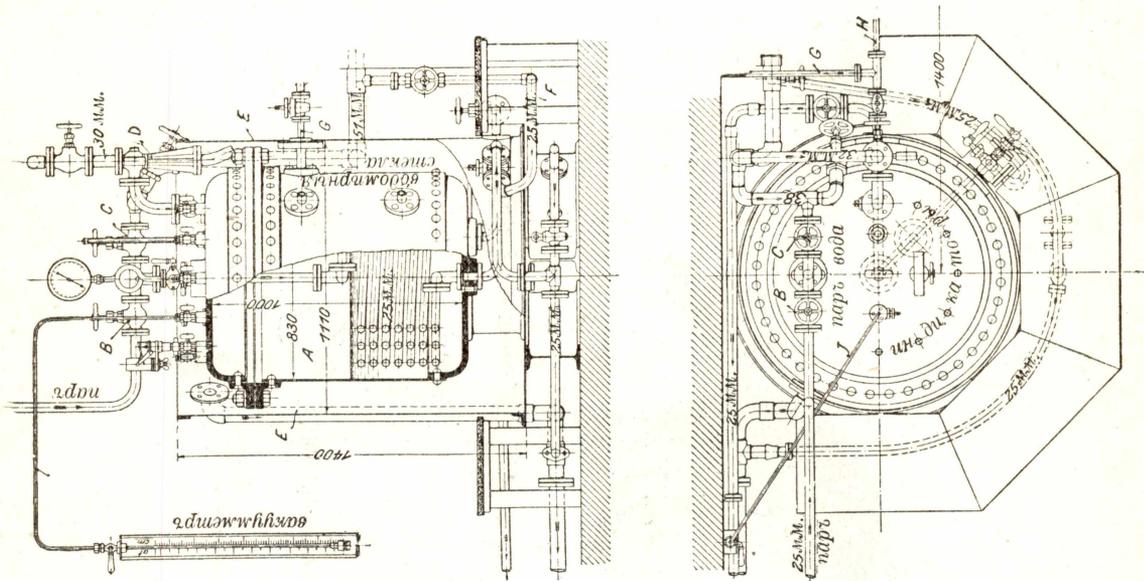


котелокъ съ большимъ ртутнымъ манометромъ по черт. 220, а трубка *I* съ ртутнымъ вакууметромъ; 6 штуцеровъ съ надписью *индикаторы*, черт. 223, служатъ для укрѣпленія провѣряемыхъ индикаторовъ, манометровъ или вакууметровъ.



Черт. 222 и 223.

Для постепеннаго пониженія давленія въ котелкѣ *A* достаточно закрыть вентиль *B*. Для болѣе быстрого пониженія давленія, а также для полученія разрѣженія надо при помощи вентилля *C* пустить черезъ змѣевикъ холодную воду; кромѣ того, можно наполнить холодной водой кожухъ *E* и, наконецъ, пустить въ ходъ водоструйный эжекторъ *D*, который можетъ довести разрѣженіе до 94%.

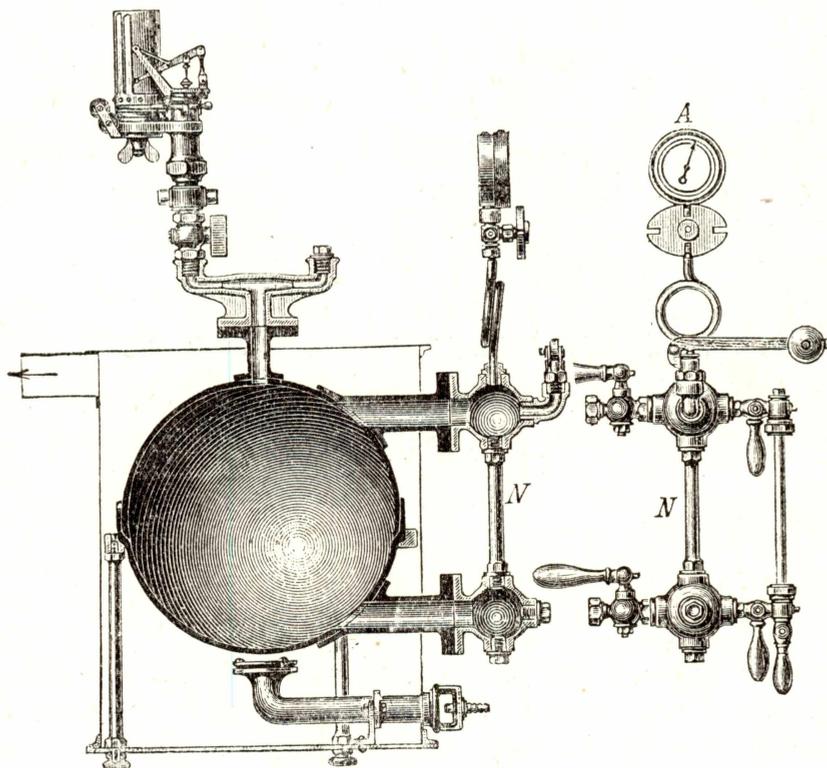
По трубкѣ *H* можно нагнетать въ котелокъ *A* воду при помощи ручнаго насоса и получать требуемое давленіе въ холодномъ состояніи.

Работа съ устройствомъ по черт. 222 и 223 удобна, но обходится довольно дорого въ виду большого расхода пара; другими недостатками его являются громоздкость и большая первоначальная стоимость его.

Для провѣрки манометровъ можно пользоваться котелками по черт. 224 и 225, изготовляемыми заводомъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дрошъ собственно для испытанія индикаторовъ. Котелокъ, емкостью отъ 5 до 15 лтр., отопливается свѣтильнымъ газомъ при помощи горѣлки Воббе. Котелокъ дѣлается обыкновенно изъ мѣди, но въ виду своей шаровой формы выдерживаетъ безопасно давленія до 20 кгр./см.²; благодаря наружному цилиндрическому кожуху, предохраняющему котелокъ отъ чрезчуръ быстрого охлажденія, давленіе пара при потушенной горѣлкѣ падаетъ довольно медленно, такъ что при этомъ можно вести

провѣрку манометра при убывающемъ давленіи. Давленіе пара измѣряется контрольнымъ манометромъ *A*.

Провѣряемые манометры ставятся на 2 верхнихъ штуцера, на одномъ изъ которыхъ на черт. 224 показанъ индикаторъ.

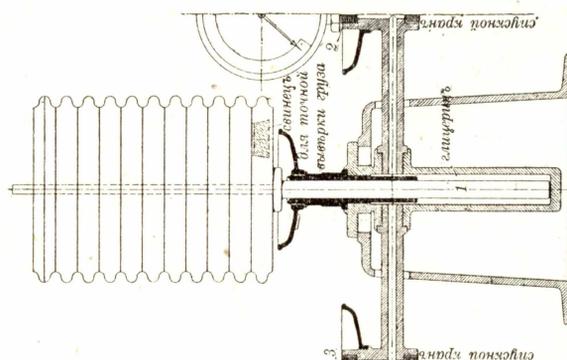


Черт. 224 и 225.

Для ускоренія испытанія полезно имѣть и у этого котелка паропроводъ, сообщающій его съ большимъ паровымъ котломъ станціи; тогда и нагрѣвать воду и повышать давленіе можно готовымъ паромъ, газовая же горѣлка будетъ служить лишь для болѣе точнаго регулированія давленія. Другими средствами регулированія, именно пониженія давленія, служитъ накачиваніе въ котелокъ холодной воды и выпусканіе пара.

Повѣрка нагрузкой производится при помощи прибора по черт. 226: ныряло *I*, діаметръ котораго точно равенъ 20 мм., входитъ плотно, но свободно, съ зазоромъ около 0,005 мм., черезъ соотв. втулку въ цилиндръ, наполненный глицериномъ, чистымъ или разбавленнымъ на $\frac{1}{3}$ дистиллированной водой; жидкость черезъ такой зазоръ не вытекаетъ, а, заполняя его, лишь уничтожаетъ треніе. На штокѣ ныряла *I* имѣется обварокъ, на который надѣваются чугунные или свинцовые грузы, которые сдѣланы такого вѣса, что вызываемое каждымъ изъ нихъ давленіе равно точно 1 кгр./см.²; вѣсъ ныряла съ особымъ дополнительнымъ грузомъ равенъ вѣсу cadaго груза. При діаметрѣ ныря-

ла въ 20 мм. вѣсъ каждаго груза $3,1426$ кгр.. Для повѣрки манометровъ со шкалой, раздѣленной на $0,5$ кгр./см.², надо имѣть еще 1 или 2 вдвое меньшихъ груза, какъ верхніе на черт. 226, дающіе $p=0,5$ кгр./см.². Контрольный манометръ на штуцерѣ 2 полезенъ главнымъ образомъ для быстрой провѣрки правильности наложенныхъ грузовъ. Къ штуцеру 3 привертывается при помощи соотв. переходной муфты провѣряемый манометръ. Приборъ нужно устанавливать по уровню, чтобы ныряло было строго вертикально, иначе треніе искажаетъ отчеты.



Черт. 226.

Для дальнѣйшаго уменьшенія тренія необходимо въ моментъ отчета сообщить нырялу вмѣстѣ съ находящимися на немъ грузами медленное вращеніе. При сообщеніи вращенія нужно стараться, чтобы рука ни надавливала на грузы, ни приподымала ихъ. Грузы имѣютъ прорѣзи для удобнаго надѣванія на штокъ ныряла; при накладываніи грузовъ прорѣзи эти нужно поворачивать то въ одну, то въ другую сторону, чтобы ныряло не получило однобокой нагрузки.

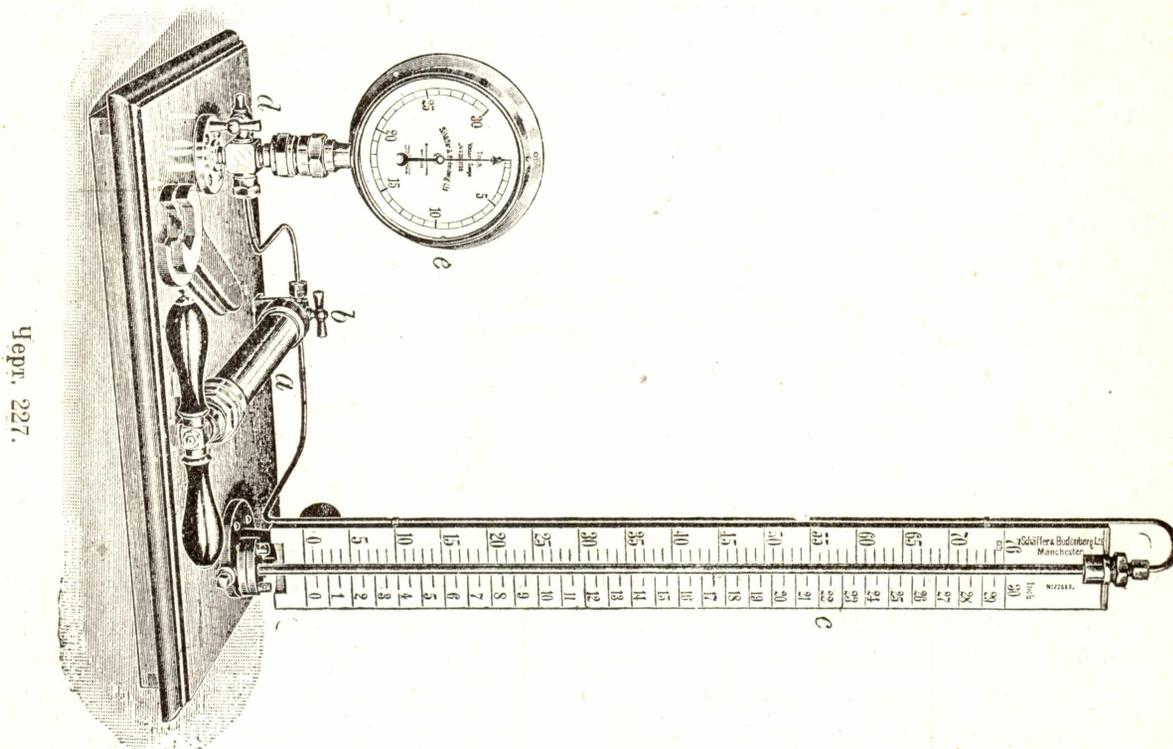
Кстати можно упомянуть, что площадь ныряла и, слѣдовательно, требуемый для полученія давленія 1 кгр./см.² грузъ точнѣ всего опредѣляется сличеніемъ при возможно большемъ давленіи съ показаніемъ ртутнаго манометра по черт. 220.

При повѣркѣ манометра послѣдній лучше всего ставить въ такое же положеніе, какое онъ имѣетъ при работѣ, т. е. обыкновенно стоячее.

Въ заключеніе можно упомянуть, что очень надежный признакъ, исправенъ ли металлическій манометръ или испортился, состоитъ въ положеніи стрѣлки при отсутствіи давленія: если стрѣлка возвращается на 0, то приборъ въ общемъ исправенъ. Большинство манометровъ снабжается упоромъ для стрѣлки при нулевомъ положеніи. Чтобы имѣть указанный признакъ, упоръ надо или удалить или отнести немного за 0, чтобы онъ ограничивалъ лишь слишкомъ большой инерціонный размахъ стрѣлки.

Повѣрка вакууметровъ (металлическихъ) производится сличеніемъ съ ртутнымъ вакууметромъ. Удобное приспособленіе изображено на черт. 227: *a* воздушный насосъ, при вытягиваніи поршня котораго въ освобождаемой задней полости цилиндра получается разрѣженіе,

передающееся черезъ краникъ *b* и мѣдныя соединительныя трубки къ контрольному вакууметру *c* и повѣряемому *e*; достигнувъ наибольшаго разрѣженія, можно, повернувъ краникъ *b*, отключить насосъ, оставивъ *c* и *e* сообщенными другъ съ другомъ; пріоткрывая краникъ *d* и впуская воздухъ, можно вести провѣрку при падающемъ разрѣженіи.



Черт. 227.

Другое приспособленіе для повѣрки вакууметровъ было дано выше, черт. 222 и 223.

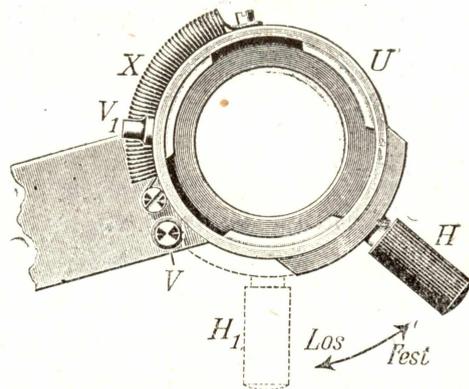
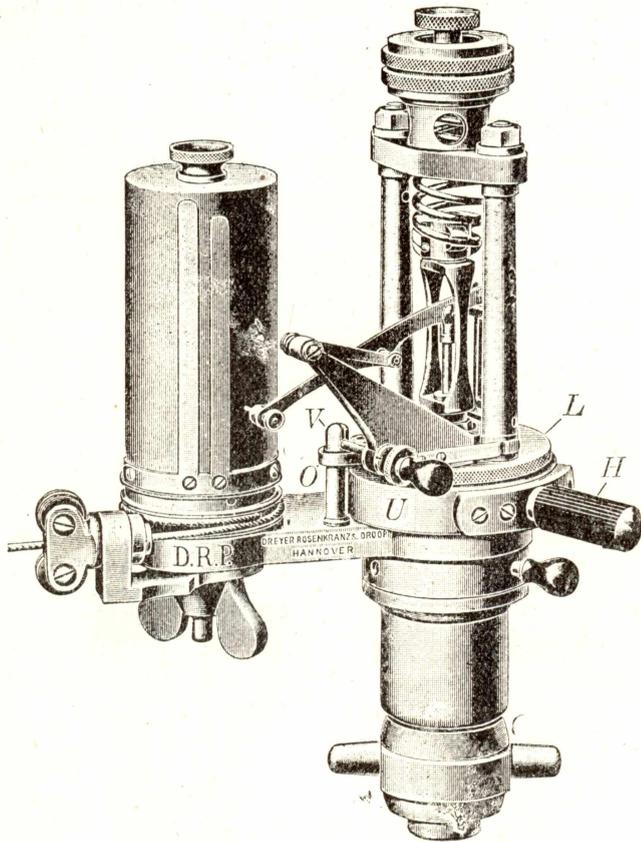
Ртутные приборы въ повѣркѣ, разумѣется, не нуждаются, при нихъ надо лишь соблюдать всѣ указанныя предосторожности и вводить необходимые поправки.

27. Индикаторы.—Къ индикатору, являющемуся самымъ необходимымъ приборомъ при испытаніи поршневыхъ машинъ, приходится прибѣгать и при испытаніяхъ турбинъ, именно, когда надо выяснитъ быстрыя колебанія давленія, главнымъ образомъ при впускѣ пара въ турбину за дроссель-клапаномъ.

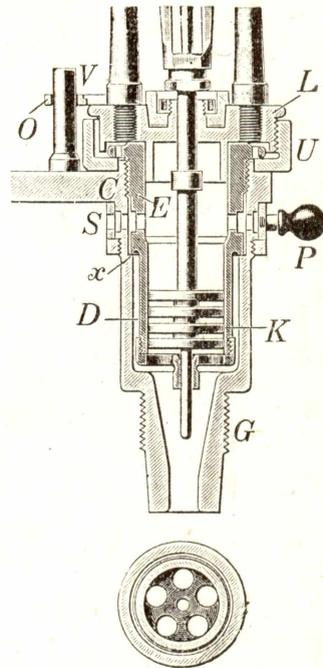
Въ виду вспомогательнаго и второстепеннаго значенія этихъ диаграммъ при испытаніи турбинъ мы коснемся и самихъ индикаторовъ возможно короче, ограничиваясь лишь указаніемъ наиболѣе ходовыхъ для данной цѣли приборовъ.

На черт. 228 представленъ наружный видъ новѣйшаго индикатора Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ съ наружной холодной пружиной и мгновеннымъ запоромъ. Послѣдній состоитъ въ томъ, что винтовая нарѣзка на верху корпуса и соотв. въ крышкѣ *U* вырѣзана на трехъ частяхъ окружности, черт. 229, такъ что при поворотѣ крышки *U* за ру-

коятку H на 60° въ положеніе H_1 , весь механизмъ, т. е. поршень съ пружиной и пишущій механизмъ, освобождается и можетъ быть свободно вынуть кверху; запираніе крышки, т. е. поворачиваніе рукоятки H , когда механизмъ вставленъ обратно, производится автоматически пружиной X . Такой запоръ очень удобенъ, такъ какъ поршень приходится вынимать довольно часто, для чистки, смазки и охлажденія; послѣднее особенно важно при работѣ съ сильно перегрѣтымъ паромъ.



Черт. 228 и 229.

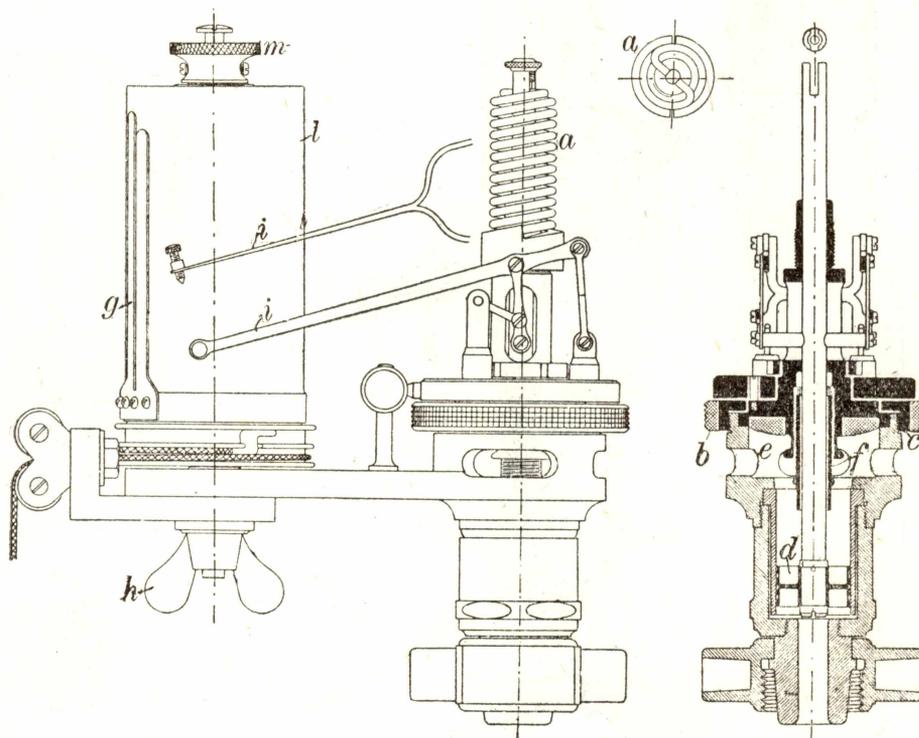


Черт. 230 и 231.

Другое усовершенствованіе этого индикатора—поршень K , составленный изъ 4 дисковъ и снабженный нижней направляющей втулкой, черт. 230 и 231; благодаря двумъ направляющимъ у штока, вверху и

внизу, треніе въ поршнѣ значительно меньше, поршень не можетъ переканчиваться и зацемяться, и въ то же время онъ плотнѣе обыкновеннаго поршня; далѣе диски, изъ которыхъ першень составленъ, какъ тѣла равной толщины обезпечиваютъ равномерное расширеніе поршня при нагрѣваніи; наконецъ, частицы грязи и случайныя инородныя тѣла, въ родѣ нитокъ обтирки и т. п., отлагаются въ пространствахъ между дисками и не увеличиваютъ тренія и изнашиванія поршня, какъ при прежней обычной конструкціи его. Индикаторъ исполняется двухъ размѣровъ, большая модель и малая, но у обоихъ діаметръ нормальнаго поршня 20 мм.; удобнѣе въ работѣ малая модель.

Другой, тоже очень распространенный приборъ—индикаторъ Майхака, черт. 232—234, тоже съ наружной, холодной пружиной; отличие его отъ предыдущаго—пружина *a* работаетъ на растяженіе, верхушка



Черт. 232—234.

ея съ шарикомъ, черт. 234, такъ назыв. типа Кросби; поршень *d* во избѣжаніе неравномернаго расширенія исполненъ симметричнымъ; поршень и остальные части, показанныя въ разрѣзѣ черными, изготовляются изъ стали; къ накидной крышкѣ *c* прикрѣплено вулканитовое кольцо *b*, чтобы легче отвертывать крышку, когда приборъ сильно нагрѣтъ; подкладка *e* тоже изъ вулканита и защищаетъ пружину отъ нагрѣванія; втулка *f* ограничиваетъ ходъ поршня *d* и предохраняетъ пружину *a* отъ чрезмѣрнаго растяженія, особенно при рѣзкихъ колебаніяхъ давленія. Полезно также вильчатое устройство пишущаго рычага *i*, благодаря чему устраняется эксцентричность въ механизмѣ.

Индикаторъ дѣлается 3 размѣровъ: размѣры I и II съ нормальнымъ діаметромъ поршня $d=20,27$ мм., т. е. площадью $f=1/2$ кв. дюйма, для чиселъ оборотовъ n машины до 300 соотв. 600 въ мин., и размѣръ III съ $d=14,35$, т. е. $1/4$ кв. д. для n до 1500 обор./мин.. Въ большинствѣ случаевъ удобенъ размѣръ II.

Заводъ строить приборы съ возможной тщательностью, но все же они немного уступаютъ въ точности индикаторамъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, главнымъ образомъ въ смыслѣ большаго тренія въ поршнѣ и остальномъ механизмѣ, что особенно замѣтно при пользованіи слабыми пружинами.

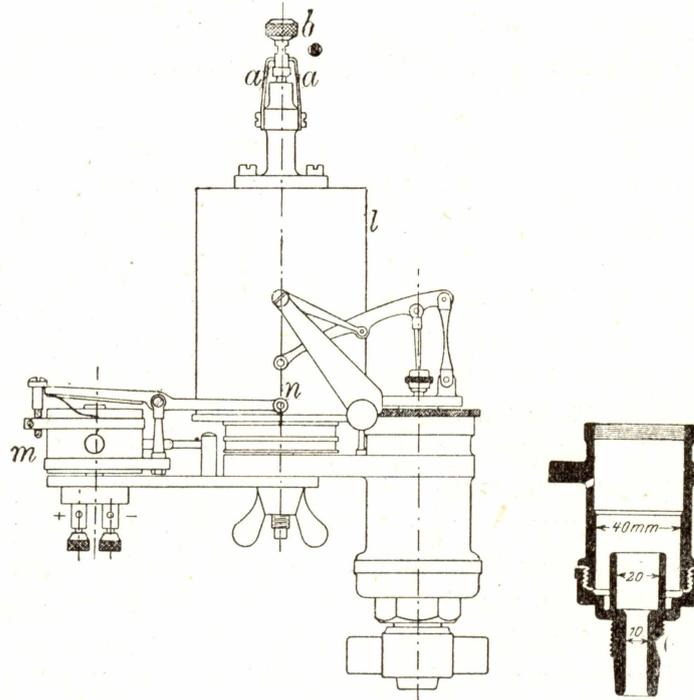
Для записи колебаній давленія пара при испытаніи турбинъ удобнѣе пользоваться вмѣсто описанныхъ выше индикаторовъ съ діаграммнымъ барабаномъ, поворачиваемымъ за шнурокъ и потомъ подъ воздействием находящейся въ немъ пружины вновь возвращающимся въ прежнее положеніе, индикаторами, въ которыхъ барабанъ вращается все время въ одномъ направленіи и притомъ равномерно, т. е. даетъ діаграммы, абсциссы которыхъ пропорціональны времени.

Такой индикаторъ можно получить изъ любого обыкновеннаго, если вывинтить упоръ, препятствующій барабану вращаться кругомъ вокругъ оси, отвинтить язычки g , черт. 232, захватывающіе діаграммную бумагу, и удалить пружину, поворачивающую барабанъ при обратномъ ходѣ; діаграммный барабанъ въ этомъ случаѣ приводится въ равномерное вращеніе отъ какой-нибудь соотв. детали машины, а бумага прикрѣпляется къ барабану при помощи капли клея или клейстера, имъ же прикрѣпляется верхній, зашедшій конецъ бумаги на нижнемъ. При склейкѣ бумаги нужно слѣдить, чтобы при вращеніи барабана карандашъ соскакивалъ съ верхняго конца на нижній, а не насккивалъ на верхній; если бумагу наклеивать и склеивать незадолго передъ съемкой діаграммы, то клей не успѣетъ засохнуть, и, стянувъ бумажное кольцо съ барабана, можно его разъединить; въ противномъ случаѣ приходится бумагу разрѣзать ножемъ по склейкѣ. Для указанныхъ діаграммъ лучше пользоваться индикаторами большой модели съ большимъ барабаномъ, такъ какъ инерція его при равномерномъ вращеніи не вредитъ.

Еще лучше пользоваться для этого специальными индикаторами, изъ которыхъ болѣе извѣстны индикаторы Вагенера и Мато.

Индикаторъ Вагенера, черт. 235 и 236, отличается отъ обыкновеннаго индикатора Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ съ внутренней пружиной, во-первыхъ, болѣшимъ діаграммнымъ барабаномъ l , во-вторыхъ, болѣшимъ діаметромъ поршня $d=40$ мм., что позволяетъ пользоваться болѣе жесткими пружинами и ослабляетъ вліяніе тренія и инерціи движущихся частей индикатора, и, наконецъ, электромагнитнымъ приспособленіемъ m для записи извѣстныхъ моментовъ. Барабанъ l для уменьшенія тренія вращается на остріѣ; при помощи пружинокъ a, a

онъ можетъ быть приподнятъ и при этомъ продолжаетъ вращаться; если же схватить пальцами пуговку *b* съ насѣчкой, то концы пружинокъ *a, a* соскакиваютъ съ зарубокъ, и барабанъ опускается на 2—3 мм. ниже; благодаря этому пишущее приспособленіе *m* можетъ производить двѣ записи, одну надъ другой: одну при каждомъ оборотѣ какой-нибудь детали, дѣлающей меньшее число оборотовъ, чѣмъ турбина, но



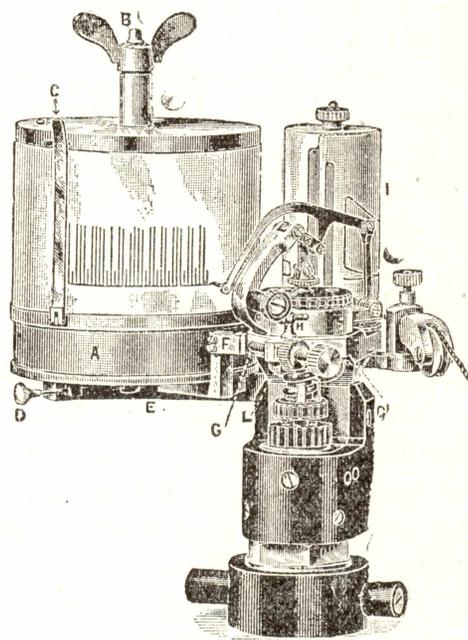
Черт. 235 и 236.

связанной съ ея валомъ червячной передачей, другую при помощи секундного или полусекундного маятника. Записи эти получаютъ въ видѣ прямыхъ линій, параллельныхъ оси абсциссъ, съ зубчиками въ моментъ замыканія тока, который черезъ электромагнитъ прибора притягиваетъ рычажекъ, на другомъ концѣ котораго сидитъ карандашъ *n*. Барабанъ *l* имѣетъ въ діаметрѣ 80 мм. и приводится во вращеніе при помощи маленькаго электродвигателя и шнуровой передачи.

Пожалуй, самымъ удобнымъ является приборъ Мато, черт. 237. Онъ состоитъ изъ барабана *A*, получающаго вращеніе отъ часового механизма, находящагося внутри барабана, и можетъ присоединяться къ любому нормальному индикатору; на черт. 237 онъ показанъ въ связи съ индикаторомъ Добби, Макъ-Иннесъ. Діаметръ барабана *A* дѣлается отъ 150 до 180 мм.; скорость вращенія его—1 оборотъ въ 60—120 ск.; ключъ *B* служитъ для завода часовой пружины, *D* кнопка для спуска и остановки вращенія барабана, *C* пластинка, прижимающая концы бумаги. Подставка *E*, на которой укрѣплена ось вращенія барабана, можетъ поворачиваться около оси, совпадающей съ осью вращенія

обычнаго барабана *I* индикатора, и тогда индикаторомъ можно пользоваться какъ обыкновеннымъ.

Для особенно быстро чередующихся колебаній давленія, свыше 500—600 въ 1 мин., удобнѣе пользоваться другимъ типомъ прибора Мато, состоящимъ изъ двухъ барабановъ, съ записью давленій на бумажной лентѣ, длиной въ нѣсколько метровъ, свернутой въ роликъ; лента быстро перематывается при помощи часового механизма съ неподвижной оси на второй барабанъ, при чемъ первый служитъ фрикціоннымъ роликомъ, приводящимъ во вращеніе второй барабанъ и въ то же время подкладкой для карандаша, прижимающаго къ нему бумагу. Механизмъ для вращенія перваго барабана имѣетъ двѣ скорости: нажатіе на одну собачку пускаетъ ленту со скоростью ок. 50 мм./ск.; послѣдующее нажатіе на другую увеличиваетъ скорость до 200 мм./ск.; для остановки движенія барабана надо вернуть въ прежнее положеніе обѣ собачки.



Черт. 237.

Присоединяется этотъ приборъ тоже къ любому нормальному индикатору при помощи соотв. кронштейна, притягиваемаго при помощи того же барашка, которымъ въ обычныхъ индикаторахъ прикрѣпляется кронштейнъ съ направляющими роликами для шнура, т. е., напр., барашкомъ *h*, черт. 232.

28. Измѣреніе давленій у турбинъ.—Давленія пара надо измѣрять въ тѣхъ же мѣстахъ, которыя были указаны выше для температуры, т. е.:

1, въ концѣ паропровода передъ самымъ впускомъ въ турбину,
2, тотчасъ за дроссель-клапаномъ передъ первымъ направляющимъ приборомъ,

3, при выходѣ пара изъ турбины,

4, для выясненія работы холодильника полезно измѣрять давленіе пара въ нѣсколькихъ мѣстахъ холодильника,

5, для выясненія рабочаго процесса пара измѣряютъ давленія въ отдѣльныхъ ступеняхъ турбины.

Для измѣреній 1 и 2 можно пользоваться манометрами Шеффера, черт. 185 или 186, для давленій свыше 8 атм. лучше Бурдона, черт. 187, или болѣе надежнымъ по черт. 189.

Для измѣренія 3-го, давленія пара при выпускѣ, можно пользоваться въ случаѣ работы съ холодильникомъ металлическимъ вакууме-

тромъ или баровакууметромъ по черт. 212 или 213, но при болѣе точныхъ испытаніяхъ обязательно ртутнымъ вакууметромъ по черт. 214, или 217, или 218; если давленіе выпуска колеблется и можетъ дойти и превзойти атмосферное, то цѣлесообразно имѣть, такъ назыв., мановакууметръ металлическій или лучше тоже ртутный, напр., по черт. 215 и 216.

Тѣми же приборами по черт. 214, 217 или 218 пользуются для измѣреній 4-хъ.

Самыя трудныя измѣренія 5-ья—давленій пара въ отдѣльныхъ ступеняхъ, турбины. Трудныя въ смыслѣ полученія точныхъ результатовъ, а неточные результаты, даже если можно опредѣлить среднюю ошибку наблюденій, но если она сравнительно велика, не представляютъ интереса.

При этихъ измѣреніяхъ надо пользоваться самыми точными приборами—металлическими манометрами для давленій отъ $1,5 \div 2,0$ атм. изб. вверхъ и ртутными по черт. 206 или соотв. по черт. 214—218 для давленій отъ $1,5 \div 2,0$ атм. внизъ.

Между прочимъ одно изъ наиболѣе частыхъ измѣреній—это одновременное возможно точное опредѣленіе давленія передъ и за первымъ направляющимъ приборомъ. Измѣреніе этихъ давленій позволяетъ вычислить расходъ пара въ турбинѣ, какъ о томъ будетъ сказано подробнѣе ниже въ § 36.

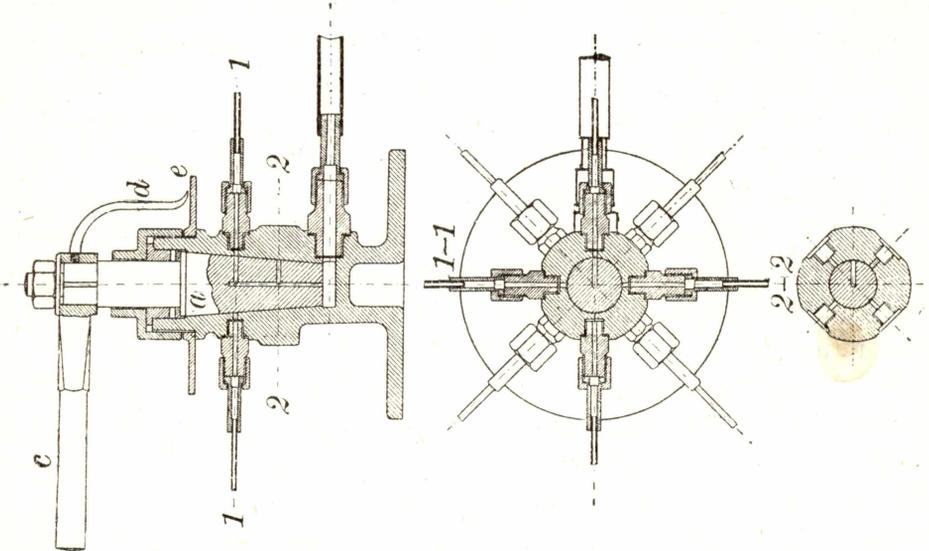
Чтобы прослѣдить точно за измѣненіемъ давленія въ послѣдовательныхъ ступеняхъ многоступенчатыхъ турбинъ очень полезно, кромѣ измѣреній абсолютныхъ величинъ давленія, измѣрять еще прямо паденіе давленія въ соотв. направляющемъ приборѣ или ступени. Для этихъ измѣреній надо брать дифференціальные манометры: въ активныхъ ступеняхъ надо брать приборъ по черт. 206, въ реактивныхъ же ступеняхъ, гдѣ паденіе давленія значительно менѣе, лучше брать болѣе чувствительный приборъ по черт. 207 и 208.

При точныхъ испытаніяхъ многоступенчатыхъ турбинъ приходится измѣрять давленіе въ $10 \div 20$, иногда даже до 40 мѣствъ. Если принять во вниманіе желательность измѣрять всѣ $10 \div 20 \div 40$ давленій одновременно, или при исполнѣ установленномъ состояніи хотя бы за возможно короткій промежутокъ времени, не болѣе 1—2 мин., а также принять во вниманіе невозможность имѣть столь значительное число манометровъ, то станетъ ясна необходимость имѣть особый переключательный кранъ, позволяющій однимъ и тѣмъ же манометромъ послѣдовательно измѣрять давленія въ $4 \div 8$ мѣстахъ.

На черт. 238—240 изображенъ примѣрно въ $\frac{1}{4}$ натур. вел. очень удобный кранъ⁵⁷⁾: коническая хорошо притертая пробка *a* снабжена осевымъ и двумя радіальными просверленными каналами; въ корпусѣ крана просверлено въ двухъ плоскостяхъ 8 отверстій, по 4 въ каждой

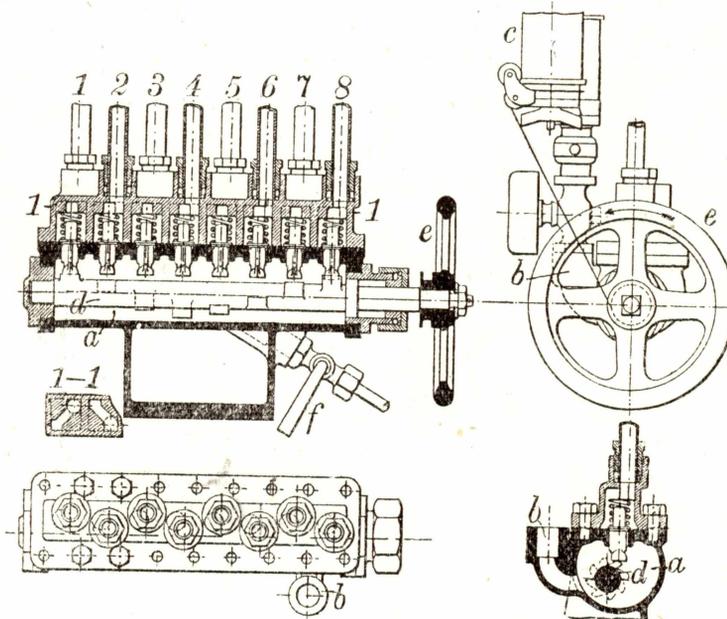
⁵⁷⁾ Z. V. d. I. 1904, S. 1035.

плоскости, такъ, что отверстія сдвинуты по окружности одно отъ другого на 45°; отверстія эти соединяются при помощи муфтъ и трубочекъ съ мѣстами измѣренія давленій, при чемъ стрѣлка *d*, составляющая про-



Черт. 238—240.

долженіе рукоятки *c*, при помощи которой кранъ ставятъ на желаемое сообщеніе, указываетъ на дискѣ *e*, какое изъ мѣстъ измѣреній, № 1...8, сообщено съ манометромъ.



Черт. 241—245.

Другое, еще болѣе удобное приспособленіе, поставленное на турбинахъ Парсона парохода „Карманія“, изображено на черт. 241—245⁵⁸⁾: нижнее паровое пространство *a* сообщается патрубкомъ *b* съ обыкно-

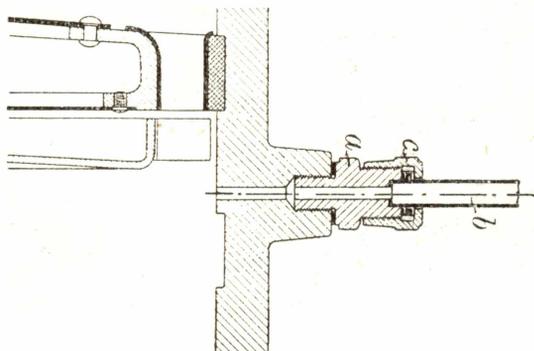
⁵⁸⁾ Z. Turb. 1906, S. 189.

веннымъ индикаторомъ *c*; надъ камерой *a* находится 8 меньшихъ паровыхъ пространствъ, сообщенныхъ при помощи трубокъ 1, 2... 8 съ 8 мѣстами турбины, въ которыхъ хотя и измѣряютъ давленіе; каждая изъ этихъ камеръ отдѣляется отъ камеры *a* клапаномъ, нагруженнымъ довольно жесткой винтовой пружиной. Въ камерѣ *a* находится валикъ *d* съ 8 кулачками, которыми онъ при поворачиваніи за маховичекъ *e* открываетъ послѣдовательно всѣ 8 клапановъ и устанавливаетъ сообщеніе пара между соотв. ступенью турбины и индикаторомъ. Одновременно съ открытіемъ клапановъ маховичекъ *e* поворачиваетъ діаграммный барабанъ индикатора. Діаграмма получается въ видѣ понижающагося ряда горизонтальныхъ линий. Кранъ *f* служитъ для спуска собирающагося въ *a* конденсата. Въмѣсто индикатора можно измѣрять соотв. давленія и при помощи манометра.

Присоединеніе манометровъ къ паровымъ камерамъ требуетъ большаго вниманія. Чтобы струя пара, движущагося съ большой скоростью, не производила высасыванія изъ отверстія для манометрической трубки, что можетъ дать пониженіе давленія до $0,30 \div 0,50$ кгр./см.², необходимо устье отверстія, ведущаго изъ пароваго пространства къ манометрической трубкѣ, не только слегка раззенковать, но и закруглить края. При соблюденіи этихъ условій ни діаметръ отверстія, ни даже отклоненіе оси отверстія отъ нормали къ направленію движенія пара въ предѣлахъ $\pm 6^\circ$ не вліяютъ на показанія манометра.

При этомъ нужно однако имѣть въ виду, что хорошее закругленіе краевъ тѣмъ важнѣе, чѣмъ меньше діаметръ отверстія въ стѣнкѣ кожуха турбины. Наименьшій допустимый діаметръ отверстія 1,0 даже 0,8 мм., но, если это возможно, лучше дѣлать его больше, до $5 \div 7$ мм..

Образецъ сообщенія съ манометромъ камеры турбины данъ на черт. 246⁵⁹⁾: *a* особый штуцерокъ, къ которому трубка *b* отъ манометра или вакууметра присоединяется при помощи накидной гайки *c*.



Черт. 246.

Въ случаѣ активныхъ турбинъ съ большимъ разстояніемъ между рабочими колесами и направляющими приборами, какъ, напр., у турбинъ Рато, черт. 246, для сверленія отверстія въ кожухѣ мѣста достаточно. Нѣсколько труднѣе устроить отверстія у турбинъ съ близко рас-

⁵⁹⁾ Z. V. d. I. 1904, S. 1533.

положенными рабочими и направляющими колесами, особенно если лопатки рабочих колесъ закрыты бандажами, и еще труднѣе у реактивныхъ турбинъ. Во всякомъ случаѣ отверстія для манометровъ должны быть просверлены только противъ зазоровъ между лопатками, и диаметръ отверстій не долженъ быть болѣе величины зазора.

Запись давленія. Примѣненіе самозаписывающихъ приборовъ ограничено полученіемъ діаграммъ давленія свѣжаго пара передъ турбиной для удостовѣренія исполненія требованія постоянства давленія при обычныхъ испытаніяхъ.

Особенно необходимы самозаписывающіе манометры при испытаніи турбинъ, работающих мятымъ паромъ, поступающимъ періодически отъ поршневыхъ машинъ.

Только имѣя діаграмму давленія пара, можно выяснитъ наибольшее, наименьшее и среднее давленіе пара передъ турбиной.

На черт. 247 показанъ образецъ такой діаграммы ⁶⁰⁾, показывающей какимъ значительнымъ и быстрымъ колебаніямъ подвержено давленіе пара въ такихъ установкахъ.



Черт. 247.

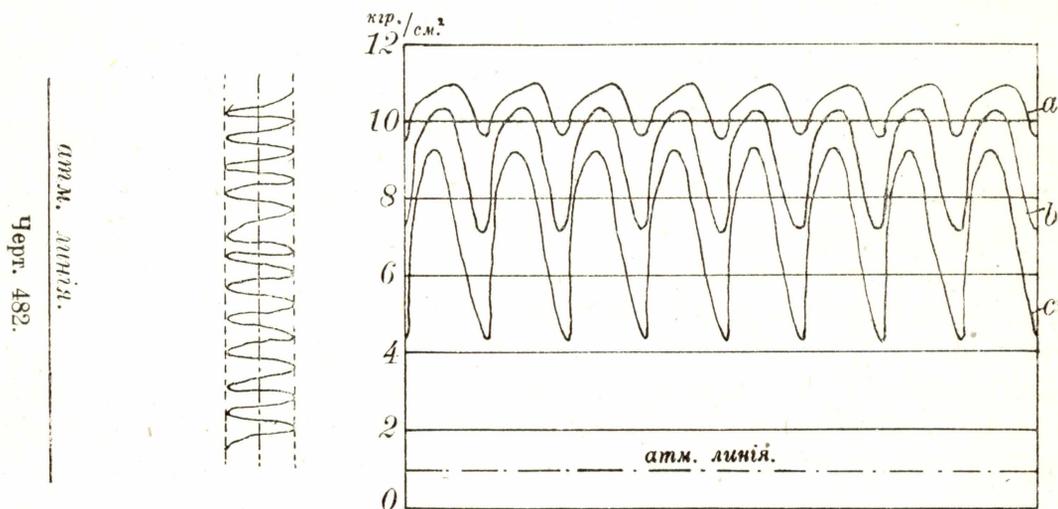
Наконецъ, запись давленія бываетъ полезна при изслѣдованіи процесса регулированія турбинъ, регулируемыхъ мятіемъ. Въ виду быстроты измѣненія давленія самозаписывающіе манометры съ часовымъ механизмомъ здѣсь непригодны, и надо пользоваться индикаторомъ, какимъ снимаютъ индикаторныя діаграммы съ поршневыхъ машинъ. При этомъ можно или пользоваться обыкновеннымъ индикаторомъ, поворачивая отъ руки индикаторный барабанъ, или снимать діаграммы при помощи особаго индикатора, напр., системы Вагенера съ вращающимся барабаномъ, черт. 235, или системы Мато съ часовымъ механизмомъ, черт. 237.

На черт. 248 данъ образецъ діаграммы, снятой обыкновеннымъ индикаторомъ Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроонъ съ паровой турбины Парсонса⁶¹⁾. Индикаторъ стоялъ непосредственно за регулирующимъ дроссель-клапаномъ, и барабанъ его вращался отъ руки. Масштабъ давленій 1 кгр./см.² = 3 мм.. Діаграмма показываетъ характерныя для данной турбины колебанія давленія отъ 10,4 до 7,8 кгр./см.² абс..

⁶⁰⁾ Z. V. d. I. 1912, S. 518.

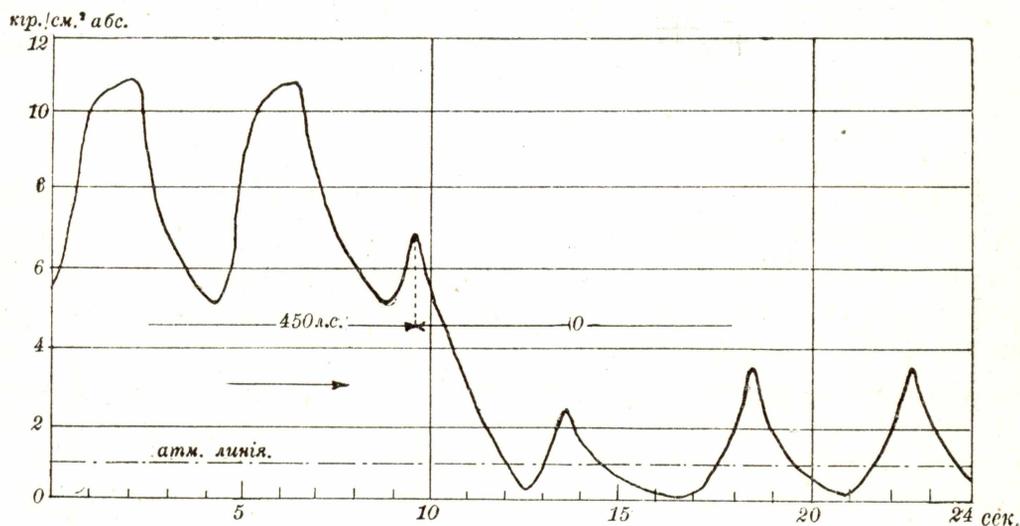
⁶¹⁾ Z. V. d. I. 1900, S. 830.

На черт. 249 показана такая же діаграмма съ турбины Парсонса въ 2500 л.с., снятая при помощи индикатора съ равномернымъ вращеніемъ барабана при различныхъ нагрузкахъ ⁶²⁾: кривая *a* при $N_e=2610$ л.с., *b*—при $N_e=2210$ л.с. и *c*—при $N_e=1290$ л.с..



Черт. 249.

Наконецъ, на черт. 250 дана діаграмма, снятая съ 600-сильной турбины Парсонса при быстромъ измѣненіи нагрузки отъ 450 л.с. до 0 ⁶³⁾.



Черт. 250.

Діаграмма показываетъ, что колебанія давленія за дроссель-клапаномъ, бывшія при $\frac{3}{4}$ нагрузки отъ 11 до 5 кг./см.², при холостомъ ходѣ составляютъ отъ 3 до 0,05 кг./см.² абс.. Весь процессъ регулированія совершается въ какихъ-нибудь 4—5 сек..

⁶²⁾ Turb. 2, 1905/6, S. 72.

⁶³⁾ Turb. 2, 1905/6, S. 74; Lehmann-Richter, Prüfungen in elektr. Zentralen, Braunschweig. 1906, II, S. 177.

29. Барометры.—Выше, говоря объ измѣреніи абсолютнаго давленія и разрѣженія, мы уже выяснили безусловную необходимость опредѣленія атмосфернаго, или барометрическаго давленія.

Подробное описаніе конструкціи барометровъ, обращенія съ ними и введенія соотв. поправокъ относится скорѣе къ курсу физики и метеорологии, чѣмъ къ руководству по испытанію машинъ. Поэтому мы ограничимся лишь указаніемъ тѣхъ требованій, которымъ должны удовлетворять барометры, которыми пользуются при испытаніи паровыхъ турбинъ, главнымъ образомъ въ смыслѣ точности, и указаніемъ типовъ, наиболѣе подходящихъ для нашихъ требованій.

Въ смыслѣ точности измѣренія достаточно дѣлать отчетъ съ точностью ± 1 мм. рт. ст., такъ какъ это соотвѣтствуетъ примѣрно ошибкѣ всего въ $\pm 0,14\%$, т. е. менѣе ошибки, съ которой измѣряются давленія пара металлическими приборами, а въ худшемъ случаѣ равно ошибкѣ ртутныхъ барометровъ и вакууметровъ.

Впрочемъ, такая точность достаточна не только сравнительно, но и абсолютно, такъ какъ соотвѣтствуетъ измѣненію температуры кипѣнія воды всего на $\pm 0,04^\circ\text{Ц.}$, т. е. болѣе, чѣмъ достаточно для установленія тепловыхъ процессовъ.

Второе требованіе, предъявляемое къ даннымъ барометрамъ,—возможная простота обращенія съ ними.

Третье требованіе—надежность и неизмѣняемость, т. е. нечувствительность къ неособенно бережному обращенію и между прочимъ къ переноскѣ прибора.

Наконецъ, послѣднее требованіе, само собой понятное,—небольшая стоимость прибора.

Имѣя въ виду эти требованія, можно сказать, что наиболѣе подходящимъ является самый простой ртутный барометръ съ отчетомъ высоты на глазъ или прямо по расположенной рядомъ шкалѣ или при помощи стрѣлки, передвигающейся вдоль оси прибора, при чемъ одинъ конецъ ея скользитъ по шкалѣ, а другой лежитъ на стеклянной трубкѣ барометра. При достаточномъ диаметрѣ трубки, не менѣе 5, а лучше 8 мм., стрѣлку можно ставить противъ верха мениска ртути.

Очень точенъ и удобенъ, можно почти сказать черезчуръ хорошъ, барометръ Краевича съ установкой перемѣщающейся шкалы на свѣтъ при помощи кремальберъ и отчетомъ по нониусу съ точностью $\pm 0,1$ мм.

Разумѣется, требуемая точность всего въ ± 1 мм. позволяетъ обходиться безъ всякихъ поправокъ на расширеніе ртути или шкалы и т. п., по крайней мѣрѣ, если температура помѣщенія колеблется въ предѣлахъ отъ $+10^\circ$ до $+25^\circ\text{Ц.}$, и барометръ градуированъ на комнатную температуру. Впрочемъ, при пользованіи барометромъ Краевича градуируемымъ на 0°Ц. ртути, поправку на температуру ртути надо вводить; она можетъ дойти въ этомъ случаѣ до $2\div 3$ мм. рт. ст.. Принимая во вниманіе коэффициентъ расширенія металлической шкалы, по-

правку ΔB можно вычислять, если температура t° Ц., по выраженію

$$\Delta B = 0,00016 t.B, \quad (44)$$

гдѣ B высота барометра въ мм. до введенія поправки.

Можно пользоваться и металлическимъ барометромъ-анероидомъ, но тогда слѣдуетъ отъ времени до времени провѣрять его, сличая съ ртутнымъ.

Наконецъ, очень надежный способъ опредѣленія барометрическаго давленія—по температурѣ кипѣнія воды.

Для этого можно брать или особый приборъ, называемый гипсометромъ, или просто пользоваться приборомъ по черт. 146 и точнымъ ртутнымъ термометромъ съ дѣленіями въ $\frac{1}{10}^\circ$. Точно давленіе атмосферы опредѣляютъ по показанію t такого термометра, погруженнаго въ пары воды, и соотв. таблицѣ температуръ кипѣнія воды; приближенно высоту барометра B можно опредѣлить, помня, что 100° соотвѣтствуютъ 760 мм. рт. ст., а каждый 1 мм. измѣненія давленія барометра соотвѣтствуетъ $0,037^\circ$, т. е. при показаніи термометра t°

$$B = 760 - \frac{100-t}{0,037} = 760 - 27(100-t). \quad (45)$$

ГЛАВА V.

Опредѣленіе влажности пара.

30. Общія указанія. Хотя паровыя турбины обычно работают перегрѣтымъ паромъ, все же встрѣчаются случаи, когда паръ бываетъ не перегрѣтымъ, т. е. влажный. Установить степень влажности необходимо, съ одной стороны, для выясненія начальныхъ условій работы турбины, съ другой, для выясненія теплого процесса, такъ какъ, только зная величину влажности, точнѣе сказать, величину паросодержанія x , можно вычислить теплосодержаніе пара i . Наконецъ, для точнаго выясненія теплого процесса полезно опредѣлить влажность пара и при выходѣ изъ турбины. Величина x выражаетъ, какая доля 1 кгр. превращена въ паръ, такъ что количество воды въ 1 кгр. влажнаго пара равно $(1-x)$ кгр..

Въ виду того, что опредѣленіе влажности пара даетъ въ то-же время данныя для опредѣленія его теплосодержанія i , а также въ виду того, что опредѣленіе влажности производится въ первую очередь въ калориметрахъ, принято вообще всѣ приборы для опредѣленія влажности пара называть калориметрами, хотя нѣкоторые изъ нихъ, какъ, напр., калориметръ-водоотдѣлитель, по существу не имѣютъ ничего общаго съ калориметрами.

Способы опредѣленія влажности пара можно разбить на три: тепловые, или калориметрическіе, механическіе и химическіе.

До сравнительно недавняго времени, когда перегрѣвъ пара еще не получилъ такого широкаго распространенія, и опредѣленіе влажности пара передъ машиной составляло необходимую часть каждаго испытанія, различныхъ калориметровъ влажности было предложено и употреблялось очень значительное число. Однако изъ нихъ получили распространеніе и удержались въ практикѣ и наукѣ лишь 3—4 типа, о которыхъ мы и скажемъ подробнѣе. Впрочемъ, для полноты картины мы укажемъ и другіе основные типы приборовъ и способы, но лишь вкратцѣ, не распространяясь о ихъ конструктивномъ выполненіи.

Такъ, собственно калориметры можно разбить на три группы; въ основу приборовъ первой группы положено отнятіе тепла, совершаемое или въ смѣшивающихъ или въ поверхностныхъ холодильникахъ; въ основу приборовъ второй группы положено перегрѣваніе пара съ сообщеніемъ тепла извнѣ и, наконецъ, къ третьей группѣ относятся приборы съ перегрѣвомъ, но безъ сообщенія тепла, а вслѣдствіе мятія его при расширеніи безъ совершенія внѣшней работы.

Калориметры-холодильники. Если вѣсъ конденсированнаго пара за нѣкоторый промежутокъ времени, напр. 1 часъ, g кгр., вѣсъ охлаждающей воды за то же время w кгр., t_1 ея начальная, а t_2 конечная температуры, t температура изслѣдуемаго пара, а t_0 температура конденсата и, наконецъ, r полная скрытая теплота парообразованія, при чемъ r и t опредѣляются по таблицамъ паровъ по давленію пара p кгр./см.² абс., то, очевидно, равенство отнятого у пара тепла и сообщеннаго водѣ

$$gxr + g(t - t_0) = w(t_2 - t_1),$$

откуда величина паросодержанія

$$x = \frac{w(t_2 - t_1) - g(t - t_0)}{gr}. \quad (46)$$

По ур-ію (46) можно опредѣлять влажность отработавшаго пара при охлажденіи его въ поверхностномъ холодильнике.

При пользованіи вбрызгивающимъ холодильникомъ въ ур-іи (46) надо лишь замѣтить, что $t_0 = t_2$.

При опредѣленіи влажности отработавшаго пара при выпускѣ его въ атмосферу, а также влажности свѣжаго пара можно съ удобствомъ пользоваться, такъ назыв. бочечнымъ, калориметромъ. Онъ дѣлается изъ бочки или бака емкостью въ 200—250 лтр., снабженнаго съемной крышкой и краномъ у низа; бока надо предохранить отъ потери тепла, напр., обернувъ войлокомъ. Установивъ бакъ на платформу вѣсовъ, наполняютъ его на $\frac{3}{4}$ водой, вѣсъ w которой отмѣчается, а также измѣряется ея температура t_1 . Затѣмъ впускаютъ въ бакъ паръ, пока вода не нагрѣется до 40—45°Ц.; измѣряютъ эту температуру $t_2 = t_0$, опредѣляютъ прибыль вѣса воды, т. е., вѣсъ g конденсированнаго пара и затѣмъ вычисляютъ паросодержаніе x по ур-ію (46).

При тщательномъ веденіи опытовъ и пользованіи точными приборами—термометромъ, манометромъ и вѣсами—можно, сдѣлавъ 4—5

опредѣленія, считать, что средняя найденная величина x соотвѣтствуетъ дѣйствительной съ точностью до $\pm 1,5 \div 2,0\%$.

Другіе приборы. Изъ калориметровъ съ сообщеніемъ тепла извнѣ можно упомянуть приборы съ нагреваніемъ пара при помощи электрическаго тока, пока паръ не начнетъ перегрѣваться. Зная количество полученнаго сухого пара g , измѣряя расходъ электрической энергіи и помня, что 1 кв. ч. = 859 т. ед., нетрудно по общимъ приѣмамъ калориметріи пара опредѣлить бывшую до нагреванія влажность пара x . Приборы хороши, но сложны.

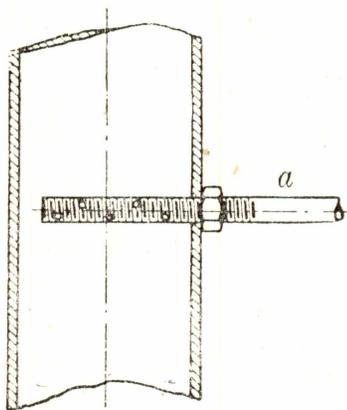
Наконецъ, калориметры съ перегрѣвомъ пара путемъ мятія его при своей простотѣ очень точны и являются въ настоящее время наиболѣе распространенными; на нихъ мы остановимся ниже подробнѣе.

Приборы чисто механическаго характера тоже заслуживаютъ болѣе подробнаго изложенія и описаны ниже.

Что касается химическаго способа, основаннаго на введеніи въ котель известнаго количества какой-нибудь растворимой соли, то онъ даетъ лишь количество воды, механически увлеченной изъ котла, и для опредѣленія влажности пара передъ машиной совершенно непригоденъ.

Взятіе пробы пара. Лишь въ рѣдкихъ случаяхъ, напр., опредѣляя влажность отработавшаго пара при работѣ турбины съ холодильникомъ, удается опредѣлять влажность всего количества пара, въ большинствѣ же случаевъ приходится имѣть дѣло лишь съ пробами пара, долженствующими представить его среднее состояніе. Чтобы найденная влажность была дѣйствительно влажностью даннаго пара, надо независимо отъ точности выбраннаго прибора и веденія наблюдений принимать особыя предосторожности для полученія дѣйствительно средней пробы пара.

На черт. 251 представленъ одинъ изъ наиболѣе распространенныхъ способовъ: конецъ $\frac{1}{2}$ -дюймовой трубки a ввертываютъ въ паропроводъ почти до противоположной стѣнки; заборъ производится черезъ рядъ отверстій $6 \div 7$ мм. въ діаметрѣ, расположенныхъ вдоль всей трубки; меньшія отверстія задерживаютъ часть воды; торецъ трубки иногда тоже оставляютъ открытымъ, но лучше его закрывать пробкой или запаять, такъ какъ $10 \div 12$ отверстій даютъ достаточное проходное сѣченіе. Иногда вмѣсто отверстій въ заборной трубкѣ дѣлаютъ рядъ прорѣзей шириной въ $5 \div 6$ мм. до $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$ діаметра ея; см. напр. черт. 255.



Черт. 251.

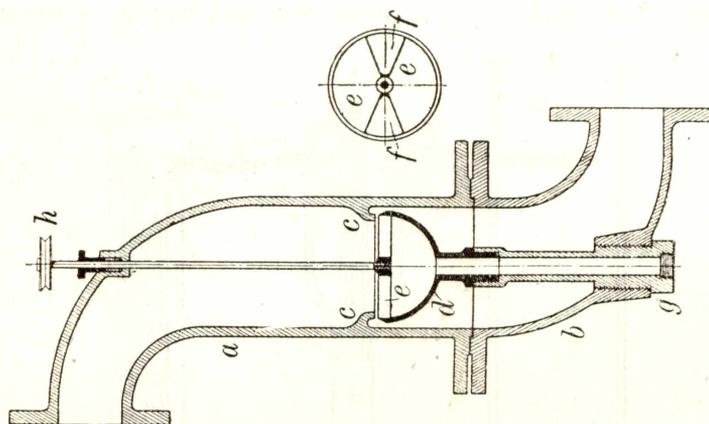
Такъ какъ теперь установлено, что въ горизонтальныхъ трубахъ вода отдѣляется и течетъ по низу трубы, то пробу пара нужно заирать обязательно изъ вертикальной трубы и притомъ изъ такой, по которой паръ поднимается.

Разумѣется, заборную трубку надо до самаго калориметра тщательно изолировать отъ потери тепла, а длину ея дѣлать возможно малой.

Несмотря на распредѣленіе отверстій по всему діаметру большой трубы, нельзя быть вполне увѣреннымъ, что заборъ по черт. 251 даетъ дѣйствительно среднюю пробу.

Попытка сконструировать лучшее приспособленіе для забора пара оказались неособенно удачными. Объясняется это тѣмъ, что вода въ парѣ лишь въ незначительномъ количествѣ увлекается въ видѣ взвѣшенныхъ капель, а большая часть ея течетъ по дну трубы.

Наилучшее, хотя нѣсколько сложное приспособленіе для забора пара сконструировано Зендтнеромъ⁶⁴⁾, черт. 252 и 253: *a* и *b* два свернутые чугуны или стальные угольника, съ постепенно расширяющи-



Черт. 252 и 253.

мися вдвое діаметрами; въ уширенной части подъ воротникомъ *c* находится бронзовая чашка *d* съ заостренными краями; чашка *d* отлита съ крышкой *e*, въ которой сдѣланы два секторообразныхъ вырѣза *f,f*, черт. 253; нижняя цилиндрическая втулка *c* притерта къ штуцеру *g*, черезъ который забирается проба; для болѣе равномернаго забора чашка *c* медленно вращается за шкивочекъ *h*.

Приборъ включается въ главный паропроводъ такъ, чтобы паръ двигался по нему сверху внизъ, но вслѣдствіе уширенія сѣченія скорость пара понижается въ 4 раза, благодаря чему въ чашку *d* не попадаетъ воды болѣе, чѣмъ это соотвѣтствуетъ средней влажности пара.

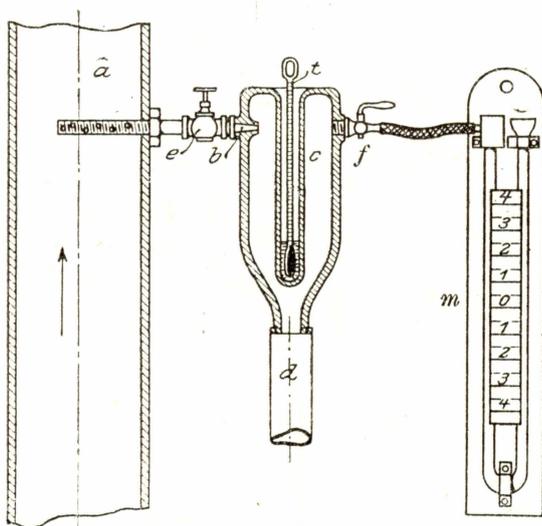
Для возможно правильнаго дѣйствія прибора необходимо, чтобы скорости пара въ главномъ паропроводѣ и штуцерѣ *g* были совершенно одинаковы, т. е. отношеніе соотв. сѣченій равнялось отношенію соотв. количествъ протекающаго пара, что удобнѣе всего установить при помощи паромѣровъ, большого на главномъ паропроводѣ и малаго за калориметромъ для опредѣленія влажности пара. Скорость остающагося пара при прохожденіи между *d* и *c* и между *d* и стѣнками трубы можно дѣлать раза въ $1\frac{1}{2}$ больше скорости въ главномъ паропроводѣ.

⁶⁴⁾ Forsch. Н. 98. и. 99., S. 52 и. 53.

Однако и приспособление по черт. 252 и 253, по опытамъ самого Зендтнера, не вполне обезпечиваетъ правильность получаемой средней пробы: при значительныхъ скоростяхъ пара оно имѣетъ склонность давать слишкомъ влажный паръ, тогда какъ простѣйшее приспособленіе по черт. 251 и подобныя ему даютъ, наоборотъ, скорѣе слишкомъ сухой паръ.

Такимъ образомъ неувѣренность въ точности средней пробы является слабымъ мѣстомъ всѣхъ приборовъ для опредѣленія влажности пара.

31. Дроссель-калориметры.—Очень простой, но вмѣстѣ съ тѣмъ точный приборъ, пользующійся большимъ распространеніемъ, изготовляется заводомъ Шефферъ и Буденберга по патенту Карпентера, черт. 254: изслѣдуемый паръ впускается изъ трубы *a* черезъ вентиль



Черт. 254.

e и патрубкомъ *b* съ суживающимся узкимъ отверстіемъ-сопломъ съ діаметромъ $2 \div 2,5$ мм., мнущимъ паръ, въ отлитый изъ бронзы никелированный сосудъ *c*; верхнее дно у него образуетъ глубокую чашку, въ которую наливается масло и вставляется точный термометръ *t*; нижній патрубокъ *d* съ не показаннымъ на немъ дальше вентилемъ служитъ для удаленія мятаго пара, а къ крану *f* присоединяется точный, лучше всего ртутный манометръ *m*, такъ какъ давленіе въ *c* очень мало отличается отъ атмосфернаго. Весь приборъ долженъ быть тщательно изолированъ отъ потери тепла. На главномъ паропроводѣ близъ мѣста забора пробы пара долженъ стоять точный манометръ и для контроля точный термометръ.

Опытъ ведется слѣдующимъ образомъ: сперва прогреваютъ приборъ, открывъ полностью вентили *e* и на патрубкѣ *d* и выпуская паръ на волю: минутъ черезъ 10 наступаетъ установившееся тепловое состояніе, тогда припираютъ вентиль на *d* такъ, чтобы давленіе въ *c* установилось немного выше атмосфернаго, и затѣмъ берутъ отчеты по термометрамъ

t и на главномъ паропроводѣ, измѣряютъ давленіе свѣжаго пара и мятаго и высоту барометра.

Величину паросодержанія вычисляютъ изъ условія равенства тепло-содержанія влажнаго пара давленія p до мятія и перегрѣтаго мятіемъ съ измѣренными давленіемъ p_0 и температурой t , именно

$$i' + rx = i'_0 + r_0 + c_p(t - \vartheta_0), \quad (47)$$

гдѣ теплоты жидкости i' и i'_0 , скрытыя теплоты парообразования r и r_0 , температуру насыщеннаго пара ϑ_0 и теплоемкость близъ пограничной кривой c_p при давленіи p_0 берутъ изъ таблицъ паровъ.

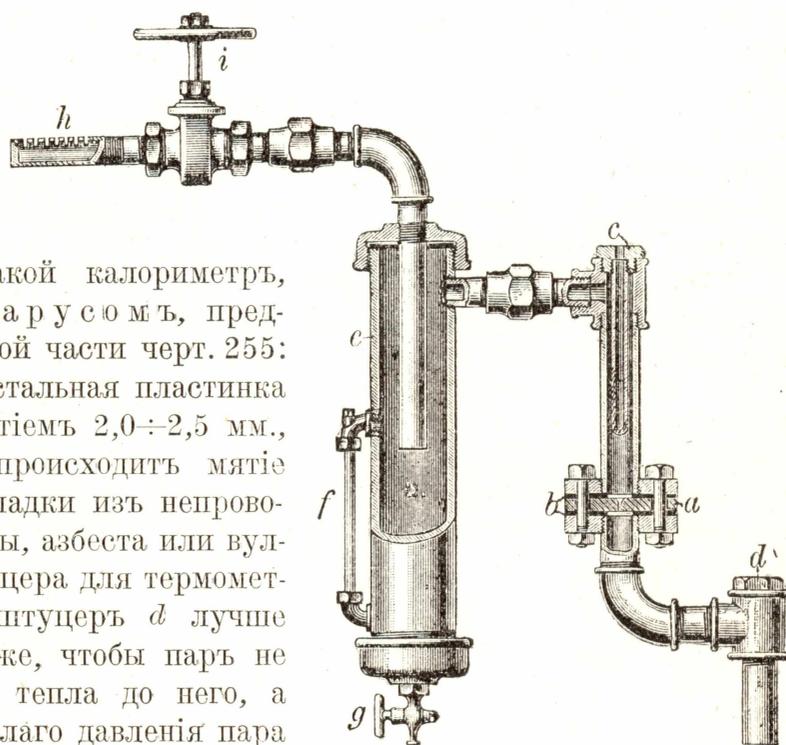
Изъ ур-ія (47) получаемъ паросодержаніе

$$x = \frac{i'_0 + r_0 + c_p(t - \vartheta_0) - i'}{r}. \quad (48)$$

Точность показаній этого прибора можно довести до $\pm 0,5\%$. Однако нужно имѣть въ виду, что имъ можно пользоваться лишь при сравнительно сухомъ парѣ, пока влажность не болѣе 2, самое большое 4%. При бѣльшей влажности теплоты, выдѣляющейя при мятіи пара, оказывается недостаточно для испаренія всей воды.

Такъ какъ форма дроссель-калориметра не имѣетъ значенія, то его можно составить, напр., изъ газовыхъ частей. Такой калориметръ, предложенный Барусомъ, представленъ на правой части черт. 255: a бронзовая или стальная пластинка съ узкимъ отверстіемъ $2,0 \div 2,5$ мм., черезъ которое происходитъ мятіе пара; b и b прокладки изъ непроводящей тепло массы, азбеста или вулканиита; a и d штуцера для термометровъ; впрочемъ, штуцеръ d лучше расположить ближе, чтобы паръ не успѣлъ потерять тепла до него, а также въ виду малаго давленія пара лучше вводитъ сюда термометръ безъ штуцера, а непосредственно черезъ резиновую пробку; присоединеніе къ манометру на черт. 255 не показано.

Чтобы испытывать паръ любой влажности, передъ калориметромъ включается водоотдѣлитель e , дѣйствующій благодаря уменьшенію скорости пара и измѣненію направленія его движенія на 180° ; f водо-



Черт. 255.

мѣрное стекло, по которому измѣряютъ количество выдѣляющейся воды, а g спускной краникъ для нея. Водоотдѣлитель этотъ, несмотря на свою простоту, дѣйствуетъ исправно, понижая влажность примѣрно до 0,5%.

Весь приборъ, кромѣ стекла, долженъ быть тщательно обмотанъ дурнымъ проводникомъ тепла; при соблюденіи этого условія можно пренебрегать поправкой на лучеиспусканіе, такъ какъ соотв. ошибка, какъ доказано тщательными опытами, менѣе 0,1%, т. е. менѣе вѣроятной неточности прибора.

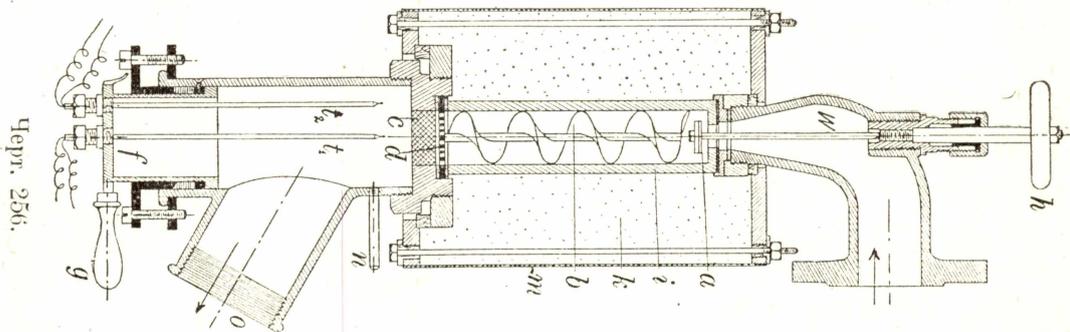
Разумѣется, при испытаніи съ водоотдѣлителемъ надо измѣрять не только количество выдѣляющейся воды g_1 кгр., но и количество пара g_2 , прошедшее черезъ дроссель-калориметръ. Для этого надо этотъ паръ конденсировать, напр., пропуская его черезъ змѣвикъ, охлаждаемый водой.

Вычисленіе влажности производится собственно по ур-ю (48), но съ учетомъ воды, выдѣленной водоотдѣлителемъ, т. е., дѣйствительное паросодержаніе найдется по выраженію

$$x = \frac{g_2}{g_1 + g_2} \cdot \frac{i'_0 + r_0 + c_p(t - \vartheta) - i'}{r} \quad (49)$$

Тщательные опыты показали, что помимо неизбежныхъ неточностей при измѣреніяхъ температуръ и давленій, дроссель-калориметры не могутъ давать вполне точныхъ результатовъ въ виду затруднительности получить равномерно перегрѣтый паръ: за отверстіемъ, черезъ которое мнется паръ, температура въ разныхъ точкахъ можетъ отличаться до 14°C., и кромѣ того, наряду съ перегрѣвомъ присутствуютъ еще частицы не испарившейся воды.

Указанные недостатки удалось устранить послѣ ряда попытокъ въ дроссель-калориметрѣ Зенднера, изображенномъ въ 1:8 натур. вел. на черт. 256⁶⁵⁾: паръ мнется, проходя черезъ вентиль a , затѣмъ



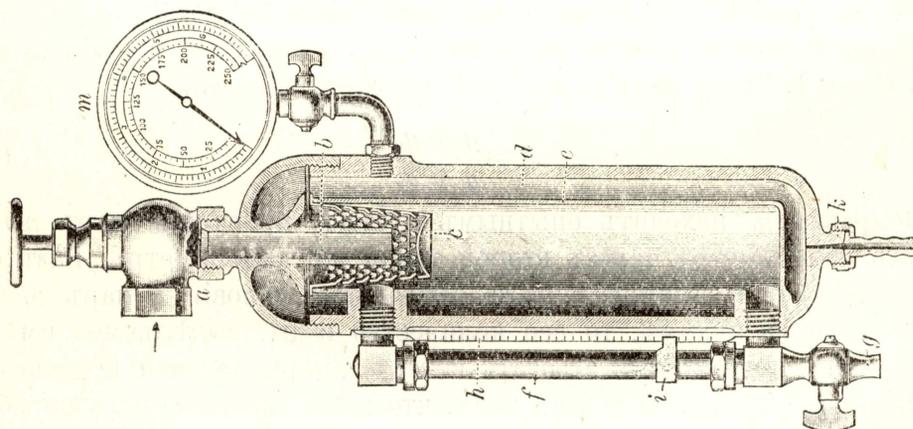
перемѣшивается мѣдной винтовой спиралью b , отверстіями въ латунномъ дискѣ d и цѣлымъ рядомъ, до 20 штукъ, ситочекъ c изъ латунной проволоки. Температура перегрѣтаго пара измѣряется при помощи центрального термоэлемента t_1 изъ желѣза-контстантана и расположеннаго сбоку такого-же термоэлемента t_2 ; крышка f , въ которой закрѣплены

⁶⁵⁾ Forsch. Н. 98. и. 99., S 57.

при помощи сальниковъ оба термоэлемента, поворачивается за ручку *g*. За температуру перегрѣтаго пара берется средняя изъ 7 отчетовъ: по элементу t_1 и 6 отчетовъ въ 6 точкахъ окружности по элементу t_2 . Открытіе вентиля *a* можно мѣнять въ зависимости отъ давленія и влажности пара при помощи поворачиванія за моховичекъ *h*. Фарфоровая трубка *i* обложена овечьей шерстью *k*; снаружи шерсть стягивается кожухомъ изъ латунной сѣтки *m*. Ртутный манометръ присоединяется къ патрубку *n*.

Въ остальномъ пользованіе прибора такое же, какъ и предыдущихъ. Точность его до $\pm 0,02\%$, относя къ влажности взятой пробы, такъ что при пользованіи имъ точность зависитъ собственно лишь отъ того, насколько проба соотвѣтствуетъ среднему составу пара. Приборъ примѣнимъ тоже для пара съ влажностью не выше $2\div 3\%$.

32. Калориметръ-водоотдѣлитель.—Для пара съ влажностью свыше 2% удобнѣе всего пользоваться калориметромъ-водоотдѣлителемъ Карпентера, черт. 257: паръ поступаетъ черезъ вентиль *a* и трубку *b*; вслѣдствіе рѣзкаго измѣненія направленія движенія при переходѣ



изъ продырявленнаго стаканчика *c* въ наружное кольцевое пространство *d* вода выдѣляется и падаетъ въ низъ цилиндрической полости *e*; количество выдѣлившейся воды опредѣляется по водомѣрному стеклу *f*, на которомъ находится передвижка *i*, перемѣщаемая вдоль шкалы *h*. Шкала эта въ дѣйствительности градуируется водой при температурѣ около 40°C ., а затѣмъ вводится еще поправка на расширение воды при температурѣ въ 170°C ., которая соотвѣтствуетъ среднему рабочему давленію пара, опредѣляемому по манометру *m*. Каждое дѣленіе шкалы *h* равно 0,002 или 0,005 кгр.. Вѣсъ сухого пара *g*, вытекающаго черезъ сопло *k* съ отверстіемъ въ 1,5 мм., опредѣляется прямо по второй наружной шкалѣ манометра *m*, градуированной на основаніи формулы Нэпира

$$g = \alpha \cdot f \cdot p, \quad (50)$$

гдѣ *g* кгр./сек., α —постоянная, равная для даннаго прибора 0,0143, *p* давленіе въ кгр./см.² въ пространствѣ *d*, *f* площадь сѣченія отверстія

k въ см.². Формула эта справедлива при условіи, что давленіе въ пространствѣ, куда паръ вытекаетъ, $p_0 \geq 0,6p$; въ виду этого приходится искусственно повышать при помощи вентилія противодавленіе p_0 , куда паръ выпускается.

Манометръ градуируется такъ, что стрѣлка показываетъ прямо расходъ пара g за 10 мин.. Измѣривъ по шкалѣ h количество воды g_1 , находимъ паросодержаніе

$$x = \frac{g}{g + g_1}. \quad (51)$$

Поправки. При болѣе точныхъ опытахъ надо вводить рядъ поправокъ. Такъ, въ ур-іе (50) входитъ давленіе абсолютное, а манометръ m измѣряетъ лишь избыточное давленіе и градуированъ при барометрическомъ давленіи въ 760 мм. рт. ст., поэтому надо вводить поправку въ зависимости отъ высоты барометра; впрочемъ, эта поправка невелика, напр. при $p=10$ кгр./см² на каждыя 10 мм. отклоненія барометръ отъ 760 мм. поправка въ отчетѣ g составляетъ около $\pm 0,15\%$.

Далѣе надо ввести поправку на лучеиспусканіе, подъ вліяніемъ котораго въ приборѣ конденсируется часть пара g_0 , такъ что дѣйствительно выдѣленное количество воды не g_1 , а $(g_1 - g_0)$, а вѣсъ сухого пара $(g + g_0)$. Тогда выраженіе (51) преобразуется въ

$$x = \frac{g + g_0}{g + g_1}. \quad (52)$$

Поправку g_0 находятъ опытнымъ путемъ, пропуская паръ послѣ перваго калориметра черезъ второй такой же калориметръ. Разъ оба калориметра будутъ приведены въ одинаковыя условія, и паръ во второй поступаетъ сухимъ, то все количество воды, выдѣляемое имъ, и будетъ какъ разъ соответствовать потерѣ тепла, дающей конденсатъ.

Наконецъ, нужно имѣть въ виду, что хотя приборъ снаружи оберывается войлокомъ и шерстью, все же въ пространствѣ d происходитъ нѣкоторое охлажденіе и конденсированіе пара, въ виду чего показаніе манометра m , учитывающаго истеченіе сухого пара, дастъ преуменьшенную величину для g .

Въ виду всего вышеизложеннаго при точныхъ опытахъ и вѣсъ g и вѣсъ g_1 надо опредѣлять путемъ взвѣшиванія. Для этого надо охладить и конденсатъ g_1 , пропуская его черезъ змѣевикъ, охлаждаемый водой, и паръ g , который удобно конденсировать, впуская въ сосудъ съ холодной водой, поставленный на вѣсы. При давленіи пара въ 11 атм. абс. и отверстіи k въ 1,5 мм. въ теченіе 30 мин. вытечетъ около 5,1 кгр. пара, для конденсированія котораго достаточно около 100 кгр. холодной воды, считая, что температура ея можетъ подняться на 34°Ц.

Поправку g_0 надо, конечно, вводить и при такомъ веденіи опыта и вычислять x по выраженію (52).

Согласно многихъ опытовъ при соблюденіи всѣхъ предосторожностей и возможно тщательномъ веденіи опытовъ, которыхъ надо ставить 3÷5 и брать среднюю величину, показанія прибора даютъ для величины x ошибку не болѣе $\pm 0,1$ и даже $\pm 0,05\%$.

Калориметръ этотъ перерабатываетъ паръ любой влажности, до 40%, т. е. до x равнаго всего 0,60. Впрочемъ нѣкоторые авторитеты, какъ, напр., Грамбергъ, отдавая предпочтеніе калориметрамъ съ перегрѣвомъ, какъ не требующимъ вѣсовыхъ измѣреній, совѣтуютъ пользоваться калориметромъ-водоотдѣлителемъ лишь для болѣе влажнаго пара, который нельзя переработать въ приборѣ съ перегрѣвомъ мятѣемъ, и для контроля пускать паръ, пропущенный калориметромъ-водоотдѣлителемъ, опять таки въ дроссель-калориметръ. Тогда можно вполне ручаться за точность результата, конечно, поскольку удалось правильно брать среднюю пробу пара.

ГЛАВА VI.

Измѣреніе расхода пара и воды.

33. Паромѣры.—До сравнительно недавняго времени расходъ пара опредѣляли исключительно по количеству воды, или до превращенія ея въ паръ, или послѣ совершенія работы паромъ и конденсированія его. Попытки построить приборъ, который измѣряетъ расходъ пара непосредственно по образцу объемныхъ или скоростныхъ водомѣровъ и газомѣровъ, дѣлались уже давно, но первыя сколько-нибудь удачныя конструкціи появились лишь лѣтъ 15 тому назадъ. Впрочемъ, первые приборы страдали многими недостатками и долго не получили распространенія. Дѣйствительно полезные приборы появились лишь лѣтъ 6—7 тому назадъ, а достаточно точные приборы мы имѣемъ лишь какихъ-нибудь 3—4 года. Зато эти приборы теперь настолько цѣлесообразны, что ими можно пользоваться при испытаніи машинъ, особенно паровыхъ турбинъ, почему мы и остановимся на нихъ нѣсколько подробнѣе.

Принципъ дѣйствія.—Описанные ниже приборы основаны на общемъ выраженіи расхода пара въ кгр./сек.

$$g_c = \alpha \cdot f \cdot v, \quad (53)$$

гдѣ f площадь проходнаго сѣченія въ м.², v скорость пара м./сек., а α нѣкоторый коэффициентъ, зависящій отъ очертаній проходнаго сѣченія и удѣльнаго вѣса пара. Согласно выраженія (53) расходъ g_c можно измѣрять двояко: или измѣряя переменную площадь f при постоянной скорости пара v или, наоборотъ, переменное v при постоянномъ f ; сообразно этому и всѣ существующіе паромѣры можно разбить на двѣ основныя группы: на приборы съ переменными сѣченіями и на приборы съ переменной скоростью.

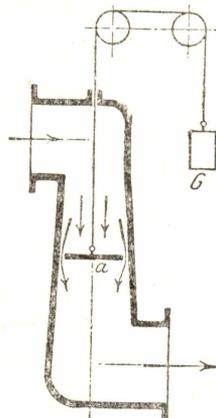
Расходъ пара g_c можно вмѣсто выраженія (53) выразить эмпирической формулой въ зависимости отъ состоянія измѣряемаго пара, именно,

$$g_c = \mu \sqrt{2g\gamma_1} \cdot f \cdot \sqrt{p_1 - p_2}, \quad (54)$$

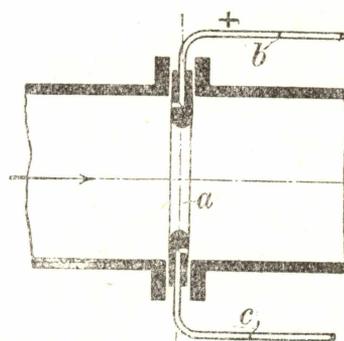
гдѣ μ коэффициентъ сжатія струи пара при прохожденіи черезъ приборъ, который можно для разбираемыхъ приборовъ считать равнымъ 0,93; $g=9,81$ м./сек.², γ_1 удѣльный вѣсъ пара въ кгр./м.³ до прибора, вмѣсто котораго съ достаточной точностью можно считать для насыщеннаго пара просто $c \cdot p_1$, p_1 давленіе въ кгр./см.² до прибора, а p_2 за нимъ. Выраженіе (54) справедливо для малой разности давленій, $p_1 - p_2 < 0,07 p_1$, что въ данныхъ приборахъ нетрудно соблюдать.

Величина c можетъ быть найдена изъ таблицы паровъ для ожидаемаго средняго p_1 и можетъ считаться, при колебаніяхъ p_1 даже на ± 2 кгр./см.², постоянной съ точностью около $\pm 1\%$. Для $p_1=11$ кгр./см.² абс. $c=0,50$.

Выраженіе (54), являясь по существу одинаковымъ съ выраженіемъ (53), показываетъ болѣе наглядно конструктивное выполненіе указанныхъ выше двухъ основныхъ типовъ паромѣровъ.



Черт. 258.



Черт. 259.

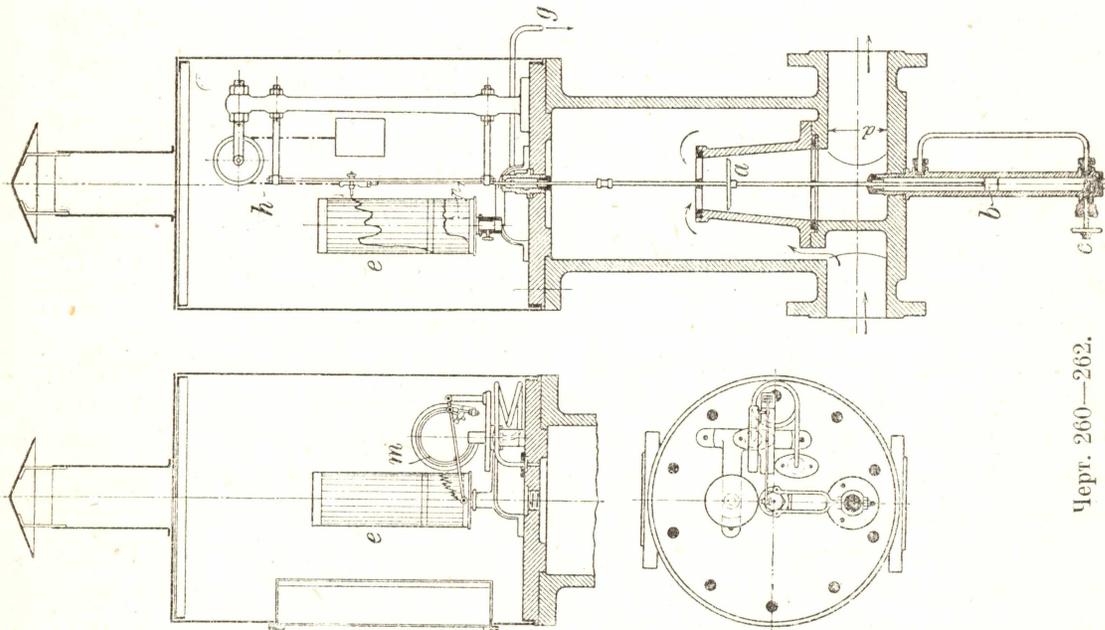
На черт. 258 изображена схема прибора перваго типа съ переменнымъ f и постояннымъ v , или что то-же самое, $(p_1 - p_2)$: находящійся въ коническомъ патрубкѣ клапанъ въ видѣ тарелки a давленіемъ пара опускается внизъ, увеличивая проходное сѣченіе f , пока уменьшающаяся разность давленій $(p_1 - p_2)$ не уравновѣсится противовѣсомъ G ; если расходъ пара, а съ нимъ и скорость его возрастаетъ, то тарелка a опускается еще ниже, пока снова не наступитъ равновѣсіе благодаря увеличенію кольцевого сѣченія f ; при уменьшеніи расхода пара тарелка a поднимается. Скорость пара v вслѣдствіе постоянства $(p_1 - p_2)$ остается постоянной, а перемѣщенія тарелки a , или что то же самое, груза G пропорціональны измѣненію f , т. е. расходу пара g_c .

Схему прибора втораго типа даетъ черт. 259: въ паропроводъ включается фланецъ a съ діаметромъ отверстія нѣсколько меньшимъ, чѣмъ діаметръ паропровода, и съ двумя отверстиями, сообщающимися

съ трубками b и c , ведущими къ чувствительному дифференціальному манометру. Когда паръ движется по паропроводу, то въ трубкахъ b и c получается разность давленій, вызываемая, съ одной стороны, мятіемъ при прохожденіи кольца a , съ другой, вслѣдствіе превращенія кинетической энергіи пара въ устьяхъ трубокъ b и c въ статическое давленіе; именно, въ устьѣ b она увеличиваетъ давленіе, а въ устьѣ c уменьшаетъ его. Сумма всѣхъ этихъ вліяній даетъ разность давленій ($p_1 - p_2$), практически колеблющуюся между 0,05 и 0,10 кгр./см.², величина которой согласно выраженія (54) пропорціональна квадрату скорости пара и измѣренная позволяетъ опредѣлять расходъ пара.

Теперь перейдемъ къ описанію конструктивнаго осуществленія указанныхъ двухъ главныхъ схемъ.

Паромѣръ завода Ф. Бейеръ и К-ія, черт. 260—262⁶⁶⁾, построенъ по схемѣ черт. 258. Въ дополненіе къ предыдущему описанію можно



Черт. 260—262.

пояснить, что b водяной катарактъ, регулируемый игольчатымъ вентилемъ c въ зависимости отъ рѣзкости колебаній давленія; e діаграммный барабанъ, вращаемый при помощи часового механизма; m точный манометръ, записывающій соотв. давленіе пара на той же діаграммѣ; трубка g служитъ для отвода небольшого количества пара, просачивающагося черезъ сальникъ, въ которомъ ходитъ стержень съ тарелкой a ; h мѣдный гибкій троссъ.

Приборъ строится двухъ размѣровъ: для наибольшаго расхода въ 3000 кгр./час. при давленіи $p=12$ кгр./см.² съ діаметромъ $d=100$ мм. и длиной между фланцами $l=440$ мм. и для 6000 кгр./час. съ $d=150$ мм.; при меньшемъ давленіи p' пропускная способность меньше въ отношеніи $\sqrt{p'/p}$.

⁶⁶⁾ Z. V. d. I. 1909, S. 147.

При пользованіи приборомъ находятъ по снятой діаграммѣ среднюю проходную площадь f , затѣмъ по той же діаграммѣ среднее давленіе пара p , по которому берутъ изъ таблицъ паровъ соотв. удѣльный вѣсъ γ , а изъ таблицы, приложенной къ прибору, найденную эмпирически для даннаго прибора скорость v , тогда часовой расходъ пара G получается перемноженіемъ этихъ 3 величинъ, т. е.

$$G = f \cdot v \cdot \gamma. \quad (55)$$

При работѣ съ перегрѣтымъ паромъ надо знать еще среднюю температуру перегрѣва t и сообразно ей находить величину γ .

Для облегченія пользованія приборомъ при немъ прилагаются таблицы, въ которыхъ прямо указанъ расходъ пара при разныхъ давленіяхъ и температурахъ его черезъ каждый миллиметръ разстоянія тарелки a отъ нулевой линіи, такъ что надо лишь знать среднія p, t и f , и тогда сразу находится соотв. G .

Точность прибора гарантируется $\pm 3\%$, но для ея достиженія необходимое условіе—отсутствіе рѣзкихъ толчковъ давленія пара, какъ о томъ будетъ сказано подробнѣе ниже.

Другіе недостатки прибора—его громоздкость и значительная стоимость.

Паромѣръ завода Ренанія ⁶⁷⁾ является дальнѣйшимъ усовершенствованіемъ разбираемаго типа приборовъ въ смыслѣ простоты производства отчетовъ и отсутствія какихъ либо перечисленій, пока проходящій черезъ него паръ является сухимъ насыщеннымъ.

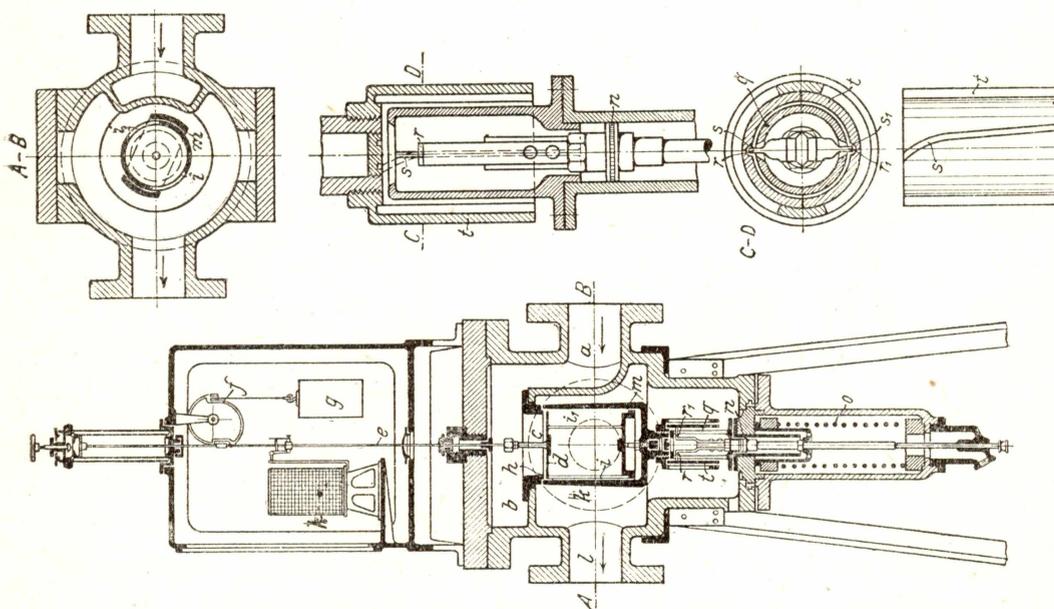
Сущность прибора заключается въ томъ, что прямоугольныя сѣченія, пропускающія паръ, измѣняются по высотѣ въ зависимости отъ проходящаго объема пара, а по ширинѣ въ зависимости отъ его давленія (удѣльнаго вѣса), благодаря чему для опредѣленія вѣса пара достаточно измѣрять только высоту проходного сѣченія.

Паръ, вступающій по патрубку a въ камеру b , черт. 263 и 264, давитъ сверху внизъ на тарелку d , стремящуюся держать закрытымъ отверстіе c , прижимая d къ сѣдлу h , подъ дѣйствіемъ груза g , соединеннаго съ d при помощи проволоки e и ролика f . Чѣмъ ниже опускается d , тѣмъ больше становится свободная высота проходныхъ сѣченій i и i_1 , черезъ которыя паръ вытекаетъ въ патрубокъ l , а оттуда въ мѣсто потребленія. Высота эта записывается при помощи пера, прикрѣпленнаго къ e , на барабанѣ k , медленно вращаемомъ часовымъ механизмомъ.

При постоянномъ по вѣсу расходѣ пара показанія прибора должны быть постоянны и при измѣненіи давленія, несмотря на происходящее при этомъ измѣненіе объема пара; чтобы это измѣненіе не отражалось на показаніи прибора, т. е. тарелка d оставалась въ прежнемъ положеніи, мѣняется ширина проходныхъ сѣченій i и i_1 : при уменьшеніи давленія поворачиваніемъ золотника m ширина сѣченій i и i_1 уве-

⁶⁷⁾ Z. V. d. I. 1913, S. 194.

личивается, при увеличении—уменьшается. Поворачивание m производится перемещением поршенька n , черт. 263 и 265, на верхнюю кольцевую площадь которого передается давление измеряемого пара; давление пара уравнивается винтовой пружиной o ; язычки r и r_1 , приклепанные къ штоку n , ходятъ въ вертикальныхъ прорѣзяхъ неподвижнаго стакана q и въ косыхъ канавкахъ s и s_1 въ стаканѣ t , составляющемъ одно цѣлое съ m . Очертаніе канавокъ s и s_1 , черт. 265 и 267, находится опытнымъ путемъ и представляетъ законъ измѣненія удѣльнаго объема пара при измѣненіи давленія. Ролику f придается такое очертаніе, чтобы при постоянномъ давленіи пара тарелка d давала такое проходное сѣченіе, чтобы скорость пара при всѣхъ расходахъ была постоянной.



Черт. 263—267.

Произведенныя Аахенскимъ О-вомъ надзора за паровыми котлами испытанія при колеблющемся и постоянномъ давленіи и при колеблющемся и постоянномъ расходѣ пара показали, что показанія прибора не зависятъ отъ давленія пара для предѣловъ давленій отъ 0 до 12 атм., при чемъ наибольшія ошибки составили $+1,0\%$ и $-2,0\%$.

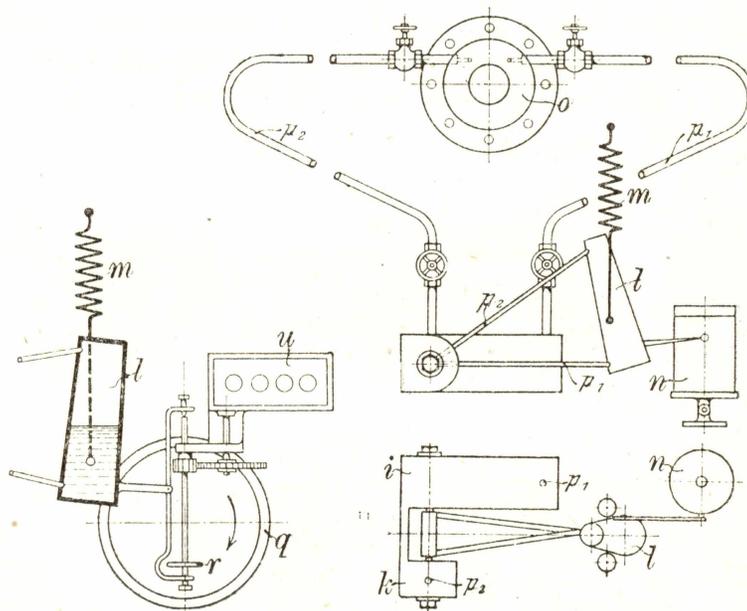
Паромѣръ исполняется 7 различныхъ величинъ для включенія въ паропроводы отъ 50 до 200 мм. въ діаметрѣ соотв. для наибольшаго расхода пара отъ 1200 до 15000 кгр./час..

Для пользованія этимъ паромѣромъ при перегрѣтомъ парѣ надо составить таблицу или діаграмму поправокъ къ показаніямъ въ зависимости отъ температуры перегрѣва и средняго давленія, такъ же, какъ и для большинства остальныхъ приборовъ.

Паромѣръ Гэре, дѣйствующій по схемѣ черт. 259, изображенъ схематически на черт. 268 и 269 ⁶⁸⁾: давленіе p_1 передъ дроссельнымъ

⁶⁸⁾ Z V. d. I. 1909, S. 144; A. Gramberg, Technische Messungen bei Maschinenuntersuchungen. 2. Aufl. Berlin, 1910. S. 129.

фланцемъ o и p_2 за нимъ передаются сосудамъ i и k ртутнаго дифференціального манометра своеобразной конструкторской; нижній уровень ртути находится въ неподвижномъ сосудѣ i , а верхній въ качающемся сосудѣ l ; въ сосудѣ k ртути совсѣмъ нѣтъ; сосудъ l подвѣшенъ на винтовой пружинѣ m . Когда подъ вліяніемъ разности давленій ртуть перетекаетъ въ сосудъ l , послѣдній опускается, вследствие чего въ него перетекаетъ еще ртуть, пока натяженіе пружины m не уравнивается



Черт. 270.

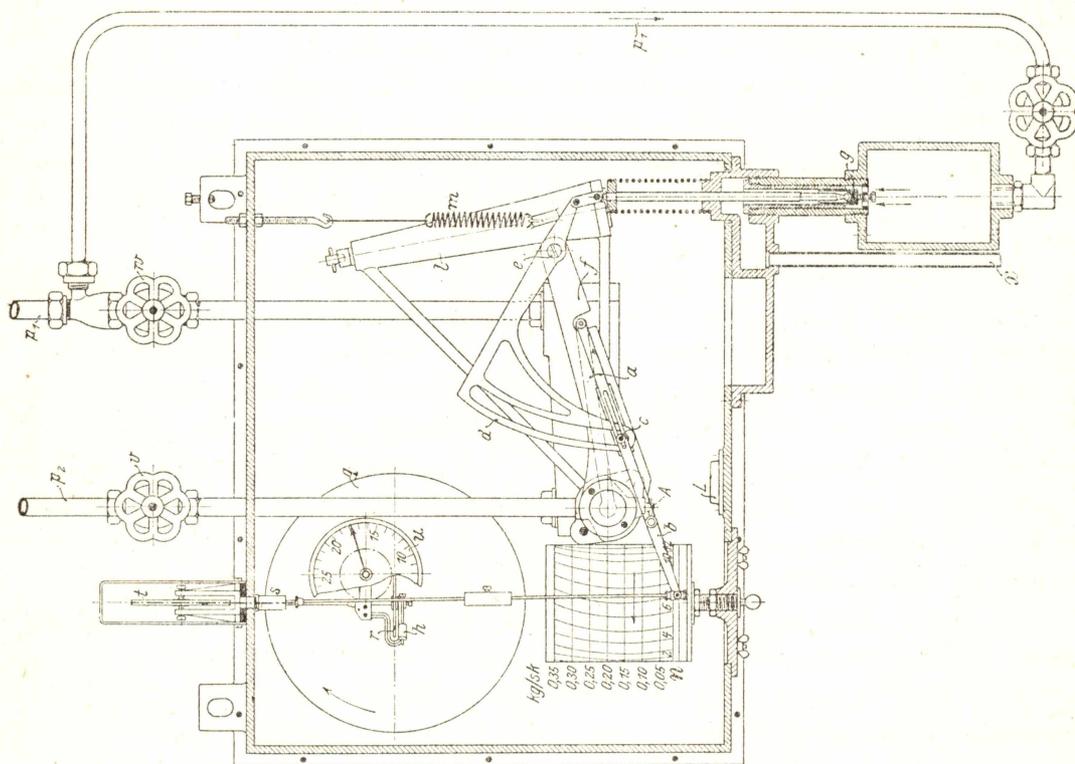
Черт. 268 и 269.

этого увеличенія вѣса сосуда l ; преимущество такого дифференціального манометра, во-первыхъ, въ томъ, что малой разности давленій $p_1 - p_2$ соотвѣтствуетъ сравнительно большой размахъ сосуда l и значительная перестановочная сила; во-вторыхъ, придавъ соотвѣтствующія очертанія внутренней полости сосуда l , можно установить любое соотношеніе между разностью давленій и наклономъ сосуда. Если отклоненія должны быть согласно ур-ія (54) пропорціональны $\sqrt{(p_1 - p_2) \gamma_1}$, то сосудъ l долженъ быть коническій съ слегка параболически вогнутой образующей. Къ сосуду l прикрѣпляется перо, вычерчивающее діаграмму на барабанѣ n , поворачивающемся подъ дѣйствіемъ часового механизма.

Въ болѣе совершенныхъ и дорогихъ приборахъ Гэре имѣются еще слѣдующія дополнительныя приспособленія: во-первыхъ, особый рычажный механизмъ въ связи съ манометромъ для пишущаго приспособленія, кинематическая связь котораго автоматически учитываетъ измѣненіе давленія p_1 въ паропроводѣ, и, во-вторыхъ, интегрирующій механизмъ по типу планиметровъ, непрерывно суммирующій и прямо указывающій прошедшее черезъ паромѣръ количество пара, черт.

270: q дискъ, вращаемый часовымъ механизмомъ, r роликъ, перемѣщаемый вверхъ и внизъ сосудомъ l и связанный съ счетчикомъ u , указывающимъ расходъ пара. При работѣ съ перегрѣтымъ паромъ въ показанія прибора, дающія собственно объемъ, а не вѣсъ пара, надо вводить соотв. поправку, умножая ихъ на коэффициентъ, который берутъ по температурѣ перегрѣва прямо изъ прилагаемыхъ таблицъ. Поправка эта составляетъ, смотря по степени перегрѣва, до 20%, такъ что ею, конечно, нельзя пренебрегать.

На черт. 271 изображенъ примѣрно въ 1:6 натур. вел. новѣйшій типъ прибора Гэре: передъ качающимся сосудомъ l находится упомя-



Черт. 271.

нутый рычажный механизмъ, автоматически производящій вычисленіе $\sqrt{(p_1 - p_2)p_1}$; показанное пунктиромъ плечо a сосуда l перемѣщаетъ правый конецъ пишущаго рычага b , котораго точка качанія c можетъ перемѣщаться вдоль прорѣзи въ b ; цапфа оси c прикрѣплена къ ползушкѣ, лежащей въ кулисной прорѣзи d и перемѣщающей c вдоль b вправо при возрастаніи давленія p_1 и влево—при уменьшеніи, измѣняя отношеніе плечъ рычага b по закону гиперболы; для этого качающійся около неподвижной точки e опоры f рычагъ съ прорѣзью d , очерченной по кривой, близкой къ спирали Архимеда, получаетъ движеніе отъ пружиннаго поршневого манометра g съ діаметромъ въ 12 мм.; манометръ наполненъ масломъ, отъ времени до времени возобновляемымъ. Данной конструкціей значительно уменьшена опасность защемленія въ передаточныхъ механизмахъ, отъ котораго страдали прежніе паромѣры Гэре.

Интегрирующій счетчикъ состоитъ изъ плоскаго диска q , вращаемаго равномерно часовымъ механизмомъ и слегка прижимаемаго къ нему противовѣсомъ h фрикціоннаго колесика r ; послѣднее подвѣшено къ той же ползушкѣ s , что и конецъ рычага b съ карандашомъ; ползушка s съ подвѣшенными къ ней деталями уравновѣшена противовѣсомъ, висящемъ на шнурѣ, перекинутомъ черезъ блокъ t . Число оборотовъ колесика r пропорціонально разстоянію отъ центра диска и вмѣстѣ съ тѣмъ перемѣщенію карандаша на b и передается при помощи червячной передачи счетчику u .

Для установки прибора служитъ уровень L ; трубка x служитъ для спуска масла, просачивающагося изъ манометра.

Фирма гарантируетъ точность этого прибора $\pm 5\%$.

Довольно значительное распространѣніе получилъ также и паромѣръ Галльваксъ и К-ія, состоящій тоже изъ дроссель-фланца по схемѣ черт. 259 и ртутнаго дифференціального манометра. По наружному виду онъ напоминаетъ электрической счетчикъ. Точность его тоже около $\pm 5\%$.

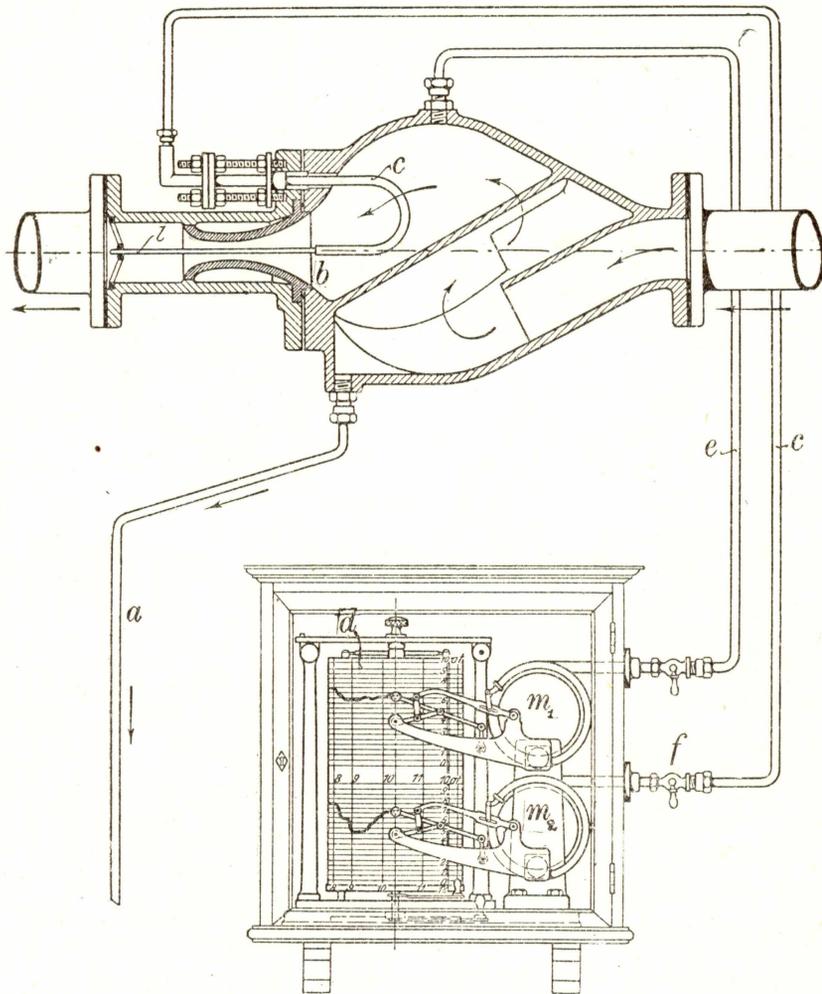
Паромѣръ Экардта основанъ, согласно сдѣланнаго въ свое время предложенія Стодоля, на своеобразномъ пониженіи давленія въ самомъ узкомъ сѣченіи лавалевскаго сопла; пониженіе это сильно, разъ въ 10 и болѣе, превосходитъ пониженіе, остающееся при выходѣ изъ сопла, и притомъ въ довольно широкихъ границахъ пропорціонально этому остающемуся пониженію, которое въ свою очередь, какъ мы видѣли, пропорціонально количеству проходящаго пара. Такое преувеличеніе пониженія давленія позволяетъ измѣрять разность давленій обыкновенными металлическими манометрами.

На черт. 272 представленъ названный паромѣръ для насыщеннаго пара; непосредственно за водоотдѣлителемъ со спускомъ воды по трубкѣ a стоитъ сопло b ; при помощи тонкой трубки-зонда l измѣряется по способу Стодоля давленіе p_2 въ самомъ узкомъ сѣченіи сопла; трубка c ведетъ къ манометру m_2 , измѣряющему и записывающему это давленіе на діаграммный барабанъ d , вращаемый часовымъ механизмомъ; давленіе p_1 передъ сопломъ передается по трубкѣ e къ манометру m_1 , записывающему его на той же діаграммѣ. При помощи планиметра находится средняя высота діаграммы, ограниченной двумя кривыми давленій, а по ней получаютъ изъ прилагаемой таблицы прямо соотв. расходъ пара.

Точность прибора зависитъ отъ исправности манометровъ m_1 и m_2 , которые должны давать показанія строго въ одномъ масштабѣ. Разность давленій $p_1 - p_2$, составляющая при наибольшемъ расходѣ до 3 атм., падаетъ при малыхъ расходахъ, напр. при 0,1 наибольшаго, до нѣсколькихъ сотыхъ атм., что при масштабѣ діаграммы 1 атм. = 10 мм. даетъ полоску всего въ нѣсколько десятыхъ миллиметра, т. е. не поддающуюся измѣренію. Такъ какъ разность $p_1 - p_2$ уменьшается пропор-

ционально квадрату расхода, то точность прибора, составляющая при наибольшемъ расходѣ около $\pm 5\%$, быстро падаетъ и не позволяетъ измѣрять малыхъ расходовъ, примѣрно менѣе 25—30% отъ наибольшаго.

Чтобы слѣдить, не разошлись ли показанія манометровъ m_1 и m_2 , надо дѣлать кранъ f трехходовымъ, что позволяетъ соединять манометръ m_2 съ трубкой e ; пока при этомъ оба манометра будутъ давать точно одинаковыя показанія, они оба исправны, паромѣромъ можно пользоваться съ увѣренностью.

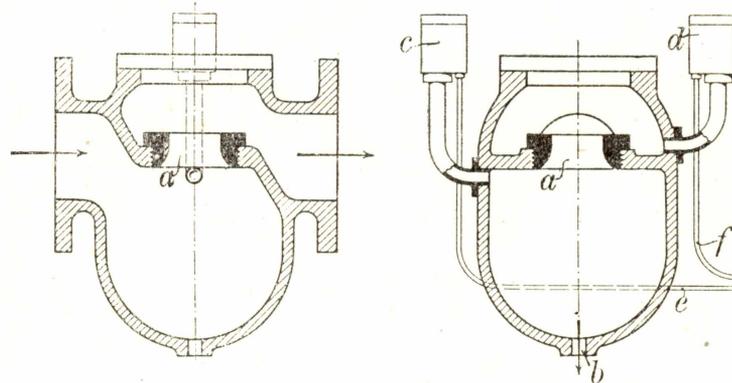


Черт. 272.

Общія указанія. У всѣхъ скоростныхъ паромѣровъ, опредѣляющихъ расходъ пара по сравнительно небольшой разности давленія $p_1 - p_2$, нужно обращать вниманіе, чтобы показанія манометровъ не искажались давленіемъ столба конденсирующей воды въ подводныхъ трубкахъ. Съ этой цѣлью подводящія трубки заполняютъ водою заранее, а чтобы уровень ея не измѣнился подъ дѣйствіемъ давленія p_1 , трубки или прокладываютъ сперва горизонтально на значительной дли-

нѣ, до 3—4 м., какъ напр. у паромѣра Гэре, черт. 268, или для большей компактности свертываютъ эти части въ спирали, лежащія въ горизонтальной плоскости, иногда даже помѣщаютъ ихъ въ сосудъ, черезъ который протекаетъ охлаждающая вода, для поддержанія температуры, а, слѣдовательно, и удѣльнаго вѣса воды въ спирали постоянными, или, наконецъ, пользуются, такъ назыв., переливомъ, черт. 205.

Такъ какъ паромѣры измѣряютъ собственно объемъ пара, то въ случаѣ насыщеннаго пара нужно принимать еще вѣсѣ мѣры, чтобы отдѣлять воду изъ пара до паромѣра. Въ виду этого Бендеманнъ совѣтуетъ ставить дроссель-фланецъ въ горизонтальной плоскости и соединять его съ водоотдѣлителемъ, черт. 273 и 274: *a* дроссель-фланецъ, *b* спускъ для воды, отдѣляющейся вслѣдствіе рѣзкаго измѣненія на-



Черт. 273 и 274.

правленія движенія пара, *c* и *d* два сосуда съ переливомъ, какъ на черт. 205, съ трубками *e* и *f* для присоединенія приборовъ для измѣренія разности давленія $p_1 - p_2$.

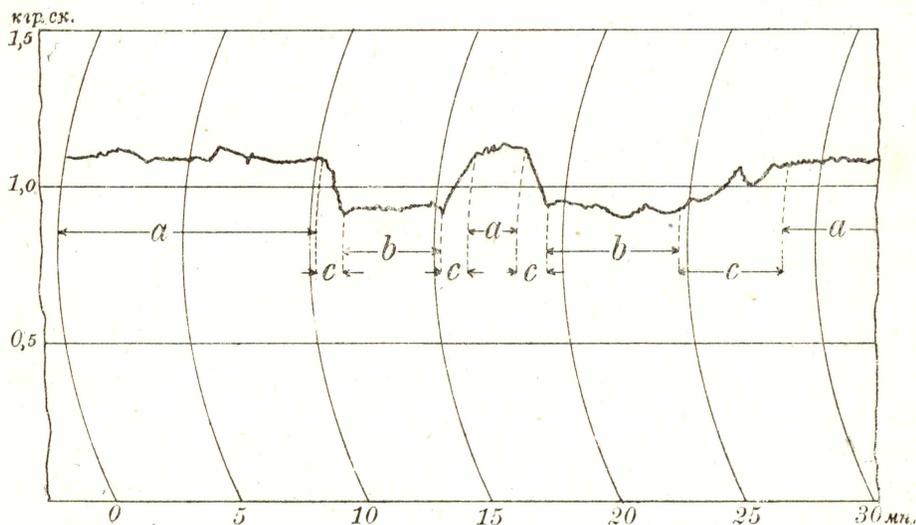
Вліяніе рѣзкихъ толчковъ въ паропроводѣ, какъ уже упоминалось, искажаетъ показанія паромѣровъ, преувеличивая ихъ; единственное исключеніе—описанный выше паромѣръ Ренанія.

Вообще при работѣ паровыхъ турбинъ заборъ пара происходитъ равномернo, и никакихъ толчковъ давленія въ паропроводѣ нѣтъ, вслѣдствіе чего паромѣры даютъ расходъ пара турбины съ указанной выше точностью. Однако, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, какъ напр. у турбинъ Парсонса, обычно регулируемыхъ дроссель-клапаномъ, непрерывно опускающимся и поднимающимся, толчки возможны.

Какъ сильно ихъ вліяніе, видно изъ слѣдующаго примѣра ⁶⁹⁾. На паропроводѣ къ турбинѣ Браунъ-Бовери-Парсонсъ съ очень постоянной нагрузкой, а, слѣдовательно, и постояннымъ расходомъ пара былъ поставленъ самозаписывающій паромѣръ Гэре по черт. 271. Длина паропровода отъ паромѣра до турбины была 35 м.; на паропроводѣ было нѣсколько колѣнъ, какъ извѣстно, смягчающихъ рѣзкія колебанія давленія. Число колебаній давленія, производимыхъ регуляторомъ, было

⁶⁹⁾ Z. V. d. I. 1910, S. 259.

180 въ мин.. Расходъ пара опредѣляли, снимая паромѣромъ діаграмму, то при обычныхъ условіяхъ работы турбины подѣ полнымъ воздѣйствіемъ регулятора, то прищипывая вентиль передѣ турбиной, т. е. производя постоянное мятіе отъ руки. Такъ какъ нагрузка за это время не мѣнялась, и паръ въ самую турбину попадалъ въ сущности съ одинаковымъ давленіемъ и температурой, то расходъ пара долженъ былъ оставаться неизмѣннымъ. Полученная при этомъ діаграмма паромѣра дана на черт. 275: части кривой *a* соотвѣтствуютъ работѣ турбины съ



Черт. 275.

регуляторомъ и, слѣдовательно, толчками въ паропроводѣ, части *b* работѣ съ мятіемъ отъ руки, части *c*—переходѣ отъ одного регулированія къ другому. Мы видимъ, что рѣзкіе толчки даютъ показанія, увеличенныя на 20—22%.

Попытки исправить показанія паромѣра увеличеніемъ сопротивленія въ паропроводѣ, для чего прикрывали задвижку, находившуюся въ паропроводѣ между турбиной и паромѣромъ, не дали положительныхъ результатовъ. Наоборотъ, и при присоединеніи паромѣра у самой турбины ошибка въ показаніяхъ не стала больше. Изъ этого оказывается, что паропроводъ длиной даже въ 35 м. съ нѣсколькими колѣнами не вліяетъ сколько-нибудь замѣтно на смягченіе толчковъ и исправленіе показаній паромѣра.

Такимъ образомъ паромѣрами можно пользоваться лишь при отсутствіи рѣзкихъ колебаній давленія.

34. Водомѣры.—Водомѣры находятъ себѣ примѣненіе для самыхъ разнообразныхъ цѣлей и являются однимъ изъ наиболѣе распространенныхъ измѣрительныхъ приборовъ. Изготовленіемъ водомѣровъ занимается очень большое число машиностроительныхъ, арматурныхъ и даже специальныхъ заводовъ; этимъ въ связи съ большимъ числомъ патентовъ объясняется такое значительное число разнообразныхъ кон-

струкцій, что ихъ разборъ можетъ составить отдѣльную обширную монографію. Однако, намъ придется ограничиться указаніемъ лишь наиболѣе типичныхъ и распространенныхъ конструкцій.

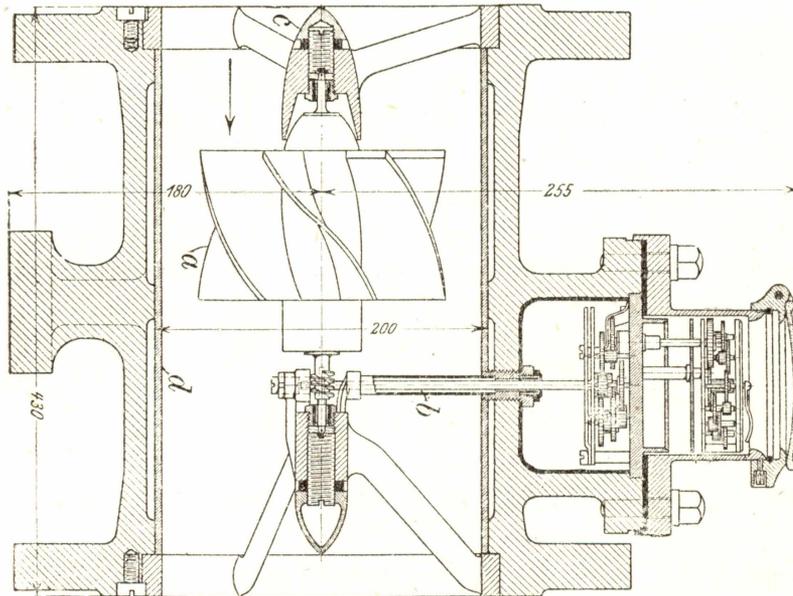
Что касается классификаціи различныхъ системъ, то ихъ можно разбить, во-первыхъ, на двѣ основныхъ группы: на водомѣры закрытые, включаемые въ водопроводную сѣть, и водомѣры открытые, устанавливаемые у конца трубы, подающей воду.

Водомѣры закрытые, въ свою очередь, можно разбить на три существенно отличные типа: на скоростные, объемные и дисковые, занимающіе промежуточное мѣсто между первыми двумя.

Общая требованія, предъявляемая ко всѣмъ водомѣрамъ—точность показаній, и притомъ не только при нормальной подачѣ, но и при любой меньшей и наибольшей допустимой для даннаго размѣра. Далѣе, показанія не должны мѣняться со временемъ, по возможности не зависѣть отъ температуры воды. Водомѣръ долженъ быть нечувствителенъ къ загрязненію воды и не требовать особаго ухода. Наконецъ, закрытые водомѣры должны удовлетворять еще двумъ требованіямъ: показанія ихъ не должны зависѣть отъ давленія въ трубопроводѣ, и потеря напора при прохожденіи водомѣра должна быть возможно мала.

Скоростные водомѣры. Для большого расхода, когда притомъ же не требуется особенной точности, удобно пользоваться приборомъ съ вертушкой В о л ь т м а н а *a*, черт. 276, число оборотовъ который пе-

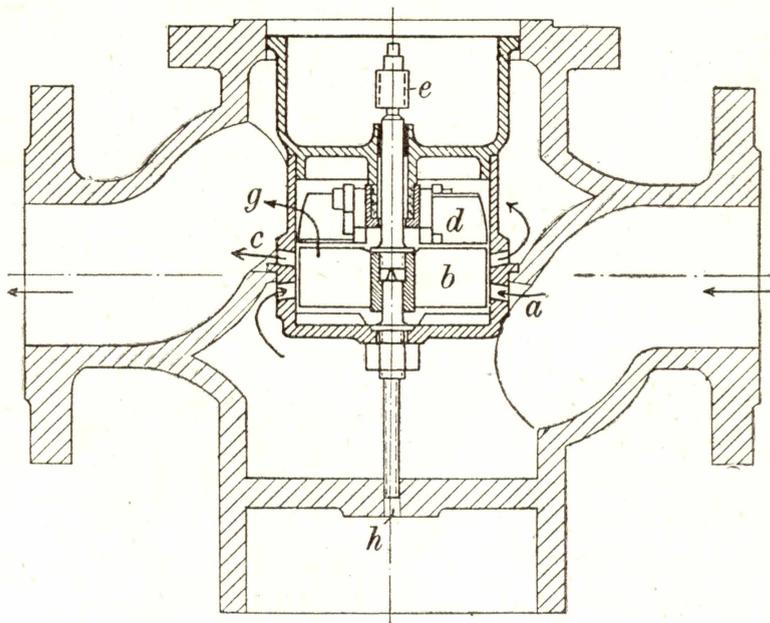
Черт. 276.



редается при помощи червячной передачи и валика *b* указательному механизму. Приборъ градуируется эмпирически. При маломъ расходѣ точность падаетъ; однако въ предѣлахъ отъ $\frac{1}{10}$ отъ нормальнаго и до наибольшаго расхода степень точности можетъ быть доведена до $\pm 2\%$.

На черт. 276 изображенъ приборъ для расхода до 1000 м.³/ч., но онъ можетъ пропускать и до 2000 м.³/ч..

Одинъ изъ наиболѣе распространенныхъ приборовъ для малыхъ и среднихъ расходовъ—водомеръ Сименсъ и Гальске, черт. 277:



Черт. 277.

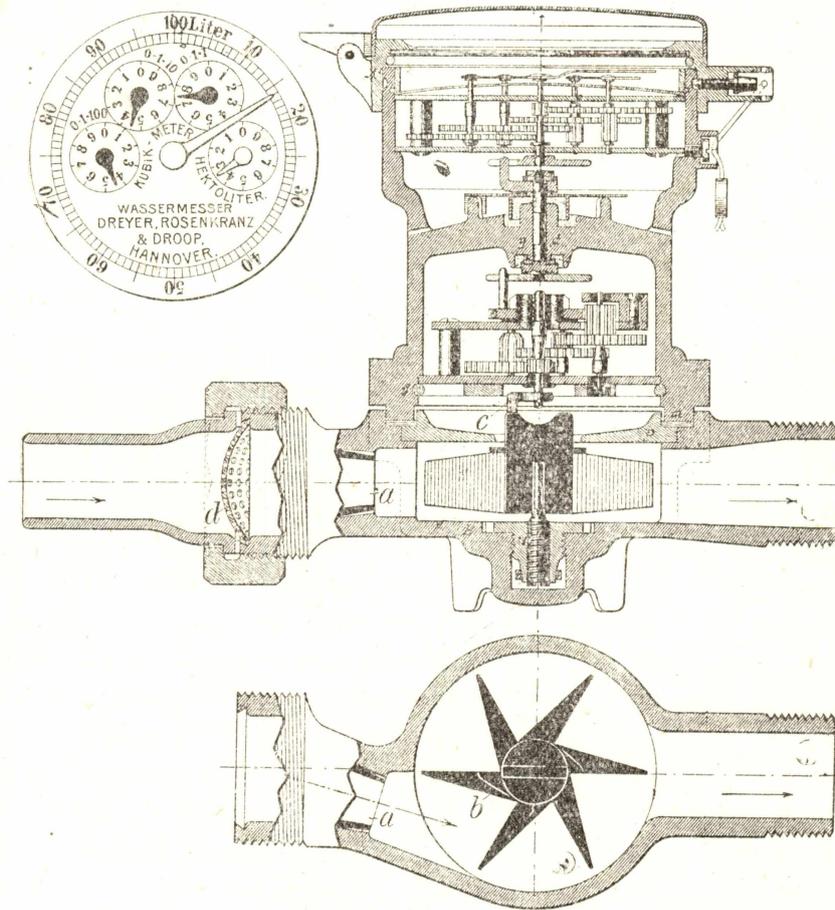
вода вступаетъ черезъ наклонно просверленные отверстія *a*, и, ударяясь по касательной въ крыльчатое колесо *b*, приводитъ его во вращеніе и выходитъ черезъ наклоненныя въ обратную сторону отверстія *c*; колесо *b* приводитъ въ дѣйствіе счетчикъ при помощи зубчатого колеса *e*. Благодаря наклоннымъ отверстіямъ *c* счетчикъ измѣряетъ воду, какъ идущую въ надлежащемъ направленіи по стрѣлкѣ, такъ и въ обратномъ, вычитая ее въ послѣднемъ случаѣ изъ прямого отчета. Такое обратное движеніе воды бываетъ при ударахъ въ сѣти, когда работаютъ насосами. Еслибы вода выходила не черезъ отверстія *c*, а прямо, напр. по стрѣлкѣ *g*, то обратное движеніе ея не могло бы вращать колесо *b*, и показанія счетчика были бы преувеличены. Въ *h* подводится смазка.

Сопротивленіе прохожденію воды, т. е. потеря напора, растетъ въ скоростныхъ водомерахъ примѣрно пропорціонально квадрату количества проходящей черезъ счетчикъ воды. Нормальной наибольшей пропускной способностью по предписанію Германскаго Общества Техниковъ Газо- и Водопроводнаго Дѣла считается количество воды, при которомъ водомеръ даетъ потерю напора въ 1 кгр./см.². Водомеръ Сименсъ и Гальске строится 11 различныхъ размѣровъ для нормального расхода отъ 2 до 400 м.³/ч..

Кромѣ потери напора, расходъ воды вліяетъ и на точность показаній прибора. Очень малая подача воды, до 2% отъ нормальной, совсѣмъ не отсчитывается приборомъ; подача отъ 2 до 5% отсчитывается, но съ отри-

цательной ошибкой. Отъ 5% вверхъ показанія прибора достаточно пропорциональны дѣйствительной подачѣ, но все же полезно, если средняя подача прибора меньше его нормальной, устанавливать приборъ такъ, чтобы наименьшая ошибка его показаній соответствовала средней подачѣ. Для этой цѣли водомѣры снабжаются особыми приспособленіями. Такъ, приборъ по черт. 277 имѣетъ неподвижныя лопатки *d*, вызывающія образованіе вихрей при вращеніи колеса *b*; поворачивая снаружи ключемъ лопатки *d*, можно измѣнять сопротивленіе прохожденію воды и соотв. и показанія прибора. Въ другихъ конструкціяхъ измѣняется наклонъ отверстій *a* и *c*, сдѣланныхъ тогда не прямо въ стаканѣ, а въ видѣ сопелъ. Точность показаній прибора въ общемъ $\pm 5\%$.

Другой тоже очень распространенный водомѣръ—завода Дрейеръ, Розенкранцъ и Дроопъ, черт. 278—280. Вода проходитъ по

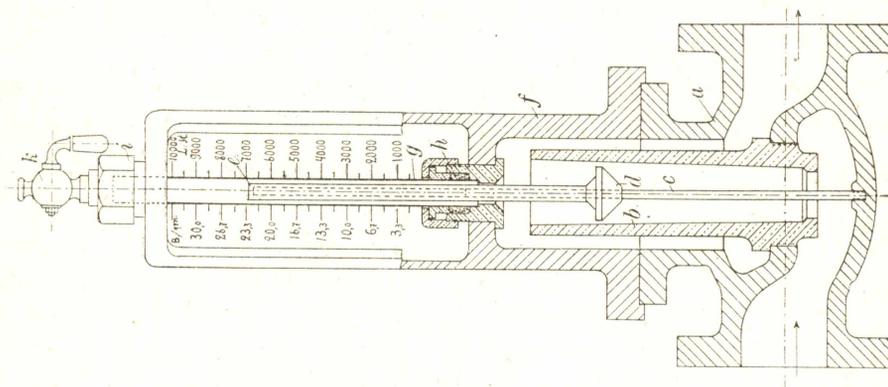


Черт. 278—280.

соплу *a* и ударяетъ въ лопатки колеса *b*, сдѣланнаго изъ вулканизированной резины, удѣльный вѣсъ которой очень близокъ къ удѣльному вѣсу воды, благодаря чему давленіе колеса на подпятникъ и изнашиваніе его очень мало. Вращеніе колеса *b* передается при помощи кривошипика *c* счетчику, состоящему изъ системы цилиндрическихъ зуб-

чатыхъ колесъ; черт. 280 показываетъ циферблатъ счетчика. Рѣшетка *d* изъ красной мѣди предохраняетъ приборъ отъ попадания твердыхъ инородныхъ тѣлъ. Сопло *a* дѣлается изъ эбонита, какъ и колесо *b*, всѣ же остальные части, такъ же, какъ и самъ корпусъ, дѣлаются бронзовыми. Водомеры эти дѣлаются 16 размѣровъ для наибольшаго расхода отъ 2 до 720 м.³/час., при чемъ меньшіе размѣры, для трубъ діаметромъ до 40 мм., соотв. для расхода до 33 м.³/час., включаются въ сѣтъ при помощи накидныхъ гаекъ, какъ показано на черт. 278 и 279, начиная же отъ 50 мм. соотв. отъ 60 м.³/час. снабжаются фланцами; кромѣ того, передъ большими водомерами ставятся отсадочные горшки, въ которыхъ благодаря измѣненію направленія движенія воды и уменьшенію скорости выдѣляется и отсаживается илъ и прочая грязь, механически увлекаемая водой.

Къ скоростнымъ же водомерамъ надо отнести и приборъ Людвигъ Грефе, черт. 281, основанный на той же схемѣ, что и разобранные выше



Черт. 281.

паромѣры по черт. 258: вода при прохожденіи бронзоваго коническаго сопла *b* поднимаетъ запорный конусъ *d* тѣмъ выше, чѣмъ больше ея скорость, которая вслѣдствіе несжимаемости воды прямо пропорціональна расходу ея въ единицу времени, который указываетъ концомъ стержня *e* на правой шкалѣ въ лтр./ч.; лѣвая шкала приспособлена для пользованія приборомъ въ качествѣ указателя напряженности работы пароваго котла и указываетъ расходъ питательной воды, отнесенный къ 1 м.² поверхности нагрѣва, или что то-же самое, количество *B* кгр. пара, снимаемаго съ 1 м.² въ часъ. На черт. 281 показанъ приборъ для наибольшаго расхода воды 10000 лтр./ч. съ лѣвой шкалой, нанесенной для котла съ поверхностью нагрѣва въ 300 м.². Благодаря тому, что стержень *e* ходитъ совершенно свободно, а плотность по отношенію къ наружной атмосферѣ достигнута при помощи стеклянной трубки *g*, зажатой между сальниками *h* и *i* и сверху отключенной краникомъ, приборъ достаточно чувствителенъ. Въ случаѣ поломки трубки *g* верхній конусъ *d* прижимается къ выточкѣ внизу сальника *h* и, хотя приборъ перестаетъ дѣйствовать, но не нарушаетъ работы трубопровода, въ который онъ включенъ.

По той же схемѣ работаетъ приборъ К. Кюшера, такъ назыв. „Рота“—измѣритель⁷⁰⁾. Онъ состоитъ изъ довольно высокой стеклянной трубки, съ слегка увеличивающимся кверху діаметромъ, въ которой находится особый коническій поплавокъ, поднимающійся или опускающійся въ зависимости отъ скорости, т. е., количества протекающей жидкости. Благодаря винтообразнымъ зарубкамъ на поверхности поплавка послѣдній получаетъ во время работы вращательное движеніе, что увеличиваетъ очень сильно чувствительность прибора. Точность его при чистой водѣ очень велика, ошибка лежитъ въ предѣлахъ точности отчета, т. е. $\pm 0,5$, даже $0,2\%$.

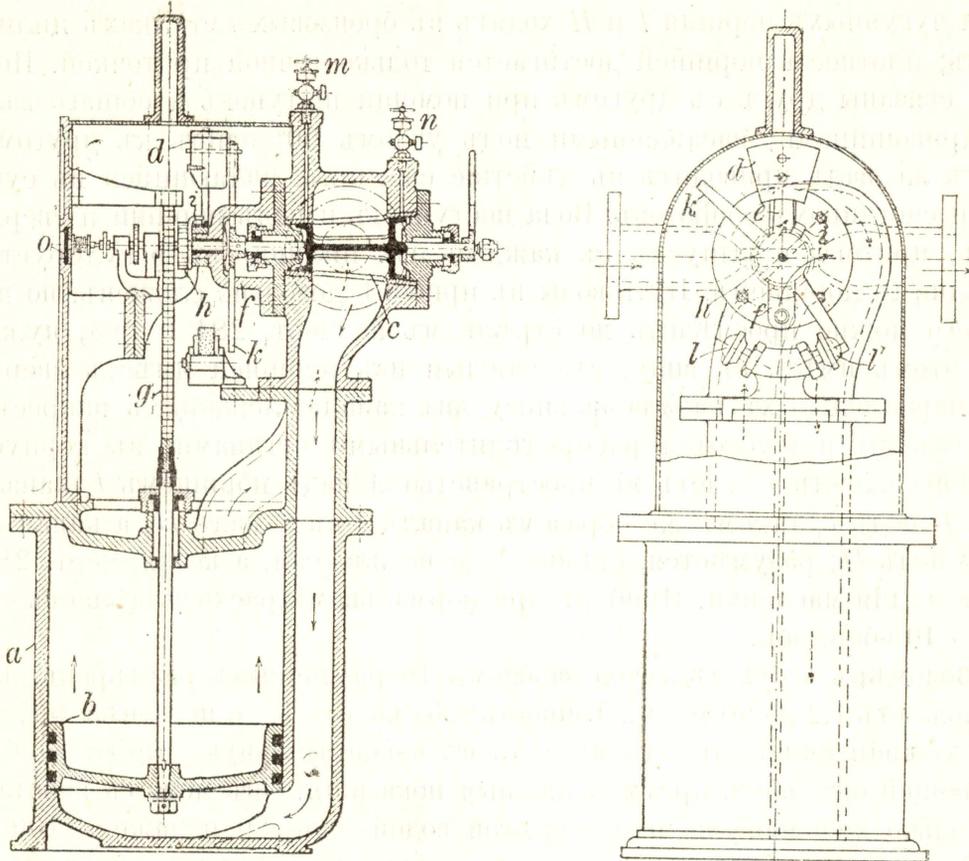
Оба послѣднихъ прибора очень удобны при испытаніяхъ, такъ какъ указываютъ въ любой моментъ интересующій испытателя расходъ воды въ единицу времени, но въ виду неизбежности колебаній расхода ея они не позволяютъ опредѣлять съ достаточной точностью расходъ за опредѣленный промежутокъ времени, такъ что должны быть отнесены къ разряду вспомогательныхъ приборовъ, не устраняющихъ необходимости въ другомъ измѣреніи расхода воды.

Поршневые водомѣры. Поршневые объемные водомѣры являются обращенными насосами; разность давленія перемѣщаетъ поршень то вверхъ, то внизъ при помощи соотв. автоматическаго распредѣлительнаго механизма.

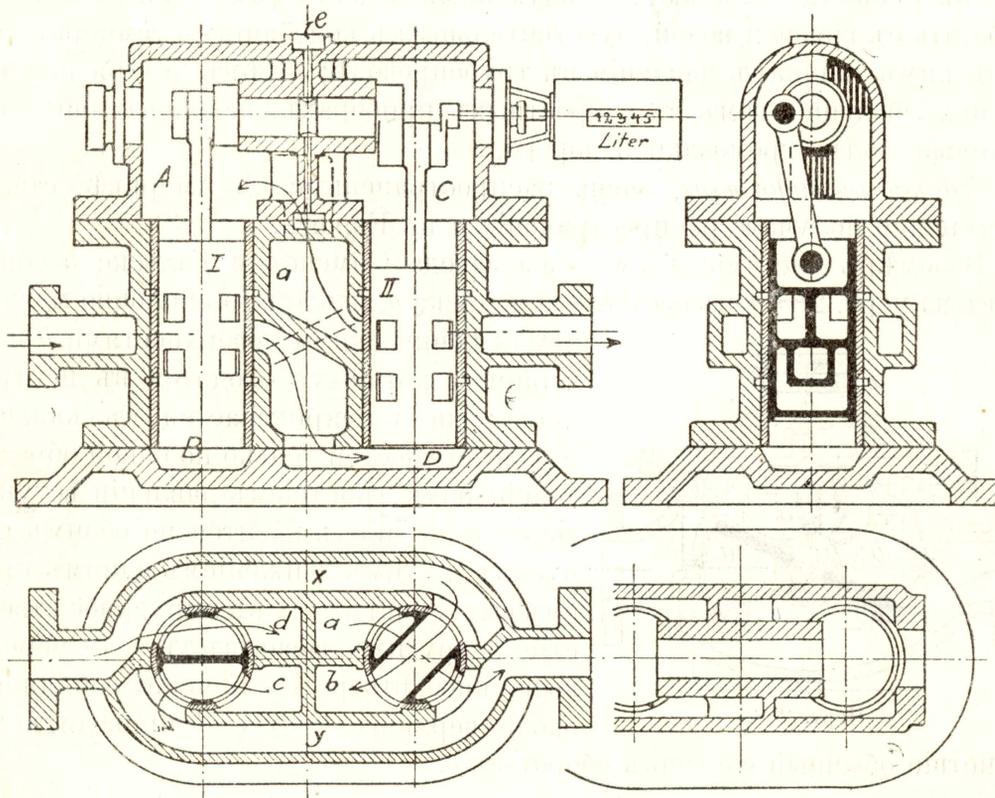
Водомѣръ Кеннеди въ изготовленіи завода Экардта изображенъ на черт. 282 и 283: въ чугунномъ цилиндрѣ *a* ходитъ бронзовый поршень *b*, плотность котораго достигается 3 бронзовыми же самопружинящими кольцами; распредѣлительнымъ органомъ служитъ четырехходовой бронзовый кранъ *c*, который сообщаетъ попеременно то впускъ съ нижней полостью цилиндра, а выпускъ съ верхней, то наоборотъ; приводится кранъ въ дѣйствіе грузомъ *d*, прикрѣпленнымъ къ рычагу *e*, сидящемъ свободно на оси, образованной концомъ кронштейна *f*; къ поршневому стержню прикрѣплена зубчатая рейка *g*, сцепленная съ колесомъ *h*, къ ободу котораго прикрѣпленъ рычагъ *i*, который поднимаетъ грузъ *d* и, когда поршень достигаетъ мертваго положенія, перекидываетъ *d* черезъ верхнюю мертвую точку, дальше грузъ *d* падаетъ самъ, ударяетъ въ одинъ изъ концовъ рычага *k*, связаннаго съ осью крана *c*, и поворачиваетъ послѣдній на 90° ; *l* и *l'* пружинящіе буфера, смягчающіе удары при паденіи груза *d*; поворотъ крана *c* на 90° измѣняетъ направленіе движенія воды подъ поршнемъ. Счетчикъ *o*, являющійся въ сущности счетчикомъ ходовъ, приводится въ дѣйствіе отъ оси зубчатого колеса *h* и показываетъ объемъ, описываемый поршнемъ. Точность, гарантируемая заводомъ, $\pm 1,5\%$.

Двухпоршневой водомѣръ системы Шмида завода Э. Кеглеръ представленъ на черт. 284÷287: два длинныхъ полыхъ, съ перегород-

⁷⁰⁾ Journ. f. Gasbel. u. Wasserv. 1910, S. 416.



Черт. 282 и 283.



Черт. 284—287.

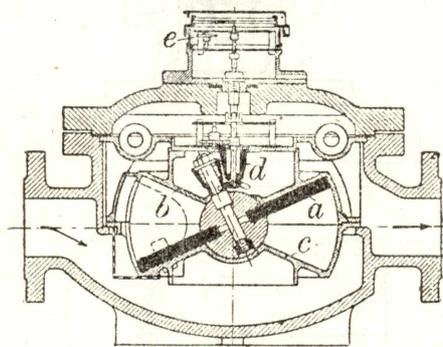
ками чугунныхъ поршня *I* и *II* ходятъ въ бронзовыхъ втулкахъ цилиндровъ; плотность поршней достигается только точной приточкой. Поршни связаны другъ съ другомъ при помощи шатуновъ и общаго вала съ кривошипами, насаженными подъ угломъ 90° одинъ къ другому. Этотъ же валъ приводитъ въ дѣйствіе счетчикъ, являющійся въ сущности счетчикомъ оборотовъ. Вода поступаетъ и подъ поршни и сверху нихъ; притокъ и выпускъ въ каждый изъ цилиндровъ регулируется сосѣднимъ поршнемъ. Путь воды въ приборѣ довольно сложенъ, но все же его можно прослѣдить по стрѣлкамъ на черт. 284 и 285; нужно при этомъ имѣть въ виду, что каждый изъ поршней имѣетъ вверху два параллельныхъ канала, а внизу два канала, лежащихъ накрестъ; эти каналы и являются распределительными органами; въ корпусѣ прибора каналъ *a* ведетъ въ пространство *A* надъ поршнемъ *I*, каналъ *b* въ *B* подъ *I*; такимъ же образомъ каналъ *c* въ *C* надъ *II*, а каналъ *d* въ *D* подъ *II*; разумѣется, стѣнка *x—y* не плоская, а косая, черт. 284; *e* мѣсто для масленки. Приборъ при нормальномъ расходѣ дѣлаетъ отъ 30 до 40 обор./мн..

Водомѣръ этотъ дѣлается заводомъ 10 различныхъ размѣровъ, для расхода отъ 1,2 до 90 м.³/ч.. Точность его около $\pm 1,0$ и не менѣе $\pm 1,5\%$ при условіи включенія его въ сѣть въ нагнетательную линію; во всасывающей онъ даетъ преуменьшенныя показанія. Онъ можетъ работать не только холодной, но и подогрѣтой водой—до $+80$ и даже $+100^\circ\text{C}$.

По сравненію съ водомѣрами скоростными поршневые, превосходя ихъ въ точности, обладаютъ слѣдующими недостатками: они не могутъ работать съ грязной водой, чувствительны къ колебаніямъ температуры и рѣзкимъ толчкамъ давленія въ трубопроводѣ; затѣмъ потеря напора въ нихъ больше, чѣмъ въ скоростныхъ приборахъ; наконецъ, они значительно болѣе громоздки и дороги.

Дисковые водомѣры, очень распространенные въ Америкѣ, стали постепенно получать распространеніе и въ Европѣ.

Водомѣръ системы Томсона завода Сименсъ и Гальске изображенъ на черт. 288. Онъ состоитъ изъ диска *a*, лежащаго наклонно между



Черт. 288.

двумя коническими поверхностями *b* и *c*, вершины которыхъ сходятся въ центрѣ диска; дискъ соприкасается съ каждой изъ поверхностей только по одной образующей; подъ дѣйствіемъ давленія вступающей воды дискъ катится по обоимъ конусамъ и этимъ движеніемъ однимъ краемъ вытѣсняетъ воду въ выпускное отверстие, а другимъ засасываетъ воду черезъ выпускное отверстие. Каченіе оси диска около верхняго конуса *d* приводитъ въ

дѣйствіе обычный счетчикъ оборотовъ *e*.

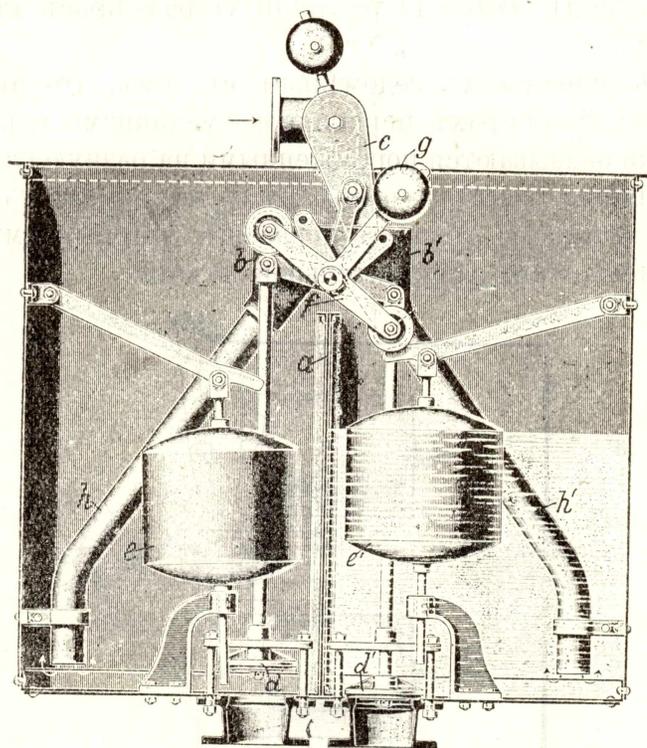
Преимущества дисковых водомѣровъ—нечувствительность къ толчкамъ давленія и колебаніямъ температуры воды. По цѣнѣ и точности показаній они занимаютъ среднее мѣсто между скоростными и поршневыми приборами. Неизбѣжный износъ менѣе отражается на точности показаній, чѣмъ у поршневыхъ водомѣровъ, особенно системы Шмида.

Открытые водомѣры. Хотя всѣ открытые водомѣры по внѣшнему виду производятъ впечатлѣніе объемныхъ, но въ противоположность закрытымъ водомѣрамъ, они при соотв. конструкціи могутъ измѣрять прямо вѣсъ воды, что въ нѣкоторыхъ случаяхъ весьма желательно.

Всѣ многочисленныя конструкціи открытыхъ водомѣровъ можно разбить на двѣ основныхъ группы: на приборы съ неподвижными измѣрительными баками, представляющіе объемные водомѣры, и на приборы съ качающимися измѣрительными баками, изъ которыхъ многіе дѣлаются въ видѣ вѣсовыхъ водомѣровъ.

Приборы съ неподвижными баками исполняются въ большинствѣ случаевъ съ поплавками, открывающими поочередно выпускной клапанъ у баковъ.

На черт. 289 представленъ типичный приборъ этой группы, водомѣръ Рейхлинга. Онъ состоитъ изъ металлическаго бака, раздѣ-



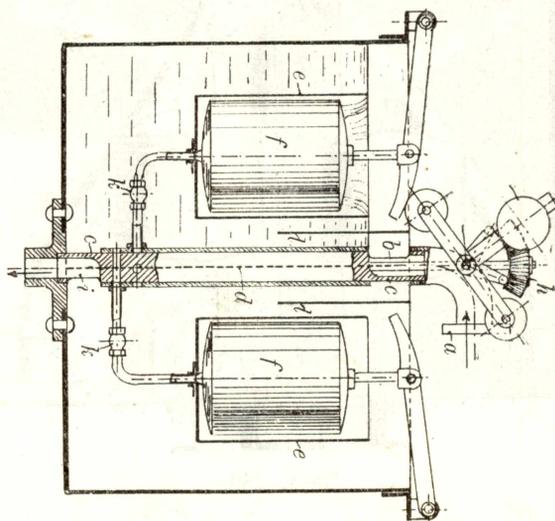
Черт. 289.

ленного перегородкой *a* на двѣ камеры съ равными поперечными сѣченіями; надъ этой перегородкой находятся двѣ воронки *b* и *b'*, направляющія воду въ ту или другую камеру, и механизмъ для соотв. переключенія подачи воды.

Приборъ дѣйствуетъ слѣдующимъ образомъ: вода поступаетъ черезъ качающійся сливъ *c* и воронку *b*, соотв. *b'* въ ту изъ камеръ, выпускной клапанъ *d*, соотв. *d'* на днѣ которой закрытъ; поднимающаяся вода поднимаетъ соотв. поплавокъ *e*, который дѣйствуетъ на роликъ равноплечаго рычага *f*; при помощи груза *g* рычагъ нагруженъ такимъ образомъ, что только, когда поплавокъ *e* окажется весь залитымъ водою, онъ перекинетъ грузъ *g* на другую сторону перегородки *a*; соотв. кинематической связью рычаговъ достигнуто, что это перекидываніе даже при очень медленной подачѣ воды происходитъ очень быстро; перекидываніе груза *g* закрываетъ клапанъ *d* въ пустой камерѣ и открываетъ его въ только что наполнившейся и переводитъ сливъ *c* на соотв. воронку *b* или *b'*. Изъ воронокъ *b* и *b'* вода попадаетъ въ камеры бака не прямо, а ради полученія спокойнаго уровня по трубамъ *h*, *h'*, доводящимъ ее почти до дна бака. Для большей плотности опорныя поверхности клапановъ снабжаются резиновой подкладкой. Приборъ годится для воды любой температуры, но измѣряетъ лишь ея объемъ. Точность его—въ исправномъ видѣ достаточная, примѣрно $\pm 1\%$.

Водомѣръ Шильде отличается отъ только что описаннаго лишь съ конструктивной стороны; такъ, въ немъ два отдѣльныхъ, рядомъ стоящихъ бака, подводъ воды при помощи особаго качающагося лотка и т. д.. Водомѣры Шильде дѣлаются 11 различныхъ размѣровъ для подачи отъ 1 до 60 м.³/час..

Недостатокъ описанныхъ водомѣровъ въ томъ, что при измѣненіи сопротивленій въ шарнирахъ перекидного механизма поплавки въ моментъ перекидки оказываются погруженными на разную глубину, вслѣдствіе чего мѣняется высота уровня воды въ моментъ перекидки, а, слѣдовательно, страдаетъ точность показаній, которыя имѣютъ наклонность къ преуменьшенію дѣйствительной подачи.

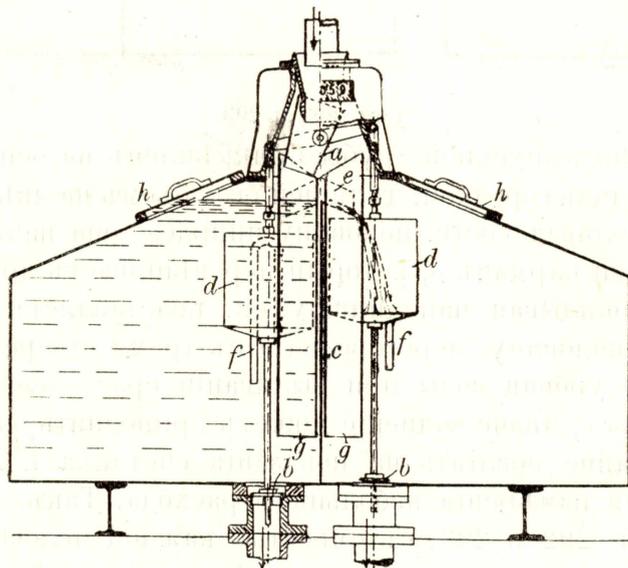


Черт. 290

Въ водомѣрѣ фирмы Торень, черт. 290, этотъ недостатокъ устраненъ: вода, поступающая по патрубку *a*, попадаетъ сквозь вырѣзку *b* въ

трубѣ *c*, служащей краномъ, въ одну изъ двухъ одинаковыхъ камеръ, на которыя раздѣленъ переборкой *d* главный бакъ, и наполняетъ ее до кромки бачка *e*, въ который заключенъ поплавокъ *f*, и затѣмъ начинаетъ переливаться въ *e*; поплавокъ *f* всплываетъ и, перекидывая грузъ *g*, поворачиваетъ при помощи зубчатого сектора и коническаго колеса *h* трубу *c*, благодаря чему вода сквозь отверстие *b* потечетъ въ сосѣдную камеру, а изъ наполнившейся начнетъ стекать черезъ отверстие *i* наружу; вода изъ бачка *a* тоже перетекаетъ въ сосѣдную камеру, пока въ той мало воды, черезъ обратный клапанъ *k* и черезъ соотв. отверстие въ толщѣ крана *c*; стѣнки *l, l* служатъ для поддержанія спокойнымъ уровня воды въ измѣрительныхъ камерахъ. Какъ видно, объемы воды, отсчитываемые счетчикомъ, перескакивающимъ при перекидкѣ, остаются всегда строго постоянными. Слабое мѣсто этого водомѣра—плотность у низа трубы *c*, который долженъ быть притертъ на концѣ; возможная утечка будетъ давать преуменьшенныя показанія, какъ впрочемъ и у всѣхъ другихъ объемныхъ водомѣровъ.

Въ водомѣрѣ Э к а р д т а по черт 291 постоянство измѣряемаго объема достигается тѣмъ, что перекидываніе воронки *a* и открываніе, соотв.

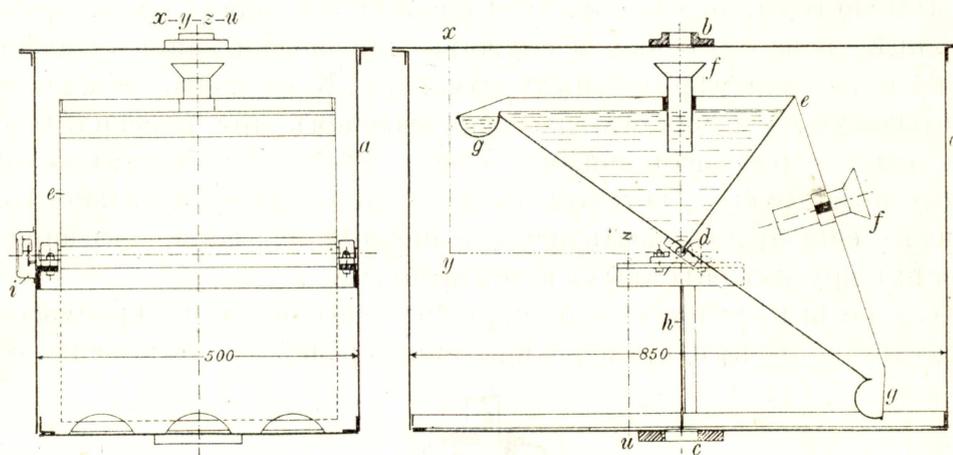


Черт. 291.

закрываніе спускныхъ клапановъ *b, b* производится тѣмъ, что вода, наполнивъ соотв. камеру, начинаетъ переливаться черезъ среднюю переборку *c* по желобу *e* въ сосѣдную камеру и попадаетъ при этомъ въ сосудъ *d*, который, наполнившись, своей тяжестью дѣйствуетъ на перекидной механизмъ; при опоражниваніи камеры вода удаляется изъ сосуда *d* сифономъ *f*. Измѣрительные баки у этого водомѣра дѣлаются закрытыми съ наклонными верхними днищами; благодаря этому водомѣромъ можно пользоваться для измѣренія даже очень горячей воды, не опасаясь, что парообразование замѣтно исказитъ показанія прибора; съ другой стороны, благодаря наклону днища поверхность свободнаго

уровня воды въ моментъ перекидыванія сравнительно невелика, что весьма желательна въ смыслѣ точности. Трубки g, g служатъ для полученія спокойнаго уровня воды. Для осмотра и очистки измѣрительныхъ камеръ въ верхнихъ днищахъ дѣлаются крышки h, h , привертываемыя на шпилькахъ. Водомѣръ строится 10 различныхъ размѣровъ для наибольшаго нормальнаго пропуска отъ 1 до 60 м.³/час..

Изъ приборовъ съ качающимися баками можно указать какъ одинъ изъ самыхъ простыхъ водомѣровъ того же завода Экардтъ по черт. 292 и 293: въ желѣзномъ клепанномъ ящикѣ a съ фланцами b для

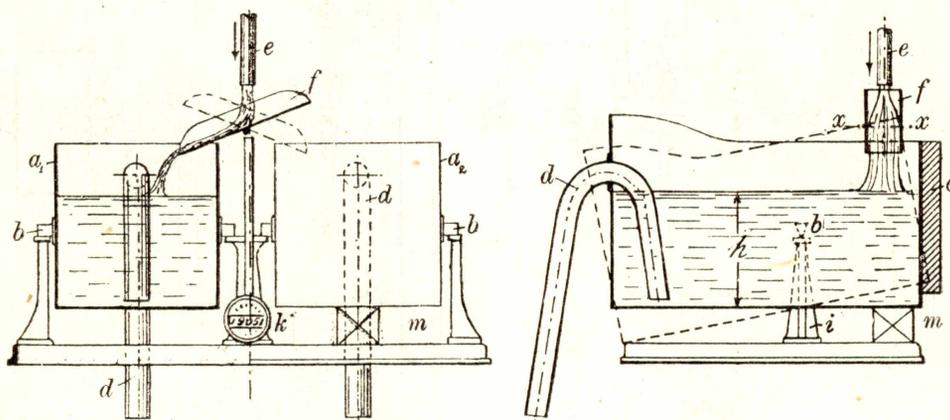


Черт. 292 и 293.

впускной и c для выпускной трубы прикрѣпленъ на оси d ящикъ e съ воронками f, f и перегородкой, дѣлящей его объемъ на двѣ равныя части. Когда вода наполнитъ соотв. половину ящика e , она начинаетъ переливаться въ боковой карманъ g , который перевѣшиваетъ другую половину ящика, и, опрокидывая наполнившуюся, подставляетъ подъ притокъ воды b вторую половину; перегородка h съ тремя отверстиями служитъ для успокоенія уровня воды при выливаніи сразу всего содержимаго половины ящика e , иначе волненіе можетъ приподнять опущенный край ящика и случайно повліять на показанія счетчика i . Приборъ этотъ назначается для измѣренія небольшого расхода. Такъ, размѣръ, показанный на черт. 292 и 293, съ емкостью каждой половины въ 20 лтр. можетъ пропускать до $1,2 \div 2,0$ м.³/ч.. Строятся приборы 7 размѣровъ для нормальнаго пропуска отъ 0,18 до 3,0 м.³/ч.. Приборъ этотъ относится къ объемнымъ водомѣрамъ. Недостатокъ ихъ—при большой подачѣ показанія получаютъ нѣсколько преуменьшенными.

На черт 294—295 изображенъ приборъ Лейнера, изготовляемой заводомъ Дангауеръ и Кайзеръ въ Москвѣ: оба мѣрныхъ бака a_1 и a_2 покоятся на остріяхъ призмъ b, b ; ось качанія дѣлитъ каждый изъ баковъ на неравныя по объему части; спереди къ бакамъ прикрѣплены противовѣсы c, c , и находится счетчикъ k ; сзади изъ баковъ выведены сифонныя трубки d, d . Вода поступаетъ изъ трубы e въ наклонный желобъ f , который можетъ качаться около оси $x-x$. Противовѣсы c, c рассчитаны

такъ, что пока въ наполняющійся бакъ не затечетъ опредѣленное по вѣсу количество воды, бакъ стоитъ на подставкѣ *m*, при дальнѣйшемъ же притеканіи воды равновѣсіе сразу нарушается, бакъ наклоняется назадъ, и вода вытекаетъ черезъ сифонъ *d* въ расходный резервуаръ; одновременно съ этимъ бакъ перекачиваетъ желобъ *f* для подачи воды въ сосѣдній бакъ; когда вода изъ перваго бака вытечетъ, противовѣсъ *c* приведетъ его снова въ горизонтальное положеніе. Каждый изъ бачковъ



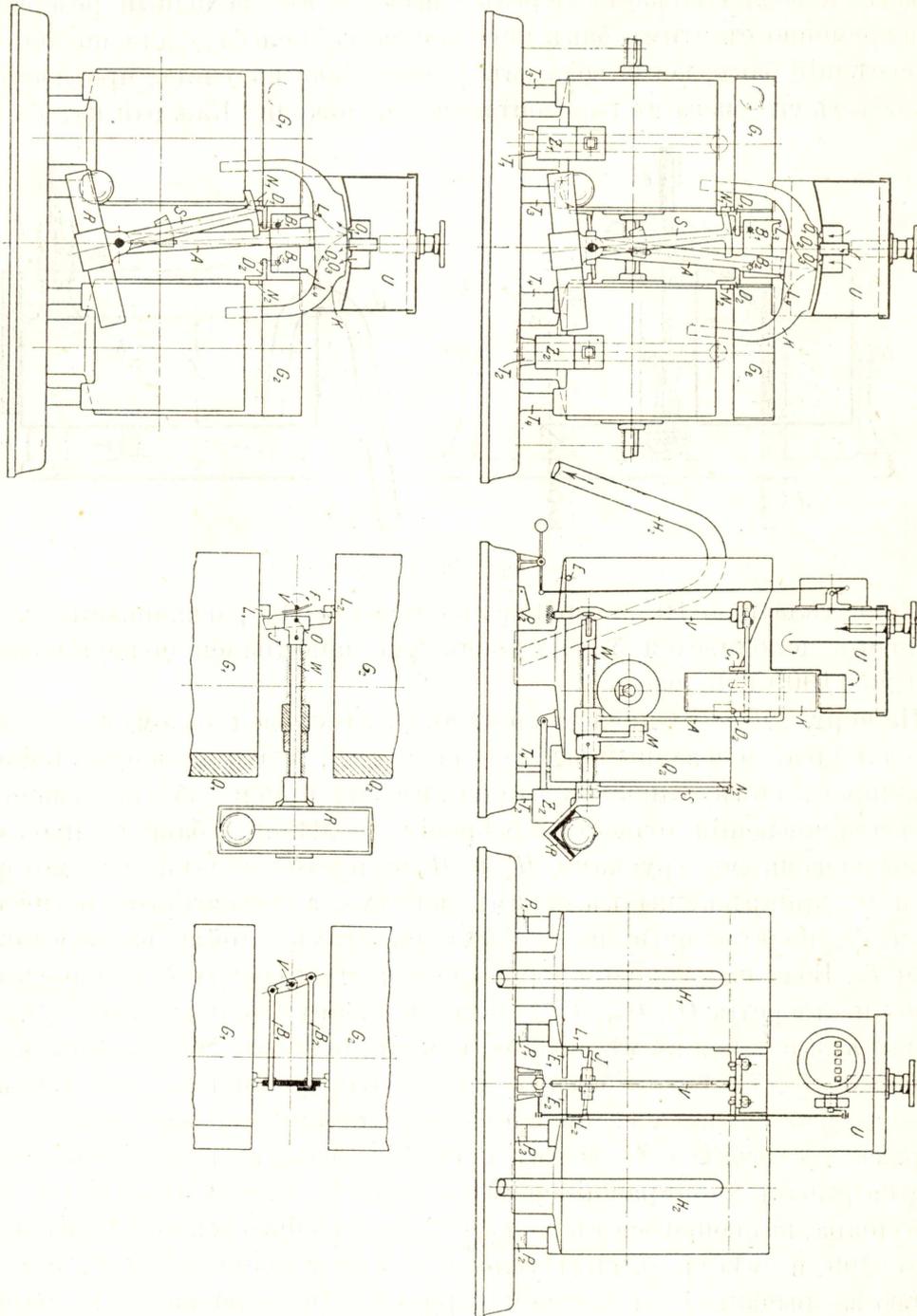
Черт. 294 и 295.

можетъ дѣлать до 10, въ крайнемъ случаѣ до 15 раскачиваній въ часъ. Приборъ исполняется 5 размѣровъ для наибольшей подачи воды отъ 700 до 11000 кгр./час..

На черт. 296—301 представленъ въ $\frac{1}{6}$ натур. вел. водомѣръ Ш т е й н м ю л л е р а, основанный на той же схемѣ, что и приборъ Лейнерта, но лишь съ тѣмъ отличіемъ, что онъ имѣетъ приспособленія, значительно увеличивающія точность измѣренія ⁷⁰⁾. Мѣрные баки G_1 и G_2 снабжены сифонными трубками H_1 и H_2 и противовѣсами, изъ которыхъ Q_1 и Q_2 прикрѣплены къ бакамъ наглухо, а добавочные противовѣсы Z_1 и Z_2 , подвѣшенные на особыхъ рычагахъ, стоятъ на подставкахъ T_1 и T_2 . Вода поступаетъ сперва въ закрытый сосудъ U и черезъ переливы и отверстія O_1 , O_2 , O_3 течетъ въ двойную перекачивающуюся воронку K , а изъ нея въ мѣрный бакъ, напр. G_1 , черт. 296, стоящій на подставкахъ T_3 , T_3 . Когда бакъ G_1 уже почти наполнится, онъ начинаетъ перекачиваться, пока не пройдетъ на величину мертваго хода въ шарнирахъ противовѣса Z_1 . Этимъ первоначальнымъ движеніемъ освобождается рычагъ S , опиравшійся на выступъ N_1 , и подѣ дѣйствіемъ чугуннаго шара, катающагося въ желобѣ R , перекачивается еще болѣе влѣво, черт. 299, и вмѣстѣ съ тѣмъ увлекаетъ при помощи скобы M , черт. 297, влѣво же рычагъ A , къ которому прикрѣплена воронка K , до соприкосновенія со стержнемъ B_1 ; послѣдняя принимаетъ тогда положеніе по черт. 299, т. е. въ бакъ G_1 вода течетъ уже лишь черезъ небольшое отверстіе O_1 , а черезъ O_2 и O_3 течетъ уже въ бакъ G_2 . Когда вѣсъ воды въ

⁷⁰⁾ Z. V. d. I. 1908, S. 1875.

G_1 достигнетъ, наконецъ, точно требуемой величины, онъ преодолеваетъ оба противовѣса Q_1 и Z_1 , и бакъ G_1 перекачивается совсѣмъ, пока не станетъ на подпорки P_1, P_1 ; благодаря этому перекачиванию вода начи-



Черт. 296—301.

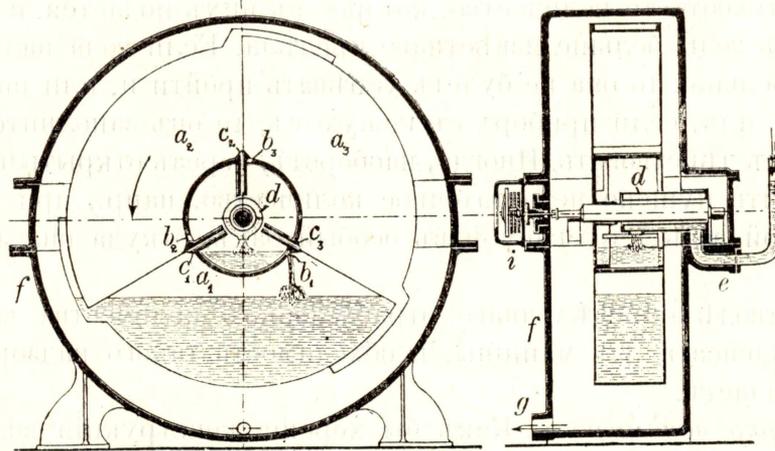
наетъ вытекать по сифону H_1 , кромѣ того, ударомъ угольника D_1 , прикрѣпленнаго къ баку G_2 , обѣ стержень C_1 , составляющій одно съ B_1 , послѣдній отдергивается, и воронка K подѣ дѣйствіемъ шара въ R перекачивается до упора L_3 , такъ что вся вода начинаетъ течь въ G_2 ; нако-

нецъ, при этомъ поворачивается и вертикальный валъ V съ прикрѣпленной къ нему собачкой F , черт. 300, и поворачиваетъ около оси O прикрѣпленной къ валу W рычагъ J , такъ что послѣдній приходится надъ угольникомъ L_1 ; наконецъ, при отодвиганіи стержня B_1 вмѣсто него выдвигается стержень B_2 , черт. 301.

Когда вода изъ бака G_1 вытечетъ, онъ перекачивается въ прежнее положеніе; при этомъ L_1 задѣваетъ за рычагъ J и поворачиваетъ валъ W , а съ нимъ желобъ R , рычагъ S и скобку M до прилеганія къ рычагу A , пока упоръ на S не ударится объ выступъ N_2 .

Указанный на черт. 296—301 водомѣръ имѣетъ полезную емкость баковъ G_1 и G_2 по 12,5 кгр. и предназначается для пропуска до 600 кгр./час.. Точность, за которую ручается заводъ, $\pm 0,1\%$, на самомъ же дѣлѣ еще больше. Такіе приборы дѣлаются и бѣльшихъ размѣровъ, для расхода до 12000 кгр./час..

Въ заключеніи упомянемъ еще о своеобразномъ объемномъ водомѣрѣ для горячей воды завода братьевъ Сименсъ, черт. 302—303:



Черт. 302 и 303.

на оси закрѣпленъ круглый цилиндрическій барабанъ, внутренняя полость котораго раздѣлена перегородками на три равныхъ камеры, a_1 , a_2 , a_3 ; вода поступаетъ черезъ патрубокъ c_1 , полую втулку d и щель b_1 , черт. 302, пока камера a_1 не заполнится; тогда вода начинаетъ поступать черезъ щель b_2 въ камеру a_2 , лѣвая часть барабана оказывается болѣе тяжелой, и онъ поворачивается противъ часовой стрѣлки; камера a_2 продолжаетъ наполняться, а a_1 опоражняется. Затѣмъ такъ же наполняется камера a_3 , а a_2 опоражняется и т. д. Просверленные штуцера c_1 , c_2 , c_3 служатъ для удаленія воздуха при наполненіи соотв. камеры. Изъ кожуха f вода стекаетъ по трубѣ, привертываемой къ отверстию g . Водомѣръ этотъ строится 3 размѣровъ, для наибольшаго пропуска въ 200, 600 и 1200 лтр./ч..

Онъ относится къ открытымъ водомѣрамъ, такъ какъ наружный кожухъ служитъ лишь для предупрежденія механическихъ поврежденій и испаренія воды, но не участвуетъ въ измѣреніи.

Общая замѣчанія объ открытых водомѣрахъ. Открытые водомѣры иногда ставятся свободно съ видимымъ притокомъ и выпускомъ воды, иногда, напр., приборы по черт. 290, 292 и 302, могутъ быть включаемы въ водопроводную линію, какъ закрытые водомѣры, но съ той разницей, что вода въ трубѣ не можетъ находиться подъ давленіемъ, а отходящая труба не можетъ быть вся заполнена водой. Этимъ ограничена ихъ область примѣненія; зато въ нѣкоторыхъ случаяхъ, напр., при измѣреніи горячей воды, и притомъ разной температуры, они незамѣнимы. Другое ихъ достоинство въ томъ, что потеря напора въ нихъ сравнительно невелика, именно равна высотѣ прибора и притомъ остается всегда постоянной. Затѣмъ они учитываютъ любое, самое малое количество воды и вмѣстѣ съ тѣмъ могутъ измѣрять не только объемъ, но и прямо вѣсъ и притомъ съ точностью, недостижимой другими приборами. Наконецъ, даже послѣ долгаго пользованія они не могутъ измѣнить особенно ощутительно своихъ показаній.

Къ ихъ недостаткамъ надо отнести то, что они требуютъ извѣстнаго надзора, такъ какъ не могутъ сами измѣнять расходъ воды, а лишь перерабатываютъ то количество, которое въ нихъ подается, и не могутъ пропускать воды больше извѣстнаго предѣла. Если вода начнетъ подаваться больше, то она не будетъ успѣвать пройти и, или потечетъ черезъ край, или, если приборъ съ кожухомъ, то онъ заполнится водой и перестанетъ дѣйствовать. Иногда, наоборотъ, черезъ открытый водомѣръ можетъ быть пущено недостаточное количество, напр., при измѣреніи питательной воды, спускаемой въ особый бакъ, откуда она забирается насосомъ.

При отводѣ опредѣленнаго отработавшаго количества воды, какъ напр., конденсата изъ машины, необходимость такого надзора обыкновенно отпадаетъ.

Проверка водомѣровъ. Какъ бы хороша конструкція водомѣра ни была, но показанія его зависятъ отъ скорости прохожденія воды, т. е. отъ ея количества. Въ виду этого при болѣе точныхъ измѣреніяхъ надо проградуировать водомѣръ при разныхъ скоростяхъ и вводить соотв. поправку. Проверка производится такимъ образомъ, что собираютъ пропускаемую черезъ водомѣръ воду за извѣстный промежутокъ времени, а въ открытыхъ водомѣрахъ за извѣстное число наполненій измѣрительныхъ баковъ, и или взвѣшиваютъ ее или измѣряютъ по объему особыми мѣрными баками.

35. Другіе способы измѣренія воды.—При приѣмочныхъ испытаніяхъ приходится часто по-неволѣ, а при заводскихъ и лабораторныхъ испытаніяхъ иногда добровольно предпочитаютъ измѣрять подачу или расходъ воды не водомѣрами, а другими способами. Объясняется это для первыхъ испытаній—сравнительной дешевизной соотв. устройствъ, а для вторыхъ—большей наглядностью производимыхъ измѣреній. Для періодическаго, а тѣмъ болѣе для непрерывнаго наблюденія эти спосо-

бы менѣе удобны, чѣмъ водомѣры, такъ какъ требуютъ болѣе сложнаго обслуживанія.

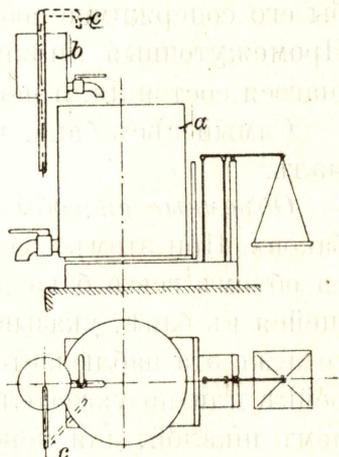
Способы, которые мы имѣемъ въ виду, можно такъ же, какъ и водомѣры, разбить на двѣ основныя группы: на вѣсовые и на объемныя; послѣдніе въ свою очередь распадаются на простые объемныя и на основанныя на скорости истеченія изъ калиброванныхъ отверстій, предложенныя Панселэ; соотв. приборы называются также *д а н а и д а м и*.

Вѣсовые способы являются самыми точными, удобными, и пожалуй, и распространенными; впрочемъ на практикѣ приходится отъ нихъ часто отказываться за неимѣніемъ соотв. вѣсовъ, которые иногда требуются значительной подъемной силы.

Простѣйшій способъ—это періодическое взвѣшиваніе, пользуясь однимъ бакомъ, который стоитъ на соотв. вѣсахъ. Уравновѣсивъ бакъ на вѣсахъ, пускаютъ въ него измѣряемую воду; по истеченіи опредѣленнаго промежутка времени, 5 или 10 мин., прекращаютъ пускъ воды въ бакъ и взвѣшиваютъ его; прибыль вѣса и есть вѣсъ воды. Если бакъ достаточно большой, то пускаютъ въ него воду вновь, и второй вѣсъ отсчитываютъ отъ этого взвѣшиванія, въ противномъ случаѣ сперва выпускаютъ воду и вновь уравновѣшиваютъ бакъ. Время удобнѣе всего измѣрять секундомѣромъ съ арретировкой, но можно и по обыкновеннымъ часамъ съ секундной стрѣлкой. Что касается перерывовъ между пускомъ воды въ бакъ, то здѣсь надо различать два случая: если измѣряется вода до работы, напр., для питанія парового котла, то на эти перерывы притокъ ея совсѣмъ прекращается; если измѣряется отработавшая вода, то во время перерывовъ она просто спускается безъ измѣренія. Чтобы перерывы были меньше, бакъ надо снабжать выпускнымъ краномъ возможно большаго діаметра.

Однако при помощи однихъ вѣсовъ можно измѣрять расходъ воды и непрерывно; для этого нужно лишь имѣть второй вспомогательный бакъ *b*, стоящій надъ первымъ, черт. 304 и 305; труба, подающая воду, оканчивается поворотнымъ колѣномъ *c*, присоединеннымъ на американской муфтѣ. На время взвѣшиванія главнаго бака *a* вода подается въ *b*, содержимое котораго затѣмъ выпускается тоже въ *a* и взвѣшивается съ слѣдующей порціей. Емкость бака *b* должна быть не менѣе подачи за періодъ взвѣшиванія и соотв. опоражниванія бака *a*.

Можно обойтись и безъ поворотнаго колѣна *c* и пускать воду непрерывно въ бакъ *b*, снабдивъ послѣдній спускнымъ краномъ значительно большаго діаметра, чѣмъ труба, по которой подается вода; тогда въ періоды, когда кранъ у *b* будетъ открытъ, вода будетъ проходить черезъ



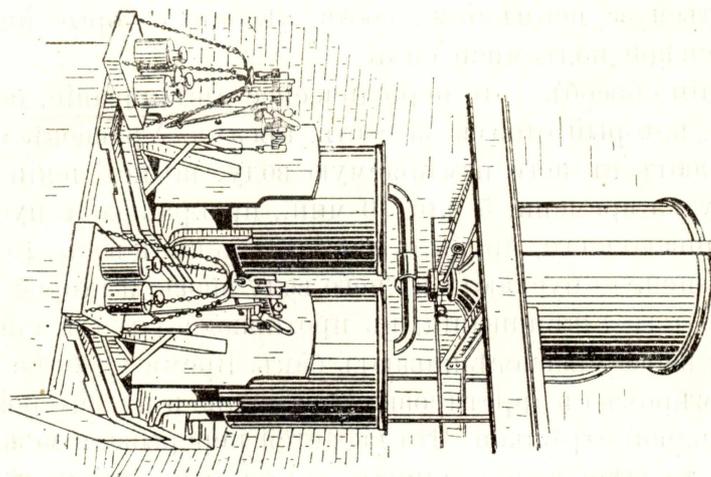
Черт. 304 и 305.

бакъ *b*, не задерживаясь, и онъ будетъ служить лишь какъ бы воронкой; въ періоды взвѣшиванія, когда кранъ закрытъ, вода будетъ собираться въ *b*, но послѣ его открытія быстро стечетъ въ *a*.

Еще спокойнѣе производить взвѣшиваніе воды, когда имѣется 2 вѣсовъ съ баками; тогда воду пускаютъ по-очередно то въ одинъ бакъ, то въ другой при помощи поворотнаго колѣна.

На черт. 306 показано приспособленіе, употреблявшееся Юссе для взвѣшиванія конденсата, получавшагося изъ отработавшаго пара турби-

Черт. 306.



ны въ 1000 л. с. послѣ прохожденія поверхностнаго холодильника⁷¹⁾: конденсатъ поступаетъ непрерывной струей въ верхній бакъ, а отсюда черезъ двухходовой кранъ *a* по-очередно въ одинъ изъ двухъ баковъ, стоящихъ на вѣсахъ. Въмѣсто двухходового крана можно, конечно, пользоваться или поворотнымъ колѣномъ или даже перекачивающимся желобомъ, которые мы видѣли выше у открытыхъ водомѣровъ. Вообще для точности опредѣленія расхода воды полезно брать бакъ побольше, чтобы его содержимое соотвѣтствовало болѣе продолжительному времени. Промежуточные взвѣшиванія служатъ тогда для контроля установившагося состоянія, и неизбежныя ошибки взвѣшиванія не суммируются.

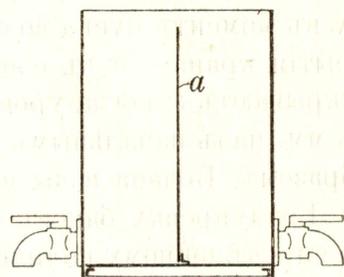
Самый вѣсъ бака, такъ назыв., тара, долженъ быть по возможности малъ.

Объемные способы не требуютъ вѣсовъ, а только градуированныхъ баковъ. При этомъ градуировка можетъ быть двоякая: или опредѣляется объемъ всего бака до извѣстной мѣрки, или объемъ воды, содержащейся въ бакѣ, указывается въ любой моментъ высотой ея уровня, высота же эта наблюдается или непосредственно по погруженной въ бакъ рейкѣ или по указательному водомѣрному стеклу съ находящейся при немъ шкалой; для ясности отчетовъ діаметръ стеклянной трубки долженъ быть не менѣе 10 или, лучше, 15÷20 мм..

Схемы измѣренія непрерывно текущей воды остаются тѣ же, что и при вѣсовыхъ способахъ, съ той разницей, что градуированный бакъ за-

⁷¹⁾ Z. V. d I. 1910, S. 125.

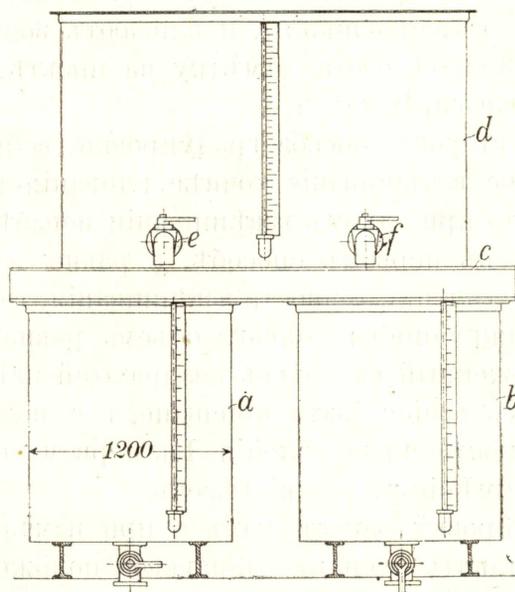
мѣняетъ бакъ на вѣсахъ. Другая разница въ случаѣ, если извѣстно лишь полное содержаніе бака, въ томъ, что пускаютъ воду не въ теченіе какого-нибудь произвольнаго промежутка времени, а, наоборотъ, измѣряютъ при помощи секундомѣра время, потребное для наполненія бака; производить въ этомъ случаѣ отчетъ времени по обыкновеннымъ часамъ неудобно, надо пользоваться секундомѣромъ съ арретировкой. Даже довести уровень воды точно до определенной мѣтки довольно трудно, поэтому измѣреніе производится гораздо точнѣе при помощи бака по черт. 307: желѣзный клепанный бакъ дѣлится перегородкой *a*, немного не доходящей до верха, на двѣ примѣрно равныя части, объемъ которыхъ опредѣляется каждой отдѣльно. Когда одна половина бака наполнится, вода начнетъ переливаться черезъ верхъ перегородки *a* въ другую половину, притокъ воды переводятъ на эту послѣднюю, а первую спускаютъ, когда уровень воды въ ней успокоится; когда вторая половина наполнится, вода потечетъ въ первую и т. д..



Черт. 307.

При измѣреніи большого расхода воды, когда желательны еще промежуточные отчеты, приходится пользоваться соотв. большими баками, градуировка которыхъ на мелкія дѣленія очень кропотлива, да и неособенно точна; въ этомъ случаѣ целесообразно пользоваться еще дополнительной шкалой, раздѣленной на мм..

На черт. 308 изображено приспособленіе, употреблявшееся Каммереромъ для измѣренія конденсата турбины въ 2000 л. с. ⁷²⁾: на клепан-



Черт. 308.

ныхъ квадратныхъ бакахъ *a* и *b* стоитъ на двуглавыхъ балкахъ *c* продолговатый бакъ *d*; послѣдній имѣетъ 2 крана *e* и *f* для перепусканія

⁷²⁾ Buchetti, N. guide. p. 187.

воды въ a и b , а тѣ по одному спускному крану; всѣ три бака имѣютъ водомѣрныя стекла и шкалы, градуированныя вливаніемъ по 100 лтр. воды; при достаточно вертикальныхъ стѣнкахъ, т. е., постоянномъ поперечномъ сѣченіи баковъ при этомъ нетрудно вычислить постоянную же по высотѣ цѣну 1 мм. шкалы въ лтр. для баковъ a и b . Измѣреніе ведется слѣдующимъ образомъ: когда работа турбины установится, пускаютъ конденсатъ изъ бака d въ порожній бакъ, напр. a ; замѣчаютъ уровень воды въ a и d ; ко времени истечения 5÷8 мин., измѣряемыхъ по секундомѣру, подводятъ уровень въ d по возможности точно къ бывшему въ моментъ пуска воды въ a при помощи большого или меньшаго открытія крана e и въ соотв. моментъ совсѣмъ закрываютъ послѣдній и открываютъ f ; когда уровень въ a успокоится, измѣряютъ его повышение въ мм. надъ начальнымъ и спускаютъ воду; съ b поступаютъ такимъ же образомъ. Подача воды вычисляется по цѣнѣ 1 мм. въ лтр..

Градуировку баковъ производятъ слѣдующимъ образомъ: вливаютъ по опредѣленному количеству воды, 5 до 100 лтр., смотря по емкости бака,—отъ $\frac{1}{20}$ до $\frac{1}{50}$ его объема—и отмѣчаютъ на шкалѣ послѣдовательныя положенія уровня и соотв. вѣса влитой воды. Болѣе мелкія дѣленія можно получать, дѣля промежутки между сосѣдними отмѣтками на шкалѣ еще на нѣсколько равныхъ частей.

Если имѣются десятичныя или хотя бы сотенныя вѣсы, на которыхъ можно вывѣсить весь бакъ, наполненный водой, то градуировку точнѣе дѣлать слѣдующимъ образомъ: уравниваютъ на вѣсахъ пустой бакъ, тару, наливъ въ него воду и выпустивъ ее затѣмъ; затѣмъ накладываютъ гири, соотвѣтствующую количеству воды, равному одному искомому главному дѣленію шкалы, и вливаютъ воду, пока не наступитъ равновѣсія, дѣлаютъ соотв. отмѣтку на шкалѣ; затѣмъ добавляютъ вторую такую же гири и т. д..

Преимущество второго способа градуировки, во-первыхъ, въ томъ, что непосредственное взвѣшиваніе точнѣе вливанія воды изъ другого сосуда, а затѣмъ, что при такомъ взвѣшиваніи неизбѣжныя ошибки не суммируются, какъ въ первомъ способѣ, а равны для каждаго вѣса, считая отъ нулевого дѣленія, точности взвѣшиванія, тогда какъ при первомъ способѣ средняя ошибка полнаго объема равна ошибкѣ полнаго взвѣшиванія, помноженный на корень квадратный изъ числа главныхъ дѣленій; поэтому ихъ лучше брать поменьше, т. е. покрупнѣе и отдѣльно опредѣлять промежуточные дѣленія. Къ первому способу надо прибѣгать лишь за неимѣніемъ соотв. вѣсовъ.

Какъ при градуировкѣ баковъ, такъ и при измѣреніи ими подачи воды надо всегда ставить баки въ одинаковое положеніе, проще всего вывѣрять по уровню или подставку для бака или его верхній край. Затѣмъ при отчетѣ объема надо слѣдить, чтобы уровень воды былъ спокоенъ, для этого лучше подводить ее не открытой струей, а по трубѣ, достающей почти до дна. Наконецъ, не надо забывать поправки на удѣль-

ный объемъ воды, если ея температура замѣтно отличается отъ температуры воды, которой бакъ былъ градуированъ; разница въ 30° можетъ дать ошибку до 1%.

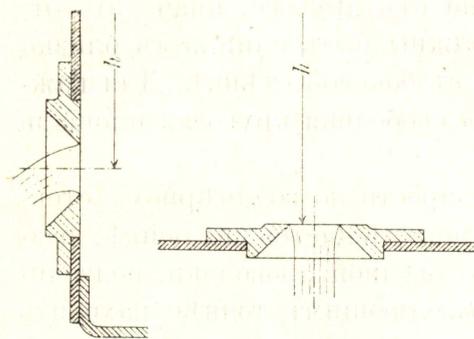
Данаиды. Если сдѣлать въ бакѣ отверстіе близъ дна, то вода будетъ вытекать со скоростью v м./сек., зависящей отъ высоты столба воды h м. отъ уровня до середины отверстія, именно

$$v = \sqrt{2gh}, \quad (56)$$

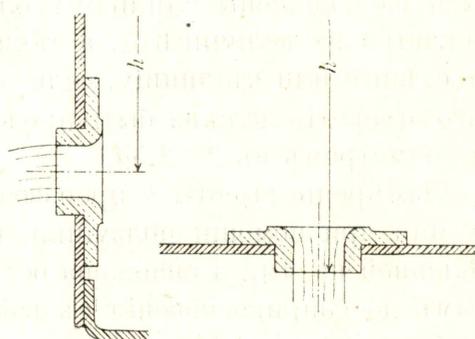
гдѣ $g=9,81$ м./сек. ускореніе силы тяжести. Зная площадь отверстія f въ м.², можно вычислить по h расходъ воды. Однако нужно замѣтить, что расходъ будетъ меньше величины $f \cdot v$, съ одной стороны, вслѣдствіе суженія струи, съ другой, вслѣдствіе того, что дѣйствительная скорость истечения подъ вліяніемъ сопротивленій нѣсколько меньше теоретической по выраженію (56). Совокупное вліяніе обоихъ обстоятельствъ можно учесть, вводя общій коэффициентъ истечения μ . Тогда вытекающій за 1 сек. объемъ, если вынести $2g$ за знакъ корня,

$$V = 4,43 \mu f \sqrt{h}. \quad (57)$$

Величина μ зависитъ отъ очертаній выходнаго отверстія; чѣмъ кромка острѣе, тѣмъ μ меньше. Какъ два предѣльныхъ случая можно считать отверстія по черт. 309—310 и 311—312; для острой кромки по черт. 309—310 $\mu=0,615$, для цилиндрическаго отверстія съ хорошо



Черт. 309 и 310.



Черт. 311 и 312.

закругленнымъ входнымъ устьемъ, черт. 311—312, μ можетъ дойти до 0,99. Въ виду того, что острые кромки съ теченіемъ времени неизбежно измѣняются, выкрашиваются, сминаются и т. д., что замѣтно отражается на величинѣ μ , а также и на f , лучше пользоваться отверстіями по черт. 311—312. Отверстія съ острой кромкой дѣлаются чаще всего въ боковыхъ стѣнкахъ баковъ, черт. 310, а съ закругленной—въ днищѣ, черт. 312; послѣднее расположеніе цѣлесообразно еще и тѣмъ, что при немъ удобно снабжать отверстія пробками, напр., по черт. 313 или 318, что особенно важно при наличности нѣсколькихъ отверстій.

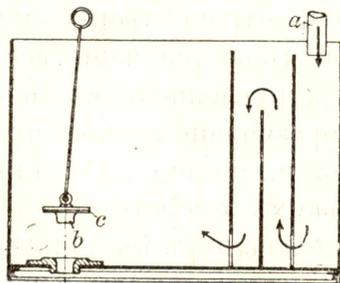
При пользованіи сопломъ по черт. 312, расположеннымъ въ днищѣ, высоту напора h надо измѣрять отъ конца сопла, гдѣ струя его покидаетъ. Однако цилиндрическую часть сопла не слѣдуетъ дѣлать слиш-

комъ длинной, именно болѣе $0,5 d$, иначе при указанномъ измѣреніи h величина μ получится преуменьшенной и притомъ окажется не постоянной для даннаго сопла, а переменной, именно, возрастающей съ увеличеніемъ h , что, конечно, невозможно. Впрочемъ, при пользованіи приборомъ со шкалой, полученной непосредственной градуировкой, это обстоятельство не имѣетъ значенія, но зато заставляетъ настаивать на такой градуировкѣ при всѣхъ точныхъ измѣреніяхъ.

Что касается соотношенія размѣровъ, то нужно замѣтить, что высота слоя воды h должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше діаметръ отверстія d ; во всякомъ случаѣ она должна быть такова, чтобы истечение отнюдь не отражалось и не было замѣтно на свободномъ уровнѣ воды. Такъ какъ абсолютная величина ошибки въ измѣреніи h , одинаковая при любомъ h , относительно уменьшается съ увеличеніемъ h , то величину h желательно имѣть возможно большой. Размѣръ d дѣлается отъ 5 и до $30-40$ мм. и еще болѣе, смотря по расходу и напору. При большомъ расходѣ удобно вмѣсто одного большого отверстія дѣлать нѣсколько отверстій средняго размѣра, такъ какъ ихъ легче градуировать; отверстія дѣлаютъ или всѣ одинаковаго діаметра, устанавливая требуемое соотношеніе между v и h открытіемъ соотв. числа отверстій, или разнаго діаметра, что облегчаетъ указанную установку, но затрудняетъ градуировку отверстій и вычисленіе расхода.

При пользованіи нѣсколькими отверстиями, послѣднія не должны быть расположены слишкомъ близко одно отъ другого, иначе это отражается на величинѣ μ , а также не должны быть слишкомъ близко къ стѣнкѣ или къ днищу, если отверстие въ боковой стѣнкѣ. Для каждаго отверстія должна быть предоставлена свободная круговая площадь съ діаметромъ въ $2-2,5d$.

Измѣреніе высоты h производятъ или просто по водомѣрному стеклу или при помощи ползушки, которая перемѣщается по рейкѣ, раздѣленной на мм., и снабжена остриемъ изъ мѣдной проволоки, подводимымъ до соприкосновенія съ водой и позволяющимъ точнѣе находить требуемое положеніе ползушки. Еще лучше дѣлать острие на концѣ загнутаго кверху крючка; вслѣдствіе смачиванія мѣди водой острие, прежде чѣмъ выйти изъ воды, подниметъ на уровнѣ ея бугорокъ, замѣтный уже при высотѣ его въ $0,1$ мм..



Черт. 313.

Для правильнаго измѣренія высоты h очень важно, чтобы уровень воды былъ возможно спокоенъ; съ этой цѣлью полезно снабжать бакъ рядомъ перегородокъ, черт. 313; сопротивленія при прохожденіи отверстій въ перегородкахъ и многократное измѣненіе направленія движенія воды уничтожаютъ ея живую силу и успокаиваютъ уровень надъ измѣрительными отверстиями. На черт. 313 показана

еще пробка b для закрыванія отверстій; пробка снабжается резиновой подкладкой c и, прижимаемая давленіемъ воды, даетъ требуемую плотность.

Хотя выше мы указали величины μ для двухъ наиболѣе часто примѣняемыхъ отверстій, все же надежнѣе опредѣлять или μ или прямо V непосредственной градуировкой, улавливая и взвѣшивая воду, вытекающую при нѣкоторомъ постоянномъ h за извѣстный промежутокъ времени. Затѣмъ, опредѣливъ такимъ способомъ V или и прямо вѣсъ G при извѣстной температурѣ t° для различныхъ h , вычерчиваютъ кривую G въ функціи h . Такая кривая сильно сокращаетъ работу при испытаніяхъ.

Если градуируется бакъ съ нѣсколькими отверстіями, то улавливаніе воды для взвѣшивания надо дѣлать поочередно для всѣхъ отверстій, такъ какъ отверстія, повидимому, даже съ одинаковымъ діаметромъ и одинаковыми кромками могутъ дать нѣсколько разныхъ расходъ. Улавливаніе и отводъ воды въ этомъ случаѣ удобно производить при помощи воронки съ отогнутой въ сторону довольно длинной сливной трубой.

Достигнуть при болѣе продолжительномъ опытѣ вполнѣ постоянной высоты h часто невозможно, тогда надо, измѣривъ h черезъ равныя, небольшіе промежутки времени, черезъ 1 до 3 и даже 5 мин., вычислять V по среднему h_c . Но такъ какъ между V и h зависимость не линейная, то согласно ур-ія (57) точная средняя величина найдется какъ квадратъ средней арифметической корней квадратныхъ изъ отдѣльныхъ измѣренныхъ h_i , т. е. если было сдѣлано i измѣреній,

$$h_c = \left(\frac{\sum \sqrt{h_i}}{i} \right)^2. \quad (58)$$

Впрочемъ, если колебанія высотъ h не болѣе $\pm 5\%$ отъ средней величины, то вмѣсто вычисления h_c по выраженію (58) можно брать за h_c прямо среднюю арифметическую изъ всѣхъ отчетовъ. Все же и въ этомъ случаѣ ошибка можетъ дойти до 1% и притомъ будетъ всегда положительна.

Вмѣстѣ съ тѣмъ нужно обращать вниманіе, чтобы въ моментъ окончанія измѣренія высота h_0 была та же, что и h_1 въ началѣ; въ противномъ случаѣ объемъ V будетъ вычисленъ невѣрно на величину, соответствующую разности высотъ, и къ V , найденному по ур-іямъ (58) и (57), надо добавить величину $(h_0 - h_1) \cdot F$, гдѣ F площадь сѣченія бака въ м.², предполагая, что онъ цилиндрической.

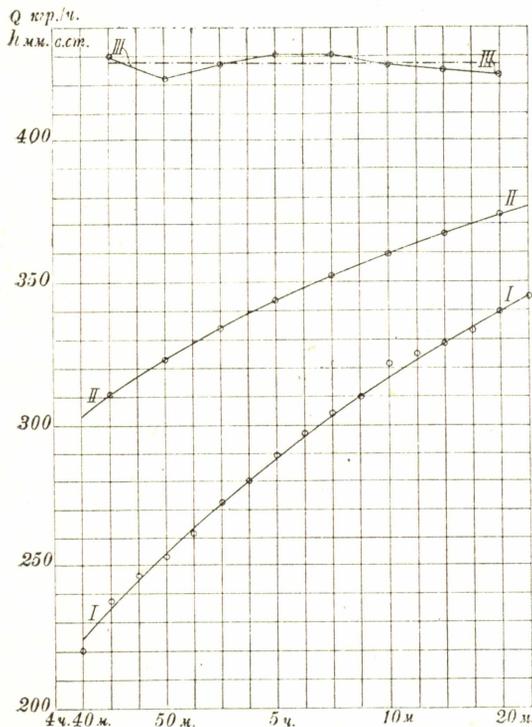
Аналогичную поправку надо вводить и въ промежуточные отчеты, если хотятъ не только знать расходъ за опредѣленный промежутокъ времени, но и прослѣдить, насколько расходъ былъ постояненъ. Если относить расходъ не къ 1 сек., а къ 1 часу и выразить его не въ м.³, а

въ кгр., то вычисленіе часового расхода при переменномъ h можно дѣлать по выраженію

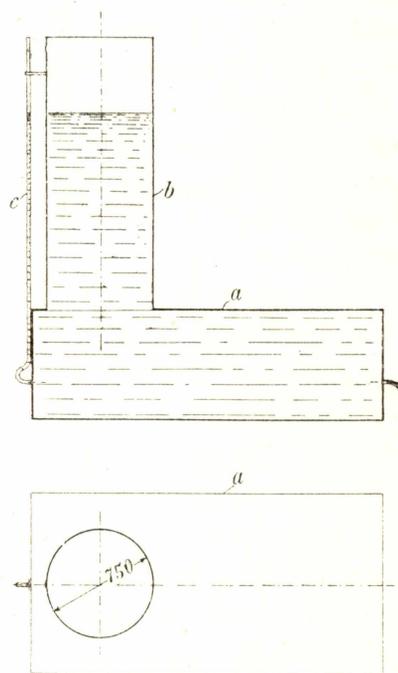
$$G = 3600000 \left(4,43 \mu f \sqrt{h} + F \frac{\Delta h}{\Delta t} \right), \quad (59)$$

гдѣ Δh измѣненіе высоты за время Δt ск. между двумя послѣдовательными отчетами.

Насколько вычисленіе G по выраженію (59) даетъ точныя величины, можно видѣть изъ слѣдующаго примѣра ⁷²⁾: во время испытанія турбины въ 300 кв. измѣрялся расходъ пара, точнѣе сказать, конденсатъ при холостомъ ходѣ при помощи бака съ отверстиями по черт. 315 и 316. За 40 мин. высота h возрасла съ 220 мм. до 345 мм., соотв. величины h указаны на черт. 314, гдѣ онѣ соединены плавной кривой *I*; вычисленныя по этимъ h по ур-ю (57), точнѣе сказать, по первой части ур-я (59) величины G указаны въ видѣ ординатъ кривой *II*; затѣмъ отложены поправки $F \frac{\Delta h}{\Delta t}$, и получилась кривая *III*, дающая какъ полное постоянство расхода во время испытанія, какъ и слѣдовало ожидать, именно, съ точностью $\pm 1,5\%$, такъ и правильную величину средняго расхода въ 428 кгр./час..



Черт. 314.



Черт. 315 и 316.

Какъ мы уже упоминали выше, для точности опредѣленія расхода желательно увеличивать h ; то же подтверждаетъ и ур-е (59) относительно поправки на колебаніе высоты. Въ виду этого цѣлесообразно дѣлать данаиду, напр., по черт. 315 и 316 : нижній закрытый бакъ a

⁷²⁾ Z. Turb. 1909, S. 83.

имѣть большіе размѣры, а на немъ стоитъ круглый патрубокъ b сравнительно небольшого поперечнаго сѣченія, благодаря которому даже небольшое измѣненіе въ притокѣ воды даетъ замѣтное измѣненіе h . Указаннымъ бакомъ измѣряли конденсатъ упомянутой турбины въ 300 кв., при чемъ бакъ a имѣлъ 4 отверстія—въ 9, 13, 17 и 22 мм., что даетъ удобное отношеніе площадей, приблизительно, какъ 1 : 2 : 4 : 6; отверстиями можно пользоваться какъ каждымъ порознь, такъ и въ любомъ сочетаніи. Кромки отверстій острыя, по черт. 309, въ виду чего коэф. фиціентъ μ провѣрялся и до испытаній и послѣ нихъ, иногда даже во время испытанія.

При сильно и особенно незакономѣрно колеблющейся подачѣ воды можно пользоваться еще слѣдующимъ способомъ: измѣряемую воду выпускаютъ черезъ нѣсколько отверстій, при чемъ слѣдятъ, чтобы всѣ были въ одинаковыхъ условіяхъ, главнымъ образомъ въ смыслѣ высоты напора h ; расходъ воды g черезъ одно изъ отверстій опредѣляютъ непосредственно взвѣшиваніемъ или по объему, что нетрудно сдѣлать съ сравнительно небольшимъ количествомъ. Полный расходъ найдется умноженіемъ g на отношеніе полного расхода къ расходу даннаго отверстия, найденное соотв. градуировкой при какомъ-нибудь любомъ постоянномъ h . Разумѣется, поправку на измѣненіе h надо вычислять, какъ выше указано. Этотъ способъ позволяетъ измѣрять расходъ воды въ десятки разъ большій, чѣмъ возможно съ соотв. вѣсами.

Если показанія G , полученные при помощи данаиды и выраженные собственно въ лтр., хотять перевести въ кгр. и учесть при этомъ температуру t измѣрившейся воды, тогда какъ при градуировкѣ сопель и шкалы температура была t_0 , то надо ихъ помножить на отношеніе удѣльных вѣсовъ воды γ и γ_0 при соотв. температурахъ t и t_0 , взявъ γ и γ_0 изъ таблицы 2, т. е. истинный, исправленный расходъ въ кгр. въ единицу времени

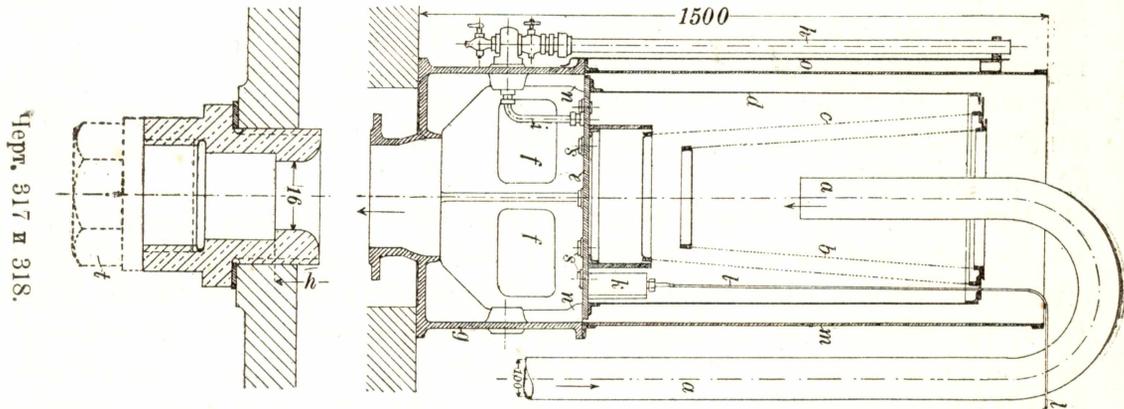
$$G' = G \cdot \gamma / \gamma_0. \quad (60)$$

Таблица 2.

темп. t °Ц.	уд. вѣсъ γ кгр./лтр.	темп. t °Ц.	уд. вѣсъ γ кгр./лтр.	темп. t °Ц.	уд. вѣсъ γ кгр./лтр.
0	0,99987	22	0,99780	45	0,9903
4	1,00000	24	0,99732	50	0,9881
6	0,99997	26	0,99681	55	0,9857
8	0,99988	28	0,99626	60	0,9832
10	0,99973	30	0,99567	65	0,9806
12	0,99953	32	0,99505	70	0,9778
14	0,99927	34	0,99440	75	0,9749
16	0,99897	36	0,99372	80	0,9718
18	0,99862	38	0,99299	90	0,9653
20	0,99823	40	0,99220	100	0,9584

Нетрудно, конечно, учитывать и измѣненіе площади отверстія f при нагрѣваніи, однако соотв. поправка въ худшимъ случаѣ составитъ 0,1%, и потому ею можно смѣло пренебрегать.

Въ заключеніе опишемъ водомѣръ-данаиду, употребляемый заводомъ бр. З у л ь ц е р ь при испытаніи большихъ паровыхъ турбинъ ⁷³⁾. Конденсатъ изъ холодильника поступаетъ по трубѣ *a*, черт. 317, проходитъ черезъ два конусообразныхъ успокаивающихъ сита *b* и *c*, боко-



вые стѣнки которыхъ образованы изъ оцинкованной сѣтки, а днища глухія жестяныя; изъ цилиндрическаго желѣзнаго бака *d* вода вытекаетъ по сопламъ *s*, вдѣланнымъ въ днище *e*; окна *f, f* въ нижней чугунной части *g*, на ребрахъ *n* которой стоитъ *d*, служатъ для подведенія желобовъ при градуировкѣ отдѣльныхъ сопелъ; трубка *i* сообщаетъ бакъ *d* съ водомѣрнымъ стекломъ *h*, позади котораго стоитъ латунная шкала *o*.

Для пользованія приборомъ въ качествѣ контрольнаго при ежедневной работѣ на станціи, онъ снабжается самозаписывающимъ манометромъ, по черт. 194 и 195, при чемъ давленіе водяного столба въ *d* передается въ манометръ черезъ посредство воздушнаго колокола *k* и мѣдной трубки *l*; хотя шкала манометра разъ въ 10 мельче шкалы у *h*, но для цѣлей контроля за работой станціи діаграмма получается достаточно крупная. Чтобы при случайномъ переполненіи бака *d* вода не полилась въ машинное помѣщеніе, бакъ *d* окруженъ квадратнымъ клепаннымъ желѣзнымъ кожухомъ *m*, свернутымъ плотно съ подставкой *g*.

У изображеннаго на черт. 317 прибора, пропускающаго до 30000 кгр./ч. = 30 м.³/ч. при 10 соплахъ по черт. 318, имѣются дѣленія черезъ 0,1 м.³/ч.. Чтобы пользоваться приборомъ при меньшихъ расходахъ воды отдѣльныя сопла можно закрывать, ввертывая въ нихъ снизу бронзовыя пробки *t*, пунктиръ на черт. 318. Градуировка сопелъ, произведенная проф. А. Стодоля, дала для всѣхъ сопелъ очень близкіе коэффициенты потерн напора $\mu = 0,960 \div 0,965$.

Въ общемъ измѣреніе расхода воды данаидами при соотв. обращеніи и принятіи во вниманіе всѣхъ обстоятельствъ и поправокъ является очень удобнымъ и точнымъ.

⁷³⁾ Изв. Моск. О-ва надз. за пар. котл. 1913, стр. 167.

Выборъ соотв. способа. Что касается выбора того или иного способа, то можно сказать слѣдующее: наиболѣе точные результаты даетъ вѣсовой способъ; имѣя въ виду, что баки емкостью свыше 1000 лтр. становятся слишкомъ громоздкими, и считая, что на взвѣшивание и опорожнение такого бака надо при навѣскѣ около 5 мин., мы получаемъ наибольшій расходъ, который можно измѣрить, около 12 м.³/час., или 12000 кгр./час.. Объемные способы менѣе точны и предѣлы ихъ примѣненія тотъ-же—12 м.³/час..

Начиная отъ 0 до 12 м.³/час. способы истечения черезъ отверстія въ смыслѣ точности немного уступаютъ взвѣшиванію, но превосходятъ его удобствомъ процесса измѣренія; объемные способы они превосходятъ во всѣхъ отношеніяхъ. Начиная отъ 12 м.³/час. вверхъ способы истечения единственно примѣнимые. Ихъ верхній предѣлъ трудно указать, но, напр., 12 отверстій по 30 мм. съ закругленными краями могутъ пропустить при напорѣ h около 1 м. до 120 м.³/час.; при пользованіи сосудомъ по черт. 315—316, позволяющему имѣть h до 2,3 м., расходъ увеличится до 189 м.³/час.; больше этой величины едва ли придется измѣрять при испытаніи турбинъ, а если бы пришлось, то можно или взять большее число отверстій или воспользоваться скоростнымъ водомѣромъ.

36. Измѣреніе расхода пара и воды у турбинъ.—Въ настоящемъ § мы займемся лишь двумя вопросами—измѣреніемъ расхода рабочего пара и охлаждающей воды. Вопросы о другихъ измѣреніяхъ, напр., расхода пара на поддержаніе плотности въ сальникахъ, потери пара на лучеиспусканіе и т. п., будутъ рассмотрѣны отдѣльно ниже въ главѣ VIII объ особыхъ измѣреніяхъ; они относятся скорѣе къ научнымъ опытамъ и при промышленныхъ испытаніяхъ не производятся.

Расходъ рабочего пара можно опредѣлять тремя существенно различными способами, точнѣе сказать, въ три разныхъ момента работы пара: по количеству питательной воды, подаваемой въ паровые котлы для данной турбины, т. е. до работы пара, затѣмъ по количеству пара, поступающаго или проходящаго черезъ турбину, т. е. въ моментъ работы пара, и, наконецъ, по количеству конденсата, получающагося изъ поверхностнаго холодильника, т. е. послѣ совершенія работы.

Опредѣленіе количества питательной воды относится скорѣе къ испытанію паровыхъ котловъ, почему мы и не станемъ о немъ особенно распространяться, ограничившись лишь самыми существенными указаніями.

Самое опредѣленіе количества питательной воды не представляетъ особыхъ затрудненій; расходъ воды опредѣляется при помощи или закрытыхъ водомѣровъ, лучше всего поршневыхъ или дисковыхъ, или открытыхъ водомѣровъ, съ неподвижными или качающимися баками, или взвѣшиванія, или, наконецъ, отмѣриванія градуированными баками.

Измѣренная тѣмъ или инымъ способомъ вода обыкновенно сливается въ особый питательный бакъ, изъ котораго и забирается насосомъ.

Затѣмъ должны быть удовлетворены слѣдующія три главныхъ условія:

1, парь, получающійся изъ измѣряемой воды, не долженъ расходоваться никуда, кромѣ турбины, а равно къ нему нельзя добавлять ни откуда другого пара. Въ виду этого удобнѣе всего питать котель или соотв. котлы, дающіе парь для испытываемой турбины, при помощи насоса, получающаго парь отъ посторонняго котла, и мятый парь изъ насоса отнюдь не пускать въ бакъ для питанія данныхъ котловъ; впрочемъ, въ отличіе отъ испытанія самихъ котловъ, питаніе можно производить и при помощи насоса, получающаго парь отъ данныхъ котловъ, но тогда мятый парь его долженъ обязательно выпускаться въ бакъ, куда сливается измѣренная вода, чтобы онъ тамъ полностью конденсировался, а конденсирующуюся въ насосѣ воду надо собирать и вѣсъ ея вычитать изъ вѣса поданной питательной воды; равнымъ образомъ можно питаніе котла производить и при помощи инжектора, при чемъ послѣдній долженъ получать парь обязательно отъ котловъ, работающих на турбину. Далѣе нужно слѣдить, чтобы всѣ отвѣтвленія отъ паропровода къ турбинѣ были тщательно заперты и притомъ вполне плотными вентилями; во избѣжаніе ошибокъ и сомнѣній отключеніе лучше всего дѣлать при помощи заглушекъ; иногда рекомендуютъ всѣ отвѣтвленія и не работающіе котлы заполнять водой; тогда можно быть вполне спокойнымъ, что парь не будетъ въ нихъ утекать; однако, кромѣ кропотливости такой заливки, при работѣ перегрѣтымъ паромъ она нежелательна еще и потому, что вызываетъ излишнее охлажденіе рабочаго пара. Наконецъ, нужно собирать весь конденсатъ, получающійся на пути отъ котла до турбины, взвѣшивать его, конечно, охладивъ во избѣжаніе парообразования, и полученный вѣсъ вычитать изъ вѣса питательной воды. При этомъ, если парь у самой турбины неполнѣ сухой, надо опредѣлять его влажность при помощи одного изъ описанныхъ выше калориметровъ, и учитывать количество увлеченной въ турбину воды.

2, уровень воды въ котлѣ и, конечно, также и въ питательномъ бакѣ долженъ быть строго на одинаковой высотѣ въ моментъ начала испытанія и въ моментъ окончанія его. Въ крайнемъ случаѣ, если этого почему либо не удалось достигнуть, можно ввести соотв. поправку, добавивъ вѣсъ воды, соотвѣтствующій недостающему объему, если уровень оказался ниже, и, наоборотъ, вычтя его, если онъ оказался выше. Впрочемъ, въ виду значительной поверхности свободнаго уровня, особенно въ котлѣ, волненія воды въ немъ, наличности въ паровомъ пространствѣ пара, имѣющаго при большомъ давленіи значительный удѣльный вѣсъ, такая поправка не можетъ быть особенно точной.

3, надо слѣдить, чтобы давленіе пара, а при перегрѣтомъ и температура его, были по возможности точно одинаковы въ моментъ начала испытанія и конца его, такъ какъ иначе вѣсъ пара въ паро-

вомъ пространствѣ котла и паропроводѣ будетъ разный, и это внесетъ опять-таки ошибку въ вѣсъ израсходованнаго пара.

Расходъ пара по объему его, попадающему въ турбину, можно опредѣлять двояко: или при помощи описанныхъ выше паромѣровъ, при чемъ въ случаѣ насыщеннаго пара надо опредѣлять еще его влажность однимъ изъ указанныхъ выше способовъ, или основываясь на законахъ истечения и соотв. движенія пара.

Именно, разберемъ сперва случай активной турбины или реактивной съ первымъ активнымъ колесомъ. Въ этихъ случаяхъ давленіе p_2 кгр./см.² при выходѣ изъ перваго сопла или вообще направляющаго прибора обыкновенно менѣе половины давленія p_1 передъ направляющимъ приборомъ, т. е. $p_2 < 0,5 p_1$; въ такомъ случаѣ, если f_m площадь въ мм.² наименьшаго поперечнаго сѣченія направляющаго прибора, то расходъ пара G въ кгр./час., не завися отъ величины p_2 , равенъ

$$G = \alpha f_m \sqrt{p_1 \gamma_1}, \quad (61)$$

гдѣ γ_1 , удѣльный вѣсъ пара въ кгр./м.³, берется для насыщеннаго пара прямо изъ таблицы паровъ, а коэффициентъ α можно съ достаточной точностью принимать для сухого насыщеннаго пара $\alpha = 0,72$, для перегрѣтаго $\alpha = 0,75$; вблизи области насыщения α мѣняется постепенно отъ 0,75 до 0,72.

Для перегрѣтаго пара удобнѣе вмѣсто того, чтобы вычислять соотв. γ_1 , находить G по давленію p_1 и температурѣ пара t_1 °Ц. Съ достаточной точностью можно $\gamma_1 = 1/v_1$, гдѣ v_1 удѣльный объемъ, замѣнить изъ характеристическаго уравненія перегрѣтаго пара, считая его газомъ, т. е.

$$p_1 v_1 = RT_1, \quad (62)$$

гдѣ $T_1 = t_1 + 273$ °, а газовая постоянная $R = 0,0047$; тогда мы получаемъ выраженіе

$$G = \frac{\alpha \cdot f_m \cdot p_1}{\sqrt{0,0047 (t_1 + 273)}}. \quad (63)$$

Вмѣсто опредѣленія v_1 изъ приближеннаго ур-ія (62) можно при болѣе точныхъ опытахъ вычислять его и по точному выраженію, данному Молліэ для перегрѣтаго пара,

$$v = \frac{0,0047 (t + 273)}{p} + 0,001 - V, \quad (64)$$

гдѣ величину поправки V надо брать изъ таблицъ паровъ Молліэ⁷³⁾ по температурѣ t . Такъ какъ для обычныхъ температуръ отъ 250° до 350° Ц. V мѣняется всего отъ 0,0086 до 0,0048, то ошибка при пользованіи ур-іемъ (62) въ связи съ $R = 0,0047$ для p отъ 8 до 12 кгр./см.² составляетъ не болѣе 3%; въ виду этого можно или пользоваться ур-іемъ (62), но брать $R = 0,00461$; тогда ошибка будетъ для указанныхъ предѣловъ всего $\pm 1\%$, что совершенно достаточно, и вмѣстѣ съ тѣмъ избавляетъ отъ вычисленія v по болѣе сложному ур-ію (64).

⁷³⁾ R. Mollier, Neue Tabellen u. Diagramme f. Wasserdampf. Berlin, 1906. S. 8 u. 26; у Молліэ V обозначено заглавнымъ готическимъ фау.

Такимъ образомъ можно, при большинствѣ испытаній, считая $R=0,00461$, а $\alpha=0,75$, вычислять расходъ по упрощенному выраженію (63)

$$G = \frac{11,05 f_m p_1}{\sqrt{t_1 + 273}}. \quad (65)$$

Для реактивной турбины вычисленіе G по проходному сѣченію становится нѣсколько сложнѣе; именно, тогда надо измѣрять съ возможной точностью давленія p_1 и p_2 , послѣднее лучше по Δp , найденному при помощи ртутнаго дифференціального манометра, т. е. $p_2 = p_1 - \Delta p$, а также измѣрять и t_1 и t_2 , а въ случаѣ насыщеннаго пара найти тѣмъ или инымъ путемъ паросодержаніе x_2 ; затѣмъ при помощи тепловой діаграммы $i-s$ (діаграммы Молліэ) находятъ соотв. паденіе теплосодержанія пара $i_1 - i_2$, которое превращается въ кинетическую энергію, т. е.,

$$i_1 - i_2 = A c_1^2 / 2g, \quad (66)$$

откуда скорость c_1 въ выходномъ сѣченіи, равномъ f мм.², получается, считая $A=1/427$, $g=9,81$,

$$c_1 = 91,6 \sqrt{i_1 - i_2}, \quad (67)$$

а расходъ пара въ кгр./час.

$$G = 0,0036 c_1 f / v_2, \quad (68)$$

гдѣ для насыщеннаго пара v_2 получается по соотв. давленію p_2 и паросодержанія x_2 , найденному по тепловой діаграммѣ, и таблицамъ паровъ, а для перегрѣтаго по p_2 и t_2 и ур-ію (62) съ $R=0,00461$ или ур-ію (64).

Измѣреніе количества конденсата, поступающаго изъ поверхностнаго холодильника, производится или при помощи взвѣшиванія, или пропуска черезъ градуированные баки, или при помощи водомѣровъ, изъ которыхъ примѣняются или закрытые скоростные или открытые, или, наконецъ, при помощи баковъ съ отверстиями Понселэ.

При работѣ съ поверхностнымъ холодильникомъ надо имѣть въ виду слѣдующія два обстоятельства: постоянство уровня конденсата въ холодильнике и отсутствіе неплотностей въ немъ.

Постоянство уровня конденсата въ теченіе испытанія желательно въ смыслѣ контроля за установившимся состояніемъ турбины, но для правильности конечнаго результата безусловно н е о б х о д и м о, чтобы въ моментъ начала испытанія и въ моментъ окончанія уровень былъ на одной высотѣ. Если это условіе не соблюдено, то найденный расходъ пара не будетъ соответствовать дѣйствительности. Конечно, возможно ввести поправку на измѣненіе высоты уровня, но найти ее съ достаточной точностью трудно, такъ какъ производить измѣренія уровня въ холодильнике не такъ-то легко. Въ виду этого очень полезно, чтобы стокъ конденсата изъ холодильника былъ снабженъ поплавкомъ, мѣняющимъ величину проходнаго сѣченія въ началѣ стока и тѣмъ поддерживающимъ постоянство уровня конденсата.

Если поверхностный холодильникъ несовсѣмъ плотенъ, что, кстати сказать, бываетъ очень часто, то охлаждающая вода будетъ попадать въ паровое пространство, и найденный расходъ пара окажется преувеличеннымъ; ошибка можетъ быть очень значительна.

Обнаружить неплотность и найти соотв. поправку можно нѣсколькими способами.

Самый простой и надежный—заставить холодильникъ работать „въ пустую“, т. е., поддерживая въ немъ разрѣженіе, какъ и при нормальной работѣ и пропуская охлаждающую воду, не пускать въ него пара. Въ такомъ случаѣ все количество воды, поданное конденсаціоннымъ насосомъ, и будетъ соотвѣтствовать величинѣ утечки. Чтобы получить правильныя числа, опытъ надо вести не менѣе 1 часа, лучше даже часа 2.

Однако надо замѣтить, что величина утечки зависитъ не только отъ величины разрѣженія, но и отъ температуры внутри холодильника, поэтому первый способъ можетъ дать несовсѣмъ вѣрные результаты, и полезно сдѣлать слѣдующую провѣрку: работая при нормальныхъ условіяхъ, опредѣлять расходъ пара сразу двумя способами—при помощи взвѣшиванія конденсата изъ холодильника и при помощи паромѣра или по разности давленія p_1 и p_2 —до и за первымъ направляющимъ приборомъ, т. е., при помощи одного изъ ур-ій (61), (63), (65) или (68). Въ такомъ случаѣ разность между часовымъ количествомъ конденсата и количествомъ пара и есть искомая утечка въ холодильникъ.

Наконецъ, существуетъ еще третій—химическій способъ опредѣленія неплотности, когда пользуются для охлажденія морской или вообще соленой водой. Забираютъ пробы охлаждающей воды и конденсата и при помощи азотно-кислаго серебра и соотв. цвѣтного показателя (индикатора) опредѣляютъ % содержанія соли въ водѣ s и конденсатѣ s' , а по этимъ даннымъ уже легко найти количество соленой воды, попадающей въ холодильникъ; именно, если количество конденсата G кгр./ч., то утечка

$$g' = G \cdot s' / s. \quad (69)$$

Самый процессъ опредѣленія содержанія соли требуетъ навыка къ количественному анализу, и его лучше передавать химику.

Опредѣленіе расхода пара по конденсату при взбрызгивающихъ холодильникахъ, когда вѣсъ конденсата можетъ быть полученъ лишь вычитаніемъ вѣса охлаждающей воды изъ вѣса смѣси воды и конденсата, недопустимо вслѣдствіе неточности: вѣсъ конденсата составляетъ отъ $1/25$ до $1/40$ вѣса охлаждающей воды; если вѣсъ послѣдней и вѣсъ смѣси ея съ паромъ измѣрять съ точностью даже въ $\pm 0,5\%$, то средняя ошибка ихъ разности составитъ $\pm 0,5\sqrt{2} = \pm 1,7\%$, а отнесенная къ вѣсу конденсата—въ 25 до 40 разъ больше, т. е. ± 18 до $\pm 28\%$ —ошибка недопустимая.

Сравнивая различные способы опредѣленія расхода пара, нужно сказать, что самымъ точнымъ является измѣреніе количества конденсата при работѣ съ поверхностнымъ холодильникомъ; затѣмъ идетъ опредѣленіе пара по количеству питательной воды; опредѣленіе расхода пара по скорости прохожденія черезъ направляющій приборъ даетъ довольно удовлетворительные результаты, и имъ полезно пользоваться какъ контрольнымъ при всякомъ другомъ способѣ. Наконецъ, паромѣрами пользуются лишь для контроля ежедневной работы турбины, такъ какъ точность этихъ приборовъ меньше остальныхъ способовъ; зато пользованіе ими наиболѣе простое и удобное. Впрочемъ, по сравненію съ опредѣленіемъ расхода пара по количеству питательной воды, если паропроводъ имѣетъ рядъ отвѣтвленій, отключенныхъ не заглушками, а лишь вентилями, паромѣры даютъ не менѣе точные результаты и притомъ гораздо проще и легче.

Измѣреніе расхода охлаждающей воды при работѣ съ поверхностнымъ холодильникомъ производится обыкновенно послѣ холодильника, когда воду можно пустить открытой струей въ бакъ съ отверстиями Понселэ. При измѣреніи расхода воды при движеніи ея по трубѣ подъ напоромъ можно пользоваться однимъ изъ скоростныхъ водомѣровъ; при большомъ расходѣ дешевле всего водомѣръ съ вольтмановской вертушкой.

При работѣ съ вбрызгивающимъ холодильникомъ измѣреніе производится такимъ же образомъ, но чаще вода измѣряется до холодильника какимъ нибудь скоростнымъ водомѣромъ.

ГЛАВА VII.

Смазка.

37. Изслѣдованіе основныхъ свойствъ.—Для смазыванія какъ коренныхъ подшипниковъ, такъ и всѣхъ прочихъ трущихся частей паровыхъ турбинъ употребляется исключительно минеральное масло соотв. сорта, которое должно удовлетворять слѣдующимъ основнымъ требованіямъ:

1, оно должно быть достаточно скользкимъ, т. е., хорошо приставать къ трущимся металлическимъ поверхностямъ и тѣмъ предохранять ихъ отъ тренія металломъ по металлу;

2, оно должно быть достаточно жидкимъ, т. е., обладать малымъ коэффициентомъ внутренняго тренія, чтобы при значительныхъ скоростяхъ между трущимися частями турбины не давать большой работы сопротивленія;

3, оно не должно измѣняться подъ дѣйствіемъ температуры, давленія и воздуха;

4, оно не должно содержать никакихъ примѣсей, главнымъ образомъ кислотъ, разѣдающихъ трущихся поверхности; отъ твердыхъ при-

мѣсей масло освобождается при прохожденіи черезъ фильтръ, которымъ всегда снабжается центральная циркуляціонная смазка турбинъ, равно какъ и отъ воды; слѣды же воды, нежелательныя при смазкѣ фитилями, такъ какъ они понижаютъ дѣйствіе капиллярности, для паровыхъ турбинъ не имѣютъ значенія.

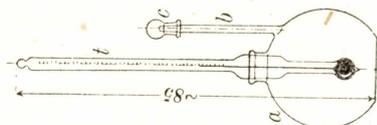
Выразить числовыми предѣлами указанныя требованія трудно, хотя бы потому, что техника изготовленія смазочныхъ маселъ съ каждымъ годомъ идетъ впередъ, и въ продажѣ все время появляются масла, отклоняющіяся отъ обычныхъ характеристикъ, но въ то же время оказывающіяся лучшими въ работѣ въ силу большей чистоты и однородности; кромѣ того, условія работы масла—давленіе, подъ которымъ оно подается, температура, способы охлажденія и очистки,—въ различныхъ системахъ турбинъ очень разнообразны и требуютъ различнаго масла.

Самымъ надежнымъ и правильнымъ способомъ является непосредственный опытъ: выписавъ отъ нѣсколькихъ фирмъ масло съ указаніемъ его назначенія, опредѣляютъ основныя его свойства, затѣмъ работаютъ нѣкоторое время поочередно съ каждымъ сортомъ и, сравнивъ эксплуатаціонные результаты и найденный опытнымъ путемъ коэффициентъ тренія масла съ соотв. цѣной, выбираютъ опредѣленный сортъ и, зная теперь его характеристику, т. е., удѣльный вѣсъ, вязкость, коэффициентъ тренія, температуру вспышки и кислотность, въ дальнѣйшемъ употребляютъ тотъ же сортъ, провѣряя его тождество съ испытаннымъ образцомъ, т. е., чтобы онъ обладалъ тѣми же свойствами.

Удѣльный вѣсъ δ подходящихъ маселъ различныхъ фирмъ колеблется обыкновенно отъ 0,890 до 0,905, но встрѣчаются масла съ δ всего 0,865. Опредѣлять δ можно съ достаточной точностью ареометромъ. При этомъ не надо забывать, что удѣльный вѣсъ δ маселъ принято относить къ $+15^\circ$ Ц; съ повышеніемъ температуры δ уменьшается, въ среднемъ около 0,00068 на каждый 1° Ц. Поэтому, если при температурѣ t° ареометръ показалъ δ' , то нормальный удѣльный вѣсъ (при 15°)

$$\delta = \delta' + 0,00068 (t - 15^\circ). \quad (70)$$

Для особенно точнаго опредѣленія удѣльнаго вѣса, а также для особенно густыхъ маселъ или имѣющихся въ небольшомъ количествѣ, пользуются, такъ назыв., пикнометрами, черт. 319: это стеклянный сосудъ a



Черт. 319.

емкостью отъ 50 до 75 см.³ съ ртутнымъ термометромъ t съ дѣленіями въ $\frac{1}{5}^\circ$, уширеніе на которомъ является въ то же время пробкой, съ трубкой d и колпачкомъ c .

Работаютъ съ пикнометромъ слѣдующимъ образомъ: наполняютъ приборъ дистиллированной водой любой температуры t° , тщательно сб-

тираютъ, надѣваютъ колпачекъ *c* и взвѣшиваютъ; зная вѣсъ пустого сосуда, получаютъ вѣсъ воды и перечисляютъ его затѣмъ на $+4^{\circ}$, умножая на γ при данной температурѣ t , при чемъ γ можно брать изъ таблицы 2, стр. 211; тогда получимъ объемъ пикнометра въ см.³. Тщательно высушивъ затѣмъ пикнометръ, наполняютъ его испытываемымъ масломъ, температура котораго должна быть немного ниже комнатной; когда масло согрѣется до комнатной температуры, оно поднимется до верха трубки *b*. Пикнометръ съ масломъ вновь взвѣшиваютъ, надѣвъ колпачекъ *c*, и опредѣливъ вѣсъ чистаго масла, дѣлятъ его на емкость пикнометра и получаютъ искомый удѣльный вѣсъ при температурѣ, указываемой термометромъ t прибора. Перечисленіе на 15° дѣлаютъ по ур-ію (70).

Если масло черезчуръ густо, то его подогрѣваютъ предварительно до соотв. температуры, при которой его удобно налить въ пикнометръ. Затѣмъ ставятъ приборъ въ водяную ванну, нагрѣваемую немного выше, чѣмъ первоначальная температура масла, чтобы послѣднее расширилось до верха трубки *b*, и когда температура масла установится, вынимаютъ приборъ, тщательно обтираютъ и взвѣшиваютъ. Найдя величину δ , перечисляютъ ее на 15° по ур-ію (70), при чемъ для густыхъ маселъ коэффициентъ расширенія вмѣсто 0,00068 лучше брать больше, 0,00072 до 0,00078, въ среднемъ 0,00075.

Содержаніе кислотъ въ турбинномъ маслѣ не допускается совсѣмъ. Во всякомъ случаѣ не должно быть даже слѣдовъ минеральныхъ кислотъ, а отъ органическихъ кислотъ допустимы лишь слѣды, и во всякомъ случаѣ не болѣе 0,01% при перечисленіи ихъ на SO_3 .

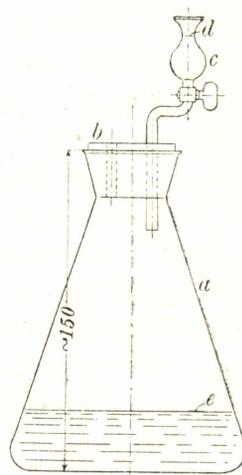
Отсутствіе кислотъ провѣряютъ проще всего слѣдующимъ образомъ: масло наливаютъ въ плоскую чашку и погружаютъ въ него на половину гладко отполированную мѣдную пластинку; если спустя дней семь погруженная въ масло поверхность пластинки останется безъ измѣненія, то это значитъ, что масло хорошее, безъ кислотъ; если потемнѣетъ—масло не годится. Само масло въ присутствіи кислотъ зеленѣетъ отъ мѣди.

Другой простой способъ обнаруживанія минеральныхъ кислотъ состоитъ въ слѣдующемъ: взбалтываютъ въ небольшой склянкѣ съ притертой пробкой испытываемое масло и дистиллированную воду, взявъ ихъ примѣрно поровну; если масло содержало кислоты, то вода окажется послѣ этого подкисленной и окраситъ водный растворъ метилоранжа или синюю лакмусовую бумажку въ красный цвѣтъ.

Содержаніе щелочей въ маслѣ обнаруживается такимъ же способомъ при помощи красной лакмусовой бумажки, окрашиваемой щелочью въ синій цвѣтъ.

Содержаніе сѣрной кислоты можно обнаружить, добавивъ въ полученную по указанному выше воду нѣсколько капель раствора хлористаго барія: если въ маслѣ была сѣрная кислота, получится бѣлый осадокъ; въ такомъ случаѣ масло не годится.

Убѣдившись въ отсутствіи минеральныхъ кислотъ, опредѣляютъ возможное содержаніе органическихъ кислотъ⁷⁴⁾: берутъ эрленмейеровскую колбу *a* около 306 см.³ емкости съ пробкой *b*, имѣющей 2 отверстія, черт. 320, и дѣлительную воронку *c*; въ послѣднюю наливаютъ при закрытомъ кранѣ изслѣдуемое масло до мѣтки *d*, что даетъ ровно 10 см.³; затѣмъ пріоткрываютъ кранъ воронки и выпускаютъ большую часть масла въ колбу, а остальную часть его смываютъ въ колбу непосредственно передъ опытомъ нейтрализованной смѣсью изъ 4-хъ частей эфира и 1 части абсолютнаго алкоголя; смѣси этой пропускаютъ черезъ воронку 100—120 см.³ до мѣтки *e*. Затѣмъ, удаливъ пробку *b* съ воронкой, добавляютъ изъ особой градуированной бюретки *f*, черт. 321, постепенно по каплямъ столько алкогольнаго *n*/10 раствора ѣдкаго натра, пока послѣ взбалтыванія не получится остающейся красной окраски всей смѣси. Каждый 1 см.³ раствора ѣдкаго натра соответствуетъ 0,004 гр. SO₃. Дѣленія на бюреткѣ *f* сдѣланы такимъ образомъ, что если она была наполнена до мѣтки 0,0, то уровень ея въ моментъ появленія остающейся окраски даетъ прямо % содержаніе свободной кислоты, перечисленной на SO₃.



Черт. 320.



Черт. 321.

Въ заключеніе можно упомянуть, что 0,1% SO₃ соответствуетъ 0,705% масляной кислоты или 2,1 градусамъ кислотности по Кеттсторферу.

Въ заключеніе можно упомянуть, что 0,1% SO₃ соответствуетъ 0,705% масляной кислоты или 2,1 градусамъ кислотности по Кеттсторферу.

Описанный способъ приложимъ лишь для свѣтлыхъ маселъ, т. е. какъ разъ употребляемыхъ для турбинъ.

Отсутствіе смолистыхъ примѣсей, отъ которыхъ масло постепенно густѣетъ, можно установить слѣдующимъ простымъ способомъ: берутъ двѣ плотно пришабренныя чугунныя пластинки и, смазавъ гладкую поверхность одной изъ нихъ немного масломъ, накладываютъ на нее другую пластинку и оставляютъ ихъ на открытомъ воздухѣ. Если нѣкоторое время спустя пластинки можно передвигать одну по другой такъ же легко, какъ въ началѣ, то масло не содержитъ смолистыхъ веществъ, въ противномъ случаѣ передвигать пластинку станетъ значительно труднѣе, или онѣ даже совсѣмъ слипнутся.

Содержаніе золы опредѣляютъ, осторожно нагревая точно взвѣшенное небольшое количество, 20÷30 гр., масла въ фарфоровомъ прокаленномъ тиглѣ, который тоже точно взвѣшенъ. Когда масло нагреетъ

⁷⁴⁾ См. напр. Hold e, Untersuchung d. Mineralöle u. Fette. 2. Aufl. Berlin, 1905, S. 154.

ся настолько, что может горѣть, его поджигаютъ. Нагрѣваніе малымъ пламенемъ бунзенскій горѣлки продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока жидкія части масла сгорятъ; тогда закрываютъ тигель фарфоровой крышкой и прокалываютъ его на большомъ пламени, пока все углеродистыя частицы сгорятъ. Когда тигель остынетъ, его обтираютъ снаружи и взвѣшиваютъ: прибыль вѣса и даетъ количество золы.

Практика показала⁷⁵⁾, что масло, дающее болѣе 0,01% золы, т. е. содержащее много мыла, при работѣ сравнительно скоро густѣетъ и потому для турбинъ не годится. Послѣ работы въ турбинѣ масло всегда обнаруживаетъ большее содержаніе органическихъ кислотъ, чѣмъ новое до употребленія, а также даетъ осадокъ, въ которомъ содержатся металлическія частицы и желѣзистыя мыла; послѣднія происходятъ, вѣроятно, при воздѣйствіи на желѣзныя части турбины смолистыхъ кислотъ, которыя сами появляются въ маслѣ подъ вліяніемъ окисленія.

Содержаніе асфальта и жировъ вмѣстѣ по даннымъ одного изъ лучшихъ турбиностроительныхъ заводовъ не должно превосходить 5%. Однако эта цифра, скорѣе, слишкомъ велика. Къ тому же заводъ этотъ не указываетъ способа, какимъ образомъ у него опредѣляется содержаніе этихъ веществъ.

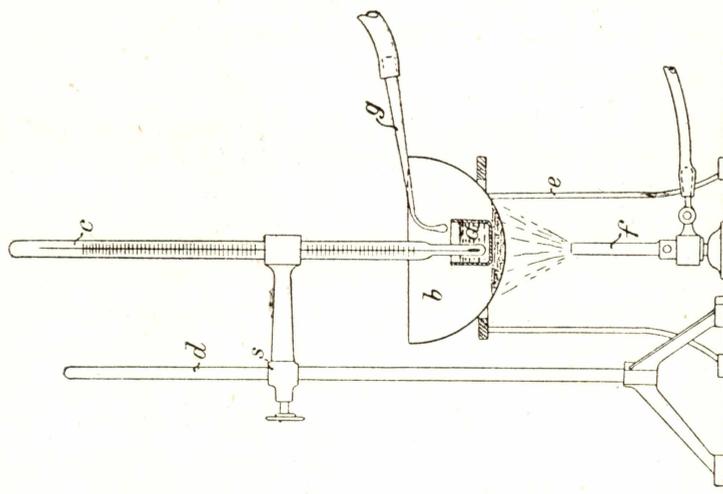
Температура вспышки t_v сама по себѣ не имѣетъ значенія, такъ какъ масло не приходитъ въ соприкосновеніе съ особенно горячими частями. Температура t_v можетъ колебаться отъ 170 до 190°C. Впрочемъ, упомянутый заводъ совѣтуетъ брать масла съ $t_v=210^\circ$. Однако знать t_v полезно какъ характеристику масла, зависящую отъ его состава. Кромѣ того, въ продажѣ попадаются масла, представляющія собой не однородный продуктъ перегонки, а смѣсь изъ болѣе густыхъ и болѣе жидкихъ маселъ, составленную такъ, чтобы по цвѣту и удѣльному вѣсу она походила на болѣе дорогое однородное масло. Такая смѣсь, конечно, не можетъ замѣнить хорошаго однороднаго масла, и ее можно отличить по болѣе низкой температурѣ вспышки.

Въ виду второстепеннаго значенія величины t_v ее можно опредѣлять въ открытомъ тиглѣ по способу, предписанному прусскими казенными желѣзными дорогами. Въ цилиндрической глазу рованный фарфоровый тигель *a*, черт. 322, имѣющій 40 мм. въ діаметрѣ и столько же въ высоту, наливается масла настолько, чтобы отъ уровня его до края тигля оставалось 10 мм.; тигель стоитъ на слоѣ очень мелкаго песка толщиной до 15 мм. въ желѣзной чашкѣ *b*, имѣющей 180 мм. въ діаметрѣ и стоящей на треножникѣ *e*; снизу чашка подогревается горѣлкой *f*; въ масло погружается шарикъ съ ртутью термометра *c*, закрѣпляемый въ зажимѣ *s* стойки *d*.

До 100° масло можно нагрѣвать довольно быстро; затѣмъ надо урегулировать горѣлку *f* такъ, чтобы подъемъ температуры масла былъ около

⁷⁵⁾ Z. V. d. I. 1912, S. 1414.

5° въ мин., и постепенно съ повышеніемъ температуры понижать подъемъ до 2°. Начиная отъ 120—150°, водятъ сперва черезъ каждыя 5°, а за 10—20° до предполагаемой t_v черезъ каждый 1° запальную трубочку g газоваго пламени по краю чашки b , такъ, чтобы направленное внизъ пламя было на 2—3 мм. выше поверхности масла и отнюдь не касалось краевъ тигля a ; пламя водятъ взадъ и впередъ медленно и равномерно въ теченіе 4 сек. каждый разъ. Нагрѣваніе продолжается до тѣхъ поръ,



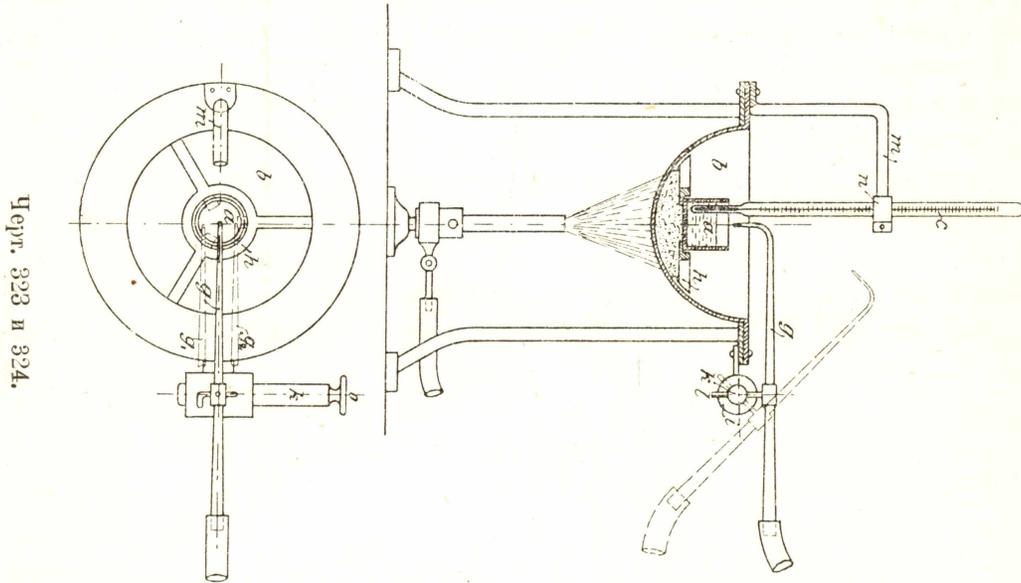
Черт. 322.

пока пары масла не вспыхнутъ, хотя бы на мгновение; соотв. показаніе термометра считается температурой вспышки t_v . Температура же, при которой масло начинаетъ на поверхности горѣть, называется температурой воспламенѣнія, которая всегда выше t_v , но въ данномъ случаѣ интереса не представляетъ и не опредѣляется.

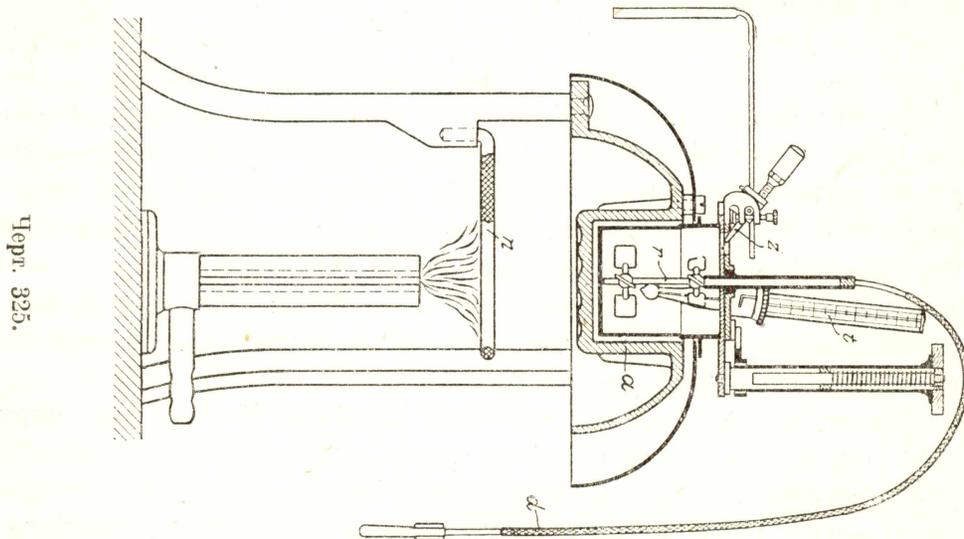
Чтобы пары масла не уносились, и t_v не оказалась преувеличенной, надо слѣдить, чтобы въ помѣщеніи не было сквозняка и вообще движенія воздуха. Все же невозможность держать пламя на строго одинаковомъ разстояніи отъ поверхности масла, неизбежное различіе въ величинѣ пламени горѣлки g и другія мелкія обстоятельства даютъ въ результатъ то, что t_v получается то выше, то ниже истинной. Впрочемъ, для нашихъ цѣлей можно ограничиваться тѣмъ, что берутъ за t_v среднее арифметическое изъ 3—4 повторныхъ опредѣленій. Передъ каждымъ опредѣленіемъ надо, конечно, тигель насухо вытирать пропускной бумагой и наполнять свѣжей пробой масла.

Значительно точнѣе получается t_v въ приборѣ Маркуссона, черт. 323 и 324, являющемся улучшеніемъ предыдущаго способа: разница въ томъ, что тигель a стоитъ не прямо на пескѣ, а на треугольникѣ h , опирающемся на стѣнки чашки b , благодаря чему высота отъ дна тигля a до края b всегда одинаковая; масло наливается въ a до опредѣленной мѣтки; трубка g въ своемъ движеніи направляется втулкой i , стержнемъ k , къ которому g прикрѣплена сквознымъ штифтомъ l , и прорѣзьями въ i ; благодаря этому разстояніе конца g и отъ поверхности масла

и отъ краевъ a всегда одинаково. Пунктиромъ на черт. 323 показано положеніе g въ перерывѣ между пробованіемъ, а на черт. 324 g_1 положеніе въ началѣ пробованія, затѣмъ вытягиваніемъ стержня k за головку o трубка передвигается въ положеніе g_2 , затѣмъ обратно въ g_1 и, наконецъ, конецъ ея поднимается вверхъ, черт. 323.



Еще болѣе точныя и притомъ болѣе низкія величины для t_v даетъ приборъ Пенскаго-Мартенса, которымъ пользовался Гольде при испытаніи турбинныхъ маселъ ⁷⁶⁾. Его главныя особенности: тигель a , черт. 325, закрытъ, и окошечко въ его крышкѣ открывается лишь въ мо-



ментъ опусканія пламени, которое получается на концѣ трубки z съ фитилькомъ изъ ваты, питаемымъ керосиномъ; для полученія одинаковой во всемъ тиглѣ температуры масла послѣднее все время перемѣши-

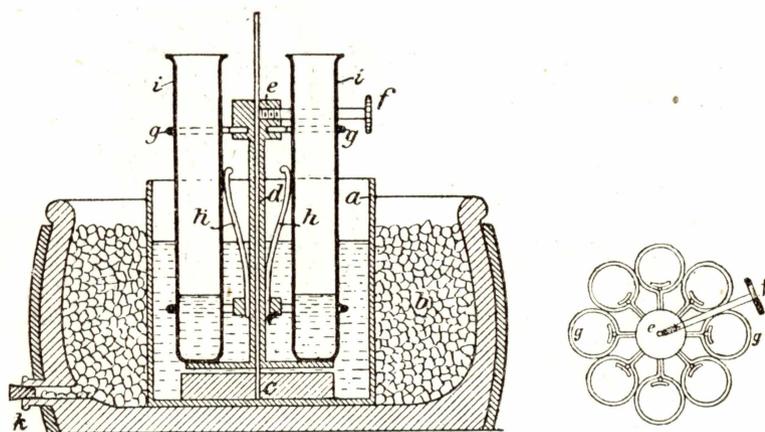
⁷⁶⁾ Z. V. d. I. 1912, S. 1461.

вается мѣшалкой r , вращаемой отъ руки при помощи гибкаго стержня d ; проволочная сѣтка n способствуетъ болѣе равномерному нагрѣванію.

Такъ какъ всѣ перечисленные приборы даютъ различныя t_v , и ни одинъ изъ нихъ еще не принятъ въ качествѣ нормальнаго, то въ сущности можно пользоваться любымъ изъ нихъ, но только при заказахъ фирмамъ или опубликованіи результатовъ испытаній точно указывать, какимъ приборомъ въ соотв. случаѣ пользовались.

Густыніе на холодѣ. Для характеристики турбинныхъ маселъ, несмотря на то, что въ работѣ они имѣютъ температуру въ $+40$ до $+50^\circ$ Ц., полезно знать температуру, при которой масло густѣетъ настолько, что не можетъ литься: легкія турбинныя масла должны быть еще жидкими по крайней мѣрѣ до температуры -10° , среднія до -5° и тяжелыя до 0° Ц.

Провѣрка маселъ на указанные предѣлы производится проще всего въ приборѣ по черт. 326: пробирки i, i , имѣющія въ диаметрѣ внутри



Черт. 326 и 327.

15 мм., погружаются въ замерзающій растворъ нѣкоторой соли, налитый въ желѣзную эмалированную кружку a около 12 см. въ диаметрѣ; кружка a , въ свою очередь, стоитъ въ глинянномъ горшкѣ, снабженномъ патрубкамъ k для спуска воды и наполняемомъ смѣсью изъ 1 части льда и 2 ч. кормовой соли или иной холодильной смѣсью; снаружи горшокъ обертывается войлокомъ; подставка e , черт. 327, вмѣщающая въ прикрѣпленные въ нея кольца g, g до 8 пробирокъ, снабжена пружинками h , чтобы пробирки не всплывали, и нажимнымъ винтомъ f , соединяющимъ ее съ той же цѣлью со стержнемъ d , ввернутымъ въ чугунный дискъ c .

Масло наливается въ пробирки на 30 мм. и держится въ холодномъ растворѣ въ теченіе 1 часа; степень густоты опредѣляется просто наклоненіемъ вынутой изъ прибора пробирки. Температура раствора въ a измѣряется точнымъ ртутнымъ термометромъ съ дѣленіями въ $1/2^\circ$.

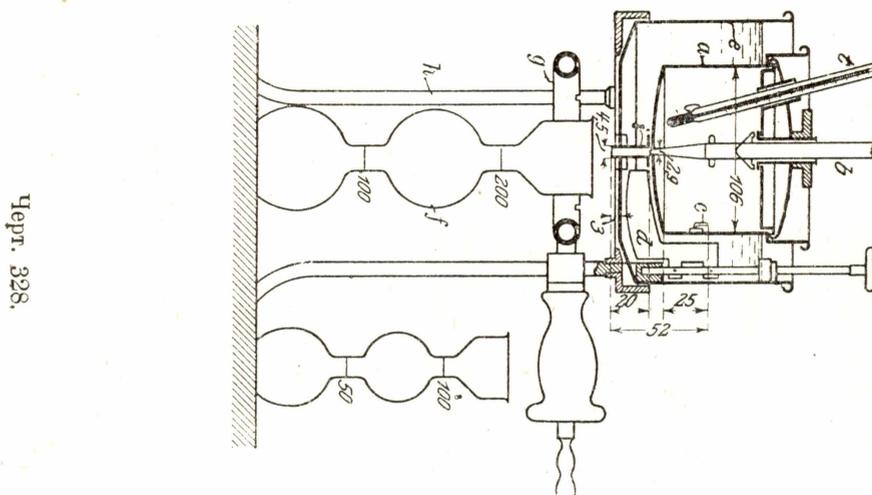
Для полученія постоянныхъ низкихъ температуръ можно пользоваться слѣдующими растворами: для 0° Ц.—чистой водой, для -5° Ц. на

100 ч. воды 13 ч. калийной селитры и 3,3 ч. поваренной соли, для—10°Ц. на 100 ч. воды 22,5 ч. хлористаго калия.

Для получения надежныхъ результатовъ необходимо, кромѣ испытанія свѣжаго масла, испытать масло, предварительно нагрѣтое въ водяной банѣ. Хорошія однородныя масла должны дать въ обоихъ случаяхъ одинаковые результаты.

Вязкость масла опредѣляется при помощи вискозиметра Энглера и выражается въ видѣ отношенія времени истечения опредѣленнаго объема масла при +20°Ц., соотв. 50° или 100° ко времени истечения такого же объема воды. У турбинныхъ маселъ вязкость обычно лежитъ между 9 и 22 при 20°Ц., или 2,6 и 4,7 при 50°Ц.; впрочемъ, известны случаи хорошей работы маселъ съ вязкостью до 32 и даже 40 градусовъ Энглера при +20°Ц., соотв. 6,4 и 6,6 при +50°Ц.

Вискозиметръ Энглера нормальнаго размѣра представленъ на черт. 328: емкость маслянаго сосуда *a* до острія *c* должна быть точно 240 см.³,



трубочка *i*, черезъ которую происходитъ истечение, должна имѣть диаметръ вверху 2,4 мм., внизу 2,8 мм. и длину 20 мм.; при этихъ размѣрахъ время истечения τ 200 см.³ воды при 20°Ц., измѣряемое при помощи хронометра съ арретировкой и стекляннаго сосуда *f*, должно составить 50—52 ск..

Передъ пользованіемъ приборомъ его градуируютъ, т. е., опредѣляютъ среднюю величину τ , при чемъ опытъ надо повторять столько разъ, пока не получатся послѣдовательно три величины τ , отличающіяся между собой не болѣе 0,4÷0,6 ск.. Самое измѣреніе величины τ ведется слѣдующимъ образомъ: тщательно вымывъ сосудъ *a* алкоголемъ и эфиромъ, затыкаютъ сливное отверстіе *i* новымъ деревяннымъ колышкомъ *b* и наливаютъ до острій *c, c* дистиллированной и фильтрованной воды съ температурой около 20° Ц.; въ сосудъ *e*, образующій водяную рубашку для *a*, наливаютъ водопроводной воды и слегка нагрѣваютъ ее при помощи кольцевой газовой горѣлки *g*, прикрѣпляемой къ одной изъ

ножекъ треножника h , несущаго весь приборъ, такъ, чтобы термометръ t установился точно на 20° ; регулирование температуры достигается уменьшеніемъ или увеличеніемъ притока газа и перемѣщеніемъ горѣлки выше или ниже по ножкѣ h . Когда требуемая температура установится, колышекъ b нѣсколько разъ приподнимаютъ и выпускаютъ $5-10$ см.³ воды, которую тотчасъ вливаютъ обратно въ a ; затѣмъ вынимаютъ термометръ и осторожно приподнимаютъ колышекъ b , пока трубка i не заполнится вся водой, и капелька ея повиснетъ изъ отверстія; когда уровень успокоится, вынимаютъ b совсѣмъ и измѣряютъ время наполненія сосуда f до мѣтки 200 см.³. Передъ каждымъ измѣреніемъ надо сосудъ a тщательно промывать, какъ указано выше.

Такимъ же образомъ опредѣляется время истеченія τ_m масла, при чемъ послѣднее полезно предварительно профильтровать черезъ мѣдную сѣтку съ разстояніемъ въ $0,3$ мм. между проволочками. При наполненіи сосуда a надо слѣдить, чтобы уровень былъ точно на высотѣ отверстій c, c , такъ какъ ошибки въ высотѣ напора замѣтно вліяютъ на время истеченія; 1 см.³ масла даетъ на каждыя 5 мин. времени истеченія τ_m ошибку въ ± 1 ск..

Величина вязкости

$$\sigma = \tau_m : \tau_b . \quad (71)$$

Величину вязкости турбиннаго масла обыкновенно опредѣляютъ при болѣе высокой температурѣ, именно, при $+50^{\circ}$ Ц.; достигается это бѣльшимъ подогреваніемъ бани e ; при этомъ надо имѣть въ виду, что масло, попадая въ сосудъ f , охлаждается, и объемъ его уменьшается примѣрно на $1,7$ см.³ на каждыя 10° на объемъ въ 240 см.³ ⁷⁷⁾.

38. Опредѣленіе коэффиціента тренія масла.—Въ отличіе отъ всѣхъ предыдущихъ испытаній, дающихъ лишь характеристики турбиннаго масла, опредѣленіе коэффиціента тренія μ имѣетъ вполне опредѣленное самостоятельное значеніе: чѣмъ меньше μ , тѣмъ меньше будетъ работа тренія въ турбинѣ при пользованіи даннымъ масломъ, предполагая, конечно, что масло достаточно густо, чтобы давленіе на трущихся поверхности его не выдавливало; кромѣ того, описанные ниже приборы позволяютъ установить, какое масло является болѣе подходящимъ для данныхъ условій работы, именно, температуры, скорости движенія и давленія на единицу площади трущихся поверхностей.

Изъ многочисленныхъ приборовъ опишемъ лишь 2, наиболѣе простые и надежные; тѣмъ болѣе, что до настоящаго времени еще нѣтъ нормальнаго прибора.

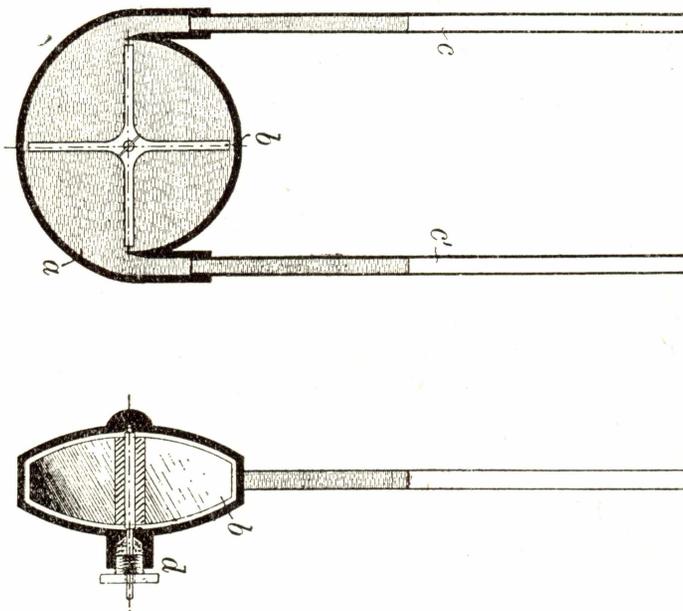
Приборъ Вилькенса ⁷⁸⁾, главная часть котораго изображена схематически на черт. 329 и 330, состоитъ изъ замкнутой камеры a , въ которой вращается приводимое въ дѣйствіе небольшимъ электродвигате-

⁷⁷⁾ Hold e, Untersuch. . . . S. 104.

⁷⁸⁾ Elektrot. Z. 1904, S. 135; Hold e, Untersuch. . . . S. 127; J. Brand, Techn. Untersuchungsmethoden. 2. Aufl. 1907. S. 381.

лемъ четырехлопастное колесо *b*; съ камерой *a* сообщаются двѣ открытыя сверху стеклянныя трубки *c* и *c'*; испытываемое масло наполняетъ камеру *a* и стоитъ примѣрно на половинѣ высоты трубокъ; при вращеніи колеса *b*, напр., по часовой стрѣлкѣ, уровень масла въ трубкѣ *c* поднимется, а въ *c'* опустится; разность высотъ зависитъ отъ внутренняго тренія масла и является его мѣркой: чѣмъ разность больше, тѣмъ внутреннее треніе больше. Последнее зависитъ для даннаго масла главнымъ образомъ отъ двухъ причинъ: отъ температуры и скорости скольженія частицъ масла другъ относительно друга. Въ этомъ направленіи и ведется испытаніе.

Черт. 329 и 330.



Самый приборъ въ изготовленіи В. К. Э. состоитъ изъ слѣдующихъ частей: изъ указанной камеры съ діаметромъ крыльчататаго колеса около 100 мм. и высотой трубокъ немного болѣе 300 мм.; для полученія желаемой температуры масла камера подогревается ванной съ электрическимъ сопротивленіемъ; крыльчатое колесо приводится во вращеніе при помощи электродвигателя, около $\frac{1}{3}$ д. л. с., который соединенъ непосредственно съ осью колеса, и число оборотовъ *n* котораго можно регулировать въ очень широкихъ предѣлахъ, почти отъ 0 до 1000 обор./мин.; для измѣренія *n* имѣется особый счетчикъ, включаемый и выключаемый при помощи электрическаго тока; расходъ и напряженіе тока, идущаго въ якорь электродвигателя, указываются точными ампер- и вольтметромъ.

Ходъ испытанія возможенъ двоякій: или при постоянной температурѣ масла мѣняютъ скорость колеса, т. е., число оборотовъ электродвигателя, или, поддерживая постоянную окружную скорость, постепенно повышаютъ температуру. Въ обоихъ случаяхъ, когда установится соотв. состояніе, берутъ еще отчеты показаній ампер- и вольтметра. Результаты испытанія лучше всего представлять графически.

Для сравнимости показаній при различныхъ температурахъ надо учитывать расширеніе масла и приводить всѣ измѣренныя высоты къ одной температурѣ, т. е., къ одному удѣльному вѣсу; еще лучше приводить ихъ къ удѣльному вѣсу $\delta=1,00$.

Чтобы сдѣлать показанія независимыми отъ постоянныхъ даннаго прибора, т. е., получить нѣчто въ родѣ абсолютныхъ величинъ, можно приведенныя высоты выражать въ % отъ высотъ нормальной жидкости при тѣхъ же скоростяхъ. Въ качествѣ нормальной жидкости удобно пользоваться керосиномъ, коэффициентъ тренія котораго очень мало мѣняется съ температурой.

Тотъ же приборъ Вилькенса позволяетъ находить величины, характеризующія вязкость масла въ зависимости отъ его температуры. Для этого наносятъ въ качествѣ ординатъ разность между расходомъ тока на вращеніе колеса при извѣстной температурѣ въ маслѣ и безъ масла; за абсциссы берутъ температуры масла. Эту кривую тоже можно перестроить, отнеся ординаты къ % соотв. величинъ, полученныхъ съ нормальной жидкостью.

Выводы, которые даетъ такой приборъ, слѣдующіе: найдя для ряда сравниваемыхъ маселъ кривыя, выражающія связь между числомъ оборотовъ n колеса b и разностью высотъ въ трубкахъ c и c' , можно сказать, что тотъ сортъ масла при равныхъ условіяхъ лучше, котораго треніе меньше.

Кривыя вязкости, представляющія связь между температурой масла и разностью высотъ въ трубкахъ c и c' при $n=\text{const.}$, даютъ такую же характеристику масла, какъ приборъ Энглера.

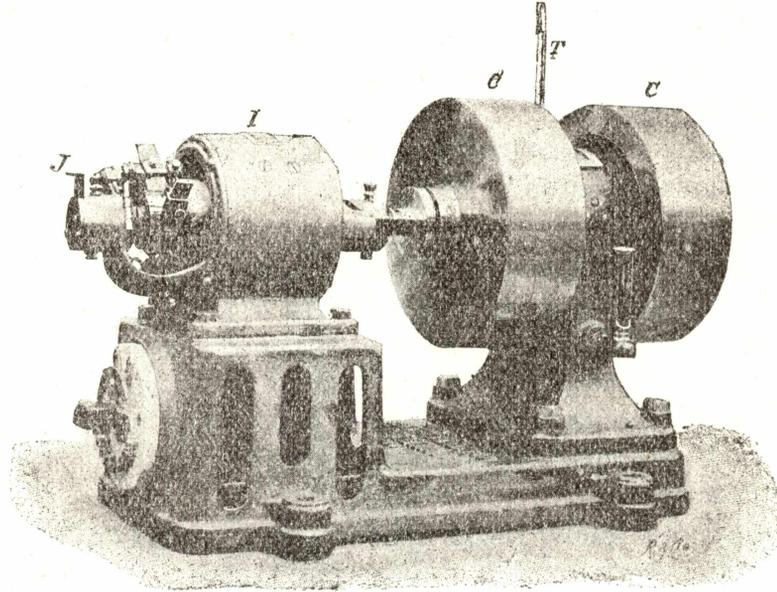
Приборъ Деттмара ⁷⁹⁾ состоитъ изъ вала съ однимъ подшипникомъ и двумя одинаковаго вѣса маховиками, расположенными симметрично къ подшипнику; подшипникъ смазывается испытываемымъ масломъ; валъ съ маховиками приводится въ быстрое вращеніе и, когда температура масла достигнетъ желаемой величины, валъ расцѣпляется отъ органа, приводящаго его во вращеніе, и измѣряется время отъ момента расцѣпленія до остановки вала; время это является мѣркой тренія и достоинства масла.

На черт. 331, стр. 230, представленъ примѣрно въ 1 : 9 натур. вел. приборъ въ связи съ приводящимъ его во вращеніе электродвигателемъ постоянного тока въ $\frac{1}{6}$ л. с.; фирма по желанію заказчика снабжаетъ его и электродвигателемъ переменнаго тока или даже приспособленіемъ для ременнаго привода.

На черт. 332 данъ примѣрно въ 2:15 натур. вел. поперечный разрѣзъ прибора: валъ B , имѣющій 30 мм. въ діаметрѣ, съ маховиками C и C' лежитъ въ массивномъ подшипникѣ A съ кольцевой смазкой; D одно изъ этихъ 2 колець; уровень масла въ R устанавливается всегда на

⁷⁹⁾ J. Brand. Techn. Untersuchungsmethoden. S. 386.

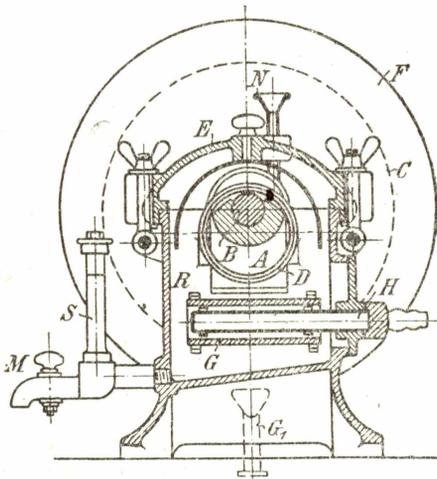
одной и той-же высотѣ по мѣткѣ на секлѣ *S*; подогреваніе масла производится при помощи мѣднаго змѣвика *H*, по которому циркулируетъ паръ или горячая вода; по желанію приборъ снабжается также электриче-



Черт. 331.

скимъ нагрѣваніемъ; соотв. спирали вставляются тогда въ *G*; однако самый удобный способъ нагрѣванія—снаружи при помощи газовой горѣлки *G₁*; для уменьшенія потери тепла при температурахъ масла выше

100° ставятся щиты *F, F*; температура измѣряется при помощи стекляннаго термометра *T*, вводимого черезъ патрубокъ *N* въ толщю вкладыша. Расщѣпленіе отъ электродвигателя производится слѣдующимъ образомъ: якорь двигателя сдвинуть относительно магнитнаго поля въ сторону маховиковъ; вслѣдствіе этого онъ имѣетъ стремленіе удалиться отъ послѣднихъ, чему однако противодѣйствуетъ задвижка *J* на концѣ вала двигателя; когда задвижку выдвигаютъ, якорь подѣйствіемъ магнитныхъ силъ отходитъ на 4÷5 мм., вслѣдствіе чего расщѣпляет-



Черт. 332.

ся кулачная муфта, соединяющая валъ двигателя съ валомъ прибора. Въ приборѣ съ ременной передачей расщѣпленіе производится выдвиганіемъ такой же задвижки, а осевая сила, передвигающая валъ, получается отъ спиральной пружины.

Размѣры маховиковъ таковы, что они даютъ въ нормальномъ приборѣ давленіе въ 3 гкр./см.² на проекцію опорной поверхности вала; при-

вертывающія добавочныя тяжелыя кольца, можно увеличить давленіе до 5 кгр./см.².

Описаннымъ приборомъ можно производить три рода испытаній:

- 1, опредѣленіе коэффиціента тренія μ даннаго масла,
- 2, сравненіе различныхъ сортовъ масла,
- 3, опредѣленіе зависимости тренія въ подшипникѣ отъ давленія, температуры, толщины слоя масла и матеріала вкладыша.

1, *опредѣленіе коэффиціента тренія μ* . Для точности μ очень важно, чтобы температура масла была постоянная, а послѣдняя подъ вліяніемъ работы тренія устанавливается при давленіи въ 3 кгр./см.² около $+40^{\circ}\text{C}$, на что требуется около 1 часа; чтобы сберечь время, масло подогреваютъ предварительно примѣрно до $+40^{\circ}$, а затѣмъ, прекративъ подогреваніе и пустивъ электродвигатель, слѣдятъ по термометру, ожидая вполне установившейся температуры, на что обыкновенно достаточно 5—10 мин. Когда температура t установится, то, записавъ ее, опредѣляютъ по имѣющемуся счетчику число оборотовъ n , которое должно быть 1800—2000 обор./мин., выключаютъ электродвигатель и по секундомѣру измѣряютъ время τ сек. до остановки маховиковъ. Тогда искомымъ коэффиціентъ тренія, отнесенный къ давленію 1 кгр./см.²,

$$\mu = k_1 \cdot n / \tau, \quad (72)$$

гдѣ k_1 постоянная прибора, указываемая заводомъ.

Нужно замѣтить, что коэффиціентъ μ зависитъ отъ окружной скорости u м./сек. на валу; чтобы получить лучшую мѣрку сравненія, Деттмаръ предложилъ пользоваться нѣкоторой характеристикой r , которую онъ назвалъ постоянной тренія; она связана съ μ выраженіемъ

$$\mu = r \sqrt{u}. \quad (73)$$

Сопоставляя ур-ія (72) и (73) и имѣя въ виду, что $u = \pi d n$, гдѣ для даннаго прибора $d = 0,03$ м., мы получаемъ

$$r = 25,3 k_1 \frac{\sqrt{n}}{\tau}. \quad (74)$$

Если хотятъ найти коэффиціенты тренія при разныхъ скоростяхъ, то нужно еще производить отчеты по счетчику оборотовъ черезъ каждыя 30 сек.. Тогда, если въ началѣ число n обор./мин., черезъ τ_1 сек. n_1 , черезъ τ_2 сек. n_2 , черезъ τ_3 сек. n_3 и т. д., то

$$\mu_1 = k_1 \frac{n - n_1}{\tau_1}; \quad \mu_2 = k_1 \frac{n_1 - n_2}{\tau_2 - \tau_1}; \quad \mu_3 = k_1 \frac{n_2 - n_3}{\tau_3 - \tau_2} \text{ и т. д.} \quad (72a)$$

2, *сравненіе различныхъ сортовъ масла* можно производить по величинамъ μ , найденнымъ при одинаковыхъ n отъ 1400 до 2400 обор./мин.; тогда согласно ур-ія (72) коэффиціенты тренія μ относятся обратно пропорціонально временамъ до остановки,

$$\mu_1 : \mu_2 = \tau_2 : \tau_1. \quad (75)$$

Вмѣсто сравненія коэффициентовъ тренія надежнѣе сравнивать постоянныя тренія r , на которыя не вліяетъ разница въ начальныхъ n ; соотношеніе же остается аналогичное (75), т. е.,

$$r_1 : r_2 = \tau_2 : \tau_1. \quad (76)$$

Такъ какъ температура масла t сильно вліяетъ на вязкость масла, а, слѣдовательно, на величину τ , то испытанія всѣхъ сравниваемыхъ маселъ надо вести при одинаковой температурѣ, которою считается средняя арифметическая изъ всѣхъ отчетовъ, сдѣланныхъ черезъ каждыя 30 сек. за время τ . Приведеніе къ какой-нибудь опредѣленной температурѣ дѣлается умноженіемъ измѣреннаго времени τ на отношеніе заданной температуры t къ дѣйствительной средней t_c , т. е., въ расчетъ надо вводить вмѣсто τ время

$$\tau' = \tau \cdot t / t_c. \quad (77)$$

Что касается сравнительнаго достоинства масла, то, очевидно, оно тѣмъ лучше, чѣмъ меньше величина r .

Послѣ испытанія каждаго сорта масла надо, спустивъ его черезъ кранъ M , черт. 332, промыть приборъ бензиномъ, наполняя имъ де обычной мѣтки на S и поворачивая отъ руки валъ B ; выпустивъ бензинъ, полезно промывку повторить еще разъ, а затѣмъ продуть подшипникъ воздухомъ ручнымъ насосикомъ.

3, *опредѣленіе вліянія различныхъ факторовъ* производится по такимъ же отчетамъ, затѣмъ вычисляются или μ по ур-ю (72) или r по ур-ю (74).

Въ частности вліяніе давленія испытываютъ, мѣняя вѣсь маховиковъ; вліяніе температуры выясняютъ путемъ нагрѣванія масла до различныхъ температуры; для выясненія вліянія толщины слоя масла надо или уменьшать толщину вала, или брать вкладышъ съ бѣльшимъ діаметромъ; наконецъ, мѣняя вкладыши изъ разнаго матеріала, можно выяснитъ и этотъ послѣдній вопросъ.

Всѣ перечисленныя изслѣдованія могутъ быть очень полезны при проектированіи и постройкѣ турбинъ. При эксплуатационной работѣ турбины приходится имѣть дѣло главнымъ образомъ съ вопросомъ 2—выбора наилучшаго масла.

39. Наблюденіе за смазкой.—Наблюденіе за смазкой турбины во время испытанія сводится къ слѣдующимъ измѣреніямъ: давленія, подъ которымъ въ современныхъ турбинахъ подается смазка центральнымъ насосомъ, температуры и расхода.

Давленіе наблюдается по металлическому манометру и въ разныхъ машинахъ колеблется отъ 2,0 до 2,5, иногда до 3 атм. изб.; наблюденіе давленія очень важно: какъ при чрезмѣрномъ повышеніи его, такъ равно и при пониженіи турбину надо тотчасъ останавливать: въ первомъ случаѣ, очевидно, произошло засореніе одной изъ подающихъ трубокъ, во второмъ или происходитъ сильная утечка, или произошло повре-

жденіе насоса; во всѣхъ этихъ случаяхъ подшипники и другія части рискуютъ остаться безъ смазки и загорѣться; правда, въ большинствѣ конструкцій при пониженіи давленія масла турбина останавливается сама—все-же слѣдуетъ за давленіемъ необходимо.

Температура измѣряется въ нѣсколькихъ мѣстахъ: при выходѣ масла изъ маслянаго холодильника, гдѣ оно должно обычно охлаждаться до $30-35^{\circ}$, затѣмъ при выходѣ изъ коренныхъ подшипниковъ, откуда оно должно выходить съ температурой не выше $40-50^{\circ}$; иногда измѣряется температура масла передъ общимъ холодильникомъ; чрезмѣрное повышение этой температуры показываетъ на происходящее гдѣ-то нагрѣваніе смазываемыхъ трущихся частей и иногда можетъ служить знакомъ необходимости остановить турбину.

Измѣреніе удобнѣе всего производить при помощи ртутныхъ стеклянныхъ термометровъ, вставляемыхъ въ штуцерокъ по черт. 144.

При сравнительно непродолжительныхъ пріемочныхъ испытаніяхъ надо не только провѣрить, не повысилась ли черезчуръ температура масла при выходѣ изъ подшипниковъ, но слѣдуетъ измѣрять ее черезъ правильные промежутки, напр., черезъ каждыя 10 мин.; иногда послѣ 2—3 ч. работы температура и не превосходитъ $+50^{\circ}$, но все время продолжаетъ расти; въ такомъ случаѣ надо продолжить работу турбины, пока температура или остановится или превзойдетъ допустимую величину и обнаружитъ неисправность подшипниковъ.

У нѣкоторыхъ турбинъ, напр., В. К. Э. и Браунъ и Бовери, въ подшипникахъ дѣлаютъ по отверстію для термометра, доходящему почти до самага вала машины; такое приспособленіе очень желательно, такъ какъ очень чувствительно къ колебаніямъ температуры вала.

Наконецъ, у нѣкоторыхъ турбинъ встрѣчается еще охлажденіе подшипниковъ циркулирующей водой; въ этомъ случаѣ полезно измѣрять повышение температуры воды послѣ прохожденія черезъ подшипникъ, такъ какъ это тоже позволитъ замѣтить своевременно чрезмѣрное нагрѣваніе его.

Расходъ смазки при центральной смазкѣ съ очисткой, охлажденіемъ и непрерывной циркуляціей въ современныхъ турбинахъ очень невеликъ: отъ 0,12 до 0,20 гр./л. с. ч.. Въ виду значительной емкости насоса, трубопровода, фильтра и т. д. измѣрить расходъ масла, идущій на утечку и испареніе, очень трудно. Лучше всего опредѣлять его какъ среднюю величину по эксплуатационному расходу за промежутокъ въ нѣсколько недѣль и не менѣе 7—10 дней. При этомъ нужно замѣтить, что расходъ масла почти не зависитъ отъ нагрузки турбины, а только отъ ея мощности, соотв. размѣровъ.

Побочныя измѣренія. Измѣреніе повышения температуры смазки позволяетъ иногда опредѣлять работу тренія той или иной детали. Укажемъ примѣръ⁷⁹⁾: турбина въ 6000 д. л. с. предназначена для приведе-

⁷⁹⁾ Eng. 1909, p. 576.

нія въ дѣйствіе гребного винта; между валомъ турбины, дѣлающимъ нормально 1500 обор./мин., и валомъ винта, дѣлающимъ 300 обор./мин., включена зубчатая передача въ родѣ, какъ у лавалевскихъ турбинъ; требовалось опредѣлить коэффициентъ отдачи зубчатой передачи. Испытаніе производилось на суши, и работа гребного вала поглощалась водянымъ тормозомъ по черт. 82—85. Опредѣлили расходъ масла, въ которомъ работали колеса передачи, и которое подавалось и отводилось непрерывной струей; расходъ этотъ оказался $g=1600$ кгр./час.; температура, съ которой масло подавалось, была $t_1=20^\circ$, средняя температура отходящаго масла $t_2=25,5^\circ$; теплоемкость данного масла была $c=0,47$. Количество тепла, унесеннаго масломъ за 1 часъ,

$$q=g(t_2-t_1)c; \quad (78)$$

по указаннымъ выше числовымъ даннымъ $q=4145$ т. ед./час.; зная, что 1 д. л. с. ч.=632,3 т. ед., получаемъ прямо величину работы тренія $N_r=4145/632,3=65,5$ л. с.; измѣренная водянымъ тормозомъ работа на гребномъ валу была при указанномъ выше испытаніи $N_e=5088$ л. с., откуда коэффициентъ отдачи передачи

$$\eta_m = 5088 : (5088 + 65,5) = 0,9875.$$

Найденныя величины N_r и η_m хорошо согласовались съ найденными другимъ способомъ при помощи работы на тормозъ—одинъ разъ безъ передачи, другой разъ съ передачей.

Такимъ же способомъ можно опредѣлять потерю работы на треніе въ коренныхъ и гребенчатыхъ подшипникахъ.

Конечно, въ эти опредѣленія вкрадываются двѣ ошибки: во-первыхъ, нѣкоторое количество тепла уходитъ неизмѣненнымъ вслѣдствіе лучеиспусканія и теплопередачи, однако количество это при энергичной циркуляціи смазки невелико; во-вторыхъ, величина теплоемкости c мѣняется съ составомъ масла отъ 0,40 до 0,47 и выше; поэтому для избѣжанія этой ошибки нужно опредѣлять теплоемкость для каждаго данного масла опытнымъ путемъ. Нужныя указанія можно найти въ любомъ курсѣ опытной физики.

ГЛАВА VIII.

ОСОБЫЯ ИЗМѢРЕНІЯ У ТУРБИНЪ.

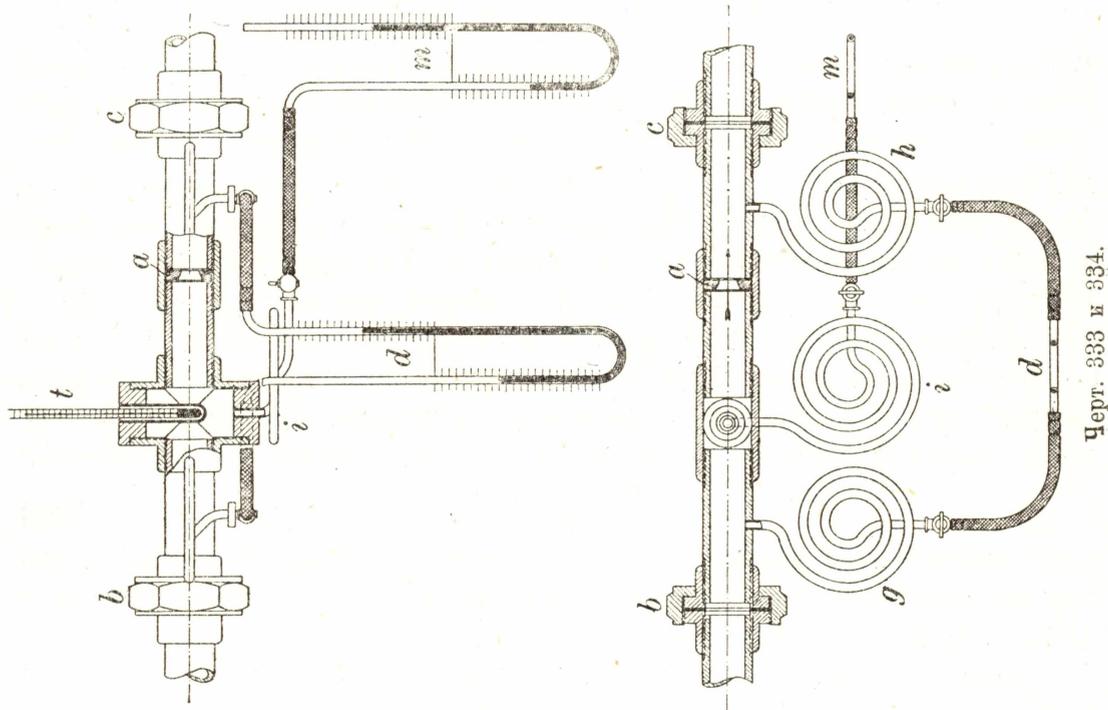
40. Измѣреніе потерь пара.—Подъ потерями пара мы имѣемъ въ виду расходъ пара на паровыя лабиринтовые уплотненія, утечку пара черезъ разгрузочные поршни реактивныхъ турбинъ, наконецъ, расходъ пара на приведеніе въ дѣйствіе регулятора въ нѣкоторыхъ системахъ, напр., у Парсонса. Паръ этотъ въ зависимости отъ конструкціи уходитъ или въ холодильникъ, т. е., совсѣмъ теряется, или въ промежуточную ступень турбины, т. е., теряется лишь нѣкоторая разность теплосодер-

жаній. Однако методы измѣренія въ обоихъ случаяхъ могутъ быть одинаковы, и мѣняется лишь учетъ вліянія соотв. утечки.

Измѣреніе утечки запорнаго пара въ холодильникъ черезъ лабиринтовые уплотненія можно производить двумя способами: или измѣряя количество свѣжаго пара, подаваемого въ уплотненія, или измѣряя количество конденсата, получающагося изъ запорнаго пара.

Измѣрять количество свѣжаго пара, подаваемого въ уплотненія, можно при помощи описанныхъ выше паромѣровъ. Однако пользоваться сложнымъ самозаписывающимъ приборомъ для такихъ измѣреній нѣтъ необходимости, и его можно замѣнить болѣе простымъ.

Такъ, на черт. 333—334 представленъ примѣрно въ 1:5 натур. вел. соотв. приборъ, употреблявшійся въ лабораторіи Шарлоттенбургскаго Политехникума для турбины В. К. Э. въ 200 кв.в.⁸⁰⁾. Приборъ этотъ соб-



ственно тоже паромѣръ по схемѣ черт. 259, но отличается отъ продажныхъ паромѣровъ главнымъ образомъ простотой конструкции, а, кромѣ того, и тѣмъ, что сконструированъ онъ специально для небольшого расхода пара отъ 10 до 80 кгр./час..

Выточенное изъ бронзы измѣрительное сопло *a* включено въ паропроводъ при помощи газовой муфты; температуру пара передъ сопломъ указываетъ вставленный въ газовый же крестъ термометръ *t*; паденіе давленія $p_1 - p_2$ при прохожденіи черезъ сопло указываетъ дифференціальнымъ ртутнымъ манометромъ *d*, давленіе p_1 передъ сопломъ ма-

⁸⁰⁾ Z. Turb. 1910, S. 534.

нометромъ m ; чтобы горячій паръ не повредилъ стеклянныхъ трубокъ манометровъ и резиновыхъ соединительныхъ трубокъ, всѣ трубки заполнены всегда водой; присоединены манометры при помощи горизонтальныхъ змѣвиковъ g, h, i изъ мѣдныхъ трубокъ; благодаря этимъ змѣвикамъ вертикальныя трубки всегда остаются заполненными водой, что даетъ возможность вводить соотв. поправки на высоту столба воды. Американскія муфты b и c позволяютъ легко вынимать приборъ для градуировки и смѣны сопла.

Въ виду того, что въ этомъ приборѣ паденіе давленія можетъ не удовлетворить указанному выше условію $(p_1 - p_2) < 0,07 p_1$, пользоваться упрощеннымъ ур-іемъ (54) нельзя, а вмѣсто того надо пользоваться уравненіемъ Сэнъ-Венана и Ванцеля

$$g_c = 100 \mu f \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \cdot \sqrt{2g \frac{\kappa}{\kappa-1} \left[\left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{2}{\kappa}} - \left(\frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{\kappa+1}{\kappa}} \right]}, \quad (79)$$

гдѣ площадь сѣченія f въ м.², а показатель политропы согласно точныхъ опытовъ можно брать $\kappa = 1,135$, какъ для сухого насыщеннаго пара, такъ равно и для слабо перегрѣтаго. Для большей увѣренности однако лучше проградировать отверстие a , выпуская паръ съ различными $\sqrt{p_2/p_1}$ въ холодильникъ въ видѣ змѣвика и взвѣшивая его. Этимъ способомъ можно опредѣлить коэффициентъ сжатія μ . Для практическаго пользованія ур-іемъ (79) удобно, обозначивъ второй корень черезъ ψ , построить кривую, беря за оси абсциссъ p_2/p_1 , примѣрно отъ 1,0 до 0,70, а по ординатамъ откладывая соотв. величины ψ ; измѣнивъ масштабъ ординатъ, можно считать, что онѣ выражаютъ величины $\alpha = 3600 \cdot 100 \mu f \psi$, тогда часовой расходъ пара G получается просто по выраженію

$$G = \alpha \sqrt{p_1 / v_1}, \quad (80)$$

гдѣ давленіе p_1 измѣряется непосредственно, удѣльный объемъ v_1 нетрудно вычислить по давленію и температурѣ, т. е., по ур-ію (62) или (64), а α берется по указанной кривой.

Діаметръ сопла a надо брать такимъ, чтобы отношеніе p_2/p_1 не слишкомъ приближалось къ 1, иначе при малыхъ расходахъ получаются неточные результаты.

При давленіяхъ p_2 за сопломъ a , т. е., передъ лабиринтомъ, обычно близкихъ къ 1 кгр./см.², при расходѣ пара отъ 10 до 50 кгр./ч. удобно брать сопло съ діаметромъ около 10 мм. Площадь сѣченія f можно или вычислить заранее по ур-ію (79), считая $\mu = 0,93$, или найти путемъ пробъ, опираясь на указанный выше примѣръ.

Иногда лабиринтъ съ уплотненіемъ при помощи пара долженъ предотвращать не попаданіе воздуха въ паровое пространство съ давленіемъ p_0 ниже атмосфернаго, а работать въ обратномъ направленіи, т. е., чтобы паръ изъ пароваго пространства не вытекалъ въ машинное помещеніе; тогда неизбежна нѣкоторая утечка пара прямо въ машин-

ное помѣщеніе; утечка эта обыкновенно невелика, но все же бываетъ интересно опредѣлить и ея величину.

Опредѣлить эту величину можно, во-первыхъ, аналитически на основаніи зависимости ея отъ числа лабиринтовъ z и проходной площади f м.² каждаго кольцевого зазора; именно, Стодоля нашель⁸¹⁾, что утечка пара въ случаѣ, если давленіе, куда паръ вытекаетъ, $p_0 > 0,85p / \sqrt{1,5+z}$, какъ всегда въ данномъ случаѣ, выражается въ кгр./ск.

$$G_x = 100. f \sqrt{\frac{9,81}{z p v} (p^2 - p_0^2)}, \quad (81)$$

гдѣ v м.³/кгр. удѣльный объемъ пара при давленіи p и температурѣ t .

Однако, разъ есть приборъ по черт. 333 и 334, то надежнѣе воспользоваться имъ и для этого опредѣленія. Для этого поступаютъ слѣдующимъ образомъ: опредѣляютъ при помощи прибора расходы пара G_2 при различныхъ разностяхъ давленій $p-p_0$ черезъ z_2 лабиринтовъ, отдѣляющихъ мѣсто подачи запорнаго пара отъ холодильника, и взявъ за оси координатъ $p-p_0$ и G , вычерчиваютъ по найденнымъ точкамъ соотв. кривую. Такъ какъ согласно ур-ія (81) утечка пара черезъ лабиринтъ обратно пропорціональна \sqrt{z} , то найденная кривая выразить и утечку G черезъ z лабиринтовъ, но лишь въ другомъ масштабѣ ординатъ. Именно, если запорный паръ подается въ такое мѣсто лабиринтоваго уплотненія, что отъ наружной атмосферы его отдѣляетъ z_1 лабиринтовъ, а отъ парового пространства z_2 лабиринтовъ, при чемъ $z_1 + z_2 = z$, то

$$G = G_2 \sqrt{z_2/z}; \quad (82)$$

такимъ образомъ, считая новый масштабъ расхода пара въ $\sqrt{z/z_2}$ разъ крупнѣе, можно, измѣряя избыточное давленіе въ паровомъ пространствѣ ($p-p_0$), находить G какъ ординату той же кривой для соотв. разности давленій.

Опредѣленіе расхода пара на уплотненія измѣреніемъ конденсата производится слѣдующимъ образомъ: послѣ соотв. продолжительной работы турбины при полной нагрузкѣ, когда всѣ части турбины приняли нормальную рабочую температуру, турбину останавливаютъ, но холодильникъ оставляютъ въ дѣйствиіи, а также не мѣняютъ впускъ запорнаго пара въ оба лабиринтовыхъ уплотненія вала, и по количеству конденсата изъ холодильника опредѣляютъ расходъ пара G_x на оба лабиринта. Теперь остается лишь разбить этотъ расходъ на соотв. лабиринты. Сдѣлать это можно двояко: или аналитически, разбивая согласно ур-ія (81) на двѣ части, пропорціональныя $f'/\sqrt{z'}$ и $f''/\sqrt{z''}$, гдѣ f' и z' площадь и число зазоровъ одного лабиринта, а f'' и z'' соотв. другого.

Однако въ виду трудности точно измѣрить f' и f'' для контроля полезно найти соотв. пропорціональность тоже опытнымъ путемъ. Для этого поступаютъ слѣдующимъ образомъ: одно изъ лабиринтовыхъ уплотненій запираютъ при помощи пара, какъ обычно, другое же остав-

⁸¹⁾ A. Stodola. Die Dampfturbinen. 4. Aufl. 1910. S. 319.

ляютъ не запертымъ; затѣмъ производятъ въ холодильникѣ разрѣженіе, насколько воздушный насосъ его можетъ дать, и когда разрѣженіе установится, измѣряютъ слѣдующія величины: высоту барометра B мм., разрѣженіе въ холодильникѣ h мм. рт. ст., количество воздуха L , засасываемаго въ холодильникъ черезъ незапертый лабиринтъ, давленіе воздуха h_b мм. рт. ст. за воздушнымъ насосомъ передъ приборомъ, которымъ измѣряется L , и температуру воздуха t .

Измѣреніе L можно дѣлать нѣсколькими способами; напр., при помощи газомѣра-рота, сравнительно недорогого и удобопереносимаго прибора, имѣющагося теперь почти въ каждой инженерной лабораторіи, или при помощи истеченія черезъ градуированное сопло, въ родѣ сопла у прибора по черт. 333 и 334; при употребленіи градуированнаго сопла для опредѣленія вытекающаго воздуха въ кгр./ч. можно пользоваться выраженіемъ

$$L = \alpha \sqrt{h_b \gamma}, \quad (83)$$

гдѣ h_b избыточное давленіе передъ сопломъ въ мм. рт. ст., γ удѣльный вѣсъ воздуха при данномъ h_b и t , а α постоянная для даннаго сопла, опредѣляемая градуировкой при сличеніи съ газомѣромъ. Что касается діаметра сопла, то можно указать, что для измѣренія воздуха отъ 40 до 70 кгр./ч., что соответствовало утечкѣ пара $G_d = 115$ кгр./ч., оказалось подходящимъ сопло съ $d = 25$ мм.; при иномъ G_d надо измѣнять d пропорціонально $\sqrt{G_d}$.

Тѣмъ или инымъ способомъ измѣривъ просачиваніе воздуха L_1 кгр./ч. черезъ одинъ лабиринтъ, запираютъ его паромъ и измѣряютъ такимъ же образомъ количество воздуха L_2 , просачивающееся черезъ другой лабиринтъ.

Вслѣдствіе разнаго количества воздуха, просачивающагося черезъ тотъ и другой лабиринтъ, и разрѣженіе h установится въ каждомъ изъ испытаній различное. Въ виду этого надо одно изъ количествъ, напр. L_2 , перечислить къ такому же разрѣженію, какъ и L_1 ; для этого надо согласно ур-ія (81) умножить L_2 на $\sqrt{(p^2 - p_1^2) : (p^2 - p_2^2)}$, гдѣ $p = B/737,4$, $p_1 = (B - h_1)/737,4$, а $p_2 = (B - h_2)/737,4$, т. е., соотв. величина абсолютнаго давленія воздуха при измѣреніи L_2 .

Найденное ранѣе общее количество конденсата G_d изъ обоихъ лабиринтовъ надо теперь раздѣлить пропорціонально количествамъ L_1 и перечисленнаго L_2' .

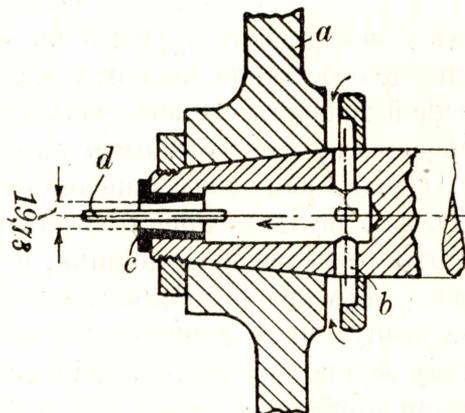
Утечку пара, идущаго на разгрузку осевого давленія въ радіальной турбинѣ Эйермана, проф. Йоссе измѣрялъ при помощи приспособленія по черт. 335⁸²⁾: паръ съ правой стороны диска a турбины попадаетъ черезъ 4 радіальныхъ отверстія b, b въ полый торецъ вала, изъ котораго, пройдя осплю c , которое сперва сужается, а затѣмъ немного расширяется, попадаетъ на лѣвую, тыльную часть диска a . Неподвижная тонкостѣнная трубка d , съ внутреннимъ діаметромъ въ 8,0 мм., от-

⁸²⁾ Z. Turb. 1908, S. 248.

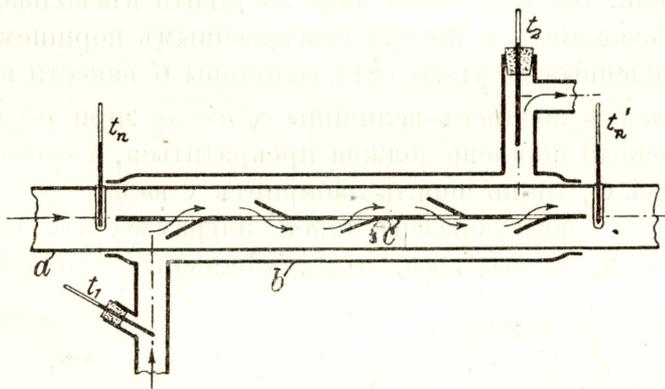
крытая съ праваго конца, лѣвѣмъ пропущена черезъ сальникъ, не показанный на чертежѣ, и присоединена къ манометру, которымъ измѣряютъ давленіе p_1 передъ сопломъ; другимъ манометромъ измѣряютъ давленіе p_2 непосредственно за сопломъ.

Расходъ пара опредѣляется по p_1 и p_2 при помощи ур-ія (79) или по кривой, найденной непосредственной градуировкой.

Утечка пара сквозь лабиринты разгрузочнаго поршня турбины Парсонса, если задняя полость сообщается въ выпускномъ въ холодильникъ отдѣльной трубой, и паръ, просачивающійся черезъ указанные лабиринты, сильно перегрѣтъ, цѣлесообразно опредѣлять при помощи приспособленія по черт. 336, употреблявшася въ лабораторіи Шарлоттенбургскаго Политехникума для турбины въ 300 кв. ⁸³⁾: труба a , по которой паръ течетъ въ холодильникъ, окружена на длинѣ около



Черт. 335.



Черт. 336.

1100 мм. припаянной къ ней трубой b ; сквозь получившееся кольцевое пространство пропускается вода, и измѣряется, какъ количество ея W кгр./ч., такъ и температуры ея t_1 при вступленіи и t_2 при выходѣ; далѣе измѣряется давленіе пара p и температуры его t_n передъ калориметромъ, каковымъ является все приспособленіе, и t'_n за нимъ; чтобы быть увѣреннымъ, что второй термометръ дастъ правильную среднюю величину t'_n , въ трубу вставляется перегородка c съ отогнутыми язычками, благодаря чему паръ все время хорошо перемѣшивается. Опредѣливъ по соотв. таблицамъ по давленію p теплоемкость перегрѣтаго пара c_p , нетрудно найти количество пара, протекающаго за 1 часъ по трубѣ a ,

$$G = \frac{W(t_2 - t_1) + s}{c_p(t_n - t'_n)}, \quad (84)$$

⁸³⁾ Z. Turb. 1909, S 115.

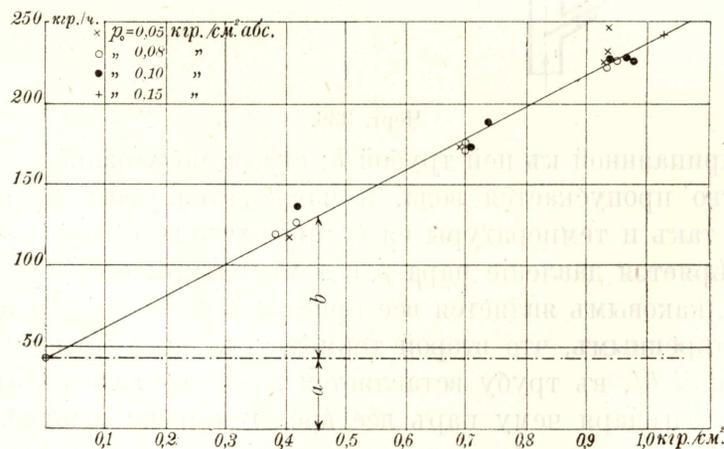
гдѣ s поправка на излученіе тепла нагрѣтой водой. Поправку эту можно вычислять въ т. ед./ч. по выраженію

$$s = \alpha \cdot f [0,5(t_2 + t_1) - t], \quad (85)$$

гдѣ f поверхность трубы b въ м², а t температура помещенія; величина α собственно зависитъ отъ скорости движенія воды, но съ достаточной точностью можно полагать $\alpha=60$, такъ какъ вообще поправка s очень мала, при обычныхъ условіяхъ менѣе 1%.

Однако найденное описаннымъ способомъ количество пара G состоитъ изъ двухъ количествъ: изъ пара G_n , просачивающаго сквозь лабиринты разгрузочнаго поршня, и изъ запорнаго пара G_d изъ прилегающаго наружнаго лабиринтоваго уплотненія вала; чтобы узнать интересующую насъ величину G_n , надо изъ G вычесть G_d . Последнюю величину можно опредѣлить двумя способами: или самостоятельно при помощи прибора по черт. 333 и 334, или при помощи слѣдующаго графическаго экстерполированія: выточки въ разгрузочныхъ поршняхъ являются въ сущности тѣми-же лабиринтовыми уплотненіями, утечка черезъ которыя выражается ур-іемъ (81), т. е., пропорціональна $\sqrt{p^2 - p_0^2}$, тогда какъ утечка запорнаго пара черезъ лабиринтовое уплотненіе у вала при постоянномъ давленіи p_0 въ холодильникъ остается постоянной. Въ виду этого надо поставить нѣсколько опытовъ съ различнымъ давленіемъ p передъ разгрузочнымъ поршнемъ и постояннымъ p_0 и найденныя по ур-ю (81) величины G нанести въ видѣ ординатъ, взявъ за ось абсциссъ величины $\sqrt{p^2 - p_0^2}$; при $p = p_0$ утечка черезъ разгрузочный поршень должна прекратиться, и соотв. величина G явится утечкой G_d лишь черезъ лабиринтъ у вала.

На черт. 337 данъ образецъ такой діаграммы изъ 18 опытовъ съ различнымъ p и, кромѣ того, и p_0 , мѣнявшимся отъ 0,05 до 0,15



Черт. 337.

кр./см.² абс., произведенныхъ съ указанной выше турбиной; какъ видимъ, всѣ результаты опредѣленія G съ вполне достаточной точностью.

лежать на некоторой наклонной прямой, пересечение которой с осью ординатъ даетъ искомую утечку черезъ лабиринтъ вала, равную въ данномъ случаѣ 45 кгр./ч..

Вліяніе измѣненія величины p . отъ 0,05 до 0,15 при $p > 1,0$ совершенно несущественно; именно, по выраженію (81) оно можетъ дать ошибку $\pm 1,5\%$, тогда какъ при величинѣ зазоровъ въ лабиринтѣ въ 0,25 мм. разниа всего въ 0,01 мм. даетъ измѣненіе G_1 уже на 4%.

Въ заключеніе остается еще упомянуть, что всѣ утечки черезъ лабиринтовые уплотненія у валовъ и лабиринтовые выточки у разгрузочныхъ поршней реактивныхъ турбинъ можно, конечно, опредѣлять и прямо при помощи ур-ія (81), измѣряя лишь давленія въ соотв. пространствахъ. Однако, какъ уже указывалось выше, самыя ничтожныя ошибки при измѣреніи величины радіальныхъ зазоровъ въ лабиринтахъ или измѣненіе величины зазоровъ при работѣ вслѣдствіе нагрѣванія даютъ очень замѣтную ошибку, вслѣдствіе чего этимъ аналитическимъ способомъ лучше не пользоваться, вѣрнѣе сказать, слѣдуетъ пользоваться лишь въ качествѣ контрольнаго на ряду съ непосредственнымъ опытнымъ измѣреніемъ.

Впрочемъ, бываютъ случаи, когда опредѣленіе утечки возможно только аналитическое по ур-ію (81). Такъ, мы указали способъ для опредѣленія утечки пара черезъ лабиринты послѣдняго разгрузочнаго поршня при помощи прибора по черт. 336, однако, способъ этотъ даетъ удовлетворительные результаты лишь тогда, если паръ въ трубѣ a перегрѣтъ, и при томъ t_n' не менѣе какъ на 60° выше соотв. температуры насыщенія. При меньшемъ перегрѣвѣ выраженіе (84) даетъ преувеличенныя величины утечки, что должно быть объяснено тѣмъ, что несмотря на перегрѣвъ часть пара подъ дѣйствіемъ охлаждающей воды конденсируется и течетъ по нижней части трубы въ видѣ воды. Такое нахождение воды въ перегрѣтомъ парѣ при большой скорости его доказано теперь и другими опытами, напр., съ дроссель-калориметромъ для опредѣленія влажности пара. Въ приборѣ по черт. 336 появленіе конденсата можно обнаружить, измѣряя температуру стѣнокъ трубы a за калориметромъ: если она по всей окружности одинакова, то паръ не содержитъ конденсата, въ противномъ случаѣ низъ трубы значительно холоднѣе.

Другой случай, когда приходится прибѣгать къ ур-ію (81), это для опредѣленія утечки пара изъ перваго и втораго разгрузочныхъ поршней той же турбины Парсонса. Путемъ простаго подсчета нетрудно найти, что первый поршень, находящійся подъ давленіемъ свѣжаго пара, пропускаетъ довольно много пара, до 15—20% всего рабочаго количества; изъ этого пара часть поступаетъ обратно въ турбину въ среднюю ступень, а часть протекаетъ мимо втораго, средняго поршня; прошедшее мимо него количество пара опять таки разбивается на двѣ части: одна часть поступаетъ обратно въ турбину въ нижнюю ступень ея,

а другая просачивается мимо послѣдняго поршня; ея-то находеніе опытнымъ путемъ мы и указали выше.

Чтобы и при аналитическомъ подсчетѣ утечекъ сквозь лабиринты всѣхъ трехъ послѣдовательныхъ поршней получить возможно точныя величины, полезно поступать слѣдующимъ образомъ: измѣривъ давленія p и p_0 передъ и за каждымъ изъ поршней во время испытаній, и зная соотв. величины f и z , вычисляютъ соотв. утечки G_1 , G_2 , G_3 черезъ всѣ три поршня, а затѣмъ, измѣривъ G , утечку черезъ послѣдній поршень при данномъ испытаніи или найдя ее по діаграммѣ черт. 337, умножаютъ величины G_1 и G_2 на отношеніе G/G_3 , т. е., дѣйствительно найденнаго и аналитически вычисленнаго количества пара, просачивающагося черезъ третій поршень. Опыты съ различными нагрузками отъ полной до $\frac{1}{3}$ нормальной съ указанной выше турбиной показали, что отношенія утечекъ $G_1:G_2:G_3$, вычисленныхъ по ур-ю (81), почти не зависятъ отъ нагрузки, т. е., давленій пара, и для данной турбины составляли въ среднемъ $3 : 1,75 : 1$, съ точностью $\pm 1,7\%$.

Такимъ же аналитическимъ путемъ приходится опредѣлять утечки пара въ сосѣднія ступени давленія сквозь зазоры между валомъ и направляющими колесами у активныхъ турбинъ со ступенями давленія.

41. Измѣреніе потери тепла на лучеиспусканіе.—Опредѣлить потерю тепла на лучеиспусканіе при условіяхъ нормальной работы турбины очень трудно, поэтому вопросъ лучше расчленивъ слѣдующимъ образомъ: опредѣляютъ опытнымъ путемъ потерю тепла всей турбиной вмѣстѣ или отдѣльными ея частями на 1° разности средней температуры пара въ соотв. части турбины и температуры окружающаго воздуха и затѣмъ по этой величинѣ вычисляютъ дѣйствительную разность температуръ при работѣ турбины.

Соотв. опытъ ставятъ слѣдующимъ образомъ: наложивъ на муфту или коллекторъ динамомашинны тормозъ такъ, чтобы валъ турбины не могъ вращаться, пускаютъ черезъ турбину небольшое постоянное количество пара; конденсація и лабиринты съ паровымъ запоромъ должны работать, какъ при нормальной работѣ турбины; измѣряются температуры t и давленія p пара до турбины, за регулировочнымъ органомъ передъ вступленіемъ въ первый направляющій приборъ, затѣмъ въ мѣстахъ перехода пара изъ одной ступени въ слѣдующую и, наконецъ, при вступленіи въ холодильникъ.

Когда наступитъ вполне установившееся состояніе, на что укажетъ прекращеніе повышенія отдѣльныхъ температуръ, и на что обычно требуется нѣсколько часовъ, начинаютъ измѣрять количество конденсата G кгр./ч., поступающаго изъ поверхностнаго холодильника, и записывать величины t и p . Пускъ пара надо производить въ такомъ количествѣ, чтобы паръ до самаго холодильника былъ нѣсколько перегрѣтымъ, такъ какъ иначе пришлось бы опредѣлять его паросодержаніе,

что очень затруднительно; вмѣстѣ съ тѣмъ, чѣмъ меньше G , тѣмъ рѣзче будетъ падать температура, и тѣмъ точнѣе можно будетъ вычислить потери тепла. По измѣреннымъ при установившемся состояніи p и t вычисляютъ теплосодержаніе пара i въ соотв. точкахъ турбины; при этомъ, конечно, паръ долженъ быть вездѣ перегрѣтъ. Затѣмъ выдѣляютъ по указанному выше изъ G количества, соотвѣтствующія утечкамъ черезъ различные лабиринты, и, перемножая количества пара, протекающія черезъ отдѣльныя ступени, на соотв. пониженія теплосодержанія пара Δi , получаютъ потери тепла въ отдѣльныхъ частяхъ турбины въ т. ед./ч.; наконецъ, раздѣливъ частичныя потери тепла на разность соотв. средней температуры и температуры окружающаго воздуха, получаютъ искомую потерю тепла соотв. частью турбины на 1°Ц. разности температуръ.

Для поясненія приведемъ въ качествѣ примѣра опредѣленіе потери тепла на лучеиспусканіе турбиной Парсонса въ 300 кв. Шарлоттенбургскаго Политехникума ⁸⁴⁾. Въ таблицѣ 3 приведены цифровые результаты соотв. опыта; измѣреніе p и t въ серединѣ ступени 3 было произведено для контроля, насколько равномерно они понижаются; опытъ показалъ полную равномерность, т. е., пониженіе t вдоль оси турбины по всей длинѣ происходитъ почти по закону наклонной линіи.

Таблица 3.

мѣсто измѣренія:	передъ ту, обной	передъ 1-ой ступенью	передъ 2-ой ступенью	передъ 3-ей ступенью	въ серединѣ 3-ей ступени	при выпускѣ	передъ разгруз. поршнями	наружи, воздухъ
давленіе p кгр./см. ² абс.	12,2	0,752	0,347	0,122	0,082	0,045	0,045	—
температура t $^\circ\text{Ц.}$	195	158,5	142	136,5	123	110	82,7	27,5
теплосодержаніе i т. ед./кгр.	672,5	669,0	652,0	659,7	653,5	647,1	634,5	—
полное количество пара, поступившаго въ холодильник G кгр./ч.								413
утечка пара черезъ передній лабиринтъ g' "								45
" " " задній " g'' "								70
" " " разгрузочный поршень 3 g_3 "								24
" " " " " 2 (=1,75 g_3) g_2 "								42
" " " " " 1 (=3 g_3) g_1 "								72

Окончательная обработка этого матеріала для полученія искомыхъ потерь на 1°Ц. дана въ таблицѣ 4.

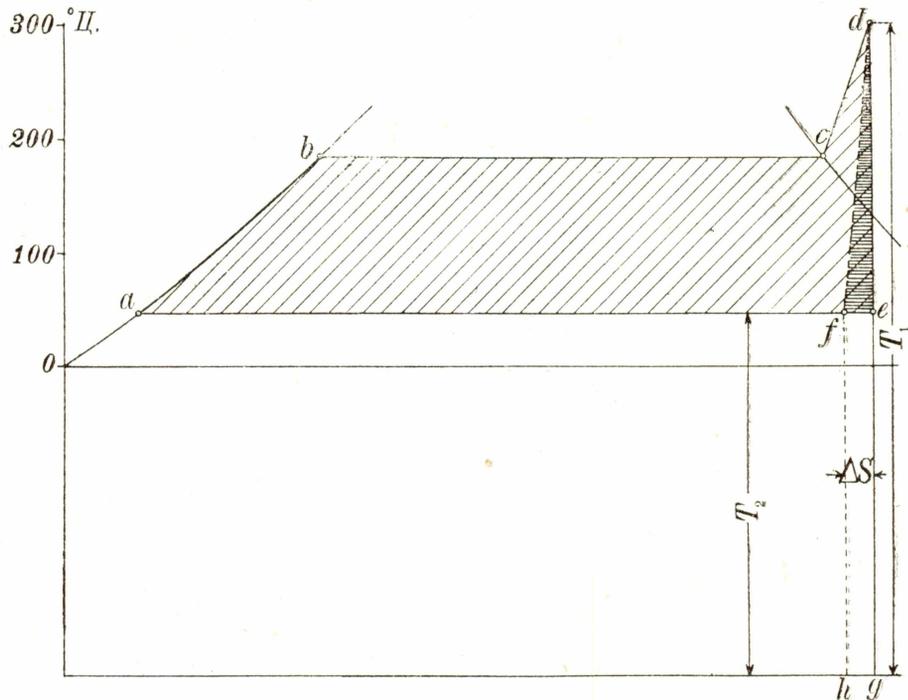
Таблица 4.

части турбины:	регул. органъ	ступень 1	ступень 2	ступень 3	на всѣ 3 ступ.
пропускъ пара . . кгр./ч.	G	$G-(g'+g''+g_1)$	$G-(g'+g''+g_2)$	$G-(g'+g''+g_3)$	—
повиж. теплосод. i т. ед./кгр.	3,5	7,0	2,3	12,6	—
потеря тепла Q . . т. ед./ч.	1450	1580	590	3450	5620
средняя темпер. t . . $^\circ\text{Ц.}$	176,7	150,3	139,8	123,2	134,0
разность темпер. Δt . . $^\circ\text{Ц.}$	149,2	122,8	112,3	95,7	106,5
потеря Δq на 1° . . т. ед.	9,73	12,9	5,3	36,1	(52,8)

84) Z. Turb. 1909, S. 102.

Послѣдній столбецъ показываетъ, что вычислять потерю на 1° сразу на всю турбину несовсѣмъ точно; именно, сумма потерь въ трехъ ступеняхъ даетъ 54,3 т. ед., тогда какъ $5620 : 106,5 = 52,8$; разница около 3%. Такимъ же образомъ и при вычисленіи полной потери въ условіяхъ дѣйствительной работы лучше вычислять по соотв. Δq потери на отдѣльныя ступени и затѣмъ сложить ихъ.

Что касается относительной величины потери тепла на лучеиспусканіе, то было бы неправильно считать таковой полную величину Q потери въ трехъ ступеняхъ и, раздѣливъ на 632,3 т. ед., т. е. получивъ потерю въ д. л. с., выразить ее въ % отъ работы, развиваемой турбиной; равнымъ образомъ неправильно выразить потерю въ % отъ полного располагаемаго тепла, т. е., отъ произведенія расхода пара въ часъ на его начальное теплосодержаніе. При вычисленіи относительной величины потери на лучеиспусканіе надо принять во вниманіе, что отъ всякаго количества тепла можно использовать для работы лишь ту часть его, которая имѣетъ температуру выше нижней температуры рабочего процесса, въ данномъ случаѣ температуры въ холодильникѣ. Ясно все это представляется при помощи тепловой діаграммы, черт. 338.



Черт. 338.

представляющей рабочей цикл идеальной турбины безъ потерь, кромѣ лучеиспусканія. Площадь $d e g h f d$ выражаетъ полную потерю на лучеиспусканіе, но изъ нея часть $e g h f e$ все равно не могла бы быть превращена въ работу, такъ что дѣйствительная потеря выражается лишь треугольникомъ $d e f d$. Конечно, мы должны оговориться, что ходъ

потери тепла, наклонная прямая df , нами взять произвольно, однако, какъ показываетъ опытъ, такое предположеніе довольно близко къ дѣйствительности. Дѣйствительная потеря, какъ видимъ, выражается лишь долей полной, именно, величина этой доли

$$\zeta = \frac{defd}{degdfd};$$

подставляя вмѣсто площади $defd$ ея величину $0,5 (T_1 - T_2) \Delta S$, а вмѣсто $degdfd$ ея величину $[0,5(T_1 - T_2) \Delta S + T_2 \Delta S]$ и произведя соотв. сокращенія, получаемъ

$$\zeta = \frac{T_1 - T_2}{T_1 + T_2}. \quad (86)$$

Величину ζQ уже можно, пожалуй, относить къ соотв. работѣ турбины.

Что касается величины ζ , то она въ среднемъ составляетъ около 0,3; именно, если взять обычную температуру перегрѣтаго пара $t_1 = 300^\circ$, а въ холодильникѣ $t = 33^\circ$, соотв. $p_2 = 0,05$ кгр./см.² абс., то

$$\zeta = (573 - 300) : (573 + 300) = 0,304.$$

Впрочемъ, нужно замѣтить, что вообще относительная величина потери тепла лучеиспусканіемъ въ турбинахъ очень невелика. Такъ, все тепло, излучаемое той же турбиной Парсонса въ 300 кв., при нагрузкѣ на валу въ 446 д. л. с. составляетъ около 6000 т. ед./час. при расходѣ тепла на 1 л. с. ч. около 5000 т. ед.; это даетъ отъ полного тепла $\frac{6000}{446 \cdot 5000} \cdot 100 = 0,27\%$, отъ дѣйствительной работы $\frac{6000}{446 \cdot 632,3} \cdot 100 = 2,1\%$; дѣйствительная же потеря, отнесенная къ дѣйствительной работѣ, $\frac{6000 \cdot 0,304}{446 \cdot 632,3} \cdot 100 = 0,64\%$. Последняя величина $\zeta q = 0,64\%$, являющаяся наиболѣе правильной, показываетъ, какъ незначительна эта потеря, и это у турбины, ничѣмъ не изолированной, кромѣ цилиндрическаго кожуха изъ стальной блестящей жести съ воздушной прослойкой въ 10 мм. Въ нѣкоторыхъ турбинахъ величина ζq доходитъ до $1,0 \div 1,5\%$, но не болѣе.

42. Измѣреніе механическихъ потерь.—Механическія сопротивленія, на преодоленіе которыхъ расходуется часть работы турбины, слугаютъ изъ тренія въ подшипникахъ, сальникахъ и лабиринтовыхъ уплотненіяхъ, изъ работы, затрачиваемой на приведеніе въ дѣйствіе регулирующаго органа и маслянаго насоса, и изъ тренія о паръ колесъ турбины; иногда при измѣреніи работы сопротивленій турбодинамомашины въ нихъ входятъ механическія сопротивленія динамо, т. е. треніе въ подшипникахъ, треніе щетокъ и вентиляціонныя сопротивленія воздуха при вращеніи якоря динамомашинны.

Перечисленные потери обыкновенно опредѣляются при помощи опытовъ съ замедленнымъ вращеніемъ; впрочемъ, если турбина соединена съ динамомашинной, и имѣется другой источникъ электрической энергіи, то механическія потери проще опредѣлять, приводя турбину во вращеніе при помощи динамомашинны, обращенной въ электродвигатель.

Опыты съ замедленнымъ вращеніемъ ведутся слѣдующимъ образомъ: доводятъ число оборотовъ турбины n до величины нѣсколько выше нормальной, затѣмъ быстро запираютъ паръ, поддерживая однако известное постоянное разрѣженіе въ холодильникѣ, и если опытъ ведется съ турбодинамой безъ отключенія генератора, то предварительно выключаютъ какъ токъ отъ главнаго генератора, такъ равно и отъ возбуждательной машины. Подъ влияніемъ живой силы агрегатъ продолжаетъ вращаться, но механическія сопротивленія постепенно поглощаютъ живую силу и замедляютъ вращеніе до полной остановки, что обыкновенно происходитъ черезъ 5÷8, иногда до 10 мин.. Чтобы установить законъ замедленія нужно черезъ опредѣленные промежутки времени, черезъ 10÷15 сек., записывать указываемое тахометромъ въ соотв. моментъ число оборотовъ n ; затѣмъ, беря за абсциссы время въ сек. съ момента начала замедленія, а за ординаты соотвѣтствующія n , строятъ по точкамъ кривую числа оборотовъ въ мин., иначе сказать, кривую n .

Указанную кривую n можно получить еще другимъ способомъ, болѣе надежнымъ въ виду сравнительно малой точности обычныхъ тахометровъ. Именно, соединивъ съ валомъ турбины счетчикъ оборотовъ, записываютъ черезъ указанные промежутки времени его показанія n ; вычитая изъ нихъ показанія счетчика n_0 въ моментъ перваго отчета и откладывая полученныя разности $n - n_0$ въ видѣ ординатъ при тѣхъ же абсциссахъ — сек. отъ начала замедленія, находятъ по точкамъ кривую суммы числа оборотовъ, иначе кривую Σn , являющуюся интегральной кривой отъ кривой n ; найдя затѣмъ аналитически или графически соотв. дифференціальную кривую, получаютъ искомую кривую n .

По найденной тѣмъ или инымъ способомъ кривой n находятъ аналитически или графически ея дифференціальную кривую $\frac{dn}{dt}$. Последняя кривая представляетъ въ нѣкоторомъ масштабѣ величину моментовъ всѣхъ сопротивленій M_r при разныхъ n , а отсюда находится уже согласно приведеннаго выше ур-ію (23), стр. 63, и работа сопротивленій $N_r = 0,001396 M_r n$. Пояснимъ это.

Какъ известно, моментъ сопротивленій можно выразить моментомъ инерціи вращающихся частей J и угловой скоростью ω , вѣрнѣе, угловымъ ускореніемъ $\frac{d\omega}{dt}$, именно,

$$M_r = J \frac{d\omega}{dt}; \quad (87)$$

угловую скорость можно выразить числомъ оборотовъ, именно, $\omega = \pi n/30$, откуда ускореніе

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi}{30} \frac{dn}{dt}; \quad (88)$$

подставляя выраженіе (88) въ ур-іе (87), получаемъ

$$M_r = J \frac{\pi}{30} \frac{dn}{dt}; \quad (89)$$

имѣя въ виду, что $J\pi/30 = \text{const.}$, мы видимъ, что моменты сопротивленія равны величинамъ $\frac{dn}{dt}$, помноженнымъ на нѣкоторую постоянную величину *const.*

Итакъ, остается лишь найти величину *J* или аналитически по чертежамъ машины, или опытнымъ путемъ, о чемъ будетъ сказано отдѣльно ниже.

Для лучшаго поясненія на черт. 339, стр. 248, данъ образецъ соотв. кривыхъ, полученныхъ при одномъ изъ опытовъ съ упоминавшейся выше турбиной Парсонса въ 300 кль. ⁸⁵⁾: чтобы, не увеличивая чрезчуръ размѣровъ чертежа, получить достаточно большія ординаты у кривой *n*, масштабъ послѣднихъ увеличенъ вдвое противъ масштаба ординатъ кривой Σn ; масштабъ ординатъ кривой $\frac{dn}{dt}$ 1 эк. ⁻² = 2,50 мм.; когда мы разсматриваемъ эту кривую за кривую M_r , то, такъ какъ моментъ инерціи вращенія даннаго агрегата оказался $J = 5,79$ кгр. м. эк. ⁻², масштабъ 1 кгр. м. = 4,125 мм..

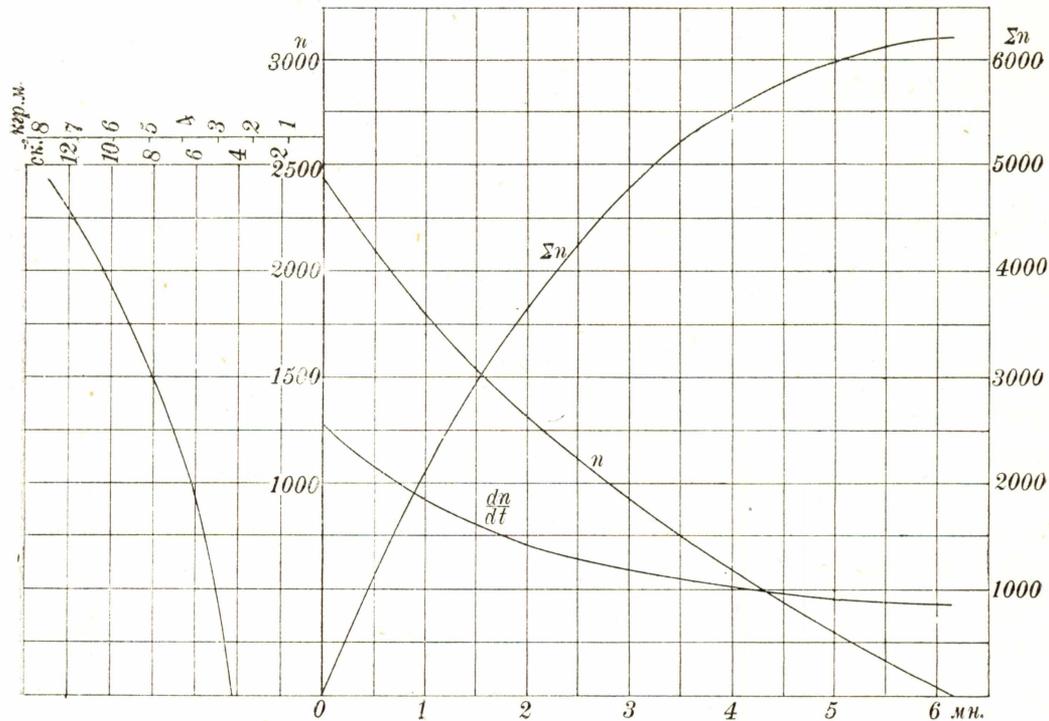
Получивъ такимъ образомъ кривую M_r , ее перестраиваютъ, не мѣняя величины ординатъ, а взявъ за ось абсциссъ вмѣсто времени число оборотовъ *n*; перестроенную кривую M_r удобно располагать слѣва, черт. 339.

Дальнѣйшая обработка результатовъ опыта состоитъ въ разбивкѣ величины M_r , выражающей сумму моментовъ всѣхъ различныхъ сопротивленій, на отдѣльныя составныя части. Для этого надо поставить еще нѣсколько такихъ же опытовъ съ замедленнымъ вращеніемъ, мѣняя лишь нѣкоторыя условія.

Проще всего отдѣлить моментъ вращенія динамомашинны; для этого описанный опытъ повторяютъ, отключивъ динамомашину и опредѣливъ отдѣльно моментъ инерціи *J* одной турбины. Получивъ описаннымъ выше образомъ новую кривую M_r' , вычитаютъ величины ординатъ ея изъ ординатъ кривой полнаго момента M_r всего агрегата; разности равны моментамъ механическихъ сопротивленій динамомашинны. Послѣднюю величину можно разбить еще на двѣ, опредѣливъ моментъ тренія щетокъ динамомашинны; для этого ставятъ опытъ замедленнаго

⁸⁵⁾ Z. Turb. 1909, S. 84.

вращенія съ присоединенной динамомашинной, но приподнятыми щетками. Въ остальномъ поступаютъ по предыдущему.

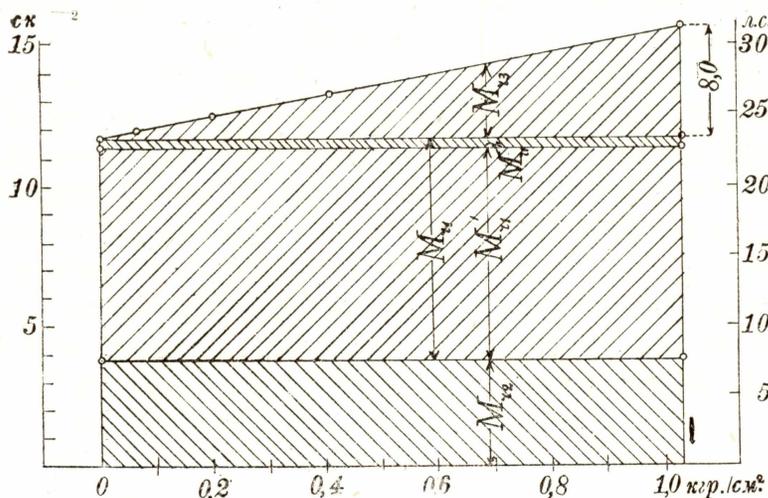


Черт. 339.

Изъ момента сопротивленій вращенію турбины надо еще выдѣлить моментъ тренія колесъ и лопатокъ о паръ. Для этого ставятъ нѣсколько опытовъ замедленнаго вращенія съ различными противодавленіями выпуска p_0 , начиная отъ наивысшаго возможнаго разрѣженія въ холодильникѣ черезъ искусственно ухудшенное, напр., впускомъ воздуха, и кончая выпускомъ въ атмосферу. Берутъ съ полученныхъ при этихъ условіяхъ кривыхъ величины M_r , соотвѣтствующія одинаковому числу оборотовъ n , именно, нормальному для данной машины, и откладываютъ ихъ опять-таки въ видѣ ординатъ, взявъ за абсциссы абсолютныя давленія въ холодильникѣ; всѣ эти точки окажутся лежащими на одной наклонной прямой, которая отсѣчетъ отъ оси ординатъ, проведенной черезъ 0 абс. давленія, величину момента M_r , въ который войдутъ остальные механическія сопротивленія, безъ тренія колесъ и лопатокъ о паръ. Остальные механическія сопротивленія отъ давленія пара не зависятъ; величина ихъ моментовъ остается при постоянномъ n величиной постоянной, что позволяетъ, пользуясь діаграммами, полученными при предыдущихъ опытахъ, поставленныхъ для выдѣленія отдѣльныхъ сопротивленій, разбить и моменты сопротивленій при нормальномъ n и различныхъ p_0 .

На черт. 340 данъ образецъ соотв. діаграммы при $n=2380$ съ разбивкой на отдѣльныя величины различныхъ сопротивленій въ той же

турбинѣ Парсонса; масштаб $\frac{dn}{dt}$ взять въ $1\frac{1}{2}$ раза крупнѣе, чѣмъ на черт. 339; величина M_{r1} представляетъ полный моментъ сопротивленій генератора, изъ нихъ M_{r1}' отдѣльно вентиляціонныя потери якоря и



Черт. 340.

трения въ подшипникахъ, а M_{r1}'' потеря отъ трения щетокъ; величина M_{r2} представляетъ чисто механическія сопротивленія въ самой турбинѣ, т. е., трение въ подшипникахъ и лабиринтахъ и затрату работы на масляный насосъ и отчасти на регулирующий приборъ; наконецъ, перемѣнное разстояніе отъ верхней горизонтальной линіи до наклонной представляетъ моментъ трения M_{r3} лопатокъ и барабана о паръ, мѣняющійся въ зависимости отъ p_0 отъ $M_{r3}=0$ при $p_0=0$ до $M_{r3}=2,66 \text{ кг. м.} = 8,0 \text{ л. с.}$ при $p_0=1,035 \text{ кгр./см.}^2$.

Такъ какъ на черт. 340 моменты выражены при постоянномъ n , то они согласно ур-ія (23) выражаютъ одновременно работу въ л. с.; соотв. масштаб нанесенъ на чертежѣ справа.

Въ виду указанной пропорціональности момента трения пара M_{r3} давленію пара можно ограничиваться для его опредѣленія всего 2 опытами съ замедленнымъ вращеніемъ—при работѣ съ холодильникомъ и съ выпускомъ въ атмосферу или съ двумя возможно различными разреженіями. Если въ первомъ случаѣ давленіе p_0' и неизвѣстный пока моментъ трения пара M_{r3}' , а во второмъ p_0'' и M_{r3}'' , при чемъ разность $M_{r3}'' - M_{r3}'$ въ виду постоянства момента M_{r2} равна разности суммарныхъ моментовъ, которая можетъ быть опредѣлена по указаннымъ двумъ опытамъ, и которую мы обозначимъ ΔM , то для расчлененія моментовъ трения можно обойтись и безъ графическаго экстерполированія по черт. 340. Именно, мы имѣемъ

$$\frac{M_{r3}'}{M_{r3}''} = \frac{p_0'}{p_0''};$$

или, вычитая эти дроби изъ 1, замѣнивъ $M_{r3}'' - M_{r3}'$ по указанному выше ΔM , получаемъ для опредѣленія M_{r3}'' выраженіе

$$M_{r3}'' = \Delta M \frac{p_0''}{p_0'' - p_0'}; \quad (90)$$

найдя численную величину M_{r3}'' и вычтя ее изъ полного момента сопротивленій турбины M_r , получаемъ величину момента M_{r2} .

Найдя тѣмъ или инымъ способомъ отдѣльныя потери и выразивъ ихъ въ л. с., можно вычислить механическую отдачу η_m турбины. Хотя работа тренія пара по существу относится къ механическимъ потерямъ и опредѣляется вмѣстѣ съ ними, но такъ какъ она превращается въ тепло, передаваемое рабочему пару и учитываемое въ рабочемъ процессѣ, то говоря объ η_m турбины надо имѣть въ виду лишь работу тренія N_r , соответствующую моменту M_{r2} ; именно, если нормальная дѣйствительная работа на валу турбины N_e , то величина механической отдачи вычисляется по выраженію

$$\eta_m = \frac{N_e}{N_e + N_r}. \quad (91)$$

Величина η_m въ современныхъ турбинахъ очень близка къ 1. Такъ, въ приведенномъ на черт. 340 примѣрѣ $N_r = 7,6$ л. с.; для турбины, соединенной съ генераторомъ въ 300 квв., котораго отдача $\eta_m = 0,91$, нормальная нагрузка $N_e = 448$; это даетъ $\eta_m = 0,983$.

Въ случаѣ многодисковой активной турбины для болѣе подробнаго изслѣдованія рабочаго процесса съ тепловой точки зрѣнія надо работу тренія пара разбить на отдѣльныя колеса. Для этого существуетъ два способа—чисто опытный и аналитическій.

Опытный способъ состоитъ въ томъ, что или снимаютъ съ вала отдѣльныя колеса и опредѣляютъ работу тренія пара каждаго колеса отдѣльно, или запираютъ по возможности плотно промежуточные сопла или направляющіе приборы и, достигнувъ этимъ различнаго давленія пара въ отдѣльныхъ ступеняхъ, получаютъ въ связи съ опытами съ одинаковыми давленіями во всѣхъ ступеняхъ данныя для расчлененія работы тренія пара на отдѣльныя колеса.

Однако, такого рода опыты можно поставить далеко не со всѣми турбинами и, кромѣ того, лишь при особенно благоприятныхъ условіяхъ, т. е., при испытаніяхъ или на самомъ заводѣ или въ инженерной лабораторіи. Во всѣхъ остальныхъ случаяхъ, составляющихъ значительное большинство, приходится прибѣгать къ аналитическому способу.

Для этого поступаютъ слѣдующимъ образомъ: вычисляютъ по извѣстной формулѣ Стодоля-Лаше

$$N_r = (\beta_1 D^2 + \beta_2 D L^{1.5}) u^3 \gamma \cdot 10^{-6}, \quad (92)$$

гдѣ D діаметръ соотв. колеса въ м., L длина его лопатокъ въ см., u окружная скорость въ м./сек., $\beta_1 = 1,46$, $\beta_2 = 0,83$, γ удѣльный вѣсъ пара въ

кгр./м.³, работы тренія отдѣльныхъ колесъ и дѣлать пропорціонально этимъ среднимъ теоретическимъ величинамъ найденную опытнымъ путемъ суммарную работу тренія всѣхъ колесъ.

Опыты съ вращеніемъ турбины отъ динамо, работающей въ качествѣ электродвигателя, ставятся слѣдующимъ образомъ: прикрывъ подачу пара въ турбину и пуская лишь запорный паръ въ лабиринтовые уплотненія, вращаютъ турбину, пуская въ динамо токъ отъ посторонняго источника и измѣряя его силу и напряженіе; опредѣливъ предварительно кривую отдачи η_a динамо при работѣ въ качествѣ электродвигателя, легко найти затрату работы на вращеніе турбины при разныхъ числахъ оборотовъ и разномъ разрѣженіи въ холодильникѣ. Путемъ экстерполированія находятъ, какъ и при первомъ способѣ, величину потери работы на треніе въ подшипникахъ, въ лабиринтахъ и на приведеніе въ дѣйствіе маслянаго насоса и регулирующаго прибора, а остатокъ будетъ работа тренія пара. Разбивка ея на отдѣльныя колеса въ многодисковыхъ активныхъ турбинахъ производится по указанному выше пропорціонально теоретическимъ величинамъ работы тренія по ур-ю (92).

43. Дополнительныя замѣчанія.—При описанныхъ опытахъ опредѣленія сопротивленій приходится сталкиваться съ затрудненіями, а также производить вспомогательные опыты, на которыхъ мы не хотѣли останавливаться выше, чтобы не затемнять изложенія основныхъ опытовъ.

Кривая n : если тахометру при турбинѣ нельзя довѣрять, то его можно замѣнить прецизионнымъ вольтметромъ, который присоединяется къ зажимамъ невозбужденной возбуждательной машины и показываетъ напряженіе тока, получающагося отъ остаточнаго магнетизма и строго пропорціональнаго числу оборотовъ машины; если коллекторъ возбуждательной машины въ полной исправности, то стрѣлка вольтметра отходитъ очень спокойно и равномерно, и если къ тому шкала прибора снабжена зеркаломъ, то отчеты можно производить очень точно. Переводный множитель отчетовъ въ вольтахъ на числа обор./мин. легко получить, измѣривъ во время работы турбины какое-нибудь постоянное число оборотовъ при помощи счетчика оборотовъ и одновременно сдѣлавъ отчетъ по вольтметру.

Другой удобный способъ получить кривую—это воспользоваться точнымъ тахометромъ съ записью, или, еще лучше, тахографомъ Горна, но, конечно, съ перемѣщеніемъ діаграммной ленты при помощи часового механизма. Пружины надо вставить для степени неравномѣрности $\pm 12\%$; взявъ шкивъ такого діаметра, чтобы при начальномъ наибольшемъ числѣ оборотовъ карандашъ всталъ въ свое крайнее наружное положеніе, получаютъ діаграмму на всей ширинѣ ленты, вполне достаточную для изслѣдованія явленія, такъ какъ ходъ кривой при дальнейшемъ пониженіи рѣдко представляетъ интересъ. Разумѣется, тахе-

графъ надо передъ опытомъ тщательно провѣрить, какъ это было указано въ соотв. мѣстѣ выше.

Построение дифференціальной кривой $\frac{dn}{dt}$: построение это можно дѣлать, или проводя черезъ равные промежутки, считая по оси абсциссъ, касательныя и измѣряя отсѣкаемыя ими отрѣзки на сосѣдней ординатѣ, или вычисляя тангенсы, образуемые элементами кривой съ горизонтальною, по отрѣзкамъ Δn и соотв. Δt , при чемъ послѣдніе берутся равными между собой, или, наконецъ, дифференцирование можно замѣнить способомъ конечныхъ разностей.

Проще всего пояснить этотъ способъ на примѣрѣ: пусть во время разобраннаго выше опыта, представленнаго на черт. 339, число оборотовъ измѣряли при помощи счетчика оборотовъ и при томъ ради удобства отчета и точности записывали не показаніе счетчика черезъ опредѣленные промежутки времени, а, наоборотъ, время t по секундомѣру въ моментъ прохожденія стрѣлки счетчика черезъ тысячи.

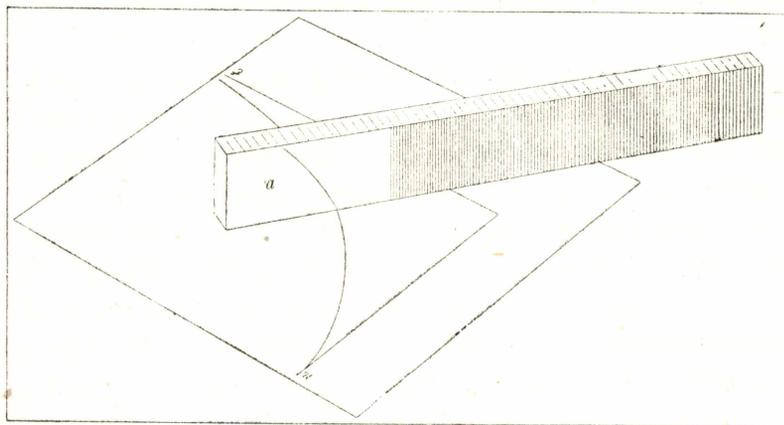
Таблица 5.

показанія счетчика Σn обор.	21000	22000	23000	24000	25000	26000
отчетъ времени Σt ск.	25	55,6	92	137	197	302
разность $\Delta(\Sigma n)$ обор.	1000	1000	1000	1000	1000	1000
„ Δt ск.	30,6	36,4	45	60	105	
среднее число $n = \frac{\Delta(\Sigma n)}{\Delta t}$ обор./мин.	1960	1650	1333	1000	572	
соотв. среднее время t_c ск.	40,3	73,8	114,5	167,0	249,5	
разность Δn	—	310	317	333	428	—
„ Δt_c	—	33,5	40,7	52,5	82,5	—
ускореніе $\frac{\Delta n}{\Delta t_c} = \left[\frac{dn}{dt} \right]$ ск. ⁻²	—	9,3	7,8	6,4	5,2	—
соотв. среднее время t_c' ск.	—	57	94	141	208	—

Какъ показываетъ сличеніе таблицы 5 съ кривой $\frac{dn}{dt}$ черт. 339, согласованіе вполне удовлетворительное. Слѣдуетъ еще обратить вниманіе, насколько вообще полученіе кривой $\frac{dn}{dt}$ зависитъ отъ возможной точности полученія основныхъ данныхъ; такъ, измѣненіе перваго отчета времени Σt всего на ± 1 сек., т. е. на $\pm 4\%$, даетъ для $\frac{\Delta n}{\Delta t}$ измѣненіе до $\pm 24\%$!! Такой крайней чувствительностью въ связи съ порядочной кропотливостью всего способа объясняется, почему въ техникѣ стараются избѣгать способовъ изслѣдованія, связанныхъ съ полученіемъ дифференціальныхъ кривыхъ. Тѣмъ не менѣе бываютъ случаи, когда безъ этихъ кривыхъ нельзя обойтись; для этихъ случаевъ при построеніи удобно пользоваться особыми вспомогательными приборами, которые и ускоряютъ построение и увеличиваютъ его точность.

Зеркальная линейка—простѣйшій приборъ для этого: чисто простроганная металлическая линейка, длиной 150–200 мм., черт. 341,

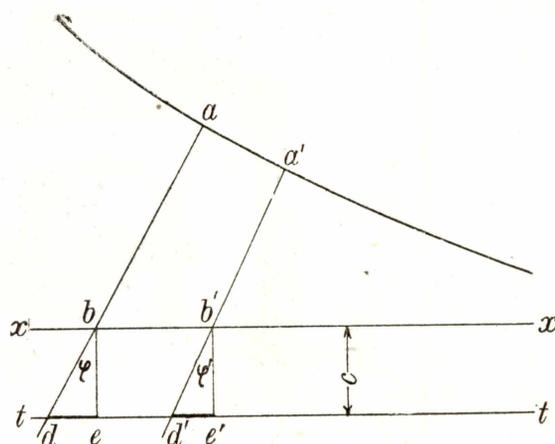
въ сѣченіи примѣрно 25×10 мм., на одной изъ широкихъ сторонъ съ одного конца a отполирована, какъ зеркало; зеркало это служитъ для нахождения нормалей къ кривой: кромка линейки нормальна къ кривой,



Черт. 341.

когда изображеніе послѣдней въ a образуетъ плавное продолженіе, безъ перелома, къ видимой части кривой; кромка служитъ для прочерчиванія найденной нормали. Дальнѣйшія дѣйствія, т. е., нахождение $\operatorname{tg} \varphi = \frac{dn}{dt}$ удобно производить слѣдующимъ образомъ: проводятъ параллельно оси абсциссъ $x-x$ на разстояніи c отъ нея прямую $t-t$, черт. 342,

отрѣзки, отсѣкаемые отъ нея нормалью ad къ кривой и перпендикуляромъ be , проведеннымъ черезъ пересѣченіе нормали съ осью абсциссъ въ точкѣ b , т. е. величины $de, d'e' \dots$ равны $\operatorname{tg} \varphi, \operatorname{tg} \varphi' \dots$, т. е., даютъ прямо соотв. ординаты дифференціальной кривой. Чѣмъ больше взято разстояніе c , тѣмъ крупнѣе масштаб искомымъ ординатъ.



Черт. 342.

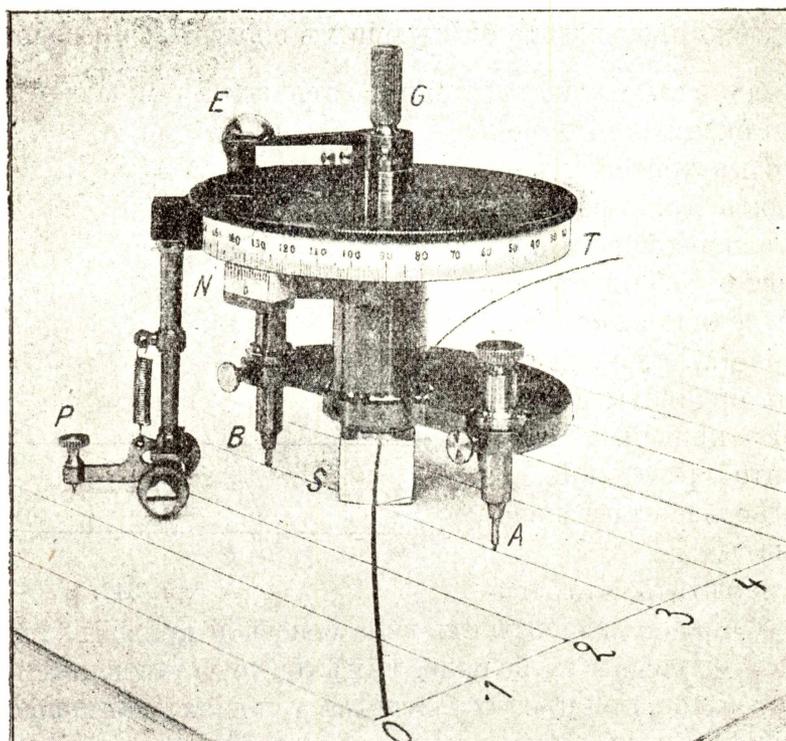
Нужно замѣтить, что точность нахождения $\operatorname{tg} \varphi$ зависитъ отъ вида основной кривой: чѣмъ она положе, радиусъ кривизны ея больше, тѣмъ легче устанавливать зеркальную линейку; далѣе, при прочихъ равныхъ условіяхъ наименьшая ошибка получается при углѣ наклона элемента кривой къ оси абсциссъ въ 45° , увеличеніе угла до 80° и уменьшенія до 10° увеличиваетъ ошибку, а за этими величинами угловъ возможная ошибка становится черезчуръ большой.

Далѣе нужно замѣтить, что если основная кривая сама построена по точкамъ, то нормали къ ней надо проводить не въ этихъ точкахъ,

а между ними, такъ какъ хотя истинная неизвѣстная кривая совпадаетъ съ построенной по точкамъ именно въ этихъ точкахъ, но именно поэтому ошибка дифференціальныхъ отношеній въ этихъ точкахъ достигаетъ наибольшей величины, а между двумя сосѣдними точками — наименьшей.

Наконецъ, нужно указать, что при помощи зеркальной линейки трудно провести нормаль къ о п р е д ѣ л е н н о й точкѣ кривой; другой недостатокъ линейки — необходимость проводить значительное число нормалей, такъ какъ все-таки установка линейки неполнѣ точна, и необходимо графически исключить ошибки; для этого, найдя достаточно большое число точекъ дифференціальной кривой, послѣднюю получаютъ не соединеніемъ сосѣднихъ точекъ, а какъ среднюю линію между многочисленными точками, лежащими выше и ниже ея. Многочисленныя нормали и перпендикуляры не только требуютъ порядочно времени для всего построенія, но и создаютъ на чертежѣ такую путаницу линій, въ которой производить измѣренія не такъ легко.

*Дериваторъ Вагенера*⁸⁶⁾ устраняетъ всѣ указанные недостатки: небольшое плоское металлическое зеркальце *S*, черт. 343, поворачива-



Черт. 343

ется за ручку *G* около оси прибора вмѣстѣ съ кругомъ *T* съ дѣленіями въ градусахъ и иглой *P* для отмѣтокъ, пока отраженіе части кри-

⁸⁶⁾ Gramberg. Techn. Mess. S. 177.

вой не образуетъ плавнаго продолженія безъ перелома къ самой кривой; если при этомъ острия ножекъ A и B были установлены на ординатѣ Z , то отчетъ по шкалѣ T при помощи нониуса N дастъ уголъ наклона φ элемента кривой, пересѣкаемаго ординатой Z ; соотв. $\operatorname{tg}\varphi$ находятъ по таблицѣ; нажатіемъ на иглу P получаютъ на чертежѣ точку, соединяя которую съ пересѣченіемъ кривой и соотв. ординаты, можно получить нормаль къ кривой. Приборъ имѣетъ еще третью ножку C , почти невидимую на черт. 343. Соотв. установкой круга T и иглы P можно этимъ приборомъ находить уголъ и направленіе или касательной или нормали къ кривой. Приборъ имѣетъ приспособленіе E для установки плоскости зеркала относительно шкалы T , а также приспособленіе для вывѣрки положенія иглы P .

Видъ кривой вліяетъ на точность измѣренія этимъ приборомъ такъ же точно, какъ и при зеркальной линейкѣ, но вмѣсто графическаго уравновѣшиванія ошибокъ при этомъ приборѣ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: произведя отчетъ угла φ , поворачиваютъ зеркальце S , затѣмъ снова устанавливаютъ его нормально къ кривой, дѣлаютъ второй отчетъ и такъ далѣе 3—5 разъ, за истинное значеніе φ считаютъ среднее арифметическое изъ всѣхъ сдѣланныхъ отчетовъ.

Нахожденіе момента инерціи относительно оси вращенія можно производить однимъ изъ трехъ способовъ:—аналитическимъ, способомъ качанія и способомъ ускореннаго вращенія.

Аналитически величину J находятъ, разбивая рядомъ окружностей сѣченіе вращающагося тѣла на узкія полоски и вычисляя произведенія $G \cdot r^2$ для каждаго изъ выдѣленнаго такимъ образомъ кольца. Такимъ способомъ довольно удобно находить моментъ инерціи барабана, пожалуй, еще отдѣльныхъ колесъ, но почти невозможно найти точно моментъ инерціи якоря динамомашины; послѣдній находятъ почти всегда опытнымъ путемъ.

Способъ качанія основанъ на слѣдующемъ: время τ сек. полного, двойного качанія физическаго маятника съ моментами инерціи J кгр./м.² и вѣсомъ G кгр., котораго центръ тяжести отстоитъ отъ оси качанія на разстояніи e , такъ что при отклоненіи на 90° отъ положенія покоя получается возстановливающій моментъ $M = G \cdot e$, составляетъ при малыхъ углахъ качанія

$$\tau = 2\pi \sqrt{J/G \cdot e} = 2\pi \sqrt{J/M},$$

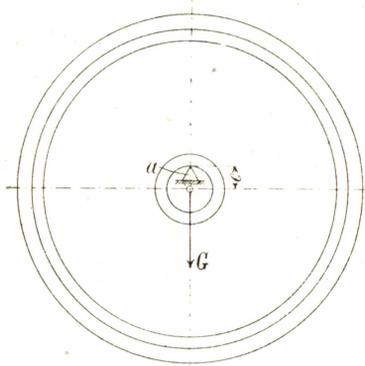
откуда моментъ инерціи

$$J = \frac{\tau^2}{4\pi^2} G e = 0,02535 \tau^2 M. \quad (93)$$

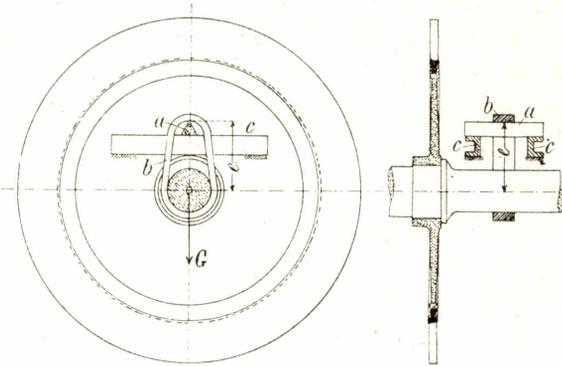
Такимъ образомъ, измѣривъ G и e и найдя періодъ качанія τ , можно вычислить величину J .

Уравновѣшенные барабаны и колеса надо сперва превратить въ физическій маятникъ, подвѣсивъ ихъ на трехгранной призмѣ a , какъ пока-

зано на черт. 344. Въмѣсто того, чтобы снимать барабанъ или колеса съ вала, можно надѣть на послѣдній пару серегъ b, b , черт. 345 и 346. Время колебанія τ находятъ, наблюдая при помощи секундомѣра $10 \div 20$



Черт. 344.



Черт. 345 и 346.

колебаній и беря среднее изъ $3 \div 5$ наблюдений. Моментъ инерціи J' , найденный такимъ образомъ опытами по схемѣ черт. 344 или 345 и ур-ю (93), относится къ оси качанія; моментъ инерціи J относительно оси вращенія будетъ на величину $\frac{G}{g} e^2$ меньше величины J' .

Опредѣленіе величины J по способу ускореннаго вращенія производится особенно удобно, если турбина соединена съ электрическимъ генераторомъ. Тогда поступаютъ слѣдующимъ образомъ: заставляютъ турбину работать съ опредѣленной нагрузкой; регуляторъ выключаютъ и требуемую подачу пара устанавливаютъ отъ руки при помощи главнаго запорнаго вентиля. Когда наступитъ вполне установившееся состояніе, мгновенно сбрасываютъ всю нагрузку, но поддерживаютъ постояннымъ напряженіе возбуждательной машины, благодаря чему можно считать постоянными потери на гистерезисъ и вихревые токи, а также потери отъ возбуждательной машины. Такъ какъ при такой разгрузкѣ подача пара не мѣняется, и, слѣдовательно, дѣйствующій крутящій моментъ остается постояннымъ, а моментъ сопротивленія уменьшается на точно извѣстную, измѣренную величину, то скорость вращенія агрегата вслѣдствіе избытка крутящаго момента начинаетъ возрастать; измѣряя тѣмъ или инымъ способомъ, какъ при опытахъ съ замедленнымъ вращеніемъ, увеличеніе скорости, нетрудно вычислить соотв. ускореніе. Въ началѣ скорость, т. е., число оборотовъ n , возрастаетъ обыкновенно очень близко къ закону наклонной прямой, тангенсъ угла наклона которой къ горизонтали даетъ величину ускоренія $\frac{dn}{dt}$; въ случаѣ возрастанія по кривой, вогнутой къ оси абсциссъ t , надо провести касательную въ точкѣ, соотвѣтствующей времени разгрузки.

При возрастаніи n по прямой достаточно измѣрить по секундомѣру время Δt , въ теченіе котораго n возрастетъ на $5 \div 10\%$, и тогда по соотв.

величинѣ Δn можно по ур-ію (89) написать

$$J = \frac{30}{\pi} M \frac{\Delta t}{\Delta n}, \quad (94)$$

гдѣ M величина избыточнаго крутящаго момента, т. е. сумма полезнаго момента, найденнаго по ур-ію (23) по нагрузкѣ динамо ко времени сбрасыванія нагрузки и среднему числу оборотовъ $n_c = n + 0,5\Delta n$, и момента, соответствующаго преспавшей при разгрузкѣ потерѣ въ якорѣ.

Вслѣдствіе значительнаго числа измѣреній, которыя должны быть сдѣланы для нахождения величины J по этому способу, при чемъ неизбежныя неточности складываются, точность опредѣленія величины J не можетъ быть очень велика; легко возможна ошибка до $\pm 2 \div 5\%$, даже до $\pm 8\%$. Въ виду этого опытъ надо ставить нѣсколько, 3 \div 5, разъ и, кромѣ того, полезно поставить одну группу съ одной начальной нагрузкой, напр. 0,20 \div 0,25 отъ нормальной, затѣмъ вторую группу съ другой нагрузкой раза въ 1,5 \div 2 большей. За величину J берутъ среднюю изъ всѣхъ 6 \div 8 опытовъ обѣихъ группъ.

При опредѣленіи величины J_t одной только турбины, безъ динамо, приходится поступать иначе. Именно, если турбина составляетъ часть агрегата съ динамомашинной, то можно поступать слѣдующимъ образомъ: ставятъ нѣсколько опытовъ съ замедленнымъ вращеніемъ со всѣмъ агрегатомъ, затѣмъ съ одной турбиной; результаты опытовъ первой серіи изображаютъ графически по образцу черт. 339 и находятъ величину моментовъ чисто механическихъ сопротивленій M_{r_2} одной турбины; затѣмъ строятъ аналогично черт. 340 кривую моментовъ сопротивленій, точнѣе сказать, величинъ $\frac{dn}{dt}$ при разныхъ давленіяхъ для одной турбины безъ динамо, находятъ графически раздѣленіе на величины M_{r_2} и M_{r_3} ; масштабъ ординатъ этой новой кривой опредѣлится по величинамъ моментовъ сопротивленій M_{r_2} и M_{r_3} , которыя остались тѣ же, что и при опытахъ съ замедленнымъ вращеніемъ турбины вмѣстѣ съ динамо. Зная величины M_{r_2} и M_{r_3} при какомъ-нибудь n , найдя изъ опыта соотв. величину $\frac{dn}{dt}$, можно по ур-ію (94) вычислить величину J_t .

Если динамомашину можно пустить въ качествѣ электродвигателя, то полезно, опредѣливъ по указанному выше величину J всего агрегата, поставить опыты съ замедленнымъ вращеніемъ одной отцѣпленной динамомашинной, пользуясь ею какъ электродвигателемъ, и по кривой замедленія найти аналогично, какъ для одной турбины, моментъ инерціи J_a одной динамомашинной. Разумѣется, должно получиться $J_t + J_a = J$. Въ виду трудности нахождения точной величины J такой контроль очень желателенъ.

Моментъ инерціи J_t турбины, не соединенной съ динамомашинной, можно опредѣлять изъ опытовъ съ ускореннымъ вращеніемъ, поставленныхъ слѣдующимъ образомъ: нагружая турбину при помощи тор-

моза, находятъ величины работы N_e при нѣкоторомъ постоянномъ числѣ оборотовъ n , лучше всего равномъ нормальному рабочему, и при постоянномъ давленіи p_0 въ холодильникѣ, но при разныхъ p —давленіи пара передъ турбиной. Величины N_e при постоянномъ n прямо пропорціональны полезнымъ крутящимъ моментомъ M_e ; независимой переменнѣй при этихъ опытахъ будетъ p . Результаты этихъ предварительныхъ опытовъ представляютъ въ видѣ кривой, у которой абсциссы—давленія p , а ординаты—соотв. крутящіе моменты M_e . Затѣмъ ставятъ главные опыты: прогрѣваютъ турбину и пускаютъ паръ въ такомъ небольшомъ количествѣ, чтобы турбина вращалась въ холостую съ числомъ оборотовъ немного менѣе половины нормального; затѣмъ сразу пріоткрываютъ паровпускной вентиль такъ, чтобы турбина начала разбѣгаться, измѣряютъ тѣмъ или инымъ способомъ, какъ при опытахъ съ замедленнымъ вращеніемъ, постепенное возрастаніе числа оборотовъ n , а также давленіе p передъ турбиной и p_0 за ней; послѣднее надо стараться держать точно такимъ же, какъ при предварительныхъ опытахъ. Когда n достигнетъ величины на 10÷15% выше нормального, паръ запираютъ, чтобы турбина остановилась. По полученнымъ даннымъ строятъ кривую n въ координатахъ n и t и находятъ $tg\varphi = \frac{dn}{dt}$ при томъ n , при которомъ велись предварительные опыты. Затѣмъ по измѣренному p находятъ соотв. крутящій моментъ M_e при помощи найденной при предварительныхъ опытахъ кривой моментовъ. По этимъ M_e и $\frac{dn}{dt}$ вычисляютъ по ур-ію (94) величину момента инерціи J_t . Въ виду затруднительности точнаго измѣренія всѣхъ требуемыхъ величинъ опытъ надо повторить нѣсколько, отъ 3 до 5, разъ и притомъ лучше съ разными давленіями p и за дѣйствительную величину J_t взять среднее арифметическое изъ всѣхъ найденныхъ при отдѣльныхъ опытахъ.

Нужно еще замѣтить, что давленія p надо брать въ такихъ предѣлахъ, чтобы время разгона турбины составляло не менѣе 30÷40 сек. и не болѣе 80÷90 сек.; иначе нахожденіе величины $\frac{dn}{dt}$ становится недостаточно точнымъ.

Если противодавленіе p_0 при главныхъ опытахъ не удастся установить на той-же высотѣ, какъ при предварительныхъ, то въ величину крутящихъ моментовъ M_e въ ур-іе (94) надо ввести соотв. поправки. Поправки эти лучше всего найти опытнымъ путемъ для данной турбины слѣдующимъ образомъ: ставятъ нѣсколько опытовъ, работая на тормозъ, съ постояннымъ n и p , но съ разными p_0 ; затѣмъ вычерчиваютъ кривую N_e или, что тоже самое, M_e , взявъ за абсциссы величины p_0 ; кривая обыкновенно получается очень близкой къ слабо наклонной прямой, по которой находятъ убыль въ % величины M_e съ увеличеніемъ p_0 . Въ крайнемъ случаѣ можно ввести поправки и просто по сред-

нимъ опытнымъ даннымъ съ другими подходящими турбинами, такъ какъ поправки въ общемъ невелики: при обычныхъ давленіяхъ $p_0 = 0,03 \div 0,05$ кгр./см.² абс. онѣ составляютъ отъ 1 до 2 %, рѣдко до 3 % на каждую 0,01 кгр./см.² измѣненія давленія.

44. Мелкія измѣренія.—Въ настоящей § мы собрали рядъ измѣреній, результаты которыхъ могутъ дать дополнительныя данныя къ характеристикамъ турбины и ея работы, а потому представляютъ интересъ и при приѣмочныхъ и заводскихъ испытаніяхъ.

Моментъ тренія покоя M_0 представляетъ интересъ въ смыслѣ характеристики конструкции новой турбины и правильности сборки турбины послѣ осмотра или ремонта; наконецъ, въ крайнемъ случаѣ онъ можетъ замѣнить опредѣленіе момента механическихъ сопротивленій турбины.

Величину момента M_0 можно найти слѣдующимъ образомъ: къ торцу муфты, соединяющей валъ турбины съ валомъ, приводимымъ ею во вращеніе, прикрѣпляютъ конецъ стальной полосы, образующей рычагъ, перпендикулярный къ оси турбины; другой конецъ полосы опираютъ на верхнюю грань трехгранной призмы, лежащей на платформѣ десятичныхъ вѣсовъ, при чемъ полоса должна быть совершенно горизонтальна. Затѣмъ пускаютъ черезъ турбину нѣкоторое небольшое количество пара, которое будетъ стремиться повернуть валъ турбины и должно быть уравновѣшено прибавкой нѣкотораго количества гирь G кгр. на чашку вѣсовъ; измѣривъ плечо l м. отъ оси вала турбины до грани призмы, на которую полоса опирается, получаемъ крутящій моментъ при $n=0$, т. е. моментъ троганія $M' = Gl$.

Далѣе, надавивъ на чашку вѣсовъ для гирь, переводятъ ее въ нижнее положеніе, а платформу вѣсовъ и опирающійся на нее конецъ полосы въ верхнее, въ которомъ послѣдній останется въ слѣдствіе тренія вала въ подшипникахъ и сальникахъ; затѣмъ начинаютъ постепенно уменьшать нагрузку на чашкѣ вѣсовъ, пока подъ дѣйствіемъ избытка момента M' платформа не опустится такъ, что указатель вѣсовъ пройдетъ медленно черезъ среднее положеніе. Затѣмъ, нажавъ на конецъ полосы, переводятъ чашку вѣсовъ въ верхнее положеніе и добавляют на нее постепенно нагрузку, пока она, преодолевъ сопротивленія въ подшипникахъ и сальникахъ, не опустится медленно черезъ среднее положеніе. Если дѣйствительная нагрузка, т. е., за вычетомъ вѣса подставки, призмы и соотв. части полосы, въ этомъ случаѣ была G_2 , а въ первомъ G_1 , то моментъ тренія покоя

$$M_0 = 0,5 (G_2 - G_1) \cdot l, \quad (95)$$

а болѣе точная величина момента троганія

$$M' = 0,5 (G_1 + G_2) \cdot l. \quad (96)$$

Опытъ опредѣленія M_0 надо вести съ большою осторожностью, такъ какъ даже слабый толчекъ по вѣсамъ можетъ вызвать преждевремен-

ное перемѣщеніе платформы и преуменьшенный отчетъ величинъ G_1 и G_2 ; точность измѣренія величины M_0 составляетъ $\pm 4 \div 7\%$, при чемъ вѣроятнѣе полученіе преуменьшенной величины для M_0 .

Если величиной M_0 хотятъ воспользоваться для опредѣленія момента тренія M_{r2} , то, принимая во вниманіе, съ одной стороны, уменьшеніе тренія во время вращенія турбины, съ другой, вслѣдствіе усиленной циркуляціи масла подъ напоромъ, можно считать какъ первое приближеніе $M_{r2} \cong 0,3 \div 0,4 M_0$.

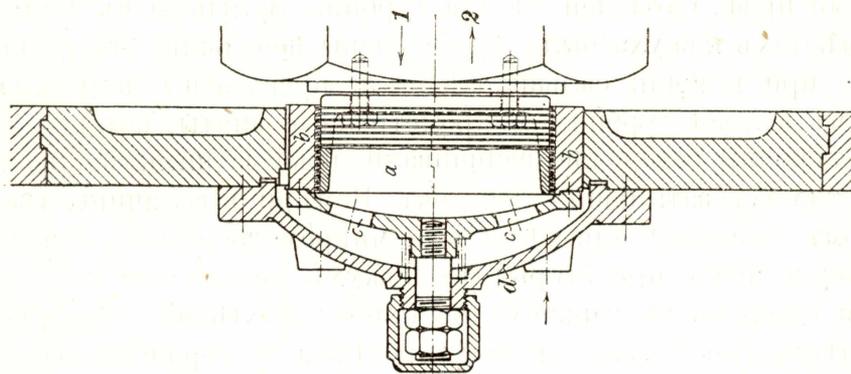
Осевое давленіе знатъ представляетъ лишь рѣдко интересъ: въ активныхъ турбинахъ оно невелико и воспринимается или гребенчатымъ или упорнымъ подшипникомъ; въ реактивныхъ—осевое давленіе значительно, но уравновѣшивается разгрузочными поршнями. Все же можетъ встрѣтиться необходимость опредѣлить численно величину осевого давленія пара и приспособленія, его воспринимающаго. Опредѣленіе это дѣлается обыкновенно косвеннымъ путемъ по величинѣ площади, которая воспринимаетъ извѣстное давленіе пара или масла.

Такъ, въ новѣйшей системѣ турбинъ Зульцеръ осевое давленіе, главнымъ образомъ отъ реактивныхъ ступеней, воспринимается особой тарелкой на концѣ вала, на которую давить то же масло, что и идущее для смазки турбины. Рядомъ съ указанной тарелкой стоитъ небольшой гребенчатый подшипникъ. Интересно бываетъ опредѣлить, какое осевое давленіе воспринимается гребенчатымъ подшипникомъ. Для этого подсчитываютъ осевое давленіе пара, какъ на лопатки турбины, такъ равно и на неуравновѣшенныя кольцевыя площади, и изъ этого суммарнаго давленія вычитаютъ противодѣйствующее ему давленіе масла на разгрузочную тарелку, равное кольцевой площади тарелки, умноженной на давленіе масла въ кгр./см.². Для этого подсчета, имѣя размѣры всѣхъ частей турбины, надо лишь измѣрить при помощи манометровъ давленіе пара въ отдѣльныхъ ступеняхъ турбины и давленіе масла, т. е. всего достаточно у турбины съ активнымъ колесомъ и 3 реактивными ступенями измѣрить въ 5 мѣстахъ давленіе пара и въ 1—масла.

На черт. 347 изображено приспособленіе для измѣренія осевого давленія у турбины Парсонса въ 12000 л. с. завода Франко Този⁸⁷⁾: снабженный 14 буртиками разгрузочный поршень a вращается въ выточкахъ разрѣзного кольца b ; во время испытанія a прикрѣпляется при помощи шуруповъ къ торцу вала турбины; въ полость a , сообщающуюся отверстиями c, c съ полостью въ крышкѣ d , постепенно накачивается масло подъ давленіемъ. Какъ только давленіе масла на a станетъ больше осевого давленія, нормально направленнаго по стрѣлкѣ 1, валъ турбины сдвинется немного вправо, по стрѣлкѣ 2, и масло вытечетъ черезъ зазоры, получившіеся между буртиками въ a и b . По манометру, пока-

⁸⁷⁾ Z. V. d. I. 1908, S. 1286.

зываютъ давлению масла, замѣчаютъ наивысшее давление p атм. масла, т. е. въ моментъ сдвига a ; найдя по p и показанію барометра B соответ. давлению въ кгр./см.² абс. и умноживъ его на площадь поршня a , получаемъ осевое давление P . Въ данной турбинѣ получилось $p=0,3$ атм., что дало $P=64$ кгр..



Черт. 347.

Нѣсколько сложнѣе обстоитъ дѣло, напр., съ радіальной турбиной Эйермана, состоящей изъ 3 активныхъ и 8 реактивныхъ ступеней. Осевое давленіе здѣсь получается только отъ давленія пара на кольцевыя поверхности, соприкасающіяся съ постепенно расширяющимся паромъ; уравнивается это давленіе давленіемъ же пара на тыльныя поверхности рабочаго колеса, при чемъ главная часть этой тыльной поверхности исполнена въ видѣ радіальнаго лабиринта, вслѣдствіе чего давленіе пара на нее падаетъ по мѣрѣ приближенія къ окружности. Для того, чтобы найти осевое давленіе на рабочихъ сторонахъ колеса, пришлось при испытаніи первой 250-сильной турбины ⁸⁸⁾ измѣрять давленіе пара въ 22 мѣстахъ, а для вычисленія осевого давленія на тыльныя поверхности—еще въ 17 мѣстахъ. Такимъ образомъ, простое по существу опредѣленіе осевыхъ силъ потребовало многочисленныхъ измѣреній давленія пара, которыя къ тому же важно производить возможно одновременно.

Цѣль опредѣленія результирующаго осевого давленія при испытаніяхъ—установить, насколько это давленіе уравновѣшено, и какое усиліе остается на долю гребенчатого подшипника, который вообще является довольно деликатной деталью. Чѣмъ это усиліе меньше, тѣмъ меньше потеря на тренія въ этомъ подшипникѣ, и тѣмъ надежнѣе работа его, а, слѣдовательно, и всей турбины.

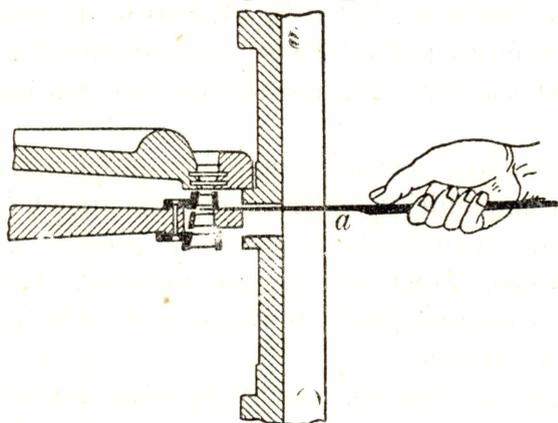
Величина зазоровъ радіальныхъ и осевыхъ между вращающимися лопатками турбины и неподвижными частями ея представляетъ интересъ въ двухъ отношеніяхъ: съ точки зрѣнія экономіи и надежности работы. Чѣмъ меньше эти зазоры, тѣмъ меньше потери пара, но зато тѣмъ больше вѣроятіе поломки лопатокъ вслѣдствіе измѣненія очер-

⁸⁸⁾ Z. Turb. 1908, S. 69.

таній кожуха турбины и барабана или колесъ подъ дѣйствіемъ теплоты или центробѣжной силы.

Въ виду понятнаго стремленія заводовъ уменьшить радіальные зазоры у реактивныхъ турбинъ можетъ оказаться полезнымъ слѣдующій способъ провѣрки величины зазоровъ въ горячемъ состояніи, примененный проф. Стодолой⁸⁹⁾ для турбины Зульцера въ 2000 кв.: въ трехъ мѣстахъ кожуха были просверлены небольшія отверстія, черезъ которыя при помощи сальниковъ были пропущены направленные по радіусамъ къ оси турбины микрометричные винты, которые во время работы турбины осторожно ввинчивали, пока за нихъ начинали легко, но замѣтно задѣвать концы лопатокъ. Измѣривъ величины зазоровъ въ холодномъ состояніи или тѣми же микрометричными винтами, или какъ-нибудь иначе при открытомъ кожухѣ, можно сравнить ихъ съ величиной зазоровъ въ горячемъ состояніи; послѣдніе обыкновенно бываютъ нѣсколько меньше, почему провѣрка въ горячемъ состояніи полезна; впрочемъ, иногда зазоры въ горячемъ состояніи оказывались немного больше, напр., у упомянутой турбины, на 0,1 мм.

У вертикальныхъ турбинъ, напр., Кертиса, диски большого діаметра подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса могутъ немного изгибаться, т. е., край съ лопатками можетъ нѣсколько опускаться; при вращеніи край подъ дѣйствіемъ центробѣжной силы поднимается, возвращаясь въ свое неизогнутое состояніе. Въ виду этого для установки требуемыхъ зазоровъ или направляющія колеса снабжаются соотв. приспособленіемъ для перемѣщенія ихъ, или подпятникъ турбины снабжается установительнымъ винтомъ для перемѣщенія вала со всѣми вращающимися частями турбины выше или ниже. Провѣрку величины установленныхъ зазоровъ производятъ по черт. 348⁹⁰⁾: *a* постепенно утолщающаяся къ ручкѣ стальная полоска, вставляемая черезъ особыя окошки въ кожухѣ турбины въ осевой зазоръ между бандажемъ рабочаго колеса и направляющимъ приборомъ; измѣривъ, на какую длину вдвинулась въ зазоръ клиновидная полоска, и имѣя толщину клина въ концѣ и уголъ наклона плоскостей, можно найти величину зазора съ точностью до 0,01 м.



Черт. 348.

Здѣсь можно кстати упомянуть о приборѣ для измѣренія величины осевыхъ зазоровъ въ лабиринтахъ. Величина эта во многихъ системахъ

⁸⁹⁾ Z. V. d. I. 1911, S. 1847.

⁹⁰⁾ A. Stodola, Damfturb. S. 387.

очень мала, всего $0,2 \div 0,5$ мм., и въ то же время измѣненіе ея даже на $0,05$ мм. можетъ отзываться очень замѣтно на расходѣ пара. Въ виду этого для измѣренія ея и соотв. установки приходится прибѣгать къ особымъ калибрамъ, состоящимъ изъ набора стальныхъ пластинокъ примѣрно 5×50 мм. величиной и толщиной отъ $0,1$ до $1,0$ мм. черезъ $0,1$ или даже $0,05$ мм. Для удобства пользованія приборчикомъ противоположный конецъ пластинокъ дѣлается толще, и все онѣ соединяются общей осью, какъ калибры для измѣренія шага нарѣзки.

Измѣреніе сотрясеній. Несмотря на почти идеальное уравновѣшиваніе вращающихся массъ турбинъ, бываютъ случаи, когда подѣйствіемъ резонанса фундаментъ турбины или даже лежащее на нѣкоторомъ разстояніи отъ турбины зданіе приходитъ въ замѣтное, иногда опасное дрожаніе. Дрожаніе это желателно выразить какимъ нибудь числомъ, такъ сказать, измѣрить его; измѣреніе это можетъ быть двоякое: или абсолютное, дающее въ мм. амплитуду колебанія фундамента или пола изслѣдуемаго помѣщенія, или относительное, дающее число, лишь характеризующее дрожаніе въ данномъ мѣстѣ и позволяющее путемъ сравненія устанавливать, какое дрожаніе еще допустимо, и какое нѣтъ.

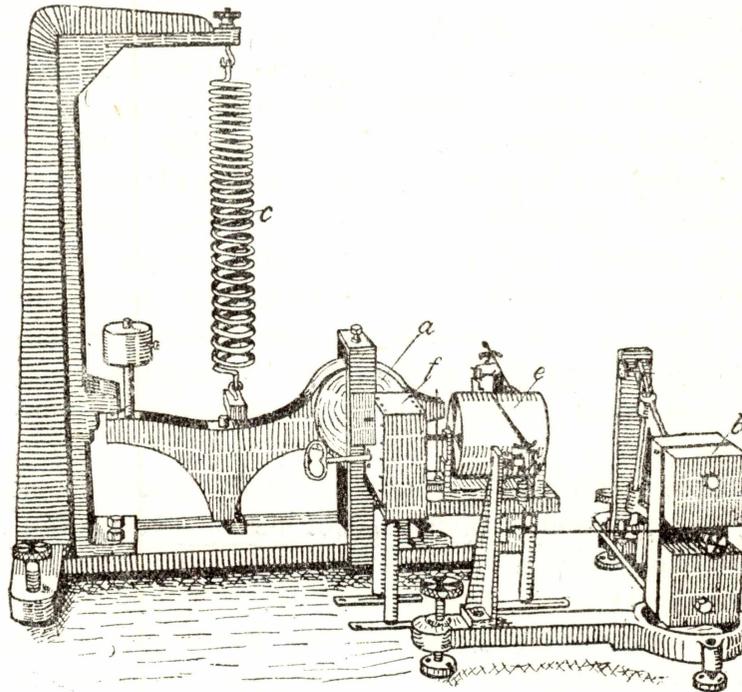
Изъ приборовъ, которыми можно измѣрять дрожаніе, надо указать, во-первыхъ, сейсмографъ—приборъ, которымъ пользуются для наблюденій за землетрясеніями. Сейсмографъ состоитъ изъ тяжелаго маятника, качающагося съ возможно малымъ треніемъ около вертикальной или горизонтальной оси; вслѣдствіе большой инерціи маятникъ при толчкахъ, передаваемыхъ на его подставку, остается въ покоѣ; относительное перемѣщеніе подставки и маятника записывается въ сильно увеличенномъ масштабѣ на особомъ діаграммномъ барабанѣ, вращающемся при помощи часового механизма.

На черт. 349 представленъ примѣрно въ $1:16$ натур. вел. сейсмографъ, употреблявшійся съ успѣхомъ для изслѣдованія сотрясеній, производимыхъ машинами ⁹¹⁾: *a*—тяжелый маятникъ, качающійся около горизонтальной оси, а *b*—около вертикальной; относительныя колебанія маятниковъ и подставки успокаиваются сильными пружинами—спиральной *c* у маятника *a*, записывающаго при помощи соотв. передачи вертикальныя перемѣщенія, и листовыми у маятника *b*, записывающаго горизонтальныя перемѣщенія вдоль оси прибора; *f*—часовой механизмъ, вращающій діаграммный барабанъ *e*; для полученія возможно рѣзкихъ діаграммъ, имѣющихъ видъ волнообразныхъ линій, запись производится при помощи металлическаго штифта на бумагѣ, покрытой ламповой копотью; діаграммы можно по снятіи съ барабана закрѣплять, смазывая ихъ растворомъ шеллака.

При испытаніи приборъ ставится прямо на полъ соотв. помѣщенія. Въ виду того, что на величину амплитудъ волнъ діаграммъ вліяетъ от-

⁹¹⁾ Z. Dampfkr. Maschb. 1912, S. 211.

ношеніе числа колебаній, производимыхъ машиной, т. е. ея числа оборотовъ n къ числу собственныхъ колебаній маятниковъ, диаграммы даютъ величины, характеризующія сотрясеніе, сравнимыя непосредственно лишь при равныхъ условіяхъ, т. е. при одинаковомъ n машины. Другой недостатокъ этого прибора, его значительная стоимость и громоздкость: онъ занимаетъ площадь около $1,0 \times 1,5$ м. и въ высоту 1,0 м..



Черт. 349.

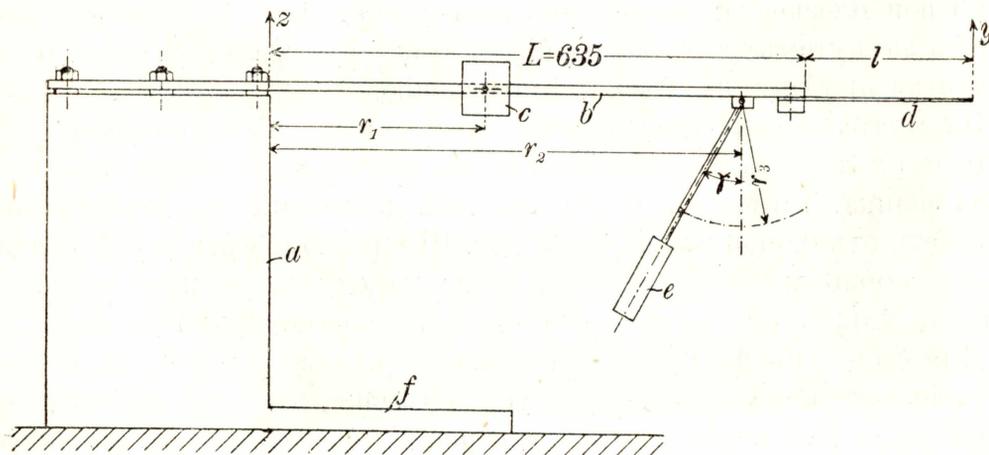
Болѣ абсолютныя показанія, если такъ можно выразиться, т. е. менѣ зависящія отъ числа оборотовъ машины даетъ слѣдующій приборъ, который недавно стала продавать фирма бр. Сименсъ и К°, Лондонъ⁹²⁾: на днѣ небольшого ящика стоитъ чашечка съ ртутью, на поверхности которой плаваетъ небольшое зеркальце; зеркальце укрѣплено такъ, что оно поддается волнамъ, получающимся при сотрясеніи прибора, во всѣ стороны, но не можетъ тронуться съ мѣста. Зеркальце отбрасываетъ лучъ отъ небольшой электрической лампочки на экранъ или фотографическую пластинку, при чемъ колебанія передаются въ сильно, разъ въ 100, увеличенномъ масштабѣ. Чистое колебаніе, т. е. распространяющееся только по одному направленію, давало бы записъ въ видѣ прямой линіи, длина которой соотвѣтствуетъ амплитудѣ колебанія. Обыкновенныя сотрясенія состоятъ изъ колебаній, передаваемыхъ по нѣсколькимъ направленіямъ, и даютъ поэтому пучекъ линій, и притомъ не прямыхъ, а кривыхъ. Однако способъ измѣренія остается тотъ

⁹²⁾ Z. V. d. I. 1911, S. 1698.

же—разстояніе между крайними точками даетъ мѣрку сотрясенія въ соотв. направленіи. Конечно, на діаграммѣ отражаются лишь горизонтальныя, а не вертикальныя колебанія.

Къ прибору прилагаются три чашечки съ ртутью: для сильныхъ колебаній, примѣрно до 0,3 мм., для средних—до 0,08 мм., и для самыхъ слабыхъ—до 0,02 мм.. Впрочемъ, въ виду того, что приборъ измѣряетъ не сотрясеніе самихъ твердыхъ тѣлъ, а лишь производимыя ими волны въ жидкомъ металлѣ, которыя слѣдуютъ совсѣмъ другимъ законамъ, показанія прибора даютъ тоже не абсолютныя величины сотрясеній, а лишь числа, характеризующія ихъ силу.

Приборъ, позволяющій находить дѣйствительно абсолютную величину колебаній, былъ сконструированъ академикомъ Б. Б. Голицынымъ⁹³⁾, черт. 350: *a*—тяжелая чугунная подставка вѣсомъ около 82 кгр., на которую привернута при помощи трехъ шпилекъ стальная по-



Черт. 350.

лоса-пружина *b*, поперечное сѣченіе которой $6,33 \times 81,7$ мм., а свободная длина *L* около 635 мм., вѣсъ пружины *b* около 2,6 кгр.; добавочный грузъ *c* съ вѣсомъ около 3,3 кгр. можетъ передвигаться по полосѣ *b* и закрѣпляться на ней винтомъ для измѣненія собственнаго періода колебанія *T* полосы *b*, благодаря чему можно установить періодъ колебанія пружины въ резонансъ съ періодомъ колебаній, вызываемыхъ работой изслѣдуемой машины; тогда размахи *z* массива *a* дѣлаются наибольшими, и приборъ обладаетъ наибольшей чувствительностью; разстояніе *r*₁ этого груза указывается дѣленіями на верху полосы; *e* мѣдная доска, прикрѣпленная къ *b* и могущая качаться между полюсами электромагнита для уменьшенія собственныхъ колебаній *b*; *d* стилетъ, конецъ котораго записываетъ колебанія конца *b* на такомъ же діаграммномъ барабанѣ, какъ у прибора по черт. 349; выступающая подставка *f* сдѣлана для большей устойчивости прибора.

⁹³⁾ С.г. 150, 1910, р. 901; Вѣстн. О-ва Технол. 1913, стр. 445.

Не вдаваясь въ теорію прибора, ограничимся лишь указаніемъ окончательнаго выраженія для измѣренія величины колебаній въ мм.:

$$z_m = \frac{1}{\sigma} y_m \sqrt{(u^2 - 1) + 4h^2 u^2}, \quad (97)$$

гдѣ σ постоянная, зависящая отъ размѣровъ даннаго прибора, y_m амплитуда колебаній, находимая по діаграммѣ, u отношеніе періода колебаній T_a , находимаго по діаграммѣ, къ собственному періоду колебаній T пружины b , извѣстному заранѣе и, наконецъ, h отношеніе модуля упругости стали къ числу собственныхъ колебаній пружины безъ искусственнаго успокоенія ея.

Если приборъ заранѣе проградуированъ, и всѣ вспомогательныя величины для него найдены разъ навсегда, обращеніе съ нимъ и полученіе окончательныхъ результатовъ довольно просто.

На черт. 350 приборъ показанъ для измѣренія сотрясеній въ вертикальной плоскости; повернувъ полосу b съ боку массива a , можно такимъ же путемъ найти колебанія въ горизонтальной плоскости и, поворачивая приборъ, по любому направленію.

По тщательно произведеннымъ Голицынымъ опытамъ чувствительность и точность прибора, несмотря на его сравнительную простоту, очень велика. Такъ, онъ измѣрялъ имъ колебанія въ вертикальной плоскости отъ 0,0056 мм. до 0,025 мм. Интересно отмѣтить, что колебаніе въ 0,0056 мм. было уже замѣтно на слухъ, а при колебаніи всего въ 0,0255 мм. многіе предметы въ комнатѣ прямо дрожали.

Для дальнѣйшей иллюстраціи важности даже такихъ, на первый взглядъ ничтожныхъ сотрясеній, укажемъ еще, что если по этимъ колебаніямъ и ихъ періоду найти ускоренія, то оказывается, что производимое ими давленіе на фундаментъ зданія составляетъ 0,78 и соотв. 3,56 кгр./см.², что вполне объясняетъ указанную оцутительность этихъ колебаній.

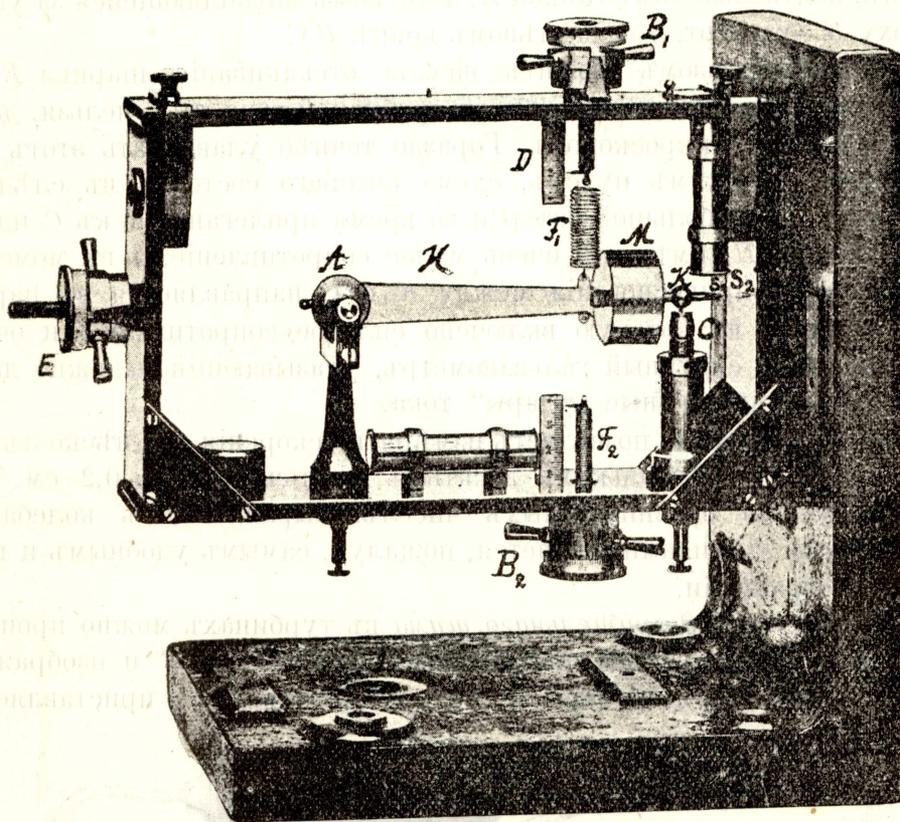
Другой приборъ для измѣренія величины колебаній сконструированъ проф. Грунмахъ⁹⁴⁾ и представленъ примѣрно въ $\frac{3}{10}$ натур. вел. на черт. 351. Его главное отличіе отъ обычнаго сейсмографа въ томъ, что онъ позволяетъ измѣрять періодическія колебанія съ самыми малыми періодами колебаній отъ 0,03 и до 0,0025 сек., и притомъ съ амплитудой всего въ 0,001 и до 0,00005 мм. Сущность прибора состоитъ въ непосредственномъ измѣреніи ускоренія b , которое получаетъ приборъ подъ вліяніемъ изслѣдуемыхъ колебаній.

Идея прибора состоитъ въ слѣдующемъ: грузъ M давитъ на подставку C , на которую онъ опирается при помощи шарика K , въ спокойномъ состояніи съ силой P_0 , равной разности вѣса груза и натяженія пружины F , т. е.,

$$P_0 = Mg - F, \quad (98)$$

⁹⁴⁾ L. Grunmach. Experimentaluntersuchung zur Messung von Erderschütterungen. Berlin, 1913, S. 8.

гдѣ M масса груза, а F натяженіе пружины, отнесенныя къ точкѣ опоры K , а $g=9,81$ м./сек.²; когда приборъ при колебаніи опускается, то появляется согласно начала д'Аламбера направленная вверхъ сила



Черт. 351.

инерции $M.b$, гдѣ b ускореніе отъ колебаній прибора; тогда условіе равновѣсія силъ, давящихъ на опору шарика K , напишется

$$P = Mg - Mb - F; \quad (99)$$

въ моментъ, когда K отстанетъ отъ опоры, P сдѣлается равнымъ 0, откуда соотв. ускореніе

$$b = g - \frac{F}{M}. \quad (100)$$

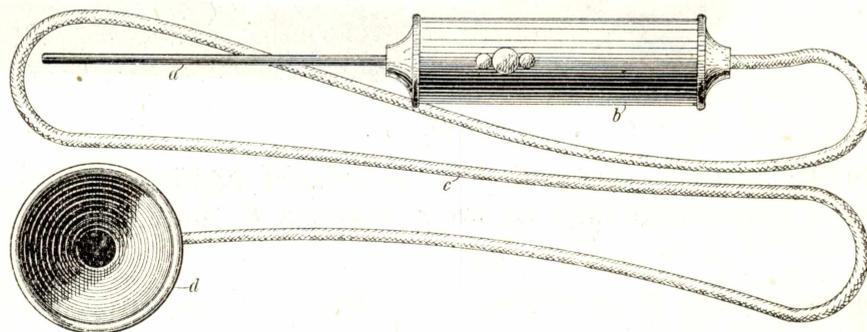
Зная M и измѣривъ натяженіе F пружины, можемъ вычислить b . При работѣ съ приборомъ постепенно подтягиваютъ за гайку B_1 пружину F_1 , пока подъ вліяніемъ увеличенія F не получится $P=0$; соотв. величину F опредѣляютъ по шкалѣ D , наносимой путемъ градуировки пружины при помощи вѣсовъ. Въ случаѣ очень сильныхъ колебаній можетъ оказаться $b > g$, тогда надо вмѣсто пружины F_1 пользоваться пружиной F_2 . Повернувъ приборъ на 90° такъ, чтобы грузъ M висѣлъ внизъ, можно измѣрять ускоренія въ горизонтальной плоскости. Трение въ шарнирѣ A при горизонтальномъ расположеніи рычага H устраня-

ется тѣмъ, что пружина F_1 прикрѣпляется къ центру тяжести подвижныхъ частей прибора; при отвѣсномъ расположеніи H вѣсъ этихъ частей воспринимается третьей пружиной, однимъ концомъ висящей на стержнѣ, подтягиваемомъ гайкой E , а другимъ зацѣпляющейся за ушко на верху H (на черт. 351 на лѣвомъ концѣ H).

Улавливать глазомъ моментъ начала отскакиванія шарика K съ опоры C при малыхъ колебаніяхъ съ требуемой точностью нельзя, даже при пользованіи микроскопомъ. Гораздо точнѣе улавливать этотъ моментъ электрическимъ путемъ, схема котораго состоитъ въ слѣдующемъ: токъ отъ небольшой батареи во время прилеганія K къ C идетъ черезъ рычагъ H , имѣющій очень малое сопротивленіе, а въ моментъ прекращенія соприкосновенія между K и C направляется въ параллельную вѣтвь, въ которую включено сильное сопротивленіе и очень чувствительный струнный гальванометръ, указывающій надежно даже самыя частые мгновенные „удары“ тока.

Приборъ Грунмаха позволяетъ измѣрять ускоренія отъ нѣсколькихъ сотъ см./сек.² до нѣсколькихъ десятыхъ съ точностью $\pm 0,2$ см./сек.² и для полученія сравнительныхъ чиселъ, выражающихъ колебанія, производимыя машинами, является, пожалуй, самымъ удобнымъ и простымъ въ обращеніи.

Изслѣдованіе подозрительнаго шума въ турбинахъ можно производить при помощи прибора, называемаго „детекторфонъ“ и изображеннаго въ $\frac{2}{5}$ натур. вел. на черт. 352: стальной стержень a приставляется

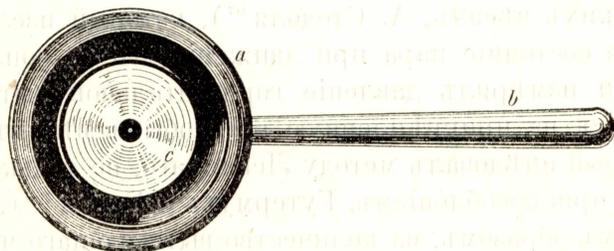


Черт. 352.

къ части машины, дрожаніе которой вызываетъ въ приборѣ b , сконструированномъ по образцу телефона, соотв. звукъ или шумъ, передаваемый по гибкому шнуру c въ слуховой приборъ d съ микрофономъ, прижимаемый къ уху. Приборъ этотъ позволяетъ обнаруживать самый небольшой ненормальный шумъ или стукъ, какъ, напр., задѣваніе лопатокъ колеса за кожухъ турбины, не говоря уже о неисправности въ зацѣпленіи колесъ турбины Лавалья; далѣе, имъ можно обнаружить, напр., шумъ, происходящій при утечкѣ пара черезъ неплотный вентиль и т. н.

Болѣе простой приборъ для той же цѣли изготовляется фирмой О. Больтэ въ Гамбургѣ: приборъ напоминаетъ употребляемый врачами

стетоскопъ, но лишь перевернутый: эбонитовый раструбъ *a*, снабженный еще дополнительной серебряной мембраной *c*, прижимается къ уху, а эбонитовая же трубка *b*, вставленная съ задней стороны центрально въ *a*, приставляется къ соотв. части машины. На черт. 353 трубка *b* показана переставленной въ боковое „нерабочее“ отверстіе, чтобы приборъ удобнѣе спрятать въ карманъ. Присоединяя къ трубкѣ *b* дополнительныя эбонитовыя трубки при помощи эбонитовыхъ муфточекъ, можно выслушивать малодоступныя части машинъ, находящіяся на нѣсколько метровъ отъ уха. Приборъ обнаруживаетъ стукъ или шумъ очень отчетливо, несмотря на простоту своей конструкціи.



Черт. 353.

На черт. 353 изображенъ въ $\frac{1}{2}$ натур. вел. наименьшій, карманный размѣръ прибора, вѣсящій всего 35 гр. при длинѣ трубки въ 150 мм.

За неимѣніемъ описанныхъ приборовъ можно опредѣлять мѣсто подозрительнаго шума, пользуясь „машиннымъ стетоскопомъ“—основой палочкой 5 до 8 мм. толщиною и 250 до 500 мм. длиною; палочка должна быть безъ сучковъ и отщеплена по волокнамъ; одинъ конецъ ея приставляютъ плотно къ соотв. части машины, а къ другому прижимаютъ ухо.

Въ заключеніе укажемъ приборъ для полученія чиселъ, характеризующихъ сотрясенія, передаваемыя черезъ воздухъ; въ U-образную стеклянную трубку съ однимъ высокимъ и узкимъ колѣномъ, 5÷8 мм. въ діаметрѣ, а съ другимъ болѣе низкимъ, но широкимъ, съ діаметромъ разъ въ 10 бѣльшимъ, наливается вода или другая подвижная жидкость; широкое, наполненное до верха, колѣно закрывается мембраной изъ тончайшей, не туго натянутой резины. Даже слабыя колебанія воздуха даютъ замѣтное колебаніе уровня жидкости въ узкомъ колѣнѣ.

45. Изслѣдованія научно-техническаго характера.—Въ настоящемъ § мы хотимъ лишь указать тѣ вопросы изъ области паровыхъ турбинъ, которые до сихъ поръ подвергались опытному изученію, и, не распространяясь о самой постановкѣ соотв. опытовъ и измѣреній, которые желающіе найдутъ по соотв. литературнымъ ссылкамъ, дать перечень разбросанныхъ по различнымъ журналамъ и книгамъ работъ предыдущихъ изслѣдователей и тѣмъ облегчить ихъ изученіе, а, можетъ быть, и продолженіе.

Движеніе пара по сопламъ изслѣдовалось съ слѣдующихъ точекъ зрѣнія: 1—сопротивленія при прохожденіи пара по соплу, 2—скорости истеченія, которая находится въ зависимости отъ сопротивленія, 3—распредѣленія давленій внутри сопла, и, наконецъ, 4—распредѣленія температуръ вдоль сопла.

Опыты для опредѣленія сопротивленія при прохожденіи пара по соплу производили Розенхайнъ⁹⁴⁾, который измѣрялъ силу реакціи вытекающаго пара, уравнивая ее грузомъ, Рато⁹⁵⁾, который измѣрялъ при помощи вѣсовъ силу удара (давленіе) вытекающаго пара, Делапортъ⁹⁶⁾, который измѣрялъ также давленіе вытекающаго изъ сопла пара, направляя его въ трубку съ отводами, стоявшую на робервалевскихъ вѣсахъ, А. Стодоля⁹⁷⁾, который изслѣдовалъ наиболѣе подробно состояніе пара при движеніи его по соплу, Э. Левицкій⁹⁸⁾, который измѣрялъ давленіе горизонтальной вытекающей изъ сопла струи пара на прикрѣпленную къ особымъ вѣсамъ доску, Брилингъ⁹⁹⁾, который слѣдовалъ методу Левицкаго, но только пользовался болѣе точнымъ приспособленіемъ, Гутермутъ и Блэсъ¹⁰⁰⁾, которые опирались, главнымъ образомъ, на количество вытекающаго черезъ различныя сопла пара, и, наконецъ, Сиблей и Кембль¹⁰¹⁾, которые измѣряли реакцію струи пара при помощи особаго прибора.

Скорость пара при движеніи по соплу опредѣляли, кромѣ многихъ изъ перечисленныхъ выше изслѣдователей, еще особенно Бюхнеръ¹⁰²⁾.

Здѣсь можно кстати упомянуть объ остроумномъ, чрезвычайно простымъ способѣ, предложенномъ Прандтлемъ¹⁰³⁾, измѣренія скорости пара при выходѣ изъ сопла по углу между видимыми на глазъ звуковыми волнами.

Распредѣленіемъ давленій въ соплѣ интересовались особенно Стодоля⁹⁷⁾, Бюхнеръ¹⁰²⁾, также и Сиблей и Кембль¹⁰¹⁾.

Наконецъ, распредѣленіе температуръ вдоль оси сопла изслѣдовали Уаткинсонъ и Бато¹⁰⁴⁾, пользовавшіеся для этой цѣли термоэлементомъ изъ желѣза и никкеля.

⁹⁴⁾ Proc. Inst. Civ. Eng. 140, 1900, p. 199; Z. V. d. I. 1904, S. 1033.

⁹⁵⁾ Rev. Méc. 1900, VIII, p. 167.

⁹⁶⁾ Rev. Méc. 1902, V, p. 466.

⁹⁷⁾ Z. V. d. I. 1903, S. 4; Stodola, Dampf. S. 59.

⁹⁸⁾ Z. V. d. I. 1903, S. 441; Forsch. H. 12, S. 16.

⁹⁹⁾ Z. V. d. I. 1910, S. 265; Forsch. H. 68, S. 7.

¹⁰⁰⁾ Phys. Z. 1902, S. 82; Z. V. d. I. 1904, S. 75.

¹⁰¹⁾ Journ. Am. Soc. Mech. Eng. 1909, p. 1169; Trans. Am. Soc. M. Eng. 1910, v. 31, p. 617.

¹⁰²⁾ Z. V. d. I. 1904, S. 1029.

¹⁰³⁾ Z. V. d. I. 1904, S. 349.

¹⁰⁴⁾ Proc. Inst. Civ. Eng. 1907/8, IV, p. 317; Z. Turb. 1910, S. 6.

Движеніе пара по направляющему прибору съ нѣсколькими каналами было подробно изслѣдовано Стодоля¹⁰⁵⁾ въ смыслѣ распредѣленія давленія съ нѣсколькими типами направляющихъ приборовъ современныхъ турбинъ, затѣмъ надъ этимъ же вопросомъ, главнымъ образомъ, въ смыслѣ изученія сопротивленій движенію, работаль Христлейнъ¹⁰⁶⁾, который опредѣлялъ величину реакціи струи пара при помощи чувствительныхъ вѣсовъ; въ послѣднее время надъ этимъ вопросомъ работаль Лошге¹⁰⁷⁾.

Движеніе пара по рабочимъ лопаткамъ изслѣдовалъ первый Стодоля¹⁰⁸⁾, затѣмъ Левицкій⁹⁸⁾ и Брилингъ⁹⁹⁾, пользовавшійся тѣмъ же способомъ давленія струи на особые вѣсы, что и для истеченія пара изъ сопелъ; Банки¹⁰⁹⁾ изслѣдовалъ реакцію и давленіе пара въ лопаткахъ при помощи особаго самозаписывающаго прибора, однако полученные имъ результаты являются сомнительными¹¹⁰⁾; Рато¹¹¹⁾ тоже работаль надъ этимъ вопросомъ; самый надежный способъ—это изслѣдованія съ движущимися лопатками, но о такихъ опытахъ мы имѣемъ свѣдѣнія только изъ работы Г. Хюгененъ¹¹²⁾.

Вліяніе бандажей и разстоянія между лопатками удалось изслѣдовать Юссе¹¹³⁾, который имѣлъ въ своемъ распоряженіи активную турбину съ двумя наборами рабочихъ колесъ.

Съ активнымъ колесомъ смѣшанной турбины Парсонса аналогичные опыты были поставлены Маргерр'омъ¹¹⁴⁾.

Величину вентиляціонныхъ сопротивленій вращенію колесъ съ лопатками и безъ нихъ изслѣдовалъ первымъ опять-таки Стодоля¹¹⁵⁾, затѣмъ Ясинскій¹¹⁶⁾; но съ теченіемъ времени по этому вопросу собрался достаточно точный и разнообразный матеріаль, полученный при подробныхъ изслѣдованіяхъ работы нормальныхъ турбинъ; къ такимъ изслѣдованіямъ можно отнести работы Левицкаго съ турбиной Лавалея въ 30 л. с.¹¹⁷⁾, Юссе съ турбиной Эйермана въ 250 л. с.¹¹⁸⁾, Гензекъ съ турбиной Парсона въ 440 л. с.¹¹⁹⁾, Грамберга съ турбиной Парсон-

¹⁰⁵⁾ Stodola, Dampfturb., S. 94.

¹⁰⁶⁾ Z. V. d. I. 1911, S. 2081; Z. Turb. 1912, S. 1.

¹⁰⁷⁾ Forsch. H. 144; Z. V. d. I. 1913, S. 60.

¹⁰⁸⁾ Z. V. d. I. 1903, S. 4; Stodola, Dampfturb. S. 104.

¹⁰⁹⁾ Z. Turb. 1906, S. 4; Z. V. d. I. 1906, S. 229.

¹¹⁰⁾ Forsch. H. 68, S. 67; Stodola, Dampfturb. S. 108, а также то обстоятельство, что Стодоля, включившій диаграмму Банки въ 3-е изд. своей классической книги, въ 4-мъ выпускѣ ее совсѣмъ.

¹¹¹⁾ A. Rateau: Mode de calcul des turbines à vapeur. Paris, 1909; Z. Turb. 1909, S. 518.

¹¹²⁾ Z. d. phys. Ges., Zürich, 1907, H. 12.

¹¹³⁾ Z. V. d. I. 1910, S. 121; Z. Turb. 1910, S. 33.

¹¹⁴⁾ Z. V. d. I. 1908, S. 1348.

¹¹⁵⁾ Stodola, Dampfturb. S. 120.

¹¹⁶⁾ Z. V. d. I. 1909, S. 492; Forsch. H. 67; Бюлет. Полит. О-ва, Москва, 1908, стр. 146.

¹¹⁷⁾ Forsch. H. 12, S. 33.

¹¹⁸⁾ Z. Turb. 1908, S. 253.

¹¹⁹⁾ Z. Turb. 1909, S. 85.

са въ 220 л. с.¹²⁰), Рипе съ турбиной В. К. Э. въ 300 л. с.¹²¹) и Юссе съ активной турбиной въ 1000 л. с.¹¹³).

*Опыты надъ улучшеніемъ работы турбины добавленіемъ особыхъ направляющихъ приборовъ за рабочими колесами—диффузоровъ дѣдалъ Делапортъ**).*

Утечку пара черезъ сальники-лабиринты впервые измѣрялъ опять таки Стодоля¹²²), а затѣмъ имѣются еще данныя Гензеке¹²³) и отчасти у Рипе¹²⁴).

Испытаній матеріаловъ и отдѣльныхъ деталей было произведено и производится на заводахъ, конечно, очень много, но изъ нихъ попало въ литературу крайне мало и то лишь краткихъ свѣдѣній.

Заслуживаетъ вниманіе способъ испытанія пригодности сплава для бандажныхъ колець у турбинъ Парсонса завода Виллансъ и Робинсонъ въ Регби¹²⁵), затѣмъ очень подробныя и тщательныя испытанія различныхъ матеріаловъ для шеекъ валовъ, вкладышей и сортовъ смазокъ, связанныя съ выясненіемъ различныхъ условій работы и вліянія нагрѣванія, произведенныя на заводѣ В. К. Э.¹²⁶).

Затѣмъ интересны испытанія упорныхъ подшипниковъ, произведенныя Лапе¹²⁷) тоже на заводѣ В. К. Э., и, наконецъ, его же сообщенія объ испытаніяхъ матеріаловъ для дисковъ турбины¹²⁸) на томъ же заводѣ.

Испытанія всей турбины. Въ настоящее время имѣется много испытаній турбинъ, настолько тщательныхъ и подробныхъ въ смыслѣ изслѣдованія всей турбины или особенно нѣкоторыхъ вопросовъ, связанныхъ съ ея работой, что можно указать цѣлый рядъ, такъ сказать, образцовыхъ испытаній, повтореніе которыхъ съ новыми турбинами крайне полезно и желательно.

Таковы уже упоминавшіяся выше испытанія Левицкаго¹¹⁷), Юссе¹¹³),¹¹⁸), Гензеке¹¹⁹), Грамберга¹²⁰), Рипе¹²¹), а также испытанія Надровскаго и Дальке съ лавалевской турбиной въ 100 л. с. съ двойнымъ перегрѣвомъ¹²⁹), испытанія турбины Парсонсъ въ 900 кв. въ Дортмундѣ¹³⁰), Шретера съ турбиной Мельмсъ-Пфеннингеръ въ 750 л. с.¹³¹), Ретчеръ съ турбиной Ридлеръ-Штумфъ въ 2000 л. с.¹³²).

¹²⁰) Z. V. d. I. 1909, S. 250, 255.

¹²¹) Z. Turb. 1901, S. 501.

***) Rev. Мѣс. 1912, XXX, p. 517.

¹²²) Stodola, Dampfturb. S. 322.

¹²³) Z. Turb. 1909, S. 118.

¹²⁴) Z. Turb. 1910, S. 535.

¹²⁵) Engng. 85, 1908, p. 3; Stodola, Dampfturb. S. 236.

¹²⁶) Turb. 1, 1904/5, S. 59.

¹²⁷) Z. V. d. I. 1906, S. 1355.

¹²⁸) Z. V. d. I. 1906, S. 1358.

¹²⁹) Z. V. d. I. 1905, S. 1816.

¹³⁰) Glückauf, 1905, Nr. 8, S. 240; Z. Turb. 1905, S. 215.

¹³¹) Z. V. d. I. 1906, S. 1811; 1907, S. 344.

¹³²) Z. V. d. I. 1907, S. 605; Forsch. H. 50, S. 1.