

404076

Известия
Одесского ун-та
1912. в 8т

404076

Извѣстія Механическаго Института
Императорскаго Московскаго Техническаго Училища.

Выпускъ XI.

Лабораторія паровыхъ котловъ.

И. В. Арбатскій. Вліяніе лучеиспусканія на показаніе пирометровъ.

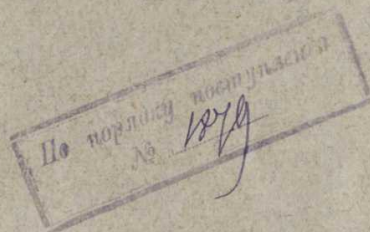


О погрѣшностяхъ при измѣреніи температуръ при помощи термоэлементовъ и гальванометра и поправки для уничтоженія ихъ.

Способъ нанесенія дѣленія шкалы, неравномѣрной по длинѣ, но равномѣрной по объему.

Какъ перейти отъ коэффиціента использованія тепла котломъ къ коэффиціенту его полезнаго дѣйствія.

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА



По поручению
№ 1011

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКОГО
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

Вліяніе лучеиспускания на показаніе пирометровъ.

(Предварительное сообщеніе).

(Доложено было на второмъ Менделѣевскомъ Съѣздѣ по общей и прикладной химіи и физикѣ).

И. В. Арбатскій.

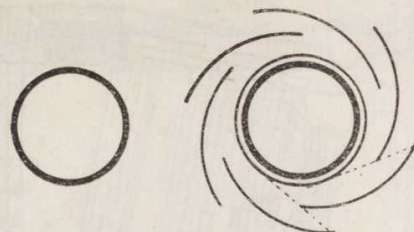
Еще въ 1905 году проф. В. И. Гриневецкій указалъ, что при измѣреніи температуры газовъ въ дымоходѣ: „показаніе пирометра является результатомъ теплопередачи ему отъ газовъ, лучеиспусканія ему отъ точки и лучеиспусканія отъ него къ обмуровкѣ и къ стѣнкѣ котла“ *). Уже одинъ этотъ переченьъ причинъ, отъ которыхъ зависитъ показаніе пирометра, указываетъ на сложность вопроса, такъ какъ только температура стѣнки котла является величиной постоянной или правильной очень мало измѣняющейся, а температура газовъ точки и обмуровки — все величины, которыя находятся въ зависимости одна отъ другой, и этимъ крайне затрудняются наблюденія и постановки опытовъ; но, съ другой стороны, даже приблизительные подсчеты даютъ очень значительныя пониженія показаній пирометра по сравненію съ температурой измѣряемой газообразной среды. Поэтому выясненіе этого вліянія и нахожденія способа правильного измѣренія температуры газовой среды очень важны, такъ какъ возможно, что ошибка превышаетъ 20% измѣряемой температуры. Это было поставлено на очередь работъ въ Лабораторіи Паровыхъ Котловъ Императорскаго Московскаго Техническаго Училища, а въ 1907 г. проф. В. И. Гриневецкій предложилъ мнѣ взять эту тему для научной работы, за что я ему приношу глубокую благодарность.

Для того, чтобы приблизительно оцѣнить, насколько теоретическія предположенія соотвѣтствуютъ дѣйствительности, были предприняты опыты съ предохранительнымъ чехлами.

Чехоль былъ сдѣланъ изъ листового серебра длиною въ 300 м/м и въ поперечномъ сѣченіи представлялъ рядъ пластинокъ, изогнутыхъ, какъ показано схематически на фиг. 1, правое изображеніе.

Дѣйствіе чехловъ будетъ понятно изъ слѣдующаго, Положимъ, мы вставили пирометръ въ пространство, температуру коего желаемъ измѣрить... Температура пирометра постепенно повышается до тѣхъ поръ, пока не наступитъ равновѣсіе между тепломъ, получаемымъ пирометромъ черезъ теплопередачу отъ газовъ, черезъ луче-

испусканіе отъ точки или нефтяного факела, и тепломъ, которое пирометръ отдаетъ стѣнкамъ дымоходовъ и стѣнкѣ котла. Если мы надѣнемъ на пирометръ чехоль, устроенный такъ, что между нимъ и пирометромъ возможна циркуляція газа, но пирометръ никоимъ образомъ не можетъ „увидѣть“ ни лучеиспускающихъ поверхностей, ни стѣнки котла, то тогда температура пирометра повысится, такъ какъ лучеиспускающая поверхность увеличится незначительно, всего въ отношеніи діаметровъ чехла и пирометра $\frac{1}{100}$ на 90, а поверхность соприкос-



$$\frac{F_c}{F_a} = 1, \quad \frac{F_c}{F_a} = 1$$

$$\frac{F_c}{F_a} = 5,95, \quad \frac{F_c}{F_a} = 3,15$$

Фиг. 1.

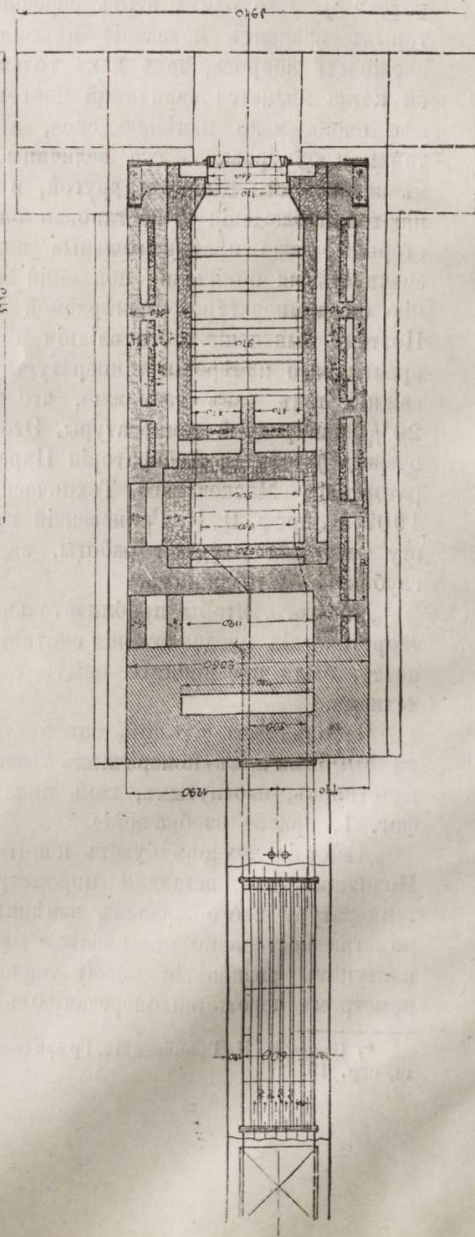
новенія съ газами увеличивается почти что въ шесть разъ, т.-е. почти на 500%. Такимъ образомъ потеря тепла пирометромъ черезъ лучеиспусканіе увеличивается меньше, чѣмъ возрастаетъ полученіе тепла черезъ соприкосновеніе, и вслѣдствіе этого, температура пирометра нѣсколько приближается къ температурѣ газовъ, но, какъ еще далеко отъ нея отстоитъ, мы, пока, сказать не въ состояніи.

Опыты велись съ водотрубнымъ котломъ Штейнмюллера.

Первый опытъ былъ произведенъ 22 мая 1907 года. Пирометръ былъ помѣщенъ въ среднемъ отверстіи при переходѣ изъ перваго дымохода во второй (фиг. 2), а въ крайнихъ отверстіяхъ были помѣщены ртутные стеклянные термометры со шкалой до 550°. Было крайне трудно поддерживать такой слабый огонь у форсунокъ,

* Проф. В. И. Гриневецкій. Графическій расчетъ парового котла, стр. 13.

Готельная.



счетахъ Удѣльному

Набеганост на набеганост 1^{го} хода = 11, 3 мс

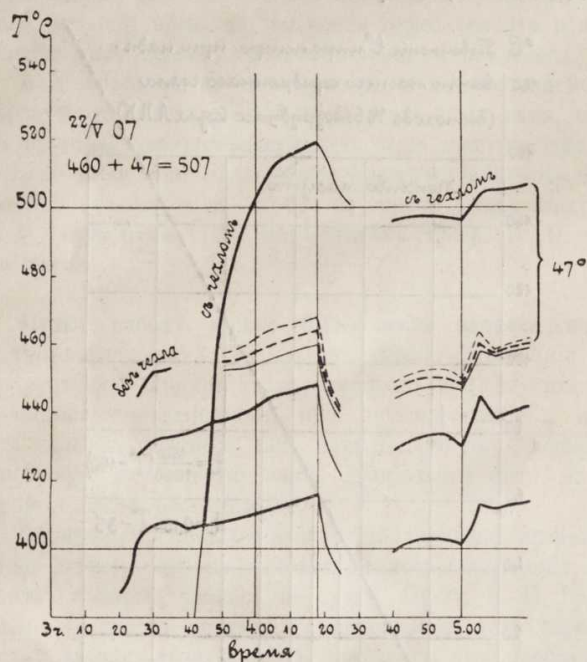
17	:	:
99	:	:
3	:	:
23	:	:
24	:	:
1	:	:
1	:	:

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	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----

beer 60 ml.
 $n = 12$ atm.

$p_{\text{H}_2} = 12 \text{ atm.}$

чтобы температура была около 420° . Термометры были старые и с термоэлектрическим пирометром не свѣрялись, но это въ данномъ опытѣ значенія не имѣло, такъ какъ они служили лишь для контроля постоянства температуры, и поэтому абсолютное значеніе показанія термометровъ было не важно. Въ 3 ч. 35', когда уже (фиг. 3) температура нѣсколько установилась, былъ вынутъ термоэлектрический пирометръ и на него былъ надѣтъ чехолъ, и пирометръ опять былъ вставленъ, и отверстіе было опять замазано азбестомъ. Первый отчетъ пирометра съ чехломъ въ 3 ч. 45', было 408° , т.-е. за время надѣванія чехла пирометръ успѣлъ значительно остыть. Если чехолъ не имѣлъ никакого вліянія, то разность показаній пирометра и двухъ контрольных ртутныхъ термометровъ была приблизительно



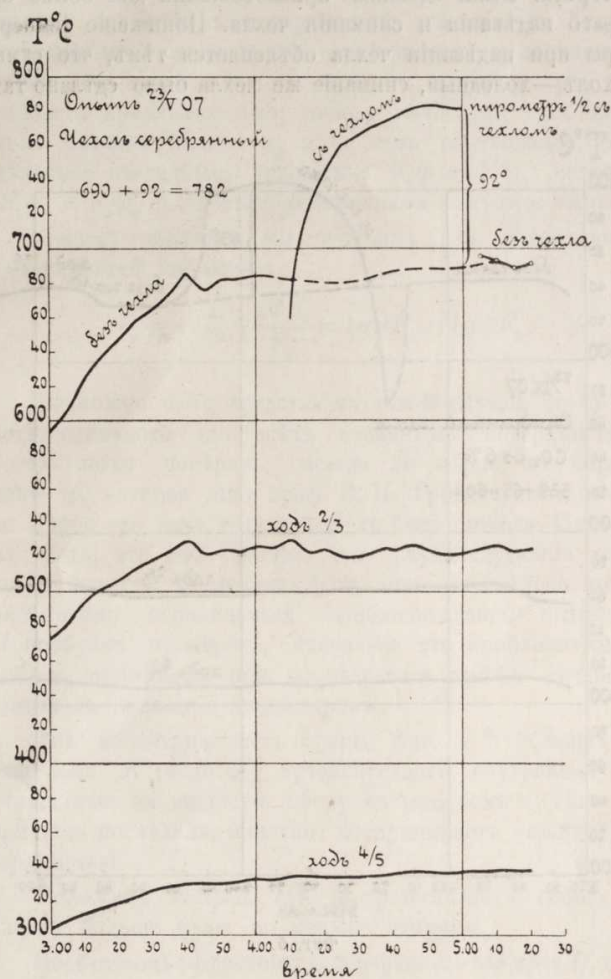
Фиг. 3.

но одинакова. Но мы видимъ, что температура пирометра все растетъ, а въ 4 ч. 15' уже 518° . Если мы отложимъ ту же разность температуръ, какая была въ 3 ч. 35', то окажется, что съ чехломъ температура выше на 52° . Далѣе, въ 4 ч. 55' разница въ 46° при температурѣ пирометра безъ чехла 452° . Такимъ образомъ среднее повышеніе t° отъ чехла 47° при средней температурѣ пирометра безъ чехла 460° .

Въ этомъ опытѣ было сдѣлано одно упущеніе, а именно: слѣдовало убѣдиться, что разность температуръ пирометра и контрольныхъ термометровъ осталась та же, для чего надо было вынуть пирометръ, снять чехолъ и опять его вставить. Въ послѣдующихъ опытахъ это дѣлалось и, такъ какъ разница мѣнялась незначительно, то и этотъ опытъ былъ принятъ во вниманіе; впрочемъ, въ этомъ опытѣ это уже не было такъ важно въ виду того, что контрольные термометры стояли рядомъ.

Далѣе отмѣтимъ, что колебаніе ртутныхъ термометровъ значительнѣе, нежели пирометра съ чехломъ; особенно это характерно около 4 ч. 20' и 5 ч. 10'. А между тѣмъ инертность ртутныхъ термометровъ очень велика изъ-за желѣзной оправы.

Опытъ второй фиг. 4. производился 23-го мая съ тѣмъ же котломъ. Пирометръ былъ помѣщенъ въ среднее отверстіе при переходѣ изъ перваго хода во второй, т.-е. въ томъ же мѣстѣ, какъ и въ первомъ опытѣ, при t° около 680° ; слѣдовательно, рядомъ съ нимъ контрольного тер-



Фиг. 4.

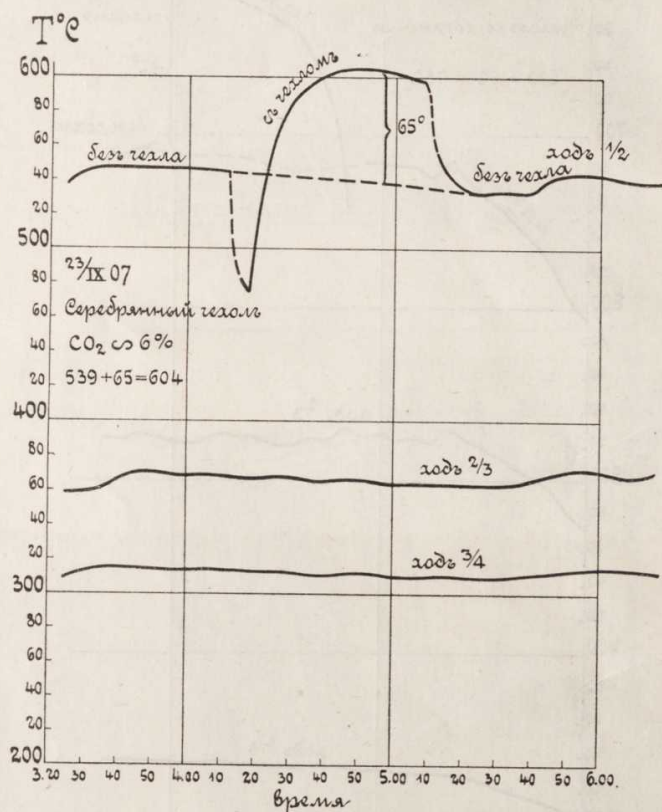
мометра поставить было нельзя, другого пирометра въ то время не было, поэтому пришлось поставить контрольные термометры: одинъ при переходѣ изъ второго хода въ третій, а другой при выходѣ изъ четвертаго хода. Сперва пирометръ былъ безъ чехла, затѣмъ, когда температура установилась, пирометръ былъ вынутъ, надѣтъ чехолъ. Когда температура установилась, чехолъ былъ снятъ, и тогда пирометръ показывалъ температуру болѣе низкую. Отложивъ такую же разность $(T^{1/2} - T^{2/3})^1$, какая была въ 5 ч. 5', 5 ч. 10', 5 ч. 15', а именно 171° отъ

¹⁾ Обозначеніе $T^{1/2}$ = температура при переходѣ изъ перваго хода во второй.

температуры $T^{2/3}$ 4ч. 52', 4ч. 55', 5ч. — получим тѣ температуры, которыя показывалъ бы пирометръ, если бы на немъ не было чехла.

Мы видимъ, что, при 690° показанія пирометра, чехоль увеличиваетъ температуру на 92° .

Третій опытъ (фиг. 5) былъ 23-го сентября. Расположеніе пирометра и термометровъ было такое же, какъ и во второмъ опытѣ; былъ поставленъ только еще одинъ термометръ при переходѣ изъ третьяго хода въ четвертый. Было обращено вниманіе, чтобы кладка котла былъ прогрѣта. Были сдѣланы приспособленія для болѣе быстраго надѣванія и сниманія чехла. Пониженіе температуры при надѣваніи чехла объясняется тѣмъ, что самый чехоль — холодный, сниманіе же чехла было сдѣлано такъ



Фиг. 5.

быстро, что температура пирометра еще была нѣсколько велика по сравненію съ той, какой она можетъ быть безъ чехла при этихъ условіяхъ, поэтому наблюдается *охлажденіе пирометра въ дымоходѣ*.¹⁾ Въ виду того, что никакихъ рѣзкихъ колебаній въ расходѣ топлива, въ избыткѣ воздуха не было, что видно ясно по температурѣ $T^{2/3}$, здѣсь можно даже соединить пунктиромъ температуры $T^{1/2}$ при пирометрѣ безъ чехла, и мы находимъ, что при T пирометра безъ чехла 539° , повышеніе t° съ чехломъ 65° . Отмѣтимъ, что между 4ч. 50' и 5ч. 10' линия температуры пирометра съ чехломъ какъ разъ параллельна пунктирной линіи пирометра безъ чехла.

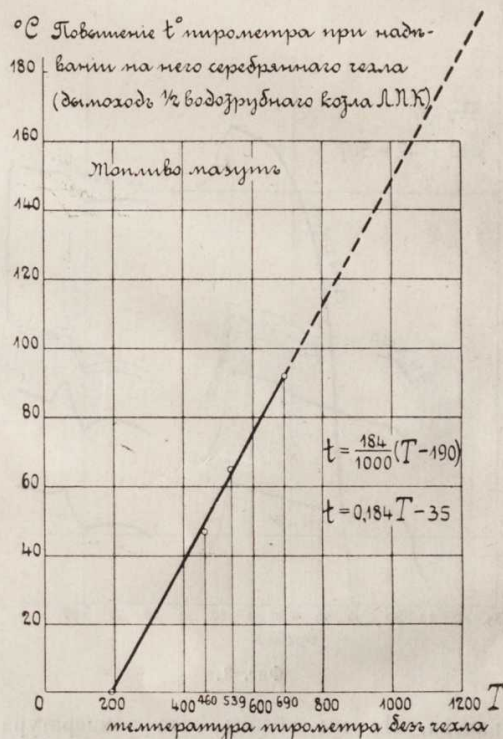
¹⁾ Сплошная линія на чертежѣ означаетъ наблюденную температуру, пунктиръ предполагаемую.

Сопоставимъ полученные результаты на діаграммѣ фиг. 6.

Такъ какъ преобладающее вліяніе на пониженіе температуры пирометра имѣетъ температура котла (191°), то можно предположить, что, если бы пирометръ безъ чехла показывалъ 191° , то и съ чехломъ онъ показалъ бы ту же температуру. Такимъ образомъ получаются четыре точки, которыя лежатъ на одной прямой, по которой можно вывести, что повышеніе температуры, если надѣть чехоль $\Delta T = 0,183 (T - 191)$, гдѣ T — температура, показываемая пирометромъ безъ чехла, или въ другой формѣ.

$$\Delta T = 0,183 T - 35.$$

Формула эта справедлива до $T \leq 700^\circ$. Далѣе идти было нельзя, такъ какъ оправа пирометра выдерживаетъ всего 800°C , а при 700 безъ чехла — съ чехломъ



Фиг. 6.

$700 + 93 = 793^\circ$. Дѣлать другой чехоль на пирометръ въ другой оправѣ не стоило, такъ какъ возможно было поднять температуру всего градусовъ 50 — 60, иначе можно было опасаться расплавленія чехла (серебро). Дѣлать же чехоль изъ платины очень дорого и не стоило для предварительныхъ опытовъ. Экстраполировавъ эту линію, получимъ значенія и для болѣе высокихъ температуръ, но этими значеніями надо пользоваться *съ большою осторожностью*, такъ какъ поручиться нельзя, пойдетъ ли далѣе эта линія прямой или превратится въ кривую. Понятно, эта формула имѣетъ значеніе только для данного мѣста, данного котла и является результатомъ совмѣстнаго вліянія горящаго факела и стѣнки котла.

Выводы из этих опытов были сделаны следующие:

1) Влияние лучеиспускания на показание пирометров настолько велико, что игнорировать его при измерении высоких температур газа нельзя.

2) Теоретические предположения проф. В. И. Гриневца относительно этого влияния подтверждаются вполне.

3) Вести исследование этого влияния в дымоходе котла невозможно, приходится сконструировать специальную печь, в которой возможно было бы достичь заранее намеченных условий.

4) Необходимо изыскать способ определения истинной температуры газов и уже с ней сравнивать показание пирометра без чехла и с чехлами разных конструкций и вывести соответствующие поправки.

5) Необходимо изыскать способ контролирования правильности показания термоэлементов и изучить причины, могущие исказить показания термоэлемента, и найти способ для внесения соответствующих поправок.

6) Необходимо изучить пространственную зависимость при лучеиспускании и сконструировать печь так, чтобы эта пространственная зависимость была доступна для подсчета и чтобы явление это можно было расчленить на более простые явления, т.-е. чтобы на первое время разбить на 4 слагаемых, уже намеченных проф. В. И. Гриневцем.

Итак, работу можно было вести параллельно в двух направлениях: 1) изучить способ измерения температур при помощи термоэлементов и 2) изучить пространственную зависимость при лучеиспускании и изыскать способ подсчета, так как только тогда возможно приступить к проектированию специальной печи, в которой и вести исследование.

В первом направлении работа продвинулась вперед¹⁾, но во втором неожиданно встали такие затруднения, преодолеть которые удалось не сразу. Проф. В. И. Гриневский в своем труде „Графический расчет парового котла“, касаясь этого вопроса, отмечает, что „необходимо ограничиться приблизительной оценкой“. Там в паровом котле, где поверхности излучающие и воспринимающие приблизительно одинаковы, способ, предложенный проф. В. И. Гриневским, может иметь место; при выведении поправок на лучеиспускание пирометра этого уже нет, поверхность пирометра во много десятков раз меньше поверхностей, с которых или на которые передается тепло, т.-е. поверхности обмуровки или котла и, как видно из нижеследующего, способ подсчета проф. В. И. Гриневца не может быть применим.

Положим, мы имеем два тела A и B с температурами T_a и T_b , взаимно лучеиспускающие друг другу, любой элемент поверхности каждого из них лучеиспускает во все стороны, но лишь некоторая часть φ попадает на другое тело. Теперь является вопрос,

как выразить это φ ? Проф. В. И. Гриневский говорит так: „ φ представляет отношение поверхности вырезка полусферы, заключающей в себе конический пучек попадающих лучей, ко всей поверхности полусферы. Вообще φ переменна для разных элементов.“

Обозначим:

φ_1 и φ_2 — угловые коэффициенты,

при чем $\varphi_1 = \int \frac{dF_1}{F_1} \varphi$ и $\varphi_2 = \int \frac{dF_2}{F_2} \varphi$ — представляют

средние для обоих поверхностей значения φ . Угловые коэффициенты зависят от геометрических соотношений обоих поверхностей и в каждом случае могут быть оценены приблизительно; точное вычисление их слишком сложно. Между φ_1 и φ_2 есть соотношение, определяемое очевидным условием: $F_1 \varphi_1 = F_2 \varphi_2$; величины $F_1 \varphi_1$ и $F_2 \varphi_2$ назовем *эффективными поверхностями*²⁾.

Таким образом мы получим для эффективных поверхностей выражение

$$F_1 \varphi_1 = F_1 \int \frac{q dF_1}{F_1} = \int q dF_1 = \int q dF_2.$$

Возможно себе представить такой случай, что φ будет одинаково для всех элементов поверхности и тогда легко проверить, всегда ли верно то определение φ , которое дано проф. В. И. Гриневским, а если не верно, то как велика может быть ошибка. Следует отметить, что им указано, что: „Лучеиспускание точки котлу физикой не может быть пока определено точно; необходимо ограничиться приблизительной оценкой“. Попробуем проверить, насколько эта приблизительная оценка применима при исследовании влияния лучеиспускания на показание пирометров.

Две концентрических сферы, фиг. 7³⁾ большая с радиусом R (тело A) лучеиспускает внутренней поверхностью на меньшую сферу с радиусом r (тело B), при чем последняя, понятно, воспринимает внешней поверхностью.

Положим $r = \mu R$, где μ представляет собою величину больше нуля, но меньше единицы.

Подсчитаем эффективную поверхность для тела B , т.-е. $\varphi_2 F_2$. Для каждого элемента поверхности dF_2 отношение φ равняется 1.

$$\text{Поэтому } \varphi_2 F_2 = F_2 = 4\pi r^2 = 4\pi R^2 \mu^2.$$

Для каждого элемента dF_1 поверхности тела A отношение φ_1 будет постоянно и равно отношению телесного угла, образованного касательными к телу B , к полусфере

$$\text{т.-е. } \varphi_1 = \frac{2\pi a h}{2\pi a^2} = \frac{2\pi a \cdot a(1 - \cos \alpha)}{2\pi a^2} = 1 - \cos \alpha,$$

¹⁾ Часть этой работы помещена в следующей статье: „О погрешностях при измерении температур при помощи термоэлементов и гальванометра и поправки для уничтожения их“.

²⁾ Графический расчет паровых котлов. Проф. В. И. Гриневский стр. 9.

³⁾ Просьба исправить обозначения на фиг. 7 около точки K вместо o (F_1) следует dF_1 , вместо φ_0 следует φ_a .

а такъ какъ $Sna = \frac{r}{R} = \frac{\mu R}{R} = \mu$,

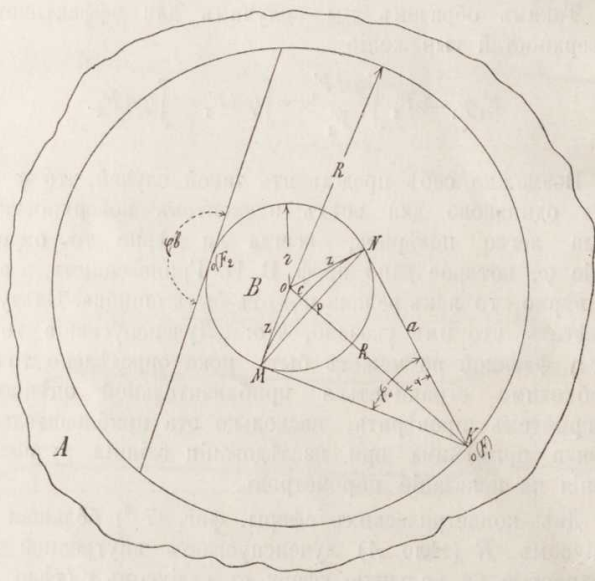
то $\varphi = 1 - Csa = 1 - \sqrt{1 - \mu^2}$, а отсюда

$$\varphi_1 F_1 = \int \varphi \cdot dF_1 = (1 - \sqrt{1 - \mu^2}) F_1 = 4\pi R^2 (1 - \sqrt{1 - \mu^2}).$$

Возьмемъ отношение эффективныхъ поверхностей ξ , которое должно равняться единицѣ въ случаѣ, если отношение φ выражено было правильно

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\varphi_2 F_2}{\varphi_1 F_1} = \frac{4\pi R^2 \mu^2}{4\pi R^2 (1 - \sqrt{1 - \mu^2})} = \frac{\mu^2}{1 - \sqrt{1 - \mu^2}} = \\ &= \frac{\mu^2 (1 + \sqrt{1 - \mu^2})}{1 - 1 + \mu^2} = 1 + \sqrt{1 - \mu^2}. \end{aligned}$$

Для наглядности изобразимъ $\xi = 1 + \sqrt{1 - \mu^2}$ въ видѣ диаграммы по оси абсциссъ отложимъ значенія μ , по оси ординатъ значеніе ξ (фиг. 8).



Фиг. 7.

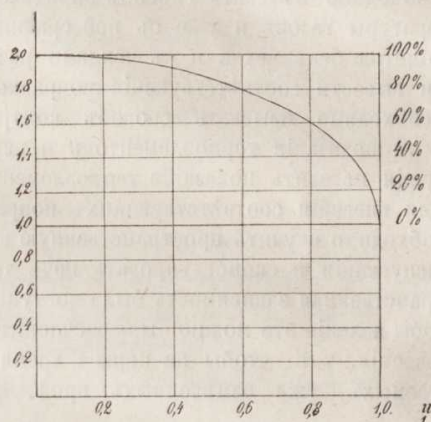
Мы видимъ, что для данного частнаго случая невязка достигаетъ почти 100%, если $\mu < 0,2$. Ясно, что этимъ приближеннымъ способомъ пользоваться нельзя при изслѣдованіи вліянія лучеиспусканія на показаніе пирометровъ, и мнѣ пришлось обратиться къ выраженіямъ болѣе точнымъ, которые привели къ слѣдующей формулѣ:

$$Q = \iint J_0 \frac{Cs(N_1, Q) Cs(N_2, Q)}{Q^2} dF_1 \cdot dF_2,$$

гдѣ Q —количество тепла, которое передается лучеиспусканіемъ отъ одного тѣла другому, J_0 количество тепла, испускаемое единицей поверхности по направленію нормали къ этой поверхности, Q —разстояніе между элементами поверхности dF_1 одного тѣла и dF_2 другого тѣла.

$Cs(N_1, Q)$ —косинусъ угла между направленіемъ нормали къ элементу поверхности dF_1 и линіей Q , соединяющей элементы поверхности dF_1 и dF_2 .

$Cs(N_2, Q)$ —косинусъ угла между направленіемъ нормали къ элементу поверхности dF_2 и линіей Q , соединяющей элементы поверхности dF_1 и dF_2 .



Фиг. 8.

Интегрировать нужно по поверхностямъ F_1 и F_2 въ такихъ предѣлахъ, чтобы $Cs(N_1, Q)$ и $Cs(N_2, Q)$ не были меньше нуля.

Сложная функціональная зависимость надолго (около 3 лѣтъ) задержала мою работу, такъ какъ не удавалось проинтегрировать этого выраженія даже для наиболѣе простыхъ случаевъ, и поэтому даже возникалъ вопросъ о возможности изслѣдовать этотъ вопросъ. Только теперь при помощи графическаго способа мнѣ удалось вычислить съ точностью до 5—10% эту пространственную зависимость для любого случая. Способъ правда довольно сложный и многодѣльный, но для лабораторныхъ изслѣдованій вполне примѣнимый; онъ будетъ опубликованъ при дальнѣйшихъ работахъ. Казалось бы всё крупныя затрудненія теперь, наконецъ, побѣждены мной и потому можно надѣяться въ ближайшемъ будущемъ перейти къ опытамъ, для чего уже часть приспособленій изготовлена.

И. В. Арбатскій.

О погрѣшностяхъ при измѣреніи температуръ при помощи термоэлементовъ и гальванометра и поправки для уничтоженія ихъ.

(Доложено было на второмъ Менделѣевскомъ Съѣздѣ по общей и прикладной химіи и физикѣ).

И. В. Арбатскій.

Среди всѣхъ способовъ измѣренія температуръ одно изъ первыхъ мѣстъ занимаетъ въ технику способъ измѣренія при помощи термоэлементовъ и гальванометра. Способъ компенсаціи, хотя болѣе точенъ, но онъ довольно сложенъ и поэтому большого примѣненія имѣть не можетъ. Точно измѣрять температуру термоэлементомъ и гальванометромъ возможно только въ томъ случаѣ, если гальванометръ проградуированъ для даннаго термоэлемента, и наблюденіе производится при тѣхъ же условіяхъ, какія были приняты при градуировкѣ; если же эти условія не соблюдены, получается нѣкоторое измѣненіе показанія гальванометра, слѣдовательно, получается нѣкоторая ошибка, для избѣжанія которой необходимо дѣлать соотвѣтствующія поправки, величина которыхъ можетъ быть иногда довольно значительна, какъ можно будетъ видѣть изъ приведенныхъ ниже примѣровъ.

Для ясности изложенія вкратцѣ напомнимъ сущность метода измѣренія температуры при помощи термоэлементовъ и гальванометра. Если возьмемъ незамкнутую цѣпь, состоящую изъ 2 или нѣсколькихъ проволокъ изъ разныхъ металловъ или сплавовъ спаянныхъ, или имѣющихъ контактъ между собой, и будемъ держать одни спай при одной температурѣ, а другой или другія при другой, то на свободныхъ концахъ появится разность электрическихъ потенциаловъ, величина которой будетъ зависѣть отъ свойствъ металловъ, изъ которыхъ сдѣланы проволоки и отъ температуръ спаевъ. Если цѣпь замкнемъ, то въ ней будетъ циркулировать электрическій токъ, величина котораго еще зависить отъ сопротивленія цѣпи, и, зная величину сопротивленія и силу тока, можно опредѣлить вольтажъ термоэлемента. Далѣе, зная для даннаго термоэлемента зависимость между вольтажемъ и температурами спаевъ и температуру одного изъ спаевъ, можно опредѣлить температуру другого спая.

Изъ всѣхъ возможныхъ комбинацій металловъ и сплавовъ въ качествѣ термоэлементовъ распространеніемъ пользуются только немногія, какъ-то:

1) Платина—платина-родій, т.-е. одна проволока изъ чистой платины, другая изъ сплава 90% платины и 10% родія.

2) Платина—платина-иридій, т.-е. одна проволока изъ чистой платины, другая изъ сплава 90% платины и 10% иридія.

3) Серебро-константанъ (константанъ—сплавъ мѣди и никкеля).

4) Мѣдь-константанъ.

5) Желѣзо-константанъ.

Всѣ перечисленные термопары почти не имѣютъ гистеризиса и обладаютъ достаточнымъ постоянствомъ, т.-е. ихъ термоэлектрическая способность отъ времени почти не мѣняется. (Термоэлектрической способностью мы назовемъ разность потенциаловъ, выраженную въ микроволь-

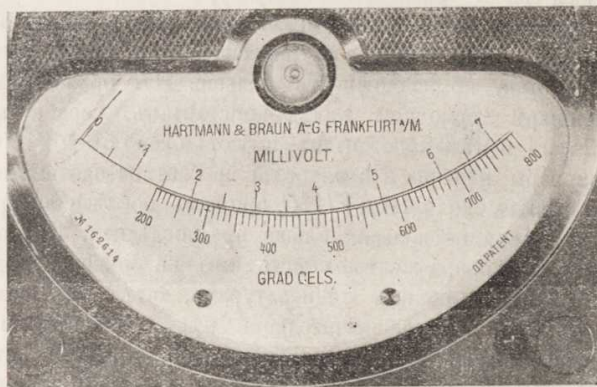
тахъ (μV), т.-е. миллионныхъ доляхъ вольта, приходящуюся на 1° разности температуръ спаевъ. Чтобы не употреблять очень деликатныхъ приборовъ, желательно, понятно, чтобы термоэлектрическая постоянная термометра была по возможности больше. Изъ приведенныхъ термопаръ, термопары желѣза-константанъ, серебро-константанъ и мѣдь-константанъ имѣютъ около $50 \mu V/1^\circ C$, а термопары платина-платина-родій и платина-платина-иридій, имѣютъ около $10 \mu V/1^\circ C$, при чемъ послѣдняя термопара имѣетъ нѣсколько больше предпослѣдней. Къ сожалѣнію, термопара желѣзо-константанъ не можетъ употребляться при высокихъ температурахъ, такъ какъ желѣзо окисляется, это въ значительной мѣрѣ относится и къ термопарѣ мѣдь-константанъ, термопара серебро-константанъ можетъ употребляться до $600^\circ C$; при измѣреніи температуръ высшихъ приходится пользоваться платиновыми металлами, несмотря на ихъ дороговизну. Такъ какъ наибольшимъ постоянствомъ обладаютъ термопары платина-платина-родій и серебро-константанъ, то въ технику и употребляются обыкновенно для измѣренія температуръ до 600 термоэлементы серебро-константанъ, а для измѣренія высокихъ температуръ термоэлементы платина-платина-родій, и поэтому въ дальнѣйшемъ изложеніи мы будемъ касаться только этихъ термопаръ.

Обычно установка бываетъ такая: термоэлементъ при помощи мѣдныхъ проводовъ достаточно большого сѣченія присоединяется къ гальванометру и въ полученной такимъ образомъ замкнутой электрической цѣпи циркулируетъ электрическій токъ, который отклоняетъ стрѣлку гальванометра на опредѣленный уголъ. Гальванометры употребляются системы Дебре д'Арсонваля, съ подвижной катушкой и постояннымъ магнитомъ, такъ что уголъ отклоненія стрѣлки пропорціоналенъ силѣ проходящаго тока. Если считать сопротивленіе гальванометра неизмѣннымъ, то уголъ отклоненія стрѣлки будетъ пропорціоналенъ разности потенциаловъ на клеммахъ гальванометра и поэтому обычно на гальванометрѣ наносятся дѣленія на милливольты, а кромѣ того наносятся дѣленія на $^\circ C$ для опредѣленнаго термоэлемента, находящагося въ опредѣленныхъ условіяхъ. При отсчетахъ почти всегда приходится пользоваться послѣдними дѣленіями, такъ какъ дѣленія на милливольты очень рѣдко отстоятъ одинъ отъ другого, какъ можно видѣть на рисункѣ (фиг. 1), изображающемъ шкалу гальванометра.

Устройство гальванометровъ, какъ видно изъ рисунковъ различно; бываютъ такъ называемые „лабораторные гальванометры“ (фиг. 2), гдѣ рамка и стрѣлка подвѣшены на тонкой металлической лентѣ; устанавливать ихъ необходимо по уровню и на всякое колебаніе стола, на которомъ они стоятъ, стрѣлка очень сильно отзывается; поэтому въ технику довольно часто употребляются другого типа, болѣе грубые, гальванометры (фиг. 3 и 4),

гдѣ рамочка со стрѣлкой имѣютъ вращеніе на центрахъ, укрѣпленныхъ въ камняхъ на подобіе того, какъ это бываетъ въ часахъ. Последніе инструменты бывають и съ горизонтальной шкалой (фиг. 3) и съ вертикальной (фиг. 4).

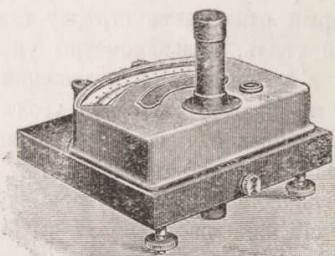
Но они имѣютъ большее треніе, а потому для отклоненія стрѣлки требуется большая сила тока, что достигается меньшимъ сопротивленіемъ гальванометра по



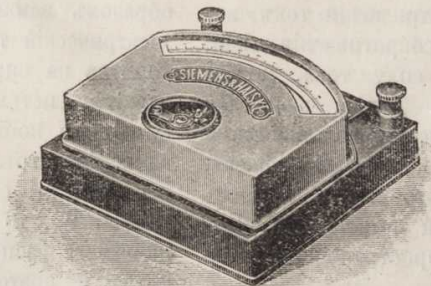
Фиг. 1.

сравненію съ инструментами перваго типа. Вообще слѣдуетъ отмѣтить, что техника выполненія гальванометровъ за последнее время въ значительной мѣрѣ подвинулась вперед и инструменты выпуска послѣднихъ лѣтъ имѣютъ большее сопротивленіе по сравненію съ инструментами, выпущенными съ фабрики лѣтъ десять тому назадъ; въ дальнѣйшемъ будетъ ясно какое вліяніе на точность показаній имѣетъ большое сопротивленіе гальванометра.

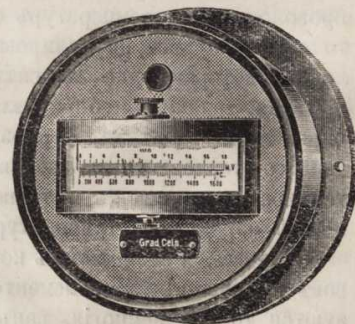
Предпославъ эти краткія указанія о термопарахъ и гальванометрахъ, перейдемъ къ выводу величины попра-



Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.

вокъ, но предварительно отмѣтимъ, что на гальванометрѣ нанесены дѣленія на градусы для опредѣленнаго термоэлемента и при опредѣленныхъ условіяхъ, такъ напримѣръ: чтобы температура клеммъ поддерживалась на извѣстной высотѣ, чтобы сопротивленіе цѣпи было опредѣленное число омъ и т. д. и что эти условія должны быть соблюдены вполне точно. Разсмотримъ, какое вліяніе можетъ имѣть измѣненіе сопротивленія цѣпи и какъ его учесть. Отчего можетъ быть измѣненіе сопротивленія цѣпи? Прежде всего отъ измѣненія температуры самого гальванометра, такъ какъ, кажется, еще не дѣлаются гальванометры для пирометровъ безъ температурнаго коэффициента, а почти всегда сопротивленіе гальванометра состоитъ изъ сопро-

тивленія мѣдной проволоки и сопротивленія манганиновой проволоки. Температурный коэффициентъ послѣдней, какъ извѣстно равняется нулю, а первый отъ $3,7 \cdot 10^{-3}$ до $4,45 \cdot 10^{-3}$, смотря по чистотѣ мѣди. Въ новыхъ конструкціяхъ манганиновое сопротивленіе преобладаетъ надъ мѣднымъ, и потому температурный коэффициентъ невеликъ, такъ по опредѣленію у нѣкоторыхъ гальванометровъ онъ $0,73 \cdot 10^{-3}$, $0,25 \cdot 10^{-3}$ и даже $0,16 \cdot 10^{-3}$; въ гальванометрахъ старой конструкціи возможенъ и даже коэффициентъ $3,7 \cdot 10^{-3}$.

Кромѣ того возможно, что длина мѣдныхъ проволокъ будетъ велика или сѣченіе ихъ недостаточно велико, такимъ образомъ внесется новое сопротивленіе, которое необходимо учесть.

Слѣдуетъ отмѣтить, что имѣется еще одно увеличеніе сопротивленія, которое не поддается никакому учету, но можетъ имѣть громадное значеніе на показаніе гальванометра—это сопротивленіе контакта. Слѣдуетъ внимательно слѣдить, чтобы и концы у проводовъ, и клеммы у гальванометра и у термоэлементовъ имѣли чистую металлическую поверхность, для чего необходимо, время отъ времени, очищать поверхность тонкой карборундовой или наждачной бумагой, такъ какъ, подъ вліяніемъ различныхъ газовъ, мѣдь покрывается разными окислами, которые проводятъ токи довольно плохо. Кромѣ того, необходимо слѣдить, чтобы концы проводовъ не брать пальцами, такъ какъ послѣдніе могутъ быть въ маслѣ и тогда опять сопротивленіе контакта можетъ быть очень велико.

При опредѣленіи измѣненія сопротивленія цѣпи слѣдуетъ имѣть въ виду, что разныя фирмы, различно градуируютъ гальванометры: однѣ, какъ напр. Hartmann u. Braun наносятъ дѣленія гальванометра на милливольты,

считая это напряженіе на клеммахъ гальванометра, и слѣдовательно при нанесеніи дѣленій на градусы Цельсія предполагается, что сопротивленіе термоэлемента и проводовъ, соединяющихъ его съ гальванометромъ, будетъ равно нулю. Другія фирмы, какъ напримѣръ Keiser und Schmidt указываютъ, какое сопротивленіе долженъ имѣть термоэлементъ, чтобы показанія гальванометра соответствовали истиннѣ.

Подсчитаемъ, какъ велика погрѣшность отъ измѣненія сопротивленія и какъ ввести соответствующую поправку.

Обозначимъ черезъ Ω_0 то сопротивленіе цѣпи, при которомъ былъ проградуированъ гальванометръ на милливольты, а черезъ $\Delta\Omega$ то измѣненіе сопротивленія, кото-

гое имѣло мѣсто при производствѣ наблюденія, такъ что въ послѣднемъ случаѣ было сопротивленіе

$$\Omega = \Omega_0 + \Delta\Omega_0 \quad [1].$$

Слѣдуетъ отмѣтить, что $\Delta\Omega_0$ можетъ быть какъ положительно, такъ и отрицательно.

Обозначимъ черезъ I_0 силу тока въ цѣпи въ случаѣ градуировки и черезъ I силу тока въ цѣпи въ случаѣ наблюденія.

Отмѣтимъ, что

$$I = I_0 - \Delta I \quad [2].$$

Пусть далѣе вольтажъ термоэлемента какъ въ первомъ, такъ и во второмъ случаѣ былъ одинаковъ и равнялся E .

Можемъ написать слѣдующія равенства:

$$E = I_0 \cdot \Omega_0 \quad [3]$$

$$E = I \cdot \Omega \quad [4].$$

Отклоненія стрѣлки гальванометра пропорціональны силѣ тока и при постоянномъ сопротивленіи будутъ пропорціональны вольтажу и слѣдовательно пропорціональны показаніямъ гальванометра по шкалѣ напряженія. Такъ какъ коэффициентъ пропорціональности ξ можно считать неизмѣннымъ, то, обозначивъ черезъ A_0 показаніе гальванометра при сопротивленіи Ω_0 и черезъ A показаніе — при сопротивленіи Ω , можемъ написать

$$A_0 = \xi I_0 \quad [5]$$

$$A = \xi I \quad [6].$$

Изъ равенствъ [3] и [4] можно написать

$$I_0 \Omega_0 = I \Omega \quad [7].$$

Въ послѣднее равенство можно подставить I и I_0 изъ равенствъ [5] и [6], тогда получимъ послѣ сокращенія

$$A \cdot \Omega = A_0 \Omega_0 \quad [8].$$

Пусть

$$A_0 = A + \Delta A \quad [9],$$

гдѣ, слѣдовательно, ΔA представляетъ собою поправку къ показанію гальванометра A , тогда можно написать, принимая во вниманіе равенства [1], [9]

$$A_0 = A \frac{\Omega}{\Omega_0} = A \frac{\Omega_0 + \Delta\Omega_0}{\Omega_0} = A + A \frac{\Delta\Omega_0}{\Omega_0} = A + \Delta A$$

откуда

$$\Delta A = A \frac{\Delta\Omega_0}{\Omega_0} \quad [10].$$

Если мы имѣемъ зависимость между показаніями гальванометра по шкалѣ напряженія и шкалѣ температуръ въ видѣ таблицы, то возможно по наблюденной температурѣ T вычислить показаніе A , затѣмъ можно опредѣлить по формулѣ [10] ΔA сложить его съ A , получимъ A_0 и по нему обратно вычислить T_0 . Сдѣлаемъ одинъ примѣръ.

Положимъ, имѣется такая зависимость для гальванометра.

Температура:	1000	1100	1200	1300	1400	1500	°C.
Напряженіе:	9,59	10,77	11,98	13,23	14,51	15,83	mV.

Гальванометръ показывалъ 1280°, но, такъ какъ онъ былъ нагрѣтъ, то сопротивленіе его увеличилось такъ,

$$\text{что } \frac{\Delta\Omega_0}{\Omega} = +0,023.$$

Опредѣляемъ сначала, какому напряженію A соответствуетъ показаніе гальванометра 1280°

1300°	13,23 mV
1200°	11,98 mV
100°	1,25 mV
80°	0,8 · 1,25 mV = 1,00 mV.
1200°	11,38 mV
1280°	12,98 mV = A.

Подсчитаемъ чему равняется ΔA .

$$\Delta A = A \cdot \frac{\Delta\Omega_0}{\Omega} = 12,98 \cdot 0,023 = 0,298 = 0,30 \text{ mV.}$$

$$\text{Слѣдовательно, } A_0 = A + \Delta A = 12,98 + 0,30 = 13,28 \text{ mV.}$$

А теперь подсчитаемъ, сколькимъ градусамъ соответствуетъ 13,28 mV.

1400° — 14,51 mV	13,28 mV
1300° — 13,23 mV	13,23 mV
100° — 1,28 mV	0,05 mV.

$$\text{Откуда } 100 : 1,28 = x : 0,05; \quad x = \frac{100 \cdot 0,05}{1,28} = 3,9 \approx 4 \text{ } ^\circ\text{C.}$$

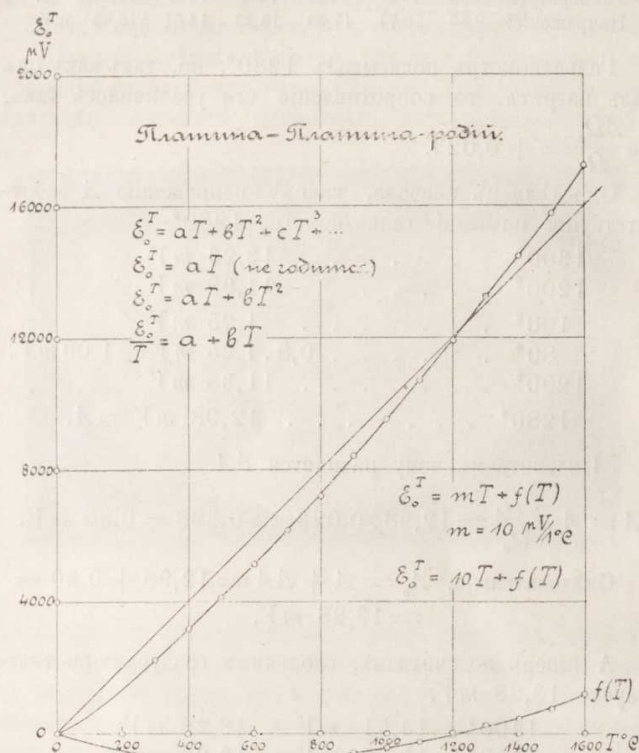
Слѣдовательно, наблюдаемая температура была $T^0 = 1300 + 4 = 1304^\circ$. Или, такъ какъ при такихъ высокихъ температурахъ точность наблюденія 5°C , то слѣдовательно, надо считать $T^0 = 1305^\circ$.

Этотъ способъ немного сложенъ и многодѣленъ, поэтому возникаетъ вопросъ, нельзя ли зависимость между температурой и вольтажемъ представить въ видѣ алгебраической функціи, настолько простой, чтобы поправку было удобно высчитать при помощи счетной линейки.

Оказывается, что хотя это и возможно, такъ какъ зависимость E_0^T отъ T выражается довольно хорошо при помощи квадратной формулы, но вычислять поправки при помощи этой формулы было бы ошибкой, такъ какъ по существу это сводится къ опредѣленію первой производной отъ полученной функціи и опредѣленія черезъ нее приращенія ΔT отъ приращенія ΔE . А, какъ извѣстно, при пользованіи приближенными формулами надо быть очень осторожнымъ и можно пользоваться производными только тогда, когда навѣрное извѣстно, что законъ сглаживанія соответствуетъ истинѣ. Здѣсь не мѣсто подробнѣе останавливаться на разсмотрѣніи этого вопроса, но авторъ надѣется вернуться къ этому вопросу въ спеціальной статьѣ.

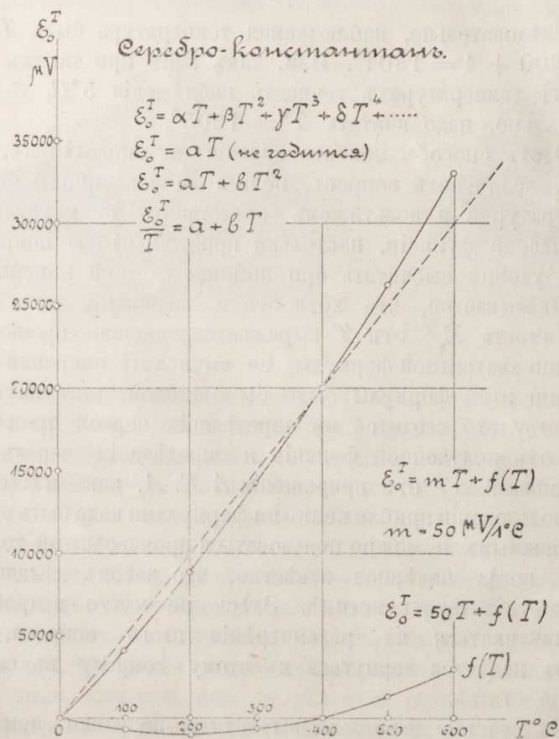
Къ счастью возможно вычислять поправки при помощи слѣдующаго графическаго способа.

На диаграммѣ зависимость вольтажа отъ температуры (диаграмма E_0^T, T фиг. 3 и 4) мы проведемъ черезъ



Фиг. 3.

начало координатъ прямую, которая бы пересѣкла кривую зависимости E_0^T отъ T , при чемъ угловой коэф-

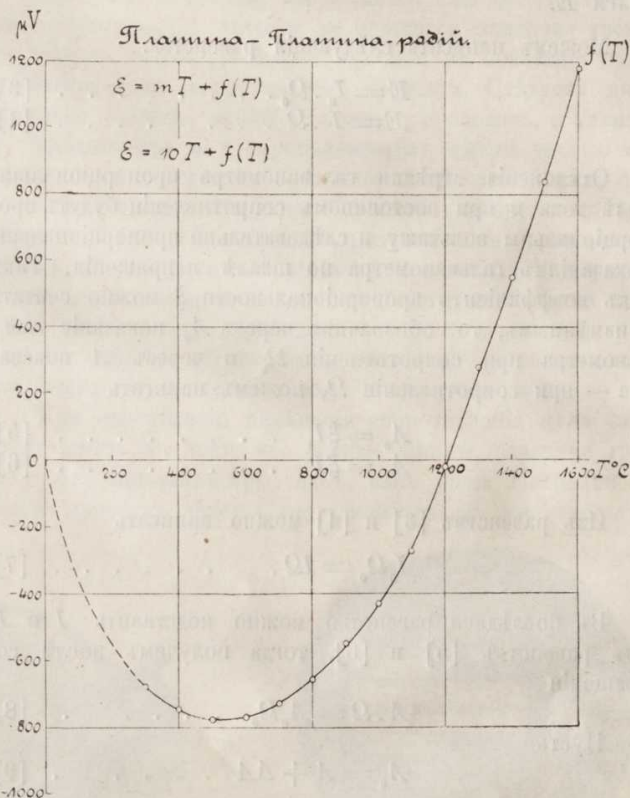


Фиг. 4

фициентъ удобнѣе взять для вычисленія выраженный какимъ-нибудь круглымъ числомъ, напр., для платины—платины-родія удобно взять $10 \text{ mV}/100^\circ\text{C}$, для серебра-константана $50 \text{ mV}/100^\circ\text{C}$. Если для каждой температуры опредѣлимъ разность значенія кривой E_0^T, T и проведенной прямой и построимъ кривую $f(T)$, то послѣдняя кривая будетъ характеризовать отступленія зависимости E_0^T, T отъ закона прямой и поэтому для краткости мы ее будемъ называть „характеристикой“, такимъ образомъ получается такое выраженіе

$$E_0^T = mT + f(T) \quad \dots \dots \dots [11].$$

Какъ видно на чертежахъ (фиг. 3 и 4), гдѣ характеристика вычерчена, послѣдняя очень немного удаляется



Фиг. 5.

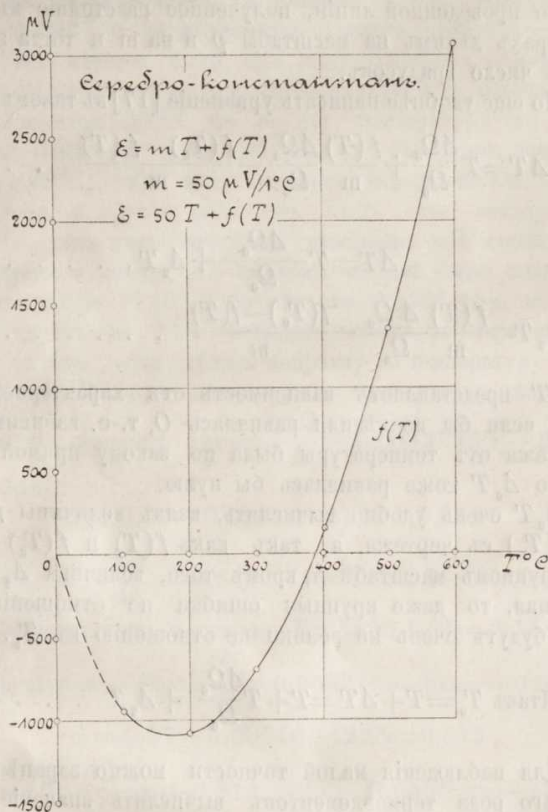
отъ оси абсциссъ, поэтому возможно перемѣнить масштабъ и получить характеристики для серебро-константана и платины—платины-родія, показанныя на чертежахъ (фиг. 5 и 6). Такъ какъ масштабъ можно взять очень крупный по сравнению съ первой диаграммой, то является возможность удобно вычерчивать индивидуальныя различія термоэлементовъ, что почти недоступно въ диаграммѣ E_0^T, T .

Разсмотримъ подробнѣе свойства характеристики. Положимъ, требуется опредѣлить E_0^T по заданному T . Удобнѣе вычислить mT и прибавить значеніе характеристики $f(T)$ для даннаго T ; но при рѣшеніи нѣкоторыхъ задачъ надо знать, какъ графически найти E_0^T (фиг. 7): строимъ уголъ OMN , тангенсъ котораго равенъ коэффиценту m , затѣмъ откладываемъ по оси абсциссъ значеніе T , возста-

новляемъ перпендикулярно до пересѣченія съ линіей $f(T)$ и черезъ полученную точку A проводимъ линію, параллельную линіи MN до пересѣченія съ осью абсциссъ въ точкѣ K , тогда изъ уравненія [11] ясно, что OK будетъ равно E_0^T , такъ какъ $OK = KB + BO$, а изъ подобія треугольниковъ KBA и PMN слѣдуетъ, что $KB = m \cdot AB = mT$ съ другой стороны $\Theta B = AC = f(T)$.

Обратно, пусть дано E_0^T и требуется найти T , удовлетворяющее уравненію [11]. Такъ какъ не всегда на чертежѣ возможно отложить величину E_0^T , то перенишемъ уравненіе [11] въ такой формѣ

$$f(T) = E_0^T - mT \dots \dots [12].$$



Фиг. 6.

Ясно, что значеніе T найдется пересѣченіемъ кривой $f(T)$ съ прямой, выраженной уравненіемъ $E_0^T - mT$.

Провести эту линію можно слѣдующимъ образомъ: приравняемъ выраженіе $E_0^T - mT$ нулю, т.-е. найдемъ при какомъ значеніи T равнымъ Θ , линія эта будетъ пересѣкать ось абсциссъ, т.-е. рѣшимъ уравненіе $E_0^T - m\Theta = 0$ относительно Θ получимъ

$$\Theta = \frac{E_0^T}{m} \dots \dots [13],$$

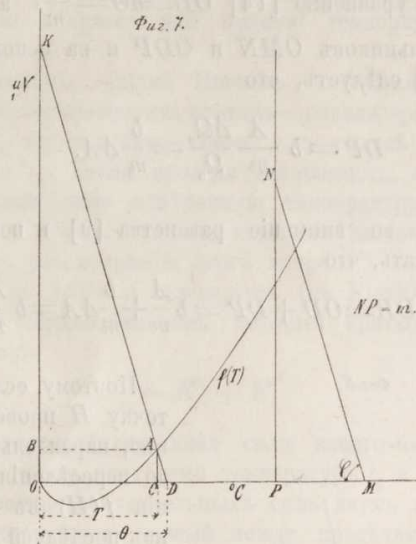
т.-е. Θ представляетъ собою температуру въ случаѣ идеальной термопары, когда $f(T) = 0$, а, зная значеніе Θ , откладываемъ его отъ начала координатъ и черезъ полученную точку D проводимъ прямую, параллельную MN до пересѣченія съ линіей $f(T)$ въ точкѣ A , изъ которой опускаемъ перпендикуляръ на ось абсциссъ и на-

ходимъ значеніе T , соответствующее заданному значенію E_0^T .

Замѣтимъ, что, если въ уравненіе [13] подставимъ значеніе E_0^T изъ равенства [11], то получимъ

$$\Theta = \frac{E_0^T}{m} = \frac{mT}{m} + \frac{f(T)}{m} = T + \frac{f(T)}{m} \dots \dots [14],$$

выраженіе необходимое для нѣкоторыхъ построений.



Фиг. 7.

Кромѣ того, каждому E_0^T соответствуетъ только одно Θ , такъ какъ $\Theta = \frac{E_0^T}{m}$, поэтому линія, проведенная черезъ точку D , значеніе которой Θ , будетъ представлять собою линію равныхъ напряженій.

Ознакомившись съ предложеннымъ методомъ изображенія характеристики, перейдемъ къ разсмотрѣнію выраженія поправокъ для разныхъ случаевъ.

Поправка на измѣненіе сопротивленія цѣпи.

Положимъ для нашего гальванометра справедливо

$$A = mT + f(T) \dots \dots [15].$$

извѣстно сопротивленіе Ω_0 , измѣненіе сопротивленія $\Delta \Omega_0$ и отчетъ T по шкалѣ температуры, требуется найти поправку ΔT или что то же отсчетъ T_0 , который былъ бы въ томъ случаѣ, если бы сопротивленіе гальванометра оставалось бы Ω_0 .

Задачу эту можно рѣшить нѣсколькими способами. Первый способъ графическій. Вычерчиваемъ $f(T)$ (фиг. 8), принявъ $b \text{ м/м} = 1^\circ\text{C}$ для оси абсциссъ и $p \text{ м/м} = 1$ микровольта для оси ординатъ. Далѣе принимаемъ $q \text{ м/м} = 1$ ому и откладываемъ $OM = q\Omega_0$. При точкѣ M строить уголъ φ , тангенсъ котораго равняется $\frac{p}{b}$ и на другой сторонѣ этого угла откладываемъ $MN = q \cdot \Delta \Omega$, че-

Термопара платина-платина-родій въ предѣлахъ 300—1300°
 $\alpha_c = 0,87 - 0,000046 T$ [24].

Температура серебро-константанъ въ предѣлахъ 100—500°
 $\alpha_c = 0,94 - 0,00034 T$ [25].

Чтобы иллюстрировать, какія могутъ быть разницы при употребленіи инструментовъ старой конструкціи и безъ принятія во вниманіе температурнаго коэффициента, разберемъ одинъ примѣръ. Положимъ, мы измѣряли при помощи гальванометра съ температурнымъ коэффициентомъ 0,0037 и термоэлемента платина - платина - родій, при чемъ клеммы были при нулѣ градусовъ. Гальванометръ имѣетъ градуировку, справедливую при температурѣ гальванометра 20°C., но въ эту температуру его было нельзя помѣстить и первый разъ онъ былъ при температурѣ +38°C., такъ какъ его пришлось помѣстить на самой печи, а другой разъ онъ былъ при температурѣ +5°C., такъ какъ онъ былъ помѣщенъ внѣ помѣщенія, занимаемаго печью. Въ первомъ случаѣ было показаніе гальванометра 1120°, а во второмъ 1235°, т.-е. во второмъ случаѣ на 115° больше, нежели въ первомъ, но такъ ли это, если сдѣлать поправку на температуру гальванометра. Введемъ поправку на температуру гальванометра. Въ первомъ случаѣ $\frac{\Delta Q_0}{Q_0} = 0,0037 (38 - 20) = 0,0666$.

$$\alpha_c = 0,87 - 0,00046 \cdot 1120 = 0,818$$

$$\Delta T = \alpha_c \cdot T \cdot \frac{\Delta Q_0}{Q_0} = 0,818 \cdot 1120 \cdot 0,0666 = 60,6 \approx 61^\circ$$

Слѣдовательно, истинная $T = 1120 + 61 = 1180^\circ$.

Во второмъ случаѣ $\frac{\Delta Q_0}{Q_0} = 0,0037 (5 - 20) = -0,0555$.

$$\alpha_c = 0,87 - 0,00046 \cdot 1235 = 0,813$$

$$\Delta T = \alpha_c \cdot T \cdot \frac{\Delta Q_0}{Q_0} = -0,813 \cdot 1235 \cdot 0,0555 = -55,5 \approx -56^\circ$$

Истинная температура $T_0 + \Delta T = 1235 - 56 = 1179^\circ \approx 1180^\circ$.

Итакъ, испытываемая температура была одна и та же, а разница въ 115° получилась исключительно за счетъ неумѣлаго пользованія приборомъ.

Поправка на температуру клеммъ.

У гальванометра дѣленія градусовъ наносятся такъ, что показанія правильны при условіи, что температура клеммъ, т.-е. мѣстъ соединенія проволокъ термоэлементовъ съ проводами гальванометра всегда мѣдными, должна быть 0°¹⁾.

¹⁾ Впрочемъ теперь появились гальванометры для термопаръ платина—платина-родій, гдѣ дѣленія нанесены при условіи, что температура клеммъ = 20°C.

Термоэлементы повѣряются, т.-е. находится зависимость между напряженіемъ и температурой „горячаго“ спая тоже при условіи, что температура клеммъ равняется нулю градусовъ. Въ дѣйствительности при пользованіи термоэлементами въ техникѣ это условіе очень рѣдко соблюдается, такъ какъ не всегда имѣется подъ руками ледъ, да и не всегда удобно бываетъ имъ пользоваться.

Въ виду этого обыкновенно наблюдаютъ температуру клеммъ и къ показаніямъ гальванометра прибавляютъ известную поправку или полную температуру клеммъ или часть ея.

Напримѣръ, фирма Hartman und Braun совѣтуетъ въ случаѣ термоэлемента платина—платина-родій—прибавлять $\frac{1}{2}$ температуры клеммъ, а въ случаѣ серебро-константанъ $\frac{2}{3}$. Такая простая зависимость, не принимая во вниманіе даже измѣряемую температуру, но и безъ указанія величины ошибки, невольно заставляетъ обратиться къ разсмотрѣнію этого вопроса¹⁾.

Еще въ 1863 г. Авенариусъ (въ Кіевѣ) вывелъ законъ для термоэлементовъ, который кратко можно выразить такъ:

$$E'_{t_1} = E^{t_1} + E'_{t_2} \quad [26],$$

т.-е. электровозбудительная сила какого-нибудь термоэлемента между предѣлами температуръ t_1 и t_2 равняется суммѣ электровозбудительныхъ силъ двухъ термоэлементовъ, находящихся: первый между предѣлами t_1 и t_2 , а второй между t_2 и t_3 .

Положимъ, что $t_1 = 0^\circ C$, $t_2 = t_k$, и $t_3 = T_0$ тогда имѣемъ

$$E_0^{T_0} = E_0^{t_k} + E_{t_k}^{T_0} \quad [27].$$

Въ томъ случаѣ, если t_k температура клеммъ, то гальванометромъ измѣряется только вольтажъ $E_{t_k}^{T_0}$, а такъ какъ дѣленія на гальванометрѣ нанесены, считая низшую температуру равной 0°C, то мы можемъ написать, что

$$E_{t_k}^{T_0} = E_0^{T_0} \quad [28],$$

гдѣ T представляетъ отчетъ по шкалѣ градусовъ. Слѣдовательно, вмѣсто истинной температуры T_0 мы получили отчетъ T нѣсколько меньшій и намъ надо найти, чему равняется разность

$$T_0 - T = \Delta T \quad [29],$$

которая и будетъ представлять поправку, вызванную тѣмъ, что температура клеммъ не 0°, а t_k .

Соединяя вмѣстѣ равенства [27] и [28], получимъ

$$E_0^{T_0} = T_0^{t_k} + E_0^{T_0} \quad [30].$$

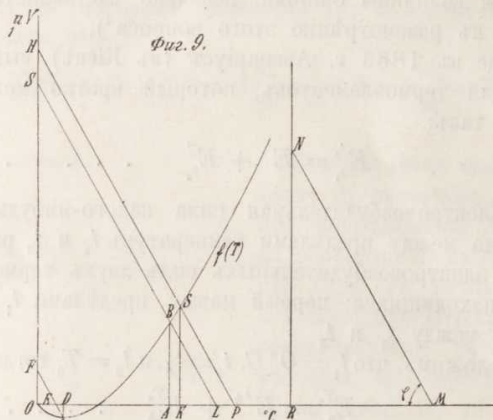
Слѣдовательно вопросъ сводится къ сложенію двухъ электродвижущихъ силъ на діаграммѣ характеристики. Обратимся къ чертежу (фиг. 9).

¹⁾ За послѣднее время Technisch—Physikalische Reichsanstalt для термопаръ серебро-константанъ даетъ таблицу поправокъ при условіи, что температура клеммъ между 0 и 20°C, что очень трудно достигнуть при работѣ въ котельной; для термопаръ и платина-платина-родій поправка дается въ видѣ $0,5(t_k - 20)$ въ томъ случаѣ, если дѣленія гальванометра на градусы нанесены при условіи—температура клеммъ = 20°C.

Пусть $OD=t_k$, $OA=T$, восстанавливаемъ изъ точекъ D и A перпендикуляры до пересѣченія съ линіей $f(T)$ въ точкѣ C и B , строимъ уголь φ , тангенсъ котораго равняется m , черезъ точки C и B проводимъ линіи параллельныя сторонѣ MN угла φ до пересѣченія съ осью ординатъ въ точкахъ F и G и съ осью абсциссъ въ точкахъ E и L . На основаніи предыдущаго можемъ написать, что $OF=E_0^{t_k}$ и $OG=E_0^T$.

Откладываемъ $GH=OF$, тогда получимъ $OH=OG+GH=OG+OF=E_0^T+E_0^{t_k}=E_0^{T_0}$.

Черезъ полученную точку H проводимъ линію, параллельную MN до пересѣченія съ линіей $f(T)$ въ точкѣ S и съ осью абсциссъ въ точкѣ P . Изъ точки S опускаемъ перпендикуляръ на ось абсциссъ до пересѣченія въ точкѣ K . На основаніи изложеннаго $OK=T_0$.



Фиг. 9.

Обратимъ вниманіе на то, что изъ подобія треугольниковъ слѣдуетъ, что $OE=LP$, т.-е. что

$$\Theta_0 = \Theta + \Theta_k \dots \dots \dots [31].$$

Это въ значительной мѣрѣ облегчаетъ построеніе, такъ какъ обычно пересѣченіе съ осью ординаты не происходитъ въ предѣлахъ чертежа.

Для вычисленій удобнѣе пользоваться другимъ способомъ вычисленія. Изъ уравненія [30] слѣдуетъ

$$E_0^{T_0} - E_0^T = E_0^{t_k} \dots \dots \dots [32],$$

или

$$mT_0 + f(T_0) - mT - f(T) = mt_k + f(t_k), \text{ откуда}$$

$$T_0 - T = \Delta T = t_k + \frac{f(t_k)}{m} - \frac{f(T_0) - f(T)}{m} \dots \dots [33].$$

Для наблюденій малой точности послѣднюю формулу можно написать такъ

$$\Delta_k T = \alpha_k t_k. [34]$$

$$\text{гдѣ } \alpha_k = 1 + \frac{f(t_k) - f(T_0) + f(T)}{mt_k} [35].$$

По вычисленію α_k при условіи t_k отъ 0 до 50° выражается слѣдующими приближенными уравненіями

Платина-платина-родій T отъ 200 до 600°

$$\alpha_k = 0,76 - 0,0003T \dots \dots [36].$$

Платина-платина-родій T отъ 600 до 1500°

$$\alpha_k = 0,64 - 0,0001T \dots \dots [37].$$

Серебро-константанъ T отъ 100 до 400°

$$\alpha_k = 0,87 - 0,0006T \dots \dots [38].$$

Серебро-константанъ T отъ 400 до 600°

$$\alpha_k = 0,77 - 0,00035T \dots \dots [39].$$

При наблюденіяхъ большой точности слѣдуетъ для данной температуры вычертить $f(T)$ и дѣлать поправки по формулѣ [33].

Поправка на дѣленія гальванометра.

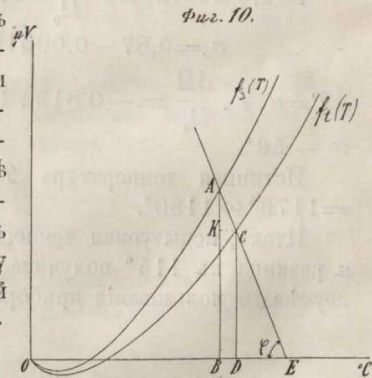
Дѣленія на градусы гальванометра наносятся въ соответствии съ термоэлектрической способностью определеннаго термоэлемента, но разные термопары изъ одинаковыхъ металловъ обладаютъ разными характеристиками, благодаря случайнымъ примѣсямъ, что наглядно видно, если просмотрѣть приводимыя ниже два свидѣтельства Technisch — Physikalische Reichsanstalt'a для двухъ платина-платина-родіевыхъ термопаръ.

	0°	300°	600°	900°	1200°	1500°
№ 2801	0,00	2,27	5,15	8,33	11,81	15,58 mV.
№ 7616	0,00	2,32	5,23	8,45	11,98	15,83 mV.

Такъ какъ обыкновенно отъ разныхъ случайностей термопара портится гораздо быстрѣе, нежели гальванометръ, то приходится послѣдній употреблять не съ той термопарой, по термоэлектрической способности которой на немъ были нанесены дѣленія на градусы; а въ такомъ случаѣ необходимо вносить поправку къ показаніямъ гальванометра, поправку на идентичность дѣленій гальванометра съ термоэлектрической характеристикой употребленной термопары.

Разсчитывать вывести какую-либо закономерность, выраженную въ видѣ математической формулы для термоэлектрической характеристики для термопары и для гальванометра отнюдь нельзя, поэтому придется воспользоваться графическимъ методомъ характеристики.

Наносимъ на одинъ чертежъ (фиг. 10) характеристику гальванометра $f_g(T)$ и характеристику термо-



Фиг. 10.

пары $f_i(T)$, откладываемъ OB , равное bT ; восстанавливаемъ перпендикуляръ, проводимъ его до пересѣченія съ характеристикой гальванометра въ точкѣ A . Черезъ послѣднюю точку проводимъ линію AE подъ угломъ φ къ оси абсциссъ, при чемъ $tg\varphi = m$. Эта линія пересѣкаетъ характеристику термопары въ точкѣ C . Опустимъ изъ нея перпендикуляръ на ось абсциссъ до пересѣченія въ точкѣ D . Какъ ранѣе мы отмѣтили, линія AE является линіей равнаго вольтажа. Слѣдовательно, OD будетъ равно T_0 . Но удобнѣе воспользоваться другимъ выраженіемъ для опредѣленія величины поправки ΔT .

такъ

$$A_0^T = E_0^{T_0} \dots \dots \dots [42],$$

то можно написать $mT + f_g(T) = mT_0 + f_i(T_0)$ откуда

$$T_0 - T = \Delta T = \frac{f_g(T) - f_i(T_0)}{m} \dots [43]$$

слѣдуетъ отмѣтить, что AC (фиг. 10) равняется

$$\overline{AC} = p \cdot \frac{f_g(T) - f_i(T_0)}{Cs\varphi}$$

$$\text{Слѣдовательно } \Delta T = T \cdot \frac{Sn\varphi}{p \cdot m} \cdot \overline{AC} \dots [44],$$

т.-е. равняется постоянному коэффициенту, помноженному на разстояніе $\overline{AC}$, что измѣрять гораздо скорѣе, нежели опредѣлять разность значеній $f_g(T)$ и $f_i(T_0)$.

Чтобы показать, какъ велики могутъ быть ошибки, вычерчена діаграмма (фиг. 11). Здѣсь нанесены характеристики: гальванометра № 114542 по свидѣтельству, (Technisch—Physikalische Reichsanstalt'a и двухъ термоэлементовъ (свидѣтельства № 2801 и 7616).

Внизу показаны поправки къ показаніямъ гальванометра при употребленіи того и другого термоэлемента, пунктиромъ показана поправка, вычисленная по приближенной формулѣ

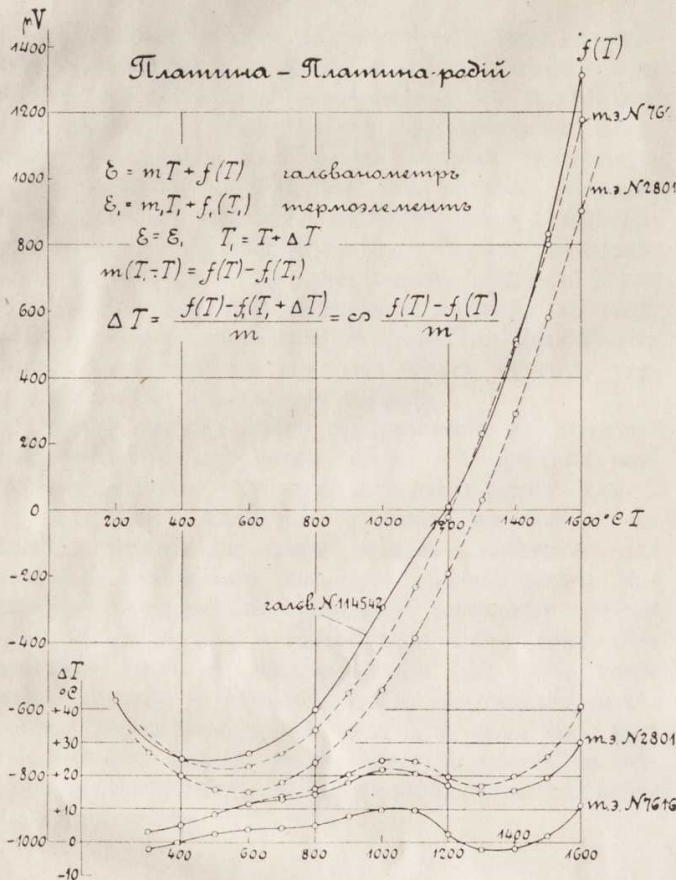
$$\Delta T = \infty \frac{f_g(T) - f_i(T)}{m} \dots [45] \text{ оказывается}$$

въ данномъ случаѣ еще можно было пользоваться, пока ΔT не превышаетъ 10° .

Какъ велика могла быть ошибка при измѣреніи, показываетъ слѣдующій примѣръ. Положимъ, мы поставили термоэлементъ № 7616 въ топку и гальванометръ показывалъ 1300° , другой термоэлементъ № 2801 мы поставили въ дымоходъ и онъ показывалъ 1100° , а въ дѣйствительности температуры были $1300 - 2 = 1298$ и $1100 + 21 = 1121$, такъ что вмѣсто 200° разница температуръ была $1298 - 1121 = 177^\circ$ или ошибка была въ 13% , а могли быть случаи, что и другія поправки не были введены и, слѣдовательно, ошибка могла и еще возрасти.

Порядокъ внесенія поправокъ долженъ быть слѣдующій: вначалѣ опредѣляется по характеристикѣ гальванометра поправка на измѣненіе сопротивленія гальванометра, затѣмъ дѣлаютъ поправку на неидентичность характеристикъ гальванометра и термопары и уже потомъ по характеристикѣ термопары вносятъ поправку на температуры клеммъ.

И. В. Арбатскій.



Фиг. 11.

Положимъ, что у гальванометра зависимость вольтажа отъ температуры выражается такимъ уравненіемъ:

$$A_0^T = mT + f_g(T) \dots [40],$$

$$\text{а термопары } E_0^{T_0} = mT_0 + f_i(T_0) \dots [41]$$

Способъ нанесенія дѣленія шкалы, неравномѣрной по длинѣ, но равномѣрной по объему.

Инж. Мех. И. В. Арбатскаго.

На практикѣ обычно не градуируютъ баковъ по способу неравномѣрной по длинѣ шкалы, а равномѣрной по объему, довольствуясь только тѣмъ, что наполняютъ бакъ жидкостью, взвѣсивши ее предварительно, отмѣчаютъ уровни до и послѣ налива и затѣмъ полученную длину размѣчаютъ, считая, что бакъ строго цилиндриченъ, и, такимъ образомъ, получаютъ шкалу равномѣрную по длинѣ. Въ дѣйствительности полной цилиндричности не бываетъ и по полученнымъ мѣткамъ нельзя судить ни о количествѣ имѣющейся жидкости въ бакѣ, ни о количествѣ вновь налитой жидкости. Какая ошибка можетъ быть даже при круглыхъ бакахъ, читатель увидитъ изъ ниже приведеннаго примѣра.

Между прочимъ такое градуированіе не представляетъ никакихъ затрудненій, почему я и предлагаю описаніе, какъ мною былъ проградуированъ одинъ бакъ.

Бакъ этотъ желѣзный, круглый, расположенъ въ землѣ и служитъ для слива нефтяныхъ остатковъ для отопленія Химическаго Института Императорскаго Московскаго Техническаго Училища. Нефтяные остатки принимались съ вѣсу и сливались въ этотъ бакъ. Необходимо было его проградуировать для того, чтобы имѣть контроль за вѣсами и чтобы ежедневнымъ измѣреніемъ опредѣлять расходъ топлива за день, такъ какъ въ котельной имѣлся лишь маленькій бачекъ на нѣсколько часовъ работы, которымъ измѣрять расходъ нефти было невозможно.

Измѣрять высоту уровня въ наружномъ бакѣ приходилось при помощи рейки или шеста, который опускался до дна, затѣмъ вынимался, и отсчетъ производился по границѣ сухой и смоченной мазутомъ части шеста.

Былъ приготовленъ новый шестъ. Когда насосъ, выкачивающій изъ бака мазуть, уже болѣе не бралъ, такъ какъ конецъ всасывающей трубы его обнажился, былъ опущенъ шестъ и первая отмѣтка нуль была нанесена по уровню мазута на шестѣ.

Затѣмъ, когда привезли мазуть, то бочки до слива и послѣ слива взвѣшивать было необходимо самому, такъ какъ возовые вѣсы были такого размѣра, что становились на платформѣ только дроги съ бочкой, а лошадь стояла уже помимо ея, поэтому необходимо было строго слѣдить, чтобы лошадь въ хомутѣ стояла совершенно свободно и чтобы шлея не была натянута, т.-е., чтобы лошадь не производила никакого давленія на дроги съ бочкой и тѣмъ не искажала показанія вѣсовъ.

Бочки одна за другой сливались въ бакъ и послѣ слива каждой бочки, когда уровень жидкости въ бакѣ переставалъ колебаться, опускался шестъ до дна и на уровень мазута на рейкѣ острымъ ножомъ по линейкѣ проводилась черта.

Такимъ образомъ получился рядъ вѣсовъ бочекъ, слитыхъ въ бакъ, и рядъ черточекъ, разстояніе которыхъ отъ нулевой черты измѣнялось съ точностью до 0,1 м/м., т.-е. строчки первая и третья таблицы I.

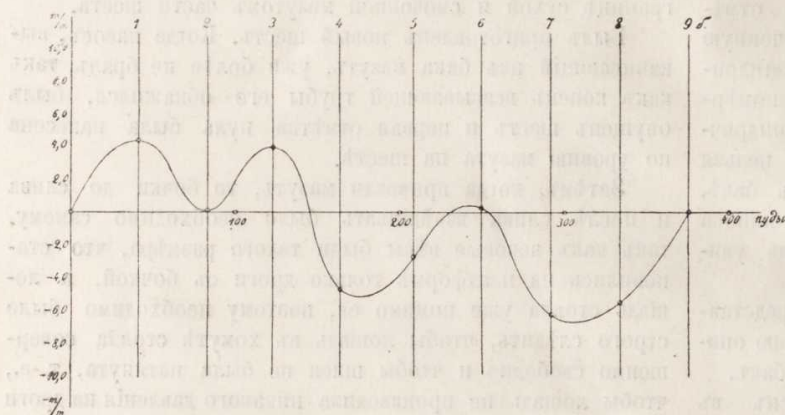
Т а б л и ц а 1.

№	Б О Ч Е К Ъ.	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Вѣсъ слитыхъ бочекъ въ пудахъ	41,75	42,0	39,25	41,0	44,5	41,5	42,0	42,0	41,5
2	Вѣсъ слитой жидкости въ бакъ въ пудахъ .	41,75	83,75	123,0	164,0	208,5	250,0	292,0	334,0	375,5
3	Высота стоянія слитой жидкости, т.-е. считая 0—отверстіе всасывающей трубы насоса въ м/м.	160,4	313,0	463,5	608,1	776,7	934,4	1084,8	1242,5	1403,0
4	Высота стоянія слитой жидкости при условіи полной цилиндричности бака въ м/м.	156,0	312,9	459,6	612,8	779,4	934,1	1091,0	1248,0	1403,0
5	Поправка на нецилиндричность бака въ м/м.	+4,4	+0,1	+3,9	-4,7	-2,7	+0,3	-6,2	-5,5	0

Если бы бакъ былъ вполне цилиндриченъ, то между цифрами второй и третьей строкъ была бы полная пропорциональность; т.-е. такъ какъ 375,5 пудамъ соответствуетъ 1403 м/м., слѣдовательно 1 пуду $\frac{1403}{375,5}$ м/м., то 41,75 пуда — $\frac{41,75 \cdot 1403}{375,5}$ м/м., что равно 156,0 м/м., а у насъ имѣлось 160,4 м/м., слѣдовательно поправка +4,4.

Такимъ же образомъ вычисляемъ другія значенія и получаемъ пятую строку — поправку.

Составимъ диаграмму, гдѣ на оси абсциссъ нанесемъ цифры второй строки таблицы, а по оси ординатъ пятой строки.



Полученный рядъ точекъ соединимъ плавной кривой. Можетъ показаться, что въ этомъ нанесеніи плавной кривой заключается большой произволъ, но это не такъ. Глазъ требуетъ плавности переходовъ и, если дать нѣсколькимъ человѣкамъ начертить кривую, то разницы между кривыми будутъ всего въ доляхъ м/м., т.-е. въ предѣлѣ точности наблюденій. Если кто хочетъ проверить себя, пусть начертитъ другую кривую, принявъ за основаніе не отношеніе $\frac{1403}{375,5}$ послѣдняго столбца таблицы I, послѣ налива девятой бочки, а скажемъ восьмой, седьмой или любой изъ остальныхъ, и произведетъ всѣ тѣ же построения и вычисления и увидитъ, что конечные результаты будутъ очень немного отличаться другъ отъ друга.

Имѣя кривую поправки, можемъ уже вычислить шкалу, для чего сперва вычислимъ, на какомъ растояніи отъ нулевой линіи должны бы быть нанесены дѣленія, если бы бакъ былъ цилиндриченъ, другими словами шкала была бы равномерная, а затѣмъ внесемъ поправки и получимъ дѣйствительную шкалу неравномерную по длинѣ.

При помощи пятизначныхъ логарифмовъ получаемъ, что одинъ пудъ при равномерной шкалѣ равняется $\frac{1403}{375,5} =$

$= 3,7364$ м/м. Слѣдовательно, 10 пудовъ $= 37,364$ м/м. $= \sim 37,4$ м/м. Далѣе намъ необходимо знать, чему будутъ соответствовать 20, 30, 40 и т. д. вплоть до 370 пудовъ. Это удобнѣе всего получить, кладя на счеты по 37,364 и записывая каждый разъ съ точностью до 0,1 м/м. На каждой сотнѣ будемъ имѣть повѣрку, сравнивая со значеніемъ соответственнаго десятка.

Затѣмъ съ кривой поправки беремъ соответствующія поправки, вносимъ ихъ въ соответствующія значенія и полученные цифры уже даютъ возможность нанести неравномерную шкалу, при чемъ въ окончательномъ результатѣ можно и округлить цифры, такъ какъ черта на шестѣ все равно будетъ достаточно широкая.

Чтобы яснѣе было, привожу вычисления дѣленій въ промежуткѣ отъ 100 до 200 пудовъ (таблица II).

Можетъ показаться, что поправки не велики и что не стоило вносить ихъ и можно было удовольствоваться равномернымъ масштабомъ. Попробуемъ, такъ ли это. Положимъ, было въ бакѣ жидкости 630 м/м., что по таблицѣ соответствуетъ 170 пудамъ. За день было израсходовано на отопленіе зданія 40 пудовъ, такъ что уровень сталъ стоять на уровнѣ 489 м/м., т.-е. опустился на 141 м/м. Такъ какъ мы видѣли ранѣе, что по равномерному масштабу 1 пудъ соответствовалъ 3,74 м/м., слѣдовательно, если считать по равномерному масштабу получимъ $\frac{141}{3,736} = 37,8$ пуда, т.-е. ошибка на 2,2 пуда, т.-е. $5\frac{1}{2}\%$, что уже затрудняетъ контроль расхода топлива, и это получится при бакѣ, который, казалось, можно считать вполне цилиндричнымъ.

Таблица II.

100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	Пуд.
373,6	411,0	448,4	485,7	523,1	560,5	597,8	635,2	672,6	709,9	747,3	м/м
+1,8	3,3	3,9	3,7	2,1	-1,8	-4,2	-5,0	-5,1	-4,7	-3,8	м/м
375,4	414,3	452,3	489,4	525,2	558,7	593,6	630,2	667,5	705,2	743,5	м/м
375	414	452	489	525	559	594	630	668	705	744	м/м

Когда указаннымъ способомъ былъ проградуированъ бакъ, то при приѣмкѣ нефти точность отчета по баку была нѣсколько не меньше точности взвѣшивания на вѣсахъ, что проверялось въ теченіе двухъ отопительныхъ періодовъ.

Указанный способъ нанесенія дѣленій неравномерной шкалы можетъ быть примѣненъ при всѣхъ случаяхъ градуировки.

И. Арбатскій.

Какъ перейти отъ коэффициента использованія тепла котломъ къ коэффициенту его полезнаго дѣйствія.

В. И. Арбатскій.

Предположимъ, что намъ даны результаты испытанія двухъ котловъ, работающих безъ экономайзера, при различныхъ давленіяхъ, на разныхъ топливахъ и при различныхъ условіяхъ сгорания и предложень вопросъ, который изъ этихъ котловъ работаетъ лучше, процессъ работы котораго котла болѣе приближается къ идеалу,

т.-е. который котелъ имѣетъ высшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія, зависящій отъ цѣлесообразности устройства топокъ, дымоходовъ, дымовыхъ трубъ, чистоты котла и т. д., т.-е. который изъ двухъ котловъ, взятыхъ какъ одно нераздѣльное съ топочнымъ устройствомъ и дымоходами, работаетъ процессомъ, ближе стоящимъ къ идеалу.

Всѣ необходимыя данныя для рѣшенія этого вопроса даны въ таблицѣ I.

Таблица I.

		I.	II.
		Установка.	Установка.
Топливо.		Дерево.	Каменный уголь.
Элементарн. составъ	Углеродъ %	36,8	85,5
	Водородъ %	4,6	4,5
	Кислородъ %	33,1	2,0
	Вода %	25,3	5,0.
Полезная теплотворная способность		3080	7930.
Давленіе пара въ котлѣ въ kg/cm^2 по маном.		15,0	0,4.
T^0 отходящихъ газовъ		273	236
t^0 входящаго воздуха		5	38
Полнота сгорания		полное	полное.
Содержаніе CO_2 въ отходящихъ газахъ . .		15,0	11,6.
Истинная испарительность, считая на нормальный паръ (637 Cal.)		3,75	9,75

По испарительности нельзя судить о коэффициентѣ полезнаго дѣйствія, поэтому обычно судятъ о немъ по тепловому балансу; составимъ его предварительно въ калоріяхъ, отнеся все къ 1 kg топлива. Тепло, использованное котлами (Q_1), получится отъ перемноженія 637 Cal. на истинную испарительность. Потерю отходящими газами (Q_2) вычислимъ по извѣстной формулѣ

$$Q_2 = \left(\frac{C}{0,536 CO_2} \cdot 0,32 + \frac{9H + W}{100} 0,48 \right) (T - t_s).$$

Остаточный членъ получится отъ вычитанія изъ Q_0 суммъ Q_1 и Q_2 .

Таблица II.

		Cal.	Cal.
Q_0	Внесено тепла 1 kg. топлива	3080	7930
Q_1	Использовано котломъ	2380	6200
Q_2	Теряется отходящими газами	480	920
q	Остаточный членъ	220	810

Теперь пересчитаемъ его въ процентахъ:			
		%	%
Q_0	Внесено тепла 1 kg. топлива	100	100
Q_1	Использовано котломъ	77,3	78,2
Q_2	Теряется отходящими газами	15,5	11,6
q	Остаточный членъ	7,2	10,2

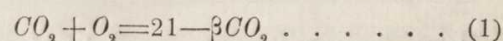
Мы видимъ, что въ первомъ случаѣ утилизируется 77,3%, а во второмъ 78,2% отъ внесеннаго тепла, но это еще не значитъ, что коэффициентъ полезнаго дѣйствія во второмъ случаѣ больше.

Обычно смѣшиваютъ два понятія: 1) коэффициентъ использованія тепла котломъ и 2) коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла. Постараемся ихъ опредѣлить.

Коэффициентомъ использованія тепла котломъ называется отношеніе использованнаго тепла ко внесенному теплу въ видѣ топлива, считая по полезной теплотворной способности т.-е. считая воду въ видѣ пара при 20^0 ¹⁾.

Коэффициентомъ полезнаго дѣйствія котла называется отношеніе использованнаго тепла къ тому теплу, которое могло быть использовано въ идеальномъ процессѣ котла, т.-е., если бы было полное сгораніе, происходящее при теоретическомъ количествѣ воздуха, если бы продукты сгорания были охлаждены до температуры воды въ котлѣ и, кромѣ необходимой потери тепла съ отходящими газами, никакихъ другихъ потерь не было бы. Другими словами, въ идеальномъ процессѣ работы котла коэффициентъ полезнаго дѣйствія равенъ единицѣ, а коэффициентъ использованія тепла достигаетъ своей максимальной величины η_i , при чемъ η_i всегда меньше единицы.

Дѣйствительно всѣ потери черезъ лучеиспусканіе, теплопередачу, неполнотой сгорания, остатками, шлаками и т. д. должны исчезнуть; въ этомъ случаѣ избытокъ воздуха долженъ равняться 1, но въ дымовые газы все-таки будутъ существовать, и охладиться ниже температуры воды въ котлѣ они ни въ какомъ случаѣ не могутъ. Отсюда ясно, что, если мы при такихъ условіяхъ сжигаемъ 1 kg. топлива, полезную теплотворную способность котораго обозначимъ черезъ Q_0 , то мы не можемъ утилизировать всю теплоту Q_0 , а только нѣкоторую часть $\eta_i \cdot Q_0$, гдѣ η_i будетъ коэффициентъ использованія тепла даннымъ котломъ при идеальномъ процессѣ работы котла. Выяснимъ, отъ какихъ причинъ зависитъ η_i . Мы указали, что сгораніе должно быть полное. Какъ извѣстно при полномъ сгораніи имѣетъ мѣсто уравненіе



гдѣ CO_2 — процентное содержаніе по объему угольной кислоты въ сухихъ топочныхъ газахъ; O_2 — % содержаніе по объему кислорода въ сухихъ топочныхъ газахъ, а β — коэффициентъ, зависящій отъ состава топлива, такъ

$$\beta = 0,79 \frac{3}{8} \frac{8H - O}{C} \dots \dots \dots (2)$$

гдѣ C , H и O — процентное содержаніе по вѣсу углерода, водорода и кислорода въ топливѣ.

Въ идеальномъ случаѣ избытокъ воздуха долженъ равняться O , — слѣдовательно, въ топочныхъ газахъ кислорода совершенно не будетъ. Содержаніе CO_2 бу-

¹⁾ Въ виду того, что, пока нѣтъ способа утилизировать теплоту, освобождающуюся при конденсаціи паровъ воды, находящихся въ топочныхъ газахъ, принято въ подсчетахъ пользоваться не калориметрической, а полезной теплотворной способностью. Но болѣе правильно было бы принимать калориметрическую теплотворную способность, такъ какъ весьма вѣроятно, что со временемъ появятся способы утилизировать теплоту конденсаціи воды изъ топочныхъ газовъ, да и какъ поступать въ подсчетахъ, если при работѣ экономейзера утилизируется часть теплоты конденсаціи воды?

деть максимальное и уравнение (1) обратится въ слѣдующее: $(CO_2)_{max} = 21 - \beta (CO_2)_{max}$, откуда получаемъ

$$(CO_2)_{max} = \frac{21}{1+\beta} = \frac{21 \cdot C}{C + 0,79 \frac{3}{8} (8H - O)} = \frac{21 \cdot C}{C + 2,37 \cdot H - 0,297 \cdot O} \dots (3)$$

Топочные газы, какъ мы указали, покидаютъ поверхность котла при температурѣ котла (t_k).

Обозначивъ Q_a — неизбежную потерю отходящими газами въ случаѣ идеальнаго процесса работы котла и t_s — температуру входящаго въ топку воздуха, имѣемъ

$$Q_a = \left[\frac{C^0}{0,536 (CO_2)_{max}} \cdot 0,32 + \frac{9H + W}{100} \cdot 0,48 \right] \cdot [t_k - t_b] \dots (4)$$

Такъ какъ эта потеря при идеальномъ процессѣ работы парового котла является единственной, то мы можемъ написать

$$\eta_i = \frac{Q_0 - Q_a}{Q_0} = 1 - \frac{Q_a}{Q_0} = 1 - \frac{\left[\frac{C^0}{0,536 (CO_2)_{max}} \cdot 0,32 + \frac{9H + W}{100} \cdot 0,48 \right] [t_k - t_b]}{Q_0} \dots (5)$$

Въ послѣднемъ выраженіи замѣнимъ $(CO_2)_{max}$ по уравненію (3), а полезную теплотворную способность Q по формулѣ Менделѣева:

$$Q_0 = 81 \cdot C + 300 \cdot H - 26 \cdot O - 6 (9H + W) = 81C + 246H - 26 \cdot O - 6W \dots (6)$$

получимъ

$$\eta_i = 1 - \frac{0,32 \cdot (C + 2,37 \cdot H - 0,297 \cdot O) + \frac{9H + W}{100} \cdot 0,48}{81 \cdot C + 246 \cdot H - 26 \cdot O - 6 \cdot W} \cdot (t_k - t_b) = 1 - \frac{(t_k - t_b)}{100} \cdot \frac{2,84 C + 11,06 H - 0,84 \cdot O + 0,48 W}{81 \cdot C + 246 \cdot H - 26 \cdot O - 6 \cdot W} \dots (7)$$

Мы видимъ, что коэффициентъ использованія идеальнаго процесса η_i зависитъ:

1) Отъ температуры котла (t_k), другими словами, отъ давленія въ котлѣ, и чѣмъ больше давленіе, тѣмъ меньше η_i .

2) Отъ температуры поступающаго воздуха (t_b): чѣмъ больше t_b , тѣмъ выше η_i .

3) Отъ состава топлива зависимость эта довольно сложная, но ближайшее разсмотрѣніе формулы приводитъ къ выводу, что, чѣмъ больше въ составѣ топлива углерода и водорода, тѣмъ выше коэффициентъ η_i ; обратно, съ увеличеніемъ въ составѣ топлива кислорода и воды уменьшается η_i .

Можно формулу (7) написать въ такомъ видѣ:

$$\eta_i = 1 - \frac{t_k - t_b}{100} \cdot \frac{2,84 C + 11,06 H - 0,84 \cdot O + 0,48 \cdot W}{Q_0} \dots (7')$$

если имѣется полезная теплотворная способность, то не для чего пользоваться формулой (7).

Коэффициентомъ полезнаго дѣйствія котла (η_k) мы условились называть отношеніе тепла, использованнаго къ тому теплу, которое могло быть использовано при идеальномъ процессѣ котла, т.е.

$$\eta_k = \frac{Q_1}{\eta_i Q_0} \dots (8)$$

Назовемъ коэффициентомъ использованія тепла η отношеніе использованнаго тепла къ внесенному, т.е.

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_0} \dots (9)$$

тогда изъ уравненія (8) и (9) получаемъ

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_i \dots (10)$$

Слѣдовательно, зная η и подсчитавъ для даннаго случая η_i , мы можемъ получить η_k , которое будетъ собою характеризовать степень приближенія работы топки и котла къ идеалу.

Заручившись этими свѣдѣніями, опредѣлимъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія для тѣхъ двухъ случаевъ, которые были приведены въ началѣ статьи, для чего предварительно опредѣлимъ η_i для обоихъ случаевъ по формулѣ (7').

I случай. Дрова, t_k равняется 204° .

$$\eta_i = \frac{t_k - t_b}{100} \cdot \frac{2,84 C + 11,06 H - 0,84 O + 0,48 W}{Q_0} = 1 - \frac{204 - 5}{100} \cdot \frac{2,84 \cdot 36,8 + 11,06 \cdot 4,6 - 0,84 \cdot 33,1 + 0,48 \cdot 25,3}{3080} = 1 - \frac{199}{100} \cdot \frac{139}{3080} = 1 - 0,090 = 0,910.$$

Для II случая. Каменный уголь, $t_k = 109^\circ$.

$$\eta_i = 1 - \frac{109 - 33}{100} \cdot \frac{2,84 \cdot 85,5 + 11,06 \cdot 4,5 - 0,84 \cdot 2,0 + 0,48 \cdot 5}{7930} = 1 - \frac{70}{100} \cdot \frac{293}{7930} = 1 - 0,026 = 0,974.$$

Теперь на основаніи равенства (10) опредѣлимъ η_k для обоихъ случаевъ.

Первый случай:

$$\eta_k = \frac{\eta}{\eta_i} = \frac{0,773}{0,910} = 0,849.$$

Для второго случая:

$$\eta_k = \frac{\eta}{\eta_i} = \frac{0,782}{0,974} = 0,803.$$

Итакъ, мы пришли къ обратному выводу, что въ первомъ случаѣ коэффициентъ полезнаго дѣйствія больше, что въ первомъ случаѣ, несмотря на то, что тепла утилизируется меньше, процессъ использованія тепла ближе къ идеалу, нежели во второмъ.

И. В. Арбатскій.