаго вліянія прокладокъ r .

Къ этому надо еще добавить, что согласно указанію стр. 15 вліяніе обратнаго клапана и не могло быть очень большимъ, въ виду неудачнаго расположенія его по независѣвшимъ отъ автора обстоятельствамъ.

Опыты съ воздушудвкой. Опыты эти собраны въ таблицѣ 32. Сперва мы расположили ихъ въ порядкѣ возрастанія давленія въ воздушномъ приемникѣ c , черт. 8. Картина получилась совершенно неясная.

Таблица 32.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
№ опыта	добав. колп.	давл. въ c p	прокл. r	обор. въ мин. n	w_1	λ_1	λ_0'	λ	λ'	p_1'	ξ
56	—	156	10	218	115	0,736	1,008	0,743	0,845	0,193	8,9
57	—	218	"	221	118	0,746	1,021	0,750	0,854	0,196	9,3
61	t_1+t_2	270	5	241	86	0,603	0,827	0,770	0,908	0,077	4,1
63	"	285	"	298	77	0,565	0,775	0,758	0,892	0,066	4,1
58	—	405	10	236	112	0,825	1,130	0,776	0,890	0,203	9,2
53	t_1	610	20	217	123	0,875	1,198	0,918	—	0,164	8,2
62	$t+t_2$	644	5	248	105	0,748	1,024	0,948	—	0,088	4,7
65	—	915	10	273	118	0,928	1,271	1,000	—	0,207	10,1
71	c	1287	15	258	—	(0,574)	(0,787)	—	—	—	—
72	"	1294	15	317	—	(0,560)	(0,768)	—	—	—	—
61	t_1+t_2	270	5	241	86	0,603	0,827	—	—	0,077	4,1
63	"	285	"	298	77	0,565	0,775	—	—	0,066	4,1
62	"	644	"	248	105	0,748	1,024	—	—	0,088	4,7
56	—	156	10	218	115	0,736	1,008	—	—	0,193	8,9
57	—	218	"	221	118	0,746	1,021	—	—	0,196	9,3
58	—	405	"	236	112	0,825	1,130	—	—	0,203	9,2
65	—	915	"	273	118	0,928	1,271	—	—	0,207	10,1
53	t_1	610	20	217	123	0,875	1,198	—	—	0,164	8,2

Расположеніе опытовъ по группамъ съ различнымъ V_3 не имѣло смысла въ виду сравнительно слабаго вліянія величины V_3 на λ_0 при работѣ съ воздухоудувкой. Основываясь на результатахъ таблицы 31, мы предположили преимущественное вліяніе толщины прокладки r , т. е. величины открытія окна e , и расположили опыты по возрастающему давленію p , но разбивъ на группы по r , нижняя часть таблицы 32. Картина получилась совершенно ясная и въ общемъ подтверждающая всѣ выводы таблицы 31: съ увеличеніемъ r величина λ_0 возрастаетъ, а съ нимъ возрастаетъ и w_1 ; увеличение n при прочихъ равныхъ условіяхъ, опыты 61 и 63, даетъ уменьшеніе λ_0 . Увеличеніе давленія p въ сосудѣ c какъ и слѣдовало ожидать, даетъ увеличеніе λ_0 , но очень малое увеличеніе p_1' и ξ . Величины L_0/N_1' для этихъ опытовъ мы не вычисляли въ виду того, что N_1' не выражаетъ всей работы заряженія; работа сжатія въ воздухоудувкѣ, которую надо было бы добавлять къ N_1' , въ виду особенностей регулированія употреблявшагося электродвигателя, не могла быть опредѣлена по напряженію и расходу тока.

Случайное совпаденіе разбивки опытовъ на группы по r и по V_3 позволяетъ выяснитъ вліяніе V_3 . Оно сказывается главнымъ образомъ въ періодъ разобіенія машины отъ сосуда e : съ увеличеніемъ V_3 , какъ и раньше, p_1' и ξ уменьшаются вполнѣ закономѣрно. Въ данномъ случаѣ мы имѣемъ вліяніе уже не λ_0 , какъ выше, а дѣйствительное вліяніе огнесительной величины вреднаго пространства α .

Интересно еще отмѣтить, что въ предѣлахъ одной и той же величины r скорость всасыванія w_1 при достаточномъ открытіи окна e , опыты 56—58 и 65, остается въ предѣлахъ точности нашихъ вычисленій постоянной, не зависящей отъ λ_0 ; при маломъ открытіи окна e , опыты 61—63, w_1 совершенно пропорціонально λ_0 , какъ и слѣдовало ожидать. Очевидно, въ первомъ случаѣ мы имѣемъ явленіе, напоминающее критическую скорость: съ увеличеніемъ p возрастаетъ λ_0 , дѣйствительная подача, —объемная же подача, вычисленіе которой по діаграммамъ, какъ уже указано, не могло быть произведено съ достаточной правильностью, должна бы оставаться примѣрно постоянной, такъ же, какъ и w_1 , такъ какъ съ увеличеніемъ количества воздуха удѣльный объемъ его вслѣдствіе увеличенія p уменьшается.

Что касается сравненія опытовъ съ воздухоудувкой съ опытами безъ нея, то оно даетъ указанія, которыя и слѣдовало ожидать: воздухоудувка сильно увеличиваетъ λ_0 и w_1 , нѣсколько менѣе увеличиваетъ p_1' и ξ .

27. Заряженіе рабочаго цилиндра. — Заряженіемъ, какъ извѣстно, называется подача въ рабочій цилиндръ воздуха и горючаго. Впрочемъ, въ нашей машинѣ подача горючаго, керосина, совершается принужденно при помощи насосика, и притомъ незадолго до момента воспламененія. Подача горючаго, помимо указанной уже выше, стр. 95, 128—133, неудовлетворительной работы насосика, а главнымъ образомъ форсунки, не представляетъ матеріала для изслѣдованія. Такимъ образомъ

подъ словомъ заряженіе цилиндра намъ придется изслѣдовать лишь вопросъ о заполненіи его воздухомъ.

Болѣе или менѣе удовлетворительное заряженіе въ нашей машинѣ зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: отъ работы воздушнаго насоса, т. е. подачи воздуха λ_0 , и отъ удаленія отработавшихъ газовъ.

Первый вопросъ достаточно освѣщенъ въ § 26, поскольку дѣло касается величины λ_0 . На тотъ же вопросъ даютъ отвѣтъ еще величины L/k_1 , столбецъ 26 таблицы 27; впрочемъ, если вспомнить, что мы доказали преувеличенность дѣйствительно измѣреннаго расхода керосина k_1 и замѣняли его вычисленной по исправленному тепловому балансу величиной k_4 , стр. 132 и 133, то вмѣсто отношеній L/k_1 получаемъ L/k_4 . Однако въ виду того, что мы работали всегда почти съ однимъ и тѣмъ же грузомъ G на тормазѣ, т. е. съ почти одинаковымъ индикаторнымъ давленіемъ p_1 , величина L/k_4 должна быть почти пропорціональна λ_0 .

Гораздо труднѣе дать отвѣтъ на вопросъ, хорошо ли происходитъ удаленіе отработавшихъ газовъ, т. е. такъ назыв. продувка. Для этого мы прибѣгнемъ къ матеріалу, полученному нами при помощи описаннаго выше дифференціатора, главнымъ образомъ къ полученнымъ при его помощи такъ назыв. характеристикамъ продувки ψ_1 и ψ_2 , о которыхъ было подробно сказано выше, стр. 160.

Для облегченія сличенія вліянія различныхъ факторовъ, мы составили по образцу таблицы 31 и 32 таблицы 33 и 34. Предвидя заранѣе, что и на заряженіе въ собственномъ смыслѣ и на продувку будутъ вліять особенно величины V_3 , r и n , мы сохранили ту же группировку, какъ въ таблицахъ 31 и 32, при чемъ особенное вниманіе будемъ уделять тѣмъ опытамъ, во время которыхъ удалось взять пробы отработавшихъ газовъ при помощи дифференціатора.

Кромѣ уже указанныхъ величинъ, въ таблицахъ 33 и 34 приведены еще продолжительность перепуска ϑ , скорость перепуска, или впуска w_2 , давленіе p_2' въ насосѣ въ моментъ начала перепуска и расходъ тепла на 1 инд. л. с., по полному расходу тепла Q/N_1 и по исправленному тепловому балансу Q'/N_1 . Всѣ величины взяты изъ основныхъ таблицъ 26—29.

Вліяніе объема V_3 . Если за масштаб сравненія взять среднія величины характеристикъ продувки ψ_1 и ψ_2 , измѣняющіяся согласно таблицы 33, именно уменьшающіяся съ увеличеніемъ V_3 соотв. для ψ_1 86,2, 76,6 и 59,5, а для ψ_2 31,4, 30,5 и 28,1, то выходитъ, что съ увеличеніемъ V_3 продувка шла хуже, т. е. продувочный воздухъ больше смѣшивался съ отработавшими газами и въ большемъ количествѣ вытекалъ въ глушитель. Однако видѣть причину уменьшенія характеристикъ въ уменьшеніи давленія воздуха продувки было бы неправильно. Причина лежитъ въ уменьшеніи λ_0 и связаннаго съ этимъ уменьшеніи L/k_4 .

Таблица 33.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта	добав. колп.	r мм.	n	θ сек.	p_c' гкр/см ²	w_2 мт/сек.	ψ_1 °/о	ψ_2 °/о	λ_0	$\frac{L}{k_1}$ мт. ³	$\frac{L}{k_1}$ мт. ³	$\frac{Q}{N_1}$ т. ед.	$\frac{Q'}{N_1}$ т. ед.
59	—	5	281	0,023	1,20	87	74	29	0,531	21,2	27,6	3300	2540
30	—	—	283	0,022	1,20	89	76	31	0,532	22,1	27,4	3250	2640
5	—	10	228	0,025	1,20	90	89	30	0,616	23,8	31,4	3550	2800
6	—	—	228	0,025	1,20	90	—	—	0,610	25,0	30,7	3330	2710
55	—	—	248	0,024	1,20	96	104	41	0,614	22,5	28,8	3420	2680
64	—	—	274	0,026	1,20	81	73	28	0,552	21,8	28,0	3440	2670
7	—	—	293	0,024	1,18	80	89	31	0,533	22,6	27,9	3770	2560
8	—	—	293	0,024	1,18	79	—	—	0,530	22,9	27,6	3100	2570
54	—	—	295	0,023	1,20	99	91	32	0,537	19,6	24,7	3450	2750
11	—	—	295	0,024	1,18	82	91	30	0,542	22,5	28,2	3260	2590
12	—	—	295	0,024	1,19	81	—	—	0,539	22,6	27,6	3210	2630
14	—	—	298	0,024	1,20	82	—	—	0,539	21,3	26,9	3610	2860
13	—	—	299	0,024	1,19	83	91	31	0,550	21,4	28,2	3730	2820
9	—	—	299	0,024	1,20	83	89	30	0,543	23,9	29,3	3160	2570
10	—	—	299	0,024	1,19	83	—	—	0,543	24,9	29,5	3020	2560
74	—	—	299	0,028	1,20	73	—	—	0,530	26,2	30,7	3130	2420
15	—	—	374	0,021	1,22	90	—	—	0,519	19,3	24,4	3740	2970
16	—	—	377	0,021	1,22	92	—	—	0,523	20,5	24,9	3490	2890
69	—	15	205	0,026	1,26	103	92	36	0,619	22,2	29,0	3780	2890
70	—	—	233	0,023	1,26	118	85	32	0,629	24,2	30,0	3460	2790
66	—	—	263	0,022	1,25	105	88	32	0,589	25,4	31,4	3310	2680
67	—	—	279	0,021	1,24	105	89	32	0,557	23,1	28,2	3170	2590
68	—	—	359	0,024	1,25	95	91	30	0,529	21,0	26,3	3240	2590
75	—	20	270	0,023	1,25	115	77	28	0,535	22,1	26,4	3220	2620
ср.	—	—	—	0,0237	1,210	—	86,2	31,4	0,557	22,4	28,1	3377	2683
18	t ₁	10	226	0,033	1,15	65	—	—	0,555	21,2	28,8	3850	2830
17	—	—	228	0,033	1,15	66	87	29	0,561	21,4	29,5	3850	2790
19	—	—	293	0,026	1,14	71	—	—	0,464	20,7	25,4	3190	2600
20	—	—	293	0,026	1,13	71	—	—	0,462	20,5	25,2	3170	2580
21	—	—	293	0,026	1,15	71	86	31	0,463	18,2	22,0	3650	2840
23	—	—	295	0,025	1,16	73	—	—	0,469	[20,4]	[26,3]	[3840]	[2980]
22	—	—	304	0,025	1,15	75	—	—	0,470	[20,0]	[26,8]	[3440]	[2880]
26	—	—	357	0,025	1,17	73	—	—	0,464	19,7	23,7	3250	2700
24	—	—	358	0,025	1,16	72	80	31	0,456	[13,2]	[23,7]	[5700]	[3180]
25	—	—	365	0,024	1,17	73	—	—	0,456	[19,7]	[24,2]	[3720]	[3020]
3	—	15	211	0,028	1,15	81	86	31	0,541	19,0	27,2	3950	2760
4	—	—	216	0,027	1,15	82	—	—	0,529	19,4	27,6	3790	2670
44	—	—	218	0,026	1,19	97	80	31	0,570	21,9	28,5	3620	2780
43	—	—	228	0,025	1,19	100	84	25	0,572	[26,9]	[37,3]	[3490]	[2670]
45	—	—	261	0,028	1,16	76	81	30	0,497	20,7	26,8	3170	2450
46	—	—	331	0,025	1,16	80	—	—	0,460	19,2	22,8	3080	2590
1	—	—	329	0,023	1,16	89	83	32	0,477	20,9	21,8	3030	2570
2	—	—	343	0,022	1,16	93	82	31	0,483	21,4	24,7	3040	2630
50	—	20	184	0,031	1,19	78	63	30	0,560	[19,7]	[27,5]	[4190]	[3010]
51	—	—	199	0,029	1,19	81	60	29	0,543	20,0	27,5	3500	2550
52	—	—	215	0,029	1,19	92	75	25	0,612	27,5	34,2	3150	2530
47	—	—	239	0,026	1,19	84	71	27	0,532	20,5	26,2	3410	2660
48	—	—	325	0,022	1,17	99	55	30	0,440	18,1	21,8	3030	2520
49	—	—	367	0,021	1,19	113	—	—	0,450	18,9	22,1	3110	2650
ср.	—	—	—	0,0264	1,165	—	76,6	30,5	0,503	20,6	26,1	3378	2649

Таблица 33, продолженіе.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
39	$1+t_2$	10	184	0,037	1,12	44	—	—	0,407	[12,1]	[19,0]	[3950]	[2520]
40	"	"	187	0,037	1,12	45	53	28	0,407	11,7]	[18,8]	[410]	[2550]
38	"	"	196	0,038	1,13	46	55	28	0,441	18,5	24,4	3150	2380
37	"	"	198	0,038	1,13	47	—	—	0,443	18,6	24,3	3230	2480
27	"	"	212	0,034	1,12	60	—	—	0,480	19,9	25,3	3310	2600
28	"	"	218	0,033	1,12	60	76	29	0,477	20,4	26,5	3240	2500
30	"	"	280	0,026	1,10	61	66	29	0,403	17,7	21,8	3110	2520
29	"	"	287	0,025	1,10	63	—	—	0,403	17,9	21,9	3050	2490
31	"	"	294	0,026	1,11	62	—	—	0,411	19,0	22,6	3060	2570
32	"	"	294	0,026	1,12	62	51	27	0,405	19,2	22,3	2840	2430
34	"	"	329	0,024	1,12	65	60	28	0,399	16,5	20,5	3220	2590
35	"	"	330	0,026	1,12	60	—	—	0,411	18,1	21,8	2950	2460
36	"	"	334	0,027	1,12	60	52	27	0,401	17,4	20,6	3220	2710
33	"	"	337	0,028	1,12	67	—	—	0,398	17,0	21,0	3290	2530
41	"	20	210	0,028	1,13	92	—	—	0,478	[22,6]	[29,7]	[3210]	[2460]
42	"	"	211	0,028	1,13	93	—	—	0,475	[23,1]	[30,1]	[3060]	[2350]
73	"	"	266	0,026	1,11	79	63	29	0,399	[17,6]	[20,8]	[342]	[2890]
ср.	—	—	—	0,0298	1,119	—	59,5	28,1	0,426	18,4	22,7	3139	2522

Надо замѣтить, что хотя мы и рѣшили отказаться отъ графическаго изображенія процесса заряженія по образцу черт. 46, но все же даже при принятомъ аналитическомъ способѣ можно, пользуясь данными таблицы 25, разбить опыты, вѣрнѣе, видъ кривыхъ измѣненія содержанія CO_2 и O_2 на 2 группы. При хорошемъ заряженіи, когда нежелательнаго перемѣшиванія поступающаго воздуха съ отработавшими газами почти не происходитъ, кривая CO_2 имѣетъ видъ по образцу опыта 64, черт. 46: сперва она вогнутая къ оси абсциссъ, затѣмъ выпуклая; кривая O_2 имѣетъ обратный выпукло-вогнутый видъ. При плохомъ заряженіи, когда перемѣшиваніе наступаетъ рано, первыя части кривыхъ сокращаются или даже совсѣмъ отпадаютъ, и остается, какъ для опыта 65, черт. 46: отъ кривой CO_2 лишь вогнутая часть, а отъ кривой O_2 лишь выпуклая, или вообще кривая приближается къ наклонной прямой. Наоборотъ, въ идеальномъ случаѣ—хорошей продувки—отъ кривой CO_2 должна оставаться лишь вогнутая часть, а отъ O_2 —выпуклая.

Просматривая съ этой точки зрѣнія таблицу 25, мы видимъ, что несмотря на численное уменьшеніе ψ_1 и ψ_2 съ увеличеніемъ V_3 ходъ соотв. измѣненія CO_2 и O_2 не ухудшается, а, скорѣе, наоборотъ, нѣсколько улучшается. Кромѣ того, вообще, паденіе ψ_1 и ψ_2 не всегда соотвѣтствуетъ ухудшенію продувки въ смыслѣ увеличенія вихрей и перемѣшиванія воздуха и газовъ. Это справедливо лишь въ томъ случаѣ, если соотв. количество воздуха, т. е. λ_0 и L/k_4 остаются примѣрно одинаковыми, при измѣненіи же ихъ, какъ было какъ разъ и у насъ одновременно съ измѣненіемъ V_3 , ψ_1 и ψ_2 могутъ падать даже при улучшеніи характера продувки. Дѣло въ томъ, что при вычисленіи ψ_1 и ψ_2 по выраженію (100) очень большое вліяніе имѣетъ величина d , т. е. послѣдняго отчета. Какъ бы хорошо ни шло явленіе продувки, но если воздуха мало, величина d будетъ мало отличаться отъ a , и величина ψ будетъ мала.

Такимъ образомъ мы убѣждаемся, что и характеристики ψ_1 и ψ_2 , да и графическій методъ могутъ давать вѣрное заключеніе лишь при сравненіи опытовъ, у которыхъ *количество* продувочнаго воздуха одинаково или хотя бы приблизительно одинаково. Къ сожалѣнію, соблюденіе этого условія было при нашей машинѣ невозможно: вслѣдствіе измѣненія объема V_3 , какъ мы уже видѣли, измѣняется и λ_0 . Не помогла также и попытка подавать воздухъ безъ насоса при помощи воздуходувки черезъ крышку u_2 , черт. 2, опыты 71 и 72: при измѣненіи давленія p въ сосудѣ c и числа оборотовъ n количество воздуха все равно мѣняется очень сильно. Кромѣ того, такіе опыты, какъ 71 и 72, очень трудно ставить; трудно пустить машину въ ходъ, очень трудно держать давленіе воздуха постояннымъ, да и сама машина работаетъ какъ-то беспокойно, тяжело. Единственный вполнѣ надежный способъ для выясненія вліянія давленія выходящаго воздуха и объема промежуточнаго воздухоприемника, это поставить такіе же опыты, какъ наши, съ машиной, имѣющей самостоятельный воздушный насосъ, какъ напр., изготовляемыя шведскимъ заводомъ Акц-го О-ва Мункте.

Возвращаясь къ нашимъ опытамъ, мы можемъ относительно вліянія V_3 сказать лишь слѣдующее: несмотря на ухудшеніе λ_0 при увеличеніи V_3 , ψ_1 и ψ_2 уменьшаются лишь немного, т. е. продувка въ общемъ остается безъ существенныхъ измѣненій. Интересно отмѣтить, что ψ_1 съ увеличеніемъ V_3 падаетъ почти пропорціонально λ_0 : при работѣ безъ колпачковъ отношеніе среднихъ $\psi_1/\lambda_0=155$, при одномъ колпачкѣ $\psi_1/\lambda_0=152$, при обоихъ $\psi_1/\lambda_0=140$. Что касается ψ_2 , то оно даже возрастаетъ, что уже неоспоримо показываетъ улучшеніе продувки; именно отношеніе ψ_2/λ_0 будутъ соотв. 56, 61 и 66.

Итакъ увеличеніе V_3 , выравнивая паденіе воздуха при продувкѣ и давая меньше давленія воздуха, повидимому, улучшаетъ условія продувки.

Вліяніе p_c' , давленія воздуха въ насосѣ передъ продувкой, послѣ сказаннаго о вліяніи V_3 , можно не разсматривать отдѣльно, такъ какъ p_c' есть функція V_3 : съ увеличеніемъ V_3 давленіе p_c' падаетъ, какъ ясно видно по таблицѣ 33. Вопросъ о томъ, что собственно вліяетъ благоприятно на характеръ продувки въ смыслѣ уменьшенія перемѣшиванія воздуха и газовъ, увеличеніе ли объема воздухопроводника V_3 или пониженіе давленія p_c' , къ сожалѣнію, на основаніи нашихъ опытовъ нельзя разрѣшить вполнѣ увѣренно, въ виду невозможности измѣнять V_3 и p_c' независимо другъ отъ друга, кромѣ, конечно, опытовъ съ воздуходувкой, о которыхъ будетъ сказано ниже.

Но зато наши опыты даютъ вполнѣ опредѣленное указаніе относительно вліянія p_c' на процессъ горѣнія, вѣриѣе, на использование тепла. Какъ показываютъ среднія величины Q/N_1 , съ уменьшеніемъ p_c' расходъ тепла на 1 л. с. уменьшается. Среднимъ значеніемъ p_c' при различныхъ V_3 , именно 1,210, 1,165 и 1,119 кгр./см.² соотвѣтствуютъ $Q/N_1=3,377$.

3364 и 3266 т.ед./л.с. Картина становится еще яснѣе, если количество располагаемаго тепла взять по исправленному тепловому балансу изъ столбца 4 таблицы 29. Соотв. среднія величины Q'/N_1 будутъ 2683, 2649 и 2522. Ясное благоприятное вліяніе уменьшенія p_c' на расходъ тепла выступаетъ еще выпуклѣе, если обратить вниманіе, что съ уменьшеніемъ p_c' вслѣдствіе уменьшенія λ_0 падаетъ количество воздуха, приходящееся на 1 кгр. горючаго. Именно, среднія величины L/k_1 получились соотв. 22,4, 20,6 и 17,4 или по количеству кересина k_4 , 28,1, 26,1 и 22,2. Очевидно, если бы несмотря на уменьшеніе p_c' величина L/k оставалась примѣрно постоянной, уменьшеніе расхода тепла на 1 л.с. было бы еще гораздо больше.

Во избѣжанія недоразумѣній надо еще замѣтить, что при вычисленіи среднихъ величинъ L/k и Q/N мы не брали опытовъ съ перегрузкой, $G > 25$ кгр. на тормазѣ, и съ неполной нагрузкой, $G < 24$ кгр.. Соотв. цифры въ таблицѣ 33 заключены поэтому въ скобки.

Продолжительность продувки. Выше, стр. 147 и таблица 23, мы уже видѣли, что моментъ дѣйствительнаго начала перепуска, который можно опредѣлить по индикаторной діаграммѣ насоса, далеко не совпадаетъ съ моментомъ начала открытія окна g ; запаздываніе выражается разностью соотв. угловъ поворота кривошипа машины $\beta_2 - \beta_2'$ и колеблется отъ 12 до 31°; численно оно зависитъ главнымъ образомъ отъ числа оборотовъ n , увеличиваясь съ его возрастаніемъ, затѣмъ отъ давленія въ началѣ перепуска p_c' , падая немного съ его возрастаніемъ при прочихъ равныхъ условіяхъ, и, наконецъ, отъ толщины прокладки r , т.е. отъ открытія окна g : уменьшеніе r уменьшаетъ и $\beta_2 - \beta_2''$. Однако, главное вліяніе оказываетъ число оборотовъ n и не столько само по себѣ, какъ своимъ вліяніемъ на скорость выпуска, какъ увидимъ ниже.

Далѣе, вычисляя продолжительность продувки въ сек., мы обнаружили одоо интересное обстоятельство.

Продолжительность продувки можетъ быть найдена по выраженію

$$\vartheta = \frac{(\beta_2' + \beta_2'')60}{360.n} = \frac{(\beta_2' + \beta_2'')}{6n}, \quad (105)$$

гдѣ β_2' и β_2'' углы моментовъ начала и конца перепуска, указанные въ таблицѣ 23, стр. 147.

Оказывается, ϑ измѣняется совершенно закономѣрно: съ паденіемъ средней величины p_c' послѣдовательно съ 1,210 до 1,165 и, наконецъ, до 1,119, ϑ возрастаетъ соотв. съ 0,0237 до 0,0264 и, наконецъ, до 0,0293. При этомъ ϑ возрастаетъ почти обратно пропорціонально p_c' , но немного быстрее: произведеніе $\vartheta \cdot p_c'$ имѣетъ соотв. значенія 0,0297, 0,0308 и 0,0334.

Въ общемъ время ϑ составляетъ все же очень малую величину и абсолютно и относительно продолжительности открытія окна g . Число τ , выражающее эту относительную величину, назовемъ ее использованиемъ времени открытія окна, можетъ быть вычислено по даннымъ той же таб-

лицы 23 по выраженію

$$\tau = \frac{2\beta_2}{\beta_2' + \beta_2''}. \quad (106)$$

Численно τ колеблется въ большинствѣ опытовъ между 0,4 и 0,5, опускаясь въ крайнемъ случаѣ до 0,35 и, наоборотъ, поднимаясь до 0,53.

Сущность дѣла не мѣняется, а, наоборотъ, выясняется лучше, если мы вычисляемъ τ' по выраженію

$$\tau' = \beta_2 / \beta_2'', \quad (107)$$

которымъ обращается вниманіе на опыты съ позднимъ окончаніемъ перепуска, что происходитъ при ббльшемъ числѣ оборотовъ n . Величины τ' лежатъ между предѣлами 0,09 и 0,61.

Такимъ образомъ мы видимъ, что окно g могло бы безъ ущерба открываться нѣсколько позднѣе, а также давать нѣсколько меньшую площадь открытія, т. е. при той же ширинѣ по окружности быть просто нѣсколько короче. Такое уменьшеніе окна не только не ухудшитъ заряде ніе и въ частности продувку, а, наоборотъ, улучшить, такъ какъ при этомъ пропадетъ безусловно вредное попаданіе продуктовъ горѣнія въ каналъ g , о чемъ мы уже говорили неоднократно выше.

Связь между продувкой и выпускомъ. Сравнивая данныя таблицъ 23 и 24, мы видимъ слѣдующее: Продувка начинается всегда лишь по окончаніи выпуска, углы $\beta_2' < \beta_3''$; затѣмъ ясно видно, что эта связь не случайна: продувка начинается тѣмъ позднѣе, чѣмъ позднѣе оканчивается выпускъ, достаточно сравнить напр. опыты 26 и 27 или 48 и 49. Разность $\beta_3'' - \beta_2'$ не постоянна и колеблется отъ 6° до 21°. Впрочемъ, она и не могла быть сколько нибудь постоянной, даже если ее отнести ко времени, т. е. выразить въ доляхъ секундъ. Дѣло въ томъ, что на эту разность вліяютъ слишкомъ много обстоятельствъ: давленіе въ концѣ расширенія, котрое само зависитъ отъ давленія всыпки, т. е. отъ расхода горючаго и степени совершенства горѣнія, затѣмъ давленіе начала перепуска p_c' , число оборотовъ n , толщина прокладки r , температура продуктовъ горѣнія t_4 , зависящая отъ температуры и количества охлаждающей воды и др.

Вліяніе n . Вліяніе измѣненія числа оборотовъ n сказывается въ смыслѣ уменьшенія ψ_1 и ψ_2 съ увеличеніемъ n ; впрочемъ вліяніе это не особенно ясно, опять-таки изъ-за паденія λ_0 , съ одной стороны, вліяющаго на ψ_1 и ψ_2 понижающимъ образомъ, съ другой же, изъ-за уменьшенія скорости w_2 , вліяющаго благоприятно.

На L/k_1 число оборотовъ дѣйствуетъ, какъ и слѣдовало ожидать, вполне закономѣрно: съ увеличеніемъ n отношеніе L/k_1 падаетъ вслѣдствіе указаннаго уже выше уменьшенія величины λ_0 .

Вліяніе w_2 . Вопреки бывшимъ у насъ опасеніемъ увеличеніе скорости впуска сжатого воздуха не оказываетъ замѣтнаго отрицательнаго дѣйствія на характеръ продувки, т. е. на величины ψ_1 и ψ_2 , по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ измѣненія w_2 въ нашихъ опытахъ отъ 45 до 118 мт./сек.. Впрочемъ вѣрнѣе разсматривать измѣненія w_2 при равныхъ

условіяхъ, т. е. V_3 и r , тогда имѣемъ колебанія w_2 до $\pm 10\%$ и въ одной группѣ даже до $\pm 20\%$ отъ соотв. средней величины. Очевидно, что неизбежное пониженіе ψ_1 и ψ_2 при увеличеніи w_2 искупается увеличеніемъ подачи воздуха, такъ какъ наибольшія w_2 получаются далеко не всегда при наибольшихъ n .

Вліяніе r . Въ виду измѣненія съ измѣненіемъ r прохода оконъ e и g вліяніе это должно было бы быть очень замѣтнымъ. Въ дѣйствительности вліяніе r наблюдается, какъ и слѣдовало ожидать, нѣкоторымъ уменьшеніемъ ψ_1 и ψ_2 съ увеличеніемъ r . Вліяніе r меньше, чѣмъ можно было ожидать, имѣя въ виду окно g , вслѣдствіе того, что r вліяетъ у насъ на открытія оконъ e и g въ противоположныхъ направленіяхъ: уменьшенія открытія g искупается въ извѣстной степени увеличеніемъ открытія e , т. е. λ_0 , и наоборотъ.

Вліяніе ϵ . Объемъ камеры сжатія V_c , конечно, имѣетъ вліяніе на составъ заряда въ концѣ выполаскиванія. Чѣмъ V_c больше, т. е. ϵ меньше, тѣмъ больше отработавшихъ газовъ остается отъ предыдущаго хода. Опыты это и подтверждаютъ; сравнивать надо, разумѣется, опыты съ одинаковымъ r , но разными ϵ , т. е. подкладками z подъ головку. Опытъ 3 съ $\epsilon=4,86$ имѣетъ $\psi_1=86$ и $\psi_2=31$, опыты 43, 44, 50—52, близкіе къ нему по n , но съ $\epsilon=4,53$, имѣютъ въ среднемъ $\psi_1=72$ и $\psi_2=28$; при этомъ λ_0 у опыта 3 по какой то случайной причинѣ получилось меньше, чѣмъ у опытовъ сравниваемой группы; если бы λ_0 было одинаково, разница была бы еще больше.

Такіе же выводы даетъ сравненіе опытовъ 1 и 2, тоже съ $\epsilon=4,86$, съ опытами 43—45, съ $\epsilon=4,53$: несмотря на значительно большее n и меньшее λ_0 , опыты 1 и 2 имѣютъ ψ_1 и ψ_2 не только равныя опытамъ 43—45, но даже чуть больше.

Работа съ воздухоудвкой въ общемъ подтверждаетъ всѣ полученные выше выводы, дѣлая это лишь еще рельефнѣе, какъ видно по таблицѣ 34.

Таблица 34.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
№ опыта	добав. колп.	r мм.	n	давл. въ c p мм. в. ст.	$p c'$ кг/см ² .	ϑ сек.	w_2 мт/сек.	ψ_1 °/о	ψ_2 °/о	λ_0	$\frac{L}{k_1}$	$\frac{L}{k_4}$	$\frac{Q}{N_1}$	$\frac{Q'}{N_1}$
61	t_1+t_2	5	241	270	1,14	0,026	85	73	29	0,603	26,8	31,0	3400	2940
63	"	"	298	285	1,14	0,029	75	60	29	0,565	25,2	28,2	3760	3350
62	"	"	248	644	1,16	0,027	105	76	27	0,748	31,7	34,8	3610	3290
56	"	10	218	156	1,27	0,028	99	86	30	0,736	25,0	33,2	3700	2800
57	"	"	221	218	1,28	0,026	107	—	—	0,746	25,6	33,5	3780	2900
58	"	"	236	405	1,29	0,025	125	78	25	0,825	28,2	36,7	3760	2900
65	"	"	273	915	1,30	0,027	127	62	20	0,928	34,0	39,3	3530	3050
53	t	20	217	610	1,26	0,028	127	65	22	0,875	37,7	43,4	3170	2770
71	c	15	258	1287	1,19	0,021	122	79	30	(0,574)	25,1	28,8	3210	2810
72	"	"	317	1294	1,19	0,018	132	—	—	(0,560)	25,1	29,0	3070	2650

Увеличеніе давленія p невыгодно, по крайней мѣрѣ при данной конструкции впускного окна g : несмотря на значительно бѣльшую подачу воздуха, увеличеніе λ_0 и L/k , характеръ продувки ухудшается, въ среднемъ получилось $\psi_1=72,4$ и $\psi_2=26,5$, а главное, очень сильно возрастаетъ расходъ тепла на 1 инд. л. с., именно въ среднемъ получилось $Q/N_1=3499$ и $Q'/N_1=2946$, т. е. значительно больше наибольшихъ величинъ при работѣ безъ воздухоудвки.

Далѣе нужно указать на чрезвычайно сильное вліяніе толщины прокладки r , т. е. открытія окна g : съ уменьшеніемъ его быстро падаетъ λ_0 , а, главное, возрастаетъ Q/N_1 и Q'/N_1 . Вліяніе r на p_c' , т. е. и на λ_0 , оказывается гораздо замѣтнѣе вліянія p , давленія въ сосудѣ c , т. е. производимаго воздухоудвкой.

Затѣмъ интересно то обстоятельство, что при опытахъ 71 и 72, когда воздухъ подавался изъ сосуда c прямо въ заднюю полость, помимо окна e , несмотря на сравнительно малое λ_0 , объясняемое недостаткомъ сѣченія трубы, соединявшей c съ машиной, и L/k , величины ψ_1 и ψ_2 получились значительно выше среднихъ величинъ остальныхъ опытовъ съ воздухоудвкой, а, главное, Q/N_1 и Q'/N_1 получились значительно ниже соотв. среднихъ величинъ. Что это зависитъ не отъ r , видно изъ того, что опытъ 53 имѣетъ такой же расходъ тепла, но при полуторномъ количествѣ воздуха.

Такимъ образомъ ясно, что увеличеніе объема воздухопріемника, дѣлая болѣе равномернымъ поступленіе воздуха въ рабочій цилиндръ машины, улучшаетъ условія продувки и послѣдующаго рабочаго хода.

Скорость w_2 такъ же, какъ и выше, не оказываетъ замѣтнаго вліянія на работу машины, несмотря на то, что w_2 , измѣнялось въ широкихъ предѣлахъ, отъ 75 до 132 мт./сек..

Наконецъ, нужно замѣтить, что продолжительность перепуска ϑ въ общемъ падаетъ медленнѣе, чѣмъ возрастаетъ p_c' , что указываетъ на возрастаніе сопротивленій и уменьшеніе коэффициента α . Зато при подачѣ воздуха прямо воздухоудвкой черезъ сосудъ c , опыты 71 и 72, ϑ получается значительно меньше, и произведеніе $p_c' \cdot \vartheta = 0,025$ и даже всего 0,021 доказываетъ, что при болѣе равномерномъ движеніи воздуха сопротивленія значительно менѣе, величина α возрастаетъ. Этимъ объясняется отмѣченная выше болѣе удовлетворительная работа машины при этихъ условіяхъ. Такъ какъ въ виду отсутствія подачи насосомъ при опытахъ 71 и 72 величины λ_0 для нихъ потеряли обычный смыслъ, то онѣ заключены въ скобки и даютъ лишь мѣрку для сравненія расхода воздуха.

28. Сжатіе и горѣніе. — Сжатіе и горѣніе въ машинахъ даннаго типа приходится разсматривать одновременно въ виду отсутствія опредѣленнаго момента, разграничивающаго эти два періода работы машины. Дѣло въ томъ, что при началѣ подачи горючаго примѣрно при положеніи кривошипа въ 150° до мертвой точки, т. е. за 91% до конца хода,

воспламенение происходит за 1 до 3% до мертвой точки, а отдельные обводы на диаграммах обнаруживают воспламенение за 5—10, даже до 20% до мертвой точки. Кроме того, иногда наблюдаются воспламенения за 50 и 60% до мертвой точки.

Неопредѣленностью точки окончанія сжатія объясняются различныя величины давленія сжатія p_c , столбецъ 3 таблицы 27, при одномъ и томъ же ϵ , напр., опыты 1, 2 и 3, 5, 6, 7 и др.. Въ такихъ случаяхъ p_c получается тѣмъ больше, чѣмъ меньше число оборотовъ, т. е. большее время предоставляется для воспламененія. На дѣйствительное давленіе сжатія n вліяетъ обратно: повышеніе n , уменьшая теплоотдачу стѣнкамъ цилиндра, съ одной стороны, и неизбѣжную утечку воздуха черезъ зазоры между поршневыми кольцами и стѣнкой цилиндра, съ другой, увеличиваетъ видимый показатель политропы линіи сжатія, а, слѣдовательно, и конечное давленіе p_c .

Вліяніе ϵ . Обстоятельство, наиболѣе замѣтно отражающееся на величинѣ p_c , это степень сжатія ϵ . Въ большинствѣ опытовъ мы имѣли $\epsilon' = 4,53$ до 4,58; этому соотвѣтствуетъ $p_c = 5,0$ до 5,2, въ видѣ исключенія встрѣчаются p_c , опускающіяся до 4,9 и поднимающіяся до 5,6. Болѣе высокому сжатію $\epsilon' = 4,86$ соотвѣтствуютъ $p_c' = 5,9$ до 6,6. Наименьшему сжатію $\epsilon' = 4,30—4,34$ соотвѣтствуютъ $p_c = 5,1—5,2$; объясняется это неожиданное болѣе высокое p_c тѣмъ, что опыты эти велись съ сравнительно низкимъ числомъ оборотовъ, когда явленіе преждевременнаго воспламененія сказывается сильнѣе.

Прослѣдить вліяніе на p_c сжатія ϵ'' , при которомъ было принято во вниманіе вліяніе окна f , къ сожалѣнію, невозможно, такъ какъ колебанія ϵ'' въ предѣлахъ ϵ' , менѣе чувствительныхъ къ измѣненіямъ условій работы, значительно менѣе, чѣмъ вліяніе на p_c преждевременнаго воспламененія.

Вліяніе вбрызгиванія воды внутрь цилиндра должно сказываться пониженіемъ p_c вслѣдствіе пониженія температуры заряда при испареніи воды. Правда, при испареніи увеличивается нѣсколько суммарное давленіе газовъ и паровъ, но простой подсчетъ показываетъ, что это увеличеніе давленія гораздо меньше его уменьшенія вслѣдствіе пониженія температуры за счетъ скрытой теплоты парообразованія.

Наши опыты вполне подтверждаютъ это положеніе: достаточно сравнить опыты 35 и 36, при которыхъ вбрызгиваніе воды въ цилиндръ понижаетъ p_c съ 4,9 до 4,8 атм., или опыты 50 и 51, пониженіе p_c съ 6,5 до 5,9, или, наконецъ, опыты 1—4 безъ вліянія вбрызгиванія съ $p_c \approx 6,5$ и опыты 67—70 съ вбрызгиваніемъ и $p_c \approx 6,3$. При этомъ нужно замѣтить, что мы вообще избѣгали работать съ вбрызгиваніемъ воды и прибѣгали къ нему лишь по необходимости, когда преждевременныя вспышки нарушали правильность работы машины. Отношеніе g/k количества вбрызгиваемой воды къ количеству сожженного керосина у насъ было

всегда менѣе 1. Вліяніе вбрызгиванія въ современныхъ машинахъ, работающихъ съ $g/k > 1$ и доходящимъ до 3—4 и даже болѣе, конечно, еще гораздо сильнѣе, но характеръ вліянія долженъ оставаться тѣмъ же.

Въ заключеніе можно еще пояснить, почему мы не говорили совершенно о вбрызгиваніи воды въ цилиндръ въ § 27, хотя подача воды въ дѣйствительности происходитъ въ періодъ заряженія, при пониженіи давленія въ цилиндрѣ ниже атмосфернаго. Дѣло въ томъ, что самъ по себѣ процессъ подачи воды не представляетъ никакихъ данныхъ для изслѣдованія; вліяніе воды начинается лишь съ періода сжатія, гдѣ мы объ немъ и сказали.

Воспламененіе. Обстоятельства, особенно вліяющія на ходъ горѣнія, это моментъ воспламененія относительно мертвой точки и сила воспламененія. Къ сожалѣнію, ни то, ни другое въ нашей машинѣ не поддается ни произвольному измѣненію, ни сколько нибудь точному опредѣленію.

Моментъ воспламененія можно опредѣлять по смѣщеннымъ индикаторнымъ диаграммамъ, однако послѣднія обнаруживали столь сильное разсѣиваніе отдѣльныхъ обводоѡ, что видно, напр., на черт. 32, стр. 62, что указать дѣйствительный средній моментъ воспламененія для отдѣльнаго опыта трудно. Въ общемъ надо сказать, что въ большинствѣ опытовъ воспламененіе происходитъ въ среднемъ съ запаздываніемъ, за мертвой точкой. Чтобы сдѣлать воспламененіе болѣе своевременнымъ надо было бы измѣнить уголъ заклиненія эксцентрика, сообщающаго движеніе керосиновому насосу, но въ виду непостоянства момента вспышки и разсѣиванія диаграммъ при этомъ стали бы появляться столь преждевременныя вспышки, что стало бы невозможно работать безъ вбрызгиванія воды, чего мы не хотѣли, чтобы не затемнять еще болѣе процессъ горѣнія присутствіемъ большого количества водяныхъ паровъ.

Моментъ воспламененія зависитъ отъ очень многихъ обстоятельствъ; главнымъ образомъ отъ: момента подачи горючаго, температуры запальнаго шара, давленія и температуры въ концѣ сжатія и числа оборотовъ, затѣмъ онъ зависитъ еще отъ процесса заряженія, т. е. объемнаго наполненія цилиндра и процесса продувки, отъ температуры продуктовъ горѣнія и охлаждающей воды. Въ виду невозможности установить точно самый моментъ воспламененія и измѣнять его по желанію, мы рѣшили ограничиться приведенными выше выводами о непостоянствѣ момента воспламененія и запаздываніи его.

Интенсивность воспламененія зависитъ отъ тѣхъ же факторовъ, что и моментъ воспламененія, и такъ же трудно поддается изслѣдованію. Просматривая смѣщенные индикаторныя диаграммы, мы можемъ сказать, что быстрота воспламененія нѣсколько больше съ увеличеніемъ степени и давленія сжатія и въ общемъ при данной конструкціи запальнаго шара при нормальной нагрузкѣ достаточна велика. Слишкомъ медленное воспламененіе мы видимъ лишь въ опытаѡхъ съ очень позднимъ

моментомъ воспламененія и съ меньшей нагрузкой; въ послѣднемъ случаѣ, вслѣдствіе уменьшенія общаго расхода горючаго k , температура запальнаго шара падаетъ, о чемъ можно судить также и по потемнѣнію его, чѣмъ и объясняется медленность воспламененія. При холостомъ ходѣ расходъ горючаго k становится такъ малъ, что для поддержанія необходимой температуры запальнаго шара его приходится снаружи подогревать лампой.

Горѣніе. Правильное изслѣдованіе явленія горѣнія можно произвести лишь, перенеся индикаторную діаграмму въ координаты $T-S$; однако построеніе энтропійной, или тепловой діаграммы машины, регулируемой пропусками и дающей указанное сильное разсѣиваніе отдѣльныхъ обводоу, становится столь затруднительно и гадательно, что мы сочли бесполезнымъ къ нему прибѣгать.

Основываясь на индикаторныхъ діаграммахъ, можно сказать слѣдующее: при своевременномъ воспламененіи горѣніе идетъ хорошо, какъ и слѣдовало ожидать, имѣя въ виду большой избытокъ воздуха L/k при нашихъ опытахъ; позднее воспламененіе даетъ медленное горѣніе. Явленіе догорания, судя по малой величинѣ показателя политропы линіи расширенія, наблюдается почти во всѣхъ опытахъ, а при медленномъ горѣніи доходитъ ясно до половины линіи расширенія. Величинъ показателей политропы расширенія мы не приводимъ въ виду неточности, съ которой было связано ихъ нахожденіе вслѣдствіе сильнаго разсѣиванія и сильно волнообразнаго вида линіи расширенія; послѣднее обстоятельство мы не могли устранить несмотря на примѣненіе довольно жесткихъ индикаторныхъ пружинъ вслѣдствіе слишкомъ рѣзкаго повышенія давленія въ моментъ воспламененія.

Для выясненія вліянія различныхъ факторовъ мы собрали по образцу предыдущихъ §§ соотвѣтствующія величины, которыя такъ или иначе находятся въ связи съ процессомъ горѣнія, въ нижеслѣдующія таблицы 35 и 36. Порядокъ группировки опытовъ здѣсь пришлось измѣнить, заранѣе учтя, какія обстоятельства должны имѣть преобладающее вліяніе. Такими обстоятельствами являются объемъ V_3 , какъ мы уже видѣли въ § 27, существенно вліяющій черезъ давленіе перепуска на расходъ тепла на 1 л. с., т. е. въ этомъ отношеніи опыты остались разбитыми на 4 основныя группы, съ разными добавочными колшаками и воздухоудувкой. Вторымъ факторомъ, вліяніе котораго можно было ожидать, это степень сжатія ϵ' , по возрастающимъ величинамъ, котораго мы и разбили основныя группы опытовъ. Въ предѣлахъ одинаковыхъ V_3 и ϵ' опыты расположены по прежнему по возрастающему n . Оставили мы послѣдній порядокъ ради простоты, хотя расположеніе по измѣненіямъ L/k_4 или q_1' было бы, можетъ быть, болѣе правильно. Однако и при принятой нами группировкѣ опыты разбиваются на 11 меньшихъ группъ, въ предѣлахъ каждой изъ которыхъ уже нетрудно прослѣдить или, вѣрнѣе, обнаружить вліяніе того или иного фактора.

Таблица 35.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
№ опыта	добав. копалки	n	ε'	p_c	p_3	p_i	G	t_4	CO_2 %	CO %	$\text{H}_2\text{O}'$ г/мт ³	CO_2' г/мт. ³	CO_2' $\text{H}_2\text{O}'$	$\frac{L}{k_4}$	k_1-k_4	q_i'	$q_{\text{ит}}'$
66	—	263	4,30	5,1	9,0	2,15	25	357	5,1	0,2	3,45	10,48	3,04	31,4	0,70	23,6	7,9
59	—	281	4,34	5,2	14,4	2,24	25	393	5,4	0,5	2,62	8,61	3,29	27,6	0,98	24,9	5,6
60	—	283	"	5,2	15,6	2,22	25	388	5,6	0,3	2,70	8,62	3,19	27,4	0,78	24,0	5,7
5	—	228	4,58	5,6	14,0	2,14	24	313	5,4	0,4	4,31	10,48	2,43	31,4	0,70	22,6	8,5
6	—	228	"	5,5	14,0	2,20	24	318	5,3	0,4	—	—	—	30,7	0,59	23,3	8,7
55	—	248	"	5,6	*14,6	2,30	25	323	5,4	0,2	2,41	6,09	2,53	28,8	0,84	23,6	4,6
75	—	270	"	4,9	7,5	2,06	25	363	5,5	0,4	3,29	9,10	2,77	26,4	0,66	22,0	6,1
64	—	274	"	5,3	11,6	2,14	25	368	5,3	0,4	3,40	8,49	2,50	28,0	0,86	23,7	6,6
7	—	293	"	5,2	*14,6	2,10	24	398	5,2	0,5	3,87	9,89	2,56	27,9	0,74	24,7	7,3
8	—	293	"	5,2	*14,6	2,11	24	401	5,2	0,6	—	—	—	27,6	0,64	24,6	7,2
54	—	295	"	5,6	*14,6	2,23	25	389	6,0	0,8	2,05	7,38	3,60	24,7	0,94	23,6	4,4
11	—	295	"	5,4	14,0	2,20	24	376	5,3	0,3	3,75	9,30	2,48	28,2	0,81	24,4	7,1
12	—	295	"	5,4	*14,6	2,15	25	380	5,5	0,3	—	—	—	27,6	0,72	24,1	6,9
14	—	298	"	5,4	14,5	2,05	24	388	5,6	0,3	—	—	—	26,9	0,89	22,1	8,4
13	—	299	"	5,4	14,5	2,10	24	385	5,5	0,2	4,89	11,40	2,33	28,2	1,04	22,4	8,9
9	—	299	"	5,3	14,0	2,10	24	370	5,1	0,3	3,71	9,15	2,47	29,3	0,70	24,6	7,2
10	—	299	"	5,1	*14,6	2,15	24	357	5,1	0,3	3,71	9,15	2,47	29,5	0,56	24,8	7,2
74	—	299	"	5,0	10,0	2,01	25	353	5,0	0,3	3,15	7,80	2,48	30,7	0,51	26,1	6,4
15	—	374	"	5,1	11,5	1,90	24	483	6,0	0,5	4,81	14,91	3,10	24,4	1,17	21,3	8,8
16	—	377	"	5,4	12,9	1,95	24	464	6,0	0,3	—	—	—	24,9	0,94	21,9	9,0
69	—	205	4,86	6,4	13,3	2,23	25	299	5,5	0,3	2,78	8,81	3,17	29,0	0,77	21,9	7,0
70	—	233	"	6,3	13,3	2,13	25	315	5,1	0,3	4,03	10,26	2,55	30,0	0,67	22,7	8,2
67	—	279	"	6,3	12,0	2,25	25	340	5,6	0,3	3,66	11,28	3,08	28,2	0,70	24,4	7,7
68	—	359	"	6,2	12,3	2,25	25	393	5,9	0,3	4,25	11,35	2,67	26,3	1,05	24,5	7,6
ср.						2,14		372	5,45	0,36	3,52	9,61	2,73	28,1	0,79	23,4	7,2
44	t_1	218	4,53	5,2	*14,6	2,22	22	324	5,5	0,3	2,45	10,45	4,26	28,5	0,77	22,7	6,5
43	"	228	"	5,3	12,9	1,85	15	306	3,9	0,3	2,62	10,55	4,03	37,3	0,79	23,7	8,8
47	"	239	"	5,2	*14,0	2,14	25	364	6,3	0,2	2,91	10,95	3,76	26,2	0,76	23,8	6,5
45	"	261	"	5,2	14,0	2,21	25	370	6,3	0,2	3,02	11,03	3,65	26,8	0,82	25,9	6,8
48	"	325	"	4,9	12,6	2,22	25	468	7,8	0,3	3,02	10,14	3,36	21,8	0,73	25,1	5,1
46	"	331	"	5,0	*14,6	2,24	25	447	7,8	0,3	5,03	15,01	2,98	22,8	0,71	24,4	8,3
49	"	367	"	5,0	*14,6	2,18	25	473	7,4	0,3	4,01	12,89	3,21	22,1	0,72	23,9	6,8
18	"	226	4,58	5,6	13,5	1,99	24	331	5,2	0,4	3,78	9,39	2,48	28,8	0,89	22,4	7,2
17	"	228	"	5,5	14,0	1,97	24	331	5,0	0,4	3,78	9,39	2,48	29,5	0,92	22,7	7,4
19	"	293	"	5,5	14,0	1,96	24	383	6,4	0,3	—	—	—	25,4	0,68	24,3	7,6
20	"	293	"	5,5	13,0	1,98	24	383	6,4	0,3	—	—	—	25,2	0,70	24,5	7,5
21	"	293	"	5,5	*14,6	1,98	25	402	6,5	0,4	4,48	11,37	2,54	22,0	0,90	22,1	7,0
23	"	295	"	5,2	14,0	1,69	20	372	5,3	0,7	—	—	—	26,3	0,85	21,2	7,7
22	"	304	"	5,2	14,0	1,76	20	374	5,7	0,4	—	—	—	26,8	0,89	21,9	7,6
26	"	357	"	5,0	14,0	1,95	24	438	6,8	0,4	5,50	14,53	3,19	23,7	0,80	23,4	10,0
24	"	358	"	5,0	9,2	1,64	20	444	6,5	0,8	6,56	20,92	3,19	23,7	0,84	21,0	11,8
25	"	365	"	5,0	14,0	1,72	20	444	6,6	0,5	—	—	—	24,2	0,88	20,9	10,2
50	"	184	4,86	6,0	*16,6	2,02	20	310	5,7	0,3	2,32	15,28	2,08	27,5	0,84	21,0	8,0
51	"	199	"	5,9	15,0	2,26	25	328	5,6	0,2	2,26	9,05	4,00	27,5	0,85	24,9	5,5
3	"	211	"	6,6	14,0	2,03	24	309	5,4	0,4	3,97	9,95	2,51	27,2	1,01	22,9	7,3
52	"	215	"	6,0	14,0	2,11	25	307	4,5	0,4	3,60	11,70	3,25	34,2	0,54	25,0	9,4
4	"	216	"	6,6	*14,6	2,02	24	308	5,3	0,4	3,97	9,95	2,51	27,6	0,98	23,7	7,3
1	"	329	"	6,4	14,0	2,03	24	424	5,7	0,8	4,02	10,13	2,52	21,8	0,64	24,6	10,3
2	"	343	"	6,5	*14,6	2,02	24	399	5,6	0,2	—	—	—	24,7	0,59	24,1	10,2
ср.						2,08		370	6,13	0,30	3,81	11,32	2,98	25,9	0,79	24,0	7,6

Таблица 35, продолженіе.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
41	$t_1 + t_2$	210	4,53	5,3	13,6	[2,08]	20	[305]	[5,6]	[0,3]	[3,83]	[11,30]	[2,95]	[29,7]	1,38	[25,8]	(8,3)
42	"	211	"	5,3	11,2	[2,04]	20	[307]	[5,7]	0,2	[3,83]	[11,30]	[2,95]	[30,1]	0,62	[27,0]	(8,4)
73	"	266	4,54	4,5	7,5	[1,93]	23	[516]	[7,5]	[0,4]	[3,66]	[12,05]	[3,29]	[20,8]	0,54	[21,8]	(6,0)
39	"	184	4,58	4,9	14,0	[2,46]	30	[304]	[8,2]	[1,2]	[6,23]	[21,57]	[3,46]	[19,0]	1,17	[25,1]	(9,4)
40	"	187	"	4,8	14,0	[2,42]	31	[307]	[8,0]	[1,5]	—	—	—	[18,8]	1,38	[24,8]	(9,4)
38	"	196	"	4,9	15,0	2,30	25	303	7,4	0,1	3,85	10,94	2,84	24,4	0,65	27,6	7,2
37	"	198	"	4,9	14,0	2,18	25	304	7,7	0,0	3,85	10,94	2,84	24,3	0,63	25,5	7,2
27	"	212	"	5,2	14,0	2,13	25	332	6,3	0,5	3,87	9,81	2,53	25,3	0,62	24,3	6,6
28	"	218	"	5,2	*14,6	2,15	25	325	5,8	0,3	3,99	9,91	2,48	26,5	0,66	25,3	7,1
30	"	280	"	5,0	14,0	2,10	25	456	7,2	0,3	4,27	10,77	2,52	21,8	0,67	25,1	6,2
29	"	287	"	5,1	11,0	2,09	25	469	7,0	0,3	—	—	—	21,9	0,67	25,4	6,2
31	"	294	"	5,0	*14,6	2,10	25	426	7,6	0,1	4,43	11,99	2,71	22,6	0,56	24,6	6,9
32	"	294	"	5,0	*14,6	2,10	25	425	7,6	0,1	4,43	11,99	2,71	22,3	0,49	26,0	6,8
34	"	329	"	4,9	12,9	2,03	25	470	7,8	0,3	5,89	17,12	2,91	20,5	0,88	24,4	8,7
35	"	330	"	4,9	12,8	2,20	25	458	7,4	0,5	4,21	12,01	2,85	21,8	0,71	25,7	6,5
36	"	334	"	4,8	12,8	2,08	25	496	8,5	0,3	3,93	13,53	3,44	20,6	0,68	23,3	6,5
33	"	337	"	4,9	12,9	2,01	25	470	8,4	0,5	5,87	17,31	2,95	21,0	0,83	25,0	8,9
ср.						2,12		411	7,40	0,28	4,35	12,19	2,80	22,7	0,77	25,8	7,1

Вліяніе n . Установить какую либо связь между n и p_3 , наибольшимъ давленіемъ въ моментъ конца горѣнія, по нашимъ опытамъ нельзя. Дѣло въ томъ, что связь эта двоякая: съ одной стороны, съ повышеніемъ числа оборотовъ моментъ воспламененія начинаетъ запаздывать, давленіе p_3 при прочихъ равныхъ условіяхъ должно понижаться; съ другой стороны, увеличеніе числа оборотовъ уменьшаетъ продолжительность горѣнія, а, слѣдовательно, и теплоотдачу охлаждающей воды и тѣмъ должно повышать p_3 . Вліяніе этихъ двухъ обстоятельствъ, дѣйствующихъ въ противоположныхъ направленіяхъ, въ связи съ непостоянствомъ момента и интенсивности воспламененія лишаютъ измѣненія p_3 ясной закономерности.

Къ этому надо еще добавить, что штокъ индикаторнаго поршенька былъ у насъ снабженъ упоромъ, предохранявшимъ пружину отъ чрезмернаго сжатія, грозящаго ее сломать въ случаѣ наступленія слишкомъ большого давленія p_3 ; не желая въ то же время брать излишне жесткой пружины, чтобы не уменьшить точность нахождения p_1 , мы получили при 21 опытахъ діаграммы, у которыхъ часть обводоовъ была лишена верхушки, поршеньекъ индикатора ударялся въ упоръ. Судя по другимъ болѣе низкимъ обводамъ той же діаграммы и по линіи расширения этихъ обрѣзанныхъ обводоовъ, мы можемъ съ увѣренностью сказать, что присутствіе упора не уменьшило сколько-нибудь замѣтно площади діаграммы, но, конечно, скрыло наибольшее давленіе p_3 даннаго опыта. Такія величины p_3 , столбецъ 4 таблицы 27 и столбецъ 6 таблицы 35 и 36 помѣчены звѣздочкой * передъ величиной p_3 .

Разъ нельзя установить вліянія n на p_3 , то понятно отсутствіе видимаго вліянія n на остальные величины, кромѣ температуры отработавшихъ газовъ t_4 , о чемъ сказано ниже.

Вліяніе сжатія ϵ . Вопреки ожиданіямъ на основаніи теоретическихъ данныхъ вліяніе измѣненія ϵ по нашимъ опытамъ установить нельзя. Объясняется это уже указаннымъ выше неисправнымъ дѣйствіемъ форсунки, съ одной стороны, и сравнительно малыми предѣлами измѣненія ϵ' , отъ 4,30 до 4,86, съ другой. Кромѣ того, отсутствіе вліянія ϵ на работу машины служитъ косвеннымъ подтвержденіемъ того, что при вычисленіи степени сжатія двухтактной машины можно пренебрегать вліяніемъ поздняго закрыванія кромкой поршня выпускного окна f . Вычисленныя при этомъ вліяніи степени сжатія ϵ'' , таблица 21, стр. 137, измѣняются въ болѣе значительныхъ предѣлахъ, отъ 3,33 до 3,85, и должны были бы отразиться на работѣ машины. Очевидно, вліяніе повышенія по сравненію съ четырехтактной машиной давленія воздуха въ цилиндрѣ въ моментъ заряженія и мятіе въ окнѣ f вскорѣ послѣ мертвой точки почти совсѣмъ выравниваютъ теоретическое уменьшеніе полезной длины хода поршня при сжатіи.

Связь между p_c , p_3 и p_1 равнымъ образомъ установить нельзя. Объясняется это, очевидно, ненадежностью процессовъ воспламененія и горѣнія, обнаруживаемой по индикаторнымъ діаграммамъ.

Кромѣ того, какъ это ни странно, нельзя обнаружить на p_1 вліянія даже p_3 : мы имѣемъ опыты съ очень низкимъ p_1 при сравнительно высокомъ давленіи всыпки p_3 , и наоборотъ. Отчасти это должно быть объяснено недостаточной точностью опредѣленія обоихъ давленій при бывшемъ у насъ сильномъ разсѣиваніи отдѣльныхъ обводоовъ получавшихся индикаторныхъ діаграммъ. Вообще опыты обнаружили желательность полученія индикаторныхъ діаграммъ при помощи иного прибора, напр., оптического индикатора, на показаніяхъ котораго менѣе отражаются рѣзкіе, преждевременные взрывы и инерція движущихся частей индикатора.

При этомъ можно еще отмѣтить, что въ среднемъ p_1 при нормальной нагрузкѣ на тормазѣ $G=24-25$ кгр. держалось одинаковымъ при всѣхъ разнообразныхъ условіяхъ работы около 2,10 кгр./см.². У нѣкоторыхъ опытовъ p_1 повышалось до 2,20—2,30, у другихъ падало до 1,95 и даже 1,90. При регулированіи пропусками такое низкое p_1 безусловно свидѣтельствуетъ о неисправной работѣ машины; у насъ въ этихъ опытахъ въ большинствѣ случаевъ наблюдалось плохое воспламененіе и медленное горѣніе.

Отсутствіе вліянія p_1 на остальные данныя, какъ температура отработавшихъ газовъ t_4 , q_1' и т. д., объясняется указаннымъ постоянствомъ среднихъ величинъ p_1 .

Температура t_4 отработавшихъ газовъ колебалась у насъ въ широкихъ предѣлахъ, отъ 299 до 516° Ц. Объясняется это указаннымъ уже непостояннымъ и неправильнымъ воспламененіемъ и горѣніемъ, а отчасти также и вліяніемъ измѣненія расхода и температуръ охлаждающей воды, о чемъ еще будетъ сказано ниже. Впрочемъ, какъ и слѣдо-

вало ожидать въ виду постоянства нагрузки и средняго p_1 , среднія величины t_4 колеблются значительно менѣе: для нашихъ трехъ основныхъ группъ при работѣ безъ воздухоудвки среднія t_4 получались соотв. 372, 370 и 441° Ц. При этомъ послѣдняя цифра не вполне сравнима съ двумя предыдущими, такъ какъ число опытовъ съ нормальной нагрузкой въ ней невелико, и условія работы мѣнялись гораздо менѣе.

Единственное вполне законмѣрное измѣненіе t_4 обнаруживается съ измѣненіемъ числа оборотовъ n . Во всѣхъ 8 группахъ съ одинаковымъ ϵ' съ увеличеніемъ n t_4 увеличивается и довольно значительно. Въ среднемъ t_4 возрастаетъ приблизительно на 8° Ц. на каждые 10 оборотовъ.

Такое возрастаніе t_4 можетъ быть объяснено тремя обстоятельствами: во-первыхъ, уменьшеніемъ отнятія тепла охлаждающей водой при увеличеніи числа оборотовъ, во-вторыхъ, увеличеніемъ продолжительности періода догорания на линіи расширенія, и, наконецъ, въ-третьихъ, уменьшеніемъ количества воздуха при увеличеніи n , а, слѣдовательно, и всѣа продуктовъ горѣнія, которые при приблизительно постояннмъ теплоемкости и примѣрно одинаковомъ развитіи тепла нагрѣваются при этомъ, слѣдовательно, до болѣе высокой температуры.

Содержаніе CO_2 и CO въ отработавшихъ газахъ мѣняется совершенно законмѣрно, но совершенно различно. Содержаніе CO_2 возрастаетъ съ уменьшеніемъ L/k_4 , какъ въ предѣлахъ большихъ группъ, съ различными объемами V_3 , такъ и по каждой подгруппѣ съ возрастаніемъ n , которое, какъ указано выше, тоже уменьшаетъ L/k_4 . По большимъ группамъ средняя величина CO_2 измѣняется съ 5,45 до 6,13 и, наконецъ, до 7,40.

Что касается измѣненія CO , то прослѣдить его по малымъ подгруппамъ въ зависимости отъ возрастанія n трудно, главнымъ образомъ въ виду малой абсолютно величины CO , около 0,3; зато измѣненіе средней величины CO по тремъ большимъ группамъ совершенно ясно и законмѣрно, именно мы получили послѣдовательно величины 0,36, затѣмъ 0,31 и, наконецъ, 0,28. Въ виду того, что CO съ уменьшеніемъ средней величины L/k_4 тоже уменьшается и притомъ почти правильно пропорціонально ей, мы можемъ установить слѣдующее: абсолютно количество CO на 1 кгр керосина въ этихъ трехъ группахъ, несмотря на уменьшеніе L/k_4 , послѣдовательно тоже падаетъ, горѣніе улучшается. Сопоставляя уменьшеніе L/k_4 съ причиной его уменьшенія, увеличеніемъ V_3 и паденіемъ давленія продувки p_c' , мы можемъ высказать слѣдующее предположеніе: съ уменьшеніемъ p_c' уменьшается образованіе вихрей при продувкѣ, а, слѣдовательно, и перемѣшиваніе воздуха съ отработавшими газами, а это, въ свою очередь, уменьшаетъ бесполезную утечку свѣжаго, продувочнаго воздуха въ выпускную трубу. Такимъ образомъ несмотря на видимое уменьшеніе L/k_4 съ паденіемъ p_c' въ цилиндрѣ машины въ моментъ конца продувки, а, слѣдовательно, и въ моментъ горѣнія оказывается больше чистаго воздуха на 1 кгр керосина. Этимъ вновь вполне

подтверждается уже установленная нами выше выгодность уменьшенія давленія p_c' продувочнаго воздуха.

Кромѣ этого, теперь мы получаемъ объясненіе еще слѣдующихъ явленій: присутствія СО, т. е. неполное горѣніе несмотря на очень большой избытокъ воздуха, и затруднительности дать машинѣ нагрузку свыше $G=30$ кгр., несмотря на малое p_1 . Теоретически необходимо на 1 кгр. керосина около 11 мт.³ воздуха, тогда какъ у насъ ни въ одномъ опытѣ не было $L/k_4 < 18,8$ мт.³, или, если считать даже по полному количеству керосина m_1 , все же не менѣе 17 мт.³ и только въ 2 опытахъ около 12 мт.³. Однако, оказывается, изъ этого воздуха очень значительная часть, видимо, чуть ли не половина, вылетаетъ въ выпускную трубу въ періодъ продувки. Этимъ же дѣйствительнымъ недостаткомъ воздуха объясняется и невозможность замѣтно повысить нагрузку машины, т. е. получить болѣшую величину средняго индикаторнаго давленія p_1 , которое у насъ было около 2,10 кгр./см.², тогда какъ въ четырехтактныхъ машинахъ оно получается до 3,8—4,5 кгр./см.².

Данныя анализа сжиганіемъ. Просматривая въ таблицѣ 35 мелкія группы съ одинаковымъ V_3 и ϵ' , мы видимъ, что содержанія вновь образованныхъ при анализѣ H_2O' и CO_2' съ увеличеніемъ n возрастаютъ, потеря отъ неполнаго горѣнія увеличивается. Объясняется это, конечно, уменьшеніемъ L/k_4 . Равнымъ образомъ возрастаютъ соотв. среднія значенія H_2O' и CO_2' и съ увеличеніемъ V_3 ; такъ для H_2O' мы получили величины 3,52, 3,81 и 4,35, а для CO_2' —9,61, 11,32 и 12,19. Возрастаніе совершенно закономерное, объясняемое безусловно уменьшеніемъ L/k_4 . Характерно при этомъ, что потеря отъ неполнаго горѣнія въ % отъ полнаго располагаемаго тепла, величина $q_{нр}'$, въ среднемъ ни отъ H_2O' и CO_2' , ни отъ L/k_4 не зависитъ; среднія величины ея для тѣхъ же 3 болѣшихъ группъ 7,2, 7,6 и 7,1, т. е. $q_{нр}'$ въ среднемъ составляетъ около 7,3% и отъ указанныхъ выше величинъ видимо не зависитъ. Объясняется это двумя противоположными вліяніями измѣненія L/k_4 : съ уменьшеніемъ L/k_4 увеличивается H_2O' и CO_2' , т. е. потеря отъ неполнаго горѣнія на 1 мт.³ отработавшихъ газовъ, но количество этихъ газовъ, т. е. объемъ ихъ отъ той же причины уменьшается и притомъ приблизительно обратно пропорціонально одинъ другому, $q_{нр}'$ въ среднемъ не мѣняется.

Что касается значительной величины $q_{нр}'$, а также отчасти и его средняго постоянства при сильныхъ колебаніяхъ въ отдѣльныхъ опытахъ, отъ 4,4 до 10,3%, то эти два обстоятельства должны быть объяснены не удовлетворительнымъ дѣйствіемъ форсунки: H_2O' и CO_2' въ значительной мѣрѣ получались не изъ несгорѣвшаго за недостаткомъ воздуха керосина, а изъ паровъ керосина, частью, вѣроятно, разложившихся подѣ дѣйствіемъ высокой температуры тѣхъ количествъ горючаго, которыя форсункой надлежащимъ образомъ не распыливались. То, что мы не видимъ прямой связи между величиной $q_{нр}'$ и найденными нами выше количествами нераспыленнаго керосина k_1-k_4 , конечно, еще ничего не по-

казываетъ. Образование того или иного количества $\text{H}_2\text{O}'$ и CO_2' зависитъ не только отъ L/k_4 и $k_1—k_4$, но и отъ очень многихъ другихъ обстоятельствъ: температуры запального шара, которую мы, можно сказать, не измѣряли, средней температуры газовъ въ цилиндрѣ во время періода расширенія, тоже намъ неизвѣстной; наконецъ, отъ распыливающей способности форсунки во время данного опыта, совершенно неизвѣстной намъ и не поддающейся измѣренію, хотя бы потому, что она мѣнялась въ теченіе одного опыта, напр., отъ малѣйшей попавшей соринки.

Вмѣстѣ съ тѣмъ характерно, что въ среднемъ $k_1—k_4$ во всѣхъ трехъ основныхъ группахъ таблицы 35 получилось практически совершенно неизмѣннымъ, около 0,77—0,78 кгр./час., несмотря на колебанія въ отдѣльныхъ опытахъ отъ 0,49 до 1,38.

Далѣе, мы вычисляли еще отношенія $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$; эти отношенія, или по крайней мѣрѣ средняя величина ихъ позволить намъ судить о составѣ горючихъ частицъ, не сгорающихъ въ машинѣ, а сгорѣвшихъ при анализѣ сожженіемъ. Нужно замѣтить, что величины $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$, числа 14 столбца таблицы 35, колеблются, но не очень сильно и совершенно незакономѣрно. Зависитъ это отчасти отъ указанного выше большого числа обстоятельствъ, влияющихъ на горѣніе, отчасти отъ неособенно большой точности опредѣленія величинъ CO_2' и $\text{H}_2\text{O}'$; средняя же ошибка ихъ отношенія равна суммѣ ошибокъ обѣихъ величинъ, т. е. примѣрно вдвое болѣе средней ошибки анализа; какъ указано на стр. 122, ошибка анализа сожженіемъ доходитъ до $\pm 5\%$, что даетъ для частнаго $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$ уже $\pm 10\%$.

Предѣлы колебанія $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$ составляютъ отъ 2,47 примѣрно до 3,44; только у 4 опытовъ величины $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$ выходятъ изъ этихъ предѣловъ. Что касается среднихъ величинъ $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'$, то для трехъ нашихъ группъ онѣ получились 2,73, 2,98 и 2,80, т. е. довольно близкими между собой. Средняя же величина изъ всѣхъ 44 опытовъ съ нормальной нагрузкой и измѣренными CO_2' и $\text{H}_2\text{O}'$ составляетъ 2,83.

По этому отношенію мы можемъ вычислить содержаніе С и H_2 въ несгорѣвшихъ частицахъ, именно: по атомнымъ вѣсамъ въ 1 гр. CO_2' содержится 12/44 гр. С, а въ 1 гр. $\text{H}_2\text{O}'$ содержится 2/18 гр. H_2 ; при отношеніи $\text{CO}_2'/\text{H}_2\text{O}'=2,83$, на 1 гр. H_2 получаемъ $2,83 \cdot 12/44 : 2/18 = 6,95$ гр. С.

Выше, стр. 83, мы нашли составъ употреблявшагося при опытахъ керосина въ 86,87% С и 13,13% H_2 , т. е. на 1 гр. H_2 приходится 6,61 гр. С. Сопоставляя цифры 6,61 и 6,95, мы видимъ, что содержаніе H_2 въ несгорѣвшихъ частицахъ какъ будто меньше содержанія его въ керосинѣ. Однако, къ этому надо добавить еще слѣдующее: воздухъ при прохожденіи черезъ мокрые воздушные часы увлекаетъ съ собой въ цилиндръ машины значительное количество воды, какъ мы видѣли, таблица 27, примѣрно около 1,5% по вѣсу относительно вѣса воздуха. Вода эта во время процесса горѣнія частью разлагается на H_2 и O_2 и

можетъ тоже давать въ продуктахъ горѣнія свободный H_2 , понижающій отношеніе $C : H_2$. Къ сожалѣнію, мы не можемъ сказать съ увѣренностью, какая часть воды разлагается и увеличиваетъ H_2O' при анализѣ сожженіемъ. Такимъ образомъ количественно опредѣлить явленіе неполнаго горѣнія нельзя, но качественно можемо сказать съ увѣренностью: потеря отъ неполнаго горѣнія происходитъ не только отъ образования CO , но и H_2 и, вѣроятно, и углеводородовъ C_mH_{2m} ; затѣмъ углеродъ изъ керосина относительно участвуетъ въ большей долѣ въ неполномъ горѣніи, чѣмъ водородъ. Выводъ этотъ находится въ полномъ соотвѣстствіи съ данными химіи о сродствѣ H_2 и C къ O_2 .

Вбрызгиваніе воды въ цилиндръ должно вліять на величины H_2O' , получаемыя при анализѣ сожженіемъ, въ смыслѣ ихъ увеличенія по сравненію съ опытами безъ вбрызгиванія, т. е. вбрызгиваніе должно уменьшать величину CO_2'/H_2O' . Однако наши опыты этого не обнаружили. Объясняется это тѣмъ, что количество вбрызгиваемой воды g у насъ было невелико и абсолютно и относительно, такъ какъ въ опытахъ, когда вода непосредственно и не вбрызгивалась въ цилиндръ, она всеже попадала туда изъ воздушныхъ часовъ; количество этой водой, величины G_v' , столбецъ 18 таблицы 27, или больше или лишь немногимъ менѣе g . Этимъ же обстоятельствомъ, попаданіемъ воды изъ воздушныхъ часовъ, объясняется вообще возможность работать съ примѣнявшимся у насъ сжатіями ϵ и предвареніемъ вбрызгиванія керосина въ большинствѣ нашихъ опытовъ безъ особаго вбрызгиванія воды въ рабочій цилиндръ машины.

Использованіе тепла. Для выясненія этого вопроса мы прибѣгли вмѣсто величины Q'/N_1 къ величинѣ q_1' , какъ болѣе ясно рисующей положеніе дѣла. По существу это вѣдь одна и та же величина, точнѣе обратная величина предыдущей, лишь умноженная на 632,3, такъ какъ

$$q_1' = 632,3 N_1 / Q'.$$

Просматривая таблицу 35, приходится собственно говоря повторить то, что уже было сказано относительно Q'/N_1 въ § 27: съ уменьшеніемъ давленія выхлопывающаго воздуха p_c' средняя величина q_1' возрастаетъ, именно мы получаемъ 23,4, 24,0 и 25,8%. Измѣненія величины q_1' въ предѣлахъ каждой группы не обнаруживаютъ какой либо закономерности, что объясняется вліяніемъ слишкомъ большого числа различныхъ обстоятельствъ, совершенно не поддающихся учету.

Вліяніе воздухоудвки. Опыты эти, таблица 36, стр. 188, въ общемъ вполне подтверждаютъ всѣ выводы, указанные на основаніи разбора таблицы 35.

Давленіе вспышки p_3 получилось столь же малымъ и неодинаковымъ; средняя величина индикаторнаго давленія $p_1 = 2,10$, какъ разъ та же, что и у остальныхъ опытовъ; средняя величина температуры отработавшихъ газовъ $t_4 = 334^\circ C$., ниже остальныхъ опытовъ вслѣд-

ствіе значительно бѣльшаго L/k_4 , равнаго въ среднемъ 33,8 мт.³/кгр..

Таблица 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
№ опыта	добав. колпачи	n	ε'	давл. въ с p мм.в.	p_c атм	p_3 атм.	p_i атм.	g	t_4 °Ц.	CO ₂ %	CO %	H ₂ O' гр мт. ³	CO ₂ ' гр мт. ³	CO ₂ ' H ₂ O'	$\frac{L}{k_4}$ мт. ³	k_1-k_4 кгр.	q %	$q_{гг}'$ %
61	t_1+t_2	241	4,34	270	5,1	9,2	2,04	23	359	4,9	0,3	3,41	10,23	3,00	31,0	0,44	21,5	7,9
62	"	248	"	644	5,1	10,5	1,97	23	344	4,4	0,3	3,64	9,14	2,51	34,8	0,30	19,2	8,8
63	"	298	4,58	285	5,2	*14,6	1,77	20	381	5,6	0,3	2,80	5,91	2,11	28,2	0,41	18,9	4,8
56	"	218	"	156	5,6	*14,6	2,29	25	307	4,5	0,3	3,04	5,82	1,91	33,2	0,91	22,6	5,8
57	"	221	"	218	5,6	*14,6	2,24	25	305	4,6	0,2	2,79	5,63	2,02	33,5	0,87	21,9	5,6
58	"	236	"	405	5,7	*14,6	2,32	25	301	4,1	0,3	2,83	6,01	2,12	36,7	0,95	21,8	6,4
65	"	273	"	915	5,3	10,6	2,08	25	310	3,7	0,3	2,74	8,55	3,12	39,3	0,55	20,7	8,1
53	t_1	217	4,86	610	6,1	14,7	2,10	25	265	2,8	0,5	1,72	9,40	5,47	43,4	0,38	22,9	8,3
71	c	258	"	1287	6,3	13,6	2,05	25	381	5,4	0,3	3,12	8,92	2,86	28,8	0,43	22,6	6,4
72	"	317	"	1294	6,2	13,5	2,10	25	401	5,1	0,3	2,78	6,97	2,51	29,0	0,56	23,8	5,4
p								2,10	334	4,51	0,31	2,89	7,66	2,76	33,8	0,58	21,6	6,8

Далѣе, среднее сгорѣніе CO₂, равное 4,51%, значительно ниже предыдущихъ опытовъ тоже изъ-за увеличенія L/k_4 . Сравнительно высокое содержаніе CO, равное 0,31%, показываетъ, что горѣніе было неполное, что объясняется перемѣшиваніемъ воздуха съ отработавшими газами при продувкѣ и утечкой его прямо въ выпускную трубу; все это изъ-за повышенія давленія p_c' , влекущаго за собой сильное вихреобразование.

Пониженіе H₂O' и CO₂' по анализу сжженіемъ въ среднемъ до 2,89 соотв. 7,66 гр./мт.³ объясняется опять таки увеличеніемъ L/k_4 . Близость средней величины отношенія CO₂'/H₂O'=2,76 показываетъ, что H₂O' образуется главнымъ образомъ изъ несгорѣвшихъ частицъ керосина и увеличеніе $G_{в}'/k_4$ на H₂O' не вліяетъ. Пониженіе CO₂' и H₂O' дало также небольшое пониженіе средней величины $q_{гг}'$.

Уменьшеніе средней величины k_1-k_4 до 0,58 объясняется совершенно случайнымъ обстоятельствомъ—лучшимъ состояніемъ форсунки въ концѣ опытовъ, когда на нее было обращено особенное вниманіе.

Уменьшеніе q_1' , какъ было уже указано, доказываетъ образованіе вихрей при продувкѣ вслѣдствіе повышенія давленія воздуха p_c' .

29. Выпускъ—Выпускъ въ двухтактной машинѣ является тѣснѣйшимъ образомъ связаннымъ съ заряденіемъ. Поэтому очень многое, сказанное въ § 27, относится и къ выпуску; повторять этого мы, конечно, не будемъ.

Намъ остается лишь сказать нѣсколько словъ о явленіяхъ собственно выпуска: о давленіи при выпускѣ, средней скорости w_3 и явленіяхъ въ глушителѣ.

Давленіе p_4 послѣ выпуска въ рабочемъ цилиндрѣ можетъ быть измѣрено по индикаторнымъ диаграммамъ, снятымъ слабой пружиной. Мы получили $p_4=0,05$ до 0,07 кгр./см.² сверхъ атмосфернаго давле-

нія. Однако линія выпуска послѣ предваренія выпуска всегда падаетъ ниже атмосферной линіи; это видно, напр., на черт. 31, стр. 61. Въ большинствѣ опытовъ пониженіе давленія ниже атмосфернаго происходитъ 2, даже 3 раза; на смѣщенной діаграммѣ получается волнообразная линія, илущая частью ниже, частью выше атмосфернаго давленія. Подобная же бѣлообразная линія обнаруживается и смѣщенной діаграммой, снятой съ глушителя; образецъ такой діаграммы былъ данъ на черт. 34, стр. 64.

Для изслѣдованія явленія обѣ діаграммы, съ выпуска въ цилиндрѣ и съ глушителя, гораздо удобнѣе перестроить и развернуть въ кривыя давленія, взявъ за ось абсциссъ время, или, что въ сущности тоже самое, но удобнѣе при построеніи, углы поворота кривошипа, которые можно съ достаточной точностью считать пропорціональными времени, т. е. пренебечь неравномѣрностью вращенія машины. Кромѣ того, для удобства изслѣдованія полезно обѣ кривыя наложить одну на другую.

Образцы такихъ перестроенныхъ, приведенныхъ къ одному масштабу давленій, $1 \text{ кгр./см.}^2 = 40 \text{ мм.}$, и наложенныхъ другъ на друга кривыхъ для опытовъ 44, 48 и 55 представлены на черт. 47, стр. 190. Тонкими пунктирными линіями нанесены кривыя давленій въ цилиндрѣ, тонкими сплошными линіями—въ глушителѣ.

Мы видимъ, что всѣ 3 пары кривыхъ почти правильныя синусоидальныя, съ затухающими волнами. Первой мыслью, явившейся при разсмотрѣніи этихъ синусоидъ, было объяснить ихъ появленіе своего рода резонансомъ по примѣру имѣющаго мѣсто во всасывающей трубѣ воздушныхъ компрессоровъ и машинъ внутренняго горѣнія⁶⁵⁾. Но вскорѣ у насъ явилось подозрѣніе, не есть ли эти волны результатъ колебанія пружинъ индикаторовъ подъ вліяніемъ инерціи ихъ движущихся массъ. Вмѣсто того, чтобы прибѣгать для исправленія колебанія къ способу Флигнера, который въ данномъ случаѣ въ виду мелкаго масштаба подлинныхъ діаграммъ далъ бы недостаточно точные результаты, мы поступили слѣдующимъ образомъ: опредѣлили періодъ одного полного, двойного колебанія каждой кривой. На черт. 47 періодъ этотъ выражается длиною абсциссы γ^0 между двумя одноименными вершинами кривой. Произведенныя измѣренія обнаружили достаточное постоянство γ для каждой кривой, по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ точности діаграммъ черт. 47. Періодъ колебаній ϑ въ сек., очевидно, можетъ быть вычисленъ по γ и по числу оборотовъ n машины по выраженію

$$\vartheta = \frac{\gamma \cdot 60}{360 \cdot n} = \frac{\gamma}{6 \cdot n}. \quad (108)$$

Отсюда можно найти число колебаній i въ 1 сек., именно

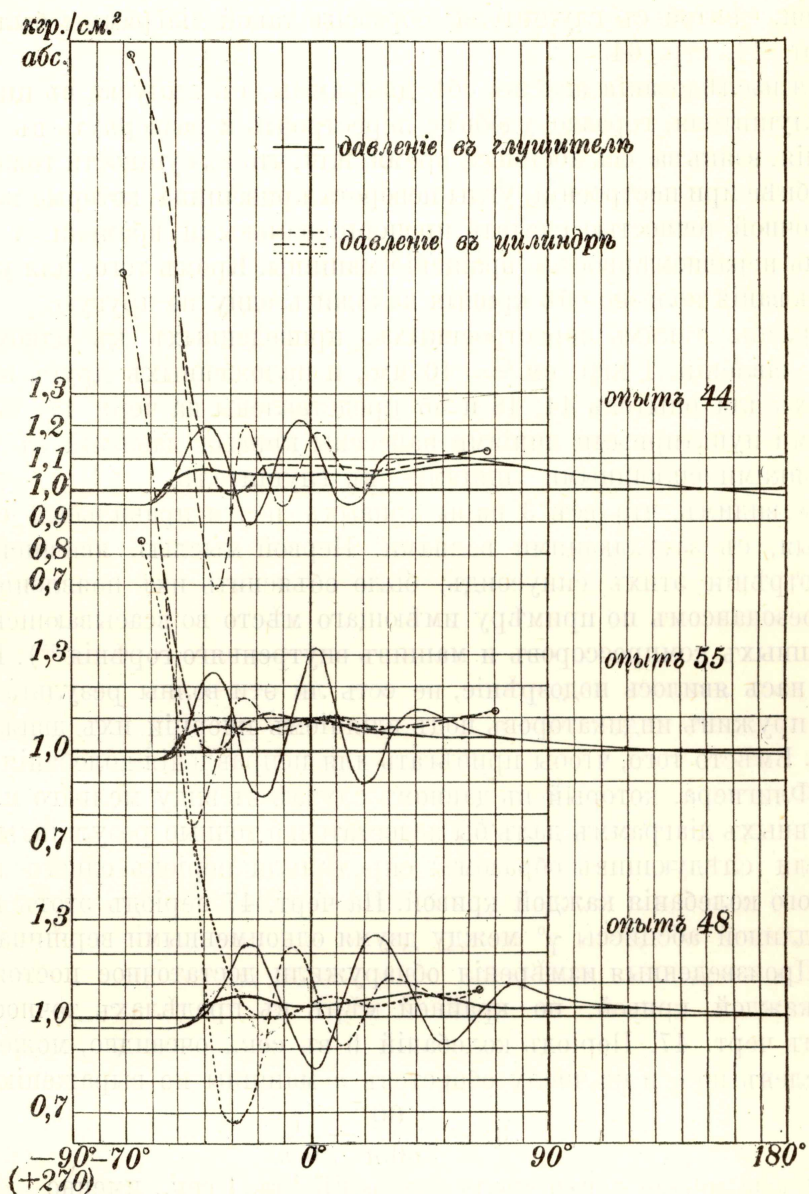
$$i = 1/\vartheta = \frac{6n}{\gamma}. \quad (109)$$

Съ другой стороны, зная массу M кгр. движущихся частей индикатора

⁶⁵⁾ Voissel, Resonanzerscheinungen in der Saugleitung von Kompressoren und Gasmotoren. Forschungsarb. H. 106. Berlin, 1911.

тора, приведенную къ поршню, m масштаб пружины въ мм., f площадь поршня индикатора, z передаточное число рычажного механизма его, можно найти число колебаній j пружины индикатора по выраженію

$$j = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1000f.z.^{66})}{M.m}}. \quad (110)$$



Черт. 47

Сравнивая величины i и j , можно будетъ рѣшить, чѣмъ объяснить волны на діаграммѣ.

⁶⁶⁾ см. напр. Малбевъ. Испыт. индик. стр. 4.

Величины угловъ γ_1 для кривыхъ съ цилиндра и γ_2 съ глушителя и вычисленныя по римъ ϑ_1 и i_1 и соотв. ϑ_2 и i_2 указаны въ нижеслѣдующей таблицѣ 37.

Таблица 37.

1	2	3	4	5	6	7	8
№ опыта	n	γ_1	γ_2	ϑ_1	ϑ_2	i_1	i_2
44	218,2	27	34	0,0206	0,0262	48,5	38,2
55	248,1	31	39	0,0208	0,0262	48,2	38,2
48	325,0	40	50	0,0205	0,0256	48,8	39,1
						ср. 48,5	38,5

Мы видимъ, что числа колебаній i_1 и i_2 настолько соотв. близки между собой, что можно смѣло считать ихъ одинаковыми, равными среднимъ величинамъ $i_1=48,5$, а $i_2=38,5$, объясняя разницу неточностью измѣреній.

Числа колебаній пружинъ индикаторовъ мы нашли по выраженію (110) по слѣдующимъ даннымъ. Для индикатора № 7418 на рабочемъ цилиндрѣ мы нашли соотв. измѣреніями ⁶⁷⁾ $M=0,016$, $f=3,14$, $z=6$, масштаб пружины, найденный путемъ провѣрки ея, $m=10,9$. Это даетъ число колебаній $j_1=52,2$. Для индикатора № 7280 на глушителѣ тѣ же величины соотв.: $M=0,010$, $f=3,14$, $z=6$, $m=30,6$. Это даетъ число колебаній $j_2=39,5$.

Сравнивая величины i_1 и j_1 и соотв. i_2 и j_2 , мы видимъ, что онѣ почти точно совпадаютъ. Меньшія значенія для i_1 и i_2 , можетъ быть, происходятъ отъ вліянія тренія въ горячихъ индикаторахъ, не учитываемаго выраженіемъ (110). Во всякомъ случаѣ, совпаденіе получилось настолько близкое, что не остается никакого сомнѣнія въ томъ, что волны на діаграммахъ даютъ не колебанія давленія, а колебанія пружины. Чтобы найти дѣйствительныя кривыя давленій, мы можемъ воспользоваться извѣстнымъ способомъ исключенія вліянія волнъ ⁶⁸⁾: построивъ двѣ огибающія кривыя, дѣлимъ отрѣзки ординатъ, заключающіеся между ними, пополамъ и точки эти соединяемъ непрерывной кривой. Этимъ способомъ мы получили на черт. 47 исправленныя кривыя давленій, нанесенныя болѣе жирными линіями. Въ виду немногочисленности волнъ, менѣе 3 для каждой кривой, точность нахождения средней, равновѣсной линіи, конечно, невелика.

Въ поясненіе черт. 47 можно указать еще слѣдующее: кружечками обозначены на кривыхъ давленія моменты начала открытія и полнаго закрытія выпускнаго окна f ; влѣво и вправо отъ этихъ точекъ кривыя

⁶⁷⁾ см. Малѣевъ, Испыт. индик. стр. 46.

⁶⁸⁾ Гриневецкій, Къ теоріи индикатора. Бюлл. Полит. О-ва 1903, стр. 87.

давленій протекають въ двухъ не сообщающихся между собой пространствахъ. Черт. 47 даетъ картину явленія за $\frac{3}{4}$ полного оборота; ради уменьшенія размѣровъ чертежа части кривыхъ, соотвѣтствующихъ четверти оборота отъ 180° до 270° , выпущены; за этотъ періодъ давленіе въ глушитель падаетъ совершенно равномерно, приблизительно по закону прямой наклонной линіи. Начало отчетовъ угловъ 0° , взято въ моментъ положенія поршня во внутренней мертвой точкѣ, въ періодъ выпуска. Для согласованія съ таблицей 24 мы обозначили углы поворота кривошипа отъ 270° до 360° отрицательными дополненіями до 360° , т. е. отъ -90° до 0° .

Перейдемъ теперь къ изслѣдованію явленій по исправленнымъ, болѣе жирнымъ кривымъ давленій черт. 47. Линіи эти все же получаютъ волнообразными, хотя съ значительно меньшей амплитудой колебанія давленія, чѣмъ даетъ индикаторъ. Характеръ явленій во всѣхъ трехъ опытахъ, несмотря на нарочно выбранные различные $n=218, 248$ и 325 обор./мин. и r соотв. 15, 10 и 20 мт., совершенно одинаковый. Для каждаго опыта кривыя, повидимому, все же синусоидальнаго вида, хотя въ виду ихъ пологости опредѣленіе періода колебанія со сколько нибудь удовлетворительной точностью очень трудно. Все же ясно видно, что періодъ колебанія τ_1 въ цилиндрѣ значительно менѣе періода колебанія τ_2 въ глушителѣ.

Происходящія явленія имѣютъ, повидимому, слѣдующій характеръ: послѣ открытія окна f отработавшіе газы, имѣющіе большое давленіе и высокую температуру, устремляются съ очень большой скоростью въ выпускную трубу. Вслѣдствіе инерціи столба газовъ, находящихся въ трубѣ, въ послѣдней, а вмѣстѣ съ тѣмъ и въ глушитель, получается подъемъ давленія, первая волна на кривой глушителя. Вслѣдствіе той же инерціи газовъ, но уже приведенныхъ въ движеніе, въ цилиндрѣ давленіе падаетъ ниже атмосфернаго, потомъ поднимается выше атмосфернаго, опять немного опускается и опять поднимается, переходя въ линію сжатія. Всего за періодъ выпуска въ цилиндрѣ наступаютъ 2 волны. Въ глушитель происходитъ 3 волны подъема давленія и 2 пониженія; 3-ья волна вслѣдствіе отключенія цилиндра и прекращенія поэтому движенія газовъ растягивается почти на 230° угла поворота кривошипа.

Пониженіе давленія въ глушитель передъ началомъ выпуска является полезнымъ для процесса заряженія, такъ какъ при этомъ происходитъ какъ бы высасываніе отработавшихъ газовъ изъ рабочаго цилиндра.

На діаграммахъ черт. 47 отражаются 2 явленія: колебательное движеніе съ періодомъ τ_1 въ цилиндрѣ, повидимому, зависящимъ отъ длины выпускной трубы, и со скоростью распространенія колебанія u , которая, какъ извѣстно, равна скорости звука, и поступательное движеніе газовъ, вылетающихъ изъ цилиндра со скоростью w . Результатъ этого второго движенія—уменьшеніе числа волнъ въ глушитель и соотв. уве-

личеніе періода колебанія τ_2 .

Приводя нашъ случай къ простѣйшему, разбираемому въ физикѣ ⁶⁹⁾, схематически въ видѣ перваго приближенія, пренебрегая побочными обстоятельствами, можно явленія при выпускѣ представить слѣдующимъ образомъ: цилиндръ—источникъ колебательнаго движенія со скоростью u мт./сек.; скорость газа въ трубкѣ w отражается на діаграммахъ глушителя, какъ будто послѣдній удаляется отъ цилиндра съ этой скоростью w мт./сек. Обозначая число двойныхъ колебаній въ цилиндрѣ l_1 въ сек., а въ глушителѣ видимое число колебаній l_2 , а соотв. длины волнъ λ_1 и λ_2 въ мт., мы можемъ написать при установившемся движеніи

$$\lambda_1/\lambda_2 = l_1/l_2, \quad (111)$$

подставляя вмѣсто длины волны ее выраженіе черезъ скорость и періодъ, при чемъ скорость прохожденія колебательной волны мимо глушителя, удаляющагося со скоростью w , очевидно, равна $u-w$, т. е. $\lambda_1 = u\tau_1$, а $\lambda_2 = (u-w)\tau_1$ и сокращая на τ_1 , получаемъ

$$l_2 u = l_1 (u-w) \quad (112)$$

откуда поступательная скорость движенія газовъ

$$w = \frac{(l_1 - l_2)u}{l_1}. \quad (113)$$

При этомъ надо замѣтить, что эту скорость w не слѣдуетъ смѣшивать съ вычисленной нами выше средней скоростью w_3 прохожденія черезъ окно f . Предполагая, что скорость w , являющаяся функціей переменнаго давленія въ цилиндрѣ, тоже переменна, именно отъ 0 возрастаетъ до нѣкоторой наибольшей величины, а затѣмъ къ концу періода выпуска опять падаетъ до 0, и считая, судя по діаграммамъ, что моменты появленія и исчезновенія скорости w приблизительно совпадаютъ съ таковыми для скорости w_3 , можно, пренебрегая нѣсколько различными законами измѣненія этихъ скоростей по времени, вычислить среднюю величину переменнѣй скорости w , обозначимъ ее w_4 , по выраженію

$$w_4 = w_3 \cdot f/f', \quad (114)$$

гдѣ f есть средняя площадь открытія окна f , столбецъ 5 таблицы 24, а f' площадь сѣченія выпускной трубы въ свѣту. Діаметръ этой трубы у насъ $d=75$ мм., такимъ образомъ $f'=44,18$ см.². Въ виду того, что f по таблицѣ 24 колебалось отъ 16,5 до 23,5 см.², мы видимъ, что w_4 въ среднемъ составляетъ около 0,45 w_3 , а численно примѣрно отъ 80 до 200 мт./сек., т. е. все же довольно значительна.

Теперь посмотримъ, какъ находится w численно при помощи ур-ія (113). Числа колебаній l_1 и l_2 надо опредѣлить, найдя по черт. 47 періоды колебанія δ_1^0 и δ_2^0 , и перечисливъ затѣмъ въ τ_1 и τ_2 сек. по

⁶⁹⁾ см. напр. Хвольсонъ, Курсъ физики. СПб. 1900, т. I. стр. 174 и сл.. Приведенное толкованіе лишь первая попытка; можетъ быть, роль цилиндра и выпуска соотв. инья. Болѣе точное изслѣдованіе надо отложить до полученія болѣе достовѣрнаго опытнаго матеріала.

выраженію (108); l_1 и l_2 найдутся по ур-ю (109) какъ обратныя величины τ_1 и τ_2 . Скорость u есть скорость звука въ данной средѣ, которая тоже можетъ быть вычислена по имѣющимся даннымъ. Именно, по извѣстному выраженію ⁷⁰⁾

$$u = \sqrt{\chi g P v}, \quad (115)$$

гдѣ $\chi = c_p/c_v$, g ускореніе силы тяжести, равное въ среднемъ 9,8! мт./сек., P давленіе въ кгр./мт.², v удѣльный объемъ, т. е. объемъ 1 кгр. въ мт.³. Замѣняя изъ характеристическаго уравненія газа Pv черезъ RT , получаемъ

$$u = 3,13\sqrt{\chi R T}, \quad (116)$$

гдѣ для нашего случая $T = t_4 + 273^\circ$; показатель адиабаты χ и газовую постоянную R можно найти, зная составъ отработавшихъ газовъ.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ 38 приведены всѣ указанныя величины для опытовъ 44, 55 и 48, частью изъ таблицъ 26 и 27, частью взятыя по черт. 47, частью, наконецъ, вычисленныя по соотв. выраженіямъ (108), (109), (113) — (116), а величина R по составу отработавшихъ газовъ.

Таблица 38.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
№	n	r	p_c'	Δp	t_4	δ_1	δ_2	τ_1	τ_2	l_1	l_2	R	u	w_3	w_4	w
44	218,2	15	1,19	1,38	324	40	52	0,0306	0,0398	32,7	25,1	29,8	479	282	174	111
55	248,1	10	1,20	1,52	328	45	54	0,0303	0,0363	33,0	27,6	30,8	489	265	190	68
48	325,0	20	1,17	1,52	468	44	73	0,0226	0,0374	44,3	26,8	29,4	530	295	201	209

При вычисленіи скоростей w , столбецъ 17, по ур-ю (113), мы считали періоды колебанія кривыхъ постоянными. Въ дѣйствительности они, по всей вѣроятности, переменны, и скорости w надо вычислять для ряда точекъ выпуска.

Къ сожалѣнію, полученныя нами смѣщенныя діаграммы оказались недостаточно точными для этого, такъ какъ при ихъ сниманіи мы не имѣли въ виду пользованія ими для указанныхъ сейчасъ точныхъ вычисленій. Главная причина—въ недостаточно точномъ индикаторномъ приводѣ, искажавшемъ длину діаграммъ.

Въ виду этого мы указанныхъ вычисленій для всѣхъ опытовъ не дѣлали и привели черт. 47 и таблицу 38 только какъ иллюстрацію возможности этихъ вычисленій, если удастся получить достаточно точныя діаграммы. Два основныхъ условія для этого выясняются уже теперь: барабаны индикаторовъ желательно приводить въ движеніе не отъ какой-нибудь детали машины, а при помощи непрерывнаго вращенія, чтобы получить прямо такъ назыв. „диаграммы времени“. Въ настоящее

⁷⁰⁾ см. напр. Hütte, 21. Aufl. 1911, I. B., S. 348.

время существуютъ для этого спеціальныя индикаторы, напр., системы проф. Вагенера. Затѣмъ надо принять всѣ мѣры къ тому, чтобы уменьшить инерцію движущихся частей индикатора. Можетъ быть, въ виду этого окажется лучше вмѣсто діаграммъ времени снимать, какъ и мы дѣлали, такъ назыв. смѣщенные діаграммы, но пользуясь оптическимъ индикаторомъ.

Во всякомъ случаѣ явленія очень интересныя, могутъ быть изслѣдованы, только надо ставить опыты съ крайней тщательностью и точностью. Последнее требованіе ясно, если обратить вниманіе, какъ малы абсолютно величины τ_1 и τ_2 , которыя нужно опредѣлять.

Продолжительность выпуска. Уже по таблицѣ 24 мы видѣли, что изъ времени, предоставляемаго для выпуска и выражаемаго угломъ поворота кривошипа $2\beta_3$, выпускъ занимаетъ всего $\beta_3' - \beta_3''$. Вслѣдствіе сложности явленій, вліяющихъ на величину $\beta_3' - \beta_3''$, намъ не удалось установить какой либо закономерности въ ея измѣненіи, кромѣ очевидной заранѣе, именно уменьшенія $\beta_3' - \beta_3''$ съ увеличеніемъ при прочихъ равныхъ условіяхъ величины давленія p_3 и уменьшенія числа оборотовъ n . Въ виду этого мы не стали вычислять продолжительности выпуска въ сек. для всѣхъ опытовъ, а ограничимся указаніемъ низшаго и наивысшаго предѣла, $\vartheta_3 = 0,009$ и $0,018$ сек.. Считая, что изъ всего времени открытія окна f на выпускъ предоставляется время отъ его открытія до мертвой точки, а вторая половина предоставляется для продувки, получаемъ это время ϑ_3' въ зависимости отъ измѣнявшихся прокладокъ r и чиселъ оборотовъ n отъ $0,029$ до $0,063$ сек., т. е. въ дѣйствительности выпускъ ϑ_3' занимаетъ лишь около одной трети располагаемаго времени ϑ_3 .

Вліяніе тепловыхъ явленій. Вліяніе температуръ t_4 на скорости выпуска w_3 должно быть таково, что съ возрастаніемъ t_4 величины w_3 возрастаютъ, и наоборотъ. Увеличеніе тепла, отдаваемого охлаждающей водѣ, путемъ увеличенія главнымъ образомъ расхода воды W , т. е. величины q'_w , должно уменьшать w_3 , а съ нимъ и потерю живой силы $q'_ж$. Однако, кромѣ этихъ обстоятельствъ на w_3 вліяютъ и въ очень сильной мѣрѣ величина подачи воздуха λ_0 : скорости w_3 возрастаютъ почти прямо пропорціонально увеличенію λ_0 . Такъ какъ между λ_0 , съ одной стороны, и t_4 и w_3 , съ другой стороны, нѣтъ никакой зависимости, то и установить ясную закономерную зависимость между w_3 и q' трудно, да въ сущности и не представляетъ особеннаго интереса.

Зато очень интересна связь между тепломъ, унесеннымъ продуктами горѣнія $q'_{пр}$, и потерей тепла на охлажденіе q'_w . Увеличеніе q'_w вызываетъ обязательное уменьшеніе $q'_{пр}$, при этомъ такъ, что сумма этихъ потерь $q'_w + q'_{пр}$ остается почти постоянной, въ среднемъ составляетъ для данной машины около 66%. Явленіе это уже указывалось другими авторами, но наши опыты подтверждаютъ его съ собенной ясностью, не смотря на принятіе во вниманіе второстепенныхъ слагаемыхъ теплового

баланса, обыкновенно пренебрегаемыхъ. Въ случаѣ вбрызгиванія воды въ цилиндръ надо, конечно, добавлять къ $q_{пр}'$ тепло, унесенное этой водой, $q_{вб}'$. Просматривая столбецъ 13 таблицы 29, мы видимъ, что сумма указанныхъ потерь остается одинаковой и при измѣненіи нагрузки, въ нашихъ опытахъ отъ $G=15$ до $G=31$, т. е. примѣрно на $\pm 30\%$ отъ нормальной. При этомъ отношеніе, указывающее участіе обоихъ слагаемыхъ въ суммѣ, $q_{вб}' / (q_{пр}' + q_{вб}')$, въ среднемъ немного болѣе 1, колеблется въ отдѣльныхъ опытахъ въ очень широкихъ предѣлахъ, отъ 0,64 до 2,30.

Далѣе можно отмѣтить, что столбецъ 13 таблицы 29 лишній разъ подтверждаетъ правильность сдѣланнаго нами и с п р а в л е н і я теплового баланса, первоначально составленнаго въ таблицѣ 28. Тамъ величина $q_{в} + q_{пр} + q_{вб}$ колеблется отъ 35,8 до 63,4%, безъ всякой закономерности, и въ среднемъ составляетъ около 50%, что, очевидно, слишкомъ мало.

Въ заключеніе слѣдуетъ пояснить по поводу вычисленія тепла $Q_{пр}$, а, слѣдовательно, и $q_{пр}'$, почему мы, несмотря на выяснившуюся довольно значительную величину $k_1 - k_4$, количества керосина, не участвовавшего въ процессѣ горѣнія, и на принятіе въ основу большинства подсчетовъ величины k_4 , при опредѣленіи $G_{в}''$ по выраженію (40), количества воды, образующейся при горѣніи керосина, столбецъ 19 таблицы 27, все таки оставили k_1 и тѣмъ увеличили въ тепловыхъ балансахъ количество тепла $Q_{пр}$ по выраженію (36).

Дѣло въ томъ, что для опредѣленія k_4 по исправленному полному расходу тепла Q' мы должны были по необходимости вычислить $Q_{пр}$ пользуясь имѣвшейсѣ величиной k_1 ; перечислять величины $Q_{пр}$ послѣ нахождения k_4 по этой послѣдней, затѣмъ вновь находить $k_4' < k_4$ мы не считали необходимымъ въ виду малаго вліянія величины k . Разница $Q_{пр}$ получилась бы на 100—200 т. ед., т. е. отъ полного располагаемаго тепла Q' 0,3 до 0,6%, величина, если такъ можно выразиться, низшаго порядка по сравненію съ величиной средней ошибки теплового баланса.

30. Дополнительные замѣчанія о работѣ машины.—Въ заключеніе скажемъ нѣсколько словъ вообще о работѣ машины, пользуясь цифровыми результатами таблицъ 27—29.

Относительная величина работы заряженія ξ , столбецъ 12 таблицы 27, составляетъ отъ 3 до 7% отъ N_1 , въ зависимости отъ V_3 , т. е. p_c' , это подтверждаетъ правильность взгляда сторонниковъ двухтактныхъ машинъ, что работа заряженія этихъ послѣднихъ лишь немногимъ болѣе работы заряженія четырехтактныхъ машинъ и при правильномъ выборѣ давленія воздуха p_c' можетъ быть сдѣлана даже меньше ея.

Механическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія η_m , столбецъ 13 таблицы 27, въ среднемъ составляетъ около 71,7%, колеблясь отъ 54,5 до 79,9. Низкая средняя величина η_m и сильныя колебанія у отдѣльныхъ опытовъ при довольно правильномъ пониженіи η_m при производствѣ нѣсколькихъ опытовъ подрядъ безъ чистки поршня объясняется указан

нымъ выше недостаткомъ данной машины и вовсе не являются характерными для даннаго типа машинъ.

Механическій коэффициентъ η_m' , вычисленный по выраженію (23), съ принятіемъ во вниманіе работы насоса, что въ данныхъ опытахъ при сильно переменномъ ξ особенно важно, составляетъ по столбцу 14 таблицы 27 въ среднемъ 75,7%, т. е. не такъ уже плохъ. Предѣлы колебаній η_m' 58,7 и 81,7% остаются, конечно, столь же ненормально большими, какъ и для η_m .

Потеря работы R_v на вращеніе маховиковъ и связанныхъ съ кореннымъ валомъ деталей составляетъ до 10% отъ N_1 , столбецъ 15 таблицы 27, и заставляетъ обратить вниманіе, особенно при значительномъ n на конструкцію маховиковъ въ смыслѣ уменьшенія сопротивленія воздуха вращенію ихъ.

Работа тренія поршня R_p , столбецъ 16 таблицы 27, которую при такихъ испытаніяхъ почти никто еще не опредѣлялъ, оказывается, составляетъ около 12—13% отъ N_1 , доходя даже до 17%. Уменьшеніе этой работы желательно съ двухъ точекъ зрѣнія: для повышенія η_m и для уменьшенія расхода воды на охлажденіе цилиндра, такъ какъ теплота 632,3. $R_n = Q_n$ полностью переходитъ въ охлаждающую воду.

Вліяніе работы тренія на тепловой балансъ тоже довольно замѣтно. Отнесенная къ полному располагаемому теплу она составляетъ отъ 1,9 до 7,1%, столбецъ 7 таблицы 29. Правда, машина у насъ работала въ этомъ отношеніи неисправно, но даже и у исправной машины величина q_n' составитъ отъ 1,9 до 2,5—3%.

Расходъ керосина на 1 д. л. с. e , столбецъ 23 таблицы 27, составлялъ отъ 374 до 546 гр./л. с. и только при 3 опытахъ былъ больше, когда машина явно работала неудовлетворительно. Расходъ на 1 инд. л. с., e_1 , столбецъ 24, составлялъ 273 до 405 гр./л. с.; эти величины вообще говоря не такъ уже чрезмѣрно велики, особенно принимая во вниманіе заведомое ухудшеніе условій работы, которое мы дѣлали для выясненія вліянія тѣхъ или иныхъ обстоятельствъ.

Экономическій коэффициентъ полезнаго дѣйствія η_o машины, показывающій, какая часть полного располагаемаго тепла Q превращена въ дѣйствительную работу, столбецъ 4 таблицы 28, колеблется отъ 11,6 до 16,7%, кромѣ случаевъ или неисправной работы или малой нагрузки машины, когда онъ понижается до 7,9%. Принимая во вниманіе устраняемую неисправность машины въ смыслѣ излишней работы тренія поршня, слѣдуетъ величину η_o признать почти удовлетворительной. Яснѣе рисуется картина величиной q_1 , относительной величины тепла, превращеннаго въ индикаторную работу, когда вліяніе тренія поршня исключено. Величина q_1 , столбецъ 16 таблицы 28, для тѣхъ же опытовъ колеблется отъ 16,0 до 22,3%, а при опытѣ съ перегрузкой опускается до 15,4%. Это уже довольно приличныя цифры. Наконецъ, если мы возьмемъ то же отношеніе, но по исправленному тепловому балансу, вели-

чины q_1' , столбецъ 5 таблицы 29, т. е. исключивъ вліяніе неисправнаго дѣйствія форсунки, то получаемъ величины отъ 21,0 до 26,6%, кромѣ опытовъ 62 и 63 работы съ воздухоудувкой, когда q_1' опускалось до 18,9%; эти величины позволяютъ утверждать, что въ тепловомъ отношеніи машина, несмотря на свою крайнюю простоту, работаетъ вполне удовлетворительно.

Отмѣтимъ въ заключеніе еще нѣсколько цифръ изъ той же таблицы 29. Потеря отъ неполнаго горѣнія $q_{\text{нг}}'$ составляетъ отъ 4,8 до 11,8%, величину очень замѣтную, показывающую важность этого опредѣленія и при другихъ испытаніяхъ. Потеря на лучеиспусканіе q_d' составляетъ отъ 3,0 до 5,1%. Вычисленіе этой потери уменьшаетъ получающуюся при испытаніяхъ невязку теплового баланса. Впрочемъ эта потеря довольно значительна вслѣдствіе примѣненія запального шара. У машинъ съ инымъ воспламененіемъ эта потеря значительно ниже, такъ какъ потеря на лучеиспусканіе цилиндромъ съ водяной работой едва ли можетъ превзойти или даже достигнуть 1% отъ полнаго располагаемаго тепла. Наконецъ, тепло, унесенное въ видѣ живой силы отработавшихъ газовъ, вылетающихъ съ средней скоростью w_3 отъ 194 до 322 мт./сек., составляетъ отъ 1,5 до 4,1%, столбецъ 12. При работѣ съ воздухоудувкой величины w_3 достигаютъ 347 мт./сек., а $q_{\text{ж}}'$ 7,5%. Какъ видимъ, и эта вводимая нами поправка теплового баланса значительна.

Этими замѣчаніями мы и закончимъ обзоръ результатовъ нашихъ опытовъ.

31. Общіе выводы.—Въ виду значительнаго числа выводовъ, которые можно сдѣлать изъ настоящей работы, они разбиты ради большей наглядности на 4 группы.

Данныя о работѣ испытанной машины и ея улучшеніе.

1, подача воздуха въ испытанной двухтактной машинѣ съ воздушнымъ насосомъ, образованнымъ кривошипной полостью, съ всасываніемъ воздуха черезъ окно, открываемое и закрываемое кромкой поршня, очень невелика: $\lambda_0=0,531$ до 0,629, въ среднемъ около 0,56; она падаетъ съ увеличеніемъ объема кривошипной полости и возрастаніемъ числа оборотовъ машины.

2, изъ количества воздуха, поданнаго въ рабочій цилиндръ, только часть остается тамъ къ моменту началу сжатія, остальная вылетаетъ вслѣдствіе образованія вихрей въ выпускную трубу; остающаяся часть воздуха недостаточна для полнаго горѣнія.

3, индикаторная работа воздушнаго насоса поглощаетъ при полной нормальной нагрузкѣ машины около 7% отъ индикаторной работы машины.

4, несмотря на сравнительно невысокую степень сжатія $\varepsilon=4,53$ до 4,86, появляются преждевременныя вспышки, для устраненія которыхъ путемъ пониженія температуры въ цилиндрѣ приходится вбрызгивать въ него воду.

5, недостатокъ воздуха вслѣдствіе его малой подачи и утечки въ періодъ продувки въ связи съ преждевременными вспышками заставляютъ ограничиваться небольшою подачею керосина, слѣдствіемъ чего является очень малое среднее индикаторное давленіе въ рабочемъ цилиндрѣ, отъ 1,90 до 2,30 въ среднемъ около 2,14 кг./см.²; вслѣдствіе этого коэффициентъ мощности машины по сравненію съ четырехтактной получается, считая для четырехтактной машины на 1 д. л. с. объемъ 20 мт.³, немногимъ болѣе 1, вмѣсто теоретической величины 2.

6, среднія скорости при прохожденіи воздухомъ всасывающаго и перепускного оконъ и отработавшими газами—выпускного окна довольно значительны и равны въ среднемъ соотв. около 80, 91 и 268 мт./сек.; уменьшеніе ихъ путемъ увеличенія оконъ желательно ради уменьшенія работы заряденія и улучшенія процесса продувки.

7, въ данной машинѣ перепускное окно открывается слишкомъ рано, когда давленіе въ цилиндрѣ еще выше давленія продувочнаго воздуха, что вызываетъ сильное образованіе вихрей и ухудшаетъ процессъ продувки; окно слѣдуетъ укоротить по оси цилиндра, удлинивъ его по окружности его, чтобы площадь открытія отнюдь не уменьшилась.

8, для правильной работы машины необходимо улучшить разбрызгиваніе горючаго при помощи форсунки, измѣнивъ кореннымъ образомъ конструкцію послѣдней.

Улучшеніе конструкціи и работы машинъ данного типа.

9, необходимо возможно увеличить подачу воздуха; для этого надо уменьшить объемъ кривошипной полости и замѣнить всасывающее окно всасывающимъ клапаномъ, однимъ или нѣсколькими; еще лучше замѣнить насосъ, образованный кривошипной полостью, насосомъ нормальнаго типа съ возможно малымъ вреднымъ пространствомъ.

10, ради уменьшенія давленія продувочнаго воздуха желательно включеніе между воздушнымъ насосомъ и рабочимъ цилиндромъ особаго воздухоприемника, емкостью не менѣе 2 и до 4 объемовъ, описываемыхъ поршнемъ; воздухоприемникъ этотъ долженъ имѣть обратный клапанъ, разобщающій его отъ насоса въ моментъ начала всасыванія; для устраненія неправильности, въ родѣ указанной въ п. 7, желательно поставить второй легкой обратный клапанъ и между воздухоприемникомъ и рабочимъ цилиндромъ.

11, для выясненія условій уменьшенія образованія вихрей при продувкѣ и утечки воздуха въ выпускную трубу необходимо произвести особые испытанія, мѣняя видъ, размѣры и расположеніе перепускного окна и конца поршня, отклоняющаго струю продувочнаго воздуха.

Выясненіе основныхъ вопросовъ двухтактной работы.

12, во избѣжаніе образованія вихрей при продувкѣ давленіе воздуха должно быть по возможности мало, около 0,1 кг./см.² сверхъ атмосфернаго давленія.

13, дѣйствительную продолжительность выхлопыванія не слѣдуетъ брать очень малой, не менѣе 0,03 сек., желательно предоставлять время до 0,06 сек..

14, между машиной и насосомъ слѣдуетъ включать промежуточный воздухоприемникъ для выхлопывающаго воздуха; ради уменьшенія давленія выхлопывающаго воздуха емкость его должна быть значительная.

15, для отвѣта на остальные основные вопросы, а также ради п. 11 надо произвести опыты съ особой машиной, болѣе приспособленной въ конструктивномъ отношеніи для такихъ опытовъ и болѣе крупной мощности.

16, для изслѣдованія явленій выпуска и продувки въ двухтактныхъ машинахъ путемъ забора пробъ выходящихъ газовъ очень полезенъ приборъ, выработанный авторомъ и описанный выше подъ названіемъ дифференціаторъ.

Указанія для испытаній машинъ внутренняго горѣнія.

17, забираемые пробы газовъ, горючихъ и отработавшихъ, надо во избѣжаніе неравномѣрнаго поглощенія составныхъ частей запорной жидкостью анализировать возможно скорѣе послѣ забора; въ качествѣ запорной жидкости лучше брать насыщенный растворъ поваренной соли въ водѣ, насытивъ его передъ опытами газомъ близкаго состава къ забираемому.

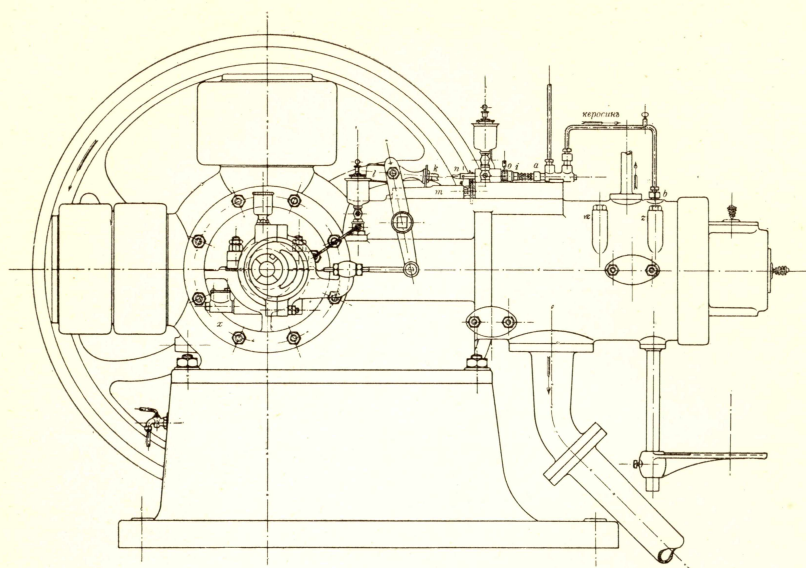
18, кромѣ объемнаго анализа отработавшихъ газовъ, желательно производить вѣсовой анализъ ихъ при помощи сжигенія, для каковой цѣли очень удобенъ способъ, выработанный авторомъ.

19, при испытаніяхъ очень важно точное опредѣленіе химическаго состава горючаго и отработавшихъ газовъ; эти величины даютъ возможность вычислять соотношеніе между количествомъ израсходованнаго горючаго и воздуха, а это, въ свою очередь, позволяетъ по одной изъ этихъ величинъ провѣрять другую.

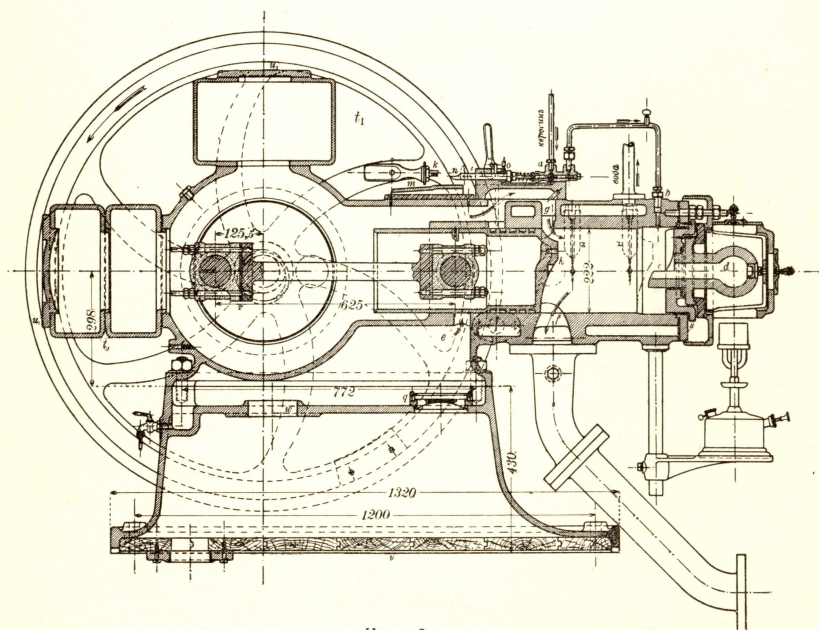
20, при подробномъ испытаніи очень важно тщательное записываніе различныхъ возможно всестороннихъ отчетовъ и производство различныхъ вспомогательныхъ наблюденій; это позволяетъ при обработкѣ результатовъ опытовъ производить взаимный контроль записей и исправлять случайныя ошибки въ нихъ, а также можетъ обнаружить новыя, неожиданныя обстоятельства и явленія.

21, въ настоящей работѣ данъ образецъ подробной обработки испытаннаго матеріала, новыя точныя выраженія для вычисленія нѣкоторыхъ составныхъ частей тепловаго баланса, и обращено вниманіе на рядъ обстоятельствъ, обыкновенно упускаемыхъ изъ виду при производствѣ испытаній даже научнаго характера.

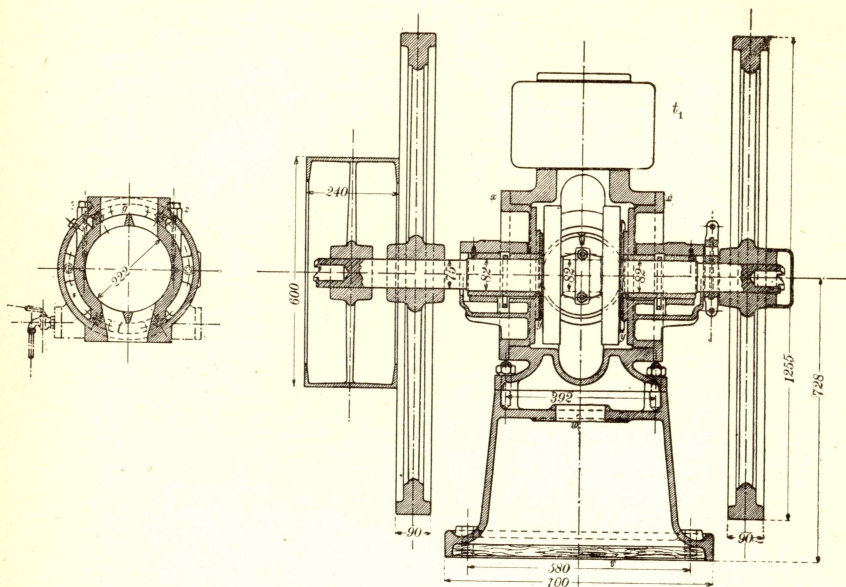
22, при обработкѣ результатовъ испытанія очень полезно опредѣленіе точности отдѣльныхъ данныхъ; это облегчаетъ вычисленія, позволяя отбрасывать бесполезныя десятичные знаки, и можетъ дать указанія, какъ видоизмѣнять постановку испытанія или производство отчетовъ для увеличенія точности испытанія и, наконецъ, даетъ объективную мѣрку для оцѣнки результатовъ испытанія.



Черт. 1.

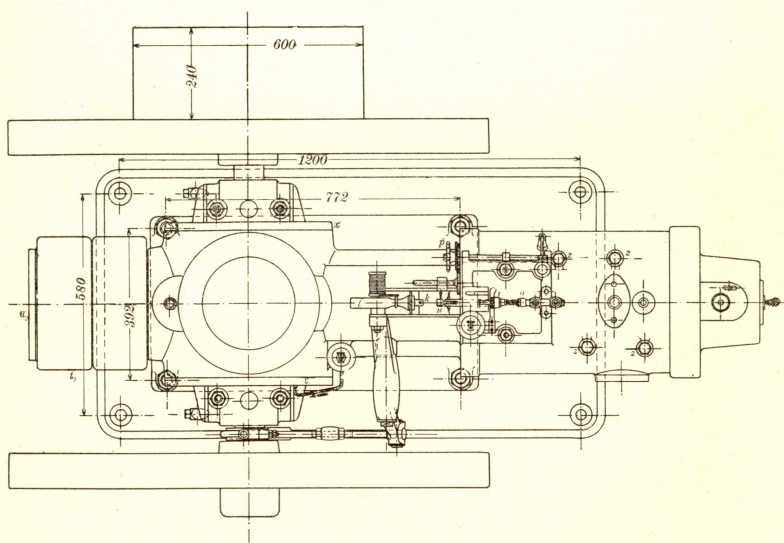


Черт. 2.

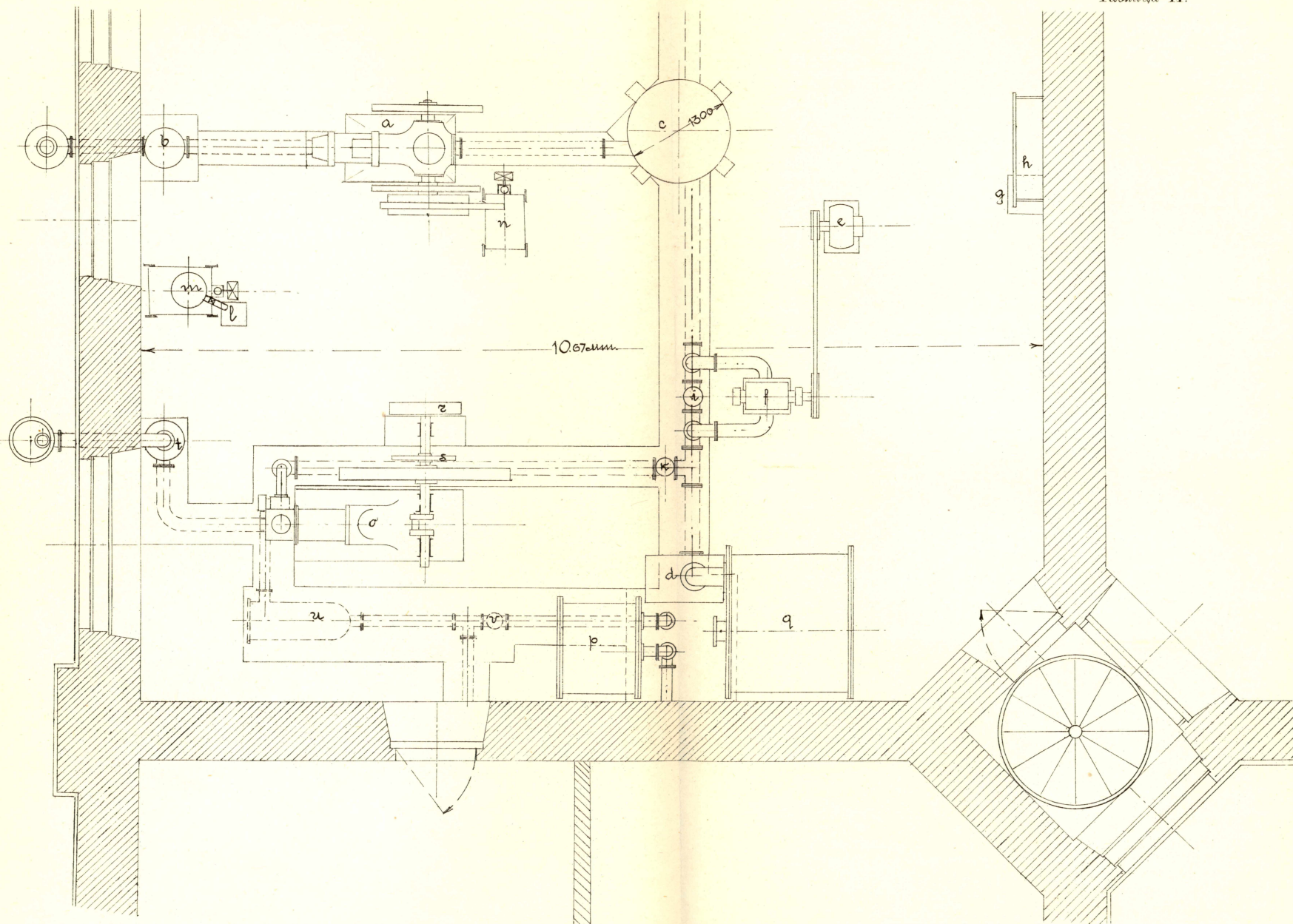


Черт. 3.

Черт. 4.

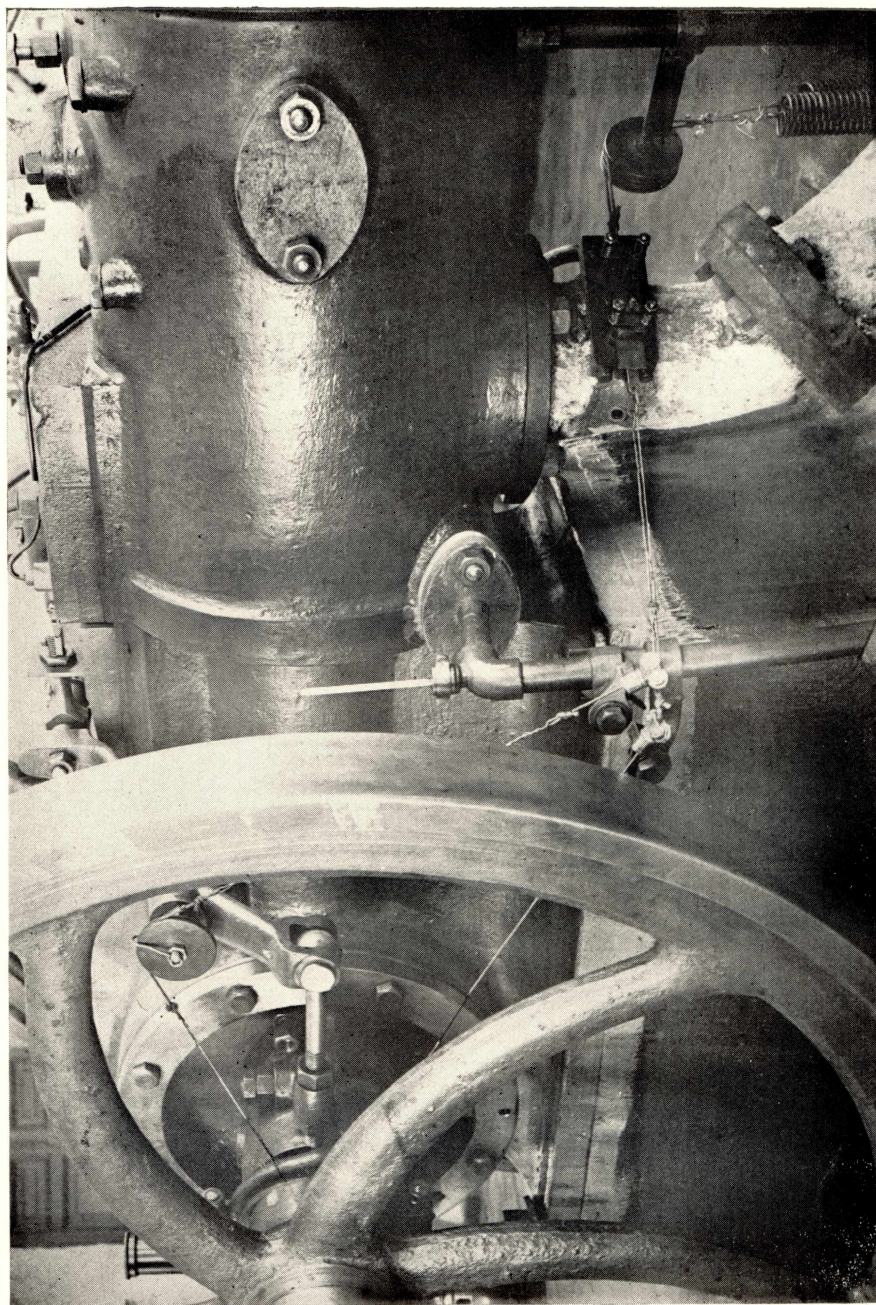


Черт. 5.



Черт. 8.

В. Л. Малъевъ. — Измодованіе двухтактной машины.



Черт. 27.

Малеевъ.—Изслѣдованіе двухтактной машины.

Таблица 26,
сводка отчетов и наблюдений.

№ опыта	доч. про- водства опыта	3	4	5	6	7	8	9	10	11	температуры								анализ отработ. газов				26	27	28	29	30	31			
											12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23							анал. сожжон.		
																													CO ₂	O ₂	CO
мм.	рт. ст.	мм. в. ст.	мм. в. ст.	лтр.	лтр.	обор./мин.	число про- пусков	весь на горячий	барометр. давление	давление вз. сосу- ди	° в. по- мещ.	° в. на- соса	° в. на- соса	° у пе- реу- ста	° отоб- раб.	° отоб- раб.	° холо- диль- ной	° горя- чей	%	%	%	%	гр./мт. ³	гр./мт. ³	расход керосина	охлажд. воды II	образ. воды	подача воздуха	воздух без влаги	смазка	
г.	г.	мин.	мм.	мм.	г.	г.	г.	г.	мм. рт. ст.	мм. в. ст.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	° Ц.	г/час.	г/час.	г/час.	г/час.	г/мт. ³	г/мт. ³	кг/час.	кг/час.	кг/час.	кг/час.	кг/час.	кг/час.	кг/час.
1	3.7.08	28,93	15	2,520	66,60	329,3	0	24	740,8	-5	21,0	—	50,0	87,7*	424*	—	18,9*	62,9*	5,7	11,0	0,8	82,5	4,02	10,13	4,210	252,0	0	91,8	87,9	—	
2	4.7.08	27,60	15	2,520	66,60	343,3	0	24	742,5	-5	19,5	—	45,2	76,3*	399*	—	18,9*	55,3*	5,6	12,0	0,2	82,2	—	—	4,390	341,7	0,56	97,0	93,8	—	
3	5.7.08	22,42	15	2,520	66,60	211,0	9,0	24	740,0	—	20,0	—	36,0	49,6*	309*	—	19,0*	56,2*	5,4	11,9	0,4	82,3	3,97	9,95	3,373	266,6	0	66,8	64,2	—	
4	5.7.08	24,03	15	2,714	66,60	216,5	8,7	24	740,0	—	20,0	—	40,6	58,9*	308*	—	19,0*	63,7*	5,3	12,2	0,4	82,1	3,97	9,95	3,322	211,8	0	66,9	64,5	—	
5	8.7.08	23,40	10	2,714	46,94	228,2	17,6	24	745,0	-5	22,5	—	40,7	64,2*	313*	—	19,0*	51,4*	5,4	12,4	0,4	81,8	4,31	10,48	3,333	244,4	0	82,2	79,5	92,3	
6	8.7.08	41,92	10	2,714	46,94	228,2	21,7	24	745,0	-5	22,5	—	45,8	70,0*	318*	—	19,0*	56,1*	5,3	12,5	0,4	81,8	—	—	3,148	234,6	0	81,3	78,7	—	
7	8.7.08	30,92	10	2,714	46,94	293,7	13,7	24	745,0	-6	22,5	—	49,7	83,2*	398*	—	19,0*	66,0*	5,2	12,7	0,5	81,6	3,87	9,89	3,880	206,4	0	91,5	87,7	—	
8	8.7.08	25,78	10	2,714	46,94	293,0	13,3	24	745,0	-6	22,5	—	51,0	84,0*	401*	—	19,0*	65,4*	5,2	12,8	0,6	81,4	—	—	3,803	215,0	0	90,7	87,0	—	
9	10.7.08	33,47	10	2,714	46,94	299,9	23,0	24	745,0	-5	22,0	—	46,4	82,2*	370*	—	18,7*	54,4*	5,1	13,0	0,3	81,6	3,71	9,15	3,822	278,7	0	95,3	91,5	—	
10	10.7.08	32,60	10	2,714	46,94	299,9	29,0	24	745,0	-5	22,0	—	49,1	83,1*	357*	—	19,0*	53,0*	5,1	13,0	0,3	81,6	3,71	9,15	3,662	300,3	0	95,1	91,3	—	
11	12.7.08	26,00	10	2,714	46,94	295,2	27,7	24	745,0	-5	22,0	—	47,4	81,3*	376*	—	19,0*	54,6*	5,3	12,8	0,3	81,6	3,75	9,30	3,991	298,5	0	93,6	89,8	—	
12	12.7.08	33,50	10	2,714	46,94	295,4	21,2	25	745,0	-5	22,7	—	49,9	81,6*	380*	—	19,0*	54,7*	5,5	12,2	0,3	82,0	—	—	3,940	303,2	0	93,1	89,0	—	
13	16.7.08	25,85	10	2,714	46,94	299,2	36,1	24	740,0	-5	20,8	—	44,3	83,1*	385*	—	17,0*	58,9*	5,5	12,7	0,2	81,6	4,89	11,40	4,315	245,8	0	96,3	92,3	—	
14	16.7.08	31,35	10	2,714	46,94	298,4	21,7	24	740,0	-5	20,8	—	47,7	82,3*	388*	—	17,0*	53,1*	5,6	12,5	0,3	81,6	—	—	4,270	321,6	0	94,0	91,0	—	
15	16.7.08	24,32	10	2,714	46,94	374,4	0	24	740,0	-10	21,5	—	52,1	95,2*	483*	—	17,0*	58,9*	6,0	11,2	0,5	82,3	4,81	14,91	5,625	302,4	0	113,8	108,8	—	
16	16.7.08	37,25	10	2,714	46,94	377,8	0	24	740,0	-10	21,5	—	54,0	96,4*	464*	—	18,5*	54,9*	6,0	11,0	0,3	82,7	—	—	5,365	357,8	0	115,3	110,2	—	
17	19.7.08	29,45	10	2,714	66,41	228,0	14,4	24	745,8	-5	20,8	—	41,6	64,2*	331*	—	17,5*	49,8*	5,0	13,4	0,4	81,2	3,78	9,39	3,370	279,4	0	74,9	72,3	—	
18	19.7.08	35,20	10	2,714	66,41	226,7	15,9	24	745,8	-5	20,8	—	43,6	65,7*	331*	—	17,5*	50,0*	5,2	13,1	0,4	81,3	3,78	9,39	3,359	291,0	0	73,6	71,1	—	
19	19.7.08	36,58	10	2,714	66,41	293,1	8,6	24	745,7	-5	21,4	—	47,1	86,0*	383*	—	17,5*	51,7*	6,4	11,6	0,3	81,7	—	—	3,700	311,4	0	79,5	76,6	—	
20	19.7.08	36,97	10	2,714	66,41	293,3	9,4	24	745,7	-5	21,4	—	47,2	85,1*	383*	—	17,5*	49,1*	6,4	11,6	0,3	81,7	—	—	3,715	340,5	0	79,1	76,1	50	
21	26.7.08	32,90	10	2,714	66,41	293,1	14,1	25	746,9	-5	22,0	—	46,1	79,7*	402*	—	18,0*	46,5*	6,5	11,3	0,4	81,8	4,48	11,37	4,175	437,6	0	79,3	76,2	50	
22	26.7.08	35,47	10	2,714	66,41	304,4	20,4	20	746,9	-5	22,4	—	48,8	85,3*	374*	—	18,0*	48,6*	5,7	12,2	0,4	81,7	—	—	3,892	353,1	0	83,7	80,3	—	
23	26.7.08	35,28	10	2,714	66,41	295,2	12,9	20	746,9	-5	22,4	—	49,7	87,1*	372*	—	18,0*	51,0*	5,3	12,2	0,7	81,8	—	—	3,810	330,0	0	81,0	77,7	—	
24	28.7.08	27,62	10	2,714	66,41	358,6	0	20	747,0	-10	22,3	—	50,0	102,4*	444*	—	18,7*	44,1*	6,5	10,6	0,8	82,1	6,56	20,92	6,980	469,2	0	95,5	92,4	—	
25	28.7.08	31,95	10	2,714	66,41	365,4	9,9	20	747,0	-10	22,5	—	50,3	105,4*	441*	—	18,7*	46,2*	6,6	11,1	0,5	81,8	—	—	4,731	447,8	0	97,3	93,3	—	
26	28.7.08	31,27	10	2,714	66,41	357,6	0	24	747,0	-10	22,5	—	51,1	104,7*	438*	—	18,7*	48,4*	6,8	10,9	0,4	81,9	5,50	17,53	4,720	414,6	0	96,9	92,9	—	
27	2.8.08	43,21	10	2,714	87,70	212,6	16,1	25	745,6	-4	21,6	—	44,1	72,6*	332*	—	19,5*	50,7*	6,3	11,3	0,5	81,9	3,87	9,81	2,888	294,0	0	59,7	57,4	—	
28	2.8.08	36,43	10	2,714	87,70	218,2	22,1	25	745,6	-4	22,6	—	44,6	70,9*	325*	—	19,5*	48,5*	5,8	12,0	0,3	81,9	3,99	9,91	2,850	288,8	0	60,9	58,1	—	
29	2.8.08	35,88	10	2,714	87,70	287,5	14,7	25	745,6	-5	22,6	—	47,9	91,4*	469*	—	20,0*	51,4*	7,0	10,5	0,3	82,2	—	—	3,628	330,8	0	67,8	64,8	22	
30	2.8.08	38,20	10	2,714	87,70	280,1	17,4	25	745,6	-5	22,6	—	48,8	92,2*	456*	—	20,0*	53,4*	7,2	10,4	0,3	82,1	4,27	10,77	3,565	307,4	0	66,1	63,1	22	
31	7.8.08	24,00	10	2,714	87,70	294,5	26,8	25	746,7	-8	22,5	41,3	45,7	87,7*	426*	—	19,3*	51,2*	7,6	9,7	0,1	82,6	4,43	11,99	3,562	330,5	0	70,7	67,8	43	
32	7.8.08	36,68	10	2,714	87,70	294,2	12,5	25	746,7	-8	22,5	42,7	47,2	87,9*	425*	—	19,2*	51,2*	7,6	9,7	0,1	82,6	4,43	11,99	3,492	332,2	0	69,8	66,9	43	
33	7.8.08	31,43	10	2,714	87,70	337,9	0	25	746,7	-8	23,0	46,3	50,1	106,2*	470*	—	19,0*	52,4*	8,4	9,3	0,5	81,8	5,87	17,31	4,410	356,8	0	78,4	75,1	65	
34	7.8.08	42,00	10	2,714	87,70	329,2	0	25	746,7	-8	23,0	46,5	50,5	104,4*	470*	—	19,0*	52,2*	7,8	9,4	0,3	82,5	5,89	17,12	4,457	378,0	0	76,8	73,5	65	
35	12.8.08	31,45	10	2,714	87,70	330,2	16,2	25	749,5	-8	20,5	—	46,3	102,2*	458*	—	18,0*	51,3*	7,4	9,7	0,5	82,4	4,21	12,01	4,254	384,0	0	79,3	77,0	50	
36	12.8.08	24,22	10	2,714	87,70	334,0	17,5	25	749,5	-8	21,0	—	48,0	94,8*	496*	—	18,0*	51,8*	8,5	8,6	0,3	82,6	3,93	13,53	4,382	371,0	0,77	78,4	76,1	50	

Таблица 26, продолжение.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
37	19.8.08	34,50	10	2,714	87,70	198,6	16,0	25	741,5	-4	19,4	34,1	40,2*	66,0*	304*	255*	16,0*	52,9°	7,7	10,1	0,0	82,2	3,85	10,94	2,678	227,4	0,71	51,5	49,8	25
38	19.8.08	32,25	10	2,714	87,70	196,9	20,4	25	741,5	-4	19,4	36,9	41,3*	66,7*	303*	254*	16,0*	47,6°	7,4	10,3	0,1	82,2	3,85	10,94	2,660	262,7	0,36	50,8	49,1	25
39	19.8.08	34,49	10	2,714	87,70	184,7	12,8	30	741,5	-4	19,7	40,2	44,8*	72,5*	305*	256*	16,0*	51,5°	8,2	7,2	1,2	83,4	6,23	21,57	3,496	288,0	0,07	48,9	42,4	32
40	19.8.08	34,73	10	2,714	87,70	187,6	11,2	31	741,5	-4	19,8	40,0	45,5*	70,6*	307*	259*	16,2*	52,2°	8,0	7,1	1,5	83,4	—	—	3,660	280,6	0,36	44,5	42,9	32
41	26.8.08	36,47	20/10*	2,755	88,09	210,1	24,0	20	750,3	-5	16,6	—	33,4*	42,6*	304*	305*	14,0*	48,7°	5,6	12,5	0,3	81,6	3,83	11,30	2,600	223,8	0	58,8	58,8	100
42	26.8.08	48,55	20/10	2,755	88,09	211,6	17,3	20	750,3	-5	16,6	—	36,7*	43,8*	305*	307*	14,0*	48,2°	5,7	12,6	0,2	81,5	3,83	11,30	2,533	213,6	0	58,7	58,5	100
43	17.9.08	28,90	15/5	2,761	66,60	228,1	28,4	15	755,0	-5	15,0	—	34,5*	42,2*	306*	258*	11,0*	49,6°	3,9	14,7	0,3	81,1	2,62	10,55	2,852	173,0	0	76,2	76,7	—
44	17.9.08	31,00	15/5	2,761	66,60	218,2	20,1	22	755,0	-5	15,5	—	41,0*	52,9*	—	324*	10,5*	48,3°	5,5	12,5	0,3	81,7	2,45	10,45	3,328	282,2	0	72,7	72,9	—
45	23.9.08	32,68	15/5	2,761	66,60	261,7	17,3	25	748,0	-6	19,8	36,3	41,8*	61,9*	—	370*	10,2*	52,2°	6,3	11,7	0,2	81,8	3,02	11,03	3,580	232,8	0	76,0	74,0	50
46	23.9.08	28,08	15/5	2,761	66,60	331,2	16,6	25	748,0	-7	19,8	40,9	46,8*	89,6*	—	447*	9,7*	49,3°	7,8	9,8	0,3	82,1	5,03	15,01	4,530	333,1	0	89,1	86,8	47
47	30.9.08	32,53	20/10	2,755	66,81	239,4	12,5	25	752,0	-5	25,4	32,4	40,8*	52,0*	—	364*	9,7*	58,2°	6,3	11,6	0,2	81,9	2,91	10,95	3,458	199,0	0	74,4	70,9	18
48	30.9.08	31,33	20/10	2,755	66,81	325,0	18,4	25	752,0	-7	25,4	40,9	47,9*	72,1*	—	468*	8,8*	50,4°	7,8	8,9	0,3	83,0	3,02	10,14	4,313	304,2	0	81,8	77,9	37
49	30.9.08	27,40	20/10	2,755	66,81	367,3	21,8	25	753,0	-8	25,5	42,7	50,2*	61,7*	—	473*	8,6*	51,7°	7,4	10,2	0,3	82,1	4,01	12,89	4,888	328,8	0	96,6	92,1	16
50	7.10.08	30,57	15/5	2,761	66,60	184,3	16,2	20	755,0	-4	22,0	31,6	40,0*	50,9*	—	310*	7,6*	51,9°	5,7	11,5	0,3	82,5	2,32	15,28	2,973	210,2	0	60,3	58,6	20
51	7.10.08	29,15	15/5	2,761	66,60	199,6	13,1	25	755,0	-4	22,0	32,1	41,5*	43,8*	—	328*	6,7*	50,5°	5,6	12,7	0,2	81,5	2,26	9,05	3,087	172,5	1,95	63,3	61,6	13
52	20.10.08	41,82	15/5	2,761	66,60	215,5	18,1	25	755,3	-4	21,0	—	37,0*	45,6*	307*	249*	5,5*	50,8°	4,5	14,0	0,4	81,1	3,60	11,17	2,740	143,8	0	77,6	75,3	41
53	20.10.08	37,52	15/5	2,761	66,60	217,2	10,4	25	755,3	-6	21,0	—	39,2*	44,1*	265*	214*	5,6*	50,0°	2,8	15,7	0,5	81,0	1,72	9,40	2,878	139,7	0	111,8°	108,6	42
54	7.11.08	26,24	10	2,714	46,94	295,3	10,9	25	760,5	-4	24,0	—	49,0*	84,0*	381*	389*	4,3*	51,9°	6,0	11,4	0,8	82,8	2,05	7,38	4,572	305,1	0	92,7	89,7	110
55	13.11.08	31,20	10	2,714	46,94	248,1	17,2	25	760,5	-4	25,2	—	46,0*	61,2*	326*	328*	3,8*	29,5°	5,4	12,5	0,2	81,9	2,41	6,09	3,807	451,5	0	89,1	85,5	79
56	25.11.08	28,79	10	2,714	46,94	218,3	11,2	25	761,0	156	22,5	—	39,9*	61,9*	306*	307*	5,1*	31,5°	4,5	14,1	0,3	81,1	3,04	5,82	3,667	394,6	0	93,8°	91,6	84
57	25.11.08	33,00	10	2,714	46,94	221,6	14,0	25	761,0	218	23,5	—	45,3*	67,8*	301*	305*	4,9*	26,2°	4,6	14,1	0,2	81,1	2,79	5,63	3,672	492,0	0	96,6°	93,8	85
58	2.12.08	31,11	10	2,714	46,94	236,3	11,5	25	772,0	405	18,5	—	37,3*	49,7*	298*	301*	2,8*	32,3°	4,1	14,5	0,3	81,1	2,83	6,01	4,097	372,7	0	114,0°	115,4	91
59	30.12.08	30,34	5	2,913	46,74	281,4	8,5	25	756,0	-4	12,0	32,3	39,4*	68,7*	—	393*	9,6*	54,2°	5,4	12,3	0,5	81,8	2,62	8,61	4,212	265,1	0	87,3	89,1	108
60	30.12.08	31,89	5	2,913	46,74	283,0	13,9	25	756,0	-4	12,0	36,9	43,8*	71,0*	—	388*	12,2*	45,4°	5,6	12,6	0,3	81,5	2,70	8,62	4,063	372,0	0	87,9	89,8	109
61	2.1.09	35,09	5	2,913	87,50	241,7	18,8	23	772,0	270	18,0	26,0	36,3*	55,3*	—	359*	13,0*	37,0°	4,9	13,5	0,3	81,3	3,41	10,23	3,216	409,8	0	85,2°	86,3	93
62	2.1.09	36,45	5	2,913	87,50	248,4	13,2	23	772,0	644	18,0	29,9	39,3*	51,8*	—	344*	13,4*	39,1°	4,4	14,0	0,3	81,3	3,64	9,14	3,474	403,0	0	108,6°	110,1	95
63	7.1.09	33,47	10	2,714	88,09	298,1	21,0	20	755,0	285	21,0	31,6	41,9*	70,0*	—	381*	10,0*	48,1°	5,6	12,6	0,3	81,5	2,80	5,91	3,840	351,3	0	98,5	96,6	114
64	13.1.09	29,65	10	2,714	88,09	274,2	20,6	25	751,5	-5	24,5	36,2	42,6*	67,5*	—	368*	18,3*	52,0°	5,3	12,8	0,4	81,5	3,40	8,49	3,884	270,5	0	88,5	84,6	105
65	13.1.09	30,17	10	2,714	88,09	273,3	17,4	25	750,5	915	25,0	40,1	44,9*	51,1*	—	310*	15,2*	46,0°	3,7	15,0	0,3	81,0	2,74	8,55	4,097	294,7	0	148,2°	139,2	105
66	28.4.09	31,75	15/10	2,956	47,13	263,7	19,1	25	762,3	-5	15,6	—	40,5*	53,7*	350*	357*	9,6*	45,1°	5,1	12,9	0,2	81,8	3,45	10,48	3,628	249,3	0	90,8	92,1	118
67	5.5.09	33,70	15	2,520	48,49	279,1	20,3	25	743,0	-5	16,8	37,2	43,4*	51,7*	337*	340*	13,1*	50,5°	5,6	12,4	0,3	81,7	3,66	11,28	3,848	277,1	1,82	90,8	89,0	89
68	5.5.09	30,69	15	2,520	48,49	359,9	16,7	25	743,0	-8	16,8	40,7	48,0*	53,8*	382*	393*	13,6*	62,5°	5,9	11,6	0,3	82,2	4,25	11,35	5,207	257,0	2,83	111,3°	109,1	115
69	11.5.09	29,58	15	2,520	48,49	205,4	19,7	25	746,5	-4	19,0	36,3	42,5*	43,6*	288*	299*	16,0*	52,6°	5,5	12,7	0,3	81,5	2,78	8,81	3,268	235,5	2,36	74,4	72,4	53
70	11.5.09	32,82	15	2,520	48,49	233,2	9,5	25	746,5	-4	19,0	38,2	43,7*	44,7*	309*	315*	15,7*	48,7°	5,1	13,0	0,3	81,6	4,03	10,26	3,436	240,6	3,27	85,2	83,1	60
71	15.5.09	34,07	15	2,520	45,49	258,2	10,1	25	749,0	1287	18,0	28,5	33,4*	53,9*	372*	381*	15,6*	46,1°	5,4	12,4	0,3	81,9	3,12	8,92	3,400	334,8	0	86,7°	85,4	66
72	15.5.09	31,08	15	2,520	45,49	317,2	12,2	25	749,0	1294	18,0	29,5	35,0*	55,2*	395*	401*	15,5*	48,7°	5,1	13,3	0,3	81,3	2,78	6,97	4,090	360,1	0	104,0°	102,4	81
73	21.5.09	29,14	20/11	2,751	89,66	266,8	13,8	23	750,5	-5	18,0	—	41,9*	81,3*	497*	516*	15,4*	64,7°	7,5	9,2	0,4	82,9	3,66	12,05	3,478	210,6	0	62,2	61,3	68
74	28.5.09	27,86	10	2,714	46,94	299,4	8,6	25	746,5	—	19,0	—	48,8*	84,9*	344*	353*	13,4*	64,8°	5,0	13,1	0,3	81,6	3,15	7,80	3,455	168,0	0	92,8	90,5	58
75	1.6.09	32,70	20/11	2,751	46,94	270,6	12,6	25	749,5	—	19,0	—	49,0*	84,7*	347*	363*	14,1*	59,8°	5,5	12,1	0,4	82,0	3,29	9,10	3,570	247,1	0	84,9	76,7	57

*) 10 соотв. 5 и 11 мм. толщина подкладки 8 под головку.

Таблица 27,
сводка результатов опытов.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
№ опыта	действит. работа N_e л. с.	давления в рабочем цилиндре			$\frac{n-i}{n}$ η y	индикат. работа N_i л. с.	давления в насосе			работа насоса N_N л. с.	$\frac{N_i'}{N_i} = \sigma$ %	$\frac{N_e}{N_i} = \eta_m$ %	$\frac{N_e}{N_i \cdot N_N} = \eta_{im'}$ %	работа паровой машины R_v л. с.	работа поршня R_n л. с.	в в с а			средняя скорости			$\frac{k_1}{N_e} = c_e$ гр./л.с.	$\frac{k_1}{N_i} = c_i$ гр./л.с.	воздуха на 1 ходъ лтр.	$\frac{L}{k_1}$ мтр./кгр.	подача насоса		характеристики	
		сжатия кгр./см. ² избавот. p_e	вспышки кгр./см. ² избавот. p_v	среднее индик. кгр./см. ² абс. p_i			всасыв. кгр./см. ² абс. p_a'	сжатия кгр./см. ² абс. p_e'	среднее индикат. кгр./см. ² абс. p_i'							G_{np} кгр.	$G_{e'}$ кгр.	$G_{e''}$ кгр.	всасыв. w_1 мтр./сек.	перепуск. w_2 мтр./сек.	выпуска w_3 мтр./сек.					$\frac{V_0}{V_x} = \lambda_0$ %	$\frac{V_0}{V_{x'}} = \lambda_0'$ %	по CO ₂ ψ_1	по O ₂ ψ_2
1	10,03	6,4	14,0	2,03	1	14,46	0,88	1,16	0,089	0,63	4,4	69,4	72,5	1,35	2,45	110,4	1,69	4,93	62	118	286	420	291	4,64	20,9	47,6	65,5	83	32
2	10,45	6,5	*14,6	2,02	1	15,02	0,88	1,16	0,089	0,66	4,4	69,6	72,8	1,47	2,44	117,4	1,64	5,15	65	121	295	420	292	4,71	21,4	48,3	66,3	82	31
3	6,43	6,6	14,0	2,03	0,96	8,87	0,89	1,15	0,091	0,42	4,7	72,5	76,1	0,62	1,40	80,8	1,16	3,96	78	81	220	525	380	5,27	19,0	54,1	74,2	86	32
4	6,60	6,6	*14,6	2,02	0,96	9,08	0,89	1,15	0,092	0,43	4,7	72,7	76,3	0,64	1,41	80,9	1,16	3,90	79	82	219	503	367	5,15	19,4	52,9	72,6	—	—
5	6,96	5,6	14,0	2,14	0,92	9,75	0,87	1,20	0,144	0,71	7,3	71,4	77,0	0,69	1,39	99,6	1,66	3,91	89	90	259	478	342	6,00	23,8	61,6	84,5	89	30
6	6,96	5,5	14,0	2,20	0,91	9,83	0,86	1,20	0,149	0,74	7,5	70,8	76,5	0,69	1,44	98,4	1,64	3,69	88	90	278	453	320	5,94	25,0	61,0	83,7	—	—
7	8,95	5,2	*14,6	2,10	0,95	12,73	0,86	1,18	0,133	0,85	6,7	70,3	75,3	1,06	1,87	109,9	1,85	4,55	76	80	248	433	305	5,19	22,6	53,3	73,1	89	31
8	8,93	5,2	*14,6	2,11	0,95	12,77	0,86	1,18	0,132	0,84	6,6	70,0	74,9	1,06	1,94	108,9	1,83	4,46	76	79	247	426	298	5,16	22,9	53,0	72,7	—	—
9	9,14	5,3	14,0	2,10	0,92	12,58	0,86	1,18	0,130	0,84	6,7	72,7	77,8	1,11	1,49	114,4	1,87	4,48	79	83	228	418	304	5,29	23,9	54,3	74,5	89	30
10	9,14	5,4	*14,6	2,15	0,90	12,60	0,85	1,19	0,131	0,85	6,7	72,6	77,8	1,11	1,50	114,0	1,86	4,30	79	83	230	401	291	5,29	24,9	54,3	74,5	—	—
11	9,00	5,4	14,0	2,20	0,91	12,73	0,85	1,18	0,134	0,86	6,8	70,7	75,8	1,07	1,80	112,5	1,83	4,68	78	82	240	443	314	5,28	22,5	54,2	74,3	91	30
12	9,37	5,4	*14,6	2,15	0,93	12,76	0,86	1,19	0,127	0,81	6,4	73,4	78,5	1,07	1,51	111,5	1,91	4,62	78	81	250	423	309	5,25	22,6	53,9	73,9	—	—
13	9,12	5,4	14,5	2,10	0,88	12,08	0,85	1,19	0,131	0,85	7,0	75,5	81,2	1,10	1,01	115,8	1,75	5,06	79	83	244	473	357	5,36	21,4	55,0	75,4	91	31
14	9,09	5,4	14,5	2,05	0,93	12,28	0,85	1,20	0,132	0,85	6,9	74,0	79,5	1,09	1,25	113,1	1,71	5,01	77	82	254	470	348	5,25	21,3	53,9	73,9	—	—
15	11,41	5,1	11,5	1,90	1	15,61	0,85	1,22	0,126	1,02	8,9	73,1	78,2	1,80	1,38	137,0	2,15	6,60	87	90	317	493	360	5,06	19,3	51,9	71,2	—	—
16	11,51	5,1	12,9	1,95	1	15,96	0,85	1,22	0,129	1,05	9,1	72,1	77,2	1,85	1,55	138,5	2,18	6,29	88	92	312	466	336	5,09	20,5	52,3	71,7	—	—
17	6,95	5,5	14,0	1,97	0,94	9,11	0,93	1,15	0,089	0,44	4,8	76,3	80,2	0,69	1,03	90,7	1,37	3,95	62	66	196	485	370	5,47	21,4	56,1	77,0	87	29
18	6,91	5,6	13,5	1,99	0,93	9,08	0,93	1,15	0,088	0,45	4,9	76,1	80,1	0,68	1,04	89,5	1,35	4,21	56	65	194	486	370	5,41	21,2	55,5	76,1	—	—
19	8,94	5,5	14,0	1,96	0,97	12,06	0,92	1,14	0,087	0,55	4,6	74,1	77,7	1,06	1,51	96,2	1,51	4,34	66	71	263	414	307	4,52	20,7	46,4	63,7	—	—
20	8,94	5,5	13,0	1,98	0,97	12,16	0,92	1,13	0,087	0,55	4,5	73,5	77,1	1,06	1,61	95,7	1,50	4,36	66	71	259	416	305	4,50	20,5	46,2	63,4	—	—
21	9,30	5,5	*14,6	1,98	0,95	11,96	0,87	1,15	0,089	0,56	4,7	77,8	81,6	1,06	1,04	96,3	1,56	4,90	66	71	270	449	349	4,51	18,2	46,3	63,5	86	31
22	7,73	5,2	14,0	1,76	0,93	10,82	0,86	1,15	0,096	0,63	5,8	71,5	75,9	1,14	1,32	101,0	1,69	4,56	69	75	270	503	360	4,58	20,6	47,0	64,5	—	—
23	7,50	5,2	14,0	1,69	0,96	10,32	0,86	1,16	0,097	0,62	6,0	72,7	77,3	1,07	1,13	97,8	1,63	4,47	67	73	255	508	369	4,57	20,4	46,9	64,3	—	—
24	9,10	5,0	9,2	1,64	1	12,73	0,88	1,16	0,092	0,71	5,6	71,5	75,7	1,63	1,29	118,0	1,92	8,19	74	72	299	767	548	4,44	13,2	45,6	62,5	80	31
25	9,28	5,0	14,0	1,72	0,96	13,23	0,88	1,17	0,093	0,74	5,6	70,2	74,3	1,69	1,52	117,5	1,97	5,55	74	73	293	510	358	4,44	19,7	45,6	62,5	—	—
26	10,88	5,0	14,0	1,95	1	15,08	0,88	1,17	0,094	0,73	4,8	72,1	75,9	1,62	1,85	117,1	1,96	5,54	75	73	286	434	313	4,52	19,7	46,4	63,7	—	—
27	6,74	5,2	14,0	2,13	0,93	9,06	0,90	1,12	0,060	0,28	3,1	74,4	76,7	0,62	1,42	72,2	1,14	3,39	45	60	258	427	319	4,68	19,9	48,0	65,8	—	—
28	6,92	5,2	*14,6	2,15	0,90	9,13	0,90	1,12	0,051	0,28	3,1	75,8	78,2	0,64	1,29	73,2	1,24	3,34	46	60	220	412	312	4,65	20,4	47,7	65,4	76	29
29	9,12	5,1	11,0	2,09	0,95	12,34	0,89	1,10	0,051	0,32	2,6	73,9	75,9	1,03	1,87	82,0	1,38	4,26	57	63	230	398	294	3,93	17,9	40,3	55,3	—	—
30	8,89	5,0	14,0	2,10	0,94	11,93	0,90	1,10	0,051	0,31	2,6	74,5	76,5	0,96	1,77	79,9	1,34	4,18	55	61	233	401	299	3,93	17,7	40,3	55,3	66	29
31	9,34	5,0	*14,6	2,10	0,91	12,11	0,89	1,11	0,057	0,36	3,0	77,1	79,5	1,07	1,34	85,5	1,43	4,18	59	62	258	382	294	4,00	19,0	41,1	56,4	—	—
32	9,34	5,0	*14,6	2,10	0,96	12,80	0,89	1,10	0,052	0,33	2,6	73,0	74,9	1,07	2,06	84,5	1,41	4,10	58	62	269	374	273	3,95	19,2	40,5	55,5	51	27
33	10,71	4,9	12,9	2,01	1	14,70	0,90	1,12	0,053	0,39	2,7	72,8	74,9	1,42	2,18	95,3	1,64	5,17	62	67	261	412	300	3,88	17,0	39,8	54,6	—	—
34	10,44	4,9	12,9	2,03	1	14,39	0,90	1,12	0,056	0,40	2,8	72,6	74,7	1,35	2,20	93,4	1,60	5,23	61	65	262	427	310	3,89	16,5	39,9	54,7	60	28
35	10,48	4,9	12,8	2,20	0,95	14,94	0,91	1,12	0,058	0,41	2,7	70,1	72,1	1,35	2,70	97,2	1,43	4,99	62	60	260	406	285	4,00	18,1	41,1	46,4	—	—
36	10,60	4,8	12,8	2,08	0,95	14,11	0,90	1,12	0,059	0,43	3,0	75,1	77,5	1,39	1,69	96,3	1,46	5,14	62	60	276	414	311	3,91	17,4	40,1	55,0	52	27

*) Звездочка впереди—поршень индикатора ударился в упоръ.

Таблица 27, продолжение.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
37	6,30	4,9	14,0	2,18	0,92	8,57	0,91	1,13	0,064	0,28	3,3	73,5	76,0	0,56	1,43	62,7	0,86	3,14	78	47	214	425	312	4,32	18,6	44,3	60,8	—	—
38	6,25	4,9	15,0	2,30	0,90	8,75	0,91	1,13	0,064	0,27	3,1	71,4	73,7	0,56	1,63	61,9	0,85	3,12	77	46	210	425	304	4,30	18,5	44,1	60,5	55	28
39	7,03	4,9	14,0	2,46	0,93	9,16	0,93	1,12	0,052	0,21	2,3	76,7	78,5	0,52	1,36	54,6	0,75	4,10	67	44	229	497	382	3,96	12,1	40,7	55,8	—	—
40	7,38	4,8	14,0	2,42	0,94	9,24	0,93	1,12	0,051	0,21	2,3	79,9	81,7	0,50	1,15	55,5	0,76	4,29	68	45	233	496	396	3,96	11,7	40,7	45,8	53	28
41	5,34	5,3	13,6	2,08	0,89	8,37	0,91	1,13	0,067	0,30	3,6	63,8	66,2	0,61	2,12	73,1	0,84	3,05	57	92	210	487	311	4,66	22,6	47,8	65,6	—	—
42	5,37	5,3	11,2	2,04	0,92	8,58	0,91	1,13	0,068	0,31	3,6	62,6	64,9	0,62	2,28	72,9	0,84	2,97	57	93	210	471	295	4,63	23,1	47,5	65,1	—	—
43	4,35	5,3	12,9	1,85	0,88	7,99	0,88	1,19	0,118	0,58	7,3	54,5	58,7	0,69	2,37	95,0	1,00	3,34	90	100	232	655	357	5,57	26,9	57,2	78,5	84	25
44	6,10	5,2	*14,6	2,22	0,91	9,52	0,88	1,19	0,118	0,56	5,9	64,1	68,1	0,64	2,22	90,9	0,99	3,90	86	97	282	546	350	5,55	21,9	57,0	78,2	80	31
45	8,30	5,2	14,0	2,21	0,93	11,69	0,89	1,16	0,089	0,50	4,3	71,0	74,1	0,86	2,03	92,8	1,32	4,20	56	76	245	431	306	4,84	20,7	49,7	68,2	81	30
46	10,50	5,0	*14,6	2,24	0,95	15,25	0,89	1,16	0,086	0,62	4,1	68,9	71,8	1,36	2,77	109,2	1,55	5,31	55	80	284	432	297	4,48	19,2	46,0	63,1	—	—
47	7,60	5,2	*14,0	2,14	0,95	10,51	0,89	1,19	0,097	0,50	4,8	72,4	76,0	0,74	1,67	89,5	1,80	4,06	62	84	283	455	329	5,18	20,5	53,2	73,0	71	27
48	10,31	4,9	12,6	2,22	0,94	14,73	0,90	1,17	0,081	0,57	3,9	70,0	72,8	1,31	2,53	98,8	1,98	5,06	46	99	295	418	293	4,19	18,1	43,0	59,0	55	30
49	11,65	5,0	*14,6	2,18	0,94	16,30	0,90	1,19	0,091	0,72	4,4	71,5	74,7	1,72	2,21	116,8	2,34	5,73	48	141	266	420	300	4,38	18,9	45,0	61,7	—	—
50	4,68	6,0	*16,6	2,02	0,91	7,34	0,90	1,19	0,101	0,40	5,6	63,8	67,4	0,52	1,74	73,8	1,20	3,49	71	78	216	635	405	5,45	19,7	56,0	76,8	63	30
51	6,33	5,9	15,0	2,26	0,94	9,12	0,90	1,19	0,104	0,45	4,9	69,4	73,0	0,56	1,78	77,5	1,26	3,62	74	81	229	488	338	5,29	20,0	54,3	74,5	60	29
52	6,84	6,0	14,0	2,11	0,92	9,02	0,85	1,19	0,118	0,55	6,1	75,9	80,8	0,62	1,01	93,7	1,44	3,21	91	92	230	400	304	5,96	27,5	61,2	82,6	75	25
53	6,89	6,1	14,7	2,10	0,95	9,40	0,88	1,26	0,164	0,77	8,2	73,3	79,9	0,64	1,10	134,1	2,08	3,37	123	127	347	417	306	8,52	37,7	87,5	110,8	65	22
54	9,37	5,6	*14,6	2,23	0,96	13,73	0,81	1,20	0,151	0,97	7,1	68,3	73,5	1,07	2,32	113,4	2,25	5,36	77	99	322	488	333	5,23	19,6	53,7	73,7	91	32
55	7,87	5,6	*14,6	2,30	0,93	11,49	0,81	1,20	0,160	0,86	7,5	68,6	74,1	0,79	1,77	107,6	2,10	4,47	91	96	265	484	331	5,98	22,5	61,4	84,2	104	41
56	6,93	5,6	*14,6	2,29	0,95	10,26	0,80	1,27	0,193	0,91	8,9	67,6	74,1	0,64	1,78	114,5	1,94	4,30	115	99	270	529	357	7,17	25,0	73,6	100,8	86	30
57	7,01	5,6	*14,6	2,24	0,94	10,06	0,81	1,28	0,196	0,94	9,3	69,7	76,9	0,66	1,45	117,4	2,11	4,31	118	107	276	524	365	7,27	25,6	74,6	102,1	—	—
58	7,50	5,7	*14,6	2,32	0,95	11,28	0,81	1,29	0,203	1,04	9,2	66,6	73,3	0,72	2,02	143,1	1,90	4,81	112	125	318	546	363	8,04	28,2	82,5	113,0	78	25
59	8,93	5,2	14,4	2,24	0,97	13,22	0,81	1,20	0,143	0,87	6,6	67,5	72,9	0,97	2,45	111,1	0,96	4,94	94	87	242	472	319	5,17	21,2	53,1	72,8	74	29
60	8,98	5,2	15,6	2,22	0,95	12,93	0,81	1,20	0,145	0,89	6,9	69,4	74,5	0,99	2,07	111,8	0,96	4,76	95	89	247	458	314	5,18	22,1	53,2	73,0	76	31
61	7,06	5,1	9,2	2,04	0,92	9,84	0,89	1,14	0,077	0,40	4,1	71,7	74,8	0,75	1,63	107,2	1,37	3,77	86	85	224	456	326	5,87	26,8	60,3	82,7	73	29
62	7,26	5,1	10,5	1,97	0,95	10,01	0,92	1,16	0,088	0,47	4,7	72,5	76,1	0,79	1,49	136,0	1,75	4,07	105	105	277	479	347	7,29	31,7	74,8	102,4	76	27
63	7,57	5,2	*14,6	1,77	0,93	10,62	0,92	1,14	0,066	0,43	4,1	71,3	74,3	1,09	1,53	120,5	1,85	4,50	77	75	334	507	361	5,50	25,2	56,5	77,5	60	29
64	8,70	5,3	11,6	2,14	0,93	11,74	0,82	1,20	0,138	0,82	7,0	74,0	79,7	0,94	1,28	106,6	2,02	4,55	72	81	318	446	331	5,38	21,8	55,2	75,7	73	28
65	8,67	5,3	10,6	2,08	0,94	12,07	0,82	1,30	0,207	1,22	10,1	71,9	79,9	0,93	1,25	172,8	3,33	4,80	118	127	325	473	339	9,04	34,0	92,8	127,1	62	20
66	8,34	5,1	9,0	2,15	0,93	11,38	0,82	1,25	0,155	0,88	7,8	73,3	79,5	0,87	1,29	114,3	1,25	4,25	72	105	303	435	322	5,74	25,4	58,9	80,8	88	32
67	8,85	6,3	12,0	2,25	0,93	12,61	0,83	1,24	0,141	0,85	6,7	70,2	75,3	0,96	1,95	111,0	1,31	4,51	70	105	264	435	305	5,42	23,1	55,7	76,4	89	32
68	11,39	6,2	12,3	2,25	0,95	16,71	0,83	1,25	0,140	1,09	6,5	68,2	72,9	1,64	2,49	136,5	1,61	6,10	68	95	258	457	312	5,15	21,0	52,9	72,6	81	30
69	6,52	6,4	13,3	2,23	0,90	9,00	0,85	1,26	0,158	0,70	7,8	72,4	78,6	0,59	1,19	90,6	1,23	3,83	87	103	275	501	363	6,03	22,2	61,9	84,9	92	36
70	7,40	6,3	13,3	2,13	0,96	10,31	0,83	1,26	0,160	0,81	7,9	71,8	77,9	0,71	1,39	103,5	1,41	4,03	77	118	254	464	333	6,09	24,2	62,5	85,8	85	32
71	8,19	6,3	13,6	2,05	0,96	11,00	1,04	1,19	0,066	0,37	3,4	74,4	77,1	0,83	1,61	106,2	1,36	3,99	—	122	296	415	309	5,59	25,1	57,4	78,7	79	30
72	10,08	6,2	13,5	2,10	0,96	13,87	1,04	1,19	0,067	0,46	3,3	72,9	75,2	1,24	2,09	127,4	1,63	4,80	—	132	252	406	295	5,46	25,1	56,0	76,8	—	—
73	7,79	4,5	7,5	1,93	0,95	10,56	0,94	1,11	0,050	0,29	2,7	73,9	75,9	0,89	1,59	77,3	0,97	4,08	52	79	295	447	329	3,89	17,6	39,9	54,7	63	29
74	9,48	5,0	10,0	2,01	0,97	12,65	0,84	1,20	0,130	0,84	6,6	74,9	81,3	1,11	1,22	112,6	1,53	4,05	60	73	313	364	273	5,16	26,2	53,0	72,7	—	—
75	8,58	4,5	7,5	2,06	0,95	11,50	0,85	1,25	0,138	0,81	7,0	74,7	81,3	0,91	1,20	98,4	1,40	4,09	70	115	254	416	310	5,21	22,1	53,5	73,4	77	28

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
№№ опытов	полный расход тепла т. ед. час. Q	превращено в д.т.т., работу т. ед. Q_e	$\frac{Q_e}{Q}$ η_o %	расход тепла на 1 д. л. с. Q/N_e т. ед.	расход тепла на 1 ин. л.с. Q/N_i т. ед.	Q_i т. ед.	Q_s т. ед.	Q_n т. ед.	Q_{np} т. ед.
1	43750	6350	14,5	4370	3030	9140	11090	1550	12170
2	45630	6610	14,5	4370	3040	9490	12430	1540	12150
3	35060	4070	11,6	5460	3950	5610	9910	890	6560
4	34430	4180	12,1	5230	3790	5740	9470	890	6550
5	34640	4400	12,7	4990	3550	6170	7920	880	8310
6	32720	4400	13,4	4700	3330	6220	8700	910	8340
7	40330	5660	14,0	4800	3770	8050	9710	1180	11570
8	39530	5650	14,3	4440	3100	8070	9980	1230	11520
9	39720	5780	14,6	4340	3160	7950	9950	940	11170
10	38080	5780	14,8	4180	3020	7970	10200	950	10770
11	41490	5690	13,7	4610	3260	8050	10660	1140	11170
12	40950	5925	14,5	4370	3210	8070	10790	950	11250
13	44850	5770	12,9	4920	3730	7600	10300	640	11680
14	44370	5750	13,0	4880	3610	7760	11610	790	11510
15	58450	7210	12,3	5120	3740	9870	12670	870	17530
16	55750	7280	13,1	4840	3490	10090	13010	980	16820
17	35030	4400	12,6	5040	3850	5760	9030	650	7910
18	34900	4370	12,5	5050	3850	5740	9460	660	7810
19	38450	5650	14,7	4300	3190	7620	10640	950	9700
20	38600	5650	14,6	4310	3170	7690	10750	1020	9650
21	43380	5880	13,6	4670	3650	7520	12470	660	10230
22	40450	4890	12,1	5230	3740	6840	10810	830	10030
23	39600	4740	12,0	5280	3840	6520	10990	710	9670
24	72520	5760	7,9	7970	5700	8050	11920	820	13960
25	49160	5870	11,9	5300	3720	8370	12320	960	13690
26	49050	6880	14,0	4510	3250	9540	12320	1170	13550
27	30010	4260	14,2	4460	3310	5730	9180	900	6350
28	28620	4380	14,8	4280	3240	5770	8410	820	6360
29	37700	5770	15,3	4140	3050	7810	10390	1180	9900
30	37050	5620	15,2	4170	3110	7540	10260	1120	9650
31	37030	5910	16,0	3970	3060	7650	10540	840	9650
32	36300	5910	16,3	3880	2840	8090	10670	1380	9500
33	45830	6770	14,8	4280	3290	9290	11920	1330	11880
34	46310	6600	14,3	4440	3220	9100	12550	1390	11660
35	44040	6630	15,1	4200	2950	9450	12780	1710	11640
36	45370	6700	14,8	4280	3220	8920	12430	1070	12470

Таблица 28
тепловой балансъ.

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
$Q_{об}$	$Q_{пл}$	$Q_{л}$	$Q_{ис}$	невязка	тѣ же величины въ ‰ отъ Q								невязка
т. ед.	т. ед.	т. ед.	т. ед.	т. ед.	q_i	q_v	q_n	$q_{пр}$	$q_{об}$	$q_{пл}$	$q_{л}$	$q_{ис}$	‰
0	3810	1350	1080	6660	20,8	25,4	3,5	27,8	0	8,7	3,1	2,5	15,2
450	[4030]	1270	1220	6190	20,8	27,2	3,4	26,6	1,0	8,8	2,8	2,7	13,6
0	1770	1080	470	10550	16,0	28,3	2,5	18,7	0	5,0	3,1	1,3	30,1
0	1770	1190	460	10140	16,7	27,5	2,6	19,0	0	5,1	3,5	1,3	29,5
0	2310	1020	800	7330	17,8	22,9	2,5	24,0	0	6,7	2,3	2,3	21,1
0	2300	1050	910	6110	19,0	26,6	2,8	25,5	0	7,0	3,2	2,8	18,7
0	2390	1270	810	7710	20,0	24,1	2,9	28,7	0	5,9	3,2	2,0	19,1
0	[2370]	1300	790	6730	20,4	25,2	3,1	29,1	0	6,0	3,3	2,0	17,0
0	2350	1170	710	7360	20,0	25,1	2,4	28,1	0	5,9	2,9	1,8	18,5
0	2340	1130	720	5900	20,9	26,8	2,5	28,3	0	6,1	3,0	1,9	15,5
0	2330	1190	770	8460	19,4	25,7	2,7	26,9	0	5,6	2,9	1,9	20,4
0	[2320]	1190	830	7450	19,7	26,4	2,3	27,5	0	5,7	2,9	2,0	18,2
0	3020	1240	820	10830	16,9	22,9	1,4	26,0	0	6,7	2,8	1,8	24,1
0	[2950]	1210	870	9240	17,5	26,2	1,8	25,9	0	6,6	2,7	2,0	20,8
0	4090	1460	1640	12060	16,9	21,7	1,5	30,0	0	7,0	2,5	2,8	20,6
0	[4140]	1400	1610	9660	18,1	23,3	1,8	30,1	0	7,5	2,5	2,9	17,3
0	1890	1060	420	9610	16,5	25,8	1,9	22,6	0	5,4	3,0	1,2	27,5
0	1860	1060	400	9230	16,5	27,1	1,9	22,4	0	5,3	3,0	1,1	26,5
0	[2390]	1190	790	7070	19,8	27,7	2,5	25,2	0	6,2	3,1	2,1	18,4
0	[2380]	1180	770	7200	19,9	27,8	2,6	25,0	0	6,2	3,1	2,0	18,7
0	2380	1210	840	9390	17,3	28,8	1,5	23,6	0	5,5	2,8	1,9	21,6
0	[2380]	1150	880	9290	16,9	26,7	2,0	24,8	0	5,9	2,8	2,2	23,0
0	[2380]	1440	760	8850	16,5	27,8	1,8	24,4	0	6,0	2,9	1,9	22,3
0	4770	1300	1260	32080	11,1	16,5	1,1	19,3	0	6,6	1,8	1,7	44,2
0	[4080]	1300	1210	9150	17,0	25,1	2,0	27,9	0	8,3	2,6	2,5	18,6
0	4060	1300	1140	8310	19,4	25,1	2,4	27,6	0	8,3	2,6	2,3	16,9
0	1550	1080	570	6450	19,1	30,6	3,0	21,2	0	5,2	3,6	1,9	21,5
0	1610	1040	420	6830	19,5	28,4	2,8	21,5	0	5,4	3,5	1,4	23,1
0	[1930]	1400	520	6930	20,7	27,6	3,1	26,3	0	5,1	3,7	1,4	18,4
0	1870	1370	520	6960	20,4	27,7	3,0	26,1	0	5,0	3,7	1,4	18,8
0	2150	1290	680	5910	20,7	28,5	2,3	26,1	0	5,8	3,5	1,8	16,0
0	2130	1290	730	5190	22,3	29,4	3,6	26,2	0	5,9	3,6	2,0	14,3
0	3310	1390	780	8640	20,3	26,0	3,0	25,9	0	7,2	3,0	1,7	18,9
0	3250	1390	770	8980	19,7	27,1	3,0	25,2	0	7,0	3,0	1,7	19,4
0	2400	1380	790	7310	21,5	29,0	3,9	26,4	0	5,4	3,1	1,8	16,6
630	2470	1470	880	7080	19,7	27,4	2,4	27,5	1,4	5,4	3,2	1,9	15,6

Таблица 28, продолжение.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
37	27720	3980	14,4	4400	3230	5420	8390	900	5000	500	1520	1010	340	6440	19,6	30,3	3,2	18,0	1,8	5,5	3,6	1,2	23,2
38	27540	3950	14,4	4410	3150	5530	8300	1030	4930	250	1500	990	330	6740	20,1	30,1	3,7	17,8	0,9	5,4	3,6	1,2	24,5
39	36190	4450	12,3	5150	3950	5790	10220	860	4400	50	2180	1010	340	13060	16,0	28,3	2,4	12,2	0,1	6,0	2,8	0,9	36,1
40	37890	4670	12,3	5130	4100	5840	10100	720	4510	250	2210	1020	360	14320	15,4	26,7	1,9	11,9	0,7	5,8	2,7	1,0	37,8
41	26910	3380	12,5	5050	3210	5290	7770	1340	5710	0	1710	1020	390	6360	19,7	28,9	5,0	21,2	0	6,4	3,8	1,4	23,6
42	26200	3400	13,0	4890	3060	5430	7300	1440	5730	0	1710	1020	380	6090	20,7	27,8	5,5	21,8	0	6,5	3,9	1,4	23,2
43	29530	2750	9,3	6790	3690	5050	6680	1500	7600	0	1880	1030	610	8180	17,1	22,6	5,1	25,7	0	6,5	3,5	2,1	27,7
44	34460	3860	11,2	5650	3620	6020	10670	1400	7500	0	1710	1050	860	7950	17,5	31,0	4,1	21,8	0	5,0	3,0	2,5	23,1
45	37060	5250	14,2	4470	3170	7390	9780	1280	8960	0	1930	1140	670	8470	19,9	26,4	3,5	24,2	0	5,2	3,1	1,8	22,9
46	46900	6640	14,2	4470	3080	9640	13180	1750	12710	0	5310	1310	1050	7450	20,5	28,1	3,7	27,1	0	7,1	2,8	2,2	15,9
47	35800	4810	13,4	4710	3410	6640	9650	1060	8850	0	1820	1100	860	7840	18,6	27,0	2,9	24,7	0	5,1	3,1	2,4	21,9
48	44650	6520	14,6	4340	3030	9320	12650	1600	12450	0	1920	1310	1030	7570	20,9	28,3	3,6	27,9	0	4,3	2,9	2,4	16,9
49	50600	7360	14,5	4340	3110	10310	14170	1400	14840	0	2950	1330	990	7410	20,4	28,0	2,8	29,3	0	5,8	2,6	2,0	24,6
50	30780	2960	9,6	6580	4190	4640	9320	1100	6110	0	1780	950	410	8670	15,1	30,3	3,6	19,8	0	5,8	3,1	1,3	28,2
51	31970	4000	12,5	5050	3500	5770	7560	1130	6850	1430	1280	980	490	8740	18,1	23,7	3,5	21,4	4,5	4,0	3,1	1,5	27,3
52	28370	4330	15,2	4150	3150	5700	6510	640	7590	0	2150	950	590	5520	20,1	23,0	2,3	26,7	0	7,6	3,4	2,1	19,5
53	29800	4360	14,6	4330	3170	5950	6340	700	9420	0	2160	910	1940	3780	20,0	21,3	2,4	31,6	0	7,2	3,1	6,5	12,7
54	47340	5930	12,5	5050	3450	8680	14300	1470	11960	0	1670	1120	1410	9670	18,3	30,2	3,1	25,2	0	3,5	2,4	3,0	20,4
55	39430	4980	12,6	5010	3430	7270	11690	1120	9630	0	1440	860	900	8760	18,4	29,7	2,8	24,4	0	3,7	2,2	2,3	22,2
56	37970	4380	11,5	5480	3700	6480	10410	1130	9400	0	1690	840	1000	9300	17,1	27,4	3,0	24,8	0	4,5	2,2	2,6	24,5
57	38020	4430	11,7	5430	3780	6360	10430	920	9670	0	1630	800	1070	8980	16,7	27,4	2,4	25,5	0	4,3	2,1	2,8	23,6
58	42420	4740	11,2	5660	3760	7130	11000	1280	11170	0	2090	860	1730	9720	16,8	25,9	3,0	26,3	0	4,9	2,0	4,1	22,9
59	43610	5650	13,0	4890	3300	8360	11830	1550	10960	0	1880	1280	780	10070	19,2	27,1	3,6	25,1	0	4,3	2,9	1,8	23,1
60	42070	5680	13,5	4690	3250	8180	12350	1310	10860	0	1940	1240	820	7990	19,4	29,4	3,1	25,8	0	4,6	2,9	1,9	19,0
61	33420	4460	13,4	4740	3400	6220	9840	1030	9900	0	2280	1070	640	4500	18,6	29,4	3,1	29,6	0	6,8	3,2	1,9	13,5
62	36100	4590	12,7	4970	3610	6330	10350	940	12040	0	2800	1050	1250	3920	17,5	28,7	2,6	33,3	0	7,8	2,9	3,5	8,9
63	39900	4790	12,0	5270	3760	6710	13390	970	12010	0	1720	1140	1610	4290	16,8	33,4	2,4	30,1	0	4,3	2,9	4,0	10,8
64	40350	5500	13,6	4640	3440	7430	9660	810	10560	0	2060	1120	1290	9040	18,4	24,0	2,0	26,2	0	5,1	3,2	2,8	22,4
65	42570	5480	12,9	4910	3530	7630	9370	790	14510	0	3020	940	2180	5710	17,9	22,0	1,9	34,1	0	7,1	2,2	5,1	13,4
66	37700	5270	14,0	4520	3310	7190	8870	820	10380	0	2460	1110	1250	7260	19,1	23,5	2,2	27,5	0	6,5	2,9	3,3	19,3
67	40000	5600	14,0	4520	3170	7970	10370	1230	9670	1350	2550	1100	920	7300	19,9	25,9	3,1	24,2	3,4	6,4	2,7	2,3	18,3
68	54120	7200	13,3	4750	3240	10570	12570	1570	13750	2170	3330	1290	1090	10920	19,5	23,2	2,9	25,4	4,0	6,2	2,4	2,0	20,2
69	33970	4150	12,2	5210	3780	5690	8620	750	7070	1700	1830	1010	820	7980	16,8	25,4	2,2	20,8	5,0	5,4	3,0	2,4	23,5
70	35700	4680	13,1	4830	3460	6520	7940	880	8600	2380	2350	1030	810	6950	18,3	22,2	2,5	24,1	6,7	6,6	2,9	2,3	19,5
71	35330	5180	14,7	4310	3210	6960	10200	1020	10420	0	1990	1180	1110	4490	19,7	28,9	2,9	29,5	0	5,6	3,3	3,1	12,7
72	42510	6340	14,9	4220	3070	8750	11960	1320	13140	0	1980	1240	970	5710	20,6	28,1	3,1	30,9	0	4,7	2,9	2,3	13,5
73	36160	4930	13,6	4640	3420	6670	10380	1010	10290	0	1840	1590	800	5600	18,5	28,7	2,8	28,5	0	5,1	4,4	2,2	15,5
74	35950	6000	16,7	3800	3130	8000	8640	780	10290	0	1970	1180	1320	5330	22,3	24,0	2,2	28,6	0	5,5	3,3	3,7	14,9
75	37090	5420	14,7	4320	3220	6640	11290	760	9340	0	1850	1040	760	6930	17,9	30,4	2,0	25,2	0	5,0	2,8	2,0	18,7

Табл

исправленный т

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
№ опыта	$\Sigma Q=Q'$	$\frac{Q'}{N_s}$	$\frac{Q'}{N_i}$	q'_i	q'_s	q'_a	q'_{ap}	q'_{ab}	q'_{ar}	q'_a	q'_j	$q'_s + q'_{ap} + q'_{ab}$
	т. ед./час	т. ед./час.	т. ед./час.	°/о	°/о	°/о	°/о	°/о	°/о	°/о	°/о	°/о
1	37090	3700	2570	24,6	29,9	4,2	32,9	0	10,3	3,6	2,9	62,8
2	39440	3780	2630	24,1	31,5	3,9	30,8	1,1	10,2	3,2	3,1	63,4
3	24510	3810	2760	22,9	40,4	3,6	26,8	0	7,3	4,4	1,9	67,2
4	24290	3680	2670	23,7	38,9	3,6	27,0	0	7,3	4,9	1,9	65,9
5	27310	3920	2800	22,6	29,6	3,2	30,5	0	8,5	3,2	2,9	60,1
6	26610	3830	2710	23,3	32,7	3,4	31,3	0	8,7	3,9	3,4	64,0
7	32620	3650	2560	24,7	29,8	3,6	35,5	0	7,3	3,9	2,5	65,3
8	32800	3670	2570	24,6	30,5	3,7	35,2	0	7,2	3,9	2,4	65,7
9	32360	3540	2570	24,6	30,8	2,9	34,5	0	7,2	3,6	2,2	65,3
10	32180	3520	2560	24,6	31,8	2,9	33,6	0	7,2	3,5	2,2	65,4
11	33030	3670	2590	24,4	32,3	3,5	33,8	0	7,1	3,6	2,3	66,1
12	33500	3580	2630	24,1	32,3	2,8	33,6	0	6,9	3,5	2,5	65,9
13	34020	3730	2820	22,4	30,4	1,9	34,4	0	8,9	3,6	2,4	64,8
14	35130	3860	2860	22,1	33,0	2,2	32,8	0	8,4	3,4	2,4	65,8
15	46390	4070	2970	21,3	27,3	1,9	37,8	0	8,8	3,1	3,5	65,1
16	46090	4010	2890	21,9	28,2	2,7	36,5	0	9,0	3,0	3,5	64,7
17	25420	3660	2790	22,7	35,5	2,6	31,1	0	7,4	4,2	1,7	66,6
18	25670	3710	2830	22,4	36,9	2,6	30,4	0	7,2	4,1	1,6	67,3
19	31380	3510	2600	24,3	33,9	3,0	30,9	0	7,6	3,8	2,5	64,8
20	31400	3510	2580	24,5	34,3	3,2	30,7	0	7,5	3,7	2,5	65,0
21	32990	3660	2840	22,1	36,7	1,9	30,1	0	7,0	3,5	2,5	66,8
22	31160	4030	2880	21,9	34,7	2,7	32,2	0	7,6	3,7	2,8	66,9
23	30750	4100	2980	21,1	35,7	2,3	31,4	0	7,7	3,7	2,5	67,1
24	40440	4440	3180	19,9	29,5	2,0	34,5	0	11,8	3,2	3,1	64,0
25	40010	4310	3020	20,9	30,8	2,4	34,2	0	11,2	3,2	3,0	65,0
26	40740	3750	2700	23,4	30,2	2,8	33,3	0	10,0	3,2	2,8	63,5
27	23560	3490	2600	24,3	39,0	3,8	27,0	0	6,6	4,6	2,4	66,0
28	22790	3290	2500	25,3	36,9	3,6	27,9	0	7,1	4,6	1,8	64,8
29	30770	3380	2490	25,4	33,8	3,8	32,2	0	6,2	4,5	1,7	66,0
30	30090	3380	2520	25,1	34,1	3,7	32,1	0	6,2	4,5	1,7	66,2
31	31120	3330	2570	24,6	33,9	2,7	31,0	0	6,9	4,1	2,2	64,9
32	31110	3330	2430	26,0	34,3	4,2	30,6	0	6,8	4,1	2,3	64,9
33	37190	3470	2530	25,0	32,0	3,7	32,0	0	8,9	3,7	2,1	64,0
34	37330	3570	2590	24,4	33,6	3,7	31,2	0	8,7	3,7	2,1	64,8
35	36730	3500	2460	25,7	34,8	4,6	31,7	0	6,5	3,7	2,2	66,5
36	38200	3610	2710	23,3	32,5	2,8	32,6	1,6	6,5	3,8	2,3	66,7

на 29,

тепловой баланс.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
37	21280	3380	2480	25,5	39,4	4,2	23,6	2,4	7,2	4,7	1,6	66,3
38	20880	3330	2380	26,6	39,9	5,0	23,7	1,2	7,2	4,7	1,6	64,8
39	23130	3290	2520	25,1	44,2	3,8	19,0	0,2	9,4	4,4	1,5	63,4
40	23570	3200	2550	24,8	42,8	3,1	19,1	1,1	9,4	4,3	1,5	63,0
41	20550	3850	2460	25,8	37,8	6,4	27,8	0	8,3	4,9	1,9	65,6
42	20130	3750	2350	27,0	36,2	7,1	28,5	0	8,4	5,1	1,9	64,7
43	21350	4910	2670	23,7	31,3	7,0	35,6	0	8,8	4,8	2,9	66,9
44	26510	4340	2780	21,7	40,3	5,3	28,3	0	6,5	4,0	3,2	68,6
45	28590	3440	2450	25,9	34,2	4,4	31,3	0	6,8	4,0	2,3	65,5
46	39450	3760	2590	24,4	33,4	4,4	32,2	0	8,3	3,3	2,7	65,6
47	27960	3680	2660	23,8	34,5	3,8	31,7	0	6,5	4,0	3,1	66,2
48	37080	3600	2520	25,1	34,1	4,3	33,6	0	5,1	3,5	2,8	67,7
49	43190	3710	2650	23,9	32,8	3,2	34,3	0	6,8	3,1	2,3	67,1
50	22110	4720	3010	21,0	42,1	5,0	27,7	0	8,0	4,3	1,9	69,8
51	23230	3670	2550	24,9	32,6	4,9	29,5	6,1	5,5	4,3	2,1	68,2
52	22850	3340	2530	25,0	28,6	2,8	33,2	0	9,4	4,1	2,6	61,8
53	26020	3770	2770	22,9	24,4	2,7	36,2	0	8,3	3,5	7,5	60,6
54	37670	4020	2750	23,1	38,0	3,9	31,8	0	4,4	3,0	3,8	69,8
55	30670	3920	2680	23,0	37,9	3,6	31,2	0	4,6	2,8	2,9	69,1
56	28670	4130	2800	22,6	36,3	3,9	32,8	0	5,8	2,9	3,5	69,1
57	29040	4140	2900	21,9	35,9	3,1	33,2	0	5,6	2,7	3,7	69,1
58	32700	4360	2900	21,8	33,6	3,9	34,2	0	6,5	2,6	5,3	67,8
59	33540	3760	2540	24,9	35,3	4,6	32,7	0	5,6	3,8	2,3	68,0
60	34080	3800	2640	24,0	36,2	3,8	31,9	0	5,7	3,6	2,4	68,1
61	28920	4090	2940	21,5	34,0	3,5	34,2	0	7,9	3,7	2,2	68,2
62	32880	4530	3290	19,2	31,5	2,9	36,6	0	8,8	3,2	3,8	68,1
63	35610	4700	3350	18,9	37,6	2,7	33,7	0	4,8	3,2	4,5	71,3
64	31310	3600	2670	23,7	30,8	2,6	33,7	0	6,6	3,5	4,1	64,5
65	36860	4250	3050	20,7	25,4	2,1	39,4	0	8,1	2,5	5,9	64,8
66	30440	3650	2680	23,6	29,1	2,6	34,1	0	7,9	3,6	4,1	63,2
67	32700	3690	2590	24,4	31,7	3,7	29,6	4,1	7,7	3,3	2,8	65,4
68	43200	3790	2590	24,5	29,1	3,6	31,8	5,0	7,6	3,0	2,5	65,9
69	25990	3990	2890	21,9	33,2	2,9	27,2	6,5	7,0	3,8	3,2	66,9
70	28750	3880	2790	22,7	27,6	3,0	29,9	8,2	8,2	3,5	2,8	65,7
71	30850	3770	2810	22,6	33,0	3,3	33,8	0	6,4	3,8	3,6	66,8
72	36720	3640	2650	23,8	32,6	3,6	35,8	0	5,4	3,4	2,6	68,4
73	30560	3920	2890	21,8	34,0	3,3	33,7	0	6,0	5,2	2,6	67,7
74	30620	3230	2420	26,1	28,2	2,5	33,6	0	6,4	3,9	4,3	61,8
75	30160	3510	2620	22,0	37,5	2,5	30,9	0	6,1	3,5	2,5	68,4