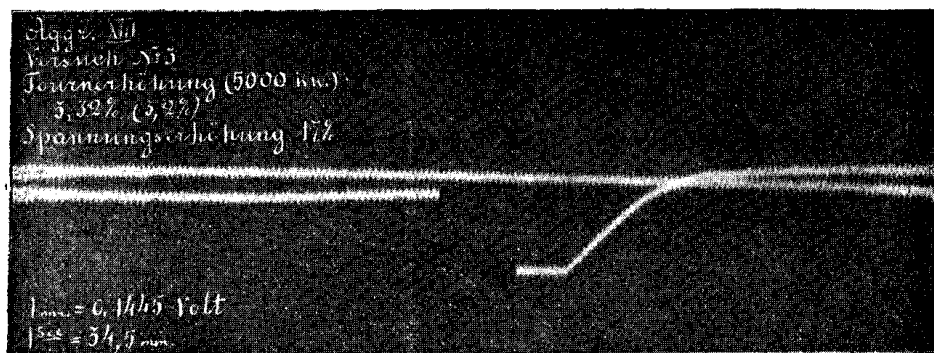


Измѣненіе нагрузки съ полной до 0 даетъ увеличеніе числа оборотовъ на 3%, но безъ всякаго броска; новое число оборотовъ устанавливается черезъ 1½ сек.. Мгновенное включеніе полной нагрузки даетъ бросокъ въ 4%, и послѣ небольшого перерегулированія новая скорость устанавливается черезъ 5 сек..

Наконецъ, на черт. 55—56 представлены тахограммы новѣйшей турбидинамо завода Зульцеръ въ 2000 кв. съ новымъ гидравлическимъ регулированіемъ <sup>12)</sup>; нормальное число оборотовъ турбины 1500. Какъ видимъ, при мгновенномъ уменьшеніи нагрузки съ ¾ до 1/10 и обратно наибольшій бросокъ въ 4,5%; перерегулированіе наблюдается самое незначительное; измѣненіе установившагося числа оборотовъ составляетъ 2,5%; послѣднее наступаетъ черезъ 4½ сек. при нагрузкѣ и черезъ 6¼ сек. при разгрузкѣ. Разность числа оборотовъ при полной нагрузкѣ и холостомъ ходѣ около 3,5%.

Въ заключеніе приведемъ совершенно особенную тахограмму, черт. 57, снятую съ турбогенератора В. К. Э. въ 5000 кв. въ 1913 г. <sup>13)</sup>. Тахограмма эта получена при помощи осциллографа Сименсъ и Гальске, и представляетъ изъ себя собственно свѣтописную запись напряженія возбуждательной машины генератора, получавшаго возбужденіе отъ источника постоянного напряженія—отъ аккумуляторной батареи, такъ же, какъ и возбуждательная машина.



Черт. 57.

Въ такомъ случаѣ напряженіе машины мѣняется прямо пропорціонально угловой скорости вращенія.

Какъ указано на діаграммѣ, при уменьшеніи нагрузки отъ 5000 кв. до 0 число оборотовъ возрастаетъ всего на 3,32%, и немного погодя

<sup>12)</sup> Z. V. d. I. 1911, S. 1811.

<sup>13)</sup> Приведенная діаграмма снята инженеръ-технологомъ В. В. Кочуковымъ, любезности котораго авторъ обязанъ, какъ самой діаграммой, такъ и сообщеніемъ свѣдѣній о способѣ ея полученія. Въ Вѣстн. О—ва Технологовъ, 1913, стр. 308 есть указаніе, что этимъ же способомъ пользовался инженеръ-электрикъ А. А. Чернышевъ. Къ сожалѣнію, общаго подробнаго доклада послѣдняго пока еще не появилось.

устанавливается на  $+3,2\%$ . Мелкіе зубцы—вліяніе конечнаго числа катушекъ обмотки машины—не зависятъ отъ равномерности вращенія.

Указанный способъ заслуживаетъ безусловнаго вниманія; къ сожалѣнію, осциллографъ является слишкомъ дорогимъ и сложнымъ приборомъ, къ тому же черезчуръ чувствительнымъ для перевозки.

## ГЛАВА II.

### Измѣреніе работы.

**7. Работа турбинъ и ея измѣреніе.**—Въ отличіе отъ поршневыхъ машинъ, относительно паровыхъ турбинъ обыкновенно говорятъ только о полезной или дѣйствительной (эффективной) работѣ.

Хотя въ теоріи паровыхъ турбинъ и говорится объ индикаторной работѣ турбины, т. е. о работѣ, совершаемой паромъ бозъ вычета механическихъ потерь, какъ-то: вентиляціонныхъ сопротивленій вращенію колесъ или барабана турбины, тренія въ подшипникахъ, работы вспомогательныхъ приборовъ, какъ масляные насосы и др., но въ виду затруднительности измѣренія этихъ потерь, а отчасти и въ виду того, что на практикѣ гораздо важнѣе знать дѣйствительно располагаемую мощность турбины, индикаторная работа при испытаніяхъ обычно не опредѣляется.

Наоборотъ, очень часто въ случаяхъ, когда турбина соединена съ динамо-машиной, интересуются не работой самой турбины, а работой всего агрегата и даже измѣряютъ иногда мощность его въ электр. лощ. сил., т. е. въ кв., раздѣленныхъ на 0,736.

Впрочемъ это нѣсколько сбивчивое наименованіе теперь уже почти не употребляется. Если рѣчь идетъ о самой турбинѣ, то измѣряютъ ея мощность въ д. л. с., если обо всемъ агрегатѣ—то въ кв.. Правда, въ настоящее время появилось серьезное предложеніе замѣнить принятую до сихъ поръ единицу работы 1 л. с. = 75 кгр. м./сек. киловаттомъ = 102 кгр. м./сек., назвавъ его хотя бы на первое время, „большой лошадиной силой“<sup>13)</sup>.

Однако, пока это предложеніе еще не принято повсемѣстно, лучше придерживаться прежней единицы работы—1 л. с..

Въ виду того, что паровыя турбины, соединенныя въ одинъ агрегатъ съ динамо-машиной, являются наиболѣе распространенной установкой, измѣреніе работы въ кв. въ этомъ случаѣ имѣетъ свое основаніе, но для конструктора турбинъ все же является интереснымъ расчленивать работу, выдѣливъ потерю въ динамо-машинѣ въ видѣ ея отдачи, а также учитывая работу, расходуемую на холодильникъ, т. е. расходъ

<sup>13)</sup> Z. V. d. I. 1911, S. 1504; 1912, S. 1483.

энергіи на воздушный насосъ, если онъ есть, на насосы для охлаждающей воды и для удаленія конденсата.

Такимъ образомъ, выражая работу въ квл., слѣдуетъ пояснить, что въ нее входитъ: только дѣйствительная, т. е. полезная энергія, которую можно отдать въ свѣтъ, или также и работа, расходуемая на холодильники. Переходя къ самой турбинѣ, надо къ послѣдней величинѣ работы, относящейся къ агрегату, добавить еще потери въ динамо-машинѣ, т. е. раздѣлить на ея отдачу.

При непосредственномъ измѣреніи мощности турбины при помощи тормазовъ или динамометровъ предыдущіе вопросы отпадаютъ.

Наконецъ, слѣдуетъ еще упомянуть о примѣнявшемся иногда способѣ вычислять, ради лучшей сравнимости расхода пара турбинъ съ таковымъ же поршневыхъ машинъ, расходъ пара на 1 инд. л. с. Въ этомъ случаѣ просто умножали расходъ пара на 1 д.л.с./час. на 0,90 до 0,93<sup>14)</sup>, т. е. какъ бы считали по аналогіи съ поршневыми машинами механическую отдачу турбины  $\eta_m = 0,90$  соотв. 0,93. Приемъ этотъ, конечно, неправильный и рекомендованъ быть не можетъ, хотя бы уже по одному тому, что у современныхъ турбинъ  $\eta_m$  доходитъ до 0,97 и даже до 0,985. Равнымъ образомъ нецѣлесообразно опредѣленіе индикаторной мощности турбины въ видѣ  $N_i = N_e + N_r$ <sup>15)</sup>, гдѣ  $N_r$  работа холостого хода, такъ какъ величина  $N_r$  далеко не постоянна и мѣняется съ нагрузкой и съ условіями работы турбины; нельзя связывать результаты испытанія турбины съ случайными, не зависящими отъ нея обстоятельствами. Для сравнимости надо, наоборотъ, выражать работу поршневыхъ паровыхъ машинъ въ д.л.с. вмѣсто инд.л.с.. И дѣйствительно, за послѣднее время, можетъ быть, отчасти подъ вліяніемъ увеличивающагося распространенія паровыхъ турбинъ и машинъ внутренняго горѣнія, все болѣе прививается обозначеніе мощности и поршневыхъ паровыхъ машинъ тоже въ д. л. с., вмѣсто обычнаго ранѣе обозначенія въ инд.л.с.

Что касается способовъ измѣренія работы турбинъ, то, какъ уже намѣчается изъ предыдущаго, они распадаются на двѣ группы, существенно отличающіяся другъ отъ друга: если турбина соединена съ динамомашинной, то работа ея опредѣляется при помощи электрическихъ измѣреній—силы и напряженія тока, во всѣхъ остальныхъ случаяхъ работа измѣряется или при помощи тормазовъ, съ уничтоженіемъ работы, какъ напр., у небольшихъ турбинъ, или при помощи динамометровъ, безъ ея уничтоженія, какъ напр., у большихъ судовыхъ турбинъ.

**8. Измѣреніе и поглощеніе электрической энергіи.**—При измѣреніи электрической энергіи надо различать 2 случая: постоянный токъ и переменный.

<sup>14)</sup> См. напр. J o s s e, Neuere Wärmekraftmaschinen, Berlin 1905, S. 27 u. 77; M o y e r, Power plant testing, New-York, 1911, p. 286; Z. Turb. 1906, S. 221 и др.

<sup>15)</sup> Z. Turb. 1905, S. 214.

Въ первомъ случаѣ достаточно измѣрять лишь силу тока  $i$  въ амперахъ и напряженіе его  $e$  въ вольтахъ. Произведеніе ихъ,  $i \cdot e$ , раздѣленное на 1000, даетъ развитую работу въ квл.. Въ виду паденія напряженія при прохожденіи тока по проводамъ не безразлично, гдѣ его измѣрять; правильнѣе измѣрять напряженіе у самыхъ зажимовъ динамомашины, хотя часто паденіе напряженія до распредѣлительной доски настолько мало, что имъ можно пренебречь.

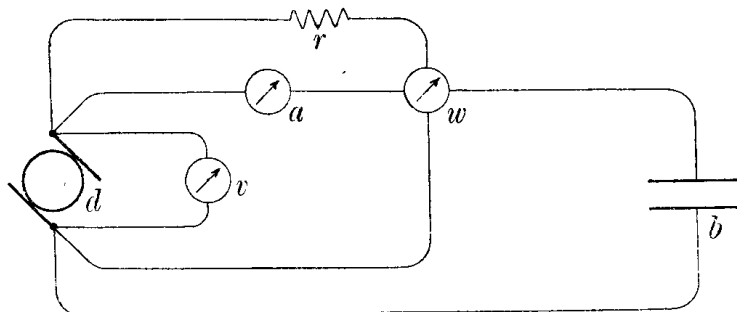
Отчеты по вольтметру и амперметру дѣлаются одновременно черезъ каждыя 5 мин., а иногда при очень постоянной нагрузкѣ и черезъ 10 мин..

Въ случаѣ постоянной нагрузки среднюю величину ея можно для простоты вычислить въ видѣ произведенія изъ среднихъ арифметическихъ величинъ соотв. отчетовъ.

При колеблющейся нагрузкѣ правильнѣе находить среднюю величину ея какъ среднее арифметическое изъ произведеній соотв. отдѣльныхъ отчетовъ; хотя надо замѣтить, ошибка отъ упрощеннаго вычисленія по первому способу невелика, рѣдко превосходитъ 1%.

Въ случаѣ переменнаго тока произведеніе  $i \cdot e$  надо помножить на  $\cos \varphi$ , гдѣ  $\varphi$  уголъ сдвига фазъ. Точное опредѣленіе его сопряжено съ трудностями, и потому предпочитаютъ энергію, развиваемую машинамъ переменнаго тока, измѣрять при помощи особыхъ приборовъ—ваттметровъ, которые даютъ прямо нагрузку въ квл.. Отчеты по ваттметру дѣлаются тоже черезъ 5 мин.

На черт. 58 показанъ образецъ схемы включенія при такомъ испытаніи:  $d$  генераторъ переменнаго тока, къ зажимамъ котораго присоединены три сѣти,—во-первыхъ, главная, въ которую включенъ ампер-



Черт. 58.

метръ  $a$ , ваттметръ  $w$  и нагрузочное сопротивление  $b$ , въ которомъ уничтожается электрическая энергія; затѣмъ вспомогательная сѣть, въ которую включено особое вспомогательное для ваттметра сопротивление  $r$  безъ индукціи въ нѣсколько десятковъ тысячъ омовъ; наконецъ, третья сѣть—вовсе короткая сѣть для присоединенія электростатическаго вольтметра  $v$ .

При такой схемѣ не надо забывать прибавлять къ показаніямъ ваттметра потерю энергіи, развиваемой машиной, идущую по отвѣтвленію

съ вспомогательнымъ сопротивленіемъ  $r$ . Если  $e$  напряженіе динамо, т. е. измѣренное при помощи вольтметра  $v$ , въ вольтахъ, а  $r$  величина сопротивленія реостата  $r$  въ омахъ, то потеря энергіи въ квл.

$$L=0,001 e^2 r. \quad (i)$$

Поправка эта обыкновенно невелика, такъ что ее можно считать при различныхъ нагрузкахъ постоянной, вычисляя только для средняго нормальнаго напряженія.

Чтобы перейти къ мощности турбины, надо электрическую энергію, развитую динамомашинной и выраженную въ квл., раздѣлить на 0,736, чтобы перейти къ д. л. с., а затѣмъ раздѣлить еще на отдачу  $\eta_a$  динамомашинны.

Величина  $\eta_a$  часто дается заводомъ, построившимъ динамомашину; нахожденіе же ея опытнымъ путемъ требуетъ специальныхъ приборовъ и указаній и не входитъ въ рамки нашего разсмотрѣнія, а составляетъ отдѣлъ электрическихъ измѣреній.

Здѣсь же слѣдуетъ лишь указать, что при соединеніи динамомашинны и всѣхъ измѣрительныхъ приборовъ къ ней надо придерживаться строго той же схемы, какая была примѣнена при опредѣленіи величины отдачи. Такъ, амперметръ надо включать такимъ образомъ, чтобы онъ измѣрялъ также и токъ, расходуемый на возбужденіе. При возбужденіи постороннимъ токомъ, напр., у машинъ переменнаго тока, расходъ энергіи на возбужденіе надо измѣрять отдѣльно и вычитать изъ развитой мощности, прежде чѣмъ дѣлить на  $\eta_a$ , которая обыкновенно опредѣляется, включая потери на возбужденіе.

*Нагрузочныя сопротивленія.* Послѣ измѣренія электрической энергіи ее надо куда-нибудь отвести. Чаще всего ее приходится уничтожать, превращая, напр., въ теплоту. Иногда энергію можно отдавать въ сѣть или на зарядку аккумуляторной батареи; однако и въ этомъ случаѣ часть тока все же приходится уничтожать, чтобы имѣть средство устанавливать требуемую величину нагрузки и поддерживать ее постоянной въ продолженіе даннаго опыта.

Подъ словами уничтожить электрическую энергію мы подразумеваемъ превращеніе ее въ какой-нибудь другой видъ энергіи и отведеніе безъ использованія, чаще всего въ тепловую или химическую (разложеніе воды). Превращеніе это производится при помощи особыхъ сопротивленій, называемыхъ по ихъ назначенію нагрузочными.

По конструкціи нагрузочныя сопротивленія можно разбить на сопротивленія изъ лампъ накаливанія, металлическихъ сопротивленія и водяныя.

*Сопротивленія изъ лампъ накаливанія* очень удобны, но ихъ трудно составить для сколько нибудь значительной силы тока, такъ какъ требуется слишкомъ большое число лампъ, и, даже если есть запасъ старыхъ лампочекъ, соединенія ихъ и патроны обходятся слишкомъ дорого.

Угольная 16-ти свѣчная лампа на 110 вольтъ расходуетъ около 0,5 амп., при 220 вольтъ около 0,25 амп.. Соединяются лампы параллельно. Большія напряженія первичной свѣти тоже затрудняютъ изготовленіе сопротивленія изъ лампъ: при 440 вольтъ еще можно включать послѣдовательно по 2 лампы въ 220 вольтъ, а еще большія напряженія заставляютъ отказываться отъ такого сопротивленія.

Наконецъ, въ настоящее время съ все увеличивающимся распространеніемъ экономическихъ металлическихъ лампъ, которыя обыкновенно горятъ до разрыва нити, скоро на станціяхъ не будетъ большихъ запасовъ смѣненныхъ угольныхъ лампъ, потемнѣвшихъ, но еще не перегорѣвшихъ.

*Металлическія сопротивленія* дѣлаются обыкновенно изъ желѣзной проволоки, рѣдко изъ манганиновой или константовой изъ-за ихъ дороговизны.

При изготовленіи металлическаго сопротивленія надо рассчитать двѣ величины: величину сопротивленія  $r$  въ омахъ и площадь поверхности  $F$  въ м.<sup>2</sup> для излученія тепла.

Величина  $r$  находится какъ частное отъ дѣленія напряженія  $e$  въ вольтахъ на силу тока  $i$  въ амперахъ

$$r = e / i. \quad (2)$$

Опредѣленіе размѣровъ проволоки по найденному сопротивленію  $r$  производится при помощи уравненія

$$r = c \cdot l / f, \quad (3)$$

гдѣ  $l$  длина проволоки въ м.,  $f$  площадь поперечнаго сѣченія въ мм.<sup>2</sup>,  $c$  удѣльное сопротивленіе.

Имѣя въ виду круглое сѣченіе проволоки съ діаметромъ  $d$  мм. и параллельное включеніе  $n$  рядовъ проволоки, каждый изъ отрѣзка по  $l$  м., можно ур-іе (3) преобразовать въ

$$r = 1,27 c \cdot l / d^2 \cdot n. \quad (4)$$

Для желѣза  $c = 0,10 \div 0,14$ ; для манганина и константана  $c = 0,40 \div 50$ . Въ виду такого неостоянства и неопредѣленности  $c$  ур-іе (4) можно написать проще для желѣза

$$r = 0,15 \cdot l / n \cdot d^2, \quad (5)$$

для манганина и константана

$$r = 0,55 l / n \cdot d^2. \quad (6)$$

На основаніи наблюденій для излученія тепла безъ чрезмѣрнаго нагреванія проволоки надо около 0,14 м.<sup>2</sup> на 1 квв., т. е.

$$F = 0,00014 e \cdot i; \quad (7)$$

впрочемъ при хорошей вентиляціи площадь можетъ быть и значительно меньше; наоборотъ, при затрудненномъ лученспусканіи должна быть больше.

Подставляя вмѣсто  $F$  его выраженіе изъ размѣровъ проволоки и помня, что  $F$  выражено въ м.<sup>2</sup>,  $l$  въ м., а  $d$  въ мм., получаемъ

$$n \cdot l \cdot d \geq 9,045 e \cdot i. \quad (8)$$

При помощи ур-ія (4), соотв. (5) или (6) и ур-ія (8) можно, задавшись одной изъ величинъ, напр.  $d$ , найти двѣ другія— $n$  и  $l$ .

При надлежащей сборкѣ можно спокойно допускать нагрѣваніе проволокъ до темнокраснаго свѣченія.

Для уменьшенія размѣровъ всего приспособленія проволоку можно свивать въ спирали съ діаметромъ  $D$  въ 10–20 разъ болѣе  $d$ . Спирали надо при сборкѣ растянуть, чтобы витки не были слишкомъ близки одинъ къ другому. При тонкой проволоцѣ шагъ долженъ быть не менѣе  $3d$ ; при толстой лучше дѣлать его до  $5d$  даже до  $10d$ . Сборку удобно производить, подвѣсивая спирали къ укрѣпленной подъ потолкомъ горизонтальной газовой трубѣ, обернутой азбестовымъ кардономъ.

Установленіе требуемой нагрузки и дальнѣйшее поддержаніе ея постоянной несмотря на пониженіе сопротивленія при нагрѣваніи проволоки, такъ сказать регулированіе нагрузки, можетъ производиться согласно ур-ія (3) двумя способами: или измѣненіемъ  $l$  или измѣненіемъ  $f$ , т. е. согласно ур-ія (4)—числа  $n$ .

При болѣе значительныхъ нагрузкахъ приходится пользоваться вторымъ способомъ, включая спирали параллельно и снабжая рубильниками отдѣльныя спирали или группы ихъ, что даетъ также возможность быстрого измѣненія нагрузки при испытаніи на регулируемость агрегата.

Для болѣе точнаго регулированія нагрузки часть сопротивленія дѣлають, включая спирали послѣдовательно и подводя соединенія отъ отдѣльныхъ секцій къ кнопкамъ, по которымъ можетъ перемѣщаться скользящій контактъ, какъ у пусковыхъ сопротивленій. При случаѣ можно и прямо брать для этой цѣли готовое достаточно большое пусковое сопротивленіе отъ электродвигателя.

*Водяныя сопротивленія* удобнѣе предыдущихъ, особенно при испытаніи машинъ крупной мощности, для которыхъ ихъ и изготовить легче и дешевле. Составляются они изъ листовъ кровельнаго желѣза, образующихъ электроды и погружаемыхъ въ воду. Для увеличенія электропроводности воды, благодаря чему устанавливается болѣе спокойная нагрузка, иногда добавляютъ въ воду немного сѣрной кислоты. Недостатокъ такого подкисленія—выдѣленіе довольно удушливыхъ паровъ. Если нагрузочное сопротивленіе стоитъ вблизи машины, а тѣмъ болѣе внутри машиннаго зданія, напр., въ подвалѣ его, то лучше вмѣсто кислоты добавлять въ воду немного, до 1%, поваренной соли или неочищенной соды; слабый содовый растворъ можно свободно доводить до кипѣнія. При постоянномъ тоцѣ свыше 500 вольтъ (при проточной водѣ и отъ 220 вольтъ) и при переменномъ тоцѣ отъ 1000 вольтъ можно пользоваться прямо прѣсной водой.

По мѣрѣ нагрѣванія воды ея сопротивленіе падаетъ, и нагрузка возрастаетъ. Чтобы предотвратить кипѣніе воды и непріятное парообразованіе, а также измѣненіе нагрузки, полезно дѣлать воду въ сопротивленіи проточной, т. е. чтобы снизу все время понемногу поступала холодная вода и стекала около верхнихъ слоевъ болѣе нагрѣтая. При высокихъ напряженіяхъ, свыше 1000 вольтъ, надо помнить, что вода обыкновенно выходитъ съ электрическимъ зарядомъ, который она не сразу теряетъ, такъ что надо принимать соотв. мѣры для огражденія безопасности людей, могущихъ съ ней соприкасаться.

Что касается регулированія нагрузки при установкѣ ея при началѣ опыта, а также и для поддержанія ея постоянства при нагрѣваніи воды, то для этой цѣли удобнѣе всего измѣнять смоченную поверхность электродовъ и пользоваться однимъ изъ слѣдующихъ пріемовъ: или измѣнять глубину погруженія листовъ-электродовъ, приподнимая ихъ на блокъ для уменьшенія нагрузки и погружая для ея увеличенія, или при неподвижныхъ электродахъ, наоборотъ, понижать или повышать уровень воды въ резервуарѣ. Специально для увеличенія нагрузки, когда вода не мѣняется, а лишь добавляется по мѣрѣ выкипанія, можно пользоваться еще и другимъ способомъ—добавлять соду или поваренную соль; даже небольшое увеличеніе крѣпости раствора замѣтно увеличиваетъ проводимость, т. е. нагрузку.

Въ заключеніе можно упомянуть, что вода, особенно колодезная, часто содержитъ въ себѣ минеральныя соли въ количествахъ, замѣтно повышающихъ ея электропроводность. Такъ, автору пришлось разъ работать съ желѣзистой водой, электропроводность которой была въ нѣсколько сотъ разъ больше электропроводности чистой воды. Замѣтивъ это, электроды, два желѣзныхъ листа, разставили другъ отъ друга очень широко, свыше 100 см., тѣмъ не менѣе при погруженіи ихъ въ эту воду получался сразу такой сильный токъ, точно произошло короткое замыканіе. Такой водой наполнять сопротивление нельзя, но за то ею очень удобно пользоваться при наличности другой, чистой воды: пуская большую или меньшую струю сильно электропроводящей воды (при сопротивленіи съ проточной водой) можно очень удобно и точно регулировать величину нагрузки, гораздо удобнѣе и плавнѣе, чѣмъ добавленіемъ соды или соли.

*Опредѣленіе размѣровъ электродовъ* можно дѣлать по слѣдующимъ даннымъ: на 1 амперъ тока надо имѣть поверхность  $s=5-15$  см.<sup>2</sup> положительнаго электрода и столько же отрицательнаго при разстояніи между электродами около 80-100 мм. и при напряженіи тока до 1000 вольтъ, считая удѣльное сопротивление воды въ 2000 омъ/см.<sup>2</sup>; при увеличеніи напряженія свыше 1000 вольтъ разстояніе между электродами слѣдуетъ увеличивать примѣрно на 40-50 мм. на каждые 1000 вольтъ.

При напряженіи до 220 вольтъ лучше брать ббльшую поверхность электродовъ,  $s=20$  и даже 25 см.<sup>2</sup>/амп., а разстояніе между ними около 100 мм..



Болѣе точный выборъ величины  $s$  зависитъ отъ величины нагрѣванія воды и указанъ ниже, таблица 1.

При болѣе значительной поверхности электроды удобно разбивать на нѣсколько листовъ, ставя ихъ параллельно, и присоединяя листъ поочередно то къ одному полюсу, то къ другому. Въ этомъ случаѣ у всѣхъ листовъ, кромѣ двухъ крайнихъ, будутъ работать обѣ поверхности, и поверхность промежуточныхъ листовъ надо вводить въ расчетъ вдвойнѣ.

Такъ какъ электрическая энергія въ водяномъ сопротивленіи превращается главнымъ образомъ въ теплоту, то для ея отведенія надо помимо силы тока принимать во вниманіе и величину работы въ квв. Такъ, количество воды въ резервуарѣ должно быть около 100 лтр. на каждые 100 квв. Далѣе, количество проточной воды зависитъ отъ того, какое нагрѣваніе воды хотятъ допустить, именно на 100 квв. расходъ воды  $q$  въ лтр./сек. долженъ быть для отведенія соотв. тепла

$$q = 240 / \Delta t, \quad (9)$$

гдѣ  $\Delta t$  допустимое число °Ц повышенія температуры воды;  $\Delta t$  берется 30° до 90°. Отъ величины  $q$ , а косвенно, значить, и отъ  $\Delta t$  зависитъ также и наименьшая допустимая величина поверхности электродовъ  $s$  на 1 амп. тока. Нижеслѣдующая таблица 1 даетъ практически установленное указаніе для этой зависимости.

Таблица 1.

Повышеніе температуры $\Delta t$ °Ц . . . . .	30	50	70	90
Поверхность электродовъ $s$ см. <sup>2</sup> /амп. . . . .	2,8	4,8	8,2	16

Вмѣсто расположенія листовъ рядами иногда свертываютъ ихъ парно въ видѣ концентрическихъ цилиндровъ. При такомъ расположеніи листовъ удобнѣе устроить приспособленіе для ихъ подниманія и опусканія безъ перекося, но зато требуется большее число ихъ, такъ какъ у нихъ является использованной только по одной сторонѣ. Чтобы не стѣснять движенія воды при такомъ расположеніи листовъ, слѣдуетъ дѣлать въ нихъ отверстія, и довольно много; діаметръ отверстій можно брать 12÷20 мм., разстояніе между ними по окружности цилиндра и между рядами 35÷50 мм..

Листы достаточно брать толщиной 0,5÷1,0 мм.. Для постоянного употребленія въ лабораторіяхъ и испытательныхъ станціяхъ ихъ берутъ иногда толщиной до 3 мм. и окрашиваютъ масляной краской. Въ этихъ случаяхъ резервуары дѣлаютъ тоже клепанные изъ желѣза и во избѣжаніе разѣданія хорошенько окрашиваютъ сурикомъ въ нѣсколько слоевъ. Теперь резервуары дѣлаютъ также и изъ желѣзобетона.

При приѣмочныхъ испытаніяхъ пользуются обыкновенно или деревянными кадками или деревянными же довольно плотными ящиками. Небольшая утечка воды не вредитъ, такъ какъ воду все равно приходится постепенно мѣнять.

При пользованіи деревянными сосудами при высокомъ напряженіи, свыше 1000 вольтъ, надо имѣть въ виду, что отъ желѣзныхъ частей можетъ появляться огонь (вольтова дуга), грозящій испортить сосудъ и во всякомъ случаѣ являющійся источникомъ лишнихъ хлопотъ по его тушенію. Поэтому надо брать сосудъ, изготовленный изъ одного дерева — бочку съ деревянными обручами или ящикъ, скрѣпленный деревянными скобами и клиньями безъ гвоздей.

Если нагрузка регулируется подниманіемъ и опусканіемъ листовъ, то они скрѣпляются общей деревянной рамкой или желѣзной на изоляторахъ, если измѣненіемъ уровня воды — то надо дѣлать въ резервуарахъ соотв. краны для спуска воды.

При наличности вблизи рѣки или пруда электроды можно погружать прямо въ нихъ, но чтобы волненіе воды, мѣняющее смачиваемую поверхность, не отражалось на нагрузкѣ, электроды надо погружать въ воду совершенно, а болѣе точное регулированіе нагрузки производить при помощи части листовъ, погруженныхъ въ бочку. При пользованіи прудомъ электроды можно составлять, приколачивая желѣзные листы къ деревяннымъ брускамъ и опуская ихъ прямо на дно. Чтобы они не всплывали, къ нимъ надо привязывать камни или кирпичи.

Для производства испытаній съ различными нагрузками и мгновеннымъ измѣненіемъ нагрузки, полезно, кромѣ измѣненія смачиваемой поверхности, разбивать все сопротивленіе на нѣсколько группъ, провода къ которымъ имѣютъ свой отдѣльный рубильникъ. Собственно достаточно 3 группы: одна —  $\frac{1}{2}$  нагрузки и двѣ по  $\frac{1}{4}$  нагрузки.

Можно еще упомянуть о конструкціи сопротивленія, являющагося комбинаціей изъ металлическаго и водяного и очень удобнаго особенно для лабораторій по своей компактности: это — сопротивленіе изъ манганиновой или даже желѣзной проволоки, намотанной по винтовой линіи на круглыя палки, которыя помѣщаются въ сосудъ съ проточной водой.

Расчетъ ведется, какъ для обыкновеннаго металлическаго сопротивленія, но въ ур-и (8) можно коэффициентъ 0,045 замѣнять 0,004; или вмѣсто расчета на охлажденіе по ур-ю (8) можно просто опредѣлять площадь сѣченія параллельно включаемыхъ проволокъ по допустимой наибольшей плотности тока.

Для желѣза можно, задаваясь діаметромъ  $d$ , находить число проволокъ  $n$  по силѣ тока  $i$  изъ условія допустимой плотности тока <sup>16)</sup>

$$36 n \cdot d^{3.5} = i, \quad (10)$$

<sup>16)</sup> Hütte, 21. Aufl., 1911, II, S. 918.

а для манганина и константана

$$24 n \cdot d^{3.5} \geq i. \quad (11)$$

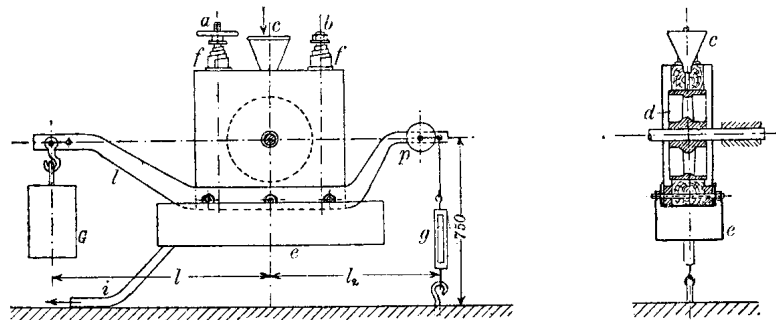
Расходъ охлаждающей воды вычисляется, конечно, по тому же ур-ю (9), что и выше.

**9. Тормазъ съ колодками.**—Если паровая турбина не соединена съ динамомашинной, то для испытанія ея подъ нагрузкой и для выясненія влїянїя условїй работы ея приходится въ большинствѣ случаевъ нагружать искусственно при помощи такъ назыв. тормазовъ.

По конструкци тормазъ можно разбить на двѣ существенно различныя группы: на болѣе простыя тормазъ съ тренїемъ твердыхъ тѣлъ, являющїеся видоизмѣненїями и уллучшенїями обыкновеннаго нажима Прони, и на такъ назыв. гидравлическіе, или водяные тормазъ. Однако въ сущности и тѣ и друге являются приборами, въ которыхъ механическая работа путемъ тренїя превращается въ теплоту, которая отводится бесполезно наружу, чаще всего при помощи проточной воды.

*Тормазъ простыя* употребляются только для небольшихъ турбинъ; для большихъ они выходятъ слишкомъ громоздки и тяжелы.

На черт. 59 и 60 представленъ самый простой тормазъ для 30-сильной турбины Лавалля, рабочїй валъ которой послѣ зубчатой передачи



Черт. 59.

Черт. 60.

дѣлаетъ 2000 обор./мин.. Чтобы колодки не слишкомъ быстро истирались, ихъ можно дѣлать изъ твердаго дерева, напр., изъ дуба. Измѣненїе нагрузки производится увеличеніемъ или уменьшенїемъ нажатїя колодокъ, для чего поворачиваютъ соотв. образомъ гайку *a* за маховичекъ, пока моментъ тренїя на окружности шкива не уравнивается моментъ груза *G* съ плечомъ *l*. Въ виду того, что моментъ тренїя все время мѣняется, то немного возрастаая, то падая, для поддержанїя равновѣсія полезно, кромѣ постояннаго момента *Gl*, имѣть тоже соотв. мѣняющїйся моментъ. Таковымъ является моментъ натяженїя *g* пружиннаго динамометра *g* на плечо *l*<sub>2</sub>. Въ суммѣ моментъ тренїя уравнивается разностью моментовъ,  $M = (Gl - gl_2)$ . Равновѣсіе соблюдается благодаря тому, что при увеличеніи тренїя тормазъ увлекается въ направленїи вращенїя машины, натяженїе *g* уменьшается, *M* возрастаетъ; при уменьшенїи тренїя происходитъ обратное.

Чугунный передвижной противовѣсъ  $p$  служитъ для уравновѣшиванія тормоза относительно оси вала. Чтобы легче получать требуемое нажатіе колодокъ, подъ гайки подкладываются жесткія спиральныя пружины  $f, f$ .

Работа турбины превращается путемъ тренія въ теплоту, которая уносится охлаждающей водой. Въ данной конструкціи охлаждающая вода льется прямо на шкивъ. Во избѣжаніе разбрызгиванія воды въ помѣщеніи весь тормазъ заключенъ въ жестяной кожухъ; вода льется непрерывной небольшой струей въ воронку  $e$ , стекаетъ внизъ въ корыто  $e$ , а изъ него отводится по желобу или трубѣ  $i$  въ канализацію. Воды пускается столько, чтобы она утекала, нагрѣвшись до  $40 \div 50^\circ$ .

Работа, развитая турбиной, въ д. л. с. вычисляется по выраженію

$$N_e = \frac{2 \pi n}{60.75} (Gl - gl_2) = 0,001396 \cdot n (Gl - gl_2). \quad (12)$$

Число оборотовъ  $n$  измѣряется по указанному выше, плечи  $l$  и  $l_2$  измѣряются заранѣе съ возможной точностью, а отчетъ  $g$  берется какъ среднее арифметическое изъ всѣхъ счетовъ, дѣлаемыхъ въ теченіе всего испытанія черезъ каждыя 5 минутъ.

Остается еще сказать объ уравновѣшиваніи собственнаго вѣса тормоза при помощи противовѣса  $p$ . Для этого отъ тормоза отцѣпляютъ грузъ  $G$  и динамометръ  $g$ , отпускаютъ гайки  $a, b$  настолько, чтобы подъ верхнюю колодку можно было подложить трехгранную призму, хотя бы подилокъ или лучше болѣе острый трехгранный кусокъ желѣза. Трехгранную призму подкладываютъ, конечно, точно надъ осью вала и такъ, чтобы на верхнюю грань легло соотв. мѣсто колодки; затѣмъ уравновѣшиваютъ обѣ стороны тормоза, передвигая противовѣсъ  $p$ , который и закрѣпляютъ въ требуемомъ положеніи при помощи нажимного болта.

При конструированіи новаго тормоза для иныхъ  $N_e$  и  $n$  надо выбрать плечо  $l$  и, пренебрегая величиной  $g.l_2$ , найти по ур-ю (12) грузъ  $G$ , по которому, имѣя діаметръ шкива  $d$  или выбравъ его, напр., изъ условія, чтобы окружная скорость  $u$  на немъ была не болѣе 25 м./сек., т. е.

$$\frac{\pi D n}{60} \leq 25, \quad (13)$$

уже не трудно изъ условій прочности опредѣлить, какъ сѣченіе рычага  $l$ , такъ равно и стягивающихъ болтовъ. Остается лишь выбрать ширину  $b$  деревянныхъ колодокъ.

По Баху <sup>17)</sup> ее можно найти изъ условія

$$b \cdot d \cdot w \geq 75 N_e, \quad (14)$$

гдѣ коэффициентъ  $w$  можно брать отъ 0,5 до 5 въ зависимости отъ способа охлажденія, воздушнаго или водянаго, и давленія на 1 см.<sup>2</sup> поверх-

<sup>17)</sup> Hütte, 1911. II, S. 328.

ности шкива. При водяномъ охлажденіи, большой скорости и маломъ давленіи, какъ у паровыхъ турбинъ, можно брать  $w=5$ . Въ то же время ради устойчивости тормазы полезно соблюдать чисто практическое правило—не дѣлать  $b$  менѣе 1,5 діаметровъ вала, на которомъ сидитъ тормазной шкивъ.

Согласно недавно опубликованныхъ обстоятельныхъ опытовъ Г. Шветъэ<sup>18)</sup> для спокойной работы тормазы давленіе  $p$  кгр./см.<sup>2</sup> между колодками и шкивомъ слѣдуетъ брать изъ условія

$$p \leq a/u, \quad (15)$$

гдѣ окружную скорость  $u$  не слѣдуетъ брать менѣе 3 м./сек., а  $a$  опытный коэффициентъ, зависящій отъ природы дерева; для  $u \geq 5$  м./сек. для твердаго дерева—бука и дуба—можно брать  $a=150$ , для мягкаго — тополя —  $a=100$ ; для бакаута можно брать для  $u \leq 15$  м./сек. прямо  $p \leq 25$  кгр./см.<sup>2</sup>.

Что касается коэффициента тренія  $\mu$  колодокъ о чугунный шкивъ, то при смазкѣ масломъ онъ колеблется въ предѣлахъ  $0,05 \div 0,12$  для твердаго дерева (букъ, дубъ, бакауть), повышаясь до  $0,12 \div 0,16$  для мягкихъ (береза, тополь).

Задаваясь соотв. величиной  $\mu$  можно найти силу  $S$ , на которую надо рассчитывать поперечное сѣчѣніе болѣе напряженнаго стяжного болта,

$$S = 4 \mu \cdot G \cdot l / D, \quad (16)$$

гдѣ  $G$  упоминавшаяся уже нагрузка тормоза въ кгр. на плечо  $l$  въ м., а  $D$  діаметръ шкива тоже въ м.. Очевидно, что колодки изъ мягкаго дерева даютъ болѣе легкую конструкцію всего тормоза, почему ихъ и слѣдуетъ предпочитать, несмотря на болѣе скорое изнашиваніе.

На черт. 61, стр. 46, изображенъ снимокъ съ тормоза болѣе удобной конструкціи тоже для лавалевской турбины, но въ 10 л. с. при  $n=2400$  обор./мин. Главное отличіе его отъ предыдущей конструкціи въ охлажденіи—въ примѣненіи особаго шкива съ закраинами для водяного охлажденія—и въ чрезвычайной легкости всего приспособленія, отсутствіи вреднаго давленія на подшипники рабочаго вала при малыхъ нагрузкахъ. Симметричность конструкціи даетъ тормазу бѣльшую прочность и уравновѣшенность относительно оси вала. Очевидно, что при указанномъ расположеніи груза  $G$  и динамометра  $d$  плечи  $l=l_2$ , и ур-іе (12) упрощается, принимая видъ

$$N_e = k \cdot n (G - g), \quad (17)$$

гдѣ постоянная  $k=0,001396 l$ .

Въ дальнѣйшихъ поясненіяхъ черт. 61 не нуждается; развѣ только можно добавить, что для уменьшенія изнашиванія деревянныхъ колодокъ ихъ полезно дѣлать не изъ досокъ, а изъ торцевыхъ дубовыхъ или

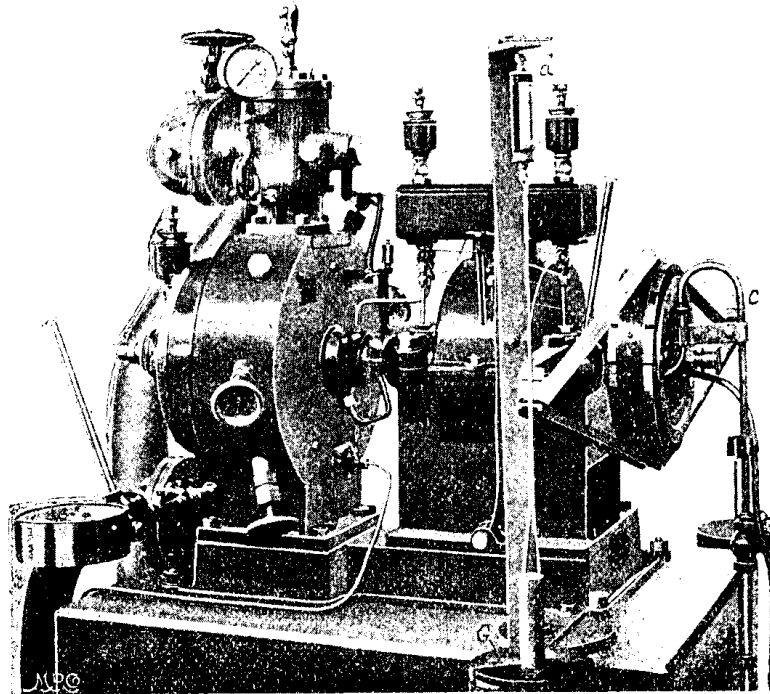
<sup>18)</sup> H. Schwetje. Beiträge zur Kenntniss der Reibungsverhältnisse zwischen Holz und Eisen, insbesondere bei Bremsrichtungen für Leistungsmessungen. Berlin, 1912.

березовыхъ плашекъ. Для плавности работы шкивъ надо смазывать и довольно обильно. Проще всего поставить капельную масленку.

Диаметръ трубки *c*, отводящей воду, загребаемую совкомъ, можно рассчитывать по количеству охлаждающей воды, допуская скорость 0,3—0,5 м./сек. Расходъ *q* найдется по соотв. количеству отводимого тепла въ лтр./сек. на 1 д. л. с.

$$q = 0,182 / \Delta t, \quad (18)$$

гдѣ  $\Delta t$  число °Ц повышения температуры воды, которое можно брать отъ 30° до 40°.



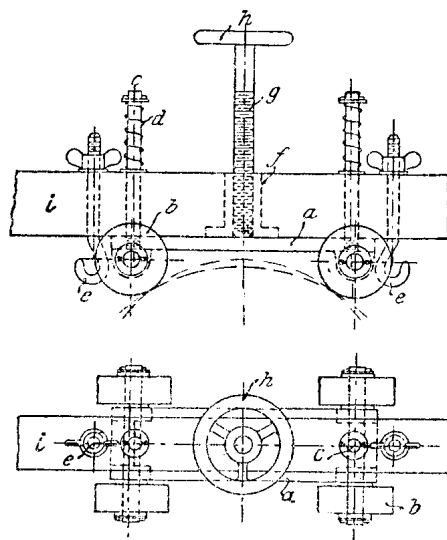
Черт. 61.

Для торможения очень малыхъ турбинъ, въ 1—10 л. с., а также для малыхъ нагрузокъ нѣсколько болѣе кружныхъ турбинъ и, наконецъ, для поочереднаго торможения машинъ съ шкивами разныхъ диаметровъ очень практично приспособленіе по черт. 62 и 63 <sup>15)</sup>. Это такъ назыв. ленточный тормазъ, при чемъ лента изъ кожаннаго или тканнаго ремня съ придѣланными къ нему во избѣжаніе его истиранія деревянными колодками надѣвается своими концами на крючки *e, e*. Деревянный рычагъ *i*, къ которому привѣшивается грузъ, или шедъ который подставляется подпорка, опирающаяся на платформу десятичныхъ вѣсовъ, лежитъ на желѣзной платформѣ *a*, снабженной 4 роликами *b, b*; въ платформу *a* ввернуты шкворни *c, c*, свободно ходящіе въ рычагъ *i* и

<sup>15)</sup> Z. V d. I. 1911, S. 1181.

подтягивающіе къ нему платформу *a* при помощи пружинъ *d, d*. Въ рычагъ *i* вдѣлана желѣзная или бронзовая втулка *f*, служащая гайкой для шпинделя *g*, поворачивая который за маховичекъ *h*, натягиваютъ ленту въ желаемой мѣрѣ.

Тормазной шкивъ долженъ быть съ водянымъ охлажденіемъ, какъ на черт. 61. Поверхность его надо для спокойной работы смазывать, лучше непрерывно при помощи масленки.



Черт. 62 и 63.

При подвѣшиваніи къ рычагу *i* гирь надо, разумѣется, прикрѣплять къ нему еще и пружинный динамометръ, который воспринимаетъ неизбѣжныя колебанія, и среднее изъ показаній котораго просто вычитается изъ величины груза; конечно, если точка приложенія гирь и динамометра одна, какъ на черт. 61. Кромѣ того, къ величинѣ груза надо прибавлять еще вѣсъ неуравновѣшеннаго конца рычага *i*, находимый непосредственнымъ взвѣшиваніемъ на десятичныхъ вѣсахъ съ указаннымъ выше подкладываніемъ подъ тормазъ трехгранной призмы.

Описанный тормазъ даетъ возможность давать и измѣрять самую ничтожную нагрузку, если отпустить или почти отпустить ленту и уравновѣситъ хотя бы отчасти конецъ рычага *i*.

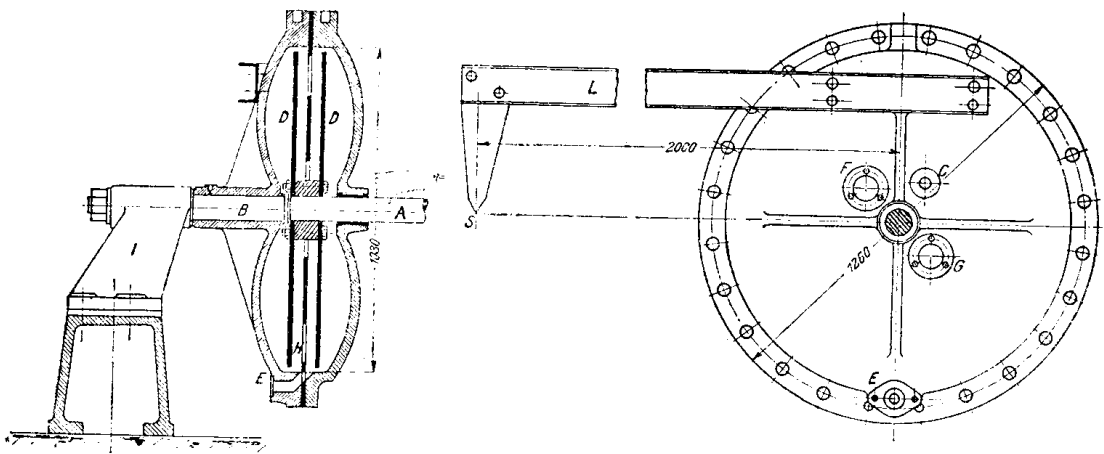
Пунктирные части окружности подъ роликами показываютъ применимость одного и того же тормазы для шкивовъ очень разнообразныхъ диаметровъ, для чего надо лишь измѣнять длину ленты.

**10. Водяные тормазы.**—При болѣе значительной мощности треніе твердыхъ тѣлъ цѣлесообразно замѣнить треніемъ жидкости, внутреннимъ и о твердыя тѣла.

На черт. 64 и 65 представленъ водяной тормазъ, спроектированный проф. Штумпфомъ<sup>19)</sup>: на концѣ продолженнаго турбиннаго вала *A*

<sup>19)</sup> Z. V. d. I. 1907, S. 607.

закрѣплены при помощи стальной втулки два желѣзныхъ диска  $D, D$ ; чугунный кожухъ, охватывающій ихъ, виситъ на неподвижной оси  $B$ , около которой онъ можетъ свободно поворачиваться; ось  $B$  закрѣплена въ стойкѣ  $I$ ; для увеличенія тренія между двумя половинками кожуха зажать промежуточный дискъ  $H$ ; къ кожуху прикрѣпленъ рычагъ  $L$  изъ коробчатого желѣза, и къ концу его приклепана стойка  $S$ , оканчивающаяся ножемъ, опирающимся на платформу десятичныхъ вѣсовъ; рычагъ  $L$  долженъ стоять строго горизонтально, что провѣряется по уровню. Вода вступаетъ по гибкой трубѣ, фланецъ которой привертывается къ фланцу  $C$ , а выходитъ по такой же трубѣ, привертываемой къ фланцу  $E$ .



Черт. 64 и 65.

Диски  $D, D$  и  $H$  сдѣланы изъ 10-миллиметроваго желѣза и снабжены рядомъ отверстій, частью чтобы увеличить сопротивленія вращенію, частью чтобы выравнивать осевыя давленія; для послѣдней же цѣли отверстіе  $F$  сообщается газовыми трубами, не показанными на черт. 64 и 65, съ такимъ же отверстіемъ съ другой стороны кожуха. Отверстіемъ  $G$  предполагалось пользоваться для наблюденія за движеніемъ воды, но въ виду чрезчуръ сильнаго разбрызгиванія ея его пришлось закрыть.

Для измѣненія нагрузки надо измѣнять количество воды, находящейся въ кожухѣ; съ этой цѣлью можно дѣйствовать двояко: или мять въ большей или меньшей степени выпускъ воды у  $E$ , или измѣнять количество подаваемой воды у  $C$ . Кромѣ того, для полученія той же нагрузки при разныхъ числахъ оборотовъ тормазъ былъ снабженъ смѣнными дисками  $D, D$ , діаметромъ въ 800, 900 и 1000 мм..

Тормазъ примѣнялся для чиселъ оборотовъ отъ 1000 до 4000 въ мин., давая нагрузку по желанію отъ 200 до 2000 д. л. с..

Мощность машины при нагрузкѣ этимъ тормазомъ вычисляется по выраженію

$$N_e = \frac{2\pi \cdot L \cdot P \cdot n}{60.75} = 0.00279 P \cdot n, \quad (19)$$



гдѣ для даннаго тормоза плечо  $L=2000$  мм.  $=2$  м.,  $P$  давленіе въ кгр. ножа  $S$  на платформу десятичныхъ вѣсовъ,  $n$  число обор./мин..

Чувствительность тормоза выражается примѣрно  $\pm 0,33$  кгр., что дастъ для наименьшаго давленія въ 46 кгр. при  $N_0$  около 200 л. с. ошибку всего  $\pm 0,7\%$ ; при большей нагрузкѣ ошибка становится еще меньше.

Если ось  $B$  снабдить ариковыми подшипниками, то чувствительность тормоза возрастаетъ еще въ нѣсколько разъ, хотя это едва ли даже требуется.

Для подсчета размѣровъ и числа дисковъ при проектированіи другого тормоза даннаго типа можно опираться на слѣдующее уравненіе, дающее связь между мощностью  $N_0$ , діаметромъ дисковъ  $D$ , числомъ ихъ  $i$  и числомъ  $n$  обор./мин.,

$$N_0 = i \cdot C \cdot D^a \cdot n^b, \quad (20)$$

гдѣ для описаннаго тормоза были найдены: постоянныя  $C=2,127 \cdot 10^{-17}$ ,  $a=5,366$ ,  $b=2,66$ . Хотя съ внутреннимъ очертаніемъ кожуха, его емкостью и т. п. величины  $C$ ,  $a$  и  $b$  должны мѣняться, но не настолько, чтобы ур-іемъ (20) нельзя было воспользоваться, имѣя въ виду указанные выше способы регулированія мощности. Расходъ воды можно вычислять по указанному выше ур-ію (18), допуская  $\Delta t$  отъ  $40^\circ$  до  $60^\circ\text{Ц}$ .

Въ работѣ тормазъ очень хорошъ, послушенъ, спокоенъ и легко регулируется. Нѣкоторый недостатокъ его состоитъ лишь въ томъ, что установившееся состояніе его, т. е. соотв. постоянная температура воды въ немъ получается не скоро.

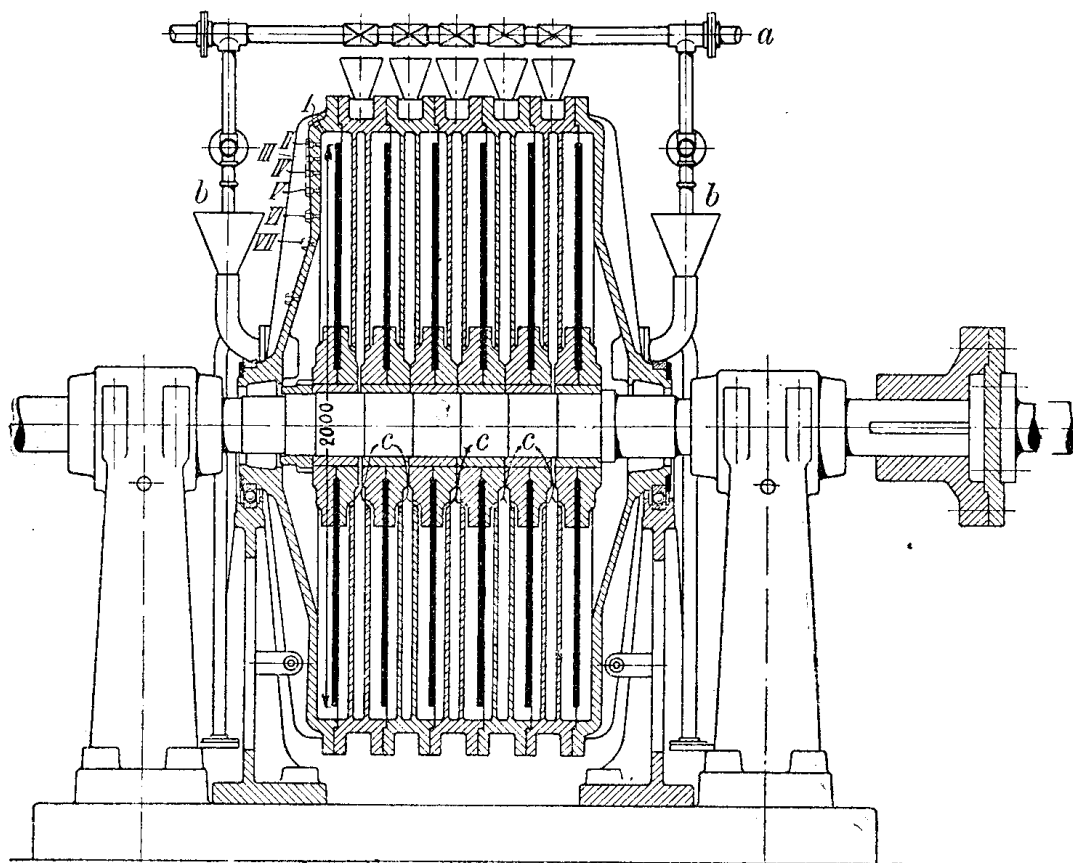
Далѣе целесообразно снабжать кожухъ опорами съ обѣихъ сторонъ, какъ увидимъ въ слѣдующей конструкціи. При одностороннемъ подвѣшаніи чувствительность тормоза меньше, и онъ иногда приходитъ въ сильное колебательное движеніе.

На черт. 66 и 67 изображенъ еще болѣе мощный тормазъ того же типа на 3000 л. с. при всего 600 обор./мин. <sup>20)</sup>. Помимо увеличенія діаметра до 2000 мм., мы видимъ еще 6 дисковъ, вращающихся въ отдѣльныхъ камерахъ. Толщина желѣзныхъ дисковъ 20 мм.; во избѣжаніе осевыхъ толчковъ они вывѣрены возможно тщательно въ смыслѣ плоскости и перпендикулярности оси вращенія; диски не имѣютъ отверстій. Чугунный кожухъ покоится на двухъ опорахъ съ шариковыми подшипниками. Разстояніе между стѣнками кожуха и дисками съ боковъ и по окружности составляетъ по 50 мм..

Валь, къ которому прикрѣплены диски, проходитъ свободно черезъ отверстія въ кожухѣ, которыя закрыты кольцами изъ тонкой жести во избѣжаніе разбрызгиванія воды, и вращается въ двухъ подшипникахъ. Съ турбиной онъ соединяется при помощи жесткой муфты. Вода пода-

<sup>20)</sup> Z. V. d. I. 1906, S. 1313.

ется черезъ регулировочные краны въ двѣ расположенныя сбоку воронки, проходить по двойнымъ днищамъ кожуха въ каналы, находящiеся между двумя ссѣдными камерами и подводящiе ее къ валу, и черезъ отверстiя *c, c* попадаетъ въ обѣ камеры и далѣе центробѣжной силой отбрасывается вновь къ окружности. Отводится вода изъ каждой камеры отдѣльно черезъ вентили открытыми струями; температуру ея можно доводить до  $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$ , но не выше, такъ какъ парообразование нарушаетъ плавность работы тормаза.

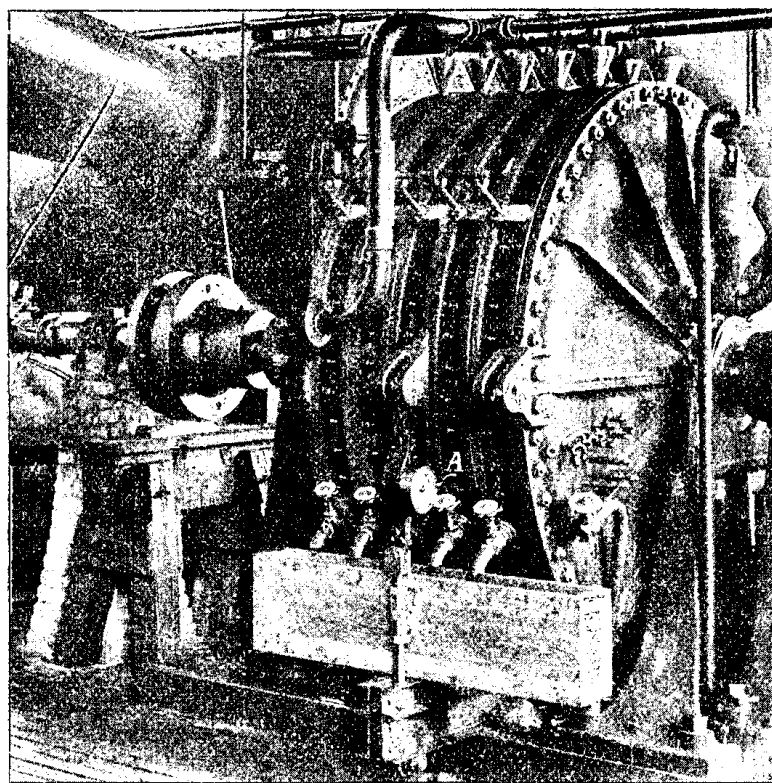


Черт. 66.

Крутящiй моментъ, передаваемый на кожухъ прибора, можно измѣрять или при помощи десятичныхъ вѣсовъ, или при помощи пружинныхъ, или гидравлическаго динамометра съ манометромъ *A* на черт. 67. Въ качествѣ контроля можно вычислять тепло, унесенное водой, измѣряя расходъ воды и среднее повышение температуры ея, и опредѣлять число  $N_e$  д. л. с., помня, что работа 1 д. л. с. въ 1 часъ равна 632,3 т.ед.. Обыкновенно  $N_e$ , найденное по количеству тепла, унесеннаго водой, немного менѣе найденнаго при помощи вѣсовъ, вслѣдствiе неизбежной потери кожухомъ нѣкоторой части тепла путемъ лучеиспусканiя.

Для регулированія величины поглощаемой работы приходится, какъ и въ предыдущемъ тормазѣ, измѣнять открытіе двухъ впускныхъ или выпускныхъ водяныхъ вентилей, которыми снабжена внизу каждая камера.

Отверстія I—VII сдѣланы для присоединенія манометровъ, показанія которыхъ при одномъ и томъ же числѣ оборотовъ зависятъ отъ количества воды, находящейся въ тормазѣ, т. е., отъ величины нагрузки. При  $n=602$  обор./мин. и  $N_c=3040$  д. л. с. давления возрастаютъ почти по закону прямой линіи отъ  $p_{\text{вн}}=0,2$  до  $p_{\text{г}}=2,2$  атм. изб..

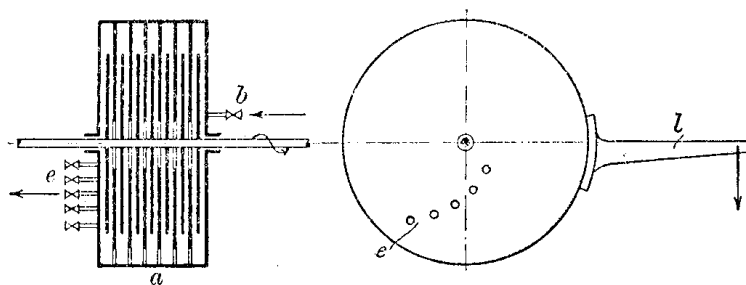


Черт. 67.

Для увеличенія предѣльной нагрузки турбины можно, пожалуй, снабжать диски отверстиями, но тогда не исключена возможность появленія какихъ нибудь затрудненій изъ-за неправильностей необработанныхъ чугунныхъ стѣнокъ кожуха; впрочемъ этому можно помочь, выложивъ ихъ гладкой жестию или сдѣлавъ ихъ изъ листового желѣза.

Для точнаго и надежнаго регулированія нагрузки и уничтоженія какого либо осевого давленія можно рекомендовать устройство тормазы Ольдена по схемѣ черт. 68 и 69: неподвижныя перегородки имѣютъ достаточно большія отверстія  $a$  у самой цилиндрической поверхности, благодаря чему давленія и свободные уровни во всѣхъ камерахъ устанавли-

ваются строго одинаковые. Для грубого ступеньчатого регулированія нагрузки открываютъ соотв. изъ вентиляей *e*, благодаря чему устанавливается соотв. уровень воды. Для болѣе тонкаго регулированія можно, прикрывая нѣсколько этотъ ventиль, увеличивать содержаніе воды и устанавливать уровень ея между этимъ ventилемъ и слѣдующимъ ближайшимъ къ валу.



Черт. 68 и 69.

При ступеньчатомъ регулированіи путемъ полного открыванія вентиляей и при достаточномъ проходномъ сѣченіи ихъ по сравненію съ сѣченіемъ впускнаго вентиля, колебанія давленія воды передъ послѣднимъ не отзываются на нагрузкѣ тормаза. При регулированіи одновременно и мятіемъ выпуска необходимо, чтобы давленіе воды передъ впускнымъ ventилемъ было достаточно постоянно. Для ослабленія неизбѣжныхъ колебаній давленія передъ выпускомъ полезно мять воду впускнымъ ventилемъ, а для того, чтобы подача воды не была черезчуръ мала и, слѣдовательно, послѣдняя не слишкомъ нагрѣвалась, впускъ полезно производить черезъ 2—3 лишь немного пріоткрываемые ventиля.

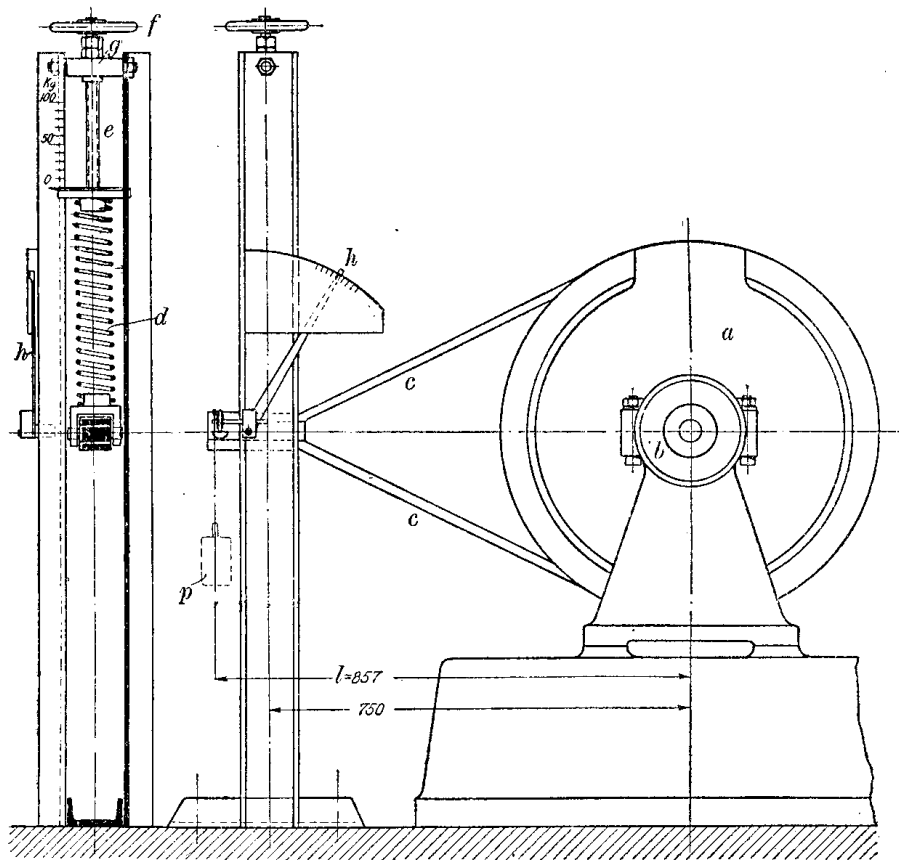
Для тормаженія неособенно большихъ турбинъ можно съ удобствомъ пользоваться пружиннымъ приспособленіемъ Эйермана, черт. 70 и 71<sup>21)</sup>.

Самъ тормазъ состоитъ подобно предыдущимъ конструкціямъ изъ чугунаго кожуха *a*, свободно поварачивающагося на двухъ опорахъ *b, b*, съ вращающимися внутри него 4—6 желѣзными дисками около 500 мм. въ діаметрѣ. На внутренней цилиндрической поверхности кожуха находятся лопатки, которыя можно снаружи поварачивать. Измѣненіемъ поворота лопатокъ можно регулировать нагрузку въ значительныхъ предѣлахъ.

Крутящій моментъ, передаваемый кожуху тормаза, воспринимается при помощи рычага, образованнаго изъ двухъ сходящихся желѣзныхъ полосъ *e, e*, однимъ концомъ привернутыхъ при помощи болтовъ къ кожуху, другимъ свернутыхъ болтами же вмѣстѣ, при чемъ между ними заложена желѣзная прокладка, къ которой прикрѣпленъ нижній конецъ винтовой пружины *d*. Верхній конецъ пружины *d* перемѣщается при помощи винта *e*, ввертываемаго за маховичекъ въ гайку, образованную въ поперечинѣ *g*. Контргайки служатъ для закрѣпленія винта *e*

<sup>21)</sup> Z. Turb. 1903, S. 230.

при дрожаніи прибора во время работы. Поперечина  $g$  прикрѣплена къ стойкѣ изъ двухъ кусковъ коробчатаго желѣза. Съ концомъ рычага  $c, c$  соединена при помощи рычажной передачи стрѣлка  $h$ , указывающая въ увеличенномъ масштабѣ отклоненія рычага отъ средняго положенія и тѣмъ обезпечивающая его точную установку въ этомъ положеніи. Растяженіе пружины указывается шкалой, вдоль которой ходитъ стрѣлка  $h$ , которая прикрѣплена къ одной изъ двухъ коробчатыхъ стоекъ. Шкала эта получена градуировкой непосредственнымъ подвѣшиваніемъ грузовъ  $p$  къ концу рычага съ плечомъ  $l=857$  мм., которое и вводится въ расчетъ при опредѣленіи работы турбины.



Черт. 70 и 71.

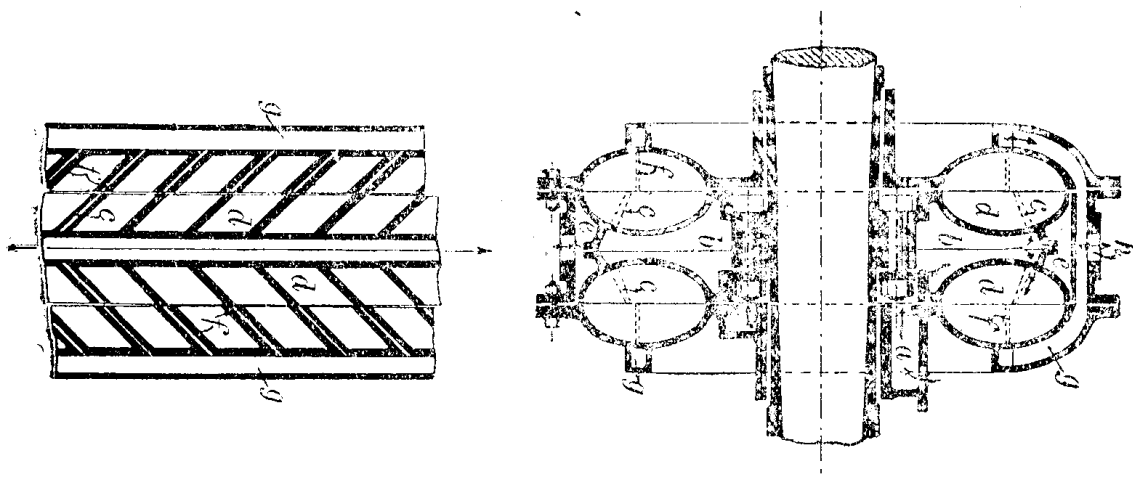
Во время испытанія турбины, подтянувъ пружину на желаемую величину согласно шкалѣ, регулируютъ нагрузку поворачиваніемъ упомянутыхъ выше лопатокъ или расходомъ воды такъ, чтобы стрѣлка показала среднее положеніе рычага.

При  $n=3000$  обор./мин. такимъ тормазомъ можно получить нагрузку до 350 д. л. с.. Въ работѣ онъ удобенъ, хотя немного менѣе точенъ, чѣмъ при дѣйствіи конца рычага на платформу десятичныхъ вѣсовъ. Именно, при длинѣ шкалы около 150 мм.—100 кгр. точность установки указателя пружины можно считать около 0,5 мм., что при  $n=3000$

соотвѣтствуетъ около 1,2 д. л. с.. При нагрузкахъ свыше 120 д. л. с. это равносильно ошибкѣ  $= \pm 1\%$ , а при  $N_e = 240$  и выше даже всего  $= \pm 0,5\%$ , но при меньшихъ нагрузкахъ даетъ довольно ощутительную ошибку.

Для тормажения машинъ большой мощности, особенно вращающихся съ умѣреннымъ числомъ оборотовъ, какъ напр. современныя судовыя турбины, дѣлающія сами отъ 600 до 1200 обор./мин., при скорости вала гребного винта послѣ передачи, уменьшающей число оборотовъ, всего въ 120 до 300 обор./мин., описанные водяные тормазы съ гладкими дисками получаютъ слишкомъ громоздкими. Въ этихъ случаяхъ полезно и вращающіяся и неподвижныя части тормазы снабжать приспособленіями, увеличивающими сопротивленія вращенію, точнѣе движенію воды.

Одной изъ старѣйшихъ конструкцій, предложенной впервые еще въ 1877 г., затѣмъ неоднократно подвергавшейся измѣненіямъ и достигшей теперь значительной степени совершенства, является тормазъ Фруда.

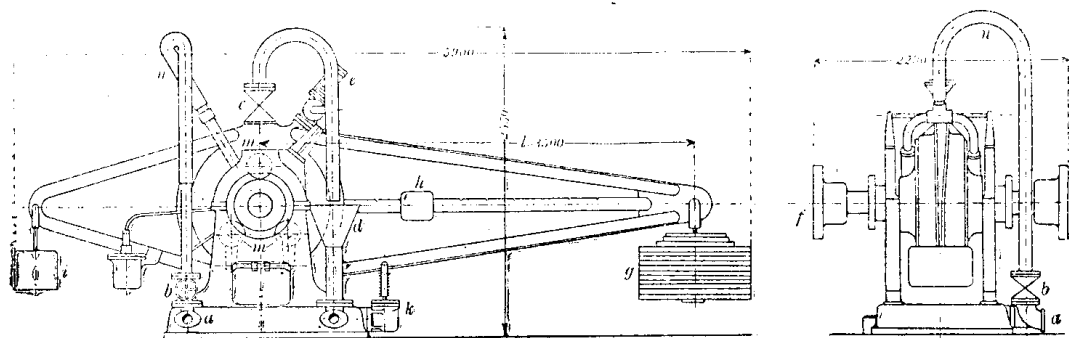


Черт. 72 и 73.

Идею его конструкціи можно пояснить по черт. 72 и 73: боковыя стѣнки кожуха, черт. 72, свернутыя изъ трехъ отливокъ, образуютъ вмѣстѣ съ вращающимся внутри его колесомъ, свернутымъ изъ двухъ отливокъ, два кольцевыхъ пространства эллиптическаго сѣченія; стѣнки кожуха и колеса снабжены плоскими ребрами, наклоненными подъ  $45^\circ$  къ плоскости вращенія и навстрѣчу ему, какъ видно по черт. 73, представляющему часть цилиндрическаго сѣченія въ развернутомъ видѣ. Получающіеся карманы  $d,d$  служатъ для увеличенія сопротивленія перемѣщенію воды. Вода поступаетъ подъ небольшимъ напоромъ по гибкой трубѣ въ кожухъ въ кольцевое пространство  $a$ , отсюда черезъ рядъ отверстій, не показанныхъ на черт. 72, въ полость  $b$  колеса, затѣмъ по каналамъ  $c,c$ , просверленнымъ въ толщѣ реберъ, въ центръ кармановъ  $d,d$ . Подъ вліяніемъ центробѣжной силы вода поступаетъ въ кольцевую полость  $e$ , изъ которой стекаетъ внизъ, пройдя особый регулировочный кранъ. Величина нагрузки зависитъ отъ количества воды, находящейся въ приборѣ,

Для спокойной работы тормаза надо удалять изъ кармановъ скопляющійся въ нихъ воздухъ; это производится при помощи каналовъ *f, f*, просверленныхъ въ ребрахъ кожуха, кольцевыхъ каналовъ *g, g*, и выхода *h* съ краникомъ, открываемымъ по мѣрѣ надобности.

На черт. 74 и 75 представленъ наружный видъ такого тормаза; *a* впускъ воды, *b* впускной, *c* выпускной регулировочный кранъ, *d* воронка, въ которую стекаетъ отработавшая вода, *e* предохранительный клапанъ;



Черт. 74 и 75.

*f, f* половинки муфты для присоединенія къ валу испытываемой машины; *g* грузы, состоящіе изъ ряда чугунныхъ дисковъ и дѣйствующіе на плечо  $l=3500$  мм., *h* передвижной грузъ для болѣе тонкой установки нагрузки; *i* противовѣсъ, уравнивающій собственный вѣсъ тормаза; *k* масляный катарактъ съ пружиннымъ соединеніемъ для болѣе спокойной работы.

Для увеличенія чувствительности кожухъ покоится на роликахъ *m, m*, оси которыхъ, въ свою очередь, вращаются въ шариковыхъ подшипникахъ; *n* гибкая труба.

У изображеннаго на черт. 74 и 75 тормазе и колесо и кожухъ отливаются изъ стали, благодаря чему имъ можно поглощать работу до 5080 д. л. с. при 350 обор./мин..

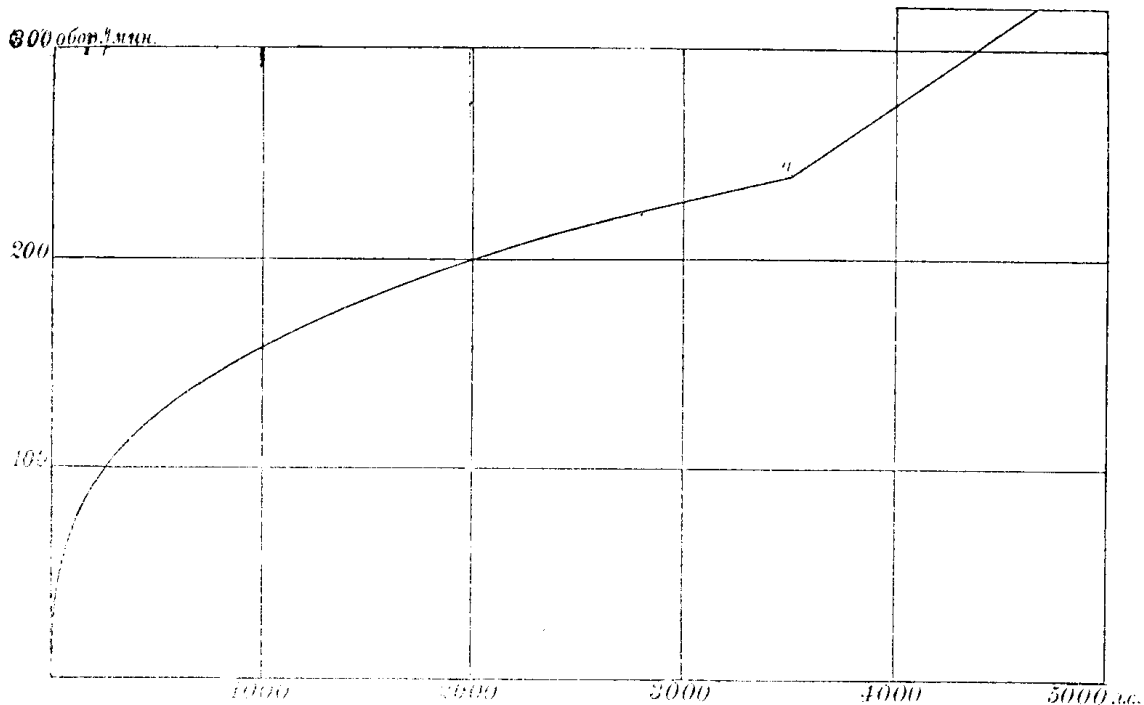
На черт. 76, стр. 56, представлена кривая наибольшей мощности этого тормазе при различныхъ числахъ оборотовъ. Къ точкѣ *a* кривая имѣетъ переломъ, и выше крутящій моментъ остается постояннымъ.

Въ менѣе крупныхъ тормазехъ кожухъ дѣлаютъ и изъ чугуна, а колесо изъ стали же или изъ бронзы. Регулированіе производится или путемъ вдвиганія между колесомъ и кожухомъ жестяныхъ дисковъ, уменьшающихъ сопротивленія вращенію колеса, или путемъ уменьшенія количества воды, находящейся въ тормазѣ.

Стоимость тормазовъ Фруда неособенно велика, отъ 2 до 4 руб. на д. л. с., считая по наибольшей мощности при наивысшемъ числѣ оборотовъ для соотв. типа, но размѣры ихъ довольно громоздки, какъ видно по черт. 74 и 75.

Иногда въ качествѣ тормазе можно пользоваться центробѣжнымъ водянымъ насосомъ, заставляя воду циркулировать изъ нагнетательнаго

отвода обратно во всасывающій и поставивъ между ними лишь регулировочный вентиль. Разумѣется, для поддержанія установившейся температуры воды часть ея приходится непрерывно выпускать и дополнять холодной.



Черт. 76.

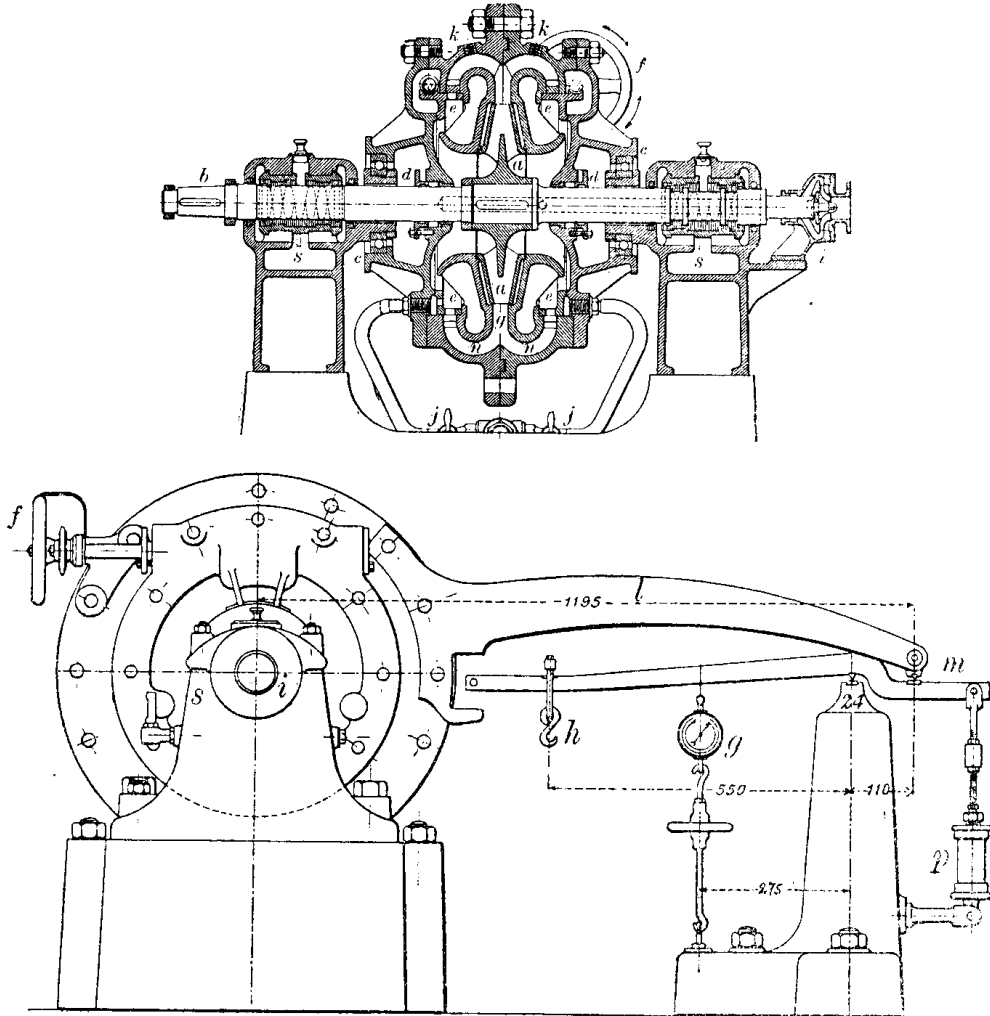
Конструкция тормаза Рато, черт. 77 и 78<sup>22)</sup>, является видоизмѣненіемъ и улучшеніемъ предыдущаго прибора. Колесо *a* центробѣжнаго насоса насажено на шпонкѣ на валу, на конецъ *b* котораго надѣвается полуэластичная муфта для непосредственнаго соединенія съ паровой турбиной. Кожухъ виситъ на двухъ шариковыхъ подшипникахъ *c, c*; треніе въ сальникахъ *d, d* не вліяетъ на точность показаній прибора, такъ какъ оно входитъ въ измѣряемый моментъ вращенія. Цилиндрическія задвижки *e, e*, поворачиваемыя снаружи при помощи червячныхъ передачъ и маховичковъ *f, f*, регулируютъ циркуляцію воды, которая изъ колеса *a* попадаетъ въ кольцевой диффузоръ *g*, а изъ него по двумъ симметричнымъ кольцевымъ каналамъ *n, n* поступаетъ опять во всасывающій направляющій приборъ насоса. Свѣжая холодная вода подается при помощи вспомогательнаго центробѣжнаго насосика *i* черезъ регулировочные краны *j, j*, а нагрѣтая стекаетъ вверху вмѣстѣ съ воздухомъ черезъ отверстія *k, k* и регулировочные краны, не показанные на черт. 77. Впрочемъ свѣжая вода изъ насоса можетъ поступать и по полому валу прибора.

Измѣреніе момента вращенія производится при помощи рычага *l*, закаленный ножъ на концѣ котораго давитъ на правое плечо коромысла

<sup>22)</sup> Engng. 1909, LXXXVIII, p. 805.



*m*; на лѣвое плечо на крючокъ *h* подвѣшиваются грузы, которые благодаря такому расположенію получаютъ въ 5 разъ легче; включеніе коромысла *m* при его расположеніи по черт. 78 въ связи съ выступомъ



Черт. 77 и 78.

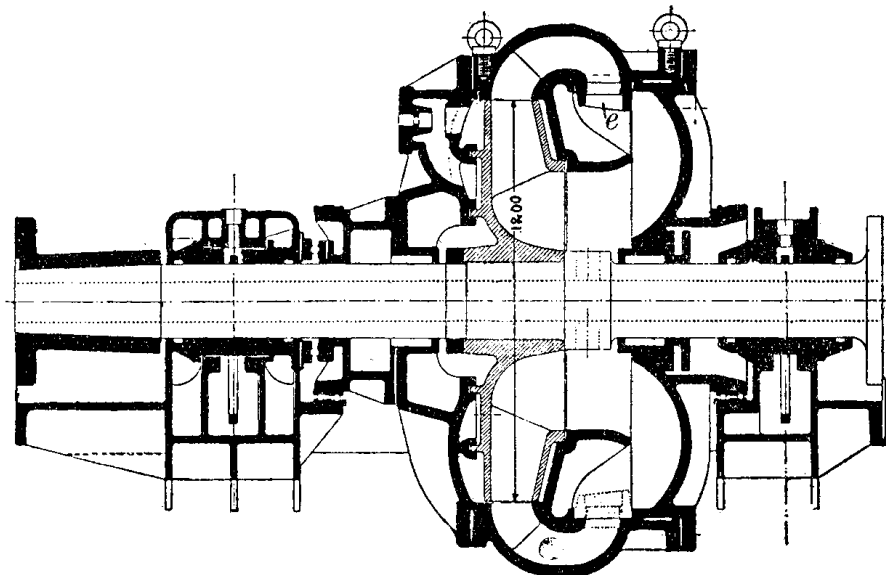
на кожухъ близъ лѣваго конца коромысла предохраняетъ опасное перебрасываніе, возможное при непосредственномъ подвѣшиваніи въ случаѣ внезапнаго избытка мощности турбины; *g* пружинный динамометръ для приданія устойчивости прибору, выравниванія и учитыванія небольшихъ колебаній нагрузки, а *p* небольшой масляный катарактъ. При подсчетахъ надо, конечно, вычитать изъ величины дѣйствующихъ грузовъ вѣсъ неуравновѣшеннаго плеча *l*, опредѣляя его непосредственно взвѣшиваніемъ на вѣсахъ.

Указанный тормазъ поглощаетъ работу  $N_e=800$  д. л. с. при  $n=3800$  до 4000 обор./мин.

Тормазъ работаетъ довольно спокойно и держитъ нагрузку настолько постоянной, что Рато опредѣлялъ при его посредствѣ по теплу, уноси-

мому водой, механической эквивалентъ теплоты  $E$ , и получилъ для него въ среднемъ величину, не отличающуюся отъ принятой  $E=427$ .

На черт. 79 изображенъ въ  $\frac{1}{25}$  натур. вел. тормозъ системы Рато, построенный Бретанскимъ заводомъ въ Пантѣ для испытанія турбинъ въ 10000 л. с. при 650 обор./мин.<sup>23)</sup> контрминисносцевъ „Фуртъ“ и



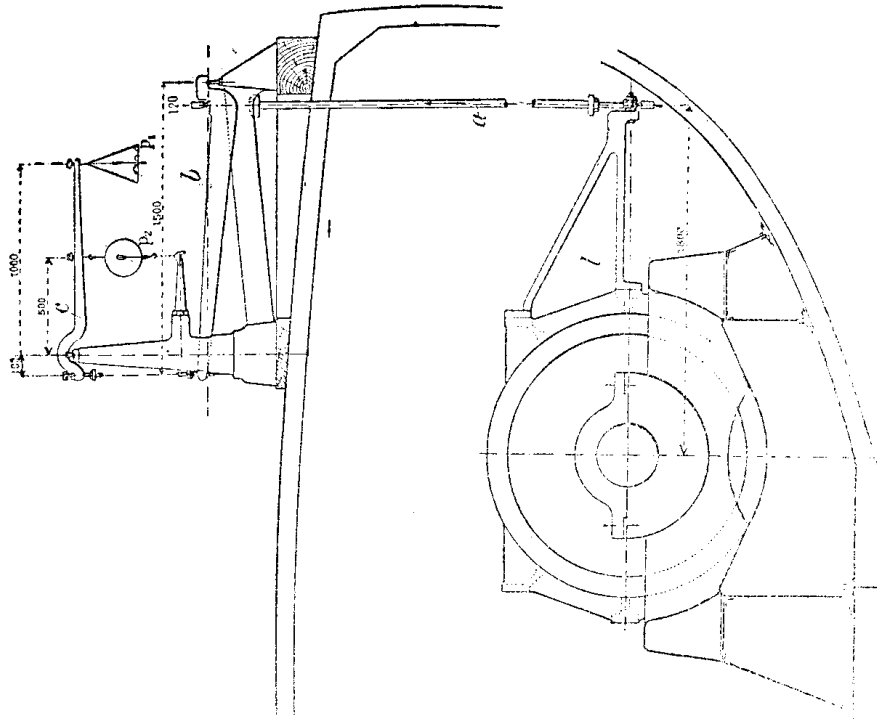
Черт. 79.

„Фо“. Такъ какъ въ мастерскихъ не было достаточно пара для испытанія этихъ турбинъ, то пришлось испытанія производить послѣ установки турбинъ на суда. Валъ тормоза присоединяли къ валу турбины, удаливъ гребной валъ и вспомогательную машину. Такъ какъ размѣры помещенія были ограничены, то тормозъ долженъ былъ быть очень компактнымъ, и измѣреніе момента пришлось вывести наверхъ, на палубу, черт. 80. Наружный діаметръ тормоза всего 1,5 м., діаметръ колеса—1200 мм.; длина рычага, передающаго на вѣсы моментъ вращенія, всего 1800 мм.; чтобы уменьшить грузъ  $p_1$ , уравнивающій этотъ моментъ вращенія, кромѣ верхняго рычага  $c$  съ отношеніемъ плечъ 1 : 10, включенъ еще промежуточный рычагъ  $b$  съ отношеніемъ плечъ 2 : 25, такъ что въ результатѣ грузъ  $p_1$ , пренебрегая натяженіемъ динамометра  $p_2$ , равенъ лишь  $\frac{1}{125}$  отъ силы натяженія тяги  $a$ .

Колесо этого тормоза несимметрично—входъ воды въ него сдѣланъ лишь съ одной стороны; это даетъ осевую силу, замѣняющую осевую составляющую отъ гребного винта и уравнивающую осевое давленіе паровой турбины. Чтобы уменьшить и регулировать эту осевую силу можно на тыльную кольцевую часть колеса, ограниченную цилиндрическими ребрами, передавать по особой трубѣ съ кранами полностью или частью давленіе въ нагнетательной камерѣ тормоза. Колесо

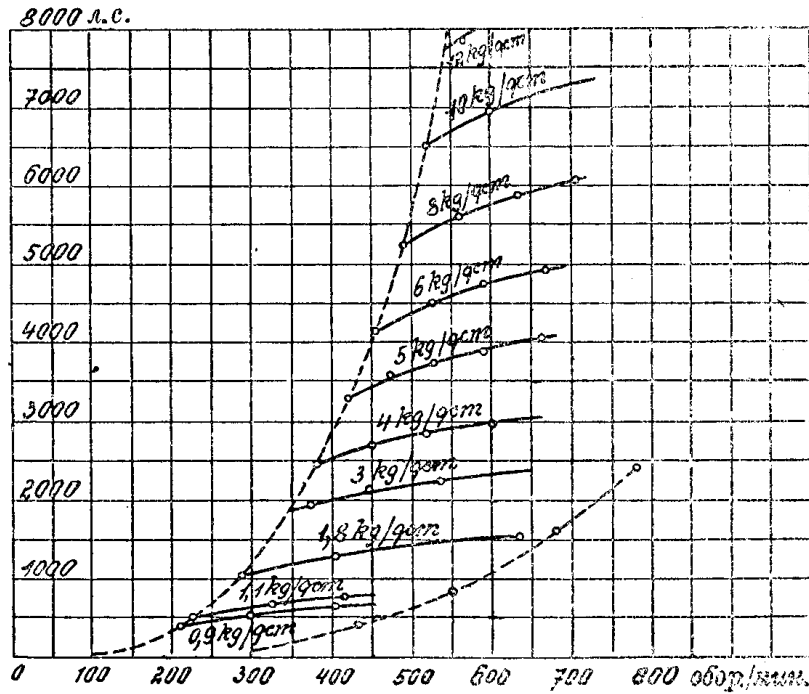
<sup>23)</sup> Мém. et Comptes rendus d. travaux d. la Soc. d. Ing. Civ., 7. Serie, LXVI, № 4; Zeitschr. Dampfkr. u. Versich.-G. A.-G. 1913, S. 101.

было исполнено, какъ и въ предыдущемъ тормозѣ, изъ бронзы, хотя могло бы быть отлито и изъ стали.



Черт. 80.

Регулируется нагрузка такъ же, какъ и въ предыдущей конструкціи. На черт. 81 представлены результаты испытанія турбины въ 8000



Черт. 81.

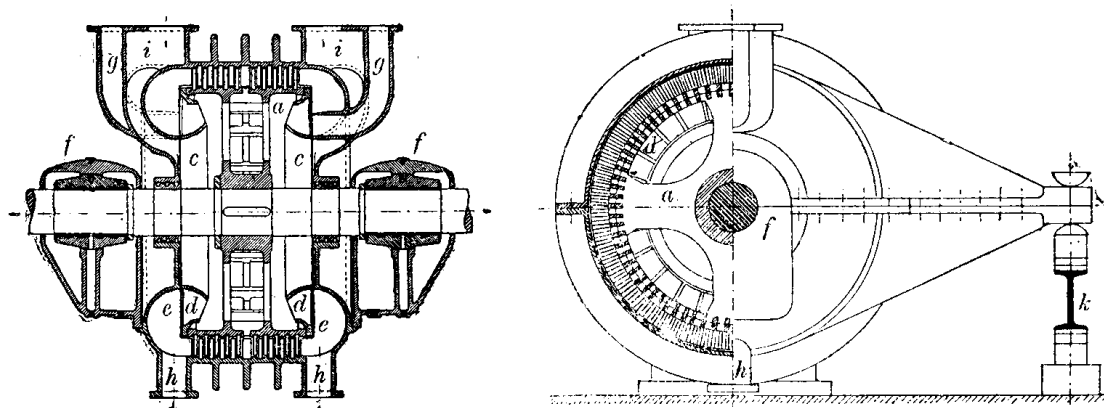
л.с. при 650 обор./мин.. Пунктирные кривыя ограничиваютъ область примѣненія даннаго тормоза; лѣвая кривая соотвѣтствуетъ наибольш-

шимъ нагрузкамъ при вполнѣ открытой цилиндрической задвижкѣ *e*; правая кривая—наименьшимъ нагрузкамъ при закрытой задвижкѣ *e*. Черт. 81 показываетъ, что область примѣненія тормоза охватываетъ очень различныя нагрузки и числа оборотовъ, и что въ особенно широкихъ предѣлахъ, до 10-кратъ, можно измѣнять нагрузку при одномъ и томъ же числѣ оборотовъ.

Кривыя, вычерченныя сплошными линиями, даютъ величины нагрузокъ, полученныхъ при разныхъ числахъ оборотовъ турбины при соотв. постоянныхъ начальныхъ давленіяхъ пара; числа  $\text{kg./qcm.}$ , вписанныя на черт. 81, указываютъ абсолютныя давленія пара передъ послѣдней ступеню турбины, при чемъ надо замѣтить, что въ судовыхъ турбинахъ паръ можно впускать въ различныя ступени, чтобы достигнуть наиболѣе экономнаго расхода при опредѣленной скорости судна. Кривыя эти имѣютъ параболическій видъ, какъ того требуетъ и теорія.

Въ заключеніе можно упомянуть, что при работѣ съ этимъ тормозомъ при большихъ нагрузкахъ расходъ пара оказался выше того, который можно вычислить теоретически, и очень много—до 8÷10%, тогда какъ въ береговыхъ турбинахъ обыкновенно наблюдается обратное. Это неожиданное явленіе приходится объяснить большимъ количествомъ влаги, увлекаемой паромъ при форсировкѣ судовыхъ котловъ и увеличивающей кажущійся расходъ пара, измѣряемаго по конденсату, отводимому изъ поверхностнаго холодильника.

Наконецъ, на черт. 82—84 изображенъ тормазъ, поглощающій 6000 д. л. с. при 300 обор./мин. <sup>24)</sup>, постройки американскаго завода Вестингаузъ и К-ія въ Питтсбургѣ. Особенность этого тормоза въ томъ, что детали его, превращающія механическую работу въ теплоту, исполнены



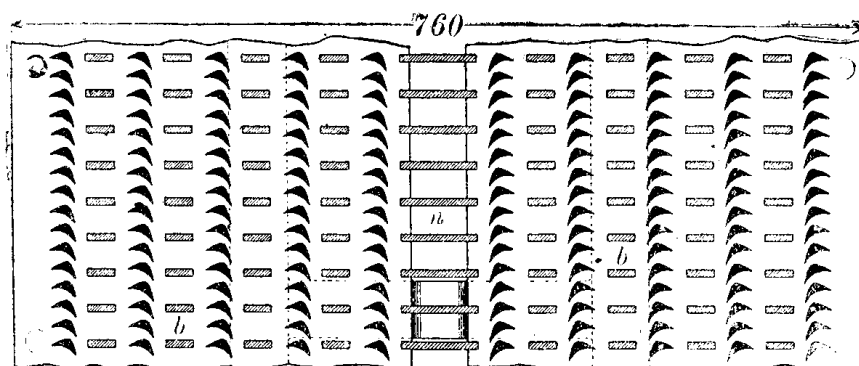
Черт. 82 и 83.

по образцу лопатокъ реактивныхъ паровыхъ турбинъ. Надо замѣтить, что этотъ тормазъ былъ построенъ заводомъ по образцу тормазовъ, употребляемыхъ имъ для испытанія паровыхъ турбинъ меньшей мощности.

<sup>24)</sup> Eng. 1909, p. 575.

Малое число оборотовъ тормаза объясняется тѣмъ, что онъ былъ соединенъ не непосредственно съ паровой турбиной, дѣлавшей 1500 обор./мин., а съ гребнымъ валомъ послѣ особой зубчатой передачи, включенной для улучшенія отдачи гребного винта. Тормазъ былъ построенъ специально для опредѣленія механической отдачи указанной передачи, оказавшейся равной 98,5%, и, въ свою очередь, оказался очень чувствительнымъ и точнымъ.

Тормазъ состоитъ изъ чугунаго барабана *a*, заклиненного на валу, съ укрѣпленными на его поверхности 10 рядами турбинныхъ лопатокъ. Какъ видно по цилиндрическому развернутому сѣченію, черт. 84,



Черт. 84.

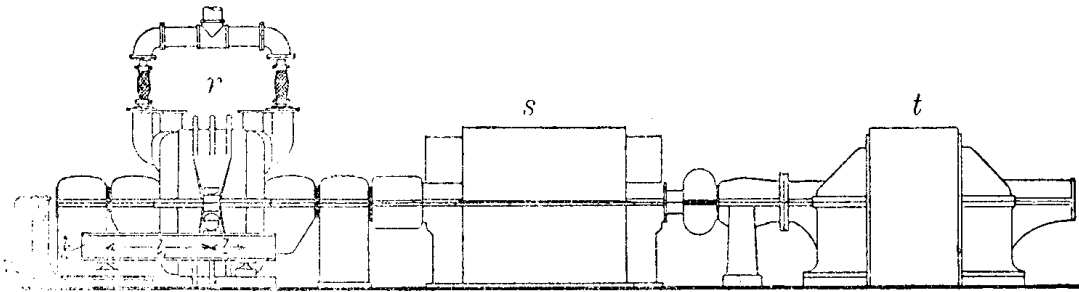
для уравновѣшиванія осевого давленія лопатки въ обѣихъ половинахъ барабана наклонены въ разныя стороны; осевая ширина лопатокъ 22 мм., высота (длина) 125 мм.. Въмѣсто направляющихъ приборовъ между рядами лопатокъ находятся плоскія полосы *b,b*, сѣченія  $25 \times 8$  мм.; полосы противъ середины барабана сдѣланы раза въ три шире. Къ торцамъ барабана привернуты чугуныя кольца *c,c*, снабженныя каждое 24 радіальными ребрами *d,d*. Такіе же ребра *e,e* прилиты и въ каналы кожуха. Кожухъ исполненъ изъ двухъ половинъ, свернутыхъ болтами по горизонтальной плоскости разъема по типу паровыхъ турбинъ. Виситъ кожухъ на валу при помощи подшипниковъ *f,f*, смазываемыхъ масломъ, подаваемымъ особымъ насосикомъ подъ давленіемъ около 0,7 кгр./см.<sup>2</sup>.

Вода подается въ тормазъ по патрубкамъ *g,g*, поступаая въ нихъ по гибкимъ трубкамъ, затѣмъ отбрасывается къ средней плоскости барабана, выходитъ черезъ окна *n*, черт. 84, на его наружную поверхность, разбивается на два потока и идетъ по рядамъ лопатокъ въ обѣ стороны, къ краямъ барабана, затѣмъ по каналамъ съ ребрами *e,e* вновь попадаетъ внутрь барабана и повторяетъ свой круговоротъ.

Горячая вода постепенно удаляется по патрубкамъ *h,h*, а часть ея уходитъ въ видѣ пара черезъ патрубки *i,i*.

Для того, чтобы давленіе на десятичные вѣсы не было слишкомъ велико, несмотря на сравнительно небольшую длину рычага кожуха,

давленіе цѣлесообразно передавать на вѣсы при помощи промежуточного коромысла  $k$ , черт. 83 и 85, состоящаго изъ двутавровой балки, опирающейся однимъ концомъ на стальную призму, лежащую на десятичныхъ вѣсахъ, а другимъ на призму, лежащую на неподвижной опорѣ. Рычагъ отъ кожуха тормоза опирается на коромысло  $k$ , конечно, тоже при помощи призмы. Отношеніе плечъ  $l:(l_1+l)$  можно брать 1:4 или 1:5.



Черт. 85.

На черт. 85  $s$  зубчатая передача, уменьшающая число оборотовъ турбины  $t$ , равное 1500 въ мин., до 300 обор./мин. тормоза  $r$ .

Въ заключеніе можно отмѣтить, что данная конструкція является одной изъ наиболѣе компактныхъ. Такъ, напр., наружный діаметръ колеса, считая съ лопатками, всего 1870 мм., а ширина его 850 мм., и это для 6000 л. с. при всего 300 обор./мин., тогда какъ тормазъ по черт. 66 при тѣхъ же приблизительно размѣрахъ при  $n=300$  обор. можетъ дать нагрузку не болѣе 400 д. л. с..

**11. Индикаторы крученія. Общія указанія.**—Динамометры крученія или, какъ ихъ теперь обыкновенно называютъ, индикаторы крученія основаны на измѣреніи угла крученія вала, передающаго болѣе или менѣе постоянный моментъ крученія.

Этотъ способъ измѣренія работы былъ предложенъ и впервые примененъ въ срединѣ прошлаго столѣтія Гирномъ.

Простой по идеѣ онъ представляетъ однако значительныя практическія затрудненія, которыя можно считать устраненными лишь за послѣдніе 7—10 лѣтъ и то вполнѣ лишь при равномерномъ вращеніи, какъ напр., у паровыхъ турбинъ или электродвигателей.

Способъ этотъ основанъ на томъ, что между угломъ крученія и крутящимъ моментомъ при всѣхъ сортахъ желѣза и стали существуетъ строгая пропорціональность. Если  $\varphi$  уголъ крученія въ дуговыхъ единицахъ,  $M$  моментъ крученія въ кгр. см., то для даннаго вала

$$\varphi = k \cdot M, \quad (21)$$

гдѣ постоянная

$$k = L / G \cdot \theta, \quad (22)$$

$L$  длина вала въ см., на которой измѣряется уголъ крученія,  $G$  модуль упругости срѣзыванія въ кгр./см.<sup>2</sup> матеріала вала,  $\theta$  полярный мо-

ментъ инерціи въ см.<sup>4</sup> поперечнаго сѣченія вала, предполагаемаго вполнѣ цилиндрическимъ.

Зная  $M$ , нетрудно найти и соотв. работу  $N_e$  д. л. с., для чего надо лишь знать еще число оборотовъ  $n$  и тогда

$$N_e = M \frac{2\pi \cdot n}{60.75} = 0,001396 M \cdot n. \quad (23)$$

Уголъ крученія  $\varphi$ , или, что то же самое, величина дуги крученія на опредѣленномъ радіусѣ  $R$  измѣряется во время испытанія, величины  $L$  и  $\theta$  для даннаго вала можно считать извѣстными, такъ что для опредѣленія момента крученія  $M$  надо знать лишь еще модуль упругости сръзыванія  $G$ .

Величину  $G$  можно найти очень точно опытнымъ путемъ при помощи пробныхъ валовъ, или еще лучше, при не очень толстыхъ валахъ, на самомъ дѣйствительномъ валу.

Для употребляемыхъ въ настоящее время матеріаловъ для валовъ величина  $G$  колеблется очень мало. Такъ, по сообщенію Фрама отъ 1902 года <sup>25)</sup> 9 пробныхъ валовъ изъ сименсъ-мартеповской стали отъ трехъ различныхъ заводовъ дали при очень малыхъ отклоненіяхъ отдѣльныхъ чиселъ величину  $G=828000$  кгр./см.<sup>2</sup>. Діаметръ валовъ былъ 60 мм., разрывающая нагрузка  $40 \div 47$  кр./мм.<sup>2</sup> при удлиненіи свыше 20 %. Два другихъ вала изъ того же матеріала, но съ діаметромъ въ 175 мм., разрывающей нагрузкой 44 до 50 кр./мм.<sup>2</sup> и удлиненіемъ свыше 20% дали  $G=820200$  кгр./см.<sup>2</sup> и  $G=838900$  кгр./см.<sup>2</sup>, въ среднемъ 829600 кгр./см.<sup>2</sup>. Болѣе значительное отклоненіе отъ средней величины, составляющее все же лишь около 1,1%, объясняется тѣмъ, что оба вала были сдѣланы изъ различныхъ частей одной и той же болванки, которыя, какъ извѣстно, обладаютъ различнымъ строеніемъ.

Далѣе, 4 вала изъ тигельной стали, испытанные въ 1904 г. Феттингеромъ <sup>26)</sup>, дали въ среднемъ  $G=828800$  кгр./см.<sup>2</sup>, при наибольшемъ отклоненіи отдѣльныхъ чиселъ въ 0,45%; діаметръ этихъ валовъ былъ 160 мм.; валы были изготовлены изъ различныхъ болванокъ.

Наконецъ, 12 валовъ съ діаметромъ  $D=250$  мм., съ внутреннимъ сверленіемъ, и 4 вала съ  $D=273$  мм., тоже полыхъ (къ сожалѣнію, не указаны діаметры внутренняго сверленія) изъ сименсъ-мартеповской стали, изготовленные и испытанные на англійскихъ заводахъ, дали по сообщенію Б. Гопкинсона <sup>27)</sup> въ среднемъ  $G=847100$  кгр./см.<sup>2</sup>, при чемъ отклоненія отъ средней величины были въ предѣлахъ  $\pm 1,4\%$ .

$G$  этихъ англійскихъ валовъ всего на 2-3% больше  $G$  указанныхъ выше нѣмецкихъ валовъ, что отчасти, можетъ быть, объясняется, тѣмъ, что валы были полые; къ тому же измѣреніе внутренняго діаметра сопряжено съ неособенно большой точностью.

<sup>25)</sup> Z. V. d. I. 1902, S. 801.

<sup>26)</sup> Forsch. H. 25, 1905, S. 53.

<sup>27)</sup> Trans. Inst. Nav. Arch., 1910, vol. LI, p. 184.

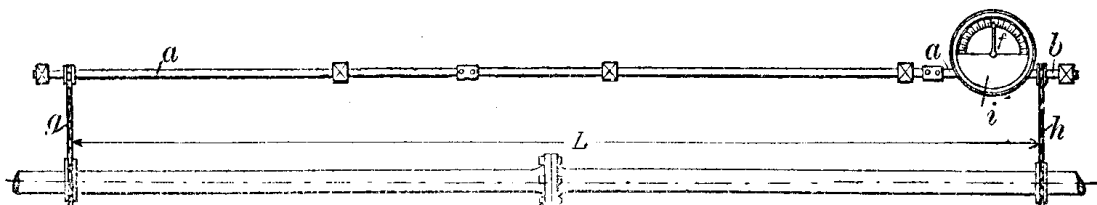
Чтобы дать понятіе о подлежащихъ измѣренію величинахъ  $\phi$  можно привести слѣдующій примѣръ: валъ судовой турбины, развивающей при  $n=600$  обор./мин.  $N_e=5000$  д. л. с., имѣетъ въ діаметрѣ 220 мм. На длинѣ  $L=10$  м. уголъ крученія  $\phi=0,0242$ , или  $1^{\circ}13'12''$ . Если измѣрять крученіе по длинѣ дуги на окружности вала, то это соотвѣтствуетъ  $s=2,66$  мм.

Точное измѣреніе столь малыхъ величинъ и составляло одно изъ главныхъ затрудненій при пользованіи этимъ способомъ.

Не останавливаясь на болѣе старыхъ способахъ измѣренія, хотя нѣкоторые изъ нихъ и дали довольно удовлетворительные результаты, перейдемъ къ современнымъ способамъ и приборамъ.

Во-первыхъ, полезно разбить всѣ существующіе способы на основныя группы, которыхъ можно насчитать 3: на чисто механическіе, оптическіе и электрическіе.

**12. Механическіе индикаторы.** — На черт. 86 показанъ общій видъ всего приспособленія Колли<sup>28)</sup>, на черт. 87, стр. 65, въ болѣе крупномъ масштабѣ самый измѣрительный приборъ.



Черт. 86.

На главномъ валу насажены два зубчатыхъ колеса, которыя при помощи галлевскихъ цѣпей  $g$  и  $h$  и двухъ соотв. шестеренъ приводятъ во вращеніе вспомогаельные валики  $a$  и  $b$ , соединенные подъ указательнымъ приборомъ  $i$  при помощи двухоборотнаго прямоугольнаго винта и муфты  $c$ , одинъ конецъ которой образуетъ гайку, а другой соединенъ съ валомъ  $b$  длинной шпонкой, вдоль которой онъ можетъ свободно перемѣщаться; муфта  $c$  можетъ перемѣщать хомутикъ  $d$ , на веру котораго находится зубчатая рейка, сцѣпленная съ шестеренкой  $e$ , на оси которой сидитъ стрѣлка  $f$ .

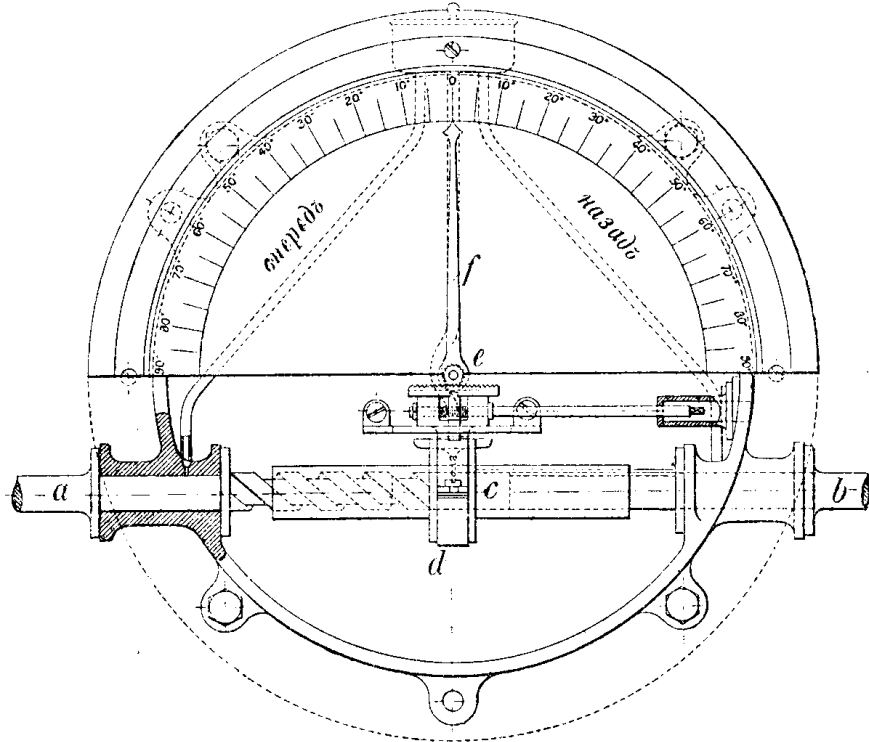
Когда валъ турбины вращается безъ нагрузки, муфта  $c$ , а съ ней и стрѣлка  $f$  находятся въ среднемъ положеніи. Когда валъ передаетъ извѣстный крутящій моментъ, онъ скручивается и черезъ посредство цѣпныхъ передачъ  $g$  и  $h$  поворачиваетъ валикъ  $b$  относительно валика  $a$ , вслѣдствіе чего муфта  $c$  перемѣщается вправо или влево, въ зависимости отъ направленія вращенія турбиннаго вала, и поворачиваетъ въ ту или другую сторону стрѣлку  $f$ . Шкала, по которой ходитъ стрѣлка  $f$ , раздѣлена на градусы и показываетъ въ увеличенномъ масштабѣ уголъ крученія турбиннаго вала, а, слѣдовательно, по ур-ю (23) въ связи съ ур-ями (21 и (22) и соотвѣтствующую работу  $N_e$ .

<sup>28)</sup> Eng. 1908. LXXXV, p. 196.



Увеличеніе масштаба шкалы достигается тремя способами: передачнымъ числомъ въ цѣпныхъ передачахъ  $g$ ,  $h$ , крутымъ шагомъ винта въ муфтѣ  $c$  и зубчатой передачей  $e$ .

Однимъ и тѣмъ же приборомъ можно пользоваться для различныхъ валовъ, градуируя лишь заново шкалу, или вѣрнѣе, устанавливая цѣную ея дѣленій въ зависимости отъ діаметра вала и длины его  $L$  между цѣпными передачами.



Черт. 87.

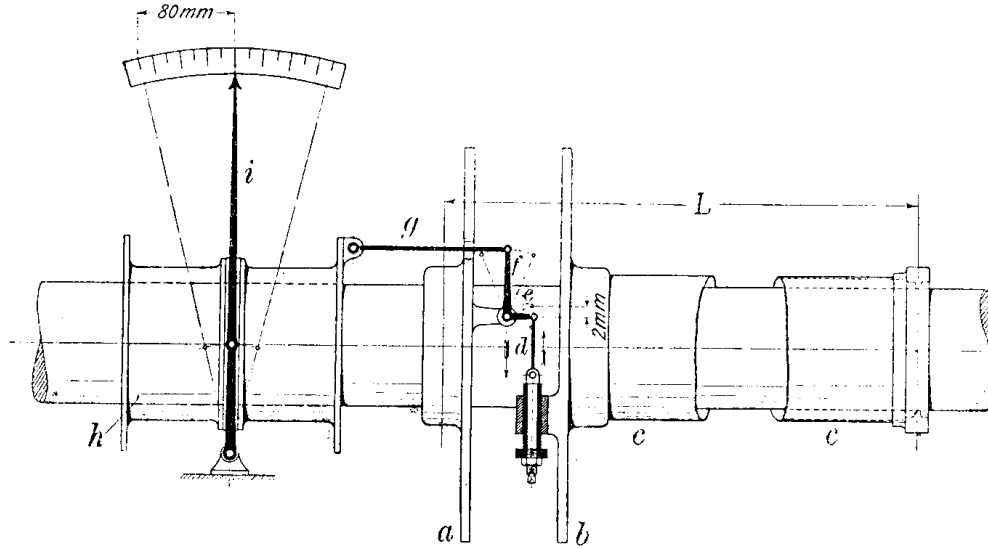
Приборъ Колли удобенъ для тѣхъ случаевъ, когда турбинный валъ доступенъ лишь на нѣкоторыхъ частяхъ, такъ какъ ось валиковъ  $a$  и  $b$  можетъ лежать на произвольномъ разстояніи отъ него. Другое достоинство его непосредственное опредѣленіе искомой работы; нѣкоторый недостатокъ—отсутствіе записи.

Совершенно по другой схемѣ построены индикаторы крученія Феттингера, много поработавшаго надъ ихъ конструкціей и создавшаго нѣсколько типовъ ихъ въ зависимости отъ ихъ назначенія и предъявляемыхъ требованій.

На черт. 88 изображенъ полусхематически одинъ изъ индикаторовъ Феттингера<sup>29)</sup>: на турбинномъ валу закрѣпляются два диска  $a$ —непосредственно на валу и  $b$ —на концѣ желѣзной трубы  $c$ , закрѣпленной другимъ концомъ на валу и концентрически его охватывающей безъ касанія къ нему. Уголъ крученія вала на длинѣ  $L$  передается въ видѣ от-

<sup>29)</sup> Forsch. H. 25, S. 73.

носительнаго поворачиванія дисковъ *a* и *b*; при помощи рычажнаго механизма *defg* это перемѣщеніе передается въ увеличенномъ масштабѣ муфтѣ *h*, могущей перемѣщаться вдоль вала. На муфтѣ *h* имѣется выточка, въ которую заложено разъемное кольцо, получающее лишь поступательное движеніе вправо и влево и передающее его стрѣлкѣ *i* съ неподвижной осью качанія внизу. Въ дѣйствительномъ приборѣ поворачиваніе диска *b* относительно диска *a* на 2 мм., считая на окружности



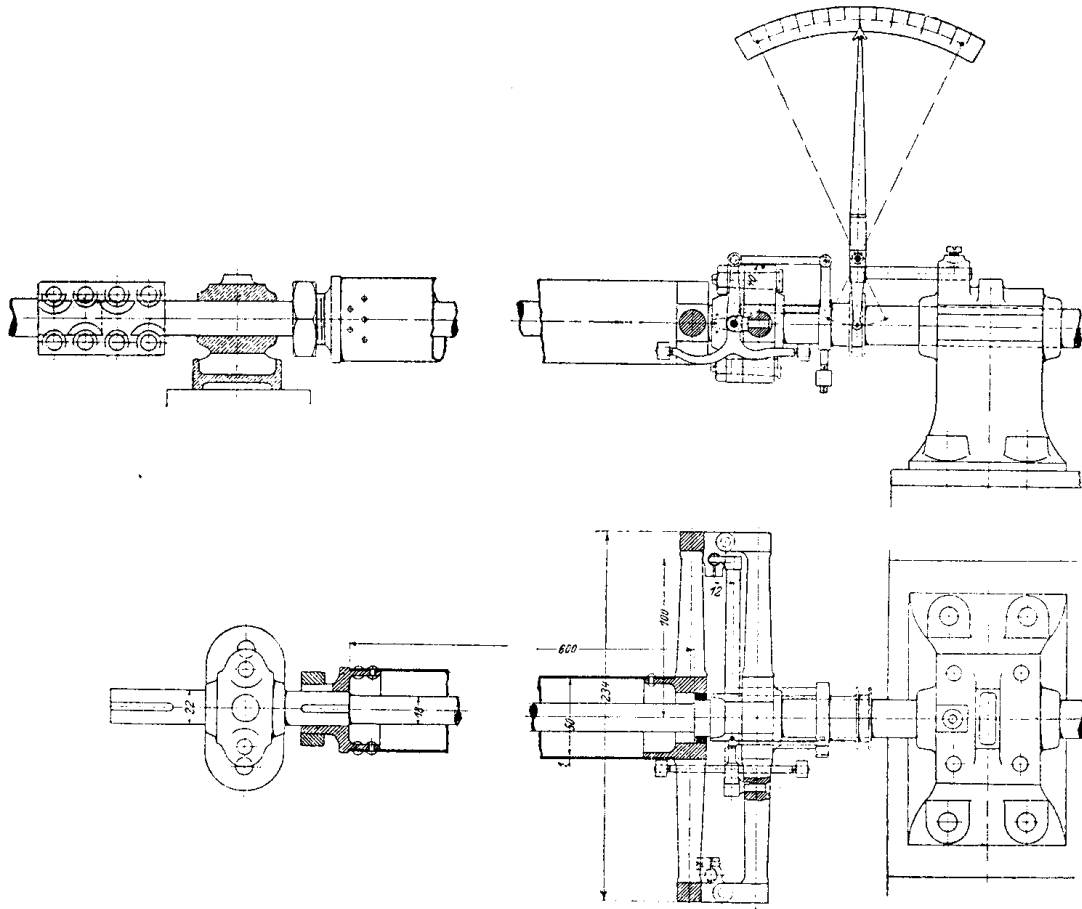
Черт. 88.

дисковъ, даетъ отклоненіе конца стрѣлки *i* на 80 мм. Такое значительное увеличеніе позволяет брать сравнительно небольшую длину вала *L*, что весьма существенно при испытаніи судовыхъ турбинъ, у которыхъ трудно имѣть гребной валъ свободнымъ на значительной длинѣ.

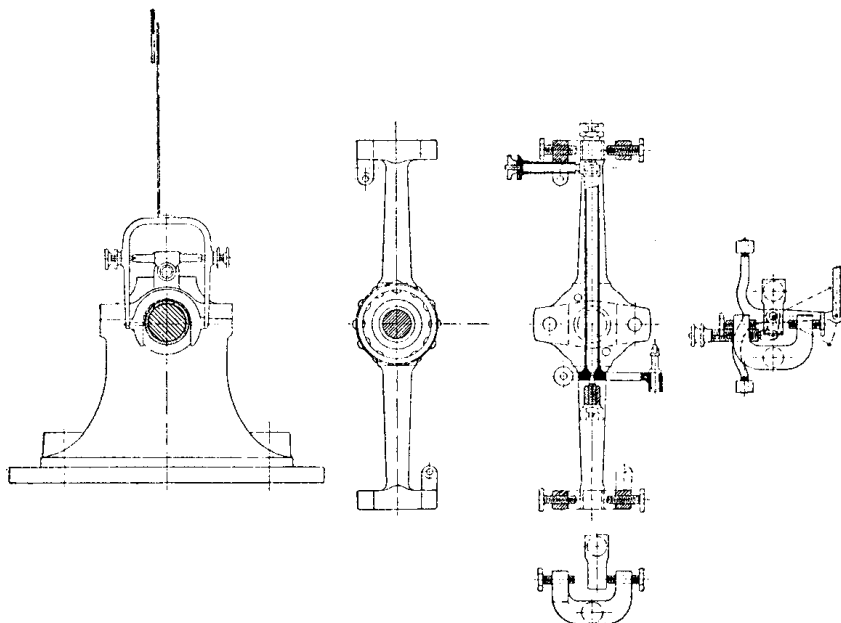
Указанная простая схема въ дѣйствительномъ приборѣ требуетъ цѣлаго ряда конструктивныхъ деталей, которыя можно усмотрѣть изъ черт. 89—95, представляющихъ приборъ, построенный для опытовъ съ лодкой, имѣвшей двигательъ въ  $6 \times 2$  д. л. с. при  $n=300$  и до  $n=3000$  обор./мин. Чертежи эти поняты безъ дальнѣйшихъ поясненій.

По тому же типу Феттингеромъ были построены индикаторы крученія для судовыхъ турбинныхъ установокъ въ 6000 и 10000 д. л. с. При сличеніи такого индикатора при работѣ турбины въ 3000 л. с. съ показаніями водяного тормоза по черт. 67 средняя разность ихъ показаній изъ 48 отчетовъ составляла 0,04%, а наибольшая около 0,29%, что показываетъ замѣчательную точность прибора.

Индикаторъ крученія Феттингера легко снабдить записывающимъ приспособленіемъ, черт. 96, стр. 68: стрѣлка *g* снабжается карандашомъ, который обращенъ къ валу и чертитъ на бумагѣ, прикрѣпляемой къ барабану *n*; послѣдній перемѣщается по направляющей *o*, но самъ во вращеніи не участвуетъ. Зная на діаграммѣ положеніе нулевой линіи, т. е. среднее положеніе рычага съ карандашомъ, и масштабъ записи,



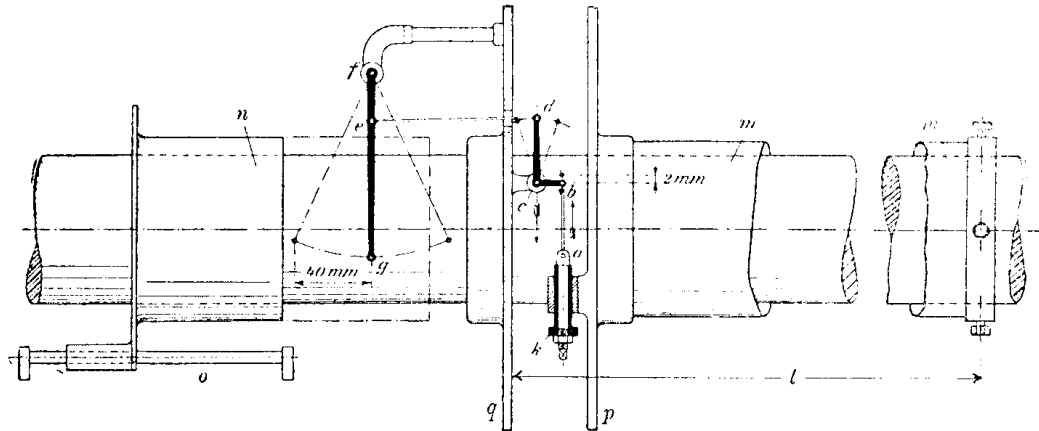
Черт. 89—90.



Черт. 91—95.

нетрудно по величинѣ ординатъ опредѣлить работу, передаваемую валомъ.

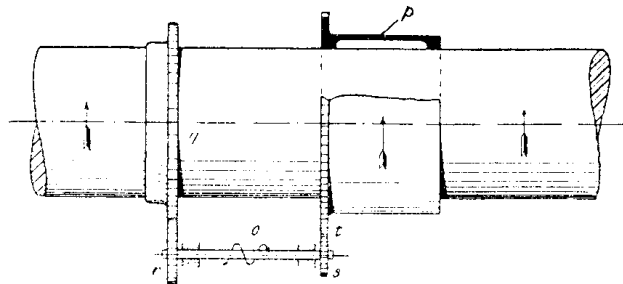
Что касается получения діаграммъ, то нужно замѣтить, что нѣкоторыя затрудненія представляетъ значительная скорость движенія карандаша. Графитовый карандашъ на писчей бумагѣ примѣнимъ для скоростей до  $1,0 \div 1,2$  м./сек.. Штифтъ изъ твердой латуни даетъ удовлетворительную діаграмму на плотной индикаторной (освинцованной) бумагѣ



Черт. 96.

при скоростяхъ до  $3,0 \div 4,0$  м./сек.; важно лишь, чтобы остріе карандаша было наклонно къ бумагѣ. У крупныхъ турбинъ діаметръ вала столь значителенъ, что скорость листа на діаграммномъ барабанѣ получается до  $6 \div 10$  м./сек. Въ этихъ случаяхъ приходится уменьшать скорость движенія карандаша по бумагѣ.

На черт. 97 представленъ образецъ схемы соотв. конструкции, по идеѣ напоминающей переборъ токарнаго станка: относительная скорость между остріемъ карандаша и бумагой уменьшается тѣмъ, что діаграм-



Черт. 97.

мный барабанъ  $p$  вращается въ томъ же направленіи, что и валъ съ карандашомъ, но лишь нѣсколько медленнѣе или быстрѣе. Достигается это при помощи цилиндрическихъ колесъ  $q$ ,  $r$ ,  $s$  и  $t$ ; колесо  $q$  закрѣплено на турбинномъ валу, а  $t$  составляетъ одно цѣлое съ діаграммнымъ барабаномъ  $p$ ; шестерни  $r$  и  $s$  закрѣплены на промежуточномъ валикѣ  $o$ . Передаточныя числа  $q/r$  и  $s/t$  выбираются такъ, чтобы барабанъ  $p$  дѣ-

лалъ 10 оборотовъ за 11, 12 или 13 оборотовъ турбиннаго вала, тогда относительная скорость движенія карандаша по диаграммному барабану уменьшится въ  $10 : (11 - 10) = 10$ , соотв.  $10 : (12 - 10) = 5$ , соотв.  $10 : (13 - 10) = 3\frac{1}{3}$  раза.

При конструктивномъ выполненіи такой схемы надо помнить, что для надѣванія и свиванія диаграммной бумаги надо имѣть возможность останавливать барабанъ и сдвигать его въ сторону. Этого можно достигнуть при помощи фрикціонной муфты между валикомъ *o* и однимъ изъ колесъ *r* или *s*.

Существуютъ и другіе способы уменьшенія скорости карандаша, но мы не станемъ о нихъ распространяться, въ виду того что для опредѣленія мощности турбинъ запись не имѣетъ существеннаго значенія и едва ли будетъ часто примѣняться.

Діаграммы необходимы при измѣреніи колеблющагося момента крученія, получающагося при поршневыхъ машинахъ; турбины даютъ настолько равномерный моментъ, что въ діаграммахъ необходимости обыкновенно нѣтъ. Правда, лопасти гребного винта могутъ давать нѣсколько колеблющійся моментъ крученія, съ другой стороны, при испытаніяхъ турбинъ такія діаграммы иногда желательны въ качествѣ документа.

Въ виду постоянства момента крученія турбинъ при ихъ испытаніяхъ нѣтъ также основанія пользоваться и интегрирующимъ индикаторомъ крученія, представляющимъ изъ себя соединеніе индикатора Феттингера съ роликовымъ планиметромъ.

Въ заключеніе опишемъ еще слѣдующія двѣ своеобразныя конструкціи индикаторовъ крученія.

Довольно распространеннымъ является индикаторъ крученія Дэни-Эджкомбъ, черт. 98<sup>30)</sup>, стр. 70: онъ состоитъ изъ чугунной, разъемной по осевой плоскости трубы *a*, однимъ концомъ закрѣпленной на турбинномъ валу, а на другомъ концѣ имѣющей фланецъ, растянутый въ видѣ двухъ рукоятокъ *b* и *c*. На одной рукояткѣ, *b*, прикрѣпленъ зубчатый механизмъ, сцѣпленный съ зубчатымъ секторомъ, находящемся на чугунной рукояткѣ *d*, неподвижно закрѣпленной на валу. Рукоятки *c* и *e* служатъ лишь для уравновѣшиванія рукоятокъ *b* и *d*.

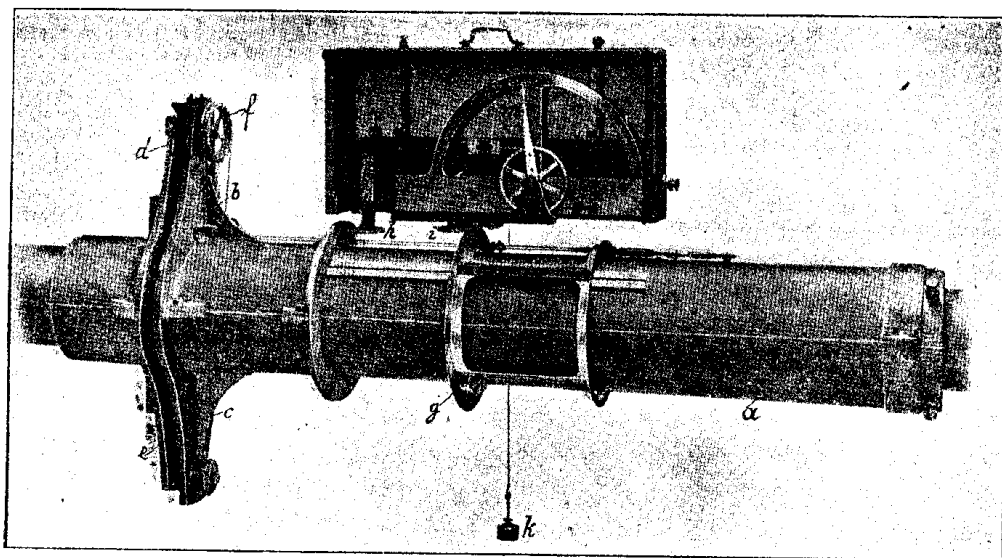
При поворачиваніи рукоятки *b* относительно *d* зубчатый механизмъ поворачиваетъ въ увеличенной степени легкій алюминіевый барабанъ *f*, который перемѣщаетъ при этомъ при помощи безконечной гибкой проволоки и соотв. роликовъ легкую алюминіевую ползушку *g*, свободно перемѣщающуюся вдоль оси вала.

На трубѣ *a* и ползушкѣ *g* имѣются тщательно обточенные фланцы, къ которымъ прилегаютъ упорный роликъ *h*, устанавливающий мѣстоположеніе указательнаго механизма, и роликъ *i*, прижимасмый къ фланцу ползушки при помощи перекинутого черезъ блокъ грузика *k*.

<sup>30)</sup> Eng. 1909, p. 471.

Роликъ *i* прикрѣпленъ къ ползушкѣ съ гибкой проволокой, огибающей легкой шкивокъ *l* и поворачивающей его вмѣстѣ съ прикрѣпленной къ нему стрѣлкой *m*. Шкала градуируется такъ же, какъ у описаннаго выше прибора Колли.

Когда отчеты не производятся, можно, отодвигая роликъ *i*, какъ бы арретировать указательный приборъ и запираеть ящикъ, въ которомъ онъ находится. Послѣдній, конечно, прикрѣпляется прочно къ полу или стѣнѣ помѣщенія.



Черт. 98.

Фирма, строящая индикаторъ Денни-Эджкомбъ, снабжаетъ его по желанію также и самозаписывающимъ приспособленіемъ.

Наконецъ, можно еще упомянуть объ индикаторѣ крученія Гари-Кеммингсъ, которымъ пользовались весной 1912 г. при испытаніяхъ новейшаго линейнаго корабля С.-А. С. Ш. „Флорида“ съ турбинами Парссенса<sup>31)</sup>: измѣрительная труба, длиной около 4,3 м., пропущена черезъ просверленный гребной валъ; одинъ конецъ трубы закрѣпляется въ валу при помощи 3 выступающихъ изъ нея стальныхъ шиповъ, нажимаемыхъ на стѣнки вала при помощи клина, вкалываемаго въ трубу; на другомъ концѣ трубы находится рычагъ, высовывающійся черезъ прорѣзь, выфрезованную въ фланцѣ вала; при скручиваніи вала рычагъ этотъ отклоняетъ другой рычагъ, расположенный на высотѣ фланца и снабженный карандашами на обоихъ концахъ: если къ кожуху, изъ котораго лишь немного выступаютъ эти карандаши, приложить листъ бумаги, то на немъ получатся двѣ линіи, разстояніе между которыми является мѣркой крученія вала. По виду этихъ линій можно также судить и объ измѣненіяхъ величины крутящаго момента за одинъ оборотъ вала.

<sup>31)</sup> Z. V. d. I. 1912, S. 1219.

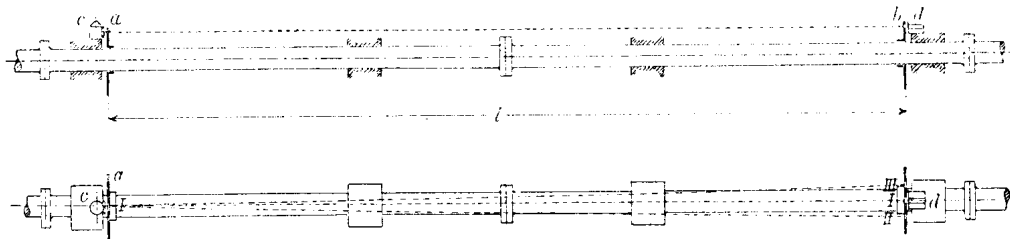
**13. Оптическіе индикаторы.**—Приборы эти по конструкціи являются одними изъ наиболѣе простыхъ, а при введеніи увеличительнаго приспособленія и самыхъ точныхъ, по крайней мѣрѣ при испытаніи турбинъ.

Однимъ изъ первыхъ оптическихъ способовъ измѣренія угла крученія явилось сочетаніе уже знакомой намъ трубы, охватывающей валъ, съ дисками довольно значительнаго радіуса на свободномъ концѣ трубы и рядомъ на валу; въ дискахъ находятся прорѣзы, образующія небольшой уголъ съ направлениемъ радіуса и наклоненныя въ разныя стороны. Прорѣзы пересѣкаются примѣрно на срединѣ радіуса и образуютъ окошечко, черезъ которое виденъ находящійся за дисками источникъ свѣта. При быстромъ вращеніи свѣтящееся окошечко будетъ казаться яркимъ кругомъ на темномъ фонѣ. При поворачиваніи одного диска относительно другого діаметръ этого круга будетъ возрастать или уменьшаться въ зависимости отъ величины передаваемого момента и направленія вращенія. Измѣряя діаметръ свѣтящагося круга и зная законъ его измѣненія въ зависимости отъ крутящаго момента, можно опредѣлить величину момента.

Недостатки этого способа—трудность точнаго измѣренія діаметра свѣтящагося круга и недостаточная чувствительность для измѣренія малыхъ измѣненій угла крученія.

Видоизмѣненіемъ этого способа является индикаторъ крученія Бевисъ-Джибсона, одинъ изъ первыхъ получившій практическое примѣненіе при опредѣленіи мощности судовыхъ турбинъ.

Дѣйствіе его можно пояснить по черт. 99 и 100<sup>22)</sup>: на турбинномъ валу, на разстояніи  $l$  одинъ отъ другого, закрѣплены два диска  $a$  и  $b$  съ небольшими отверстиями близъ окружности, при чемъ эти отверстия при отсутствіи крученія лежатъ на прямой, параллельной оси вала;



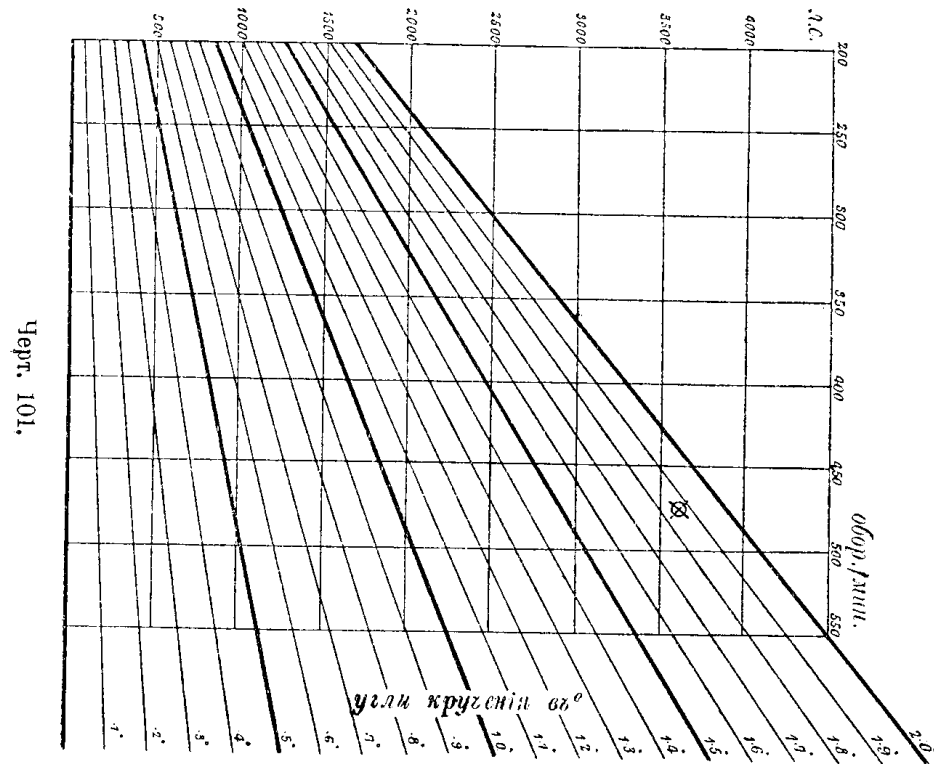
Черт. 99 и 100.

передъ дискомъ  $a$  стоитъ неподвижный фонарь съ сильной электрической лампой и съ отверстиемъ противъ отверстия въ дискѣ, передъ дискомъ  $b$  стоитъ искатель  $d$ —зрительная труба съ діафрагмой передъ объективомъ; когда валъ не скрученъ, всѣ 4 отверстия: въ фонарь  $c$ , въ обоихъ дискахъ  $a$  и  $b$  и діафрагма искателя  $d$  находятся на одной прямой, и при вращеніи вала разъ за каждый оборотъ въ окулярѣ  $d$  будетъ виденъ лучъ свѣта I—I; вслѣдствіе того, что сѣтчатая оболочка глаза сохраняетъ впечатлѣніе въ теченіе  $1/10$ — $1/5$  сек., начиная отъ 300 обор./мин. и выше, свѣтъ будетъ виденъ безъ миганія.

<sup>22)</sup> Engng. 1908, p. 197; Eng. 1908, p. 506.

Когда валъ передастъ извѣстный крутящій моментъ, дискъ поворачивается относительно  $a$ , и лучъ свѣта, получивъ направленіе I—II или I—III, въ зависимости отъ направленія вращенія вала, не попадаетъ въ искатель  $d$ ; но если послѣдній подать въ сторону, такъ чтобы всѣ 4 отверстія опять оказывались на одной прямой, хотя и не лежащей въ одной плоскости съ осью вала, свѣтъ станетъ опять виденъ.

Измѣривъ въ градусахъ величину, на которую пришлось передвинуть искатель, и зная разстояніе  $l$ , нетрудно опредѣлить уголъ крученія вала, а по нему и моментъ крученія и передаваемую работу. На практикѣ работу машины опредѣляютъ по отчету искателя и измѣренному числу оборотовъ въ видѣ ординаты по составленной заранѣе діаграммѣ. Образецъ такой діаграммы данъ на черт. 101 для вала 185 мм. въ диаметрѣ и разстояніи  $l=5677$  мм.



На черт. 102 показанъ фотографическій снимокъ съ искателя:  $d$  зрительная труба,  $e$  лупа, въ которую дѣлаютъ отчетъ по шкалѣ  $f$ , раздѣленной на градусы и сотыя доли его;  $c$  передвигается вмѣстѣ съ  $d$  при помощи микрометричнаго винта. При обычномъ разстояніи отъ оси вала до шкалы около 350 мм.  $1^\circ$  соответствуетъ дуга около 6 мм., а  $0,01^\circ$  отчетъ около 0,06 мм.; такой отчетъ нетрудно сдѣлать съ достаточной точностью при помощи ноніуса и лупы.

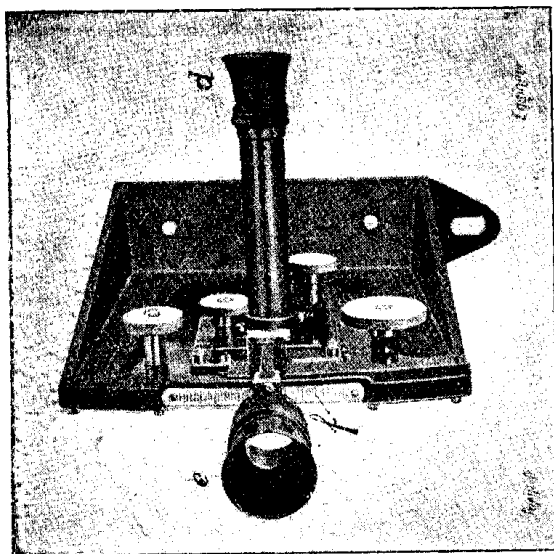
При разстояніи  $l=6\div 15$  м., считая уголъ крученія вала при полной нагрузкѣ турбины на этой длинѣ въ  $1,0\div 2,0^\circ$  и точность установки искателя въ  $0,01^\circ$ , равную точности отчета лупой, получаемъ возмож-



ную ошибку въ отчетѣ, а, слѣдовательно, и въ опредѣленіи работы  $\pm 0,5 \div 1,0\%$ .

Точность установки искателя зависитъ, конечно, отъ величины отверстій въ  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и  $d$ ; въ тщательно исполненномъ приборѣ отверстия дѣлаются настолько малыми, что передвиганіе трубы на  $0,01^\circ$  въ ту или другую сторону отъ положенія ясно видимаго свѣта заставляеть его уже исчезнуть. Разумѣется, сила свѣта лампы должна быть для этого значительно увеличена.

Описанный приборъ является однимъ изъ самыхъ надежныхъ и простыхъ. Его главный недостатокъ—необходимость имѣть свободную длину вала въ 12-15 м. и не менѣе 6 м.



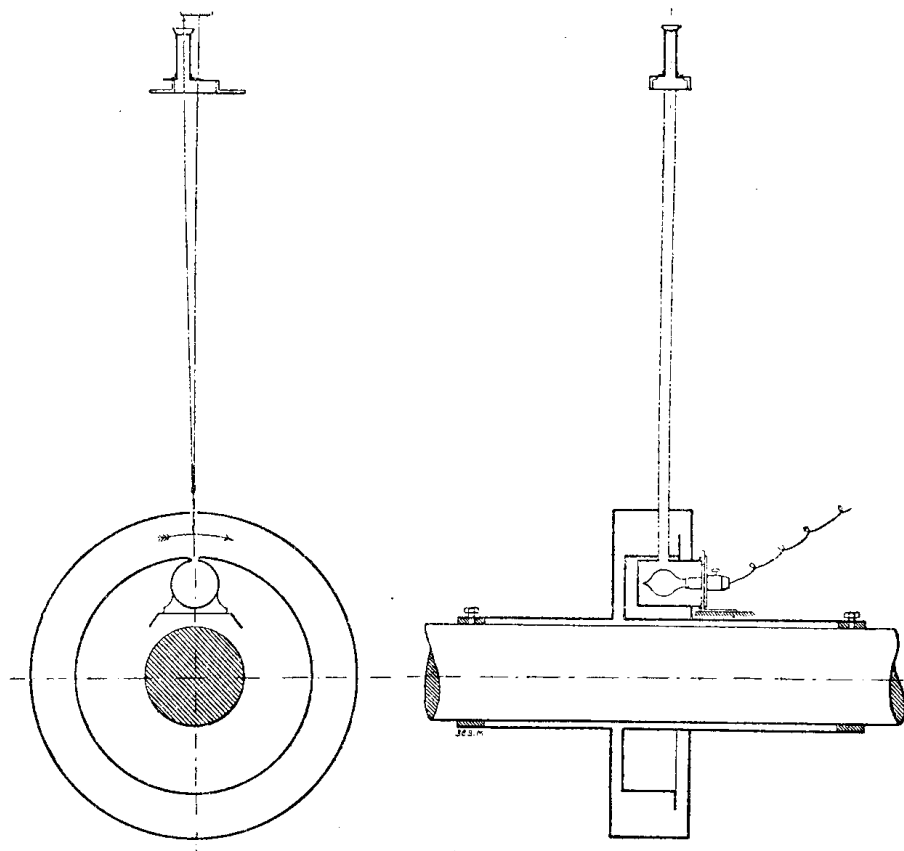
Черт. 102.

На черт. 103 и 104, стр. 74, изображена схема динамометра Бэвисъ-Джибсона такъ назыв. радиальной конструкціи<sup>33)</sup>, въ которой при помощи примѣненія 2 трубъ и радиальнаго направленія луча уменьшена требуемая длина вала, и достигнута возможность установки прибора въ очень тѣсномъ помѣщеніи; лучъ свѣта пускается вверхъ на палубу. Дѣйствіе прибора понятно безъ длинныхъ объясненій: диски съ отверстиями замѣнены концентрическими барабанами съ отверстиями на цилиндрической поверхности. Лампочка получаетъ токъ при помощи скользящихъ контактовъ. Искатель такой же конструкціи, какъ и у предыдущаго прибора, но съ отверстиями въ діафрагмѣ всего въ 0,5 мм. Обращеніе съ приборомъ тоже отъ описаннаго выше ничѣмъ не отличается.

Разстояніе между свѣченіями вала, къ которымъ прикрѣплены трубы, можно брать всего въ 1000 мм., даже до 700 мм., но ради точности отчетовъ желательно діаметръ наружнаго барабана имѣть возможно большимъ. Точность отчетовъ съ этимъ приборомъ удалось довести

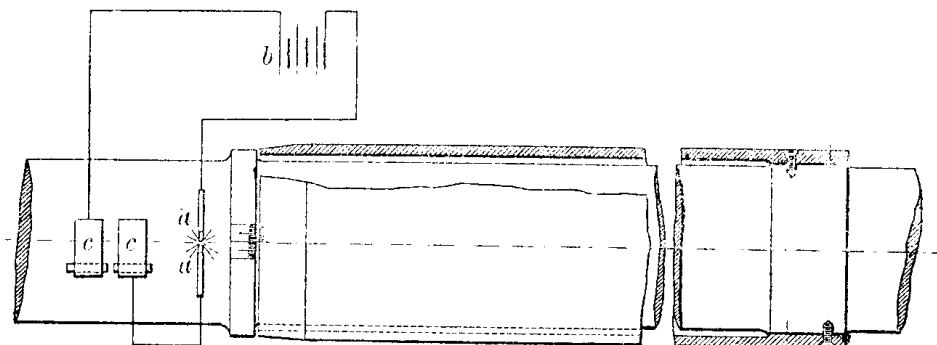
<sup>33)</sup> Engng. 1908, LXXXV, p. 199; Eng. 1908, p. 615.

до  $\pm 0,001^\circ$ , что соответствует напр. при измѣряемой длинѣ вала всего въ 900 мм., дающей общее отклоненіе искателя около  $0,2^\circ$ , точности въ  $\pm 0,5\%$ , т. е. не меньше предыдущаго прибора.



Черт. 103 и 104.

Чрезвычайной же простотой конструкціи отличаются также динамометры крученія Амслеръ-Лаффонъ. На черт. 105 изображенъ схематически приборъ для большой судовой турбины<sup>34)</sup>: уголъ поворота сво-



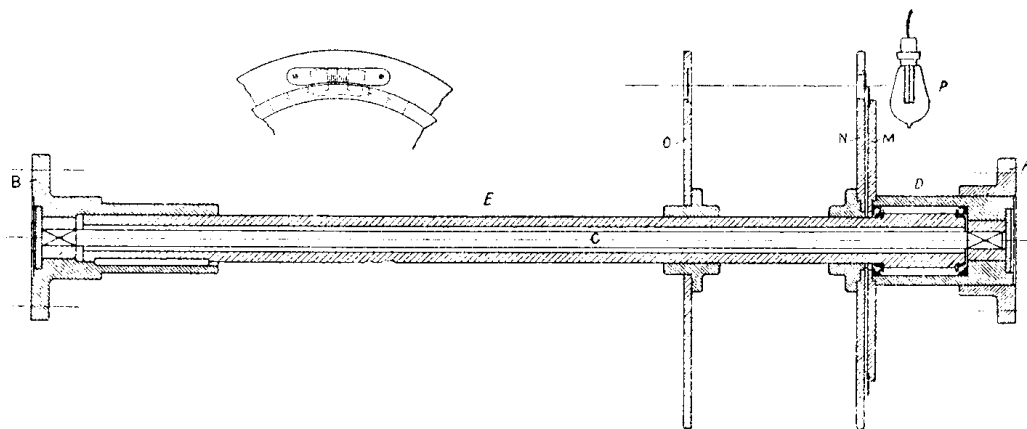
Черт. 105.

боднаго конца трубы, закрѣпленной другимъ концомъ на валу, относительно обварка или фланца на послѣднемъ измѣряется при помощи дѣлений, нанесенныхъ на валу, и нониуса, нанесеннаго на концѣ трубы.

<sup>34)</sup> Engng. 1908, LXXXV, p. 197.

Вопросъ, какъ прочесть показанія шкалы во время вращенія, разрѣшается слѣдующимъ образомъ: противъ шкалы находятся два металлическихъ стержня *a, a*, между которыми проскакиваетъ искра, отъ тока, идущаго отъ гальванической батареи *b*; токъ замыкается на одно мгновеніе при каждомъ оборотѣ вала при помощи находящихся на послѣднемъ контрактовъ *c, c* какъ разъ въ то время, когда шкала находится противъ стержней *a, a*. Вслѣдствіе мгновенности перескакиванія искры, освѣщающей шкалу, послѣдняя кажется стоящей неподвижно, и легко произвести требуемый отчетъ; при этомъ, начиная примѣрно отъ 300 обор./мин. и выше, даже не замѣтно миганія освѣщенія.

Для измѣренія менѣе значительной работы заводъ строитъ отдѣльные динамометры по той же идеѣ, но нѣсколько упрощенной конструкціи <sup>35)</sup>. На черт. 106 показанъ примѣрно въ  $\frac{1}{12}$  нат. вел. динамометръ



Черт. 106 и 107.

для небольшой паровой турбины, передающей моментъ крученія до 25 кгр. м., т. е. до 100 д. л. с. при 3000 обор./мин.: крутящій моментъ передается стальнымъ стержнемъ *C*, квадратные концы котораго закрѣплены при помощи футорокъ въ фланцахъ *A* и *B*. Одинъ изъ фланцевъ присоединяется къ турбинѣ, а другой къ динамо или центробѣжному насосу. Съ фланцемъ *A* соединенъ при помощи чугунной втулки *D* дискъ *M*, съ фланцемъ *B* при помощи трубы *E* дискъ *N*; во избѣжаніе дрожанія трубы *E* она соединена съ *D* при помощи двухъ шариковыхъ подшипниковъ. Въ дискахъ *M* и *N* сдѣланы прорѣзы, закрытыя прозрачными целлулоидными пластинками; на одной нанесена шкала, а на другой нониусъ, черт. 107. Чтобы прочесть по нимъ уголъ поворота одного диска относительно другого конструкторъ воспользовался идеей стробоскопа: на трубѣ *E* укрѣпленъ третій дискъ *O* съ небольшимъ окошечкомъ, а сзади диска *M* ставится электрическая лампочка *P*. При быстромъ вращеніи въ глазъ наблюдателя, находящійся передъ дискомъ *O*, при каждомъ оборотѣ будетъ попадать лучъ свѣта, а съ нимъ и изображеніе прозрачныхъ целлулоидныхъ шкалъ въ *M* и *N*, которыя бу-

<sup>35)</sup> Z. Turb. 1911, S. 132; Z. V. d. I. 1912, S. 1327.

дуть казаться неподвижными и достаточно освѣщены, чтобы прочесть ихъ показанія.

Къ показаніямъ этого динамометра, дающимъ полезную работу, слѣдуетъ прибавлять, по крайней мѣрѣ при небольшихъ передаваемыхъ моментахъ крученія и большихъ числахъ оборотовъ, потерю работы въ самомъ динамометрѣ, главнѣйшая часть которой состоитъ изъ работы тренія диска  $M$  о воздухъ; работа дисковъ  $N$  и  $O$  входитъ сама собой въ показанія прибора.

Работу тренія о воздухъ  $N_r$  д. л. с. можно согласно опытамъ Стодоля вычислять по выраженію

$$N_r = 0,00000458 D^3 n^2 \gamma, \quad (24)$$

гдѣ  $D$  діаметръ диска въ м.,  $n$  число обор./мин.,  $\gamma$  удѣльный вѣсъ среды въ кгр./м.<sup>3</sup>; для воздуха можно считать  $\gamma = 1,188$  кгр./м.<sup>3</sup>.

Для указаннаго на черт. 106 динамометра при  $n = 3000$ ,  $N_r = 0,12$  д. л. с., величина, которой не слѣдуетъ пренебрегать.

Мѣняя стержень  $C$  и беря его различной толщины, можно получать требуемую чувствительность въ зависимости отъ большаго или меньшаго момента крученія. Опредѣленіе масштаба шкалы для разныхъ стержней лучше всего производить непосредственными опытами, какъ будетъ указано ниже, когда будетъ сказано вообще о провѣркѣ индикаторовъ крученія.

Чтобы при случайномъ возрастаніи нагрузки стержень  $C$  не подвергся чрезчуръ сильному крученію, дающему остаточныя деформации, конецъ трубы  $E$  и втулки во фланцѣ  $A$  снабжены выступами-упорами, благодаря которымъ избыточная часть крутящаго момента воспринимается трубой  $E$ .

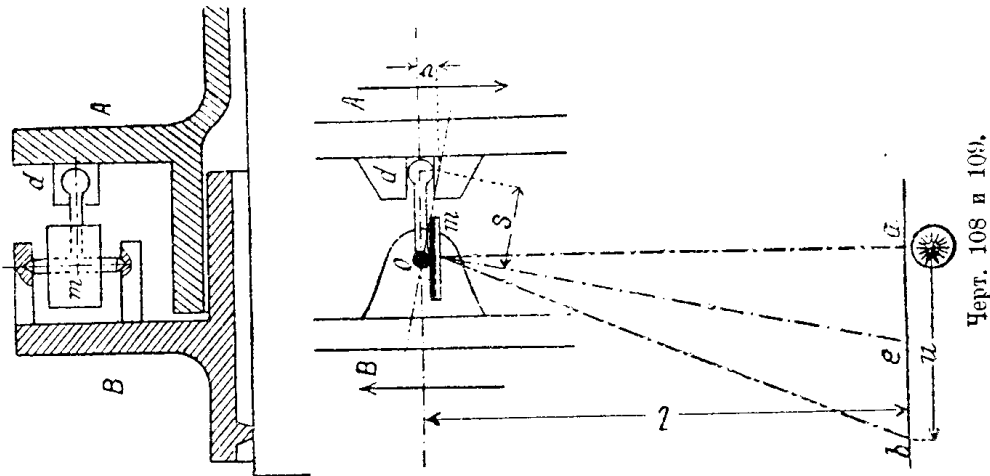
Динамометры этого типа работаютъ хорошо. Ихъ главный недостатокъ—нѣсколько малая точность показаній, вѣриѣе, слишкомъ грубая шкала въ виду отсутствія какого-либо увеличительнаго приспособленія, необходимаго для лучшаго обнаруженія небольшихъ угловъ поворачиванія одного диска относительно другого, и довольно значительная длина.

Изъ другихъ приборовъ опишемъ индикаторы крученія Гопкинсона и Фрама, являющіеся собственно сочетаніемъ свѣтовыхъ съ механическими приспособленіями.

Главная часть индикатора Гопкинсона-Срингъ<sup>36)</sup>, выясняющая его идею, изображена схематически на черт. 108 и 109: подобно многимъ изъ описанныхъ выше приборовъ къ турбинному валу прикрѣпляется труба, охватывающая валъ и оканчивающаяся фланцемъ  $A$ ; рядомъ расположенъ прикрѣпленный къ валу же фланецъ  $B$ ; къ послѣднему прикрѣплено небольшое зеркальце  $m$ , которое можетъ поворачиваться около оси  $o$ , направленной къ оси вала; сзади къ зеркальцу прикрѣпленъ рычажокъ, оканчивающійся шарикомъ; послѣдній находится между двумя зубьями  $d, d$ , прикрѣпленными къ фланцу  $A$ .

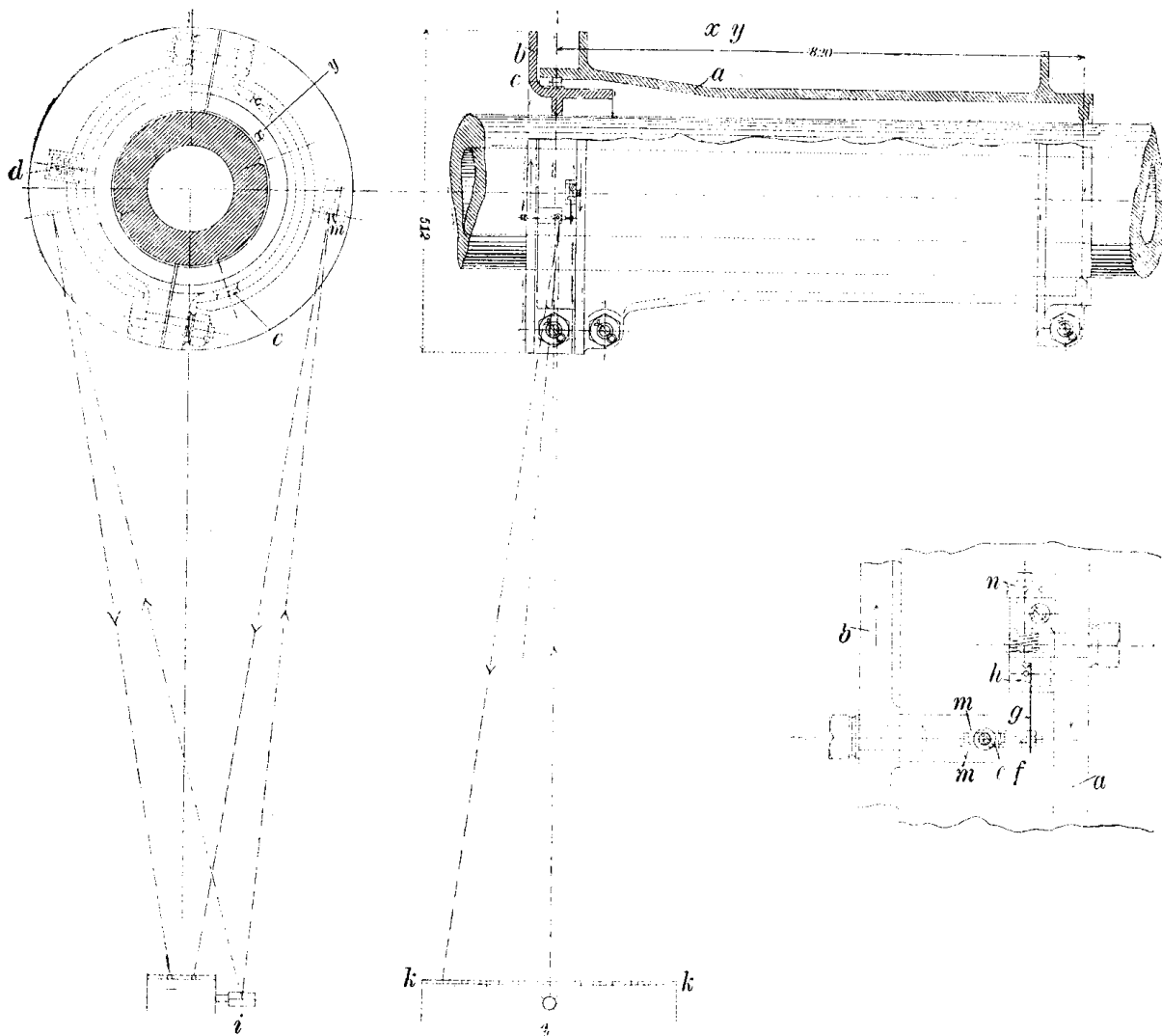
<sup>36)</sup> Trans. Inst. Nav. Arch., 1910, vol. LII, p. 184; Eng. 1908, p. 614; Buchetti, Nouveau guide pour l'essai des moteurs, 4-me edition; p. 152.

Пока валъ не передаетъ работы и, слѣдовательно, не скручивается, зеркальце  $m$  стоитъ въ плоскости, проходящей черезъ ось вала. При скручиваніи вала фланецъ  $A$  поворачивается относительно  $B$  и поворачиваетъ зеркальце  $m$ , на которое падаетъ лучъ свѣта изъ фонаря  $a$ . Если  $e-o$ , черт. 109, нормаль къ плоскости зеркала въ отклоненномъ положеніи, то отраженный лучъ упадетъ на шкалу  $a-b$  въ точкѣ  $b$ ; измеривъ разстояніе  $a-b=u$  и зная разстояніе  $l$  отъ фонаря до зеркала, нетрудно найти величину  $v$  поворота фланцевъ, а зная разстояніе отъ оси вала до центра шарика, и соотв. уголъ  $\varphi$ .



Конструктивное исполненіе индикатора Гопкинсона-Сринга для валовъ отъ 200 до 300 мм. въ діаметрѣ показано на черт. 110 и 111, стр. 78, примѣрно въ  $\frac{1}{12}$  натур. вел.. Въ виду тонкихъ стѣнокъ чугунной трубы  $a$  и воротника  $b$  для предотвращенія дрожанія прибора устроены двѣ пары выступовъ  $c, c$ , прижимаемыхъ другъ къ другу пружиной  $d$  и служащихъ направляющими при поворачиваніи конца  $a$  относительно  $b$ . Самый зеркальный приборъ устроенъ нѣсколько иначе, чѣмъ на указанной выше схемѣ: съ обѣихъ сторонъ металлической рамки, могущей поворачиваться около оси  $e$ , черт. 112, прикрѣплено по небольшому зеркальцу  $m, m$ ; при перемѣщеніи конца  $a$  относительно  $b$  гибкая стальная пластинка  $g$ , прикрѣпленная однимъ концомъ къ бобышкѣ  $h$ , повернутой къ  $a$ , а другимъ къ рычагу  $f$ , составляющему продолженіе рамки съ зеркальцами, поворачиваетъ послѣднюю относительно оси  $e$ . Гайка  $n$  служитъ для установки луча на 0 шкалы, а точно измеренный шагъ нарѣзки  $n$  позволяетъ также опредѣлять величину относительнаго перемѣщенія  $a$  и  $b$ . Примѣненіе двухъ зеркалецъ даетъ двукратный отчетъ: отъ одного зеркальца лучъ отъ лампы  $i$  попадаетъ на стеклянную шкалу  $k-k$  при удаленіи отъ шкалы, на черт. 111 онъ перемѣщается по ширинѣ шкалы съ лѣвой стороны ея, а отъ второго зеркальца лучъ попадаетъ на шкалу съ правой стороны черезъ уголъ поворота вала въ  $180^\circ$  съ небольшимъ, черт. 111. Въ нѣкоторыхъ приборахъ къ

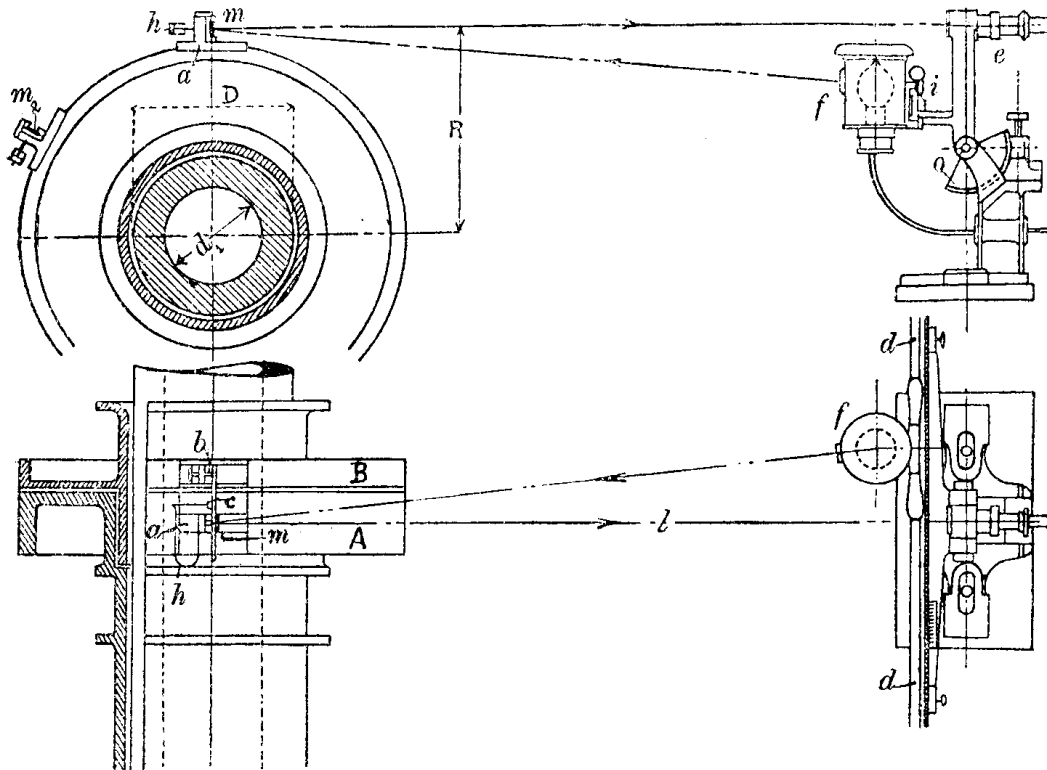
фланцу *b* прикрѣпляютъ неподвижное зеркальце, которое будетъ указывать во время работы 0 шкалы, разумѣется, при условіи, что и лучъ отъ поворачивающагося зеркальца при отсутствіи крученія вала попадаетъ на то же мѣсто шкалы. Разстояніе шкалы *k—k* и лампы *i* и соотв. уголъ поворота зеркальца отъ вала турбины на черт. 110 и 111 показаны не въ масштабѣ. Въ дѣйствительности ради увеличенія точности показаній прибора разстояніе это берется значительно больше— $6 \div 10$  м..



Черт. 110—112.

Приборы Гопкинсона обладаютъ большою чувствительностью и точною. При дрожаніи вала лучъ какъ бы гуляетъ по шкалѣ на  $4 \div 5\%$  отъ ея наибольшей длины, но все же нетрудно найти среднее, истинное показаніе. Единственный недостатокъ—прекращеніе показаній, если на зеркальце попадетъ масло, или оно запотѣетъ отъ пара. Если шкалу и источникъ свѣта располагать надъ приборомъ, то затрудненій для его помѣщенія не встрѣтится даже на малыхъ судахъ; на большихъ судахъ ихъ можно свободно ставить сбоку.

Индикаторъ крученія Фрама, черт. 113 и 114<sup>37)</sup>, основанъ на той же идеѣ, что и приборъ Гопкинсона-Сринга, и сконструированъ одновременно съ нимъ, но совершенно независимо. Онъ состоитъ тоже изъ чугунной трубы съ фланцемъ *A*, закрѣпленной другимъ концомъ на валу, и фланца *B*, заклиненного на валу, показанномъ на черт. 113 и 114 по-лымъ высверленнымъ.



Черт. 113 и 114.

Легкая пластинка *c* съ зеркальцемъ *m* входитъ въ вырѣзку подставки *a*, прикрѣпленной къ фланцу *A*; другой конецъ пластинки *c* опирается на регулировочный винтъ *b*, прикрѣпленный къ фланцу *B*; плоская, изогнутая дугой пружинка *h*, прикрѣпленная сзади къ *a*, а другимъ концомъ къ срединѣ пластинки *c*, постоянно держитъ ее нажатой къ ея опорамъ *a* и *b*, въ то же время позволяя ей наклоняться относительно оси вала. Для большей чувствительности пластинка *c* опирается на *a* и *b* при помощи двухъ призмъ, прикрѣпленныхъ къ ея задней поверхности.

Когда турбинный валъ не испытываетъ крученія, плоскость зеркала параллельна оси вала. Когда валъ передаетъ работу, фланецъ *A* поворачивается относительно *B*, и зеркальце *m* наклоняется къ оси вала.

Самое измѣреніе угла наклоненія, дающаго возможность найти уголъ крученія вала, производится слѣдующимъ образомъ: на разстояніи *l*

<sup>37)</sup> Buchetti, N. guide, p. 154.

отъ оси вала параллельно ей находится рейка съ дѣленіями въ мм., вдоль которой перемѣщается указатель  $i$ , прикрѣпленный къ фонарю  $f$  съ находящейся внутри его лампочкой накаливанія; въ фонарѣ спереди узкая щель, бросающая лучъ на зеркальце  $m$ ; фонарь перемѣщается вдоль рейки по кремальерѣ  $d, d$ . На линіи, нормальной къ плоскости зеркальца въ спокойномъ состояніи, находится зрительная труба  $e$  съ перекрестными нитями. Когда зеркальце повернется подѣ дѣйствіемъ крученія вала, фонарь передвигаютъ, пока въ трубу не станетъ видно мельканіе луча. Зная разстояніе, на которое передвинуть фонарь отъ 0, и разстояніе  $l$ , нетрудно вычислить искомый уголъ крученія.

Для установки на 0 труба  $e$  можетъ нѣсколько перемѣщаться параллельно оси вала благодаря овальнымъ отверстіямъ въ подставкѣ. Кромѣ того, труба  $e$  можетъ поворачиваться на оси, перпендикулярной къ ея оптической оси, при помощи сектора  $o$ .

Несмотря на равномерное вращеніе турбинъ, валъ гребного винта испытываетъ переменный моментъ крученія, мѣняющійся за 1 оборотъ подѣ дѣйствіемъ лопастей винта; поэтому и отклоненія луча будутъ въ разные моменты разные. Хотя величина колебаній отклоненія невелика, но лучше дѣлать 2 отчета—наибольшаго и наименьшаго отклоненія луча. Съ этой цѣлью ставятъ два зеркальца: одно,  $m$ , противъ лопасти, а другое,  $m_2$ , въ срединѣ дуги между двумя соседними лопастями; при трехлопаственномъ винтѣ уголъ между зеркальцами будетъ  $60^\circ$ , какъ на черт. 113, при четырехлопаственномъ  $45^\circ$  и т. д. Измѣривъ оба отклоненія, берутъ среднюю величину.

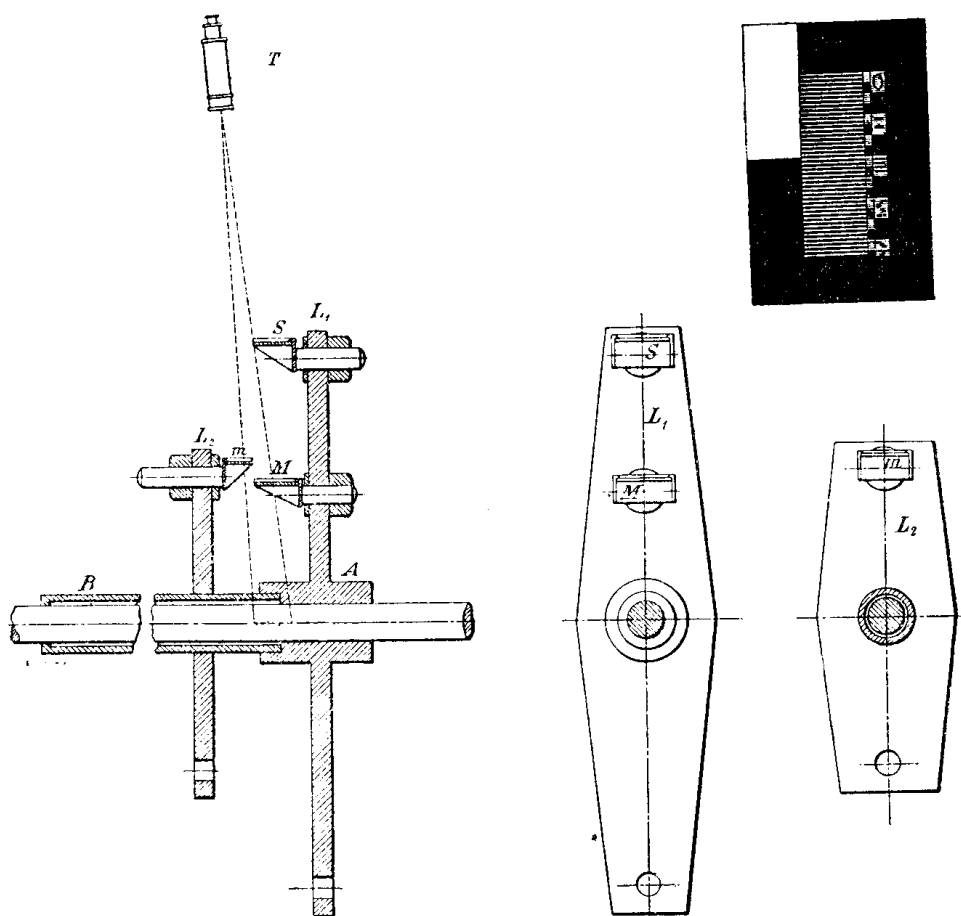
При установкѣ прибора надо тщательно провѣрить параллельность рейки къ оси вала и положеніе 0 рейки, а также совпаденіе нитей въ окулярѣ съ фокусомъ его.

Въ заключеніе опишемъ вкратцѣ новѣйшій японскій индикаторъ крученія К. Сайехиро (Suyehiro)<sup>28)</sup>, представляющій изъ себя остроумную комбинацію цѣлаго ряда описанныхъ приборовъ, но въ тоже время основанный на совершенно самостоятельной идеѣ. Дѣйствіе прибора поясняютъ черт. 115—118: къ валу прикрѣплена втулка  $A$  съ двумя симметричными ручками  $L_1$ ; на разстояніи  $l$  прикрѣплена къ валу труба  $B$ , другой конецъ которой можетъ свободно поворачиваться въ выточкѣ въ  $A$ ; къ  $L_1$  прикрѣплена шкала  $S$ , обращенная къ ваку и имѣющая видъ по черт. 118, съ дѣленіями въ  $\frac{1}{4}$  мм. и рѣзкой кромкой, и плоское зеркальце  $M$ , обращенное къ зрительной трубѣ  $T$ ;  $M$  отстоитъ отъ оси вала ровно вдвое менѣе, чѣмъ  $S$ ; вслѣдствіе этого мнимое изображеніе шкалы  $S$  будетъ лежать на оси вала и при малыхъ размѣрахъ  $M$  и быстромъ вращеніи вала будетъ видимо въ  $T$  и казаться неподвижнымъ. Къ трубѣ  $B$  прикрѣплены двѣ симметричныя ручки  $L_2$ , къ концу одной изъ которыхъ прикрѣплено вогнутое зеркальце  $m$  такъ,

<sup>28)</sup> Engng. 1913, XCVI, p. 459.



что мнимое изображеніе въ немъ края  $S$  приходится тоже на ось вала; при этомъ  $M$  и  $m$  расположены такъ, что въ  $M$  отражаются только дѣленія шкалы  $S$ , правая часть черт. 118, а въ  $m$  только „указательная кромка“—рѣзкая граница между бѣлой и черной областью, лѣвая треть черт. 118. При крученіи вала  $m$  сдвигается относительно  $M$ , а въ трубу  $T$  видно, что „указательная кромка“ перемѣстилась относительно дѣленій шкалы. Зная масштабъ дѣленій, разстояніе  $S$  отъ оси вала, длину  $l$  вала между мѣстами закрѣпленія  $A$  и  $B$ , моментъ инерціи вала и его матеріалъ, можно легко вычислить передаваемый моментъ крученія. Кривизна зеркальца  $m$  служитъ также для увеличенія кажущагося перемѣщенія „указательной кромки“ относительно дѣленій шкалы.



Черт. 115—118.

Для освѣщенія шкалы  $S$  при постоянномъ моментѣ крученія, при отчитываніи показаній въ одну трубу, достаточно одной электрической лампочки съ рефлекторомъ рядомъ съ трубой  $T$ . При измѣреніи переменнаго крутящаго момента лучше снабдить приборъ электрической лампочкой, вращающейся вмѣстѣ съ валомъ и расположенной какъ разъ противъ шкалы.

По даннымъ изобрѣтателя прибора точность его, точнѣе, ошибка его показаній менѣе  $\pm 2\%$  при длинѣ  $l$  около 1530 мм.

Индикаторъ Сайехиро былъ поставленъ параллельно съ другимъ индикаторомъ крученія при испытаніи „Аніо-Мару“, перваго японскаго турбиннаго судна съ зубчатыми передачами между валами турбины и гребныхъ винтовъ. Индикаторъ работалъ настолько удовлетворительно, что его показанія были положены въ основу пріемки.

**14. Электрическіе индикаторы.**— Помощью электрическаго тока пытались воспользоваться при первыхъ же конструкціяхъ индикаторовъ крученія. Получившіеся приборы были однако отчасти недостаточно точны, отчасти неудобны тѣмъ, что давали отчетъ лишь для какого-нибудь одного угла поворота (положенія) гребного вала.

Будучи менѣе точны чѣмъ оптическіе, а отчасти и механическіе способы, они тѣмъ не менѣе получили теперь на практикѣ довольно широкое распространеніе, почему и мы рѣшили остановиться на нихъ, выбравъ однако лишь новѣйшіе, болѣе усовершенствованные изъ нихъ.

Причина, почему ими охотно пользуются на практикѣ, заключается въ удобствѣ ихъ установки: на двухъ мѣстахъ вала, на требуемомъ разстояніи  $l$  одинъ отъ другого, устанавливаются 2 контакта; промежуточная часть вала для отчетовъ не требуется; длина  $l$  вала можетъ быть закрыта; между контактами могутъ стоять глухія переборки—для измѣреній угла крученія это безразлично.

Однимъ изъ наиболѣе распространенныхъ электрическихъ индикаторовъ крученія является приборъ Денни-Джонсона <sup>39)</sup>.

Схема его изображена на черт. 119 и 120: на турбинномъ валу закрѣпляются два бронзовыхъ диска  $a$  и  $b$  на разстояніи  $l$  одинъ отъ другого. Къ дискамъ прикрѣплено по постоянному, расположенному по радіусу, магниту  $e$  и  $f$ ; выступающіе концы магнитовъ заострены въ видѣ клина, чтобы давать узкое, но сильное магнитное поле. Подъ дисками расположены на небольшихъ бронзовыхъ подставкахъ, снабженныхъ установительными винтами, якоря  $c$  и  $d$  изъ мягкаго желѣза, верхняя поверхность которыхъ концентрична съ валомъ. Внутри якорей находится известное число отдѣленныхъ одна отъ другой одинаковыхъ катушекъ, въ которыхъ возбуждается токъ при прохожденіи магнитовъ.

На находящейся на произвольномъ разстояніи отъ вала распределительной доскѣ расположены круговые переключатели  $e$  и  $d$ . Въ якорѣ  $c$  расположены 6 главныхъ и 3 вспомогательныя катушки, соединенныя съ контактными пуговками переключателя  $e$ . Въ якорѣ  $d$  находятся 13 главныхъ и 2 вспомогательныя катушки, которыя соединены съ контактными пуговками переключателя  $d$ .

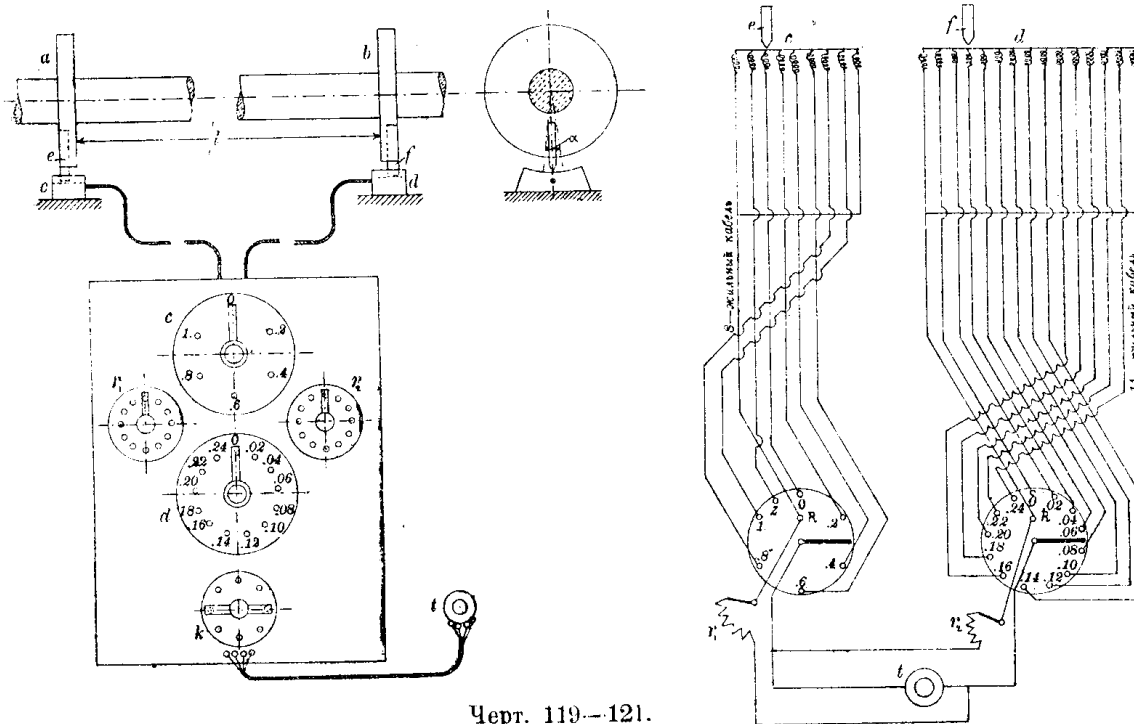
Въ обѣ системы проводниковъ  $c$  и  $d$  включены переменныя сопротивленія  $r_1$  и  $r_2$  для регулированія напряженія тока.

<sup>39)</sup> Eng. 1908, CVI, p. 614; Buchetti, N. guide, p. 159.

Переключатель *k* служитъ для переключенія измѣрительныхъ приборовъ въ случаѣ одновременнаго испытанія нѣсколькихъ турбинъ, напр. у 2- и 3-винтовыхъ судовъ.

Телефонный слуховой приборъ *t* довершаетъ установку.

Схема проводовъ показана для ясности на черт. 121.



Черт. 119.—121.

Дѣйствіе прибора слѣдующее: когда валъ не испытываетъ крученія, магнитъ *e* находится надъ первой катушкой якоря *c* въ то время, какъ магнитъ *f* находится уже надъ послѣдней катушкой якоря *d*; при параллельномъ расположеніи якорей *c* и *d* плоскости, проведенныя черезъ ось вала и оси магнитовъ, образуютъ уголъ  $\alpha$ . Токи, возбуждаемые въ этихъ крайнихъ нулевыхъ катушкахъ, имѣютъ одинаковую силу, но противоположное направленіе и потому взаимно уничтожаются; телефонный приборъ не издаетъ звука при положеніи скользящаго контакта *d* на нулевой кнопкѣ.

Если валъ передастъ нѣкоторый крутящій моментъ, уголъ  $\alpha$  будетъ уменьшаться вслѣдствіе скручиванія вала, нулевая катушка одного изъ якорей будетъ возбуждаться позже, чѣмъ нулевая катушка другого якоря, токи не уничтожаются, и телефонный приборъ придетъ въ дѣйствіе. Тогда поворачиваютъ скользящій контактъ *d*, переключая на одну изъ слѣдующихъ катушекъ, пока телефонъ замолкнетъ, что покажетъ на взаимное уничтоженіе тока. По числу кнопокъ, на которое сдвинутъ контактъ *d*, опредѣляютъ уголъ крученія вала, зная разстояніе по дугѣ между сосѣдними катушками якоря *d*; разстояніе это берется сколо 0,51 мм., каковая величина, върнѣе, ея половина, опредѣляетъ степень

точности измѣренія. Шкалы переключателей  $c$  и  $d$  градуируются обыкновенно на линейныя величины измѣненія дуги.

Разстояніе между дисками берется отъ 7 до 11 м. и даже болѣе.

Въ виду ступеньчатаго свойства шкалы (расположенія катушекъ) возможно, что шумъ въ телефонѣ не пропадаетъ совсѣмъ ни при какомъ положеніи скользящаго контакта  $d$ ; тогда находятъ то положеніе контакта, при которомъ шумъ достигаетъ наименьшей величины.

Переключатель  $c$  вводится въ дѣйствіе, если уголъ крученія вала возрастаетъ настолько, что переключенія на послѣднюю кнопку (катушку)  $d$  недостаточно для уничтоженія или ослабленія шума въ телефонѣ. Разстояніе между катушками якоря  $c$  въ 10 разъ болѣе разстоянія между катушками якоря  $d$ , такъ что переключателемъ  $c$  устанавливаются крупныя величины крученія, а точныя всегда переключателемъ  $d$ . Полное показаніе равно, конечно, суммѣ показаній по шкаламъ  $c$  и  $d$ .

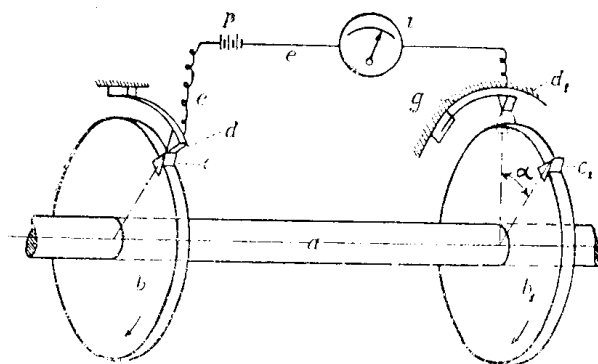
Другіе электрическіе индикаторы крученія пользуются постороннимъ токомъ отъ элементовъ или изъ общей сѣти. Основныя идеи у нихъ бываютъ различныя.

Такъ, индикаторъ Гарднера состоитъ изъ двухъ дисковъ, сдѣланныхъ въ видѣ прерывателей тока: на наружной поверхности дисковъ чередуются одинаковой длины дуги изъ проводящаго и непроводящаго матеріала. Къ дискамъ и къ валу между дисками прикасаются контакты въ видѣ щетокъ. Въ цѣпь включается батарея изъ элементовъ и амперметръ, стрѣлка котораго стоитъ на 0, если валъ не испытываетъ крученія, и отклоняется тѣмъ дальше, чѣмъ больше уголъ крученія вала.

Повидимому, такова же схема работы индикатора Барръ и Строуда, но болѣе подробныхъ свѣдѣній объ немъ въ литературѣ еще нѣтъ.

Проще и надежнѣе устройство индикатора Рамбаля.

На черт. 122 изображена схема этого прибора: на турбинномъ валу  $a$  закрѣплены два диска  $b$  и  $b_1$ , въ которые вдѣланы стальные контакты въ



Черт. 122.

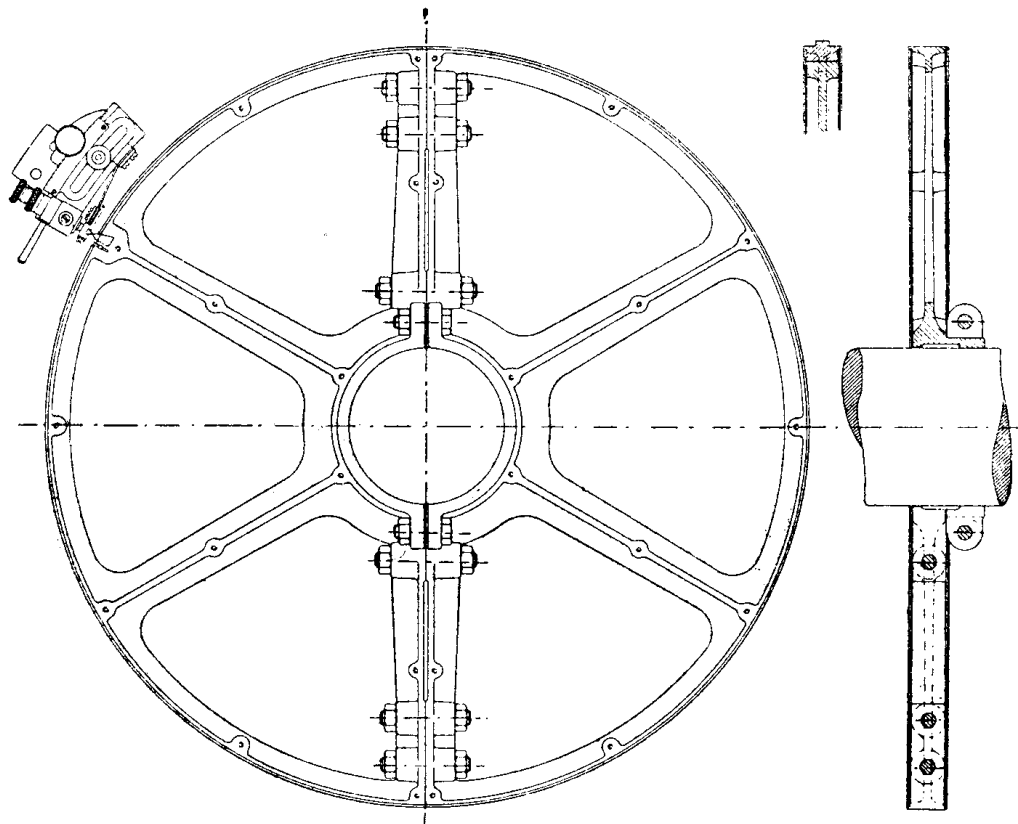
видѣ клиньевъ  $c$  и  $c_1$ ; съ ними соприкасаются прикрѣпленные къ пружинкамъ контакты  $d$  и  $d_1$ , изъ которыхъ  $d$  неподвиженъ, а  $d_1$  можетъ передвигаться по направляющей  $g$ , concentричной съ осью вала. Контакты  $d$  и  $d_1$  слегка касаются при каждомъ оборотѣ вала контактовъ  $c$  и  $c_1$ ; они изолированы и связаны другъ съ другомъ мѣднымъ проводникомъ  $e, e$ .

Когда контакты  $c$  и  $c_1$  касаются контактовъ  $d$  и  $d_1$  точно въ одно и то же мгновеніе, черезъ диски  $b$  и  $b_1$  и валъ  $a$  проходитъ токъ отъ батареи и отклоняетъ стрѣлку гальванометра  $i$ .

При ненагруженномъ валѣ контакты  $c$  и  $c_1$  лежатъ въ одной осевой плоскости, при скручиваніи же вала  $a$  контактъ  $c_1$  будетъ отставать отъ контакта  $c$  на величину угла скручиванія  $\alpha$ , замыканіе тока прекратится; тогда передвигаютъ  $d_1$ , пока токъ снова не будетъ замыкаться. Величина перемѣщенія контакта  $d_1$  даетъ величину угла крученія  $\alpha$ .

На практикѣ гальванометръ замѣняютъ телефонной слуховой трубкой, позволяющей точнѣе устанавливать положеніе наилучшаго касанія контактовъ. Батарея  $p$  составляется изъ сухихъ элементовъ.

Дискъ  $b_1$  насаживаютъ на валъ въ машинномъ помѣщеніи, по близости съ турбиной, дискъ же  $b$  съ неподвижнымъ контактомъ насаживаютъ на валъ какъ можно ближе къ кормѣ, чтобы получить возможно большее разстояніе  $l$  между дисками, а, слѣдовательно, возможно большій уголъ крученія  $\alpha$ , т. е. возможно большую точность опредѣленія крутящаго момента.

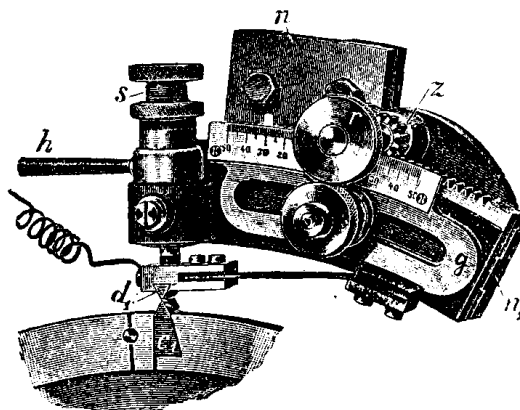


Черт. 123—125.

На черт. 123—125 показана конструкція дисковъ  $b$  и  $b_1$ , которые отливаются возможно легкими изъ чугуна; спицы ихъ во избѣжаніе несчастныхъ случаевъ закрываются привертываемой съ боныхъ боковъ жестью. Диски дѣлаются свертными для облегченія надѣванія на валъ.

Большой діаметръ ихъ обезпечиваетъ точность измѣренія угла крученія.

На черт. 123 видна конструкція передвижного контакта  $d_1$ , а на черт. 126 онъ же изображенъ въ перспективномъ видѣ въ болѣе крупномъ масштабѣ: винтъ  $s$  служитъ для пониженія клина  $d_1$ , сдѣланнаго изъ закаленной стали, и полученія требуемаго легкаго касанія его съ  $c_1$ ; рукоятка  $h$  служитъ для подниманія контакта  $d_1$ , когда измѣренія не производится. Головка  $r$  служитъ для перемѣщенія контакта  $d_1$  при помощи зубчатого колеса  $z$ , катящагося по зубчатой рейкѣ, образующей часть



Черт. 126.

дуги круга, который долженъ быть строго концентриченъ съ валомъ, такъ же какъ и направляющія салазки  $n_1$ . Винтикъ, который прикрѣпленъ къ тѣлу зубчатой рейки и проходитъ сквозь прорѣзь  $g$ , служитъ для установки хотя бы приблизительно 0 шкалы. Все приспособленіе привертывается при помощи станинки  $n$  къ какой-нибудь неподвижной опорѣ, при чемъ надо слѣдить, чтобы указанная концентричность была соблюдена возможно точно.

Неподвижный контактъ  $d$  устроенъ такъ же на пружинѣ, съ регулировочнымъ винтомъ  $s$  и выключателемъ  $h$ , но безъ приспособленія для перемѣщенія.

Шкала раздѣляется прямо на градусы; для точности отчетовъ имѣется ноніусъ.

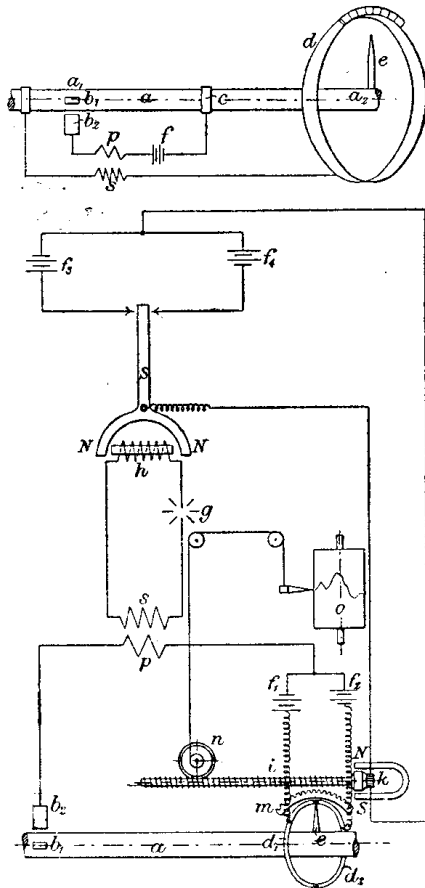
Простота прикладки и обращенія, достаточная точность и сравнительно небольшая стоимость всего приспособленія доставили ему довольно широкое распространеніе.

Хотя и рѣдко, но все же пользуются и самозаписывающими индикаторами крученія, въ виду чего мы опишемъ одинъ изъ новѣйшихъ—приборъ Фридриха Люкесъ<sup>40)</sup>.

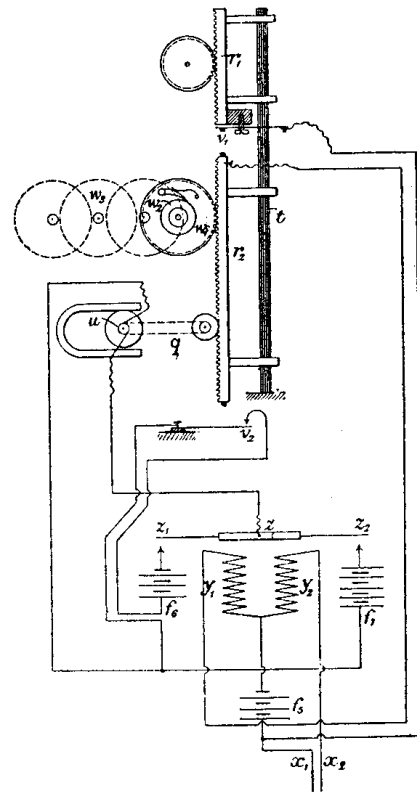
Основная идея его представлена на черт. 127: при каждомъ оборотѣ вала  $a$  прикосновеніе контакта  $b_1$  къ неподвижному контакту  $b_2$  замы-

<sup>40)</sup> Engng. 1911, XCII, p. 715.

каетъ токъ отъ батареи  $f$  въ первичной цѣпи, въ которую входитъ первичная обмотка  $p$ , самъ валъ и скользящій контактъ  $s$ ; этимъ возбуждается индуктивный токъ въ цѣпи съ вторичной обмоткой  $s$  той-же катушки, вслѣдствіе чего перескакиваетъ искра между остриемъ  $e$ , прикрѣпленнымъ къ валу  $a$ , и неподвижнымъ кольцомъ  $d$  съ дѣленіями. Пока валъ  $a$  не испытываетъ крученія, искра перескакиваетъ при нахожденіи  $e$  противъ 0 шкалы. Когда валъ передаетъ нѣкоторый крутящій моментъ, искра перескачетъ въ другую точку шкалы  $d$ , и уголъ между этой точкой и 0 шкалы будетъ угломъ крученія вала на длинѣ  $l$  между



Черт. 127 и 128.



Черт. 129.

сѣченіями  $a_1$  и  $a_2$ . Для облегченія отчетовъ, а также для учета возможнаго колебанія момента крученія въ сѣченіи  $a_1$ , прикрѣпляется нѣсколько контактовъ  $b$ , на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, а въ сѣченіи  $a_2$  соотв. нѣсколько острий  $e$ . Для увеличенія точности отчета, особенно при малыхъ углахъ крученія, можно острие  $e$  замѣнить ножомъ съ лезвіемъ, параллельнымъ оси вала  $a$ , а дуговую шкалу спиралью; при этомъ при различныхъ моментахъ крученія плоскость, въ которой перескакиваетъ искра, если смотрѣть сбоку, перемѣщается вдоль оси вала, и это перемѣщеніе отъ положенія плоскости искры при  $M=0$

является мѣрой крученія. Шагъ спирали, который для ясности отчета долженъ быть, конечно, очень большимъ, опредѣляетъ масштабъ „шкалы“.

Черт. 128 показываетъ схему самозаписывающаго прибора: токъ замыкается, какъ и въ предыдущей схемѣ, прикосновеніемъ  $b_1$  и  $b_2$ , но батарея  $f$  разбита на 2,  $f_1$   $f_2$ , а кольцо  $d$  разбита на 2 полукольца  $d_1$  и  $d_2$ , изолированныхъ другъ отъ друга. Первичный токъ пойдетъ отъ  $f_1$  или  $f_2$ , въ зависимости отъ того, скользятъ ли стрѣлка  $e$  по  $d_1$  или  $d_2$ , при чемъ токъ въ этихъ случаяхъ проходитъ первичную обмотку  $p$  въ противоположныхъ направленіяхъ; въ виду этого во вторичной обмоткѣ  $s$  будетъ возбуждаться токъ тоже поочередно то въ одномъ направленіи, то въ обратномъ, при чемъ автоматическій электромагнитный переключатель (релэ)  $h-VNS$  будетъ поочередно включать въ сѣть съ электродвигателемъ  $k$  то батарею  $f_3$ , то  $f_4$ . Въ зависимости отъ того, которая изъ батарей  $f_3$  или  $f_4$  включена, якорь  $k$  и валъ его  $i$ , сдѣланный въ видѣ длиннаго червяка, вращается въ ту или другую сторону. Червякъ  $i$  сдѣленъ съ червячнымъ секторомъ  $m$ , скрѣпленнымъ съ раздѣльнымъ кольцомъ  $d_1$ ,  $d_2$ . Когда валъ  $a$  не передаетъ крутящаго момента, стрѣлка  $e$  въ моментъ касанія  $b_1$  и  $b_2$  оказывается противъ верхняго изолятора, отдѣляющаго  $d_1$  отъ  $d_2$ , и вся система остается безъ тока—безъ движенія. Когда валъ  $a$  подъ вліяніемъ передаваемого крутящаго момента скрученъ, стрѣлка  $e$  въ моментъ касанія  $b_1$  и  $b_2$  окажется на  $d_1$  или  $d_2$ , замкнетъ токъ батареи  $f_1$  или  $f_2$ , релэ придетъ въ дѣйствіе, и двигатель  $k$  повернетъ секторъ  $m$  на такой уголъ  $\alpha$ , чтобы во моментъ касанія  $b_1$  и  $b_2$  стрѣлка  $e$  стояла противъ изолятора. Уголъ  $\alpha$  и есть искомый уголъ крученія вала  $a$  на длинѣ  $l$  и можетъ быть отчитанъ по указателю, тѣмъ или инымъ путемъ связанному съ червякомъ  $i$  и не показанному на черт. 128. Поворачиваніе червяка  $i$  записывается на барабанѣ  $o$  съ вертикальною осью вращенія черезъ посредство червячнаго колеса  $n$  и шнура, перекинутаго черезъ нѣсколько роликовъ; барабанъ  $o$  получаетъ вращеніе отъ часового механизма. Въ точкѣ  $g$  вторичная сѣть  $s-h$  разорвана, при прохожденіи тока въ  $g$  просекаиваетъ искра; сдѣлано это для того, чтобы въ релэ  $h$  попадали лишь болѣе сильный токъ, возбуждаемый при размыканіи первичнаго тока, болѣе же слабый—при замыканіи первичной обмотки—въ релэ  $h$  не попадетъ, не будучи въ состояніи преодолѣть сопротивленія при прохожденіи разрыва  $g$ .

Описанный самозаписывающій индикаторъ крученія можетъ быть преобразованъ въ счетчикъ работы, схематически представленный на черт. 129; двѣ зубчатыхъ рейки,  $r_1$  и  $r_2$ , скользятъ вверхъ и внизъ по стойкѣ  $t$ ;  $r_1$  перемѣщается черезъ посредство своего колеса какимъ нибудь механизмомъ пропорціонально величинѣ угла крученія вала;  $r_2$  получаетъ движеніе отъ электродвигателя  $u$  черезъ посредство цѣпной передачи  $q$  и соотв. зубчатыхъ колесъ. Съ  $r$  сдѣлено колесо  $w_1$ , сидящее



волью на одной оси съ колесомъ  $w_2$  и соединенное съ ней храповымъ механизмомъ; при подниманіи  $r_2$  колесо  $w_1$  свободно вращается противъ часовой стрѣлки, при опусканіи  $r_2$  колесо  $w_1$  поворачиваетъ посредствомъ храповика колесо  $w_2$ , сдѣвленное съ колесомъ суммирующаго счетнаго механизма  $w_3$ . Движеніе  $r_2$  ограничено кверху контактной пружиной  $v_1$ , повернутой къ низу рейки  $r_1$ , а книзу—контактной пружиной  $v_2$ , прикрѣпленной къ неподвижной опорѣ. Такимъ образомъ длина пути, проходимаго  $r_2$ , пропорціональна углу крученія вала, передающаго крутящій моментъ.

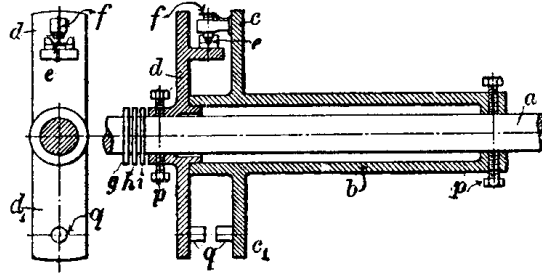
Главные проводники отъ контактовъ на валу, уголь крученія котораго измѣряется, показаны внизу черт. 129— $x_1$  и  $x_2$ . Первичная сѣть замыкается одинъ разъ при каждомъ оборотѣ вала; при этомъ включается батарея  $f_6$ , токъ изъ которой попадаетъ въ обмотку электромагнита  $u_2$ ; тогда притягивается правое плечо качающагося стержня  $z$ , и контактомъ  $z_2$  включается батарея  $f_7$ , токъ отъ которой приводитъ во вращеніе  $u$  и заставляетъ  $r_2$  подниматься до соприкосновенія съ  $v_1$ ; этимъ замыкается сѣть, въ которой находится электромагнитъ  $u_1$ , стержень  $z$  перекачивается въ обратную сторону, батарея  $f_6$  включается, а  $f_7$  выключается, и  $u$  начинаетъ вращаться въ обратную сторону, а  $r_2$  опускаться, пока она не надавитъ  $v_2$  и тѣмъ не прерветъ тока, вслѣдствіе чего  $u$  остановится. Такой двойной ходъ  $r_2$  повторяется при каждомъ замыканіи главной сѣти, т. е. при каждомъ оборотѣ вала турбины. Такимъ образомъ счетный механизмъ будетъ отсчитывать каждый разъ величину, пропорціональную углу крученія вала, т. е. передаваемому моменту, а сумма отсчетовъ будетъ представлять произведеніе изъ крутящаго момента на число оборотовъ. Если модуль упругости матеріала вала, а также размѣры его извѣстны, то нетрудно вычислить переводный множитель, при помощи котораго показанія прибора за точно извѣстный промежутокъ времени будутъ выражать работу въ л.с.-ч..

Въ заключеніе опишемъ новѣйшій индикаторъ крученія Джонсона, который является сочетаніемъ механическаго способа передачи угла крученія съ электрическимъ измѣреніемъ его <sup>41)</sup>, путемъ включенія мостика Витстона.

На черт. 130 и 131, стр. 90, показана схема его конструкціи: на валу  $a$  закрѣплена чугунная труба  $b$  съ колѣномъ  $c$ ; противъ послѣдняго на валу закрѣплено колѣно  $d$ ; на колѣнѣ  $d$  натянута между двумя выступами проволочка  $e$ , лежащая въ плоскости вращенія перпендикулярно къ скользящему по ней контакту  $f$ , прикрѣпленному къ колѣну  $c$ . Концы проволочки  $e$ , сдѣланной изъ сплава платины съ иридіемъ, отличающагося большой твердостью и большимъ электрическимъ сопротивленіемъ, прикрѣплены къ двумъ контактнмъ кольцамъ  $g$  и  $h$ ; контактъ  $f$  соединенъ тоже съ контактнмъ кольцомъ  $i$  и далѣе съ гальванометромъ.

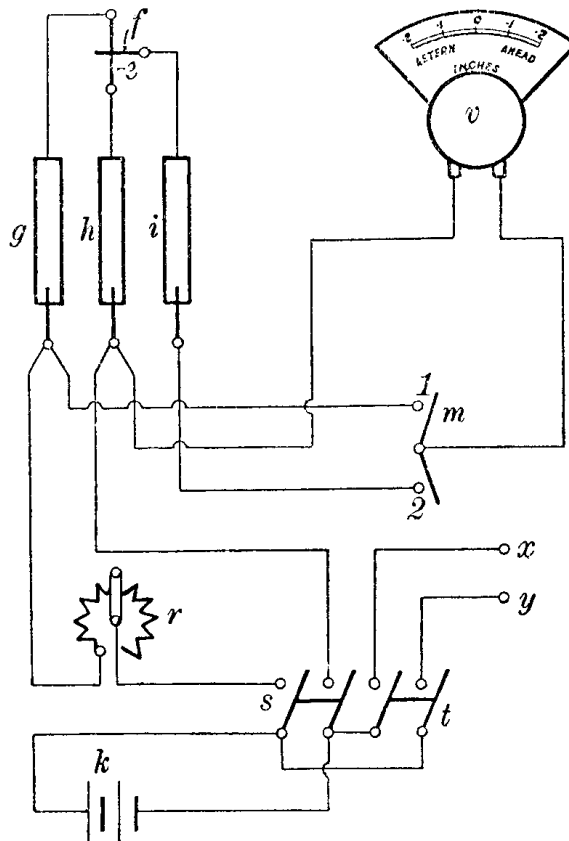
<sup>41)</sup> Engng. 1911, XCII, p. 605; Z. Turb. 1912, S. 142.

Когда валъ не нагруженъ, контактъ  $f$  находится точно посрединѣ проволоочки  $e$  и дѣлитъ ея сопротивленіе пополамъ; при скручиваніи вала контактъ  $f$  скользитъ къ одному или другому концу  $e$ , дѣля ея сопротивленіе на неравныя части.

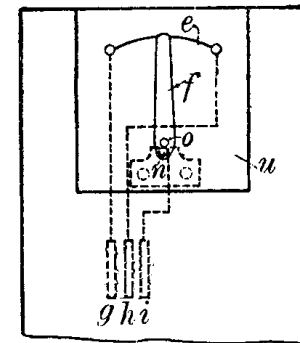
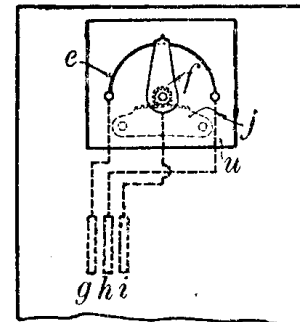


Черт. 130 и 131.

На черт. 132 показана электрическая схема этого прибора: токъ отъ небольшой батареи  $k$ , дающей 4 вольта, идетъ черезъ регулировочное сопротивленіе  $r$ , контактное кольцо  $g$  въ проволочку-сопротивленіе  $e$ ; здѣсь токъ развѣтвляется: часть его идетъ обратно въ батарею прямо че-



Черт. 132.



Черт. 133 и 134.

резъ контактное кольцо  $h$  и рубильникъ  $s$ , часть же идетъ по контакту  $f$ , кольцу  $i$  въ гальванометръ  $v$ , а затѣмъ опять же попадаетъ въ батарею  $k$ . Въ зависимости отъ положенія  $f$  на  $e$  напряженіе тока, отвѣтвляемаго къ вольтметру, будетъ мѣняться и служить мѣрой угла крученія.

Шкала гальванометра  $v$  дѣлится на омы, и полная длина ея соотвѣтствуетъ полной величинѣ сопротивленія  $e$ , или даже прямо на дюймы или мм. смѣщенія конца  $c$  относительно  $d$ . Когда валъ не нагруженъ, стрѣлка гальванометра должна стоять по срединѣ шкалы, на ся 0; отклоненія стрѣлки вправо или влево зависятъ отъ направленія вращенія вала. Въ виду затруднительности установки  $f$  при ненагруженномъ валѣ точно на срединѣ  $e$ , шкала гальванометра  $v$  дѣлается подвижной, чтобы облегчить установку на 0.

Передъ производствомъ отчета ставятъ переключатель  $m$  на контактъ 1; этимъ изъ сѣти съ гальванометромъ  $v$  исключается сопротивленіе  $e$ ; регулировочное сопротивленіе  $r$  устанавливають тогда такъ, чтобы стрѣлка  $v$  заняла крайнее положеніе, конецъ шкалы; тогда можно быть увѣреннымъ, что полная длина шкалы соотвѣтствуетъ полной длинѣ сопротивленія  $e$ . Послѣ этого переключатель  $m$  ставятъ на контактъ 2 и производять отчетъ.

Рубильникъ  $t$  и провода  $x$  и  $y$  служатъ для зарядки батареи  $k$ .

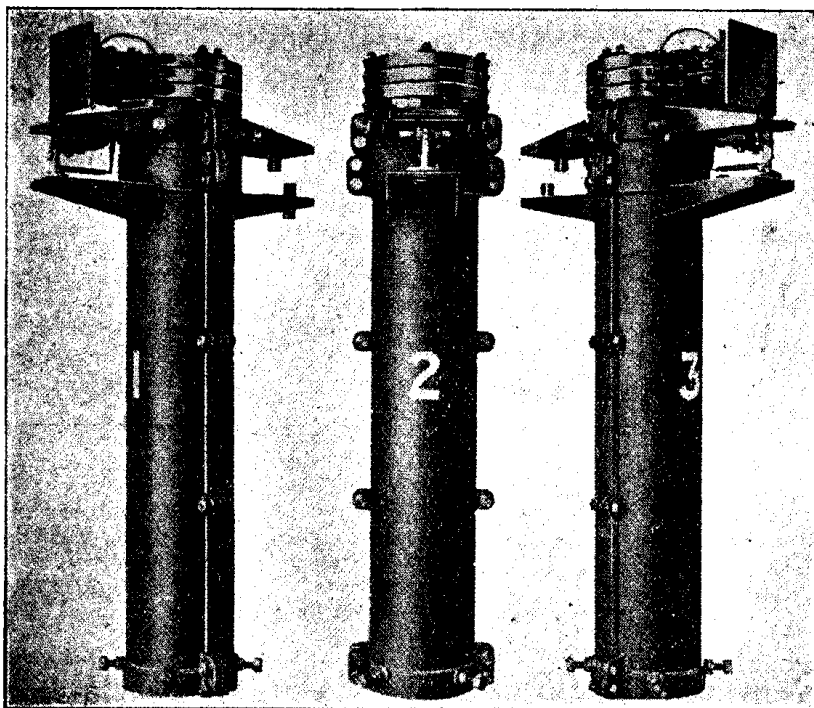
Назначеніе противоположныхъ колѣнъ  $c_1$  и  $d_1$ —служить противовѣсами, чтобы не нарушать равномерности вращенія вала добавленіемъ колѣнъ  $c$  и  $d$ , съ этой же цѣлью они снабжены еще противовѣсами  $q, q$ .

Обычно размѣры трубы и колѣнъ берутся такими, чтобы длина  $e$  была немного болѣе 5 мм., т. е. наибольшее перемѣщеніе контакта  $f$  отъ середины составляло около 2,5 мм. при наибольшей нагрузкѣ вала. Размахъ стрѣлки  $v$  составляетъ при этомъ по 75 мм. въ каждую сторону.

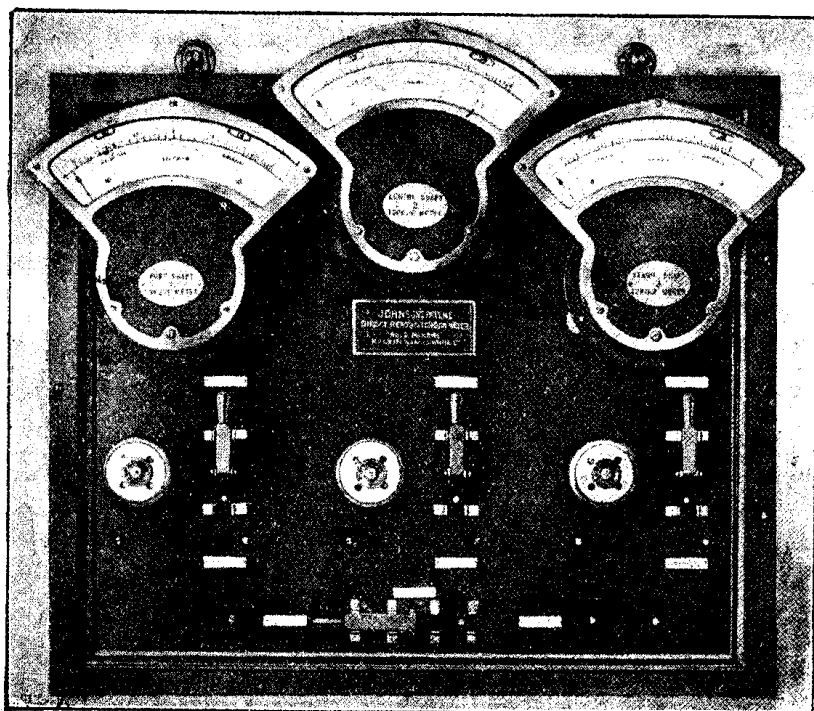
Этотъ индикаторъ крученія требуетъ свободную длину вала не менѣе 1,5 или даже 2 м. При меньшей длинѣ измѣненія плечъ сопротивленія  $e$  становятся слишкомъ малы, и показанія прибора неточны. Чтобы и въ этихъ случаяхъ пользоваться приборомъ, надо добавить къ нему передаточный механизмъ, черт. 134: контактъ  $f$  исполняется въ видѣ неравноплечаго рычажка, поворачивающагося около оси  $o$ , прикрѣпленной къ колѣну  $d$ ; выступъ же на колѣнѣ  $c$  входитъ въ отверстіе  $n$  нижняго конца рычажка. Размахъ верхняго конца рычажка получается разъ въ 10÷12 больше относительнаго перемѣщенія концовъ колѣнъ  $c$  и  $d$ ;  $n$  дощечка изъ изоляціоннаго матеріала, на которой укрѣплено сопротивленіе  $e$ , скользящій контактъ  $f$  и соотв. присоединенія изолированныхъ проводовъ.

На черт. 133 показана другая, теперь оставленная изъ-за мертваго хода, схема передаточнаго механизма: къ рычагу-контакту  $f$  прикрѣпляется шестеренка, поворачиваемая зубчатымъ секторомъ  $j$ , прикрѣпленнымъ къ изолятору  $n$  на колѣнѣ  $d$ . Контактныя кольца  $g, h, i$  указаны на черт. 133 и 134, конечно, лишь для ясности схемы.

На черт. 135 представленъ фотографическій снимокъ трехъ индикаторовъ Джонсона для трехвинтоваго судна; при индикаторахъ 1 и 3 показаны также кронштейны съ щетками, скользящими по контактнѣмъ кольцамъ.



Черт. 135.



Черт. 136.

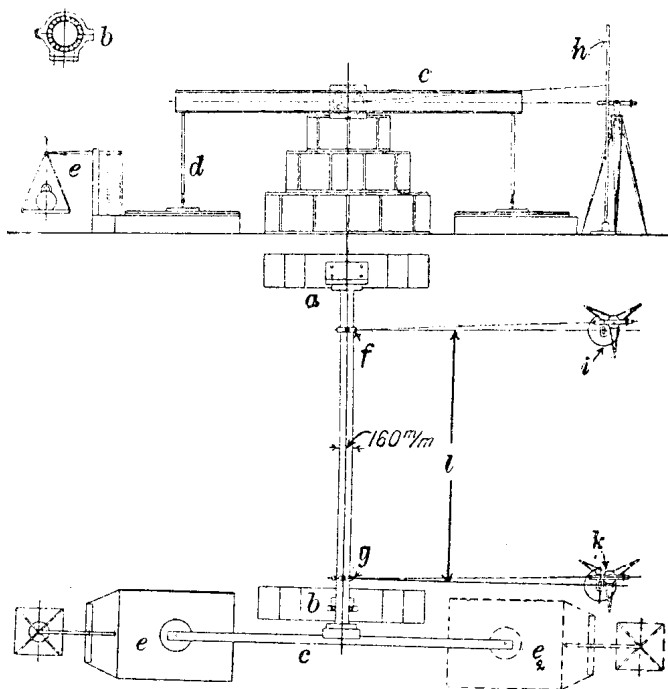
На черт. 136 показана соотв. распределительная доска.

Особое преимущество этого прибора—чрезвычайно малая необходимая длина  $l$  вала, благодаря чему его показанія не страдают от случайных деформаций вала при неизбежных деформациях судового корпуса.

**15. Калибровка и проверка индикаторовъ крученія.**—Весьма существенно для правильного опредѣленія крутящаго момента знать точно модуль упругости крученія  $G$  материала вала, на который поставленъ индикаторъ крученія.

Лучше всего опредѣленіе  $G$  дѣлать опытнымъ путемъ и именно на томъ кускѣ вала, на которомъ индикаторъ будетъ стоять во время опредѣленія работы турбины.

На черт. 137 и 138 изображено приспособленіе, употреблявшееся Феттингеромъ <sup>42)</sup> для опредѣленія величины  $G$ : испытываемый валъ однимъ концомъ закрѣпляется при помощи фланца къ неподвижной чу-



Черт. 137 и 138.

гунной опорѣ  $a$ , другой конецъ лежитъ на такой же подставкѣ въ шариковомъ подшипникѣ  $b$ , изображенномъ отдѣльно вверху, черт. 137. Къ свободному фланцу привернута желѣзная двутавровая балка  $c$ , подпираемая стержнемъ  $d$  въ видѣ домкрата, который можно, поворачивая находящійся въ немъ винтъ, удлинять или укорачивать; стержень  $d$  долженъ стоять строго отвѣсно и опирается на платформу десятичныхъ вѣсовъ  $e$ .

<sup>42)</sup> Eng. 1908, CVI. p. 614.

Близъ концовъ вала, на требуемомъ разстояніи  $l$  одно отъ другого, прикрѣплены два зеркала  $f$  и  $g$ , въ которыхъ отражаются дѣленія стоящихъ отвѣсно реекъ  $h, h$ .

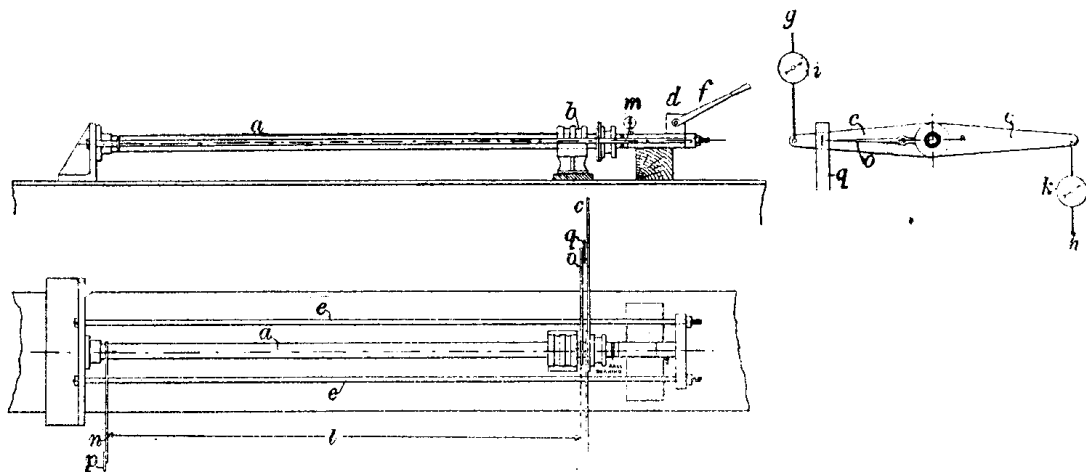
Валь скручиваютъ, вывинчивая стержень  $d$ , и послѣ того, какъ уравновѣсятъ крутящій моментъ соотвѣтствующей нагрузкой на вѣсахъ  $e$ , производятъ отчеты по зеркальцамъ  $f$  и  $g$  при помощи зрительныхъ трубъ  $i$  и  $k$ . Разность отчетовъ дастъ искомый уголъ крученія  $\alpha$ .

Модуль упругости  $G$  находятъ для нѣсколькихъ моментовъ, и сперва при возрастающемъ углѣ крученія, потомъ при убывающемъ. Въ виду неполной однородности матеріала вала полезно опредѣлить величину  $G$  и при скручиваніи вала въ другую сторону, переставивъ вѣсы въ положеніе  $e_2$ . При работѣ съ индикаторомъ крученія за величину  $G$  надо брать среднюю изъ всѣхъ найденныхъ при различныхъ условіяхъ испытанія.

Во время работы на суднѣ гребной валь испытываетъ, кромѣ крученія, еще сжатіе подѣ дѣйствіемъ осевой составляющей отъ винта, сообщающей движеніе судну. Напряженіе отъ сжатія можетъ при случаѣ дойти до 20% напряженія отъ скручиванія. При помощи непосредственныхъ опытовъ установлено, что добавочное напряженіе на сжатіе можетъ увеличить крученіе до 1% при сплошномъ и до 3÷4% при просверленномъ валь.

Наконецъ, модуль упругости  $G$  получается нѣсколько различнымъ въ зависимости отъ того, дѣйствуетъ ли сила крученія спокойно, какъ при указанномъ выше способѣ калибровки, или валь дрожитъ, какъ при работѣ гребного винта.

Въ виду этихъ соображеній Джибсонъ производитъ калибровку вала слѣдующимъ образомъ, чер. 139—141<sup>42)</sup>: валь  $a$  однимъ концомъ закрѣп-



Черт. 139—141.

ляется неподвижно при помощи фланца и болтовъ, а близъ другого конца находится подшипникъ  $b$ , и къ нему прикрѣпляются рычаги  $c, c$ . На этотъ же конецъ вала давитъ гидравлическій прессъ  $d$  съ желѣзными

тягами  $e$ ,  $e$ ; между валомъ и прессомъ вкладывается шариковая пята;  $f$  рукоятка насоса прессы, а  $m$  его манометръ.

Крученіе вала производится при помощи винтовыхъ желѣзныхъ стяжекъ  $g$  и  $h$ , которыя захватываютъ концы рычага  $c$  при помощи провѣренныхъ пружинныхъ динамометровъ  $i$  и  $k$ . Къ обоимъ концамъ вала, на разстояніи  $l$  одинъ отъ другого, прикрѣпляются указатели  $n$  и  $o$ ; разность показаній которыхъ по шкаламъ  $p$  и  $q$  и даетъ возможность найти соотв. уголъ крученія.

При длинѣ указателей въ 1500 мм.  $1^\circ$  соотвѣтствуетъ длинѣ дуги въ 26,16 мм., и уголъ крученія можно измѣрять даже безъ нониуса съ точностью до  $0,01^\circ$ , что для практики вполне достаточно.

Чтобы еще болѣе приблизить условія испытанія вала къ рабочимъ условіямъ на суднѣ, Джибсонъ совѣтуетъ во время отчетовъ стучать по валу деревянными молотками.

Если индикаторъ крученія занимаетъ длину  $l$  вала, превосходящую длину отдѣльнаго куска вала, изъ которыхъ гребной валъ свертывается, то въ виду трудности учесть вліяніе промежуточныхъ фланцевъ, а иногда и подшипниковъ, лучше прокалибровать сразу всю требуемую длину  $l$ .

Наконецъ, не слѣдуетъ забывать при испытаніи вновь построенныхъ судовъ съ новыми гребными валами, что матеріалъ послѣднихъ при обработкѣ получаетъ иногда добавочныя напряженія, которыя послѣ нѣкотораго времени работы вала на суднѣ выравниваются и вызываютъ нѣкоторое измѣненіе модуля упругости  $G$ . Въ виду этого рекомендуется производить калибровку вала, какъ до испытанія машинъ, такъ и для контроля послѣ испытанія.

*Вывѣрка 0 шкалы.* Когда индикаторъ прилаженъ къ валу, надо найти 0 шкалы, т. е. положеніе указательнаго прибора индикатора для ненагруженнаго вала. Въ виду того, что валъ сохраняетъ нѣкоторое крученіе даже въ спокойномъ состояніи вслѣдствіе тренія въ подшипникахъ и дейдвудной трубѣ, опредѣленіе 0 шкалы требуетъ извѣстной осмотрительности.

Иногда нулемъ шкалы считаютъ просто то положеніе указателя, когда валъ вращается самымъ тихимъ ходомъ.

Иногда начальное положеніе указателя находятъ слѣдующимъ образомъ: машину пускаютъ полнымъ ходомъ, потомъ сразу запираютъ паровой винтиль и дожидаются, пока судно совсѣмъ остановится; валъ при этомъ будетъ очень близокъ къ состоянію полного отсутствія крученія. Въ самомъ дѣлѣ, въ моментъ прекращенія работы машины конецъ вала съ винтомъ былъ ведомымъ и отставалъ отъ конца вала у турбины, а при дальнѣйшемъ движеніи судна подъ вліяніемъ пріобрѣтенной судномъ живой силы валъ началъ вращаться подъ дѣйствіемъ гребного винта, т. е. направленіе дѣйствія силъ стало обратнымъ.

Однако всего правильнѣе и надежнѣе поступать слѣдующимъ образомъ: валъ вращаютъ очень медленно сперва въ одну сторону и отмѣчаютъ положеніе указателя индикатора на шкалѣ, затѣмъ такъ же медленно вращаютъ валъ въ другую сторону и отмѣчаютъ новое положеніе указателя, которое отойдетъ отъ предыдущаго на нѣсколько миллиметровъ. Истинный 0 шкалы лежитъ посрединѣ между найденными двумя положеніями указателя.

Разумѣется, передъ опредѣленіемъ 0 шкалы надо особенно внимательно пересмотрѣть весь приборъ и устранить малѣйшій мертвый ходъ въ шарнирахъ и въ другихъ передачахъ.

*Общая провѣрка индикаторовъ крученія.* Наиболѣе надежной провѣркой индикаторовъ крученія является сличеніе ихъ показаній съ показаніями тормазы, лучше всего водяного. Такого рода сличенія дѣлались и подтвердили правильность показаній индикаторовъ крученія, разумѣется, при правильной конструкціи ихъ и надлежащемъ обращеніи <sup>43)</sup>.

Затѣмъ можно провѣрять индикаторы крученія, поставивъ одновременно два прибора на одинъ и тотъ же валъ и сличая ихъ показанія. Такъ, при испытаніи турбиннаго парохода „Лузитанія“ Гамбургъ-Американской Линіи сравнивали показанія индикаторовъ—оптического Фрама и электрическаго Денни-Джонсона <sup>44)</sup>; при испытаніяхъ пароходовъ „Геліопалисъ“ и „Каиръ“ сравнивали показанія оптического индикатора Бэвисъ-Джибсона съ электрическимъ Денни-Джонсона <sup>45)</sup>. При испытаніяхъ англійскаго броненосца „Инфлексиблъ“ пользовались одновременно оптическимъ индикаторомъ Гопкинсона и электрическимъ Денни-Джонсона <sup>45)</sup>. При всѣхъ этихъ испытаніяхъ показанія приборовъ различныхъ типовъ согласовались вполне удовлетворительно.

Все же при пользованіи индикаторами крученія надо помнить, что это чрезвычайно деликатные приборы, которые даютъ правильныя показанія лишь при вполне умѣломъ и осторожномъ обращеніи. При этомъ, разумѣется, приборы надо брать лишь очень тщательно изготовленные и отдавать предпочтеніе болѣе простымъ конструкціямъ.

**16. Самозаписывающій показатель нагрузки.**—Въ заключеніе главы объ измѣреніи работы упомянемъ о приборѣ Бэттхера, который, не измѣряя собственно величины работы, позволяетъ судить объ относительной величинѣ нагрузки.

Приборъ основанъ на томъ <sup>46)</sup>, что положеніе регулятора, а также детали, передающей воздѣйствіе регулятора на регулирующий органъ машины, зависитъ отъ величины нагрузки. Одно крайнее положеніе упомянутой детали соответствуетъ наибольшей нагрузкѣ, другое—хо-

<sup>43)</sup> Eng. 1908, CVI, p. 505.

<sup>44)</sup> Eng. 1908, CVI, p. 506.

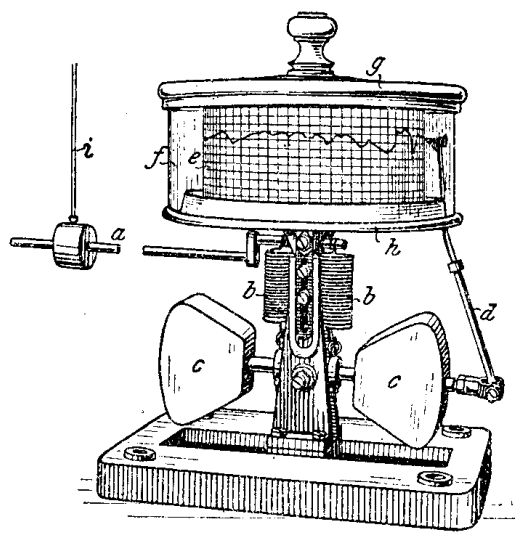
<sup>45)</sup> Eng. 1908, CVI, p. 615.

<sup>46)</sup> Z. V. d. I. 1912, S. 1669.



лостому ходу. Какъ ни проста основная мысль, конструктивное осуществленіе ея встрѣтило затрудненія, главнымъ образомъ въ устраненіи стъ пинущаго механизма прибора колебаній упомянутой детали около соотв. средняго положенія, являющихся результатомъ обратнаго воздѣйствія машины на регуляторъ. Задача была разрѣшена примѣненіемъ тяжелаго маятника въ связи съ соотв. пружинами.

Тяжелый маятникъ  $c, c$ , черт. 140, подвѣшенъ такъ, что находится въ безразличномъ равновѣсін; двѣ растянутыхъ пружины  $b, b$  связываютъ маятникъ съ рычагомъ  $a$ , который связанъ тягой  $i$  съ муфтой регулятора или другой соотв. деталью; пружины  $b, b$  берутся такихъ размѣровъ, и такъ устанавливается ихъ растяженіе, чтобы онѣ воспринимали полностью вѣсъ маятника; этимъ уничтожается треніе въ его оси



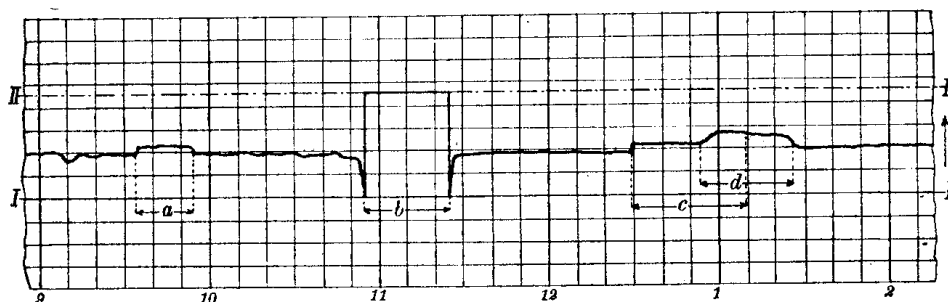
Черт. 140.

качанія; отклоненія  $c$  записываются рычажкомъ  $d$ , съ карандашемъ на концѣ, на диаграммномъ барабанѣ  $e$ , дѣлющемъ подѣ дѣйствіемъ находящагося внутри него часового механизма одинъ оборотъ въ 12 или 24 часа; крышка  $g$  съ стекляннмъ кожухомъ  $f$  защищаетъ карандашъ и диаграмму отъ случайныхъ вѣшнихъ поврежденій.

Чтобы устранять возможные явленія резонанса между рычагомъ  $a$  и грузами  $c, c$ , которыя искажаютъ показанія прибора, нижнія точки привѣса пружинъ  $b, b$  можно перемѣщать относительно оси качанія  $c, c$ .

На черт. 141 данъ образецъ диаграммы, полученной при помощи этого прибора, присоединеннаго къ паровой турбинѣ, соединенной съ динамомашинной: линия  $I-I$  соотвѣтствуетъ холостому ходу турбины, линия  $II-II$ —наибольшей нагрузкѣ; въ 9 ч. 34 мин. въ сѣтъ включили электродвигатель, приводящій въ дѣйствіе компрессоръ, періодъ  $a$ ; отъ 10 ч. 55 мин. до 11 ч. 25 мин., періодъ  $b$ , турбина была остановлена; въ 12 ч. 29 мин. опять включили компрессоръ, періодъ  $c$ ; въ 12 ч. 53 мин.

было включено освѣщеніе, періодъ  $d$ . Въ среднемъ турбина работала съ нагрузкой немного менѣе  $\frac{1}{2}$ .



Черт. 141.

Описанный приборъ можетъ быть очень полезенъ для повседневнаго наблюденія за работой станціи.

Впрочемъ, и при испытаніяхъ турбинъ, главнымъ образомъ при приемкахъ, когда непремѣннымъ условіемъ является постоянство нагрузки, полученная при помощи него діаграмма можетъ быть полезной въ качествѣ документа, устрояющаго всякій споръ въ этомъ отношеніи.

### ГЛАВА III.

## Измѣреніе температуръ<sup>46)</sup>.

**17. Ртутные термометры** — Хотя въ настоящее время существуютъ и болѣе точные и болѣе удобные приборы для измѣренія температуръ, какъ-то, термоэлементы и приборы съ электрическимъ сопротивленіемъ, все же стеклянные ртутные термометры вслѣдствіе своей простоты и дешевизны являются наиболѣе распространенными.

Термометры эти лучше брать безъ оправы, такъ назыв. лабораторные и притомъ палочные, такъ какъ термометры со шкалой, окруженной второй стеклянной трубкой-кожухомъ, болѣе хрупки.

Недостатокъ палочныхъ термометровъ въ томъ, что краска съ дѣлений и цифръ легко сходитъ; но такъ какъ онѣ наносятся фтористой кислотой и углублены, то ихъ легко возобновлять, смазавъ шкалу краской изъ ламповой или голландской сажи на олифѣ и обтеревъ ее твердой бумагой; краска останется въ углубленіяхъ. Правда, такая краска еще менѣе прочна, чѣмъ первоначальная, но зато ея возобновленіе очень просто.

Чтобы термометры не такъ легко ломались отъ неосторожнаго задѣванія, лучше брать укороченные термометры; для низкихъ температуръ прямо со шкалой отъ  $0^{\circ}$  до  $50^{\circ}$  Ц., для температуръ выше  $100^{\circ}$  часть шкалы, примѣрно отъ  $+5^{\circ}$  до  $+95^{\circ}$ , замѣняютъ уширеніемъ, для температуръ отъ  $200^{\circ}$  до  $400^{\circ}$  дѣлаютъ второе же уширеніе послѣ  $100^{\circ}$ .

<sup>46)</sup> При составленіи §§ 17 ÷ 21 авторъ пользовался наряду съ прочимъ матеріаломъ соотв. главами своей книги: „Измѣреніе температуръ для техническихъ цѣлей“. Томскъ. 1910.

Сохраненіе дѣленій близъ  $0^{\circ}$  и  $+100^{\circ}$  желательно для возможности послѣдующей провѣрки термометра.

Что касается сорта стекла, то для низкихъ температуръ, до  $+100^{\circ}$  и  $-150^{\circ}$  можно пользоваться недорогими термометрами изъ такъ назыв. нормального термометрическаго, или іенскаго стекла или изъ стекла марки 16ш; для болѣе высокихъ температуръ слѣдуетъ брать термометры изъ лучшаго боросиликатнаго стекла марки 59<sup>III</sup>. Впрочемъ, термометры изъ этого стекла лишь немногимъ дороже предыдущихъ, почему для болѣе точныхъ испытаній можно совѣтовать брать всѣ термометры изъ стекла 59ш <sup>47)</sup>.

Для температуръ до  $+300^{\circ}$ , въ крайнемъ случаѣ  $+330^{\circ}$ , можно еще пользоваться обыкновенными термометрами съ безвоздушной волосной трубкой. При  $+357^{\circ}$  ртуть закипаетъ, поэтому для температуръ, начиная отъ  $+300^{\circ}$  и выше, надо брать термометры, у которыхъ пространство надъ ртутью наполнено азотомъ или углекислотой подъ давленіемъ въ  $10$ – $25$  атм.. Такъ какъ присутствіе газа надъ ртутью отзывается неблагопріятно на точности показаній низкихъ температуръ, то такими термометрами слѣдуетъ пользоваться лишь для температуръ свыше  $300^{\circ}\text{C}$ .

Часто на паропроводѣ уже имѣются термометры, поставленные заводомъ. Это обыкновенно, такъ назыв. фабричные, термометры, снабженные металлическимъ кожухомъ для предохраненія отъ механическихъ поврежденій. Нижняя часть кожуха, ввертываемая въ трубу, дѣлается или съ прорѣзьями, что лучше, или закрытой и наполненной для теплопередачи масломъ, ртутью или мелкими металлическими опилками для температуръ свыше  $300^{\circ}$ . Такой термометръ имѣетъ шкалу съ дѣленіями обыкновенно черезъ  $2^{\circ}$ .

На черт. 142 представленъ такой термометръ для температуръ отъ  $160$ – $400^{\circ}\text{C}$ . Длина  $l$ , входящая въ трубу, берется около половины діаметра трубы, но ради точности показаній не менѣе  $80$  мм..



Черт. 142.

Хотя такіе фабричные термометры и менѣе точны, чѣмъ хорошіе палочные, такъ назыв. лабораторные, но можно и при ихъ помощи получать достаточно правильные отчеты, если ихъ надлежащимъ образомъ провѣрить. При провѣркѣ, производимой проще всего сличеніемъ съ нормальнымъ термометромъ, надо имѣть въ виду, что фабричные термометры градуируются съ выступающимъ столбикомъ ртути, такъ что соотв. поправки не надо вводить. Въ этомъ одно изъ ихъ преимуществъ. Другое преимущество—большая чувствительность показаній, если нижній штуцеръ сдѣланъ съ прорѣзьями.

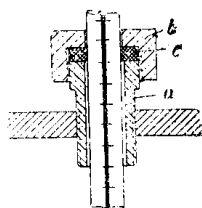
<sup>47)</sup> Указанные сорта стекла вырабатываются германскими фирмами, отъ которыхъ преимущественно и выписываются термометры въ Россіи.

*Обращеніе съ термометрами.* Ради увеличенія точности показаній и чувствительности прибора, т. е. возможнаго уменьшенія неизбежнаго отставанія показаній при колебаніяхъ температуры, желательно, чтобы шарикъ съ ртутью находился въ непосредственномъ соприкосновеніи съ средой, температура которой измѣряется.

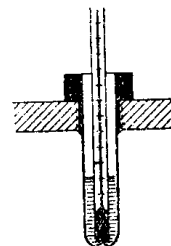
При этомъ во избѣжаніе измѣненія температуры вслѣдствіе теплообмѣна съ окружающей средой, измѣренія надо производить возможно ближе къ тому мѣсту, гдѣ хотятъ знать температуру.

Вводитъ стеклянный термометръ въ трубу или въ сосудъ съ паромъ или водою можно нѣсколькими способами; при небольшомъ давленіи внутри трубы или сосуда можно просто просверлить въ стѣнкѣ отверстіе и вставить въ него слегка коническую резиновую пробку съ небольшимъ отверстіемъ, въ которое туго вдвигается термометръ. Для лучшаго закрѣпленія термометра, что необходимо при болѣе значительныхъ давленіяхъ, отъ 2 до 5 атм., полезно отверстіе въ стѣнкѣ слегка нарѣзать метчикомъ, а термометръ передъ вдвиганіемъ въ резиновую пробку слегка смазать минеральнымъ масломъ. Черезъ нѣсколько дней пробка такъ прилипаетъ къ стеклу, что ее нельзя снять иначе, какъ разрѣзавъ. Наконецъ, пробку можно еще привязать къ трубѣ проволокой.

Если измѣреніе температуры предполагаютъ производить не только при кратковременномъ испытаніи, но и впоследствии, напр. у отходящей изъ поверхностнаго холодильника охлаждающей воды, то лучше устроить зажимъ въ родѣ сальника, черт. 143: въ трубу впаиваютъ или плотно ввертываютъ кусочекъ желѣзной или латунной трубки *a* съ рѣзьбой на утолщенномъ наружномъ концѣ; нажимной гайкой *b* надавливаютъ на резиновое кольцо *c* и тѣмъ получаютъ требуемую плотность. Выдавливанію термометра изъ трубы давленіемъ воды противодѣйствуетъ сила тренія; кромѣ того, можно приклеить резину къ термометру, какъ и выше, смазавъ его масломъ. Когда термометръ вынуть, въ гайку *b* вкладываютъ жестяной кружокъ.



Черт. 143.



Черт. 144.

При давленіяхъ свыше 4—5 атм. приходится отказываться отъ непосредственнаго введенія и пользоваться штуцеркомъ въ родѣ указаннаго на черт. 144. Штуцерокъ дѣлается изъ мѣдной трубки и тоже или

впаивается въ стѣнку или ввертывается въ нее на прокладкѣ. Для лучшей теплопередачи въ штуцерокъ наливается масло или еще лучше ртуть, но въ такомъ случаѣ онъ долженъ быть, конечно, желѣзный.

При пользованіи масломъ при измѣреніи высокихъ температуръ надо имѣть въ виду, что масло иногда содержитъ въ себѣ составныя части, кипяція при температурѣ ниже, чѣмъ указанная для даннаго масла; въ виду этого бываетъ, что термометръ показываетъ значительно ниже истинной температуры, пока упомянутыя части не выкипятъ, а потомъ сразу поднимается.

Поэтому надежнѣе заполнять штуцеръ до  $340^{\circ}$  ртутью, а выше оловомъ или другимъ легкоплавкимъ металлическимъ сплавомъ. При этомъ нужно лишь помнить и вынимать термометръ до того, какъ температура опустится до температуры затвердѣванія соотв. металла, такъ какъ иначе сплавъ, затвердѣвая, раздавитъ шарикъ съ ртутью.

Изъ легкоплавкихъ металловъ, которыми приходится пользоваться вмѣсто ртути, если штуцеръ не точеный желѣзный, можно указать слѣдующіе: 15% по вѣсу олова, 25% свинца и 60% висмута—точка плавленія  $+125^{\circ}$ ; 70% олова и 30% свинцу  $+190^{\circ}$ ; олово  $+232^{\circ}$ . Чистымъ свинцемъ, точка плавленія котораго  $326^{\circ}$ , пользоваться опасно, такъ какъ температура пара можетъ случайно упасть ниже  $326^{\circ}$ , и термометръ погибъ.

Въ вертикальную трубу штуцеръ вставляется наклонно подъ угломъ въ  $30^{\circ}$ — $45^{\circ}$ .

Недостатокъ пользованія штуцеромъ состоитъ въ томъ, что часть теплоты переходитъ черезъ штуцеръ къ трубѣ и отъ послѣдней излучается, такъ что даже при не очень высокихъ температурахъ шарикъ термометра имѣетъ температуру нѣсколько ниже, чѣмъ среда, движущаяся по трубѣ. Происходящую ошибку можно впрочемъ уменьшить, практически даже уничтожить, обернувъ трубу около штуцера, а также прикрывъ верхушку самого штуцера теплонепроницаемымъ матеріаломъ.

*Разрывъ ртутнаго столбика.* Волосная трубка термометра обыкновенно оканчивается вверху расширеніемъ, въ которое попадаетъ ртуть, если термометръ случайно нагрѣлся выше своей предѣльной температуры; безъ этого расширенія ртуть при чрезмѣрномъ повышеніи разорветъ стекло. При пользованіи термометромъ надо слѣдить, чтобы въ расширеніи не оставалось ртути, иначе показанія термометра будутъ меньше истинной температуры. Если ртуть несовсѣмъ чиста, то часть столбика можетъ оторваться и безъ нагрѣванія, отъ сотрясенія, напр., при пересылкѣ прибора.

Чтобы соединить столбикъ ртути, можно слегка постукивать нижнимъ концомъ термометра о деревянный столъ, или, взявъ его въ правую руку, сильно и рѣзко ударить ее о лѣвую, или воспользоваться центробѣжной силой: взявъ термометръ за верхній конецъ, быстро размахивать вытянутой рукой.

Въ зимнее время можно очень просто и надежно соединить столбикъ, охладивъ термометръ настолько, чтобы вся ртуть собралась въ шарикъ, при чемъ термометръ надо, конечно, слегка постукивать или встряхивать. Того же результата можно достигнуть при помощи какой нибудь холодильной смѣси.

*Поправки.* При болѣе точныхъ изслѣдованіяхъ, когда желательно опредѣлить температуру съ точностью до  $0,1^\circ$ , показанія даже лучшаго, вполне исправнаго термометра нуждаются въ нѣсколькихъ поправкахъ.

1, поправка на выступающій столбикъ ртути. Нормально градуировка лабораторныхъ термометровъ производится такимъ образомъ, что вся ртуть подвергается дѣйствию соотв. температуры. Поэтому, если во время пользованія термометромъ часть волосной трубки съ ртутью выдается наружу, то эта часть столбика ртути будетъ имѣть иную температуру, а, слѣдовательно, и длина ея будетъ иная, чѣмъ если бы она вся была погружена въ данную среду. Вслѣдствіе этого показаніе термометра будетъ невѣрно, и надо ввести нѣкоторую поправку, называемую часто „поправкой на столбикъ“.

Поправку эту можно вычислить по выраженію

$$v = n(t' - t_c) \alpha, \quad (25)$$

гдѣ  $t'$  температура, которую показываетъ термометръ,  $t_c$  средняя температура выступающаго столбика ртути,  $n$  число градусовъ, на которое столбикъ выдается,  $\alpha$  кажущійся коэффициентъ расширенія ртути, съ принятіемъ во вниманіе расширенія стеклянной трубки. Въ зависимости отъ состава стекла величина эта колеблется отъ  $\alpha = 0,00027$  для обыкновеннаго іенскаго стекла и до  $\alpha = 0,000155$  для лучшаго стекла 59<sup>III</sup>.

За температуру  $t_c$  можно съ достаточной точностью брать прямо температуру окружающаго воздуха, измѣренную термометромъ, шарикъ котораго виситъ на срединѣ высоты выступающаго столбика. Такъ какъ вслѣдствіе хорошей теплопередачи ртути средняя температура выступающаго столбика выше наружной температуры, особенно при малой длинѣ столбика, то правильнѣе брать для  $\alpha$  нѣсколько преуменьшенную величину. Съ достаточной точностью можно брать для дешовыхъ термометровъ  $\alpha = 0,0002$ , а для термометровъ изъ стекла 59<sup>III</sup>  $\alpha = 0,00014$ .

О значеніи этой поправки можно судить по слѣдующимъ примѣрамъ: измѣряется температура сильно перегрѣтаго пара при помощи термометра изъ стекла 59<sup>III</sup>; термометръ показываетъ  $t' = 337^\circ$ ; вставленъ онъ въ пинцетъ до дѣленія  $+40^\circ$ ; висящій рядомъ термометръ показываетъ  $t_c = +25^\circ$ , тогда по ур-ю (25), и по указанному выше считая  $\alpha = 0,00014$ , имѣемъ

$$v = (337 - 40) (337 - 25) 0,00014 = 13^\circ;$$

температура  $337^\circ$  или  $350^\circ$ —большая разница.

Другой примѣръ: давленіе пара 10,5 атм. по манометру; онъ былъ у котла слабо перегрѣтъ; надо узнать, сохранился ли перегрѣвъ или нѣтъ. Въ виду ожидаемой низкой температуры берутъ термометръ со шкалой до  $+200^{\circ}$  изъ іенскаго стекла съ  $\alpha=0,0002$ ; отчетъ даетъ  $t'=185^{\circ}$ , т. е. температуру насыщеннаго пара при давленіи 11,5 атм. абс.. Какъ будто является необходимость опредѣлить даже влажность пара. Но если обратить вниманіе, что термометръ вставленъ до дѣленія  $+30^{\circ}$ , а температура воздуха близъ него  $t_c=28^{\circ}$ , получаемъ поправку

$$\nu=(185-30)(185-28)0,0002=4,9^{\circ};$$

помимо того, что между  $185^{\circ}$  или  $190^{\circ}$  довольно значительная разница, этимъ доказывается, что паръ еще перегрѣтъ, хотя и слабо, и отпадаетъ необходимость опредѣленія его влажности.

Однако, поправка  $\nu$  необходима не только при измѣреніи высокихъ температуръ, но можетъ имѣть значеніе и для сравнительно низкихъ температуръ. Такъ, напр., при измѣреніи температуры конденсата поправка можетъ составить  $0,1-0,2^{\circ}$ , т. е. все же вліяетъ на величину десятичнаго знака при точныхъ измѣреніяхъ.

Впрочемъ, въ случаяхъ, когда надо знать не абсолютную температуру, а лишь разность двухъ температуръ и притомъ не сильно отличающихся одна отъ другой, ошибку можно практически свести къ нулю безъ введенія поправки, если вставить термометры такъ, чтобы столбики ртути у обоихъ выдавались примѣрно на одинаковое число градусовъ.

2, поправка на вліяніе давленія. Сосудъ съ ртутью испытываетъ давленіе изнутри отъ столбика ртути, снаружи—атмосферное или той среды, въ которую онъ погруженъ. Вліяніе этихъ давленій взаимно противоположно, но оба они стремятся измѣнить емкость сосуда съ ртутью и тѣмъ сдвинуть всю шкалу.

Если термометръ былъ градуированъ при барометрическомъ давленіи въ 760 мм., то при иномъ наружномъ давленіи  $h$ , выраженномъ тоже въ мм. рт. ст., надо ввести поправку.

$$\mu=(760-h)\beta, \quad (26)$$

гдѣ  $\beta$  коэффициентъ, зависящій отъ сорта стекла и опредѣляемый опытнымъ путемъ. Численно  $\beta$  колеблется отъ 0,0001 до 0,0002; для термометровъ изъ стекла 59ш  $\beta=0,000152$ , изъ 16ш и простого іенскаго—ближе къ 0,0002.

Колебаніемъ высоты барометра при нашихъ измѣреніяхъ можно смѣло пренебрегать, но при непосредственномъ введеніи термометра безъ штуцера давленіе воды или пара въ трубѣ можетъ замѣтно вліять на показанія термометра. Такъ, напр., если охлаждающая вода, поступающая въ холодильникъ, имѣетъ давленіе по манометру 3 атм., то поправка для термометра изъ стекла 16ш получается

$$\mu=(760-4 \times 735,5) \cdot 0,0002=-0,41^{\circ}.$$

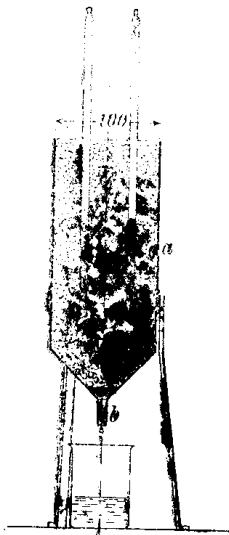
Какъ видимъ, поправкой нельзя пренебречь, если измѣряютъ температуру съ точностью до  $0,1^\circ$ .

Впрочемъ, даже и при измѣреніи температуры въ холодильникѣ или самого конденсата, если измѣреніе производится правильно, т. е. сейчасъ же у холодильника, до насоса, поправка можетъ повліять на десятичный знакъ. Напр., при давленіи въ холодильникѣ въ  $0,05$  кгр./см.<sup>2</sup> абс., т. е. около 37 мм. рт. ст., величина поправки получается

$$\mu = (760 - 37) \cdot 0,0002 = +0,14^\circ.$$

3, поправка на перемѣщеніе  $0^\circ$  и, слѣдовательно, всей шкалы подъ вліяніемъ термическаго послѣдствія. Какъ бы хорошъ и точенъ приборъ ни былъ, но съ теченіемъ времени неизбѣжно вліяніе термическаго послѣдствія. Соотв. поправку можно находить проце всего опытнымъ путемъ—провѣркой.

*Провѣрку* термометра можно производить, или опредѣляя положеніе  $0^\circ$  погруженіемъ термометра въ тающій ледъ, или сличая его показанія съ точнымъ нормальнымъ приборомъ, снабженнымъ свидѣтельствомъ германскаго Физико-Техническаго Имперскаго Института (Ф.-Т. И. И.). Послѣдній способъ имѣетъ еще то преимущество, что при немъ, кромѣ нахождения истиннаго положенія  $0^\circ$ , при послѣдовательномъ сличеніи рабочаго термометра съ точнымъ одновременно получаютъ еще для ряда температуръ поправки, зависящія отъ неполной цилиндричности волосной трубки. Сличеніе производятъ, погружая оба термометра въ воду и хорошенько ее помѣшивая. Произведя сличеніе съ водой различной температуры, составляютъ таблицу поправокъ для всей шкалы термометра, которой въ дальнѣйшемъ и пользуются.



Черт. 145.

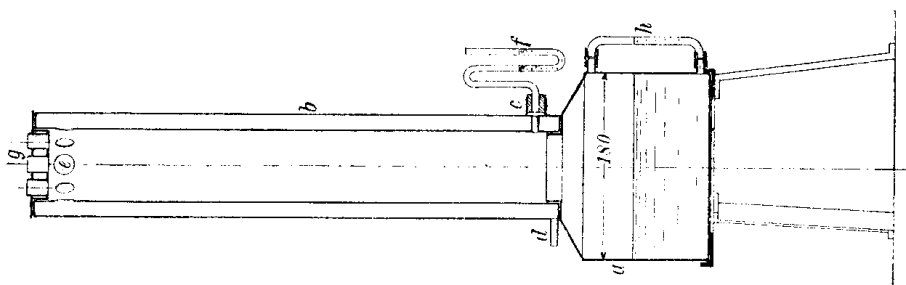
При болѣе точныхъ испытаніяхъ полезно опредѣленіе  $0^\circ$  производить по возможности чаще, не рѣже, чѣмъ каждые 2—3 мѣсяца. Повторнаго сличенія всей шкалы производить, конечно, незачѣмъ; при измѣненіи положенія  $0^\circ$  надо лишь внести соотв. измѣненія въ указанную таблицу поправокъ.

Провѣрка  $0^\circ$  производится очень удобно въ приборѣ по черт. 145: *a* латунный или цинковый цилиндрической сосудъ 100—120 мм. въ діаметрѣ, открытый сверху, съ коническимъ дномъ, въ которомъ имѣется отверстие и трубка *b* для спуска образующейся воды, такъ какъ иначе при скопленіи воды температура ея повышается вслѣдствіе поглощенія тепла изъ окружающаго воздуха. Впрочемъ, спускать нужно лишь избытокъ воды такъ, чтобы шарики съ ртутью не соприкасались съ воздухомъ, а были подъ уровнемъ воды; для этого на патрубкѣ *b* надѣваютъ резиновую трубку и снабжаютъ ее зажимомъ.



Для точности провѣрки  $0^{\circ}$  ледъ надо брать совершенно чистый, т. е. полученный изъ дистиллированной воды. Ради лучшаго прилеганія льда къ термометру приборъ надо наполнять возможно мелкими кусочками льда или еще лучше льдомъ, наскобленнымъ ножомъ. Во льдѣ термометръ надо держать минутъ 10—15 и вынимать его лишь послѣ того, какъ показанія его вполне установятся.

Провѣрка  $100^{\circ}$  производится въ приборѣ по типу черт. 146: на треножникѣ стоитъ латунный котелокъ *a*, на горловину которого на-



дѣтъ цилиндръ *b* изъ цинка или бѣлой жести съ двойными стѣнками; сверху накладывается крышка *g*, въ патрубки-отверстія которой вставляются пробки, черезъ которыя пропускаются провѣряемые приборы; отверстія *e* и патрубковъ *d* сообщаютъ внутреннюю полость съ наружной атмосферой; *f* стеклянный водяной манометръ, сообщающійся съ внутреннимъ паровымъ пространствомъ; по этому манометру регулируютъ пламя горѣлки, нагревающей котелокъ *a*, такъ, чтобы парообразование не было слишкомъ сильно, и давленіе пара равнялось атмосферному, барометрическому давленію *B*.

При пользованіи приборомъ нужно слѣдить, чтобы чувствительная часть провѣряемаго прибора, шарикъ ртути, спай термоэлемента или платиновая спиралька, отнюдь не была погружена въ воду, такъ какъ температура послѣдней не равна температурѣ пара, опредѣляемой по барометрическому давленію *B*. Съ другой стороны, чувствительную часть не слѣдуетъ поднимать и излишне высоко надъ уровнемъ воды.

Для контроля полезно и при этомъ приборѣ держать въ немъ точный нормальный термометръ.

Не нужно забывать, что температура паровъ воды равна  $100^{\circ}\text{C}$ . только при барометрическомъ давленіи  $B=760$  мм. При высшемъ давленіи температура выше, при низшемъ ниже. Съ достаточной точностью можно считать, что на каждый 1 мм.рт.ст. давленія температура мѣняется на  $\pm 0,037^{\circ}$ . При точныхъ приборахъ и измѣреніяхъ и значительномъ отклоненіи барометрическаго давленія отъ нормальнаго этой поправкой отнюдь нельзя пренебрегать.

Провѣрка термометра при высшихъ температурахъ производится всего проще путемъ сличенія съ точнымъ приборомъ въ масляной ваннѣ, хорошенько перемѣшиваемой мѣшалкой или хотя бы просто лопаточкой.

**18. Термоэлементы. Общія указанія.**—Термоэлектрической способъ измѣренія температуръ основанъ на томъ, что если два стержня изъ разныхъ металловъ соединить—спаять обоими концами другъ съ другомъ такъ, чтобы по остальной длинѣ они другъ друга не касались, и температуру одного спая поднять выше температуры другого, то въ замкнутой цѣпи стержней появится электродвижущая сила, величина которой зависитъ отъ разности температуръ спаевъ и отъ природы взятыхъ металловъ. Измѣряя эту силу и зная температуру одного изъ спаевъ, можно опредѣлить температуру другого спая.

*Выборъ термопаръ.* При выборѣ металловъ для термопары надо имѣть въ виду два главныхъ обстоятельства: во-первыхъ, величину электродвижущей силы и законъ ея измѣненія, а затѣмъ физическія и химическія свойства данныхъ матеріаловъ; между прочимъ важнымъ условіемъ для хорошаго термоэлемента является отсутствіе вторичныхъ токовъ.

Что касается величины электродвижущей силы, то она должна быть тѣмъ больше, чѣмъ ниже измѣряемая температура, и законъ ея измѣненія съ температурой желательнo имѣть возможно ближе къ закону наклонной прямой.

Что касается физическихъ и химическихъ свойствъ выбираемыхъ металловъ, то они должны удовлетворять слѣдующимъ требованіямъ: металлы должны быть возможно чисты, по возможности не окисляться, не мѣнять своего строенія отъ послѣдовательныхъ нагрѣваній, не быть хрупкими и, наконецъ, быть тягучими, чтобы изъ нихъ можно было изготовлять проволоку одинаковаго сѣченія по длинѣ.

Имѣя въ виду все вышесказанное, для измѣренія низкихъ температуръ, отъ 0° до 100°Ц., надо брать термопары изъ желѣза и константана—сплава изъ 60% никкеля и 40% мѣди.

Зависимость электродвижущей силы  $e$  этой термопары отъ температуры  $t$  можетъ быть выражена, принимая температуру одного изъ спаевъ равной 0°Ц.,

$$e=0,0481 t+0,0000027 t^2. \quad (27)$$

Какъ видно по ур-ю (27), электродвижущая сила растеть почти просто пропорціонально температурѣ.

Для температуръ до 360° можно брать или ту же термопару желѣзо-константанъ, или термопары мѣдь-константанъ или серебро-константанъ. Послѣдней термопарѣ слѣдуетъ отдавать предпочтеніе при высокихъ температурахъ, какъ менѣе подверженной окисленію, т. е. менѣе измѣняемой и въ отношеніи показаній. Законъ измѣненія электродвижущей силы термопары мѣдь-константанъ можетъ быть выраженъ уравненіемъ

$$e=0,0403 t+0,0000255 t^2, \quad (28)$$

а для термопары серебро-константанъ—

$$e=0,035 t+0,000025 t^2. \quad (29)$$

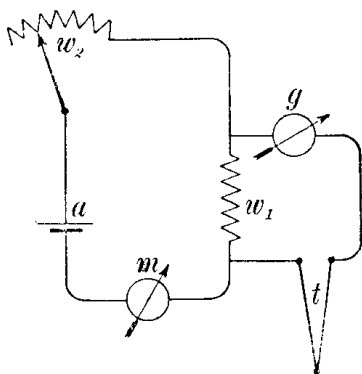
Какъ видимъ по ур-ямъ (28) и (29), кривая для термопары серебро-константанъ лишь немногимъ отлже кривой для пары мѣдь-константанъ, т. е. чувствительность ея лишь немногимъ менѣе.

. Впрочемъ, нужно замѣтить, что числовые коэффициенты въ ур-яхъ (27)–(29) неполнѣ постоянны, а представляютъ лишь среднія величины, такъ какъ очень трудно имѣть химически чистые металлы и еще труднѣе получать вполне тождественные и однородные сплавы. Поэтому при пользованіи термопарами находятъ  $f(e,t)$  для каждой пары кусковъ проволоки опытнымъ путемъ и полученные результаты представляютъ въ видѣ таблицы или, что значительно удобнѣе, въ видѣ діаграммы.

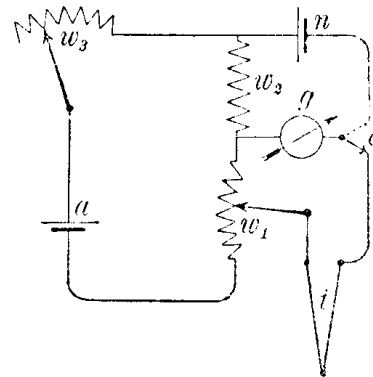
*Способы измѣренія.* Само измѣреніе развивающейся влѣдствіе разности температуръ электродвижущей силы можно производить двумя способами: непосредственнымъ измѣреніемъ напряженія тока при помощи чувствительнаго милливольтметра и, такъ назыв., нулевымъ способомъ.

Нулевой способъ, или способъ компенсаціоннаго соединенія, примѣняется при болѣе точныхъ измѣреніяхъ, такъ какъ онъ болѣе чувствителенъ. Онъ состоитъ въ томъ, что неизвѣстная электродвижущая сила термоэлемента уравнивается другой, извѣстной электродвижущей силой.

Схема этого способа представлена на черт. 147:  $t$  термоэлементъ,  $a$  небольшой электрической аккумуляторъ,  $w_1$  постоянное, а  $w_2$  регулируемое сопротивление,  $m$  миллиамперметръ, а  $g$  гальванометръ. Токъ отъ аккумулятора  $a$ , регулируемый при помощи сопротивления  $w_2$ ,



Черт. 147.



Черт. 148.

вызываетъ въ сопротивленіи  $w_1$ , равномъ, напр., 0,1 ома, разность потенциаловъ, которая должна уравнивать неизвѣстную электродвижущую силу термоэлемента  $t$ ; для этого передвигаютъ контактъ на  $w_2$ , пока стрѣлка гальванометра  $g$  не станетъ на 0; отчетъ на миллиамперметрѣ  $m$  позволитъ найти температуру  $t$ .

Если въ предыдущей схемѣ вмѣсто сопротивления  $w_2$  измѣнять при производствѣ отчета сопротивление  $w_1$ , то получимъ схему по черт. 148:

токъ отъ аккумулятора  $a$ , дающій строго опредѣленную разность потенциаловъ на каждомъ элементѣ сопротивленія  $w_1$ , идетъ по главной сѣти  $w_1 w_2 w_3$   $a$  и отвѣтвляется въ участокъ  $teg$ ; чѣмъ больше электродвижущая сила термопары  $t$ , направленная навстрѣчу этому току, тѣмъ дальше надо передвинуть контактъ на сопротивленіи  $w_1$ , т. е. увеличить его, чтобы обѣ электродвижущія силы уравнились, на что укажетъ стрѣлка гальванометра  $g$ ; положеніе контакта  $w_1$  даетъ непосредственно разность потенциаловъ въ милливольтѣхъ, откуда обычнымъ путемъ находится температура  $t$ .

Такъ какъ паденіе напряженія въ главной сѣти на участкѣ  $w_1 w_2 w_3$  должно быть всегда точно одинаковое, а электродвижущая сила аккумулятора  $a$  мѣняется, то паденіе напряженія приходится передъ отчетомъ регулировать при помощи сопротивленія  $w_3$ . Регулированіе производится сравненіемъ съ нормальнымъ элементомъ  $n$ , который включается при помощи переключателя  $c$ , такъ, чтобы стрѣлка гальванометра опять таки становилась на нуль.

Способъ по схемѣ черт. 148 надежнѣе способа по схемѣ черт. 147, такъ какъ въ немъ точность показаній зависитъ лишь отъ постоянства электродвижущей силы нормальнаго элемента  $n$  и сопротивленія  $w_1$ , что въ дѣйствительности достижимо, а въ способѣ по черт. 147 точность зависитъ отъ точности показаній такого хрупкаго прибора, какъ миллиамперметръ  $m$ .

При нулевомъ способѣ можно пользоваться термопарами изъ болѣе тонкой, до 0,2 мм., проволоки, что еще увеличиваетъ чувствительность прибора.

Недостатки нулевого способа—большая сложность производства отчетовъ и невозможность измѣрять быстро колеблющіяся температуры, а также дороговизна измѣрительныхъ приспособленій.

*Поправки на сопротивленіе.* При работѣ съ термоэлементомъ надо помнить, что свидѣтельство Ф.-Т. И. И., которымъ долженъ быть снабженъ каждый хорошій термоэлементъ, указываетъ электродвижущую силу  $e$  самого элемента. Присоединенный къ термоэлементу милливольтметръ измѣряетъ напряженіе у зажимовъ, которое меньше  $e$  на величину паденія напряженія въ самомъ элементѣ; послѣднее равно произведенію  $i \cdot r$ , гдѣ  $i$  сила тока, а  $r$  внутреннее сопротивленіе элемента. Такъ какъ  $i$  зависитъ отъ внѣшняго сопротивленія, т. е. главнымъ образомъ отъ гальванометра, то и напряженіе у зажимовъ элемента будетъ разное, смотря по взятому гальванометру. Кромѣ того, гальванометръ обычно ставится на нѣкоторомъ разстояніи отъ термоэлемента и соединяется съ нимъ мѣдными проводниками, сопротивленіе которыхъ тоже нужно принимать во вниманіе, такъ какъ въ случаѣ значительнаго разстоянія и небольшого сопротивленія гальванометра вліяніе ихъ можетъ быть довольно значительно.

Такимъ образомъ для полученія точныхъ результатовъ показанія прибора надо множить на нѣкоторый коэффициентъ, вычисляемый на основаніи закона Ома. Если  $e'$  показаніе гальванометра,  $r_1$  внутреннее сопротивление термоэлемента,  $r_2$ —мѣдныхъ проводниковъ,  $r_3$ —гальванометра, то дѣйствительная электродвижущая сила  $e$ , по которой надо опредѣлять искомую температуру при помощи свидѣтельства Ф.-Т. И. И.,

$$e = e' \frac{2(r_1 + r_2) + r_3}{r_1 + r_2 + r_3}. \quad (30)$$

О величинѣ поправки можно судить по слѣдующему примѣру: термоэлементъ изъ серебра-константана; проволоки имѣютъ  $d=0,5$  мм.; длина ихъ  $l=1000$  мм.;  $r_1=2,49$  ома; длина мѣдныхъ проводниковъ  $L=15$  м. каждаго; діаметръ ихъ  $d_2=1,0$  мм.; сопротивление милливольтметра  $r_3=357$  ома.

Сперва найдемъ сопротивление  $r_2$  проводниковъ: удѣльное сопротивление мѣди  $c=0,017$ ; при помощи выраженія

$$r = c \cdot L / f, \quad (31)$$

гдѣ  $f$  сѣченіе проводника въ мм<sup>2</sup>., получаемъ для обоихъ проводниковъ

$$r_2 = 2 \cdot 0,017 \cdot \frac{15}{0,7854} = 0,66 \text{ ома};$$

тогда по ур-ію (30)

$$e = e' \frac{2(2,49 + 0,65) + 357}{2,49 + 0,65 + 357} = 1,009 e'.$$

Поправка равна почти 1%; при температурѣ въ  $+360^\circ$  она составитъ  $+3,2^\circ$ , что уже очень много.

Для практическаго пользованія на основаніи такого вычисленія составляютъ по таблицѣ изъ свидѣтельства Ф.-Т. И. И. кривую температуръ уже для всей установки: термопары, проводниковъ и милливольтметра. Такая діаграмма позволяетъ по отчету милливольтметра сразу получить графически исправленную температуру.

Если термоэлементъ присланъ безъ свидѣтельства, а съ милливольтметромъ съ шкалой, градуированной прямо на  $^\circ\text{Ц}$ ., то указанная поправка внесена уже при изготовленіи прибора. Однако въ случаѣ включенія длинныхъ соединительныхъ проводниковъ полезно произвести провѣрку нѣсколькихъ температуръ по основнымъ точкамъ: плавленія льда для  $0^\circ$ , кипѣнія воды для  $+100^\circ$  и кипѣнія ртути для  $+357,2^\circ$ .

*Вліяніе холодныхъ спаевъ.* Второе важное условіе для точности показаній—чтобы свободные концы, такъ назыв. холодные спаи, термоэлемента имѣли ту же температуру, что и при градуировкѣ. Въ Ф.-Т. И. И. термоэлементы вывѣряютъ, погружая эти концы въ тающій ледъ. Это самый правильный способъ. При техническихъ измѣреніяхъ часто ограничиваются охлажденіемъ концовъ проточной водой, температура которой измѣряется и прибавляется къ показаніямъ термоэлемента.

Иногда концы не охлаждаются и просто прибавляютъ къ показаніямъ прибора температуру окружающаго воздуха. Однако послѣдній способъ нельзя признать правильнымъ: вслѣдствіе лучеиспусканія и теплопередачи отъ нагрѣтаго спая температура холодныхъ спаевъ можетъ быть значительно выше температуры воздуха, и ошибка можетъ достигнуть нѣсколькихъ градусовъ, и въ то же время учесть ее никакъ нельзя.

Въ милливольтметрахъ, имѣющихъ температурную шкалу и приспособленіе для перестановки стрѣлки, поправку на температуру холодныхъ спаевъ можно избѣгать, установивъ до включенія милливольтметра его стрѣлку не на  $0^\circ$ , а на температуру холодныхъ спаевъ, погруженныхъ въ проточную воду. Конечно, при точныхъ измѣреніяхъ способъ этотъ не годится, такъ какъ электродвижущая сила растетъ согласно у-рій (27) ÷ (29) не прямо пропорціонально температурѣ, а нѣсколько быстрѣе.

*Вліяніе температуры помѣщенія.* Наконецъ, нужно еще имѣть въ виду, что сопротивление обмотки милливольтметровъ, а, слѣдовательно, и ихъ показанія зависятъ отъ температуры. Поэтому милливольтметръ надо устанавливать такъ, чтобы онъ имѣлъ нормальную комнатную температуру. Если устранить его нагрѣванія нельзя, то показанія его будутъ ниже истинныхъ, и надо ввести нѣкоторую поправку. Для современныхъ ходовыхъ приборовъ отчеты надо умножать на  $\alpha = (1 + 0,0013\Delta t)$ , гдѣ  $\Delta t$  превышеніе температуры прибора надъ нормальной комнатной ( $+15^\circ\text{Ц.}$ ).

При болѣе точныхъ наблюденіяхъ числовой коэффициентъ при  $\Delta t$  нужно вычислять, затребовавъ отъ фабриканта прибора точныя данныя о величинахъ сопротивленія всего прибора и обмотки его отдѣльно.

Наконецъ, вообще надо слѣдить, чтобы всѣ соединенія, гдѣ соприкасаются разные металлы, имѣли одинаковую температуру, равную температурѣ помѣщенія; иначе въ этихъ мѣстахъ получатся тоже термоэлектрическіе токи, вліяющіе на показаніе термоэлемента.

Точность показаній указанныхъ выше термомпаръ въ связи съ хорошими милливольтметрами составляетъ при соблюденіи всѣхъ приведенныхъ поправокъ  $\pm 1^\circ$ , въ лучшемъ случаѣ  $\pm 0,5^\circ$ . При пользованіи нулевымъ методомъ измѣренія можно легко имѣть точность  $\pm 0,5^\circ$  и даже до  $\pm 0,2^\circ$ .

**19. Конструкція и принадлежности термоэлементовъ.**—Проволока для термоэлементовъ берется длиной около 100 см.; длина собственно не имѣетъ значенія, лишь бы она была достаточно велика, чтобы теплота, сообщаемая одному концу проволоки термомпары, не нагрѣвала другихъ концовъ.

Если требуется нѣсколько одинаковыхъ термоэлементовъ, то проще всего и дешевле выписать снабженную свидѣтельствомъ Ф.-Т. И. И. термомпару изъ двухъ проволокъ такой длины, чтобы, разрѣзавъ ихъ на куски примѣрно по 100 см. каждый, получить требуемое число тер-

мопарь. Затѣмъ надо еще имѣть соотв. милливольтметръ или приборъ для нулевого измѣренія и переключатель. Оправу для термоэлементовъ для всѣхъ измѣреній съ паровыми турбинами можно изготовлять на мѣстѣ, а для нѣкоторыхъ измѣреній, какъ увидимъ ниже, иначе даже и нельзя поступать.

Термоэлементы чаще всего изготовляются изъ проволоки толщиной въ 0,5÷1,0 мм. Хотя термомпары изъ константана въ сочетаніи съ желѣзомъ, мѣдью и серебромъ можно имѣть толщиной и до 2 мм., но такая толщина бесполезна, а иногда даже вредна, когда измѣряемая температура подвержена колебаніямъ.

Соединеніе концовъ, подвергаемыхъ измѣряемой температурѣ, производится или сплавленіемъ ихъ или, при низкихъ измѣряемыхъ температурахъ, спаиваніемъ чистымъ оловомъ, при чемъ нельзя пользоваться никакими кислотами, а лишь канифолью, такъ какъ кислоты раздѣдаютъ проволоки и мѣняютъ сопротивленіе термоэлемента.

Всего надежнѣе соединять концы проволокъ, скрутивъ ихъ другъ съ другомъ на длинѣ около 5 мм. и сплавивъ кончики на газовой горѣлкѣ. Одно скручиваніе ненадежно, такъ какъ проволоки могутъ покрыться окисью, которая сильно увеличиваетъ сопротивленіе.

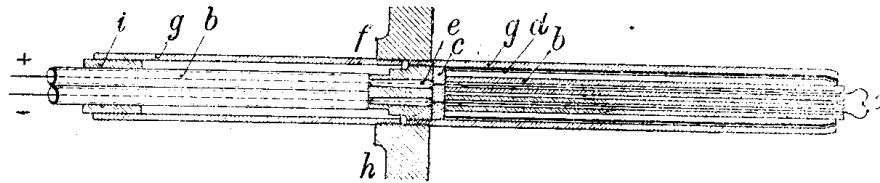
Свободные концы термоэлемента соединяются съ изолированными мѣдными проводниками, ведущими къ прибору, при помощи котораго измѣряется электродвижущая сила. Соединеніе это дѣлается или при помощи зажимовъ или лучше при помощи припаиванія оловомъ съ канифолью же. Въ виду ничтожнаго напряженія тока изоляція проводниковъ можетъ быть простая, какъ для электрическихъ звонковъ.

Сопротивленіе этихъ проводниковъ не должно быть велико; желательно дѣлать его не болѣе 1 ома; для этого при длинѣ каждаго изъ проводниковъ до 20 м. достаточно брать мѣдную проволоку толщиной въ 1 мм., при длинѣ до 100 м.—въ 2 мм..

Проволоки термомпары надо тщательно изолировать другъ отъ друга по всей длинѣ. Это можно сдѣлать, надѣвъ на одну изъ нихъ тонкую стеклянную трубку или стеклянныя бусы; весь элементъ вставляется тоже въ стеклянную трубку, запаивая ее съ одного конца. Снаряженный такимъ образомъ термоэлементъ можно вводить въ паровое или водяное пространство такими же способами, какъ и ртутные термометры.

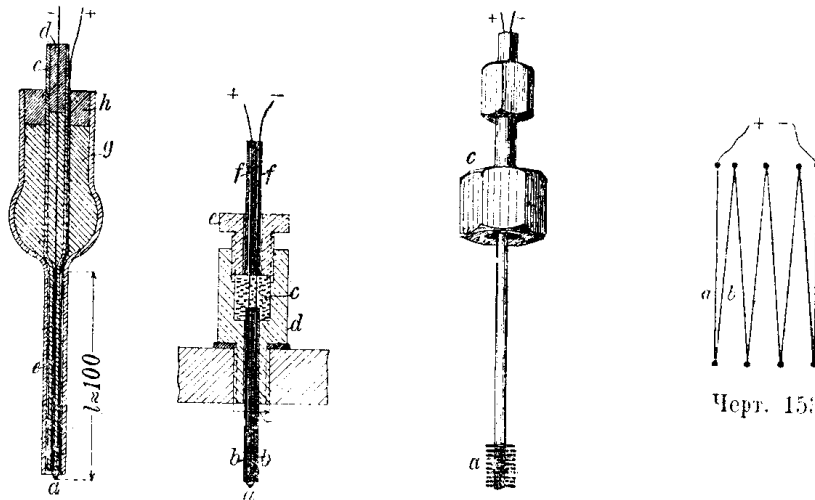
Если хотять повысить чувствительность термоэлемента, то можно брать открытую трубку и даже немного выставить изъ нея горячій спай. Термомпара должна быть составлена въ этомъ случаѣ изъ проволокъ, которыя при данныхъ температурахъ и средѣ не окисляются, какъ, напр., изъ константана и серебра. При этомъ нужно принять мѣры, въ родѣ устройства сальника, чтобы сохранить герметичность того пространства, гдѣ находится паръ или вода подъ давленіемъ, отличающимся отъ атмосфернаго.

На черт. 149 показанъ образецъ такого термоэлемента <sup>48)</sup>; *a* нагреваемый спай термоэлемента, *b, b* стеклянные трубки, *c* гипсовая заливка, *d* стеклянная трубка, охватывающая термоэлементъ, *e* изолирующая оболочка, стекло или резина въ мѣдной пробкѣ *f*, ввернутой въ желѣзную трубку *g*, которая сама ввернута въ чугунный фланецъ *h*; наружная желѣзная труба *g* защищаетъ выводные концы термоэлемента отъ механическихъ поврежденій; *i* пробка, резиновая или даже древесная.



Черт. 149.

На черт. 150 представлено болѣе простое снаряженіе, употребляемое авторомъ: одна изъ проволокъ термопары вставляется въ тоненькую стеклянную трубку *b*, припаянную къ болѣе широкой трубкѣ *e*, въ которую наливается гипсъ, а сверху менделѣевская замазка *d*; затѣмъ обѣ проволоки вставляются въ стеклянную трубку *c* съ раструбомъ *f* наверху и тоже заливаются гипсомъ *g* и сверху менделѣевской замазкой *h*. Снаряженный такимъ образомъ термоэлементъ вставляется въ паровое пространство при помощи штуцера по типу черт. 143.



Черт. 150—151.

Черт. 152.

Черт. 153.

Наконецъ, на черт. 151 представлена оправа термоэлемента, употреблявшаяся авторомъ для ввертыванія въ кожухъ многоступеньчатой турбины для изслѣдованія температуры въ разныхъ ступеняхъ: *a* измѣрительный спай, *b* и *b* двѣ тоненькія стеклянные трубочки, которыя послѣ того, какъ онѣ надѣты на термопару, разогрѣваются до размягченія и сплющиваются, чтобы могли пройти въ возможно не-

<sup>48)</sup> Forsch. H. 12. S. 10.



большое отверстіе, 5—6 мм., въ бронзовой пробкѣ *d*; далѣе проволоки пропускаются черезъ резиновую пробку *e*, въ которую входятъ и кончики трубокъ *b, b*; резина нажимается нишпелемъ *e*; *f, f* тоже стеклянныя трубки. Достоинство этого снаряженія—очень малая толщина части, вдающейся въ паровое пространство, и плотность при любомъ давленіи пара.

Чтобы сдѣлать термоэлементъ желѣзо-константанъ болѣе чувствительнымъ къ колебаніямъ температуры, и имѣя въ виду легкую окисляемость желѣза, не позволяющую оставлять горячій спай открытымъ, фирма Кейзеръ и Шмидтъ изготовляетъ для паропроводовъ съ перегрѣтымъ паромъ особый термоэлементъ съ арматурой изъ тонкой стальной трубки, снабженной близъ горячаго спая 8—10 тонкими ребрами *a*, увеличивающими поверхность наконечника въ 10—20 разъ, черт. 152. Чтобы въ случаѣ, если стальная трубка начнетъ пропускать паръ, послѣдній не могъ вырваться наружу или просачиваться въ кабель, ведущій къ гальванометру, въ головкѣ *e* устроенъ сальничекъ.

Для увеличенія электродвижущей силы термоэлемента, при данной разности температуръ горячаго и холодныхъ спаевъ, а вмѣстѣ съ тѣмъ, слѣдовательно, и точности прибора, можно включать послѣдовательно нѣсколько термопаръ по схемѣ черт. 153: *a, a*, лѣвыя проволоки въ каждой изъ 4 паръ, напр., изъ константана, а *b, b*, правыя—изъ желѣза, мѣди или серебра. Электродвижущая сила такого сложнаго термоэлемента, конечно, при равенствѣ электродвижущихъ силъ всѣхъ отдѣльныхъ термопаръ, въ 4 раза больше силы каждой термопары, и во столько же разъ больше отклоненіе стрѣлки милливольтметра при данной разности температуръ. Такими термоэлементами при соотв. числѣ паръ можно измѣрять самыя ничтожныя колебанія температуръ до 0,1° и даже еще меньше. Однако нужно имѣть въ виду, что послѣдовательное соединеніе нѣсколькихъ элементовъ понижаетъ чувствительность прибора, т. е. быстрое слѣдованіе за колебаніями температуры.

Такимъ образомъ въ термоэлементѣ по черт. 152 соединены, напр., послѣдовательно 2 термопары изъ желѣза-константана, что позволяетъ измѣрять температуры отъ 0 до 50° съ точностью до 0,25°, благодаря же ребрамъ сохранена достаточная чувствительность.

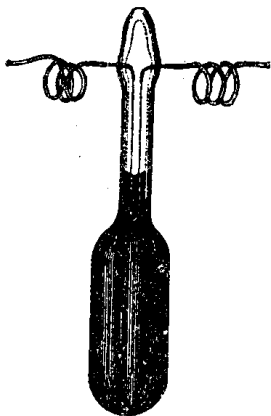
*Холодные спаи.* Какъ уже сказано выше, холодные спаи термоэлементовъ надо охлаждать или тающимъ льдомъ или водой.

Ледъ можно держать или просто въ стеклянномъ стаканѣ, или лучше въ сосудѣ съ отверстіемъ у дна для спусканія тающей воды. Въ качествѣ такового можно пользоваться, напр., сосудомъ по черт. 145.

При охлажденіи проточной водой, температуру которой надо измѣрять термометромъ, можно пользоваться ванночкой въ родѣ фотографической для промывки негативовъ съ притокомъ и отводомъ воды резиновыми трубками, или стекляннымъ сосудомъ, въ который вода попадаетъ близъ дна по резиновой трубкѣ изъ поставленнаго выше

ведра или боченка, а стекаетъ прямо черезъ край въ подставленный тазъ.

Въ настоящее время существуютъ приборы, въ которыхъ устранена не только необходимость поддерживать постоянной температуру холодныхъ спаевъ, но и вводить вообще какія либо поправки къ показаніямъ милливольтметра.



Черт. 154.

Одно изъ такихъ приспособленій—„компенсаторъ“ проф. Бристоля <sup>49)</sup>, черт. 154, представляющій изъ себя добавочное сопротивление, уменьшающееся съ возрастаніемъ температуры. Это наполненный ртутью запаянный стеклянный сосудъ, съ высокой, узкой шейкой; въ ртуть погружена петля изъ платиновой проволоки; соединенные съ ней и пропущенные черезъ стекло мѣдные концы припаиваются—одинъ къ одному изъ свободныхъ концовъ термопары, другой къ одному изъ проводниковъ, ведущихъ къ милливольтметру.

При повышеніи окружающей температуры и температура холодныхъ спаевъ повышается, а, слѣдовательно, показанія милливольтметра уменьшаются. Но при этомъ возрастаетъ и температура ртути въ компенсаторѣ, ртуть расширяется, уровень ея поднимается, и длина свободныхъ концовъ петли уменьшается, а вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается и ея сопротивление, что, въ свою очередь, увеличиваетъ отклоненіе стрѣлки милливольтметра. Путемъ подбора длины петли, емкости сосуда съ ртутью и діаметра его шейки въ зависимости отъ внутренняго сопротивленія милливольтметра можно достигъ полного уничтоженія вліянія измѣненія температуры холодныхъ спаевъ. Компенсаторъ Бристоля очень удобенъ, особенно при пользованіи милливольтметрами съ неособенно большимъ внутреннимъ сопротивленіемъ.

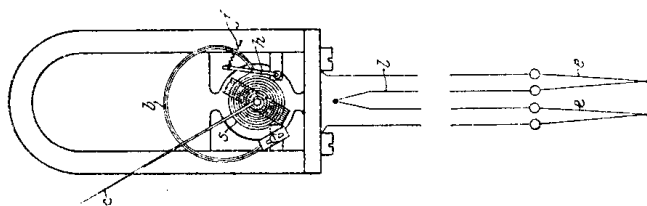
Другое аналогичное приспособленіе, сконструированное Шварцемъ и изготовляемое фирмой Кейзеръ и Шмидтъ, состоитъ въ слѣдующемъ <sup>50)</sup>: мѣдные проводники, ведущіе къ милливольтметру, совсѣмъ выброшены, къ его зажимамъ присоединяются прямо проволоки термопары—железныя и константановыя, при чемъ имъ придается длина въ зависимости отъ разстоянія, на которомъ стоитъ милливольтметръ. Иными словами, холодные спаи имѣютъ ту же температуру, что и весь милливольтметръ; послѣдній же снабжается приспособленіемъ, автоматически добавляющимъ къ разности температуръ нагрѣтаго и холоднаго спаевъ температуру помѣщенія. Термопара железо-константанъ берется потому, что законъ измѣненія ея электродвижущей силы всего ближе подходитъ къ наклонной прямой, что особенно важно при измѣняющейся температурѣ холодныхъ спаевъ.

<sup>49)</sup> Sc. Amer. 1906, 94, p. 415; Iron Age. 77, p. 1610; Eng. News, p. 159.

<sup>50)</sup> Z. V. d. I. 1912, S. 259.

При пользовании нѣсколькими термопарами по схемѣ черт. 153, промежуточные ненагрѣваемые спай желѣза и константана выводятся тоже до гальванометра, чтобы и они имѣли ту же температуру.

На черт. 155 представлена схема такого соединенія и соотв. гальванометра:  $e$  и  $e'$  два термоэлемента, соединенные послѣдовательно при



Черт. 155.

помощи компенсаціонной петли  $l$ ; спираль  $b$ , спаянная изъ двухъ пластинокъ съ разными коэффициентами расширенія при измѣненіи температуры, лѣвымъ концомъ закрѣплена неподвижно, а правымъ, свободнымъ концомъ прилегасть къ пружинной державкѣ  $h$  подводящей спирали  $s$ . При возрастаніи температуры спираль  $b$  развертывается и сообщаетъ подвижной системѣ прибора и стрѣлкѣ  $e$  при содѣйствіи пружинки  $f$  и спирали  $s$  вращеніе по часовой стрѣлкѣ; при уменьшеніи температуры стрѣлка  $e$  поворачивается немного въ обратную сторону. При помощи этого устройства стрѣлка милливольтметра безъ воздѣйствія термотока устанавливается на температуру окружающаго воздуха. Температура эта, равная температурѣ холодныхъ спаевъ, лежащихъ у самаго прибора, такимъ образомъ автоматически добавляется къ температурѣ, указываемой милливольтметромъ при воздѣйствіи термотока.

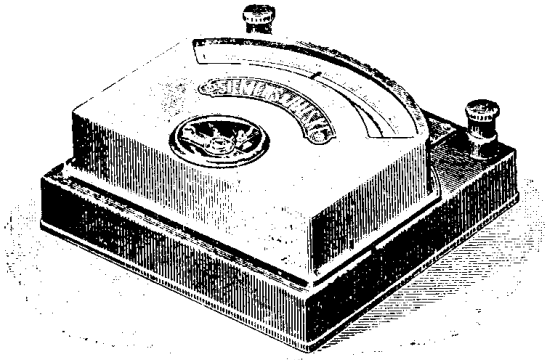
*Милливольтметры.* Въ качествѣ измѣрительнаго прибора обыкновенно берутъ прецізійный милливольтметръ со стрѣлкой, чаще всего системы Дебрэ-д'Арсонваля.

Для ходовыхъ измѣреній довольно распространены приборы фирмы Кейзеръ и Шмидтъ, въ которыхъ вертикальная ось качанія подвижной части прибора, катушки со стрѣлкой, оканчивается остріями, опирающимися на подпятники изъ камня. Приборы эти сравнительно прочны и даютъ правильныя показанія, даже если установлены не строго по уровню, или подставка немного дрожитъ.

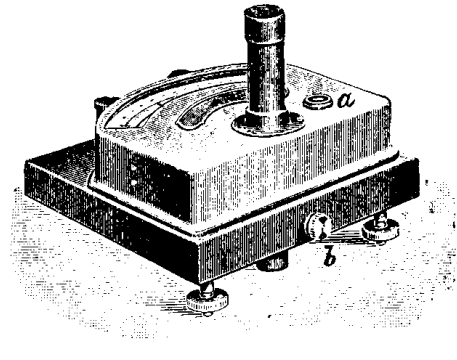
Приборы той же фирмы по схемѣ черт. 155 исполняются съ горизонтальной осью качанія; ихъ наружный видъ съ круглымъ кожухомъ напоминаетъ манометръ. Это хороніе станціонные приборы, но для точныхъ измѣреній они не годятся.

Очень точные и удобные приборы изготовляетъ заводъ Сименсъ въ Гальске. На черт. 156 представленъ въ 1:5 натур. вел. милливольтметръ съ подвижной частью на остріяхъ. На черт. 157 представленъ приборъ той же фирмы, но съ обмоткой, подвѣшенной на туго натянутой проволочкѣ. Зеркало, находящееся рядомъ со шкалой, позволяетъ дѣлать очень точные отчеты: при отчетѣ надо помѣщать глазъ такъ,

чтобы стрѣлка закрывала свое изображеніе въ зеркалѣ. Передъ отчетомъ надо привести приборъ при помощи установительныхъ винтовъ въ строго горизонтальное положеніе, на что укажетъ круглый уровень *a*. Сбоку находится арретировка *b*, которую нужно отпускать передъ



Черт. 156.

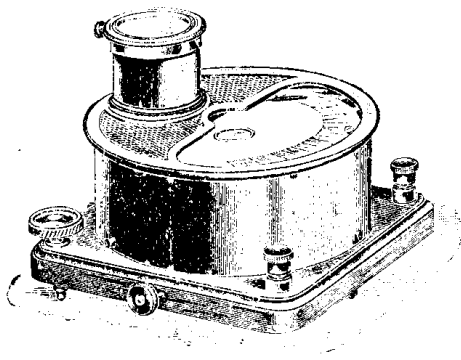


Черт. 157.

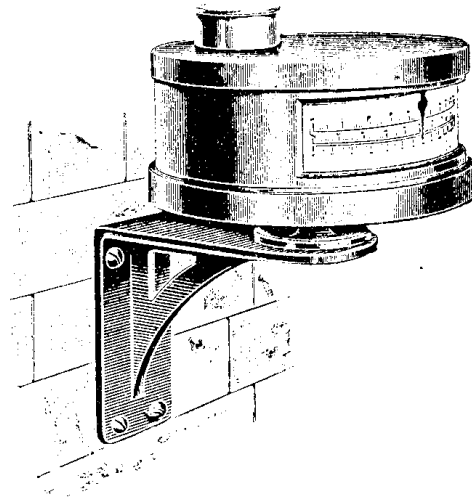
отчетомъ, поворачивая влѣво, а послѣ сейчасъ же опять закрывать; несоблюденіе этого правила сокращаетъ срокъ службы такого деликатнаго прибора, а также можетъ легко вызвать его поломку. Поворачиваніемъ верхушки у трубы, въ которой находится проволоочный подвѣсъ, можно устанавливать стрѣлку на температуру холодныхъ спаевъ.

Арретировкой и шкалой съ зеркаломъ снабжаются вообще всѣ точные приборы и по черт. 156.

Приборы съ подвѣшенной обмоткой болѣе чувствительны, но и болѣе хрупки; они требуютъ тщательной установки по уровню и чрезвычайнаго бережнаго обращенія.



Черт. 158.



Черт. 159.

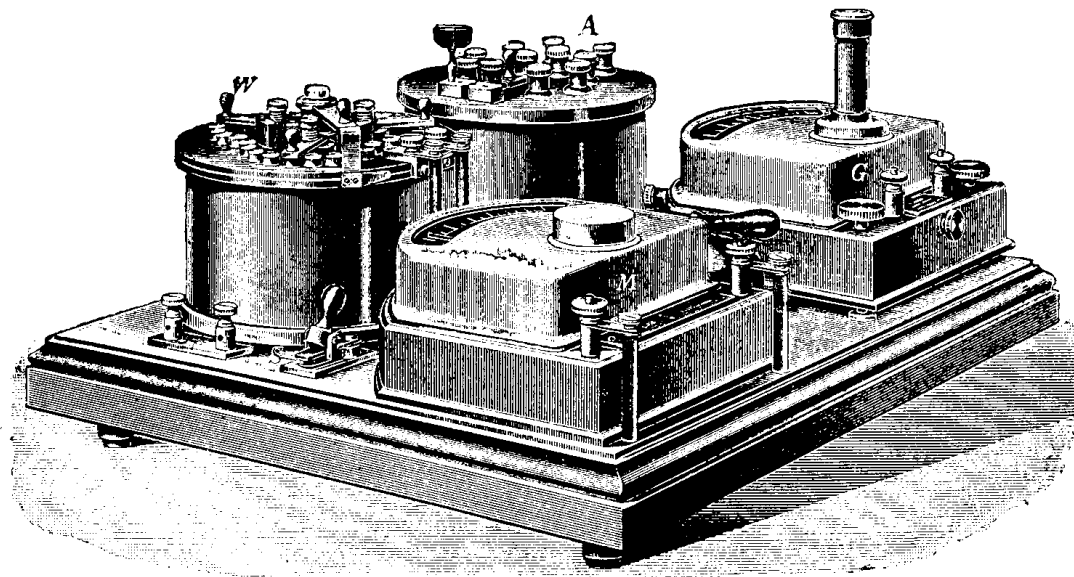
Приборы фирмы Гартманъ и Браунъ отличаются тоже большой точностью и чувствительностью; они дѣлаются съ подвѣшенной обмоткой; образецъ прибора тоже въ 1:5 натур. вел. представленъ на черт. 158.

Некоторые фирмы изготовляют еще гальванометры настольные, съ расположеннымъ сбоку остріемъ стрѣлки. Образецъ такого прибора фирмы Кэмбриджской К-и Научныхъ Приборовъ представленъ на черт. 159. Такие приборы особенно удобны для постоянного нахождения въ машинномъ помѣщеніи, гдѣ трудно найти вполне подходящее укромное мѣсто для установки прибора настольнаго типа.

Чтобы уменьшить вліяніе побочныхъ, могущихъ измѣняться, сопротивленій, напр., соединительныхъ проводниковъ или выключателей, милливольтметры дѣлаютъ нарочно съ большимъ внутреннимъ сопротивленіемъ въ 300—600 ом..

Описанные выше милливольтметры имѣютъ обыкновенно, кромѣ шкалы съ дѣленіями въ милливольтахъ, вторую шкалу съ дѣленіями въ °Ц., позволяющую дѣлать отчеты непосредственно, не справляясь съ таблицей или кривой зависимости между электродвижущей силой и температурой. При этомъ не надо однако забывать, что температурная шкала наносится опытнымъ путемъ для даннаго термоэлемента; для другого она можетъ и не годиться.

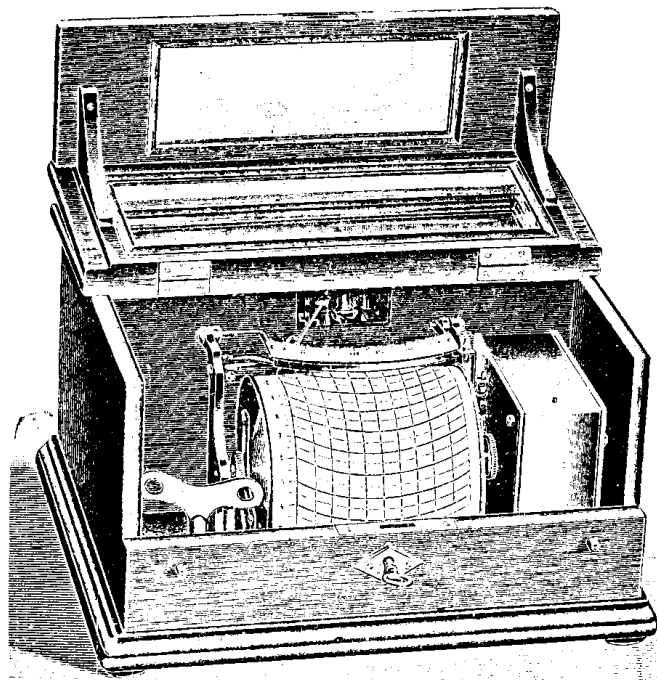
Наконецъ, на черт. 160 представленъ въ 1:5 натур. вел. компактный наборъ приборовъ для измѣренія по нулевому способу схемы черт. 148 въ изготовленіи Сименсъ и Гальске; одинаковыми буквами, только заглавными, обозначены тѣ же части, что на черт. 148.



Черт. 160.

Для постоянного контроля температуръ, напр., перегрѣтаго пара, полезны записывающіе гальванометры. Для испытанія турбинъ они не являются необходимыми, хотя тоже желательны для того, чтобы слѣдить, насколько удовлетворялось необходимое требованіе постоянства температуры передъ турбиной.

Удобный и сравнительно негромоздкій приборъ фирмы Гартманъ и Браунъ представленъ въ 1:5 натур. вел. на черт. 161. Онъ состоитъ изъ милливольтметра системы Депрэд-д'Арсонваля, соединеннаго съ особымъ самозаписывающимъ приспособленіемъ. Дѣйствіе его слѣдующее: часовой механизмъ поворачиваетъ равномерно барабанъ, на которомъ прикрѣпляется бумага, и вмѣстѣ съ тѣмъ черезъ каждыя 30 или 45 сек. заставляетъ опускаться дугу съ дѣленіями, находящуюся



Черт. 161.

надъ всею шириною ленты и прижимающую къ ней на одно мгновеніе стрѣлку вольтметра, снабженную особымъ перомъ для записи; это нажатіе даетъ послѣдовательный рядъ точекъ, замѣняющій непрерывную кривую; барабанъ дѣлаетъ одинъ оборотъ въ 24 часа. Такъ какъ стрѣлка при своихъ перемѣщеніяхъ не касается бумаги, то чувствительность прибора отъ давленія пишущаго приспособленія не страдаетъ.

Для измѣренія ординатъ получающейся діаграммы имѣется прозрачный стеклянный масштабъ. Дуги, которыя награфлены на бумагѣ, и разстояніе между которыми соотвѣтствуетъ  $\frac{1}{2}$  часа, позволяютъ устанавливать время любой точки діаграммы.

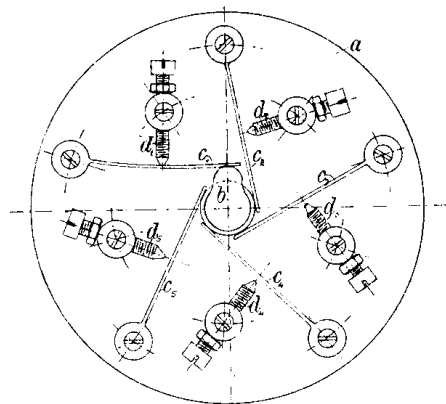
*Включатели и переключатели.* Чтобы не заставлять милливольтметръ все время находиться подъ токомъ, при чемъ онъ неизбежно изнашивается, лучше включать его только при производствѣ отчетовъ, конечно, кромѣ контрольныхъ приборовъ, которые нужны для ухода за турбиной и потому включаются разъ навсегда.

Въ качествѣ включателя можно пользоваться или кнопкой, употребляемой при электрическихъ звонкахъ или маленькимъ выключателемъ,

употребляемымъ для освѣщенія, но въ виду возможнаго непостоянства сопротивленія этихъ приборчиковъ при точныхъ измѣреніяхъ слѣдуетъ брать ртутный выключатель; его можно просто сдѣлать изъ стеклянной баночки; вокругъ которой обвить и тѣмъ прикрѣпить къ ней проводникъ, идущій отъ милливольтметра, при чемъ конецъ этого проводника, освобожденный отъ изоляціи, погруженъ постоянно въ ртуть, конецъ же проводника, присоединеннаго къ термоэлементу, пропущенъ черезъ стеклянную трубку, обернуть вокругъ ея конца и вмѣстѣ съ нимъ погружается въ ртуть только при производствѣ отчета температуры.

Часто къ одному милливольтметру приходится присоединять поочередно нѣсколько термоэлементовъ, что очень удобно производить такимъ же ртутнымъ выключателемъ: концы отъ проводниковъ, припаянныхъ, напр., къ отрицательному полюсу термопары, т. е. къ проволокамъ изъ константана, поджимаются все въ одинъ зажимъ милливольтметра, а концы отъ другого полюса, по указанному выше, погружаются въ соотв. моменты въ ртуть.

Если переключаются послѣдовательно не болѣе 5 термоэлементовъ, то удобно пользоваться переключателемъ, изображеннымъ въ натур. вел. на черт. 162: черезъ эбонитовую дощечку *a* пропущена ось вращения собачки *b*, снабженной для лучшаго контакта золотымъ наконечникомъ; собачка эта соединена позади дощечки съ однимъ изъ зажимовъ милливольтметра; *c<sub>1</sub>, c<sub>2</sub>...c<sub>5</sub>* латунныя пластинки-пружинки, съ которыми можно вводить въ соприкосновеніе собачку *b*; подъ винтики, прикрѣпляющіе *c* къ дощечкѣ *a*, поджимаются концы проводниковъ, припаянныхъ къ соотв. проволокамъ термопары; упорные установительные винтики *d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>...* связаны проводниками сзади дощечки *a* съ собачкой *b* и обеспечиваютъ включеніе; ключъ у собачки *b* снабжается указателемъ, показывающимъ, какая изъ пластинокъ *c* въ данный моментъ введена въ цѣпь съ милливольтметромъ. Переключатель этотъ можетъ быть приводимъ въ дѣйствіе и часовымъ механизмомъ при пользованіи самозаписывающимъ милливольтметромъ.



Черт. 162.

**20. Термометры-сопротивленія. Общія указанія.**—Приборы эти основаны на возрастаніи электрическаго сопротивленія платиновой (рѣдко золотой, никкелевой или желѣзной) проволоки по мѣрѣ возрастанія ея температуры.

По новѣйшимъ опытамъ Каллендара зависимость эту отъ 0° до 600°Ц. можно хорошо выразить для платины уравненіемъ

$$r = r_0 (1 + 0,0034675t - 0,00000000075t^2), \quad (32)$$

гдѣ  $r_0$  сопротивленіе при 0°Ц.

На практикѣ хорошіе приборы градуируются всегда опытнымъ путемъ.

*Способы измѣренія.* Всѣ многочисленныя схемы измѣренія сопротивленія, весьма разнообразныя на первый взглядъ, можно свести къ 4 основнымъ.

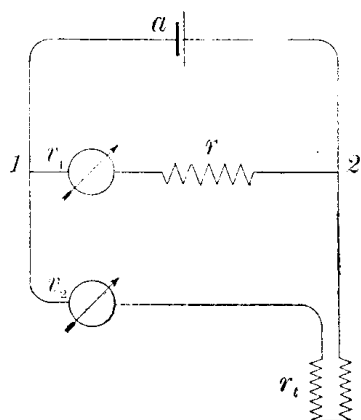
**Способъ 1:** неизвѣстное измѣняющееся сопротивленіе  $r_t$ , черт. 163, опредѣляютъ по извѣстному, постоянному сопротивленію  $r$ ; именно, токъ отъ аккумуляторнаго или сухого элемента  $a$  развѣтвляется въ точкѣ 1, при чемъ согласно закона Кирхгофа

$$i_1 : i_2 = \frac{1}{r} : \frac{1}{r_t} \dots$$

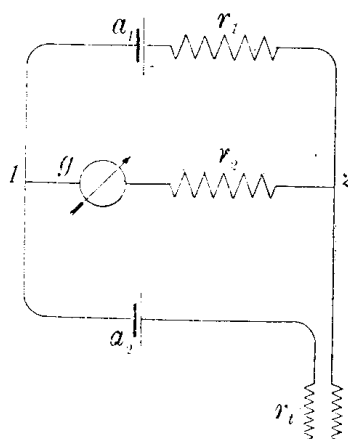
откуда

$$r_t = r \cdot i_1 / i_2; \quad (33)$$

зная величину  $r$  и измѣряя силу тока  $i_1$  и  $i_2$  въ каждомъ изъ отвѣтвленій при помощи соотв. приборовъ  $v_1$  и  $v_2$ , черт. 163, можно найти искомое сопротивленіе  $r_t$ , а по нему и соотв. температуру.



Черт. 163.



Черт. 164.

**Способъ 2:** Кэпсель предложилъ схему, черт. 164, съ двумя элементами  $a_1$  и  $a_2$  и однимъ амперметромъ  $g$ ; электродвижущія силы элементовъ берутся одинаковыя, каждая равная  $e$ . По отвѣтвленію 1—2 пойдетъ токъ, сила котораго согласно закона Кирхгофа

$$i = \frac{e(r_t - r_1)}{r_t(r_1 + r) + r_1 r_2}, \quad (34)$$

т. е. сила тока  $i$ , измѣряемая миллиамперметромъ  $g$ , приблизительно пропорціональна разности сопротивленій; небольшое измѣненіе сопротивленія  $r_2$  вызываетъ значительное измѣненіе силы тока  $i$ , а, слѣдовательно, и большое отклоненіе стрѣлки  $g$ .

Величина сопротивленія, по которой находится температура, изъ ур-ія (34)

$$r_t = \frac{r_1(e + i r_2)}{e - i(r_1 + r_2)}. \quad (35)$$



Способъ 3, съ мостикомъ Уитстона, черт. 165; если  $r_0$  сопротивление мостика и миллиамперметра  $m$ ,  $r$  сопротивление на участкѣ 1-а-2,  $e$  электродвижущая сила элемента  $a$ ,  $i$  сила тока его, то обозначая силы тока, проходящаго по отдѣльнымъ отвѣтвленіямъ, соотв.  $i_1, i_2, i_3$  и  $i_4$ , а по мостику  $i_0$ , и имѣя въ виду, что все сопротивленія дѣляются одинаковыя,  $r_1=r_2=r_3$ , получаемъ по закону Кирхгофа для  $r_t$  выраженіе

$$r_t = \frac{er_1^2 + i_0 A}{er_1 - i_0 B}, \quad (36)$$

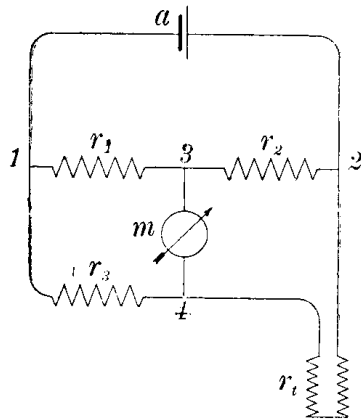
гдѣ

$$A = r^3 + 2r_0r_1^2 + 2rr_1^2 + 3rr_0r_1, \\ B = rr_0 + 2rr_1 + 2r_0r_1 + 3r_1^2.$$

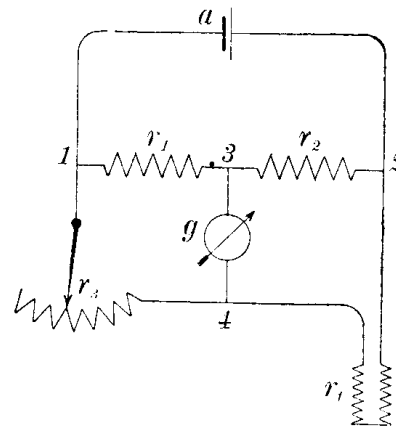
Несмотря на нѣсколько сложный видъ, величины  $A$  и  $B$  не затрудняютъ вычислений, такъ какъ онѣ не мѣняются и для каждой данной установки могутъ быть вычислены заранѣе разъ навсегда.

Такъ какъ напряженіе тока  $e$  должно быть извѣстно, то измѣряя  $i_0$ , имѣемъ все данныя для опредѣленія  $r_t$ .

На практикѣ дѣлаютъ такъ, что при 0°Ц. все 4 сопротивленія равны,  $r_1=r_t$ ; шкала наносится опытнымъ путемъ такъ, что отклоненіе стрѣлки миллиамперметра прямо указываетъ искомую температуру въ °Ц.



Черт. 165.



Черт. 166.

Способъ 4: это нулевой способъ, получающійся изъ способа 3, если одно изъ постоянныхъ сопротивленій  $r_1, r_2$  или  $r_3$  замѣнить регулируемымъ, черт. 166, и при измѣненіи  $r_t$  такъ регулировать, чтобы стрѣлка гальванометра  $g$  возвращалась на 0; при этомъ, очевидно, прямо

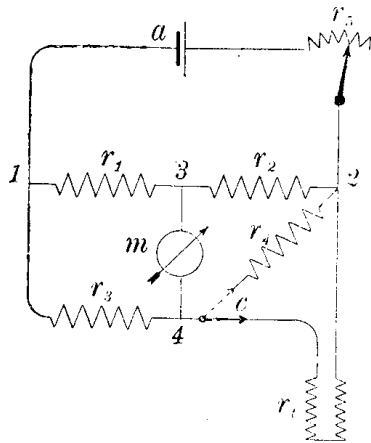
$$r_t = r_3. \quad (37)$$

Сравнивая между собой все разобранные способы, можно сказать, что самымъ удобнымъ и простымъ является способъ 3; болѣе чувствителенъ и особенно удобенъ при малыхъ измѣненіяхъ температуръ способъ 2; нулевой способъ 4 нѣсколько сложнее, но зато самый точный: при немъ можно пользоваться гораздо болѣе чувствительнымъ гальва-

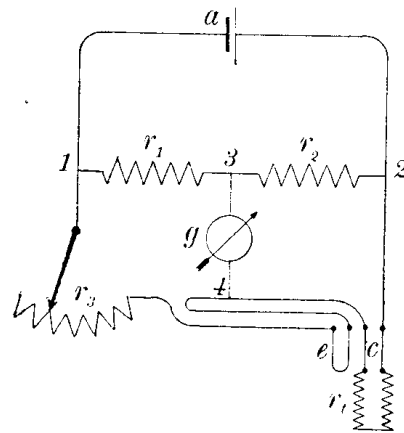
нометромъ, такъ какъ шкала его можетъ при той же длинѣ имѣть лишь небольшое число очень крупныхъ дѣленій; кромѣ того, способъ этотъ не зависитъ отъ измѣненія напряженія и силы тока, не зависитъ и отъ точности градуировки шкалы гальванометра, лишь бы ея 0 былъ вѣренъ, и, наконецъ, какъ увидимъ ниже, при немъ легко уничтожить вредное вліяніе добавочныхъ сопротивленій.

Способъ 1 въ настоящее время оставленъ, какъ недостаточно чувствительный и точный вслѣдствіе наличности двухъ амперметровъ.

*Источники ошибокъ и ихъ устраненіе.* При пользованіи наиболѣе распространеннымъ способомъ 3 въ выраженіе сопротивленія  $r_t$ , ур-іе (36), входитъ, кромѣ силы тока, еще и напряженіе  $e$  въ главной сѣти. Въмѣсто того, чтобы каждый разъ измѣрять  $e$ , на практикѣ предпочитаютъ работать съ постояннымъ  $e$ . Для того, чтобы, несмотря на измѣненіе напряженія элемента  $a$ , въ сѣти оставалось постоянное  $e$ , схему по черт. 165 надо дополнить двумя добавочными сопротивленіями  $r_4$  и  $r_5$ , черт. 167. Контрольное сопротивленіе  $r_4$  дѣлается такой величины, чтобы при включеніи его при помощи переключателя  $c$  вмѣсто термометра-сопротивленія  $r_t$  при надлежащемъ  $e$  стрѣлка миллиамперметра встала на опредѣленную мѣтку. Если напряженіе элемента  $a$  понизилось, отклоненіе стрѣлки будетъ меньше, тогда выводятъ часть сопротивленій  $r_5$ , пока стрѣлка не займетъ требуемое положеніе. Если при  $r_5$ , выведенномъ полностью, стрѣлка все-же не доходитъ до мѣтки, то аккумуляторъ надо подзарядить.



Черт. 167.



Черт. 168.

Въ приборахъ по способу 2, черт. 164, провѣрка  $e$  производится такимъ же переключеніемъ на контрольное сопротивленіе, при чемъ установка стрѣлки  $g$  на требуемой мѣткѣ достигается регулированіемъ сопротивленія  $r_2$ , которое служитъ шунтомъ для амперметра  $g$ . Для пользованія выраженіями (34) и (35) надо еще слѣдить за тѣмъ, чтобы напряженія токовъ, посылаемыхъ элементами  $a_1$  и  $a_2$  въ отвѣтвленіе 1—2, были строго одинаковы. Чтобы урегулировать возможную небольшую разницу, соединеніе въ точкѣ 2 дѣлается при помощи пе-

большого сопротивленія-ползушки, устанавливаемой такъ, чтобы при при опредѣленной температурѣ термометра  $t_1$ ,  $0^\circ\text{Ц}$ , стрѣлка  $g$  стояла на 0.

Въ способѣ 4 напряженіе тока не имѣетъ значенія.

Второй источникъ ошибокъ—измѣненіе температуры не только платиновой спиральки-термометра, но вслѣдствіе теплопередачи и лучеиспусканія и присоединяемыхъ къ ней проводниковъ, ведущихъ къ измѣрительному сопротивленію. Въ виду неопредѣленности, на какую длину проводниковъ распространяется нагрѣваніе, и по какому закону температура ихъ падаетъ отъ измѣряемой  $t$  до  $t_0$  окружающаго воздуха, учесть происходящее добавочное, „вредное“ сопротивленіе, повышающее показанія прибора, аналитически очень трудно, поэтому стараются уничтожить его вліяніе соотв. конструкціей.

Для нулевого способа это вліяніе можно совершенно уничтожить при помощи компенсаціонной петли Каллендара, черт. 168:  $c, c$  проводники, „вредное“ сопротивленіе которыхъ надо уничтожить; они дѣлаются изъ проволоки изъ того же металла, что и сопротивленіе  $r_1$ , но значительно большаго сѣченія для уменьшенія ихъ вліянія;  $e$  петля изъ того же металла, того же сѣченія и той же длины, что  $c$ , располагаемая параллельно  $c$  и включаемая въ участокъ  $4-r_2$ . Такимъ образомъ, насколько возрастетъ вредное сопротивленіе, точно настолько же возрастаетъ и сопротивленіе  $e$ , т. е. участка  $4-r_2$ , и попрежнему имѣемъ точно  $r_1=r_2$ . Нѣкоторый недостатокъ этой петли—необходимость вести 4 проводника отъ термометра-сопротивленія.

Для способа 3 компенсаціонная петля не можетъ вполне уничтожить вліяніе вреднаго сопротивленія, какъ видно по ур-ю (36), но нѣкоторое улучшеніе она дастъ; главное же—надо дѣлать вредное сопротивленіе возможно малымъ, тогда и измѣненіе его не будетъ столь ощутительно.

Для того, чтобы колебанія температуры въ помѣщеніи не вліяли на показанія приборовъ, и всѣ остальные проводники должны имѣть возможно малое сопротивленіе. Проводники эти берутся мѣдные, изолированные, такого сѣченія, чтобы полное сопротивленіе ихъ было не болѣе 1 ома; при точныхъ измѣреніяхъ проводники стараются дѣлать возможно короткими, чтобы ихъ сопротивленіе было всего 0,1, даже 0,01 ома.

Чтобы быть увѣреннымъ, что сопротивленіе проводниковъ съ теченіемъ времени не измѣнится, всѣ соединенія надо дѣлать при помощи пайки оловомъ, а не зажимовъ и винтовъ, у которыхъ поверхности соприкосновенія легко покрываются окисью, сильно увеличивающей сопротивленіе. Тамъ, гдѣ зажимы неизбежны, поверхности соприкосновенія нужно осматривать и чистить.

Для правильности отчетовъ постояннаго сопротивленія дѣлаются изъ манганина, температурный коэффициентъ измѣненія сопротивле-

пія котораго всего 0,00001. Регулируемая сопротивленія, *г* черт. 166 или 168, при точныхъ измѣреніяхъ лучше дѣлать въ видѣ магазиновъ сопротивленія со интенселями; послѣдніе должны имѣть большую, хорошо приточенную поверхность.

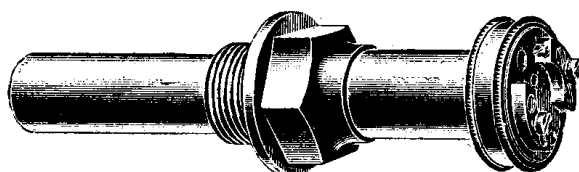
Наконецъ, надо слѣдить, чтобы въ сѣти не было термотокровъ, для чего всѣ соединенія должны быть по возможности изъ одинаковыхъ металловъ и имѣть одинаковую температуру.

Сила тока отъ аккумулятора не должна быть велика, всего около 0,1 ампера. Для особенно точныхъ измѣреній, напр. при помощи нулевого способа, силу тока берутъ еще меньшую, около 0,01 амп., чтобы токъ не нагревалъ замѣтно платиновую спиральку.

*Провѣрка.* Въ заключеніе можно упомянуть, что провѣрка этихъ приборовъ производится совершенно такъ же, какъ и ртутныхъ термометровъ и тѣми же приборами.

**21. Конструкція термометровъ-сопротивленій.**— При неособенно высокихъ температурахъ, отъ  $+100^{\circ}$  до  $600^{\circ}\text{C}$ ., платиновую проволоку можно замѣнять ради удешевленія никкелевой. Такой приборъ для измѣренія температуры перегрѣтаго пара, ввертываемый въ стѣнку трубы, при пользованіи схемой Кэпселя, способъ 2, изготовляемый фирмой Г. А. Шульцъ, изображенъ на черт. 169; сопротивленіе сдѣлано въ видѣ спиральки изъ никкелевой проволоки, намотанной на фарфоровый стержень; кожухъ изъ желѣза.

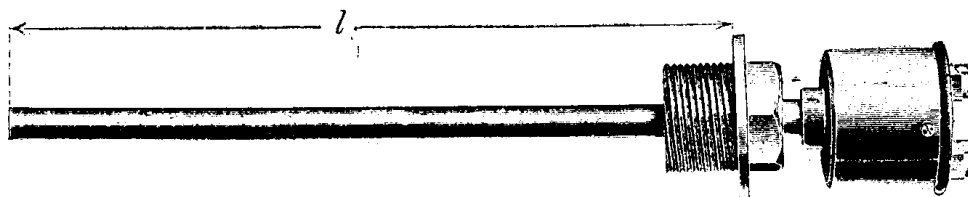
Черт. 169.



Далѣе укажемъ нѣсколько приборовъ для измѣренія по наиболѣе распространенному способу 3.

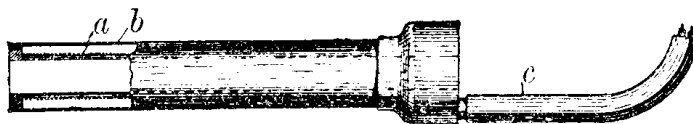
На черт. 170 представленъ примѣрно въ 1:2 натур. вел. изготовляемый фирмой Браунъ термометръ, ввертываемый непосредственно въ стѣнку трубы. Спираль изъ никкеля, кожухъ стальной; длина  $l=150$  мм.; примѣнимъ приборъ до  $500^{\circ}\text{C}$ .

Черт. 170.



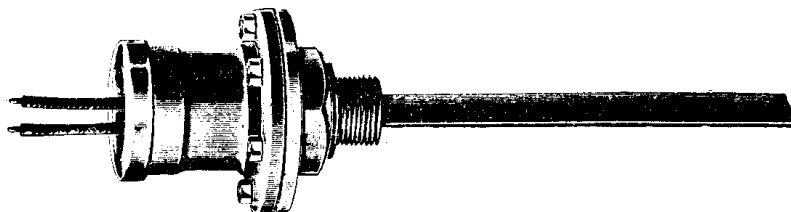
На черт. 171 изображенъ въ 1:2 натур. вел. приборъ той же фирмы для измѣренія температуры жидкости непосредственнымъ погруженіемъ въ нее прибора: тонкая никкелевая проволока *a* намотана на фарфоровую трубку, открытую съ обоихъ концовъ; проволока закрыта

герметически кожухомъ изъ мѣдной трубки *b*; проводники къ гальванометру состоятъ изъ гибкаго двухжильнаго кабеля съ свинцовой оболочкой *c*. Благодаря соприкосновенію прибора съ жидкостью изнутри и снаружы достигается очень быстрое слѣдованіе его показаній за измѣненіями температуры жидкости.



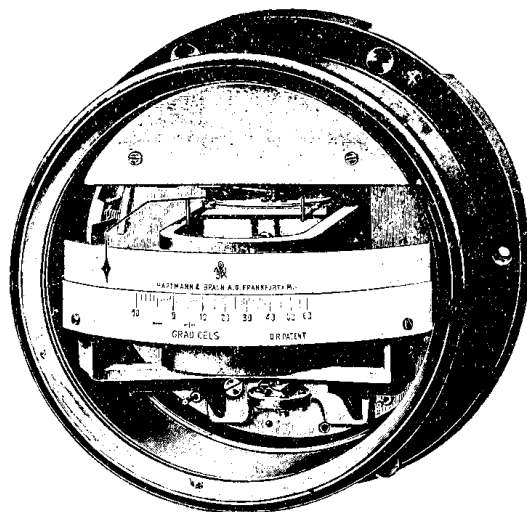
Черт. 171.

На черт. 172 изображенъ въ 1:4 натур. вел. приборъ фирмы Гартманъ и Браунъ: въ плоскомъ металлическомъ кожухѣ заключается тонкая платиновая лента, накрученная спиралью на пластинку изъ слюды. Фланецъ у нижней части головки скрѣпленъ съ муфтой для ввер-



Черт. 172.

тыванія въ паропроводъ; въ случаѣ плоской стѣнки у сосуда съ изслѣдуемой жидкостью можно приборъ привертывать фланцемъ прямо къ этой стѣнкѣ. Приборъ можетъ измѣрять температуры отъ  $-100^{\circ}$  до  $+500^{\circ}\text{C}$ . Гальванометръ дѣлается прямо съ температурной шкалой. На черт. 173 изображенъ образецъ настѣннаго гальванометра для

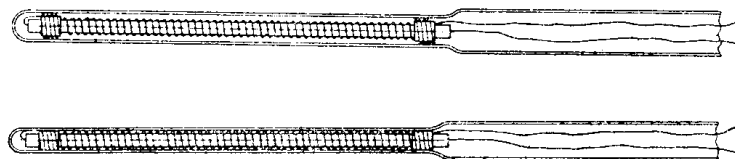


Черт. 173.

прибора по черт. 172 со шкалой для температуръ отъ  $-20^{\circ}$  до  $+60^{\circ}\text{C}$ .; такого же типа дѣлаются гальванометры со шкалой и съ другими предѣлами температуръ, напр.  $+150^{\circ}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$  для перегрѣтаго пара.

Наиболѣе удачной надо признать появившуюся года 3—4 назадъ конструкцію, изготовляемую фирмой В. К. Герэусъ, черт. 174 и 175: платиновая проволока накручивается въ видѣ спирали на нагрѣтую до размягченія палочку изъ кварцеваго стекла и вставляется въ тонкостѣнную трубку изъ такого же стекла; затѣмъ трубку нагрѣваютъ до размягченія, выкачиваютъ изъ нея въ то же время воздухъ, вслѣдствіе чего трубка плотно садится на палочку, такъ что витки спирали

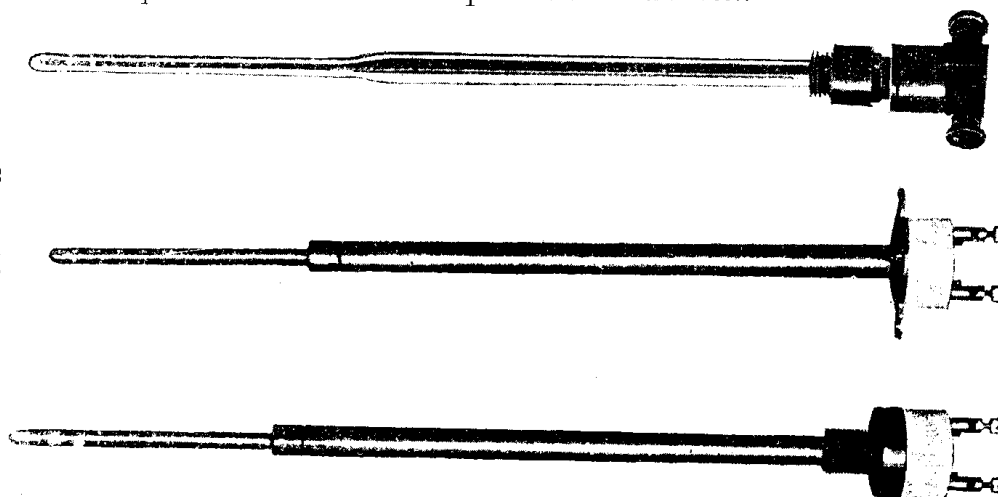
Черт. 174 и 175.



подходить близко къ поверхности трубки, черт. 175; вслѣдствіе отсутствія воздушной прослойки такой термометръ слѣдуетъ почти мгновенно за измѣненіями измѣряемой температуры и не боится самыхъ рѣзкихъ колебаній ея въ силу свойствъ кварцеваго стекла, имѣющаго ничтожно малый коэффициентъ расширенія. Отъ платинового сопротивленія до зажимовъ въ головкѣ идутъ два проводника, дѣлаемые до  $+400^{\circ}\text{C}$ . ради уменьшенія стоимости изъ серебряной проволоки; соединеніе съ платиновыми концами дѣлается сплавленіемъ.

На черт. 176 изображенъ въ 1:2 натур. вел. такой готовый термометръ для точныхъ измѣреній; нижняя тонкая часть имѣетъ толщину всего 4 мм., длина платиновой спиральки 60 мм., ея сопротивленіе при  $0^{\circ}\text{C}$ . 50 ом.; такіе же приборы дѣлаются толщиной всего въ 3 мм., при длинѣ спиральки 20 мм. и сопротивленіи 25 ом..

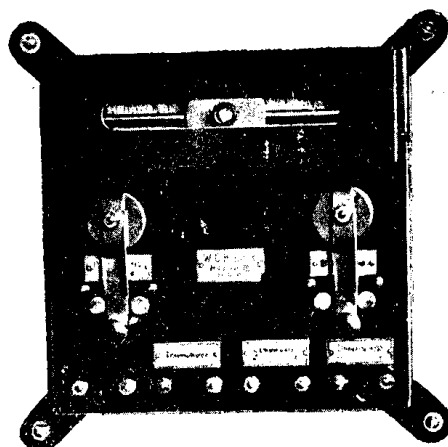
Черт. 176—178.



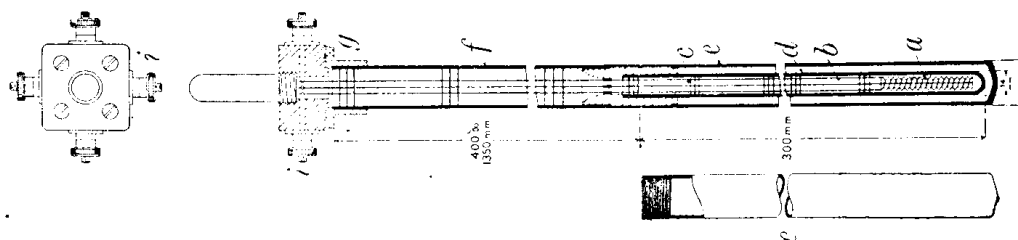
Образцы приборовъ для техническихъ цѣлей, снабжаемыхъ кожухомъ изъ желѣзной или стальной трубки, даны на черт. 177 и 178, оба въ 1:5 натур. вел.; длина спирали 60 мм., сопротивленіе ея 50 ом.; предѣлы примѣненія  $-200^{\circ}$  до  $+700^{\circ}\text{C}$ .; утолщенную часть отъ собственно измѣрительнаго прибора, имѣющаго длину въ 100—150 мм., вверхъ можно имѣть любой длины отъ 0 до 500 мм..

На черт. 179 представленъ въ 1:5 натур. вел. видъ мостика Уитстона для термометровъ по черт. 177—178.

Наконецъ, образецъ прибора фирмы Кэмбриджской К-и Научныхъ Приборовъ для измѣренія по нулевому способу 4 представленъ на черт. 180—182: *a* платиновая спираль, накрученная на крестъ изъ слюдяныхъ пластинокъ, *b* 4 платиновыхъ проводника, вѣрнѣе, 2 проводника и компенсаціонная петля Каллендара; *c* диски изъ слюды, поддерживающіе эти проводники, *d* фарфоровая трубка, *e* стальная трубка-кожухъ, *f* тоже стальная трубка; головка *g* дѣлается для лабораторныхъ работъ изъ букового дерева; *i* зажимы для проводниковъ къ мостику Уитстона.

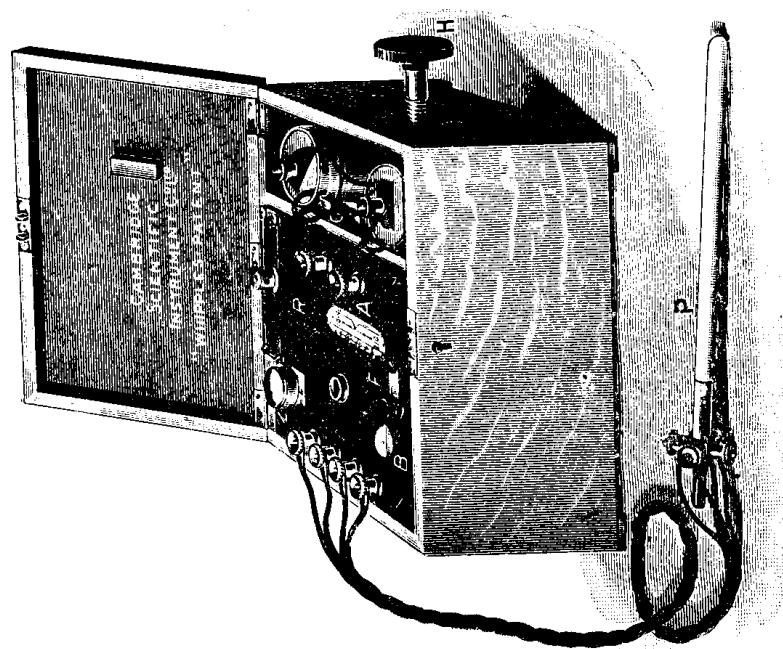


Черт. 179.



Черт. 180—182.

Мостикъ Уитстона и гальванометръ можно брать обыкновеннаго типа, но очень удобенъ также наборъ Уинчля, изготовляемый Кэм-



Черт. 183.

бриджской К-ей Научныхъ Приборовъ, гдѣ мостикъ, гальванометръ и элементы собраны въ одинъ небольшой ящикъ, черт. 183, около 1:7

натур. вел.:  $P$  самый термометръ,  $B$  гальванометръ, стрѣлка котораго приводится къ нулю измѣненіемъ сопротивленія, соотв.  $r_3$  на черт. 166, для чего поворачиваютъ моховичекъ  $H$ ;  $F$  нажимной рычажекъ для замыканія тока; подвижная шкала  $A$  даетъ сопротивленіе  $r_1$  или даже прямо искомую температуру  $t_n$  въ °Ц.;  $C$  пара аккумуляторныхъ элементовъ, а  $R$  регулировочное сопротивленіе для установки требуемаго напряженія.

Въ качествѣ источника электрическаго тока въ современныхъ конструкціяхъ чаще всего встрѣчаются аккумуляторные элементы, одинъ или иногда два съ напряженіемъ около 2 вольтъ, емкостью въ 10—15 амперчасовъ. Въ виду ничтожнаго расхода тока по указанному выше и замыканію тока лишь въ моменты отчетовъ, элементы приходится заряжать разъ въ нѣсколько мѣсяцевъ.

**22. Измѣреніе температуръ у турбинъ.**—При испытаніи паровыхъ турбинъ приходится измѣрять температуры пара, воды и масла; впрочемъ, послѣднее измѣреніе не имѣетъ непосредственнаго отношенія къ рабочему процессу въ турбинѣ, выясняемому при испытаніи, а потому мы скажемъ о немъ отдѣльно въ главѣ о смазкѣ.

*Температуры пара.* Чтобы установить при испытаніи условія, въ которыхъ турбина работаетъ, надо измѣрять температуры пара:

1, въ концѣ паропровода, передъ самымъ впускомъ въ турбину, т. е. у большинства турбинъ передъ регулировочнымъ дроссель-клапаномъ, чтобы знать, имѣется ли у турбины насыщенный паръ или перегрѣтый, и въ послѣднемъ случаѣ насколько;

2, производимое при болѣе подробномъ испытаніи измѣреніе температуры пара между дроссель-клапаномъ и впускомъ въ самую турбину относится уже къ изслѣдованію рабочаго процесса турбины, но по методу измѣренія, ничѣмъ не отличается отъ перваго измѣренія;

3, далѣе необходимо измѣрять температуру пара при выходѣ изъ турбины, съ одной стороны, для установленія состоянія пара, если онъ выходитъ перегрѣтымъ, что впрочемъ бываетъ рѣдко, съ другой, болѣе обычный случай, для контроля показаній вакуумметра;

4, иногда измѣряютъ температуры пара въ холодильникѣ въ началѣ пути пара, въ серединѣ и въ концѣ, для оцѣнки работы холодильника;

5, наконецъ, при заводскихъ испытаніяхъ новаго типа многоступенчатой турбины и при научно-лабораторныхъ изслѣдованіяхъ измѣряютъ температуру пара въ отдѣльныхъ ступеняхъ турбины для выясненія дѣйствительнаго рабочаго процесса и способовъ его улучшенія.

Для измѣреній 1-го и 2-го чаще всего пользуются ртутными стеклянными термометрами. Впрочемъ, за послѣднее время получаютъ все большее и большее распространеніе термоэлементы и термометры-сопротивленія. Оба эти типа приборовъ имѣютъ существенныя преимущества, какъ въ смыслѣ удобства производить отчеты, такъ, главнымъ образомъ, въ виду возможности производить ихъ на разстояніи.



Въ смыслѣ точности измѣреній ртутные термометры изъ стекла 59<sup>III</sup> съ дѣленіями въ 1°, термоэлементы съ отсчетами по милливольтметру и термометры-сопротивленія съ отсчетами по милліамперметру можно считать примѣрно равноцѣнными. Точность при внимательномъ отношеніи и соблюденіи указанныхъ выше предосторожностей около  $\pm 1^\circ$  при высокихъ температурахъ и до  $\pm 0,5^\circ$  при температурахъ 150—180°; въ общемъ около  $\pm 0,3\%$ .

Достичь большей точности препятствуетъ необходимость вводить термометры при помощи штуцера по типу черт. 144 или арматура термоэлементовъ и термометровъ-сопротивленій. Впрочемъ, точность выше  $\pm 0,3\%$  и не требуется. Указываемыя во многихъ отчетахъ объ испытаніяхъ температуры съ точностью до 0,1° являются просто результатами среднихъ выводовъ изъ ряда послѣдовательныхъ отчетовъ и свидѣтельствуютъ вовсе не о достигнутой точности, а о, такъ назыв., „увлеченіи десятичными знаками“ и недостаточно вдумчивомъ отношеніи къ получаемымъ результатамъ.

Хотя скорость пара въ трубѣ вообще невелика, но какойнибудь выступъ или ребро близъ штуцера для термометра могутъ вызвать мѣстный перегрѣвъ пара за счетъ кинетической энергіи, какъ это будетъ подробнѣе выяснено ниже. Такой перегрѣвъ вызываетъ повышеніе показаній прибора.

Въ виду этого, если температура пара оказывается лишь на 2—5° выше, чѣмъ соответствующая данному давленію температура насыщеннаго пара, то прежде чѣмъ рѣшить, что паръ слабо перегрѣтъ, надо проверить, не является ли перегрѣвъ кажущимся, и паръ, наоборотъ, можетъ оказаться даже влажнымъ.

Для измѣренія температуры пара низкаго давленія, измѣреній 3-го и 4-го, проще всего пользоваться ртутнымъ стекляннымъ термометромъ, вводимымъ непосредственно при помощи резиновой пробки. Термометры надо брать съ дѣленіями въ 0,5°, что при введеніи соотв. поправокъ позволяетъ опредѣлять температуры съ точностью до  $\pm 0,5^\circ$ .

Иногда для этихъ измѣреній пользуются тоже термоэлементами или термометрами-сопротивленіями, но рѣже, такъ какъ они даютъ лишь одно преимущество—возможность производить отчеты на разстояніи, но зато для этихъ измѣреній менѣе точны и, кромѣ того, стоятъ сравнительно дорого. Впрочемъ, разъ одинъ изъ этихъ способовъ выбранъ для измѣренія температуры свѣжаго пара, присоединеніе такихъ же приборовъ для отработавшаго пара обходится уже недорого.

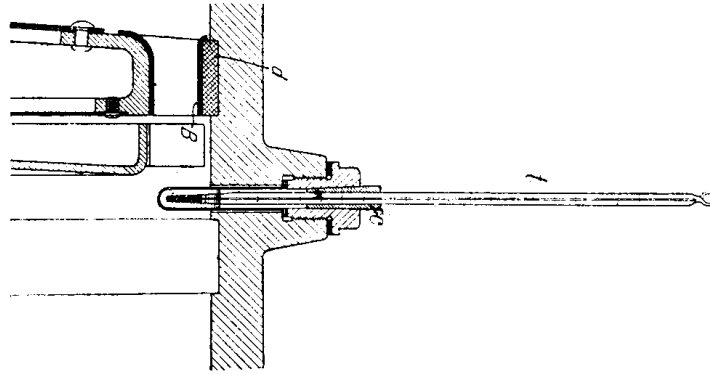
Наибольшаго вниманія и особенно точныхъ приборовъ требуетъ измѣреніе температуръ въ отдѣльныхъ ступеняхъ.

На черт. 184 изображено въ 1:5 натур. вел. соотв. приспособленіе съ ртутнымъ термометромъ, устроенное въ турбинѣ Раго Данцигскаго политехникума <sup>52)</sup>. Приспособленіе обладаетъ лишь однимъ досто-

<sup>52)</sup> Z. V. d. I. 1904, S. 1531.

инствомъ—крайней простотой, но зато имѣеть и цѣлый рядъ существенныхъ недостатковъ: примѣненіе штуцера является само источникомъ ряда ошибокъ, указанныхъ выше въ § 19, но въ данномъ случаѣ къ нимъ прибавляется еще одна—вліяніе скорости пара, передъ которымъ исчезаетъ вліяніе температуры стѣнокъ кожуха, ради чего термометръ  $t$  вставленъ въ штуцеръ при помощи деревянной пробочки  $c$ .

Черт. 184.



Парь, имѣющій при выходѣ изъ рабочаго колеса значительную скорость, ударяется о штуцеръ, кинетическая энергія при ударѣ превращается въ тепло, часть котораго идетъ на нагрѣваніе штуцера, а слѣдовательно, показаніе термометра будетъ выше истинной температуры пара въ данной ступени.

Попробуемъ вычислить, хотя бы приблизительно, возможное повышение  $\Delta t$  показанія термометра. Для примѣра возьмемъ скорость пара  $c=200$  м./сек., давленіе его  $p=9$  кгр./см.<sup>2</sup> абс.; размѣры штуцера возьмемъ съ черт. 184:  $d=14$  мм., длина, вдающаяся въ паровое пространство,  $l_1=30$  мм., полная— $l=75$  мм.; толщина стѣнокъ 1,5 мм.; матеріаль—латунь.

Теплота  $Q$ , развиваемая паромъ при ударѣ объ штуцеръ, равна его кинетической энергіи, умноженной на тепловой эквивалентъ работы  $A=1/427$ :

$$Q=1/2 Mc^2 \cdot A. \quad (38)$$

Массу пара, ударяющаго въ 1 сек., можно найти по соотв. объему  $V$  м.<sup>3</sup>/сек., удѣльному вѣсу, равному при 9 кгр./см.<sup>2</sup>, считая паръ сухимъ насыщеннымъ,  $\gamma=4,54$  кгр./м.<sup>3</sup>, и ускоренію силы тяжести  $g=9,81$  м./сек.<sup>2</sup>:

$$M=V\gamma/g.$$

Секундный объемъ пара  $V$  можно найти въ видѣ произведенія площади проекціи штуцера  $ld$  на скорость  $c$ . Но въ виду цилиндрическаго очертанія штуцера только тѣ частицы пара будутъ терять всю скорость, движеніе которыхъ направлено по нормали къ кривизнѣ цилиндра, т. е. направлено къ его оси; остальные частицы будутъ ударяться о штуцеръ и отклоняться отъ своего пути, теряя лишь часть своей скорости. Вліяніе цилиндрическаго очертанія учтемъ тѣмъ, что примемъ, что въ ударѣ участвуетъ не полный объемъ пара, а умножен-

ный на нѣкоторый коэффициентъ  $\psi < 1$ . Величину  $\psi$  можно принять на основаніи чисто геометрическихъ вычисленій, подтверждаемыхъ достаточно хорошо и нѣкоторыми опытными данными, равной 0,67.

Тогда мы получаемъ для нашего случая

$$M = 0,67 \cdot 0,03 \cdot 0,014 \cdot 200 \cdot 4,54 / 9,81 = 0,0259,$$

откуда по ур-ю (38)

$$Q = \frac{1}{427} \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,0259 \cdot 200^2 = 1,21 \text{ т. ед. / сек.}$$

По найденному количеству тепла надо опредѣлить повышение температуры пара  $\Delta t$ , считая, что оно распространится на все количество пара  $V\gamma = 0,03 \cdot 0,014 \cdot 200 \cdot 4,54 = 0,382$  кгр./сек.. Принимая теплоемкость пара  $c_p = 0,575$ , находимъ

$$\Delta t = \frac{1,21}{0,575 \cdot 0,382} = 5,5^\circ \text{Ц.}$$

Затѣмъ найдемъ количество тепла  $q$ , которое изъ найденныхъ 1,21 т. ед. перейдетъ отъ пара къ штуцеру, пользуясь извѣстнымъ выраженіемъ

$$q = \alpha f z (t_2 - t_1), \quad (39)$$

гдѣ  $\alpha$  опытный коэффициентъ, который для насыщеннаго пара составляетъ 4000—6000; примемъ  $\alpha = 5000$ ;  $f$  площадь въ м.<sup>2</sup>, у насъ это передняя половина поверхности цилиндра, т. е.  $f = 0,5 \cdot \pi \cdot 0,014 \cdot 0,03 = 0,00066$  м.<sup>2</sup>;  $z$  время въ ч., у насъ  $z = 1$  сек.  $= 1/3600$  ч.;  $(t_2 - t_1) = \Delta t = 5,5^\circ$ . Такимъ образомъ

$$q = \frac{5000 \cdot 0,00066 \cdot 5,5}{3600} = 0,00504 \text{ т. ед./сек.}$$

По указаннымъ выше размѣрамъ вѣсъ всего штуцера найдется 4,89 см.<sup>3</sup>  $\cdot 8,55 = 41,7$  гр.; теплоемкость его можно принять 0,092; масла въ штуцерѣ находится примѣрно 2,060 см.<sup>3</sup>  $\cdot 0,92 = 1,9$  гр. съ теплоемкостью 0,40, и, наконецъ, вѣсъ ртути въ термометрѣ примѣрно 0,25 см.<sup>3</sup>  $\cdot 13,56 = 3,4$  гр. съ теплоемкостью 0,0033.

По этимъ даннымъ находимъ

$$\Delta \tau = \frac{5,04}{41,7 \cdot 0,092 + 1,9 \cdot 0,40 + 3,4 \cdot 0,033} = 1,07^\circ.$$

Хотя найденная величина 1,07°Ц и не можетъ претендовать на большую точность, возможна ошибка въ  $\pm 20\%$ , можетъ быть, даже  $\pm 30\%$ , но все же она ясно показываетъ, что при измѣреніи, гдѣ ошибка въ 0,5° имѣетъ значеніе, методъ этотъ долженъ быть признанъ нежелательнымъ.

Кромѣ того, надо имѣть въ виду, что скорость  $c = 200$  м./сек. нами взята вовсе не предѣльная; въ современныхъ большихъ турбинахъ съ  $n = 3000$  обор./мин.  $c$  доходитъ до 400 м./сек.; при этомъ  $\Delta \tau$  растетъ

пропорціонально  $c$ , т. е. для предыдущаго штуцера при  $c=400$  м./сек. получимъ  $\Delta\tau=2,14^\circ\text{Ц}$ . Этимъ обстоятельствомъ объясняется, почему при испытаніи проф. Иоссе турбины Эйермана, у которой скорость  $c$  доходитъ до 800 м./сек., т. е. величина  $\Delta\tau$ , вычисленная по указанному выше, составитъ около  $+4,3^\circ$ , измѣреніе температуръ не только ртутными термометрами, но и термоэлементами, правда съ оправой, дало настолько преувеличенныя данныя, что ими нельзя было воспользоваться<sup>53)</sup>.

Вмѣсто ртутнаго термометра съ штуцеромъ измѣренія эти надо вести при помощи термоэлемента изъ серебра-константана съ открытымъ нагрѣваемымъ спаемъ по черт. 150 или 151 и съ холоднымъ спаемъ, погруженнымъ въ таяющій ледъ, а самыя измѣренія надо вести по нулевому способу, черт. 147 или 148, пользуясь приборомъ по черт. 160, или при помощи точныхъ термометровъ-сопротивленій, черт. 176, ведя измѣренія тоже лучше по нулевому способу, черт. 166 или 168. Термометръ надо вводить прямо въ паровое пространство, въ общемъ же, какъ показано на черт. 151, т. е. при помощи сальника съ резиновымъ уплотненіемъ, ввертываемаго въ отверстіе въ толщѣ корпуса.

Наконецъ, нужно указать, что даже при умѣренной скорости пара, до 100 м./сек., когда вычисленная выше ошибка  $\Delta\tau$  составитъ не болѣе  $0,2\div 0,3^\circ$ , все же нельзя пользоваться ртутнымъ термометромъ со штуцеромъ. Дѣло въ томъ, что такой штуцеръ благодаря соприкосновенію съ корпусомъ турбины, по которому движется тепловой потокъ отъ ступени высокаго давленія, гдѣ паръ сильно перегрѣтъ, можетъ нагрѣваться выше температуры пара въ данной ступени. Такъ, Стодоля<sup>54)</sup>, сравнивая при разныхъ нагрузкахъ турбины показанія термометровъ, вставленныхъ одинъ въ штуцеръ, ввернутый прямо въ корпусъ турбины, а другой въ штуцеръ, изолированный отъ корпуса, нашелъ, что показанія перваго во всѣхъ случаяхъ были вслѣдствіе упомянутаго движенія тепла примѣрно на  $3^\circ$  выше показанія втораго. Ошибка въ  $+3^\circ$  слишкомъ велика. Правда, произведя указанное сравненіе, можно найти соотв. поправку, но все же она не очень надежна.

Въ общемъ надо прилагать всѣ старанія, чтобы точность измѣренія температуръ пара въ отдѣльныхъ ступеняхъ была не менѣе  $\pm 0,5^\circ$ , а если возможно, то и  $\pm 0,25$ . Достигнуть этого, имѣя въ виду, что мѣсть измѣреній бываетъ  $10\div 20$ , не считая измѣреній температуръ въ турбины, нелегко.

*Температуры воды.* Температуры воды при испытаніи турбинъ обыкновенно приходится измѣрять въ трехъ мѣстахъ: температуру охлаждающей воды при вступленіи ея въ поверхностный холодильникъ, температуру ея при выходѣ изъ него и температуру конденсата.

<sup>53)</sup> Z. Turb. 1908, S. 231.

<sup>54)</sup> Z. V. d. I. 1911, S. 1847.

При работѣ съ вбрызгивающимъ холодильникомъ остаются, конечно, лишь два измѣренія: охлаждающей воды и смѣси конденсата съ охлаждающей водой.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ измѣреніе проще всего и надежнѣе производить при помощи ртутныхъ стеклянныхъ термометровъ. Шкалу его достаточно брать, раздѣленную на  $0,5^\circ$ , по которой при нѣкоторомъ навыкѣ можно дѣлать отчеты на глазъ съ точностью до  $0,1^\circ$ .

Вводить термометръ лучше всего непосредственно, или при помощи резиновой пробки, или при помощи сальника по черт. 143.

Во остальномъ нужно имѣть въ виду все, указанное выше въ § 17.

За послѣднее время стали и для температуръ до  $+50^\circ\text{Ц}$ . пользоваться термоэлементами, преимущественно по схемѣ черт. 153, или термометрами-сопротивленіями, напр., типа черт. 171. Будучи менѣе точны, чѣмъ стеклянные ртутные, оба послѣдніе типа приборовъ очень удобны, особенно для постоянного наблюденія за температурой отработавшей охлаждающей воды, позволяя дѣлать отчетъ изъ машиннаго зала, не спускаясь въ подвальное помѣщеніе, гдѣ къ тому же часто и темно и тѣсно.

Во заключеніе нужно еще упомянуть, что при нѣкоторыхъ конструкціяхъ поверхностныхъ холодильниковъ охлаждающая вода подходит къ выпускной трубѣ изъ разныхъ трубокъ съ разной температурой. Въ этомъ случаѣ нужно ради точности опредѣленія средней температуры принимать мѣры для перемѣшиванія воды, придавъ ей вихревое движеніе. Можно, напр., вставить въ выпускной патрубокъ жестяную спираль или нѣсколько, 2—3 скрѣпленныхъ на осевомъ стержнѣ, жестяныхъ дисковъ съ круглыми отверстиями, сдвинутыми въ рядъ расположенныхъ дискахъ относительно другъ друга по образцу нефтяной форсунки машинъ Дизеля.

## ГЛАВА IV.

### Измѣреніе давленій.

**23. Манометры пружинные.**—Манометръ даетъ, такъ назыв. избыточное, давленіе  $p$ , часто называемое манометрическимъ, т. е. разность между даннымъ абсолютнымъ давленіемъ  $p_2$  и атмосфернымъ, или барометрическимъ  $p_0$ , выраженнымъ тоже въ кгр./см.<sup>2</sup>,

$$p = p_2 - p_0, \quad (40)$$

откуда абсолютное давленіе  $p_2$  находятъ, прибавляя къ показанію манометра  $p$  атмосферное давленіе,

$$p_2 = p + p_0. \quad (41)$$

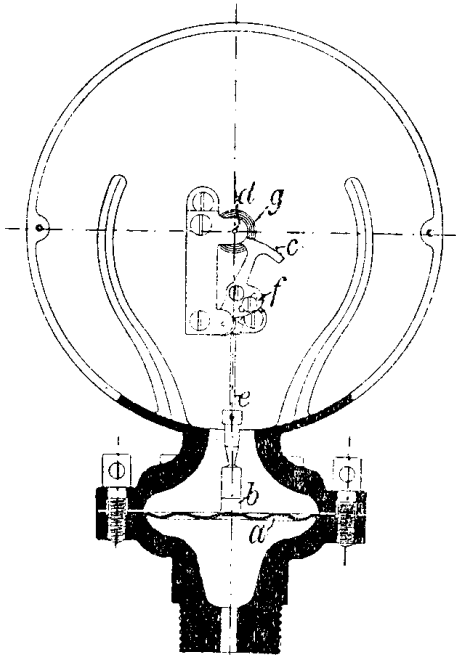
Атмосферное давленіе измѣряется при помощи барометра, который даетъ его въ видѣ высоты ртутнаго столба  $B$  въ мм.. Чтобы пере-

вести барометрическое давленіе въ кгр./см.<sup>2</sup>, надо помнить, что 1 кгр./см.<sup>2</sup> = 735,5 мм. рт. ст. при 0°Ц., т. е.,

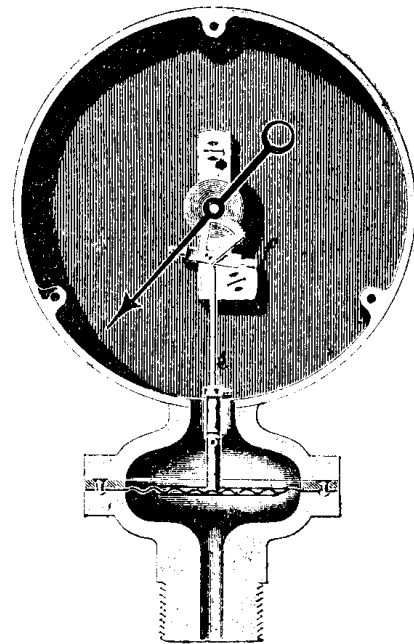
$$p_0 = B / 735,5. \quad (42)$$

При техническихъ измѣреніяхъ часто удобнѣе брать и температуру ртути при 15°Ц., тогда 1 кгр./см.<sup>2</sup> = 737,4 мм. рт. ст..

Простѣйшій изъ пружинныхъ манометровъ, такъ назыв., манометръ Дюкомэ или Шеффера, представленъ, въ изготовленіи завода Шефферъ и Буденбергъ, на черт. 185: давленіе воспринимается круглой металлической пластинкой *a*, края которой зажаты между фланцами коробки прибора; пластинка *a* чаще всего дѣлается стальной, закаленной и для большей упругости снабжается при помощи штампования



Черт. 185.



Черт. 186.

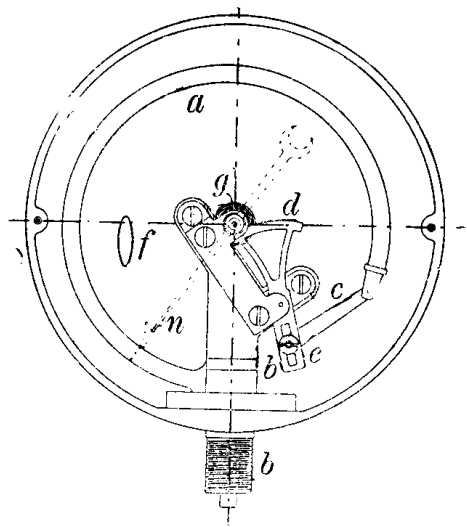
волнообразными концентрическими выгибами; измѣряемое давленіе дѣйствуетъ снизу, а сверху въ центрѣ къ *a* припаянъ стержень *b*; при помощи рычаговъ и зубчатаго сектора *c* выпучиваніе пластинки *a* при повышеніи давленія передается стрѣлкѣ, сидящей на оси *d*, въ сильно увеличенномъ масштабѣ. Тонкая спиральная пружинка *g* прижимаетъ всѣ шарниры въ постоянномъ направленіи, чѣмъ ослабляется вліяніе неизбежнаго мертвого хода въ нихъ.

Несмотря на волнообразныя очертанія пластинки *a* ея выпучиваніе при давленіи до 10—12 атм. не превосходитъ 2 мм., въ нѣкоторыхъ приборахъ даже 1 мм. Благодаря такой жесткости пластинки приборъ менѣе чувствителенъ къ рѣзкимъ колебаніямъ давленія и внѣшнимъ сотрясеніямъ, но зато и малѣйшій мертвый ходъ и из-

ность въ передаточномъ механизмѣ отражается очень замѣтно на точности его показаній.

При сильномъ и особенно при рѣзкомъ повышеніи давленія пластинка можетъ нѣсколько сдвинуться, какъ бы втянуться въ верхнюю часть прибора, и тогда показанія прибора станутъ невѣрными. Чтобы предотвратить это явленіе заводъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроспъ сперва приклепываетъ пластинку къ жесткому желѣзному кольцу и уже вмѣстѣ съ нимъ зажимаетъ ее между фланцами, черт. 186.

Чтобы достигнуть при изготовленіи манометра, а также при послѣдующей его провѣркѣ требуемой установки стрѣлки, а также требуемаго передаточнаго числа въ ея механизмѣ, послѣдній снабжается обыкновенно двумя установочными приспособленіями: измѣненіемъ длины стержня *e*, черт. 185 и 186, и шурупами *f*. Впрочемъ, собственно для установки стрѣлки на 0 имѣются еще и другія средства: можно повернуть стрѣлку на оси, на которой она держится лишь силой тренія, а также можно повернуть на одинъ или нѣсколько зубцовъ шестеренку, сцепляющуюся съ зубчатымъ секторомъ.



Черт. 187.

Образецъ манометра другого типа, изобрѣтеннаго Шинцомъ, но болѣе известнаго подъ названіемъ манометра Бурдона, въ изготовленіи завода Шефферъ и Буденбергъ, данъ на черт. 187. Дѣйствіе этого прибора основано на томъ, что изогнутая металлическая пружинящая трубка *a*, одинъ конецъ которой запаянъ, нижнимъ, припаяннымъ къ штуцеру *b* концомъ сообщается съ жидкостью, давленіе которой измѣняется. При возрастаніи давленія внутри трубки послѣдняя распрямляется и передаетъ стрѣлкѣ *n* это движеніе черезъ посредство рычажка *c* и зубчатаго сектора *d*; при паденіи давленія трубка опять свертывается;

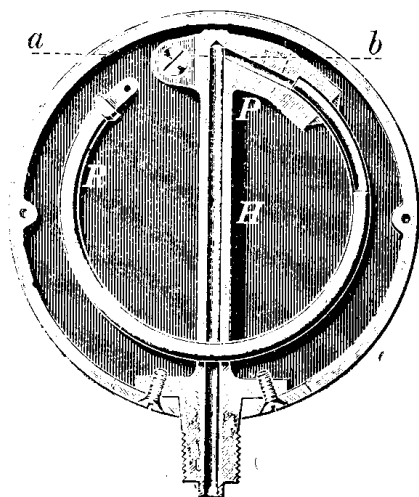
перестановка шарнира *e* позволяетъ устанавливать требуемое передаточное число.

У манометровъ для давленій до 15 атм. трубка дѣлается латунной, тонкостѣнной, для большей гибкости сплюсненной въ эллипсъ. Свободный конецъ ея перемѣщается на 6—10 мм., благодаря чему точность этихъ манометровъ выше предыдущихъ, черт. 185 и 186.

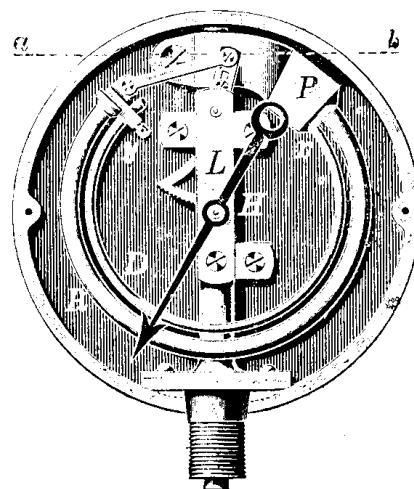
Для того, чтобы показанія манометра Бурдона были вѣрны, пружинящая трубка должна имѣть всегда ту же температуру, что и при градуировкѣ, т. е. комнатную. Въ виду этого при измѣреніи давленія пара надо принимать мѣры, чтобы паръ не попадалъ въ трубку, а давле-

ніе должно передаваться при помощи несильно нагрѣтой воды, о чемъ будетъ сказано подробнѣе ниже.

Чтобы предохранить манометръ отъ случайнаго нагрѣванія заводъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ располагаетъ трубку *R*, черт. 188, такъ, что ея открытый конецъ находится наверху и сообщается съ вертикальной трубкой *II*; благодаря этому и при отсутствіи давленія конденсаціонная вода не можетъ вытечь изъ трубки *R* и стоитъ всегда на уровнѣ *a—b*. Чтобы избѣжать случайнаго нагрѣванія при началѣ употребленія прибора, заводъ заполняетъ трубку *R* глицериномъ.



Черт. 188.



Черт. 189.

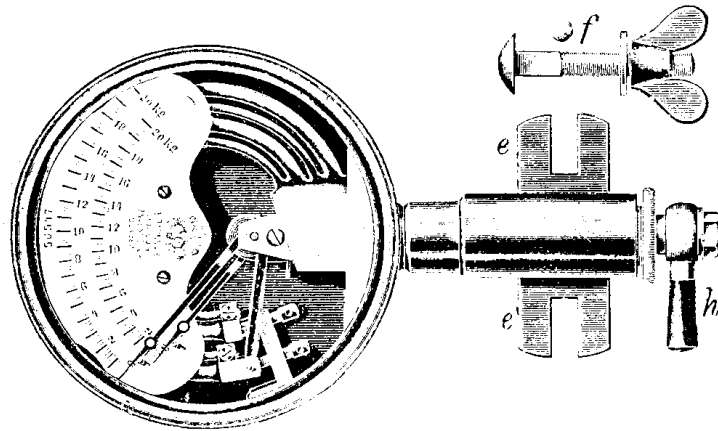
Насколько нагрѣваніе трубки неказаетъ показанія и портитъ манометръ, видно изъ слѣдующаго опыта: манометръ по черт. 187 подвергался непосредственному дѣйствию пара; при давленіи 2,4 кгр./см.<sup>2</sup> онъ показывалъ 2,6 при 6,0 — 6,4 и при 10,6 — 12,3; кромѣ того, послѣ охлажденія стрѣлка стала показывать на 1 атм. больше, чѣмъ надо. Испытывавшійся параллельно при тѣхъ же условіяхъ манометръ по черт. 188 давалъ вѣрныя показанія и отъ дѣйствія пара не пострадалъ.

Кромѣ того, по предложенію Розенкранца, указанный заводъ снабжаетъ манометры Бурдона пружиной *D*, черт. 189 изъ стальной закаленной проволоки, которая концентрична съ трубкой *R* и скрѣплена наглухо въ *x* съ неподвижнымъ концомъ *R*, а въ *u* съ ея подвижнымъ концомъ; пружина *D* участвуетъ въ движеніи трубки *R*, принимаетъ на себя опредѣленную часть напряженія и, разгружая отчасти трубку *R*, увеличиваетъ долговѣчность и точность прибора.

Наконецъ, для особенно точныхъ измѣреній, а также для проверки обыкновенныхъ приборовъ дѣлаются, такъ назыв. контрольные, манометры, представляющіе изъ себя два независимыхъ манометра съ независимыми стрѣлками и точно градуированными шкалами. Помимо особенно тщательнаго исполненія, контрольный манометръ отличается еще и конструкціей—малымъ числомъ передаточныхъ рыча-



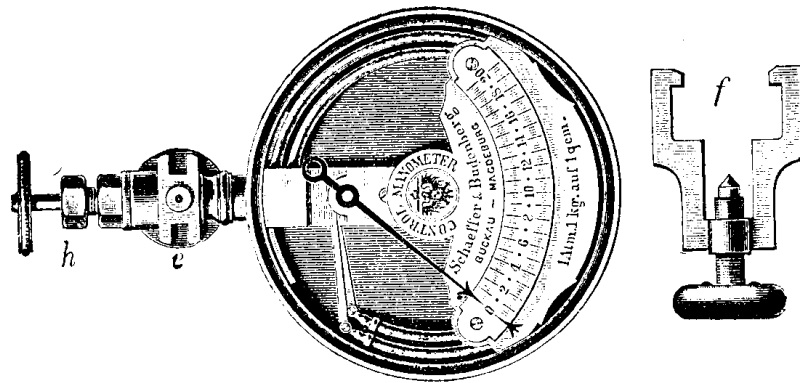
говъ ради уменьшенія мертваго хода и эксцентричной шкалой съ длинными стрѣлками: Наконецъ, механизмъ его для лучшаго наблюденія за полной исправностью стараются не закрывать циферблатомъ. На черт. 190 изображенъ такой манометръ: *h* запорный кранъ; прикрѣпляется онъ къ соотв. отверстию при помощи фланца *e, e* и 2 болтиковъ *f*; отверстие въ фланцѣ находится съ задней стороны и невидю на чертежѣ.



Черт. 190.

Два независимыхъ механизма дѣлаются съ слѣдующей цѣлью: пока показанія обѣихъ стрѣлокъ точно одинаковы, до тѣхъ поръ можно быть увѣреннымъ, что манометръ исправенъ, такъ какъ почти невозможно, чтобы пружинныя трубки и испортились одновременно, и продолжали давать совершенно одинаковыя показанія.

Иногда механизмы и стрѣлки располагають одинъ надъ другимъ, тогда онъ еще меньше отличается по виду отъ обыкновеннаго манометра. Другіе заводы располагають стрѣлки и еще по другому: крестъ на крестъ или одну обычнымъ способомъ, другую же подъ циферблатомъ, такъ что отъ нея виденъ лишь изогнутый кверху кончикъ, черт. 191. Въ отличіе отъ прибора по черт. 190 этотъ снабженъ запорнымъ

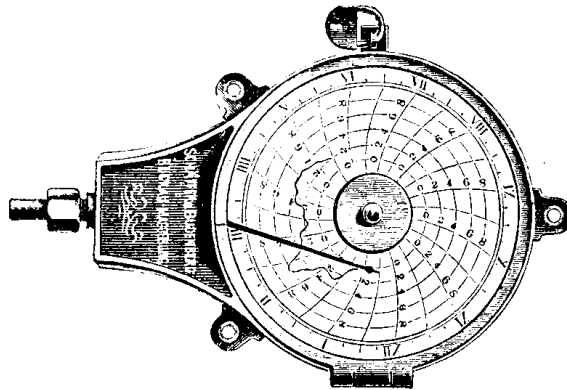


Черт. 191 и 192.

вентилемъ *h* и круглымъ фланцемъ *e*, притягиваемымъ при помощи болѣе распространенной и удобной прихватки *f*, черт. 192, съ винтомъ.

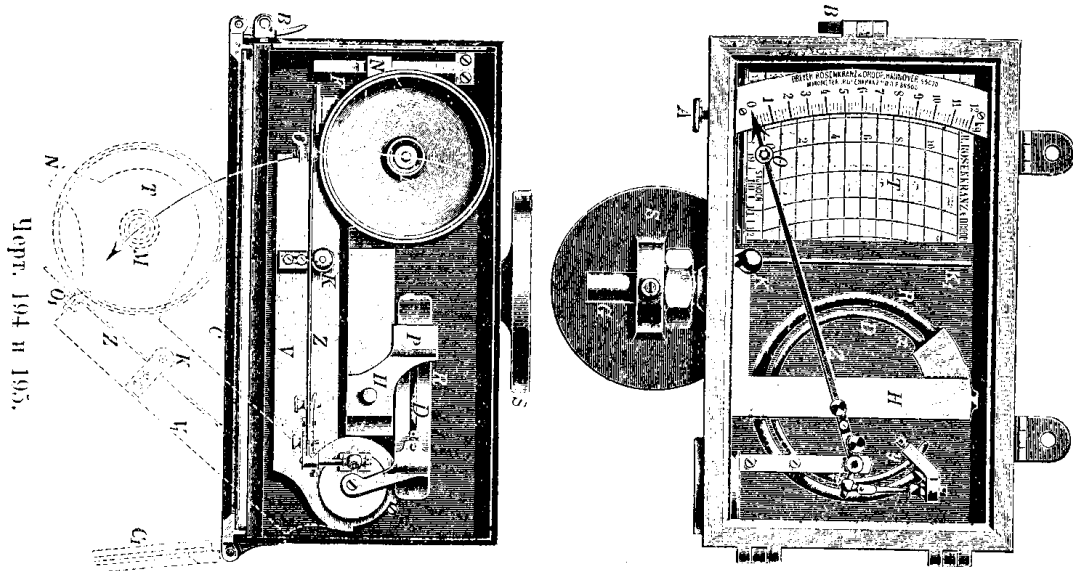
*Самозаписывающіе манометры* очень полезны для контроля за работой станціи, но и при испытаніяхъ они являются полезнымъ, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ и необходимымъ подспорьемъ, такъ какъ даютъ документъ, свидѣтельствующій, насколько исполнялось во время испытанія требованіе постоянства условій работы, а въ нѣкоторыхъ случаяхъ даютъ вообще необходимую картину условій работы турбины.

Черт. 193.



На черт. 193 представленъ одинъ изъ самыхъ простыхъ самозаписывающихъ манометровъ Бурдона, на концѣ стрѣлки котораго находится особое перо или карандашъ, а циферблатъ съ укрепленнымъ на немъ кружечкомъ діаграммной бумаги дѣлаетъ подъ дѣйствіемъ часового механизма, скрытаго сзади, одинъ оборотъ въ 12 или 24 часа.

Черт. 194 и 195 показывають примѣрно въ 2:7 натур. вел. болѣе громоздкій и дорогой, но зато и гораздо болѣе точный приборъ этого



Черт. 194 и 195.

рода. Часовой механизмъ находится въ діаграммномъ барабанѣ *T*, который дѣлаетъ полный оборотъ въ 12 или 24 часа. Пишущимъ приборомъ можетъ быть или очень мягкій карандашъ или особое перо съ анилиновыми чернилами; чтобы не понижать чувствительности прибо-

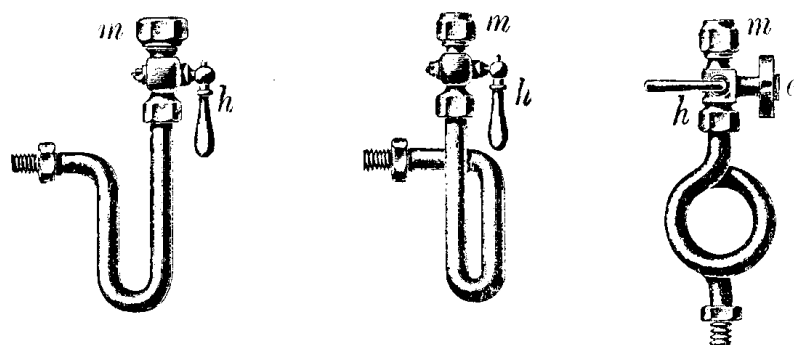
ра пишущее приспособленіе должно едва лишь касаться бумаги. Благодаря значительной длинѣ стрѣлки передаточный механизмъ сведень къ одному лишь рычажку, что увеличиваетъ точность прибора.

На черт. 195 показано пунктиромъ поворачиваніе барабана для смѣны бумаги и завода часового механизма.

Трубка для передачи давленія присоединяется къ патрубку *G*, а фланецъ *S* служитъ для прикрѣпленія прибора къ кронштейну или стѣнѣ, для чего въ него сверлятся соотв. дыры.

Остальныя буквы обозначаютъ тоже, что и на черт. 189.

*Присоединеніе манометровъ.* На правильность показаній и долговѣчность металлическихъ манометровъ, особенно системы Бурдона, вредно вліяютъ два обстоятельства: высокая температура и рѣзкія колебанія давленія. Вліяніе перваго обстоятельства можно уничтожить или по крайней мѣрѣ сильно ослабить включеніемъ, такъ назыв. водяной, петли: трубка, соединяющая паровое пространство съ манометромъ, чаще всего мѣдная, изгибается въ видѣ круглой или растянутой петли; черт. 196—198, въ которой сконденсировавшійся паръ удержи-



Черт. 196—198.

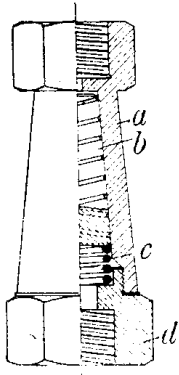
вается, такъ что трубка манометра заполняется не паромъ, а лишь разогрѣтой водой. На черт. 198 кранъ *h*, къ патрубку *m* котораго привинчивается манометръ, трехходовой и снабженъ фланцемъ *e* для контрольнаго манометра.

Такого рода петлю полезно включать на всякій случай и при манометрѣ по черт. 189.

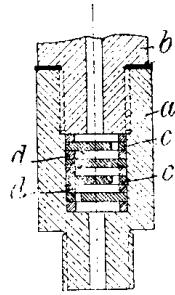
Для ослабленія вреднаго вліянія рѣзкихъ толчковъ при колебаніяхъ давленія, напр., передъ регулировочнымъ клапаномъ турбинъ Парсонса, можно пользоваться двумя способами: мятіемъ давленія и включеніемъ упругой подушки.

Первый способъ можно осуществлять, напр., припирая краникъ *h*, черт. 196 и 197, а при особенно сильныхъ толчкахъ включая въ трубопроводъ къ манометру приспособленіе Вальтера, примѣняемое фирмой Экардтъ, черт. 199: въ коническій штуцеръ *a* вставляется приточенная пробка *b* съ проточеннымъ на ея поверхности винтовымъ каналомъ; пружинка *c* прижимаетъ пробку; штуцеръ *d* соединяется съ трубкой, а

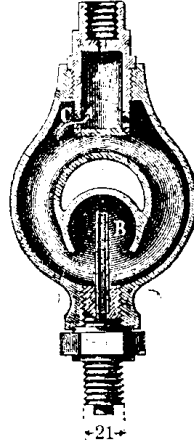
въ *a* ввертывается манометръ. Благодаря очень длинному пути по винтовому каналу, представляющему значительное сопротивление, кратковременныя колебанія давленія не успѣваютъ передаваться манометру.



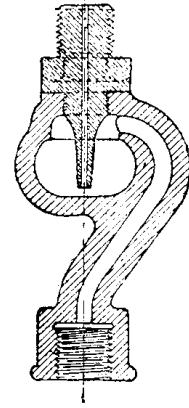
Черт. 199.



Черт. 200.



Черт. 201.



Черт. 202.

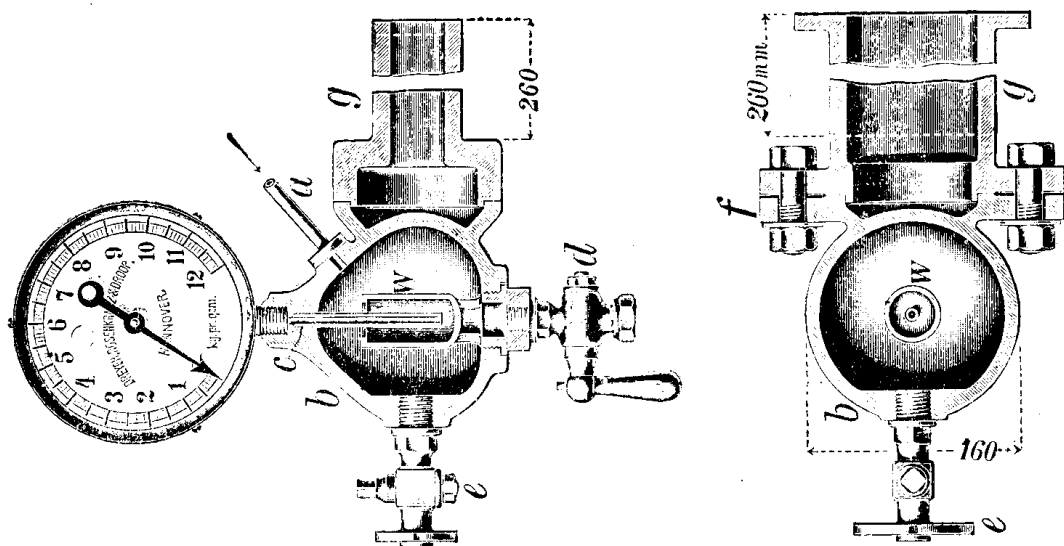
Другое очень простое приспособленіе, напоминающее форсунку двигателя Дизеля, изображено на черт. 200: въ нипель *a*, въ который ввертывается хвостовикъ *b* манометра, включаются 3-4 шайбы *c, c*, отверстія въ которыхъ сдвинуты одно относительно другого; кольца *d, d* даютъ требуемое разстояніе между шайбами.

Черт. 201 показываетъ приспособленіе Шеффера и Буденберга по второму способу, вмѣстѣ съ тѣмъ замѣняющее и водяную петлю: паръ, попавъ снизу черезъ трубку, конденсируется и остается на днѣ шарообразнаго расширенія *B*; когда вода поднимется до нижнихъ кромокъ *B*, въ боковыхъ каналахъ, въ пространствѣ *A* и въ самомъ манометрѣ окажется запертымъ воздухъ, который будетъ служить упругимъ буферомъ, смягчающимъ толчки. Кромѣ того, происходитъ сильное мятіе въ малыхъ отверстіяхъ *C*, ведущихъ въ колпачекъ *A*, и въ маломъ же отверстіи, сообщающемъ полость *A* съ самимъ манометромъ.

На черт. 202 изображено аналогичное приспособленіе завода Экардтъ и К-ія.

На черт. 203 и 204 изображено примѣрно въ  $\frac{1}{6}$  натур. вел. такое же предохранительное приспособленіе, но въ соединеніи съ грязеуловителемъ Фогта: давленіе пара передается на манометръ по трубкѣ *a*, при чемъ сосудъ *w* съ опущенной почти до дна трубкой *e* образуетъ водяной запоръ, предотвращающій соприкосновеніе пара съ пружиной манометра; верхняя часть груши *b* образуетъ воздушный колпакъ, а въ нижней отсеивается грязь, часто увлекаемая паромъ; краникъ *d* служитъ для спуска грязи, краникъ *e* для присоединенія контрольнаго манометра. Приборъ прикрѣпляется при помощи фланца *f* и двухъ болтовъ къ какому нибудь кронштейну; на черт. 203 и 204 показанъ штуцеръ *g*, къ которому приборъ прикрѣпляютъ въ случаѣ

постановки манометра у парового котла; *g* задѣлывается въ обмуровку котла.

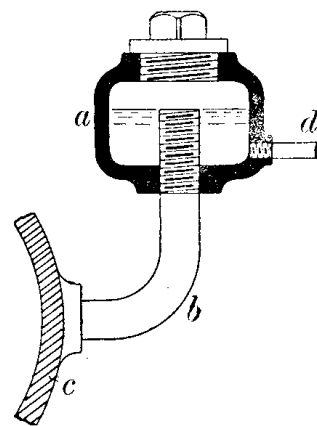


Черт. 203 и 204.

Наконецъ, при сколько нибудь значительной длинѣ соединительной трубки, ведущей къ манометру, на его показанія можетъ имѣть вліяніе высота столба воды, конденсирующей въ трубкѣ; напр., разность уровней воды въ 1 м. вноситъ въ показанія манометра ошибку въ 0,1 кгр./см.<sup>2</sup>.

Чтобы избѣжать этой ошибки, колеблющейся при измѣненіяхъ давленія, если вода не заполняетъ трубки и то поднимается, то опускается въ ней, полезно заранѣе заполнить водой всю соединительную трубку и включать приспособленіе, поддерживающее разность уровней воды на постоянной высотѣ, что позволитъ добавлять къ показаніямъ манометра постоянную, заранѣе извѣстную поправку.

Такое приспособленіе указано на черт. 205: *a* сосудъ, въ которомъ стоитъ вода на одной высотѣ, такъ какъ вода отъ постепенно конденсирующагося въ немъ пара стекаетъ по трубкѣ *b* въ паропроводъ *c*; *d* трубка къ манометру, всегда заполненная водой; перемѣщеніе при увеличеніи давленія пара части воды изъ *a* въ *d* не можетъ понизить уровня на сколько нибудь замѣтную величину.



Черт. 205.

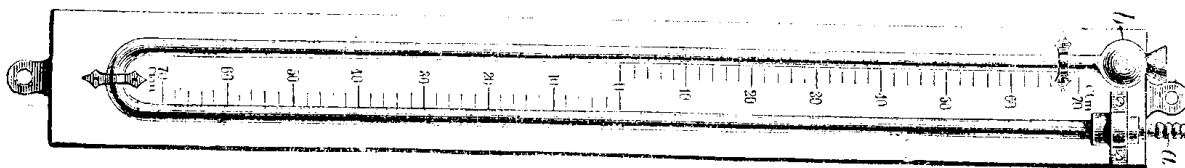
**24. Ртутные манометры.**—Для точнаго измѣренія небольшихъ давленій въ 1--1,5 атм. иногда полезно воспользоваться манометрами съ ртутью, въ которыхъ давленіе пара и уравнивается и измѣряется прямо соотв. столбомъ ртути.

Исполняются они обыкновенно въ видѣ двухъ сообщающихся внизу стеклянныхъ трубокъ, изъ которыхъ верхній конецъ одной сообщается

съ паровымъ пространствомъ, а другой—съ атмосферой; если измѣряемое давленіе выше атмосфернаго, то въ первой трубкѣ уровень опустится, а во второй повысится; разность уривней  $h$  и даетъ искомое давленіе въ мм. ртутнаго столба. Чтобы перевести давленіе въ кгр./см.<sup>2</sup> надо раздѣлить  $h$  на 737,4, т. е. на высоту столба ртути при 15°Ц., соотвѣтствующую 1 кгр./см.<sup>2</sup>. Такъ какъ ртуть при повышеніи температуры замѣтно расширяется, то при высшей температурѣ  $t$ °Ц. столбъ  $h'$  будетъ выше столба при 15°. Чтобы перевести найденный столбъ  $h'$  въ высоту  $h$  при 15° надо его помножить на соотв. коэффициентъ, именно

$$h = h' [1 - 0,00018 (t - 15)], \quad (43)$$

На черт. 206 изображенъ такой манометръ для давленій до 1400 мм. рт. ст., т. е. примѣрно до 1,9 атм. На рифленый наконечникъ  $a$  надѣвается резиновая трубка, сообщающая манометръ съ паровымъ пространствомъ; шарикъ  $b$  сдѣланъ на открытомъ колѣнѣ для того, чтобы



Черт. 206.

при случайномъ повышеніи давленія выше предѣльнаго ртуть не вылилась на полъ; съ той же цѣлью въ воронку надъ шарикомъ полезно класть кусочекъ ваты.

Если при сообщеніи съ атмосферой обоихъ колѣнъ ртуть въ нихъ стоитъ точно на 0, и діаметръ трубокъ одинаковъ, то вмѣсто разности уривней можно брать просто удвоенный отчетъ по одной изъ шкалъ.

Чтобы вліяніе капиллярности не было черезчуръ замѣтно, діаметръ стеклянныхъ трубокъ надо брать не менѣе 8 мм.

При точныхъ измѣреніяхъ ртуть надо брать очищенную, прокипяченную, а стеклянныя трубки надо тщательно вымыть сперва слабымъ растворомъ азотной кислоты, а потомъ спиртомъ и затѣмъ просушить.

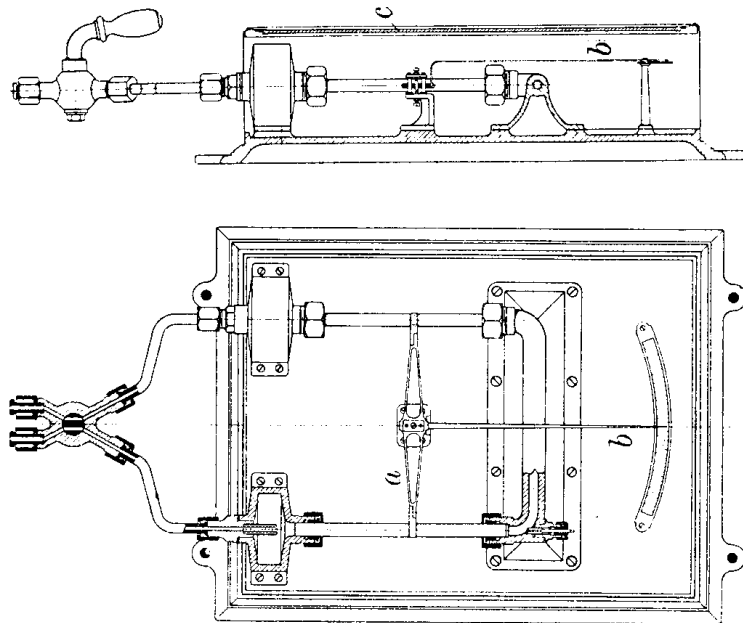
Наконецъ, надо слѣдить, чтобы ни надъ ртутью, ни въ трубкѣ, присоединяемой къ паровому пространству, не было воды, такъ какъ столбъ ея вліяетъ на разность уривней ртути, увеличивая ее, если онъ находится надъ ртутью со стороны измѣряемаго давленія, и уменьшая ее, если онъ находится въ трубкѣ, сообщающейся съ атмосферой.

Если тѣмъ не менѣе надъ ртутью вода окажется, то нужно ввести соотв. поправку, имѣя въ виду, что 1 мм. столба воды равенъ 0,074 мм. столба ртути.

Въ силу конструкціи ртутныхъ манометровъ ими очень удобно пользоваться, когда надо опредѣлить разность двухъ давленій. Такъ, майо-

метромъ по черт. 206 можно измѣрять разность давленій въ сосѣднихъ ступеняхъ активныхъ турбинъ, если одно паровое пространство соединить резиновой трубкой съ патрубкомъ *a*, а другое—съ патрубкомъ *b*. Разумѣется, толщина и резиновыхъ соединительныхъ и стеклянныхъ трубокъ манометра должна соответствовать въ смыслѣ прочности абсолютной величинѣ измѣряемыхъ давленій.

*Дифференціальный манометръ.* Еще удобнѣе для послѣдней цѣли и точнѣе при небольшихъ разностяхъ давленія, какъ, напр., у сосѣднихъ ступеней реактивныхъ турбинъ, дифференціальный манометръ Шефферъ и Буденберга, изображенный въ 1:5 натур. вел. на черт. 207 и 208. Это такой же U-образный приборъ съ ртутью, но съ особеннымъ указателемъ: въ обѣихъ стеклянныхъ трубкахъ плаваютъ на поверхности ртути желѣзные шарики, которые увлекаютъ за собой концы ко-



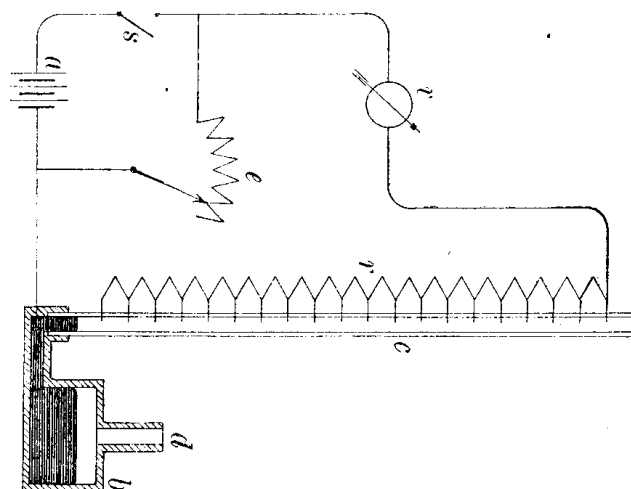
Черт. 207 и 208.

ромысла *a*, сдѣланные изъ намагниченной стали; стрѣлка *b* указываетъ прямо разность давленій на шкалѣ, которая позволяетъ отсчитывать еще 0,001 кгр./см.<sup>2</sup>. Наибольшая разность давленій, которую можно измѣрять этимъ приборомъ, около 0,10÷0,12 кгр./см.<sup>2</sup>.

*Самозаписывающій ртутный манометръ.* Въ самое послѣднее время фирма Галльваксъ и К-ія выпустила приборъ, названный ею „Гакоза“ и схематически изображенный на черт. 209, стр. 144: къ патрубку *d* сосуда *b*, въ которомъ находится ртуть, присоединяется трубка отъ пространства, въ которомъ измѣряется давленіе; измѣряемое давленіе заставляеть ртуть подниматься по стеклянной трубкѣ *c*. Въ трубку *c* вдаются впаянные въ нее черезъ одинаковыя промежутки платиновыя проволочки, другіе концы которыхъ присоединены къ различнымъ точкамъ электрическаго сопротивленія *r*, включеннаго въ цѣпь вольтметра *v*; чѣмъ выше столбъ ртути, тѣмъ бѣльшая часть сопротивленія вы-

ключена, тѣмъ большее отклоненіе получаетъ стрѣлка  $c$ ; токъ въ сѣти получается отъ аккумулятора  $a$ . Чтобы выравнивать сопротивленія при болѣе длинныхъ проводникахъ и измѣненія напряженія аккумулятора  $a$  имѣется регулировочное сопротивленіе  $e$ ; чтобы токъ не расходовался напрасно, цѣпь замыкается лишь на моментъ отчета включателемъ  $s$ .

Черт. 209.



Приборъ исполняется для давленій отъ 0,01 до 1 атм. избыт., при чемъ ступени давленій—дѣленія шкалы—дѣлаются по желанію отъ 0,1 до 0,01 атм.; аккумуляторъ  $a$  имѣетъ емкость въ 28 амп.-ч. при напряженіи 12 вольтъ.

Вольтметръ  $e$  обыкновенно ставится самозаписывающій, въ родѣ указаннаго выше, черт. 161, только болѣе компактный.

На черт. 210 изображенъ приблизительно въ 1 : 10 натур. вел. наружный видъ самаго манометра съ дѣленіями въ 0,02 атм., заключеннаго въ жестяной кожухъ, а на черт. 211 распределительная доска къ нему съ самозаписывающимъ вольтметромъ Сименсъ и Гальске и прочими перечисленными выше принадлежностями.

**25. Вакууметры.**—Ни по идеѣ, ни по конструкціи вакууметры не отличаются существенно отъ манометровъ; разница лишь въ томъ, что манометры измѣряютъ разность давленій  $p_2 - p_0$ , гдѣ  $p_0$  атмосферное давленіе, и  $p_2 > p_0$ , а вакууметры измѣряютъ  $p_0 - p_2$ , при чемъ  $p_2 < p_0$ .

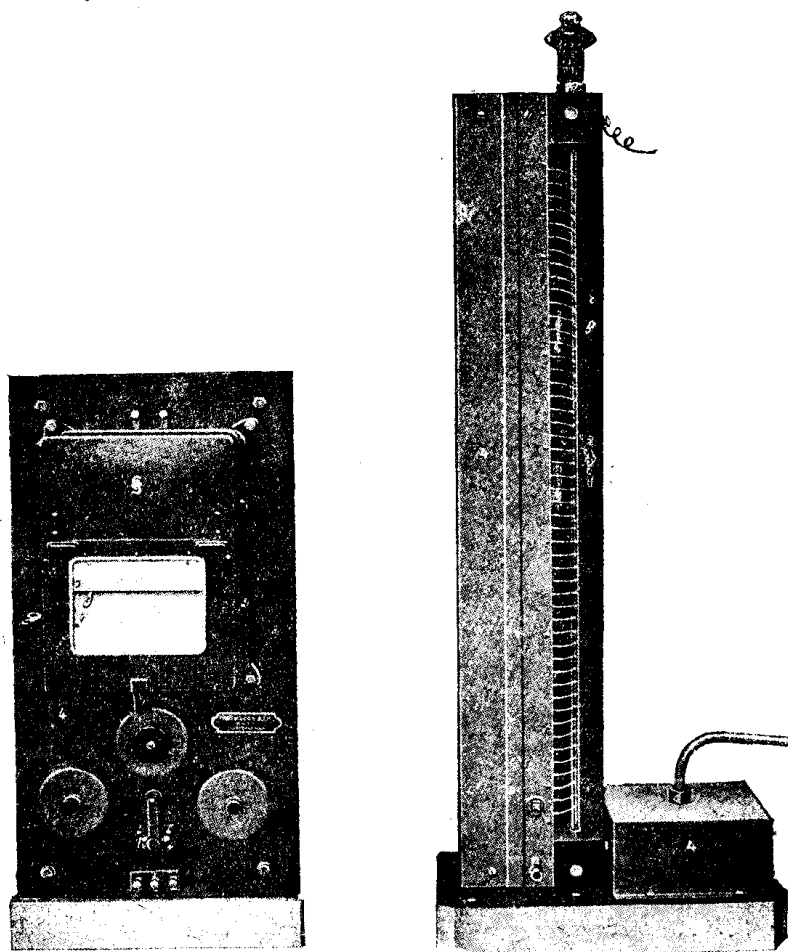
*Металлическіе вакууметры* исполняются преимущественно по системѣ Бурдона, такъ какъ по системѣ Шеффера они выходятъ недостаточно чувствительными.

Шкала у нихъ градуируется или въ см. рт. ст., т. е. отъ 0 до 76 см., или, что въ сущности то же самое, въ дюйм. рт. ст., т. е. отъ 0 до 30 л., или, наконецъ, въ кгр./см.<sup>2</sup>: 0 ÷ 1,0 кгр./см.<sup>2</sup>.

На практикѣ разрѣженіе принято выражать въ %, считая за 100%, когда абсолютное давленіе равно 0. Сообразно этому встрѣчаются и вакууметры со шкалой, раздѣленной отъ 0 до 100%, но такая градуиров-



ка совершенно неправильна. Дѣлается она такъ, что 100% соотвѣтствуетъ разрѣженію въ 760 мм. рт. ст., и при этомъ барометрическомъ давленіи показанія прибора будутъ вѣрны, а при всякомъ другомъ—нѣтъ. Именно, если высота барометра  $B < 760$ , то вакууметръ будетъ показывать въ % разрѣженіе худшее, чѣмъ оно въ дѣйствительности, при  $B > 760$ —лучшее.



Черт. 210 и 211.

Впрочемъ, вообще способъ выразить разрѣженіе въ % можетъ вызывать путаницу, и нельзя не выразить сожалѣнія, что онъ получилъ незаслуженно права гражданства, что имъ пользуются даже при научныхъ испытаніяхъ турбинъ.

Въ самомъ дѣлѣ, одно и тоже показаніе вакууметра при одной и той же высотѣ барометра приходится выразить разной величиной въ %, въ зависимости отъ того, о чемъ идетъ рѣчь, напр., имѣютъ ли въ виду тепловое состояніе въ холодильникѣ, или работу воздушнаго насоса.

Укажемъ примѣръ: вакууметръ показываетъ разрѣженіе 610 мм. рт. ст.; высота барометра 715 мм. Абсолютное давленіе въ холодильникѣ  $715 - 610 = 105$  мм. рт. ст., или  $165:737,4 = 0,142$  кгр./см.<sup>2</sup>. Относи-

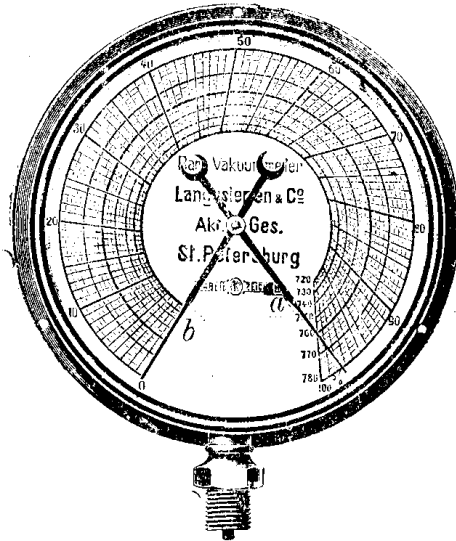
тельно состоянія пара разрѣженіе въ % надо указать  $(760 - 105) : 760 = 86,2\%$ , а для характеристики работы воздушнаго насоса разрѣженіе  $610 : 715 = 85,3\%$ . При худшемъ разрѣженіи разница будетъ еще больше, при лучшемъ меньше.

Правильнѣе всего въ отчетахъ объ испытаніи указывать разрѣженіе или въ мм. рт. ст. или въ кгр./см.<sup>2</sup> абсолютнаго давленія, прибавляя къ этому, какова была высота барометра *B*.

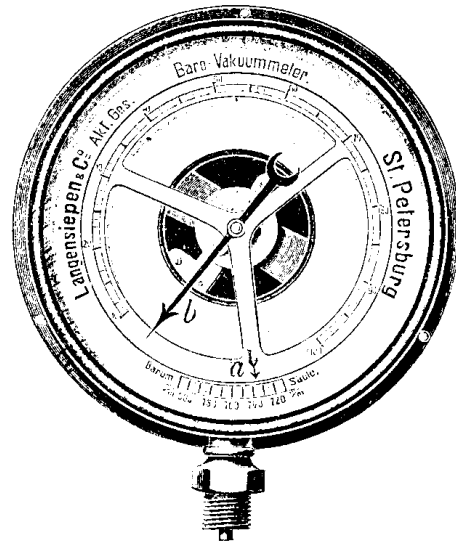
*Баро-вакууметры.* Въ послѣднее время появились вакууметры со шкалой въ %, но съ принятіемъ во вниманіе высоты барометра въ моментъ отчета. Впрочемъ, учетъ дѣлается по второму способу, т. е. съ отнесеніемъ разрѣженія къ данной высотѣ барометра, а не къ нормальной въ 760 мм. Для точныхъ испытаний паровыхъ турбинъ съ выясненіемъ состоянія пара въ холодильникѣ такіе приборы не годятся, но для контроля за работой турбины они, конечно, гораздо лучше обыкновенныхъ вакууметровъ.

Сущность обоихъ приведенныхъ ниже приборовъ одинакова: они представляютъ сочетаніе изъ вакууметра-бурдона и барометра-анероида.

Въ приборѣ Паумана, черт. 212, стрѣлка барометра *a* показываетъ при пересѣченіи съ линіей 100% данное барометрическое давленіе; от-



Черт. 212.



Черт. 213.

четъ разрѣженія находится въ пересѣченіи стрѣлки *b* въ соотв. концентрическомъ кругомъ.

Въ болѣе удобномъ для отчетовъ, но менѣе точномъ въ силу своей конструкции приборѣ Фрерикса, черт. 213, стрѣлка *b* даетъ соотв. отчетъ на шкалѣ, поворачивающейся подъ воздействием барометра; высоту послѣдняго указываетъ стрѣлка *a* по наружной шкалѣ.

Черт. 212 и 213 даютъ приборы въ 1:4 натур. вел..

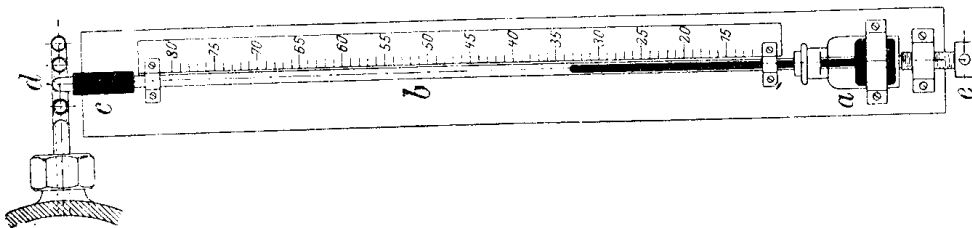
Преимущество баро-вакууметровъ передъ обыкновеннымъ вакууметромъ можно пояснить слѣдующимъ примѣромъ: вакууметръ показываеъ 72 см. рт. ст., потомъ начинаетъ постепенно понижаться и черезъ часъ показываетъ уже всего 69 см.. Такое пониженіе можетъ происходить отъ какой нибудь неплотности въ холодильникѣ, и тогда машинистъ долженъ тотчасъ принять мѣры къ ея нахожденію и устраненію. Но это же пониженіе можетъ произойти и отъ паденія барометра, напр., съ 770 до 740 мм. Если отчеты дѣлаются по баро-вакууметру, то причина паденія разрѣженія видна сразу.

*Ртутные вакууметры.* При болѣе точныхъ измѣреніяхъ лучше пользоваться ртутными вакууметрами, какъ болѣе точными и чувствительными. По конструкціи приборы эти бываютъ нѣсколькихъ типовъ.

Во-первыхъ, въ качествѣ вакууметра можно пользоваться U-образной трубкой, напр., приборемъ по черт. 206. Если при сообщеніи съ атмосферой 0 шкалы—уровень ртути стоитъ по срединѣ высоты трубки, то достаточно брать ее длиной 780—800 мм..

Во-вторыхъ, можно колѣбно, сообщающаеся съ атмосферой, замѣнить сосудомъ съ значительнымъ поперечнымъ сѣченіемъ. Уровень ртути въ сосудѣ, хотя и мало, но будетъ мѣняться; его измѣненіе можно учесть нѣсколькими способами; или можно соотв. градуировать шкалу, дѣлая дѣленія немного мельче, чѣмъ черезъ см., или можно приводить на одну высоту уровень ртути и 0 шкалы, или опускаая шкалу, или поднимая ртуть. Преимущество всѣхъ приборовъ съ одной трубкой—надо производить лишь 1 отчетъ вмѣсто 2.

На черт. 214 изображенъ удобный вакууметръ послѣдняго типа: *a* — стеклянка съ пробкой, черезъ которую проходитъ свободно и неплот-



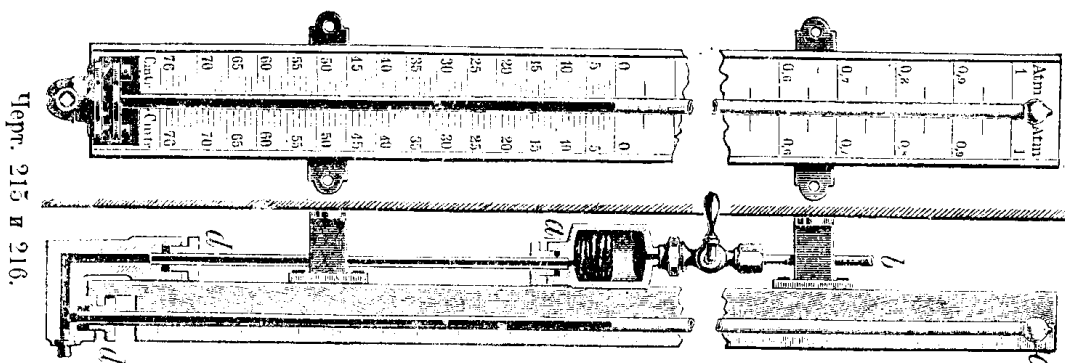
Черт. 214.

но стеклянная трубка *b*, присоединенная плотно толстой резиновой трубкой *c* къ гибкой металлической спиральной трубкѣ *d*, сообщающейся съ соотв. пространствомъ; при помощи винта *e* сосудъ *a* перемѣщается вверхъ или внизъ до совпаденія уровня ртути съ 0 шкалы, отмѣченнымъ на трубкѣ *b*.

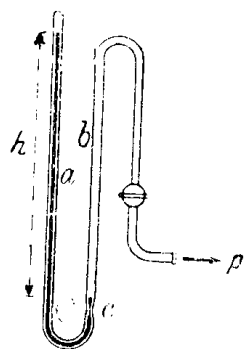
На черт. 215 и 216 показанъ удобный приборъ, позволяющій измѣрять какъ разрѣженіе, такъ и давленіе до 1 кгр./см.<sup>2</sup> выше атмосфернаго, такъ назыв. мано-вакууметръ. Въ виду двоякаго назначенія прибора чугунный сосудъ *a* съ ртутью расположенъ посрединѣ, трубка *b* сообщается съ пространствомъ, давленіе въ которомъ измѣряется, а въ шарикѣ *c* отверстіе, сообщающее приборъ съ атмосферой; сальнич-

ки  $d, d'$  съ резиновой или кожанной набивкой; шкала градуируется эмпирически въ зависимости отъ сѣченія сосуда  $a$ .

Приборъ особенно удобенъ, когда турбина испытывается при разныхъ условіяхъ, то съ выпускомъ въ холодильникъ, то въ атмосферу, или при измѣреніи давленія пара въ промежуточной ступени, гдѣ давленіе то выше, то ниже атмосфернаго въ зависимости отъ нагрузки.



Наконецъ, можно изготовить приборъ, который будетъ указывать не разрѣженіе по сравненію съ переменнымъ барометрическимъ давленіемъ, а прямо абсолютное давленіе; это, такъ назыв., укороченный барометръ, черт. 217:



Черт. 217.

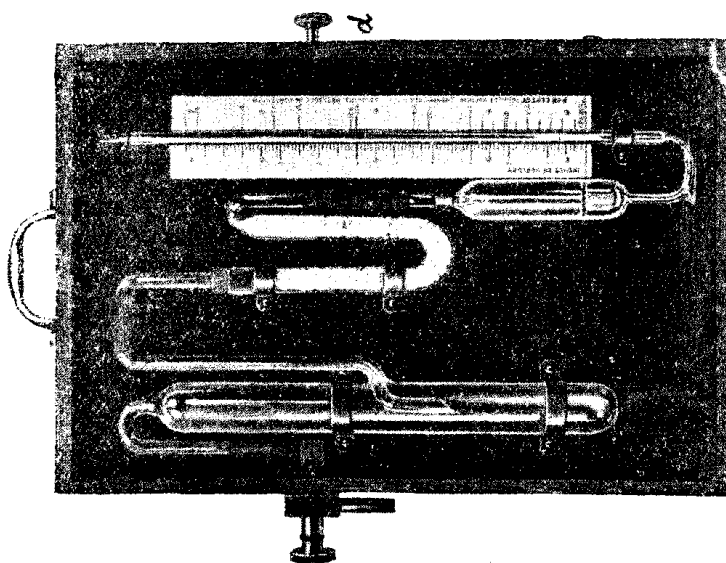
лѣвое колѣно  $a$  стеклянной трубки запаивается или снабжается соотв. краникомъ такъ, чтобы надъ ртутью не было воздуха, ни воды, правое— $b$  сообщается съ холодильникомъ; высота  $h$  даетъ прямо абсолютное давленіе въ мм. рт. ст.. Ртуть для этого прибора надо хорошенько прокипятить и крошечить, а также слѣдить, чтобы въ колѣно  $a$  не попадало пузырьковъ воздуха, для чего полезно суженіе  $c$ . Воздухъ и пары жидкости, понавъ въ  $a$ , понимаютъ столбъ  $h$ , и показанія прибора даютъ разрѣженіе какъ бы лучше дѣйствительнаго; вообще нужно имѣть въ виду что приборъ имѣетъ эту наклонность.

На черт. 218 изображенъ изготовляемый англійской фирмой Брэдди и Мартинъ, Пьюкэстль на Тайнѣ, укороченный барометръ, усовершенствованный въ деталяхъ и называемый фирмой „кинометромъ“<sup>55)</sup>.

Въ „кинометрѣ“, изготовляемомъ специально для работы съ паровой турбиной, устранены два недостатка простой схемы: во-первыхъ, въ лѣвое, унженное колѣно  $a$  барометрической U-образной трубки, благодаря включенію второй U-образной стеклянной трубки—съ хлористымъ кальціемъ, не можетъ проникать паръ, конденсирующійся и измѣняющій уровень ртути, и во-вторыхъ, даже при рѣзкихъ колебаніяхъ давленія въ холодильникѣ въ послѣдній не можетъ попасть

<sup>55)</sup> Engng. 1912. XСШ, р. 539.

ртути, что довольно опасно при мѣдныхъ трубкахъ поверхностныхъ холодильниковъ. Последнее обстоятельство достигается слѣдующимъ образомъ: во-первыхъ, къ верхнему отверстию трубки *a* припаяна вдающаяся въ *a* стеклянная трубка, кончикъ которой оттянуть до такого малаго діаметра, что ртуть не можетъ въ него попасть; но если-бы она даже и проникла въ соединительную трубку, а оттуда въ *b*, то она задержится вторымъ предохранителемъ—стекляннымъ сосудомъ *c*, который сообщается съ манометромъ трубкой, впаянной въ срединѣ его



Черт. 218.

высоты, а съ холодильникомъ—трубкой, припаянной вверху. Шкала прибора имѣетъ два дѣленія: въ дюймахъ ( $\frac{1}{16}$ "') абсолютнаго давленія и въ % разрѣженія. Если, какъ это въ большинствѣ случаевъ дѣлается, относить разрѣженіе къ данному барометрическому давленію, то послѣднія дѣленія, конечно, будутъ несовсѣмъ точны подѣ влияніемъ измѣненія барометрическаго давленія; зато, если относить разрѣженіе къ нормальному барометрическому давленію  $V=737.$ , мм. рт. ст., то приборъ даетъ сразу вѣрныя показанія. Для приведенія 0 шкалы къ уровню ртути въ *a*, шкалу можно нѣсколько передвигать при помощи кремальеры; *d* головка кремальерочнаго винта. Для перевозки приборъ прикрѣпленъ къ ящику; отдѣльныя стеклянныя части скрѣплены толстыми резиновыми трубками; размѣръ ящика  $100 \times 270$  при высотѣ 430 мм.. Разумѣется, ящикъ нельзя класть на бокъ, чтобы въ правое запаянное колѣно трубки *a* не попалъ воздухъ, малѣйшее присутствіе котораго дастъ показанія съ преувеличеннымъ разрѣженіемъ.

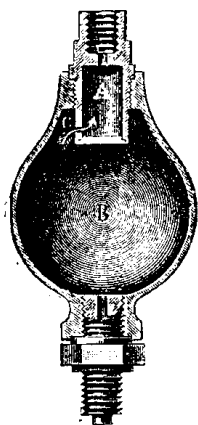
Фирма Негретти и Замбра изготовляетъ баро-вакууметръ тоже спеціально для паровыхъ турбинъ; приборъ этотъ состоитъ изъ ртутнаго барометра, котораго нижнее колѣно можно соединять поочередно то съ холодильникомъ для измѣренія абсолютнаго давленія тамъ, то съ

наружной атмосферой—для отчета давленія барометра. Попаданіе воды въ это колѣно предотвращается включеніемъ въ соединительный трубопроводъ склянки съ крѣпкой сѣрной кислотой; эта же склянка улавливаетъ ртуть и не даетъ ей попасть въ холодильникъ.

Фирма Галльвакесъ и К-ія изготовляетъ ртутные вакууметры „Гакоза“ съ отчетомъ на разстояніи и самозаписывающіе по той-же схемѣ, какъ описанные выше манометры, черт. 209—211. Дѣленія на этихъ приборахъ дѣлаются въ 0,01 атм., т. е. около 7,4 мм. рт. ст., что удобно при пользованіи приборомъ въ качествѣ контрольнаго на станціи, но недостаточно точно при тщательныхъ испытаніяхъ паровыхъ турбинъ.

*Присоединеніе вакууметровъ.* Одно изъ главныхъ условій правильности показаній вакууметровъ—плотность всѣхъ соединеній въ трубопроводѣ къ прибору. Металлическія трубки лучше соединять пайкой, чѣмъ накидными гайками, а резиновыя трубки брать толстостѣнные, такъ назыв. трубки для анализа. Особенно внимательно надо провѣрять плотность всѣхъ крановъ.

Провѣрку плотности удобно дѣлать, впуская въ соединительныя трубочки воздухъ подъ небольшимъ давленіемъ, напр., накачивая его велосипеднымъ насосикомъ, и смазывая всѣ мѣста, гдѣ возможна неплотность, мыльной водой. Образованіе мыльныхъ пузырей обнаружитъ неплотность.



Черт. 219.

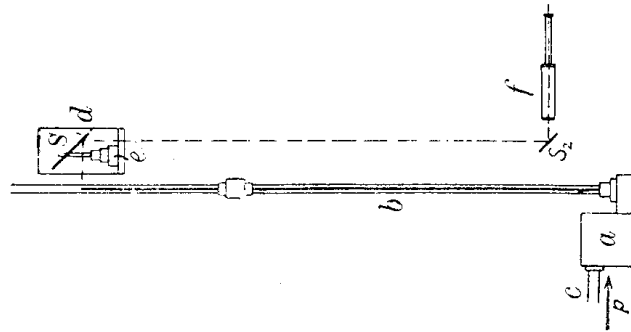
Для сохраненія точности показаній и долговѣчности металлическихъ пружинныхъ вакууметровъ пружины ихъ надо предохранять отъ рѣзкихъ колебаній давленій. Средства для этого почти тѣ же, что и у манометровъ: или припирать краникъ, или включать сопротивление по черт. 199 и 200, или, наконецъ, ставить вакууметръ на штуцеръ по черт. 219: полость *B* играетъ роль воздушнаго буфера, а узкія отверстія *c* и изъ полости *A* къ вакууметру роль добавочнаго сопротивленія—воздушнаго катаракта.

Наконецъ, послѣднее требованіе, одинаково важное для всѣхъ вакууметровъ, чтобы въ соединительныхъ трубочкахъ не собиралась вода, столбъ которой можетъ замѣтно искажать показанія прибора. Таково же назначеніе спирали *d*, черт. 214.

Въ крайнемъ случаѣ, если въ ртутный вакууметръ попала вода, то вліяніе ея можно учесть достаточно точно, прибавивъ къ показаніямъ прибора столбъ воды, перечисленный на удѣльный вѣсъ ртути, т. е. умноженный на 0,073.

**26. Повѣрка манометровъ и вакууметровъ.**—Способы повѣрки манометровъ можно разбить на два основныхъ: сличеніе съ контрольнымъ манометромъ и испытаніе непосредственной нагрузкой.

При повѣркѣ сличеніемъ можно пользоваться въ качествѣ контрольнаго прибора или точнымъ металлическимъ манометромъ по черт. 190 или 191 или большимъ ртутнымъ манометромъ. Послѣдній исполняется въ видѣ чугунаго сосуда *a*, черт. 220, съ ртутью, къ ко-



Черт. 220.

торому примыкаетъ трубка *b* и штуцеръ *e* для сообщенія съ проверяемымъ манометромъ и жидкостью, производящей требуемое постепенное повышение давленія. Трубка *b* составляется изъ толстостѣнныхъ стеклянныхъ трубокъ съ внутреннимъ діаметромъ около 10—12 мм. и длиной около 2 м.; стыки отдѣльныхъ кусковъ соединяются при помощи чугунаыхъ муфточекъ и сальниковъ съ кожанными или резиновыми набивками; шкала наносится прямо на прикрѣпленныхъ къ стѣнѣ деревянныхъ брускахъ, на которыхъ собранъ весь приборъ.

Для наблюденія за столбикомъ ртути передъ манометромъ дѣлается лѣстница, на которую приходится взбираться одному изъ наблюдателей. Повѣрка значительно облегчается, если манометръ снабжается приспособленіемъ, схематически показанномъ на черт. 220: вдоль шкалы натягиваются двѣ проволоки, служащія направляющими для каретки *d*, къ которой прикрѣплено зеркало *s*<sub>1</sub>, наклоненное подъ 45° къ низу, и электрическая лампочка накаливанія или керосиновая *e*; каретка подвѣшена на тонкомъ стальномъ троссѣ, перекинутомъ черезъ блокъ, укрѣпленный у верха прибора; за этотъ троссъ наблюдатель можетъ перемѣщать каретку вверхъ или внизъ, стоя самъ на одномъ мѣстѣ и слѣдя въ то же время за уровнемъ ртути, отражающимся въ зеркалѣ *s*<sub>1</sub>, въ колѣчатую зрительную или простую трубу *f* со вторымъ зеркаломъ *s*<sub>2</sub>, благодаря чему наблюдателю удобно слѣдить за измѣненіемъ уровня ртути. Проводка къ лампочкѣ дѣлается съ блокомъ и противовѣсомъ, спускающимся сбоку отъ манометра.

Разумѣется, въ виду значительной высоты ртутнаго столба нужно вводить съ возможной тщательностью поправку на вліяніе температуры по ур-ію (43).

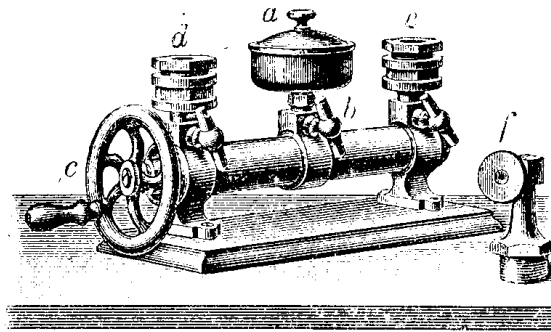
При сличеніи показаній точнаго и проверяемаго манометра смотрятъ, какія дѣленія проверяемаго манометра соответствуютъ 1, 2... кгр./см.<sup>2</sup> контрольнаго. По этимъ наблюденіямъ составляютъ таблицу поправокъ, а при значительныхъ ошибкахъ стараются исправить пока-

занія при помощи упоминавшихся выше перестановочныхъ приспособленій или, наконецъ, снабжаютъ манометръ новой шкалой.

Провѣрку слѣдуетъ производить сперва при возрастающемъ давленіи, затѣмъ при падающемъ и брать среднія величины.

Чтобы уничтожить треніе покоя при провѣркѣ полезно передъ отчетами манометры слегка постукивать; такъ же слѣдуетъ поступать и при отчетахъ во время пользованія манометромъ.

*Давленіе*, которому подвергаютъ вывѣряемый и контрольный манометры можно производить различными способами. На черт. 221



Черт. 221.

представленъ соотв. водяной прессъ: при помощи сосудика *a*, въ который наливается вода, и краника *b* насосный цилиндръ заполняютъ водой, всасываемой при вывинчиваніи ныряла при вращеніи маховичка *c* противъ часовой стрѣлки; на штуцера *d* и *e*, сообщающіеся съ камерой—заднимъ концомъ прессы, ставятся провѣряемый и контрольный манометры при помощи ввернутыхъ въ нихъ переходныхъ футорокъ или штуцера *f*; краникъ *b* закрываютъ, а у *d* и *e* открываютъ и, ввертывая ныряло вращеніемъ маховичка *c* по часовой стрѣлкѣ, повышаютъ давленіе.

Довольно удобно получать давленіе, соединяя небольшой чугунный цилиндръ, снабженный штуцерами, къ которымъ привертываются провѣряемые манометры, съ сосудомъ съ сжатой углекислотой или сжатымъ воздухомъ. Постепенно впуская въ цилиндръ сжатый газъ, можно получать требуемое давленіе.

Требуемое давленіе можно получать также и при помощи особыхъ паровыхъ котелковъ. Такъ, на черт. 222 и 223 изображено устройство проф. Баха <sup>56)</sup>: *A* котелокъ, отопляемый внутреннимъ змѣвикомъ, черезъ который пропускается паръ высокаго давленія черезъ вентиль *B*; трубка *F* служитъ для увеличенія или уменьшенія количества воды въ котлѣ; трубка *K* для спуска отработавшей воды изъ змѣвика, котелка *A* и окружающаго послѣдній кожуха *E*; трубка *G* сообщаетъ

<sup>56)</sup> Z. V. d. I. 1902, S. 1577; или см. также В. Малѣевъ. Испытаніе индикатора. СПб. 1905, стр. 24.