

404078.

Известия
механического ин-та
1914г. в XIV

Извѣстія Механическаго Института
Императорскаго Московскаго Техническаго Училища.

Mitteilungen aus dem Mechanischen Institut der Kaiserlich Technischen Hochschule—Moskau.

Выпускъ XIV.

В. И. Ясинскій. *Къ вопросу о діафрагменномъ измѣреніи расхода пара.*

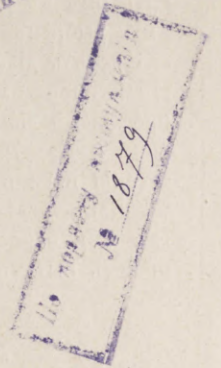
В. И. Ясинскій. *(Dr.-Ing. W. I. Jasinsky. Zur Frage der Diaphragmenmessung des Dampfverbrauches).*

БИБЛИОТЕКА
ИМПЕРАТОРСКАГО
МОСКОВСКАГО
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА

МОСКВА.—1914.

Типографія Русскаго Товарищества, Чистые пруды, Мыльниковъ пер., соб. домъ.
Телефонъ 18-35.

404048



Къ вопросу о діафрагменномъ измѣреніи расхода пара.

Предварительное сообщеніе

В. И. Ясинскаго

объ опытахъ, вѣдущихся въ Механическомъ Институтѣ Императорскаго Московскаго Техническаго Училища.

Вопросъ о возможно простомъ, но достаточно точномъ учетѣ расхода пара черезъ паропроводъ давно занимаетъ инженера, вѣдущаго паровое хозяйство. Въ томъ простѣйшемъ случаѣ, когда необходимо выяснитъ общее количество пара, получаемаго въ котельной, вопросъ можетъ быть разрѣшенъ измѣреніемъ количества питательной воды. Если, однако, приходится выяснитъ распределеніе пара между отдѣльными потребителями, а использованный каждымъ изъ нихъ паръ не можетъ быть собранъ въ видѣ конденсата, то единственнымъ возможнымъ рѣшеніемъ вопроса является непосредственный учетъ расхода пара, протекающаго черезъ каждый изъ паропроводовъ. Непрерывный контроль расхода пара, черезъ паропроводъ можетъ быть осуществленъ установкой на немъ провѣреннаго регистрирующаго паросчетчика, который вычерчиваетъ непрерывную кривую— по времени. Въ зависимости отъ системы паросчетчика, ординаты этой кривой даютъ въ извѣстномъ масштабѣ либо расходъ пара въ каждый данный моментъ, либо же кривая можетъ быть использована для подсчета расхода пара по таблицамъ, составленнымъ для даннаго паросчетчика.

Въ громадномъ большинствѣ случаевъ практики, однако, вопросъ о непрерывномъ контролѣ расхода пара черезъ каждый изъ паропроводовъ всей установки не играетъ существенной роли и необходимымъ является лишь учетъ расхода пара за болѣе или менѣе короткіе промежутки времени. Почти всегда такой періодическій контроль совершенно достаточенъ, чтобы выяснить расходъ пара отдѣльными потребителями въ установившемся производствѣ. Такой учетъ является кромѣ того, совершенно необходимымъ и достаточнымъ при обслѣдованіи парового хозяйства, которое должно быть

урегулировано или предполагается быть расширеннымъ. Естественно, что при этихъ условіяхъ отсутствуетъ необходимость установки на каждой линіи паропроводовъ громоздкихъ и сравнительно дорогихъ регистрирующихъ паросчетчиковъ, а необходимо прибѣгнуть къ болѣе простому и практически доступному измѣренію расхода пара.

Имѣя въ виду практическую примѣнимость такого учета расхода пара черезъ трубопроводъ, желательнo удовлетворить слѣдующимъ требованіямъ:

1. Возможно простая установка измѣрительныхъ приборовъ, не требующая разборки паропровода и какихъ-либо его передѣлокъ.
2. Возможная простота пользования измѣрительными приборами и подсчетовъ расхода пара черезъ паропроводъ, которые могли бы быть проведены не только образованнымъ инженеромъ, но и техникомъ-практикомъ.
3. Возможность вести всѣ измѣренія безъ какого-либо нарушенія нормальной работы всей установки.
4. Возможность централизованія всѣхъ измѣреній, необходимыхъ для контроля работы всей системы трубопроводовъ и уменьшенія числа лицъ, занятыхъ отсчетами по приборамъ.

Этимъ требованіямъ достаточно полно отвѣчаетъ діафрагменное измѣреніе расхода пара, предварительныя данныя объ изученіи котораго въ Механическомъ Институтѣ Импер. Москов. Технич. Училища сообщаются ниже.

Формулы расхода пара.

Для определения расхода пара через трубопровод предлагаемым способом, необходимо включить в него круглую диафрагму, т.е. металлическую шайбу с круглым в ней отверстием, диаметр которого должен быть выбран таким, чтобы мятые пара при протекании его через диафрагму было не больше допускаемого условиями производства. Не задаваясь пока определенным профилем диафрагмы и соотношением между ее диаметром и диаметром трубопровода, выясним законы протекания пара в их простейшей форме.

Как известно из элементарной теории истечения газов и паров, скорость пара в выходном сечении может быть подсчитана по формуле Цейнера:

$$c = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} \sqrt{P_1 v_1} \dots (1)$$

в которой:

- c . . . скорость истечения пара в мтр/сек.
- g . . . ускорение силы тяжести = 9,81 мтр/сек².
- k . . . показатель адиабаты, равный:

- для перегретого пара $k=1,3$
- „ насыщенного пара $k=1,035 +$
 $+ 0,1 x$, где
- x . . . степень паросодержания.

- P_1 . . . давление пара перед диафрагмой в кл/мтр².
- v_1 . . . удельный объем пара — „ в мтр³/кл.
- $\frac{p}{p_1}$. . . отношение давлений пара послѣ (p) — и перед диафрагмой (p_1)

- n . . . показатель политропы расширения, всегда меньший, чѣм k и характеризующий величину сопротивлений трения при движении пара через диафрагму.

Если бы процесс истечения пара происходил в идеальных условиях без вредных сопротивлений, то в формуле (1) показатель n был бы равен k и соответственно идеальная скорость истечения должна была бы быть подсчитанной по формуле:

$$c' = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \sqrt{P_1 v_1} \dots (2)$$

Оценивая уменьшение действительной скорости c по сравнению с ее идеальной величиной c' некоторым

коэффициентом скорости имѣем из сравнения уравнений (1) и (2):

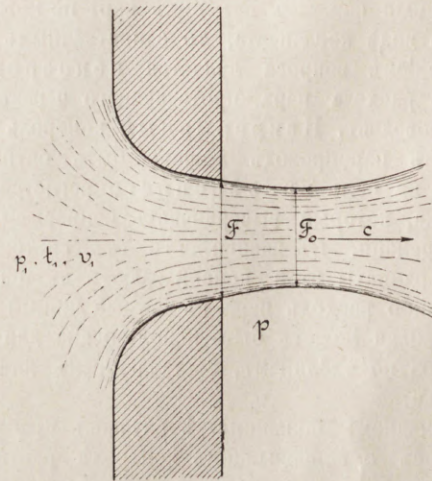
$$c = \varphi c' = \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]} \sqrt{P_1 v_1} =$$

$$= \varphi \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right]} \sqrt{P_1 v_1} \dots (3)$$

Из этого уравнения выясняется зависимость между φ и n :

$$\varphi^2 = \frac{1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}}{1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \dots (4)$$

Если профиль диафрагмы таков (фиг. 1), что в выходном сечении— F отсутствует параллельность элементарных струек вытекающего пара и онѣ являются сходящимися, то за выходным сечением появляется сжатие струи, отношение наименьшего сечения которой— F_0 к площади выходного сечения F наз. коэффициентом сжатия— a . Такое сжатие струи при протекании пара через диафрагмы имѣет мѣсто всегда, если небольшая толщина диафрагмы не дает возможности выполнить надлежащий профиль ее, который обеспечил бы



Фиг. 1.

параллельность элементарных струек в выходном сечении.

При подсчете расхода пара через данную диафрагму, коэффициент сжатия для которой меньше единицы, расчетным сечением является наименьшее

$$F_0 = a \cdot F \dots (5)$$

и, слѣд., уравненіе расхода пара получаетъ видъ:

$$G = \frac{a \cdot F \cdot c}{v} \dots \dots \dots (6)$$

гдѣ

- G . . . сек. расходъ пара въ кл.
- a . . . коэффициентъ сжатія, опредѣляемый опытнымъ путемъ,
- F . . . площадь выходного отверстия въ мтр².
- c . . . дѣйствительная скорость истечения въ мтр/сек. (ур. 1)
- v . . . удѣльный объемъ пара въ мтр³/кл въ сѣченіи F_0 , который опредѣляется изъ уравненія политропы:

$$P_1 v_1^n = P v^n \dots \dots \dots (7)$$

Изъ уравненій (3), (6), (7) имѣемъ уравненіе расхода пара Цейнера:

$$G = a F \sqrt[2g]{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}} \right]} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} \dots (8)$$

Это уравненіе, однако, является практически неприимымъ, благодаря его сложности и полной невозможности пока правильно задаться показателемъ n . Величина этого показателя можетъ быть опредѣлена для каждаго типа діафрагмъ лишь опытнымъ путемъ: либо непосредственнымъ изслѣдованіемъ кривой расширенія пара, что представляетъ громадныя трудности, либо же, при помощи уравненія (4), черезъ коэффициентъ φ и отношеніе давленій $\frac{p}{p_1}$. При этомъ методъ опытнаго изслѣдованія кривой расширенія приходится считаться съ необходимостью опытнаго опредѣленія коэффициентовъ φ при различныхъ условіяхъ работы діафрагмы.

Указанное затрудненіе практическаго примѣненія точной формулы Цейнера можетъ быть, однако, обойдено введеніемъ въ нее показателя адиабаты k вмѣсто показателя политропы n и соответствующаго значенія коэффициента скорости φ согласно уравненію (4). Послѣ такого измѣненія формула Цейнера получитъ слѣдующее выраженіе:

$$G = a \varphi F \sqrt[2g]{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} \dots (9)$$

Какъ извѣстно, произведеніе коэффициентовъ скорости— φ и сжатія— a опредѣляетъ величину такъ называемаго коэффициента расхода μ . Вводя, слѣдовательно, обозначеніе

$$\mu = a \varphi \dots \dots \dots (10)$$

имѣемъ формулу для подсчета секунднаго расхода пара:

$$G = \mu F \sqrt[2g]{\frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} \dots (11)$$

которая, въ отличіе отъ точнаго выраженія (ур. 8), даетъ лишь приблизительно правильное выраженіе секунднаго расхода пара. Для выясненія степени точности ур. (9) и (11) по сравненію съ ур. (8) возьмемъ предѣльный случай, когда должна быть наибольшая разница результатовъ подсчета секунднаго расхода пара по обѣимъ формуламъ:

Обозначая черезъ G_1 секундный расходъ пара, подсчитанный по ур. (8), а черезъ G — по ур. (9), имѣемъ, что отношеніе этихъ величинъ равно:

$$\frac{G}{G_1} = \varphi \sqrt[2g]{\frac{\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}}}{\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n+1}{n}}}} = \left(\frac{p_1}{p} \right)^{\frac{k-n}{kn}} \dots \dots \dots (12)$$

Предполагая перегрѣтый паръ ($k=1,3$) и практически наименьшую величину ($n=1,27$), имѣемъ, что наибольшая разница между G_1 и G будетъ имѣть мѣсто при $\frac{p}{p_1} = 0,551$ (критическое отношеніе давленій) и она опредѣляется изъ уравненія

$$\frac{G}{G_1} = \left(\frac{1}{0,551} \right)^{\frac{1,3-1,27}{1,3 \cdot 1,27}} = 1,01$$

т.е. разница между результатами подсчета по точной и приближенной формуламъ всегда меньше одного %.

Такимъ образомъ, формула (11) можетъ считаться практически точной формулой для подсчета секунднаго расхода пара и можетъ быть использована для дальнѣйшихъ преобразованій съ цѣлью полученія выраженія, болѣе удобнаго для подсчетовъ.

Преобразованіе ур. (11) мы ведемъ въ такомъ направленіи, чтобы получить выраженіе секунднаго расхода какъ функціи паденія давленія ΔP , при протеканіи пара черезъ діафрагму. Это паденіе давленія весьма просто можетъ быть измѣрено и практически (индикаторомъ, пружиннымъ манометромъ), если оно не настолько мало, что эти приборы оказываются недостаточно точными. Вводя въ искомую формулу паденіе давленія и пѣкоторый поправочный коэффициентъ x , который будемъ называть „переходнымъ коэффициентомъ“ — имѣемъ слѣдующее уравненіе:

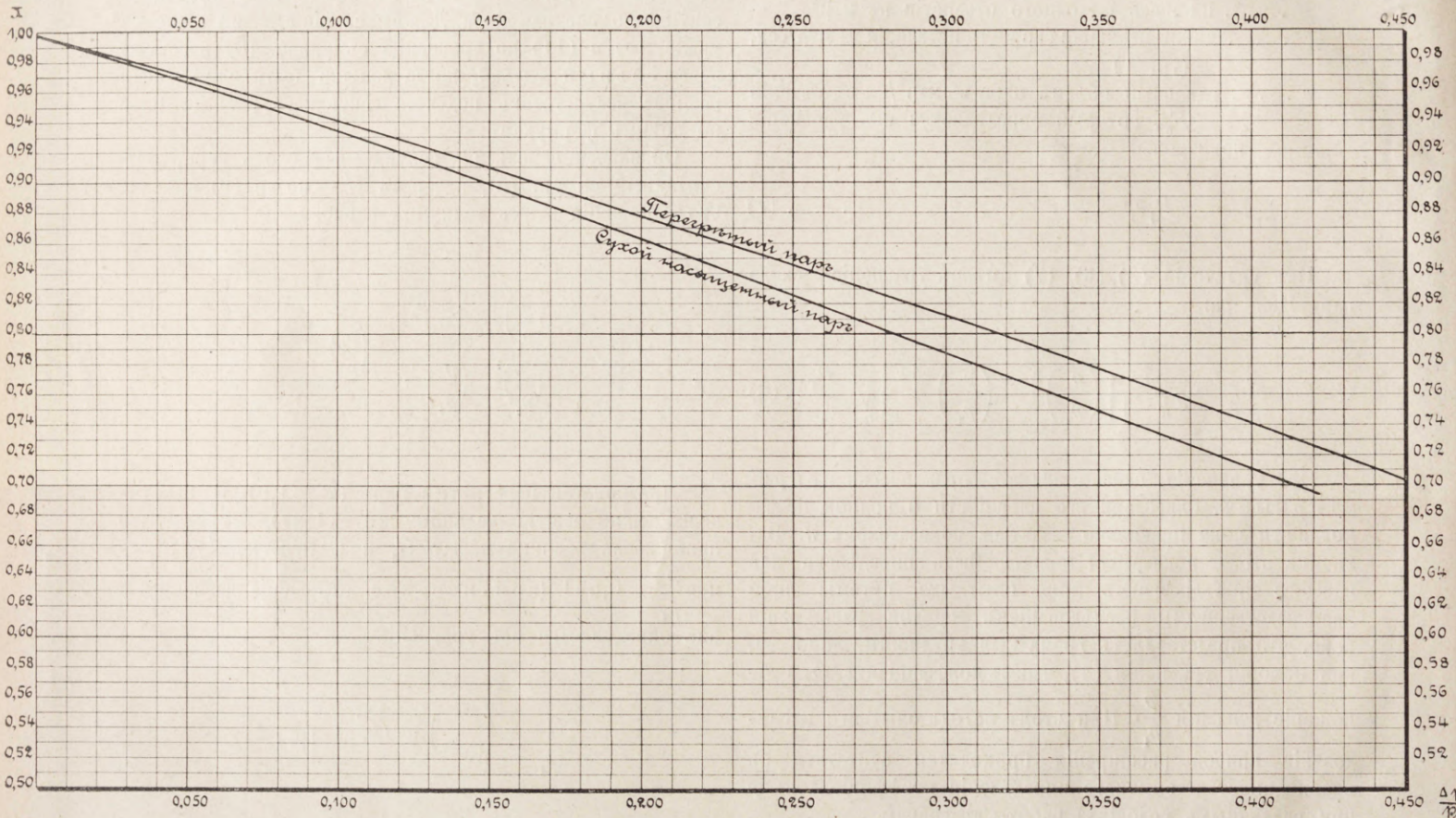
$$G = \mu F \sqrt{2g \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^2 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right]} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} =$$

$$= \mu F x \sqrt{2g \frac{\Delta P}{v_1}} \dots \dots \dots (13)$$

для перегрѣтаго пара ($k = 1,3$):

$$x = 1 - 0,66 \frac{\Delta p}{p_1} \dots \dots \dots (15) *$$

для сухого насыщеннаго пара ($k = 1,135$):



Фиг. 2.

откуда

$$x = \sqrt{\frac{k \left(\frac{p}{p_1} \right)^2 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}}}{k-1 \left(1 - \frac{p}{p_1} \right)}} \dots \dots \dots (14)$$

$$x = 1 - 0,72 \frac{\Delta p}{p_1} \dots \dots \dots (16)$$

Степень точности приближенных уравнений переходнаго коэффициента x (ур. 15 и 16) по сравненію съ точнымъ его выраженіемъ (ур. 14) видна изъ слѣдующихъ числовыхъ ихъ значеній, подсчитанныхъ для различныхъ отношеній $\frac{\Delta p}{p_1}$.

Нетрудно видѣть, что это точное выраженіе коэффициента можетъ быть замѣнено эмпирическимъ его выраженіемъ болѣе простой формы:

*) Δp ... въ кл/см. ².

Таблица числовых значений „переходных“ коэффициентов x

Отношение давлений перед и послѣ диафрагмы: p/p_1	Отношение паденія давленія въ диафрагмѣ къ давленію пара передъ нею: $\frac{\Delta p}{p_1}$	Величины коэффициентов x			
		перегрѣтый паръ $k = 1,3$		сухой насыщ. паръ $k = 1,135$	
		Точное значеніе по ур. (14).	Приближенное значеніе по ур. (15).	Точное значеніе по ур. (14).	Приближенное значеніе по ур. (16).
0,99	0,01	0,996	0,994	0,993	0,993
0,95	0,05	0,970	0,967	0,966	0,965
0,90	0,10	0,941	0,934	0,934	0,929
0,85	0,15	0,909	0,901	0,898	0,894
0,80	0,20	0,876	0,868	0,862	0,858
0,75	0,25	0,846	0,835	0,826	0,823
0,70	0,30	0,812	0,802	0,787	0,787
0,65	0,35	0,777	0,769	0,749	0,752
0,60	0,40	0,741	0,736	0,710	0,716
0,577	0,423	—	—	0,693	0,693
0,546	0,454	0,700	0,700	—	—

Изъ этой таблицы видно весьма близкое совпаденіе точныхъ значений „переходнаго“ коэффициента x съ его значеніями изъ эмпирическихъ уравненій (15) и (16), дающихъ большую точность, чѣмъ это требуется на практикѣ.

Вводя въ уравненіе расхода пара (13) площадь круглой диафрагмы F (мтр²), выраженную черезъ ея діаметръ — d (см.) и паденіе давленія, выраженное въ кл/см.², получаемъ слѣдующія формулы для подсчета секунднаго расхода пара въ кл.:

$$G = 0,0348 x \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} \dots \dots \dots (17)$$

и часового расхода пара въ кл.

$$Q = 125,2 x \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} \dots \dots \dots (18)$$

Если при подсчетахъ по этимъ формуламъ пользоваться точнымъ выраженіемъ коэффициента x , подсчитаннымъ по уравненію (14) или же взятымъ по кривой, построенной на основаніи вышеприведенной таблицы (фиг. 2), то полученные результаты въ точности совпадутъ съ результатами подсчета по теоретической формулѣ расхода пара ур. (11). Если же вмѣсто точнаго значенія коэффициента x — воспользоваться его приближительнымъ значеніемъ (ур. 15 и 16), то, соответственно, расходъ пара будетъ подсчитанъ приближенно, но съ точностью большей, чѣмъ это практически необходимо.

Такимъ образомъ, область примѣненія уравненій (17) и (18) во всякомъ случаѣ не менѣе таковой же — теоре-

тической формулы расхода пара (ур. 11), опредѣляющей предѣлами отношеній давленій отъ единицы ($p = p_1$) до такъ называемаго критическаго отношенія давленій, равнаго:

для перегрѣтаго пара

$$\frac{p}{p_1} = 0,546 \text{ и соответственно } \frac{\Delta p}{p_1} = 0,454$$

для сухого насыщеннаго пара

$$\frac{p}{p_1} = 0,577 \text{ и соответственно } \frac{\Delta p}{p_1} = 0,423.$$

При этихъ критическихъ отношеніяхъ давленій расходъ пара черезъ диафрагму достигаетъ, какъ извѣстно, своей наибольшей величины, которая и остается постоянной и независимой отъ противодавленія, если отношенія $\frac{p}{p_1} < 0,546$ — для перегрѣтаго — и $\frac{p}{p_1} < 0,577$ — для сухого насыщеннаго пара.

Этотъ наибольшій расходъ пара черезъ данную диафрагму подсчитывается, какъ извѣстно, по формулѣ

$$G_k = \mu F \sqrt{2g \frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1}\right)^{\frac{2}{k+1}}} \sqrt{\frac{P_1}{v_1}} \dots \dots (19)$$

Вводя въ эту формулу значенія показателей адиабаты k для перегрѣтаго и насыщеннаго пара и выражая площадь диафрагмы черезъ ея діаметръ d (см.) а начальное давленіе въ кл/см.², имѣемъ:

для перегрѣтаго пара при $\frac{\Delta p}{p_1} = 0,454$

$$G_k = 0,0164 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \text{ кл./сек.} \dots \dots (20)$$

$$Q_k = 59,1 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \text{ кл./часъ} \dots \dots (21)$$

для сухого насыщеннаго пара при $\frac{\Delta p}{p_1} = 0,423$

$$G_k = 0,0156 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \text{ кл./сек.} \dots \dots (20)$$

$$Q_k = 56,3 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \text{ кл./часъ} \dots \dots (21)$$

При подсчетахъ расхода сухого насыщеннаго пара практически значительно удобнѣе пользоваться уравненіями расхода, въ которыхъ исключена величина удѣльнаго объема. Какъ извѣстно, зависимость между давленіемъ p_1 и удѣльнымъ объемомъ сухого насыщеннаго пара v_1 выражается уравненіемъ верхней предѣльной кривой

$$p_1^{-1} v_1 = \text{const} = 1,7235.$$

Вводя въ уравненія (17), (18), (22) и (23) выраженіе удѣльнаго объема v_1 черезъ p_1 , имѣемъ, что расходъ сухого насыщеннаго пара можетъ быть подсчитанъ по слѣдующимъ формуламъ:

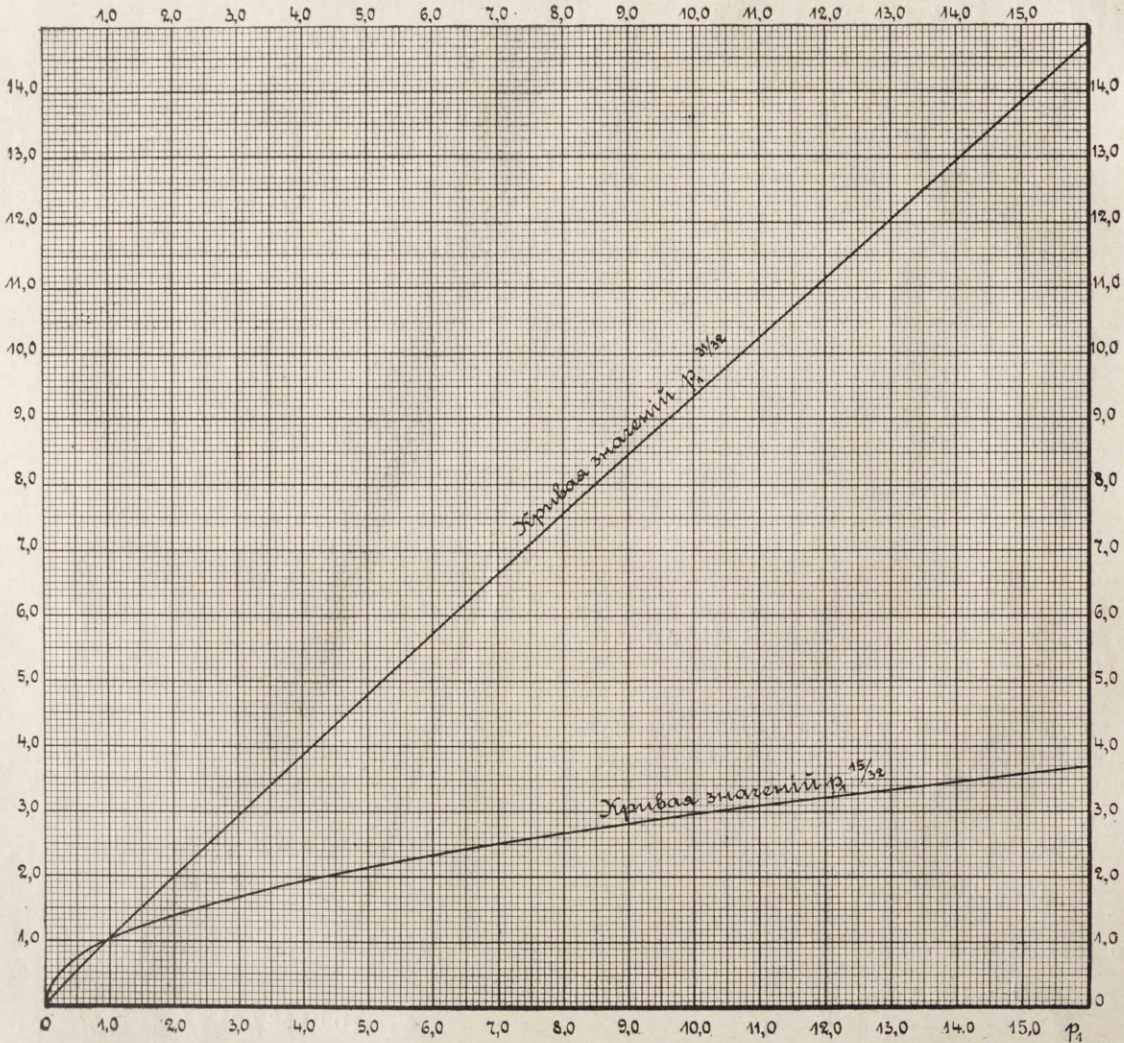
при $\frac{\Delta p}{p_1} = 0,423$

$$G = 0,0265 x \mu d^2 p_1^{1/2} \sqrt{\Delta p} \text{ кл./сек. (17')}$$

$$Q = 95,4 x \mu d^2 p_1^{1/2} \sqrt{\Delta p} \text{ кл./часъ. (18')}$$

1. Состояніе пара передъ діафрагмой, опредѣляемое его давленіемъ p_1 (кл/см²) и удѣльнымъ объемомъ v_1 (мтр³/кл.). Давленіе можетъ быть измѣряемо провѣреннымъ пружиннымъ манометромъ или индикаторомъ, а удѣльный объемъ пара (если паръ перегрѣтъ) подсчитывается въ зависимости отъ p_1 и температуры пара передъ діафрагмой t_1 °С по уравненію Молье:

$$v_1 = 47 \frac{273 + t_1}{10000 p_1} + 0,001 - 0,075 \left(\frac{273}{273 + t_1} \right)^{10/3} \text{ (24)}$$



Фиг. 3.

въ которыя долженъ быть подставленъ x подсчитанный изъ ур. (16) или взятый по кривой изъ фиг. 2;

при $\frac{\Delta p}{p_1} > 0,423$

$$G_k = 0,0119 \mu d^2 p_1^{3/2} \text{ кл./сек. (22')}$$

$$Q_k = 42,9 \mu d^2 p_1^{3/2} \text{ кл./часъ. (23')}$$

Для удобства пользованія этими уравненіями, значенія величинъ $p_1^{1/2}$ и $p_1^{3/2}$ могутъ быть взяты по кривымъ—фиг. 3.

Для подсчета расхода пара по всѣмъ приведеннымъ выше формуламъ необходимо, такимъ образомъ, имѣть слѣдующія данныя:

Вмѣсто подсчетовъ удѣльнаго объема пара, его величина можетъ быть взята изъ J, p —диаграммы Молье (см. приложенныя діаграммы).

2. Паденіе давленія пара въ діафрагмѣ Δp кл/см² можетъ быть измѣрено также при помощи индикатора или пружиннаго манометра какъ разница между давленіями передъ и послѣ діафрагмы. Практически достижимая точность этого способа измѣренія зависитъ отъ давленія p_1 , въ зависимости отъ котораго приходится выбирать масштаб пружины индикатора, и отъ величины паденія давленія Δp . Чѣмъ меньше p_1 и чѣмъ

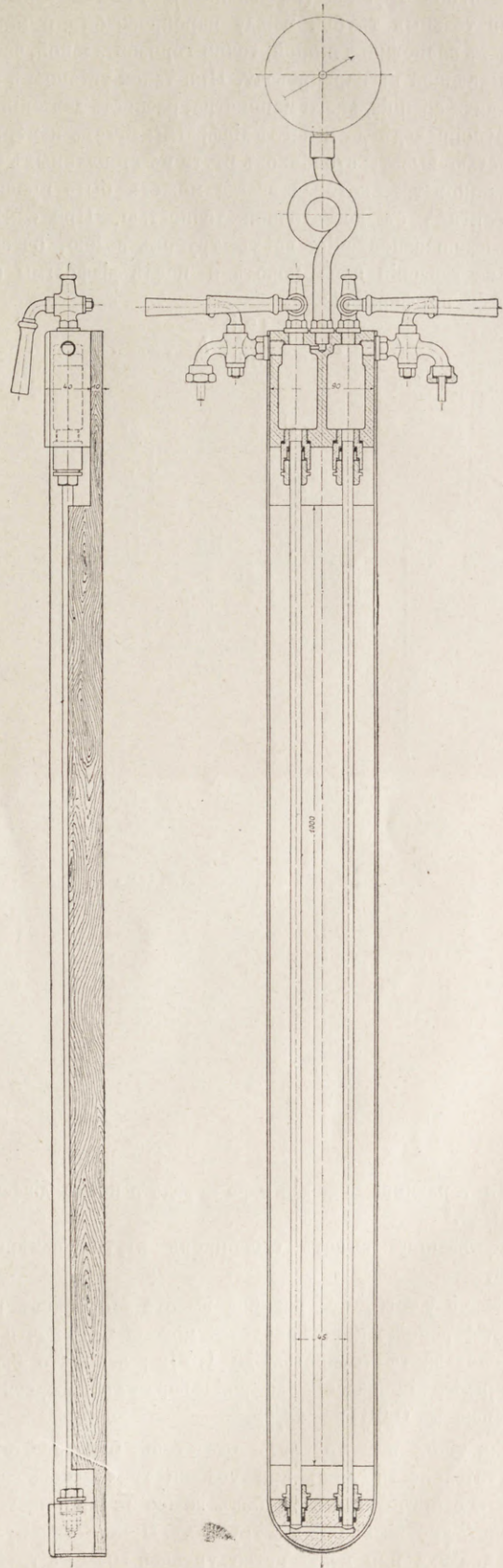
больше Δp , тѣмъ точнѣе могутъ быть полученные результаты. При малыхъ паденіяхъ давленій, которыя лишь и являются часто практически допустимыми, пользование индикаторомъ и пружиннымъ манометромъ является уже невозможнымъ, въ виду недостаточной точности получаемыхъ отсчетовъ (объ этомъ см. ниже).

3. Диаметръ круглой діафрагмы d см. опредѣляется непосредственнымъ измѣреніемъ при температурѣ возможно близкой къ температурѣ пара t_1

4. „Переходный“ коэффициентъ x опредѣляется либо по ур. (15) и (16), либо же можетъ быть взята по кривой (фиг. 2), какъ функція отношенія $\frac{\Delta p}{p_1}$

5. Коэффициентъ расхода μ долженъ быть выбранъ на основаніи опытныхъ данныхъ, которыя приводятся въ концѣ этой статьи.

Допустимое паденіе давленія пара въ паропроводѣ является вопросомъ, лишь въ зависимости отъ котораго и опредѣляется степень пригодности діафрагменнаго измѣренія расхода пара на практикѣ. Имѣя въ виду эти практическія условія работы, конечно, необходимо считаться съ возможностью измѣренія расхода пара въ трубопроводѣ во время нормальныхъ условій работы всей паровой установки, и неизбежностью нарушенія этихъ условій въ громадномъ большинствѣ случаевъ, если на паропроводѣ установлена діафрагма такого размѣра, при протеканіи пара черезъ которую вызывалось бы значительное мятіе пара. Если, однако, считаться съ необходимостью ограничиться во многихъ случаяхъ практики лишь весьма незначительнымъ допустимымъ мятіемъ пара, то, естественно, приходится отказаться отъ употребленія индикатора и измѣрять это паденіе давленія болѣе точнымъ приборомъ. Такимъ приборомъ является ртутный дифференціальный манометръ (фиг. 4), состоящій изъ двухъ стеклянныхъ трубокъ, испытанныхъ на высокое давленіе, которыя укрѣпляются въ верхней и нижней металлическихъ коробкахъ сальниками съ замшевой или резиновой набивкой. Нижняя стальная коробка имѣетъ назначеніе создать вмѣстѣ съ двумя стеклянными трубками сообщеніе сосуда, наполненнаго ртутью, и должна быть выполнена изъ возможно плотнаго матеріала, на который ртуть не дѣйствуетъ разъѣдающе. Верхняя бронзовая коробка имѣетъ два, раздѣленныхъ промежуточной стѣнкой, пространства, образующихъ такъ называемыя приемныя коробки. Обѣ коробки имѣютъ по одному воздушному крану, необходимыхъ для продувки прибора, и по одному боковому крану для присоединенія манометра металлическими трубками къ паропроводу. Лѣвая коробка соединена, кромѣ того, сверленнымъ отверстіемъ съ пружиннымъ манометромъ, показывающимъ давленіе въ ней въ атмосферахъ. Такой ртутный манометръ долженъ быть присоединенъ своей лѣвой приемной коробкой къ паропроводу передъ —, а правой — послѣ діафрагмы (фиг. 5). Трубки, соединяющія паропроводъ съ манометромъ, приемныя коробки и стеклянныя трубки надъ ртутью, должны быть обязательно заполнены водою, верхній уровень которой съ обѣихъ сторонъ долженъ быть на одной высотѣ. Для достиженія этого постоянства уровней можно установить на паропроводѣ приемныя цилиндры съ вертикаль-



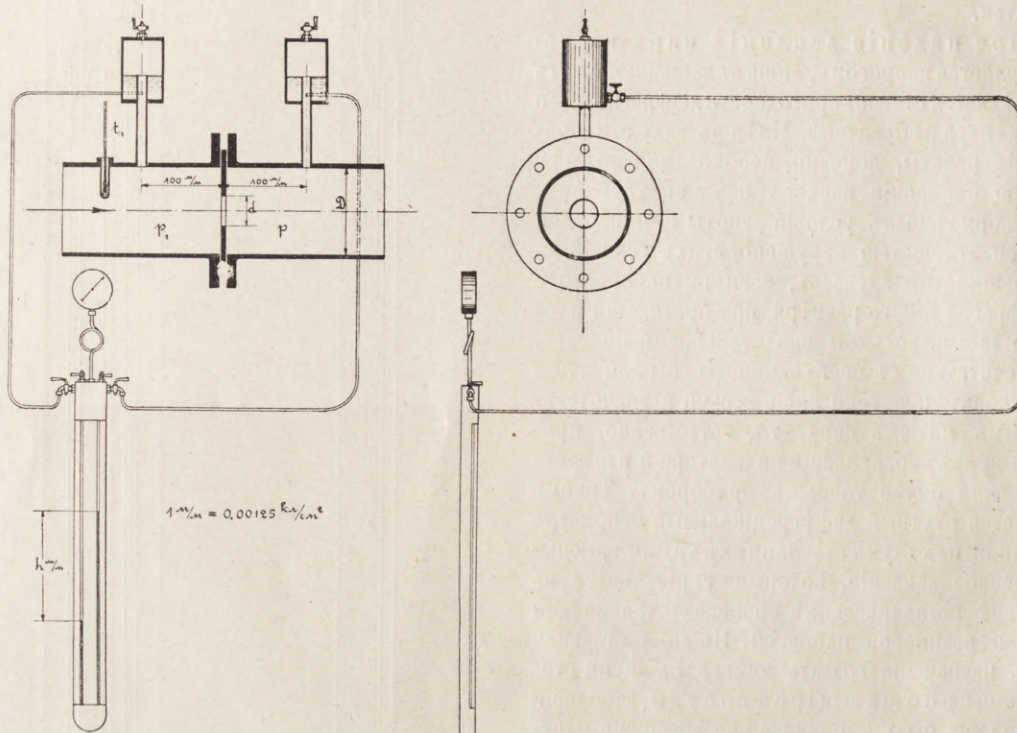
Фиг. 4.

ной сливной трубкой (не меньше $\frac{1}{2}$ ") или же выполнить соединительныя трубки между паропроводомъ и манометромъ съ возможно длинной, точно горизонтальной, частью, примыкающей къ паропроводу. При такой установкѣ ртутнаго дифференціального манометра, разность давленій пара въ трубопроводѣ до и послѣ діафрагмы будетъ измѣряться разностью высоты столбиковъ ртути въ стеклянныхъ трубкахъ манометра, которая всегда можетъ быть прочитана на практикѣ съ достаточной точностью. При отмѣченномъ выше заполненіи всѣхъ трубокъ водою, очевидно, разница давленій пара передъ и послѣ діафрагмы опредѣляется по формулѣ:

$$\Delta p = \frac{12,5}{1000} h \dots \dots \dots (25)$$

можетъ привести къ совершенно невѣрнымъ отсчетамъ, степень ошибочности которыхъ нетрудно учесть, если принять во вниманіе, что каждыя 13,5 м/м. высоты водяного столба, замѣщенного воздухомъ (или паромъ) обусловливаютъ неточность отсчета по манометру въ 1 м/м. На практикѣ возможны случаи измѣренія расхода пара при паденіи давленія въ діафрагмѣ въ 20—25 м/м. ртутнаго столба и при этихъ условіяхъ ошибка отсчета даже въ 1 м/м. вызываетъ неправильность подсчета расхода пара въ 2 и болѣе %.

При пользованіи ртутнымъ дифференціальнымъ манометромъ, для опредѣленія расхода пара удобнѣе вести подсчеты по выведеннымъ выше формуламъ, измѣненнымъ такимъ образомъ, что въ нихъ, вмѣсто Δp введено его



Фиг. 5.

гдѣ Δp ... разница давленій пара передъ и послѣ діафрагмы въ кл/см.²

h ...разница высотъ столбиковъ ртути, измѣренная въ см.

Въ виду того, что разница высотъ столбиковъ ртути въ дифференціальномъ манометрѣ можетъ быть почти всегда прочитана съ точностью до 1 м/м., ясно, что ошибка въ опредѣленіи паденія давленія пара въ діафрагмѣ не превышаетъ 0,00125 кл/см.²

Конечно, эта точность отсчетовъ будетъ отвѣчать дѣйствительности лишь при условіи тщательнаго заполненія соединительныхъ трубокъ водою и постоянства ея верхняго уровня въ обѣихъ трубкахъ. Присутствіе пузырьковъ воздуха или неравенство уровней воды въ трубкахъ

выраженіе черезъ высоту h въ см., согласно уравненію (25). Дѣлая эти преобразованія, имѣемъ:

Расходъ перегрѣтаго пара:

$$\text{при } \frac{h}{p_1} \cong 36,3$$

$$(ур. 17) \quad G = 0,00389 \mu x d^2 \sqrt{\frac{h}{v_1}} \text{ кл./сек.} \dots (26)$$

$$(ур. 18) \quad Q = 14,0 \mu x d^2 \sqrt{\frac{h}{v_1}} \text{ кл./часъ} \dots (27)$$

$$(ур. 15) \quad x = 1 - 0,0083 \frac{h}{p_1} \dots \dots \dots (28)$$

При $\frac{h}{p_1} \geq 36,3$ — действительны уравнения (20) и (21).

Расход сухого насыщенного пара:

при $\frac{h}{p_1} \leq 33,84$ — расход пара может быть подсчитан по ур. (26) и (27), при чемъ

$$(ур. 16) \quad x = 1 - 0,0090 \frac{h}{p_1} \dots \dots \dots (29)$$

или же по уравнениямъ:

$$(ур. 17') \quad G = 0,00296 \mu x d^2 p_1^{11/32} \sqrt{h} \text{ кл./сек.} \dots (30)$$

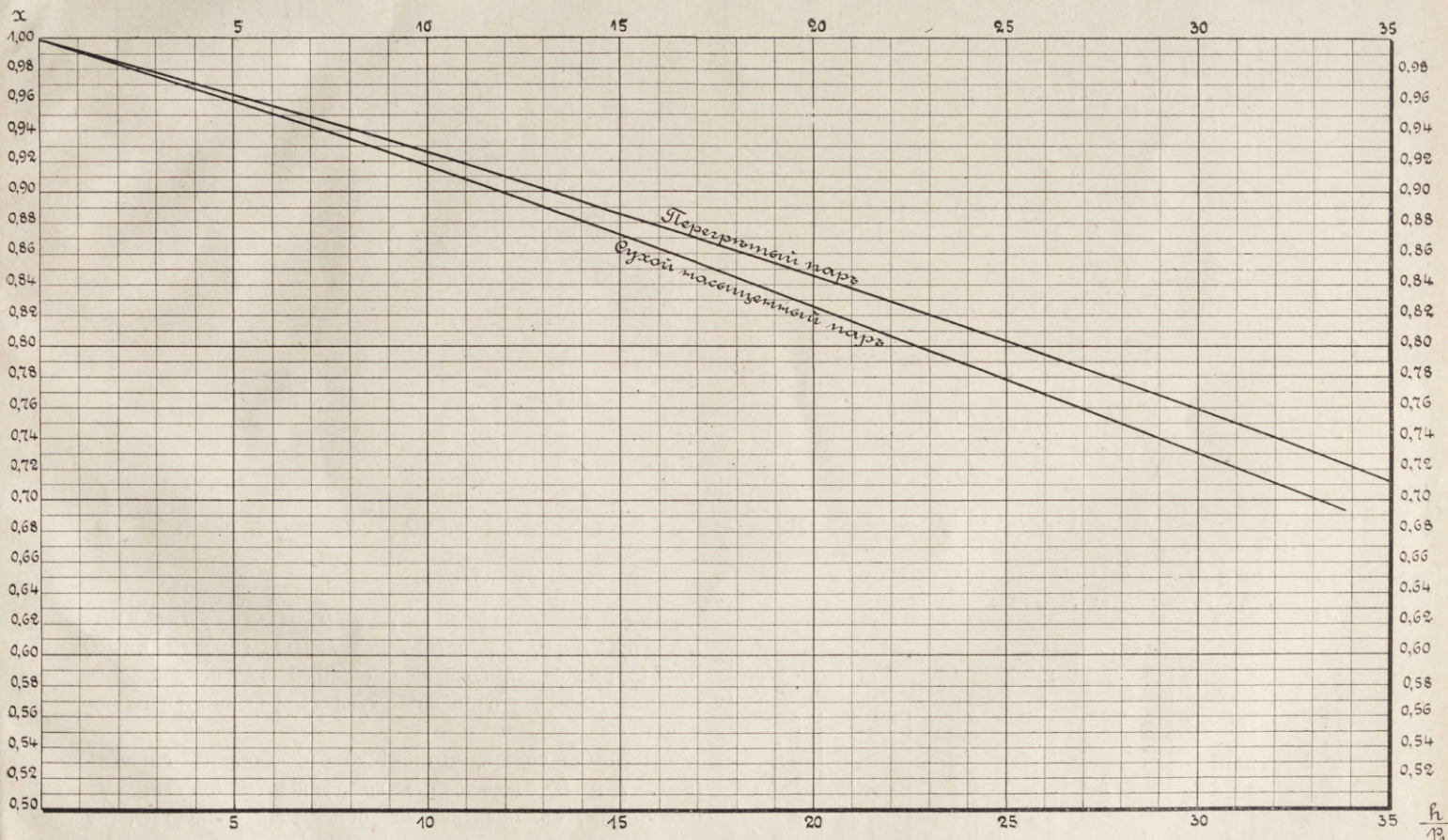
$$(ур. 18') \quad Q = 10,7 \mu x d^2 p_1^{11/32} \sqrt{h} \text{ кл./часъ} \dots (31)$$

въ которыхъ x долженъ быть подсчитанъ изъ ур. (29) или взять изъ кривой фиг. 6.

и фиг. 2, по точнымъ значениямъ коэффициентовъ x (ур. 14), но при абсциссахъ — отношеніяхъ $\frac{h}{p_1}$.

Предѣлы применимости уравнений (26), (27), (30) и (31) ограниченъ пока значениями отношеній $\frac{h}{p_1}$, отъ 0 до 36,3 — для перегрѣтаго пара и отъ 0 до 33,84 — для сухого насыщенного пара въ цѣляхъ согласованія обычнаго метода подсчета расхода пара черезъ діафрагмы, которымъ всегда рѣзко подчеркивается постоянство расхода пара и независимость его отъ противодавленія, если оно меньше такъ называемаго критическаго давленія.

Условіе постоянства расхода пара черезъ діафрагму при указанныхъ паденіяхъ давленія пара теоретически объясняется тѣмъ, что въ выходномъ сѣченіи не можетъ установиться



Фиг. 6.

При $\frac{h}{p} \geq 33,84$ — действительны уравнения (22), (23), (22'), (23'). Эмпирическія уравненія для переходнаго коэффиціента x (ур. 28 и 29) получены изъ ур. (15) и (16) путемъ замѣны въ нихъ отношеній $\frac{\Delta p}{p_1}$ ихъ выраже-

ніями черезъ отношенія $\frac{h}{p_1}$ (см. ур. 25) и, слѣдовательно, степень точности ихъ одинакова. Въмѣсто подсчетовъ коэффиціентовъ x по этимъ уравненіямъ, можно брать ихъ значенія по кривымъ (фиг. 6), построеннымъ также какъ

давленіе, меньше критическаго, которое опредѣляется въ зависимости отъ начальнаго давленія p_1 по уравненію

$$\frac{p_k}{p_1} = \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \dots \dots \dots (32)$$

Вводя въ ур. (11) это наименьшее отношеніе давленій, обусловливающее наибольшую возможную скорость вытекания пара изъ діафрагмы (скорость звуковой волны), получаемъ уравненіе наибольшаго расхода (ур. 19). Во многихъ случаяхъ практики является весьма цѣннымъ использование для подсчетовъ такихъ формулъ, которыя имѣютъ по возможности общее значеніе. Всякое ограниченіе предѣловъ ихъ применимости обычно вызываетъ необходимость соот-

вѣтствующихъ объясненій, не всегда доступныхъ пониманію лицъ практически использующихъ предлагаемую формулу, и, во всякомъ случаѣ, усложняющихъ это использование. Учитывая это соображеніе, можно найти такой законъ измѣненія величины переходныхъ коэффициентовъ x котормъ вполне точно охватываются дѣйствительныя соотношенія между расходомъ пара и разницей давленія до и послѣ діафрагмы и получается возможнымъ считать уравненія (17), (18), (17'), (18') и полученныя изъ нихъ, уравненія (26), (27), (30) и (31) применимыми для всякихъ паденій давленія въ діафрагмѣ.

Для подсчетовъ значенийъ коэффициентовъ x за предѣлы критическаго паденія давленія, необходимо, конечно, воспользоваться, вмѣсто ур. (14), уравненіемъ:

$$x = \sqrt{\frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{1}{1 - \frac{p}{p_1}}} \dots (33)$$

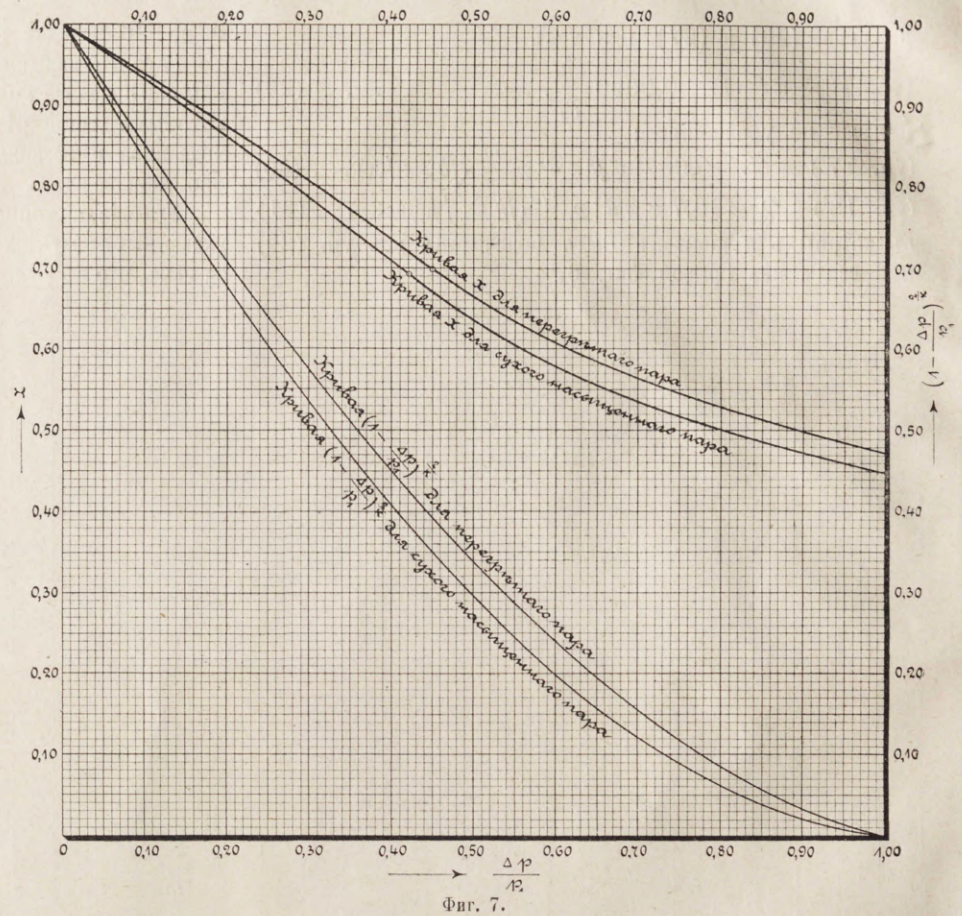
или соответственно (см. ур. 25) уравненіемъ

$$x = \sqrt{\frac{k}{k+1} \left(\frac{2}{k+1} \right)^{\frac{2}{k-1}} \cdot \frac{0,0125}{p_1} \frac{h}{p_1}} \dots (33')$$

Подсчитывая по ур. (33) и (33') значения коэффициентовъ x для перегрѣтаго и сухого насыщеннаго пара, имѣемъ слѣдующую таблицу:

Отношеніе давленія послѣ и передъ діафрагмой: $\frac{p}{p_1}$	Соответствующее отношеніе $\frac{\Delta p}{p_1}$	Соответствующее отношеніе $\frac{h}{p_1}$	Перегрѣтый паръ $k = 1,3$		Сухой нас. паръ $k = 1,135$	
			Точное значеніе коэффициента x по ур. (33).	Приближенное значеніе коэффициента x по ур. (34).	Точное значеніе коэффициента x по ур. (33).	Приближенное значеніе коэффициента x по ур. (35).
0,50	0,50	40	0,667	0,670	0,636	0,640
0,45	0,55	44	0,636	0,637	0,606	0,604
0,40	0,60	48	0,609	0,60	0,580	0,568
0,35	0,65	52	0,585	0,577	0,558	0,557
0,30	0,70	56	0,564	0,561	0,537	0,540
0,25	0,75	60	0,545	0,544	0,519	0,522
0,20	0,80	64	0,527	0,528	0,503	0,507
0,15	0,85	68	0,512	0,511	0,488	0,491
0,10	0,90	72	0,497	0,485	0,474	0,469
0,05	0,95	76	0,484	0,478	0,461	0,458
0.	1,00	80	0,472	0,462	0,449	0,442

На основаніи этихъ данныхъ можно построить по точкамъ продолженіе обѣихъ кривыхъ, нанесенныхъ на фиг. (2) и (6) и получимъ кривыя x (фиг. 7 и 8), дающія теоретически точныя величины коэффициентовъ для всѣхъ разницъ давленій пара



Фиг. 7.

передъ и послѣ діафрагмы. Пользуясь этими кривыми, можно считать уравненія (26), (27), (30) и (31) имѣющими совершенно общее значеніе для всѣхъ разницъ высотъ столбиковъ ртути дифференціального манометра.

Нетрудно видѣть, что вмѣсто отсчетовъ по кривымъ (фиг. 7 и 8), переходные коэффициенты могутъ быть подсчитаны, съ практически достаточной точностью, по слѣдующимъ эмпирическимъ уравненіямъ:

Для перегрѣтаго пара:

При $\frac{\Delta p}{p_1} \cong 0,625$ или $\frac{h}{p_1} \cong 50$:

$$x = 1 - 0,66 \frac{\Delta p}{p_1} = 1 - 0,0083 \frac{h}{p_1} \dots (34)$$

При $\frac{\Delta p}{p_1} \cong 0,625$ или $\frac{h}{p_1} = 50$:

$$x = 0,79 - 0,328 \frac{\Delta p}{p_1} = 0,79 - 0,0041 \frac{h}{p_1} \dots (34')$$

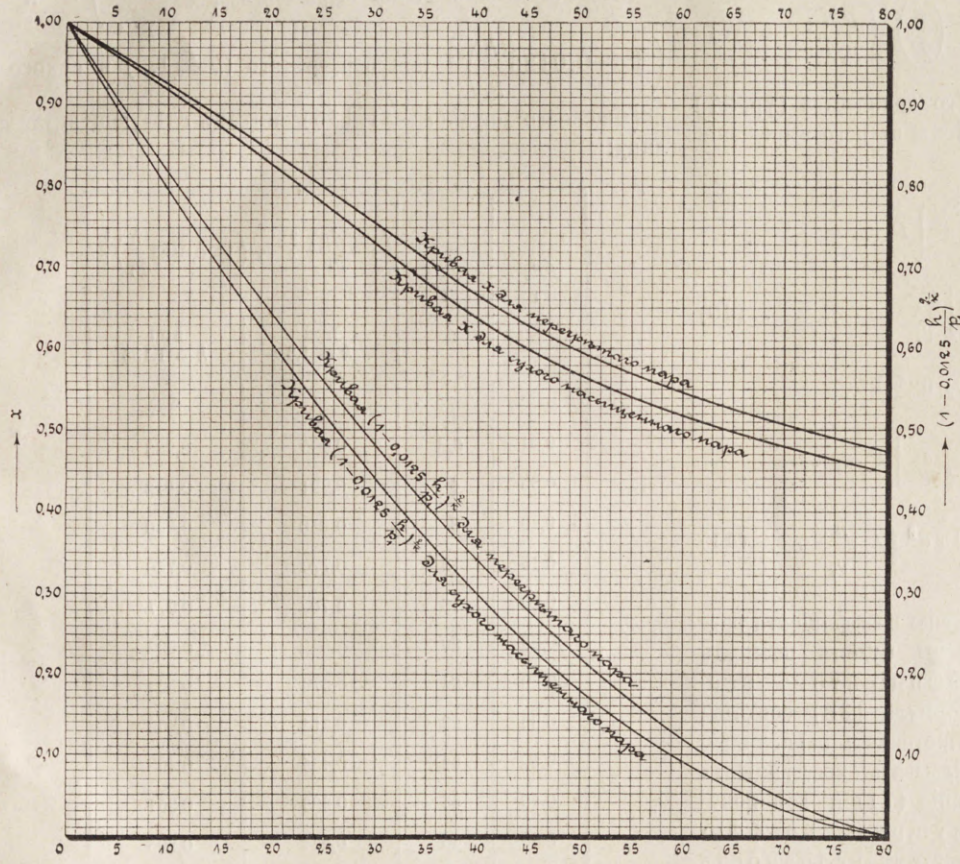
Для сухого насыщенного пара:

При $\frac{\Delta p}{p_1} \leq 0,563$ или $\frac{h}{p_1} \leq 45$:

$$x = 1 - 0,72 \frac{\Delta p}{p_1} = 1 - 0,0090 \frac{h}{p_1} \dots \dots \dots (35)$$

При $\frac{\Delta p}{p_1} \leq 0,563$ или $\frac{h}{p_1} \leq 45$:

$$x = 0,77 - 0,328 \frac{\Delta p}{p_1} = 0,77 - 0,0041 \frac{h}{p_1} \dots \dots \dots (35')$$



Фиг. 8.

Коэффициент расхода — μ .

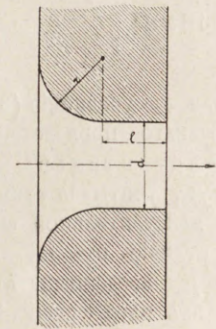
Для того, чтобы указанные выше формулы расхода пара могли быть использованы практически, необходимо уметь выбрать для каждого данного случая подходящее значение коэффициента расхода пара — μ .

Предполагая простейшую форму диафрагмы, профиль которой (фиг. 9) образован из четверти окружности, радиуса r и прямой, длиной l , мы будем считать, что форма диафрагмы вполне определена, если известны ее размеры: d , r , l .

Так как от формы диафрагмы зависит строение струи протекающего через нее пара, то, конечно, коэффициент расхода μ прежде всего должен зависеть от величин, определяющих форму диафрагмы. В виду за-

висимости коэффициента μ (фиг. 10) от величины коэффициента скорости φ , необходимо считаться с возможностью изменения величины μ при изменении скорости и плотности притекающего пара, а следовательно с зависимостью μ , кроме формы диафрагмы, от величин p_1 , v_1 , Δp и, наконец от отношения диаметров диафрагмы — d и паропровода, — D . От отношения диаметров d и D зависит строение струи пара при входе его в диафрагму, которая имеет непосредственное влияние на условия протекания пара и, кроме того, отношением $D:d$ и падением давления в диафрагме определяется соотношение между действительной скоростью выхода пара перед диафрагмой — c_0 , которая пока совершенно не принималась в расчет.

Исходным уравнением для всех преобразований и выводов было принято ур. (1), правильное лишь при условии, что скорость — c_0 настолько мала по сравнению с c , что может быть совершенно не принята в расчет. В громадном большинстве случаев расчета, использующего формулы Цейнера, такое допущение вполне возможно и вводится в целях их упрощения. Имѣя, однако, в виду практически



Фиг. 9.

условия диафрагменного измерения расхода пара, необходимо отметить, что при небольших падениях давления пара в диафрагме, увеличения скорости c по сравнению с c_0 не настолько значительно, чтобы величиною c_0 можно было пренебречь. Влияние этой начальной скорости, т.е. скорости пара в паропроводе, может быть учтено теоретически, если исходным уравнением для подсчета расхода принять вместо ур. (1) точное уравнение Цейнера, имѣющее, как известно, следующую форму:

$$\frac{c^2}{2g} - \frac{c_0^2}{2g} = \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right] P_1 v_1 \dots \dots \dots (36)$$

Вводя коэффициент скорости φ , имѣем:

$$c = \varphi \sqrt{c_0^2 + 2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] P_1 v_1 \dots \dots \dots (37)}$$

Уравнение расхода (6) и уравнение политропы (7) откуда приводить къ слѣдующему выраженію секунднаго расхода пара:

$$G = \frac{\alpha F c}{v} = \alpha \varphi \sqrt{\frac{c_0^2 F^2}{v^2} + \frac{F^2}{v^2} 2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] P_1 v_1 \dots} \quad (38)$$

Обозначая через F_D — площадь живого сѣченія паропровода, имѣющаго діаметръ D см. а через d см. діаметръ діафрагмы, имѣемъ

$$\frac{c_0^2 F^2}{v^2} = \frac{c_0^2 F_D^2}{v_1^2} \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} = G \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} \dots \quad (39)$$

Второе слагаемое подкоренного количества (ур. 37) можетъ быть преобразовано введеніемъ въ него выраженія v изъ ур. (7):

$$\frac{F^2}{v^2} 2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] P_1 v_1 = F^2 2g \frac{k}{k-1} \left[\left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k+1}{k}} \right] \frac{P_1}{v_1} \dots \quad (40)$$

Изъ ур. (13), (17), (26), (40) имѣемъ:

$$\sqrt{\frac{F^2}{v^2} 2g \frac{k}{k-1} \left[1 - \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] P_1 v_1} = 0,0348 x d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} = 0,00389 x d^2 \sqrt{\frac{h}{v_1}} \dots \quad (41)$$

Вводя въ уравненіе (38) выраженіе коэффициента расхода, равнаго произведенію $\alpha \varphi$, мы будемъ называть его „дѣйствительнымъ коэффициентомъ расхода“ μ_o , учитывая этимъ, что формула (38) соответствуетъ дѣйствительной скорости протеканія пара.

Въ отличіе отъ μ_o будемъ называть коэффициентъ расхода μ , введенный въ уравненіе (11) и всѣ полученные изъ него уравненія, „кажущимся коэффициентомъ расхода“, учитывая этимъ условность введеннаго обозначенія.

Для того, чтобы уравненіе (11), а слѣдовательно и всѣ полученные изъ него уравненія могли быть использованы для правильнаго подсчета дѣйствительнаго секунднаго расхода пара, точное выраженіе котораго дается уравненіемъ (38), должна быть вполне определенная зависимость между μ_o и μ .

Изъ уравненій (38), (39), (40)

$$G^2 = \mu_o^2 \left[G^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(\frac{p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} + \left(0,0348 x d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} \right)^2 \right] \quad (42)$$

Изъ уравненій (42) и (17):

$$G^2 = \mu_o^2 \left[G^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(1 - \frac{\Delta p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} + \frac{G^2}{\mu^2} \right]$$

$$\mu_o = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(1 - \frac{\Delta p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}}}} \dots \quad (43)$$

или (см. ур. 25)

$$\mu_o = \frac{\mu}{\sqrt{1 + \mu^2 \left(\frac{d}{D} \right)^4 \left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}}}} \dots \quad (44)$$

Подсчитывая значенія выраженій $\left(1 - \frac{\Delta p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}}$ и $\left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}}$ для перегрѣтаго ($k=1,3$) и сухого насыщеннаго пара ($k=1,135$), имѣемъ слѣдующую таблицу:

$\frac{\Delta p}{p_1}$	$\frac{h}{p_1}$	$\left(1 - \frac{\Delta p}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}} = \left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1} \right)^{\frac{2}{k}}$	
		при $k=1,3$	при $k=1,135$
0,01	0,8	0,985	0,983
0,05	4	0,924	0,912
0,10	8	0,850	0,830
0,15	12	0,770	0,750
0,20	16	0,708	0,677
0,25	20	0,640	0,603
0,30	24	0,576	0,534
0,35	28	0,514	0,468
0,40	32	0,455	0,408
0,45	36	0,393	0,351
0,50	40	0,344	0,295
0,55	44	0,292	0,246
0,60	48	0,243	0,201
0,65	52	0,195	0,155
0,70	56	0,155	0,120
0,75	60	0,118	0,087
0,80	64	0,083	0,060
0,85	68	0,054	0,036
0,90	72	0,035	0,017
0,95	76	0,010	0,005
1	80	0	0

На основаніи данныхъ этой таблицы и формулъ (43) и (44) ясно, что:

1. „Дѣйствительный“ коэффициент расхода μ_d всегда меньше „кажущагося“ коэффициента расхода μ .

2. При определенном отношении $D:d$ разница между коэффициентами μ_d и μ уменьшается съ увеличеніем паденія давления.

3. При определенном паденіи давления разница между коэффициентами μ_d и μ тѣмъ меньше, чѣмъ больше отношеніе $D:d$ и при $\frac{D}{d} > 2,5$ эта разница такъ незначительна, что практически можно считать $\mu_d = \mu$.

4. При отношеніяхъ $\frac{D}{d} < 2,5$ расходъ пара можетъ быть подсчитанъ по выведеннымъ выше формуламъ, въ которыя должно быть подставлено значеніе „кажущагося“ коэффициента μ , подсчитаннаго въ зависимости отъ опыта установленной величины коэффициента μ_d , отношенія $D:d$ и паденія давления. Изъ уравненій (43) и (44) имѣемъ:

$$\mu = \frac{\mu_d}{\sqrt{1 - \mu_d^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4 \left(1 - \frac{\Delta p}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}}} \quad \dots (45)$$

$$\mu = \frac{\mu_d}{\sqrt{1 - \mu_d^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4 \left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}}} \quad \dots (46)$$

Для удобства этихъ пересчетовъ построены кривыя значеній $\left(1 - \frac{\Delta p}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}$ и $\left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1}\right)^{\frac{2}{k}}$, нанесенныя на діаграммахъ — фиг. 7 и 8.

Значенія дѣйствительныхъ коэффициентовъ расхода пара для различныхъ діафрагмъ и условий протеканія пара могутъ быть, конечно, выяснены лишь путемъ опыта. На основаніи всего вышесказаннаго коэффициентъ μ_d можетъ быть представленъ въ общемъ видѣ, какъ функція

$$\mu_d = f\left(d, r, l, p_1, v_1, \Delta p, \frac{D}{d}\right) \quad \dots (47)$$

при выясненіи вида которой должна быть произведена и опытная провѣрка правильности выведенной зависимости между μ_d и μ .

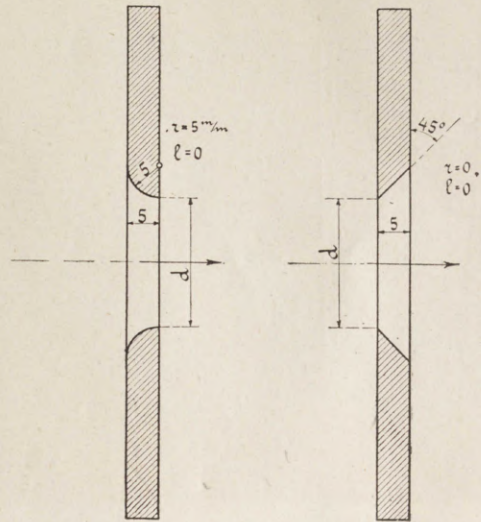
Задачей намѣченной программы опытовъ, ведущихся въ механическомъ институтѣ Императорскаго Московскаго Техническаго Училища, является выясненіе указанной выше функциональной зависимости дѣйствительнаго коэффициента расхода пара отъ факторовъ, обуславливающихъ его величину.

Постановка этой серіи опытовъ стала практически выполнима лишь при содѣйствіи трехъ русскихъ обществъ для надзора за паровыми котлами, ассигновавшими въ распоряженіе лабораторіи средства на опытное оборудованіе и проведеніе части опытовъ¹⁾. По инициативѣ

К. В. Киршъ, въ первую серію опытовъ было включено испытаніе и цѣлаго ряда практически наиболѣе удобныхъ діафрагмъ незначительной толщины. При выборѣ толщины этихъ „тонкихъ“ діафрагмъ, взятой = 5 м/м. предполагалось получить рядъ коэффициентовъ расхода пара въ діафрагмахъ, которыя всегда могутъ быть установлены на паропроводѣ между его флянцами. Пока изслѣдовано два типа такихъ „тонкихъ“ діафрагмъ — „скругленная“ (фиг. 10) и „острая“ (фиг. 11) діафрагмы и полученные въ настоящее время данныя, при всей ихъ непол-

„Скругленная“ діафрагма.

„Острая“ діафрагма.



Фиг. 10.

Фиг. 11.

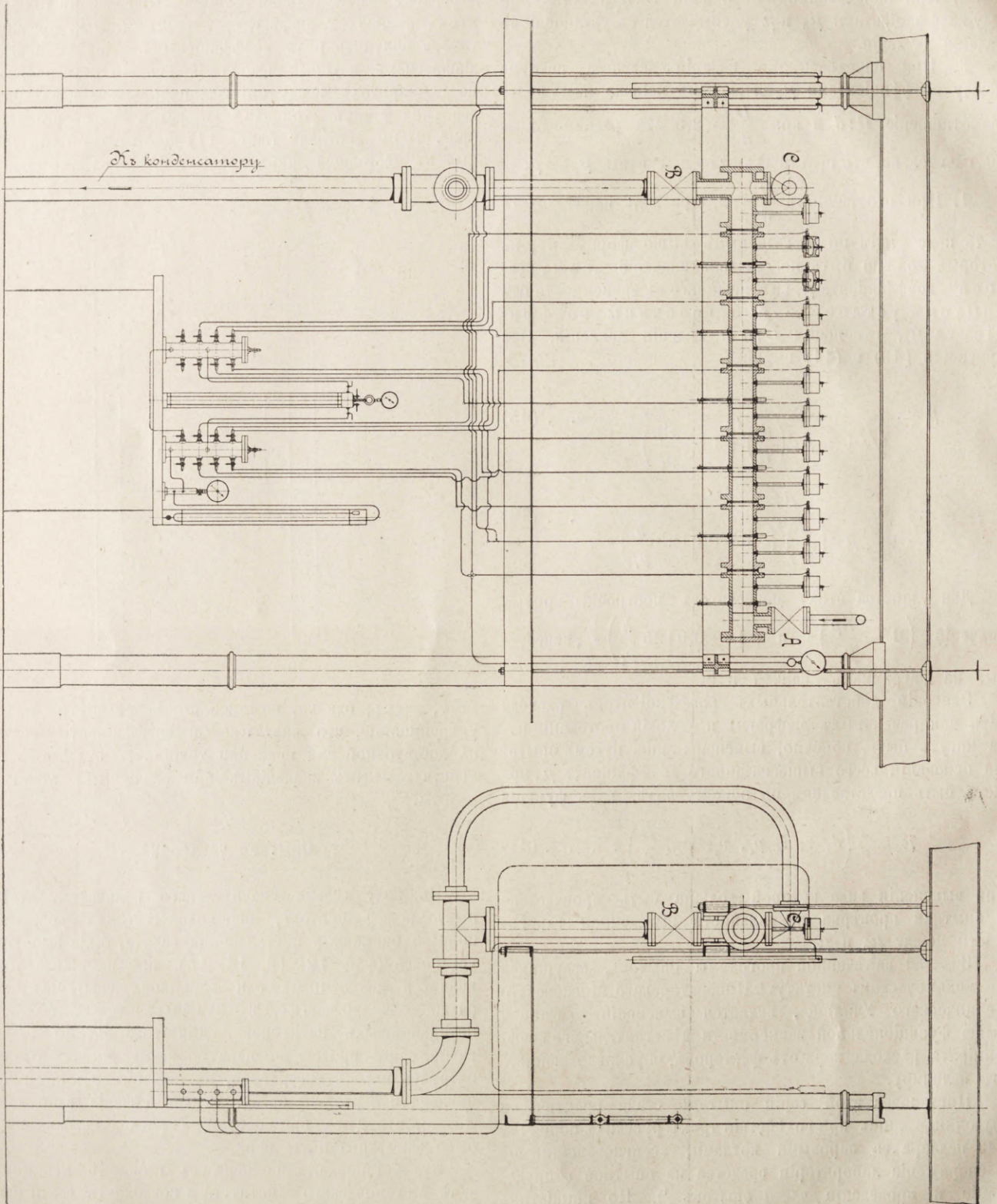
нотѣ, даютъ, однако, возможность использовать ихъ съ увѣренностью, что предлагаемые коэффициенты расхода съ достаточной для практики точностью отвѣчаютъ ихъ дѣйствительнымъ значеніямъ при различныхъ условіяхъ работы.

Опытная установка.

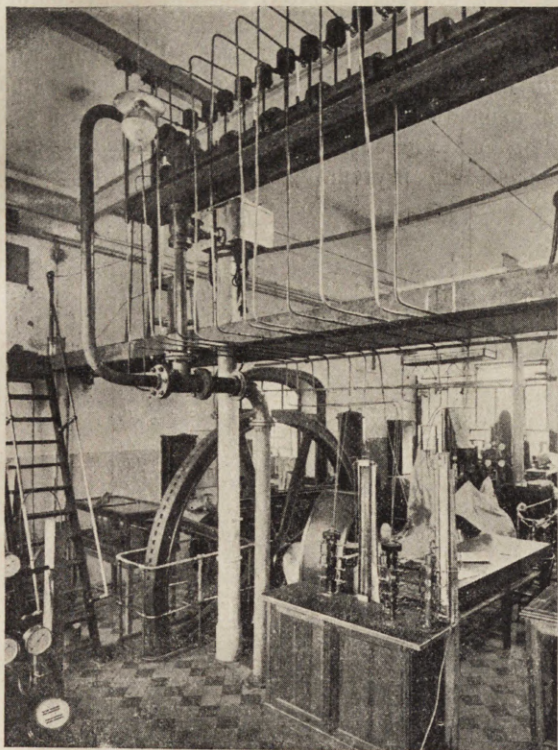
Въ виду весьма значительнаго количества отдѣльныхъ коэффициентовъ, необходимыхъ для достаточно полного освѣщенія поставленной задачи, была выполнена установка (фиг. 12, 13, 14, 15), при помощи которой является возможнымъ одновременное испытаніе шести различныхъ діафрагмъ, зажимаемыхъ между флянцами пятидюймовыхъ патрубковъ. Для того, чтобы создать равномерное протеканіе пара по всему живому сѣченію патрубка передъ діафрагмой, въ каждомъ изъ нихъ установлена поперечная сѣтка. Живое сѣченіе этой сѣтки таково, что даже при большихъ расходахъ, въ ней не было замѣтнаго мятія пара.

Эта установка выполнена въ главномъ машинномъ залѣ Механическаго Института и позволяетъ вести испытанія съ расходомъ пара до 1000 клгр. въ часъ и имѣть давленіе передъ 1-й діафрагмой до 12 кл/см.², а за послѣдней — значительно ниже атмосфернаго. Изъ котель-

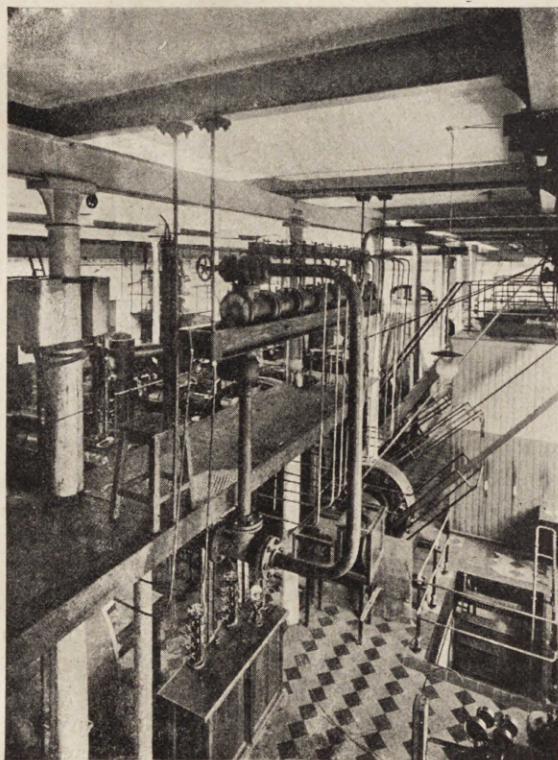
¹⁾ Ассигновано: Южно-Русскимъ Обществомъ — 400 р., Кіевскимъ — 500 р., Московскимъ — 300 р.



Фиг. 12.

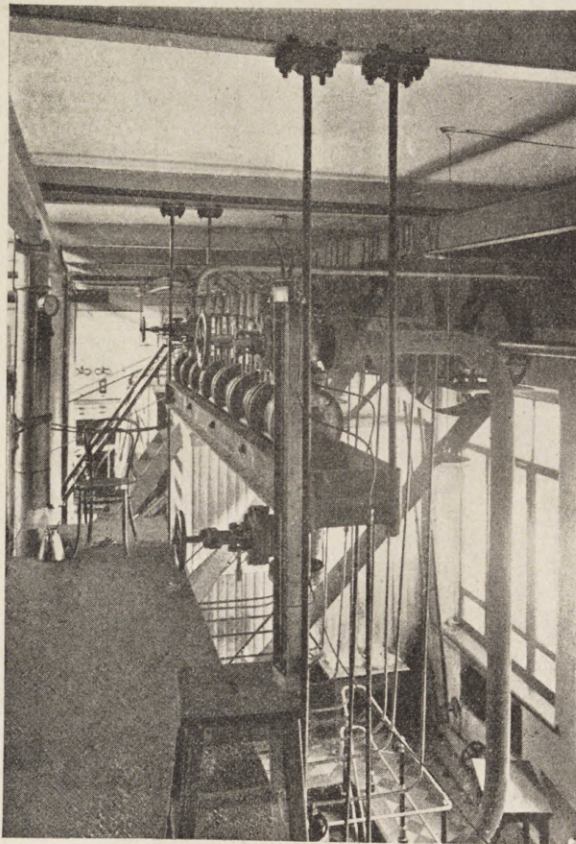


Фиг. 13.



Фиг. 14.

ной института поступает насыщенный паръ въ перегрѣватель съ нефтяной топкой, установленной въ Лабораторіи, въ которомъ паръ можетъ быть перегрѣтъ до 650° С. Регулированіемъ форсунки пароперегрѣвателя удается держать желаемую температуру пара почти постоянной за время всего опыта. Давленіе пара передъ первой діафрагмой регулируется двухдюймовой задвижкой *A*, а давленіе пара послѣ шестой діафрагмы трехдюймовой задвижкой *B*. Угловой трехдюймовый вентиль *C* и *U*-образная 3-дюймовая труба увеличиваютъ живое сѣченіе для отвода пара. Обѣ трехдюймовыя трубы соединяются тройникомъ съ пятидюймовой паропроводящей трубой, которая ведетъ паръ къ поверхностному конденса-

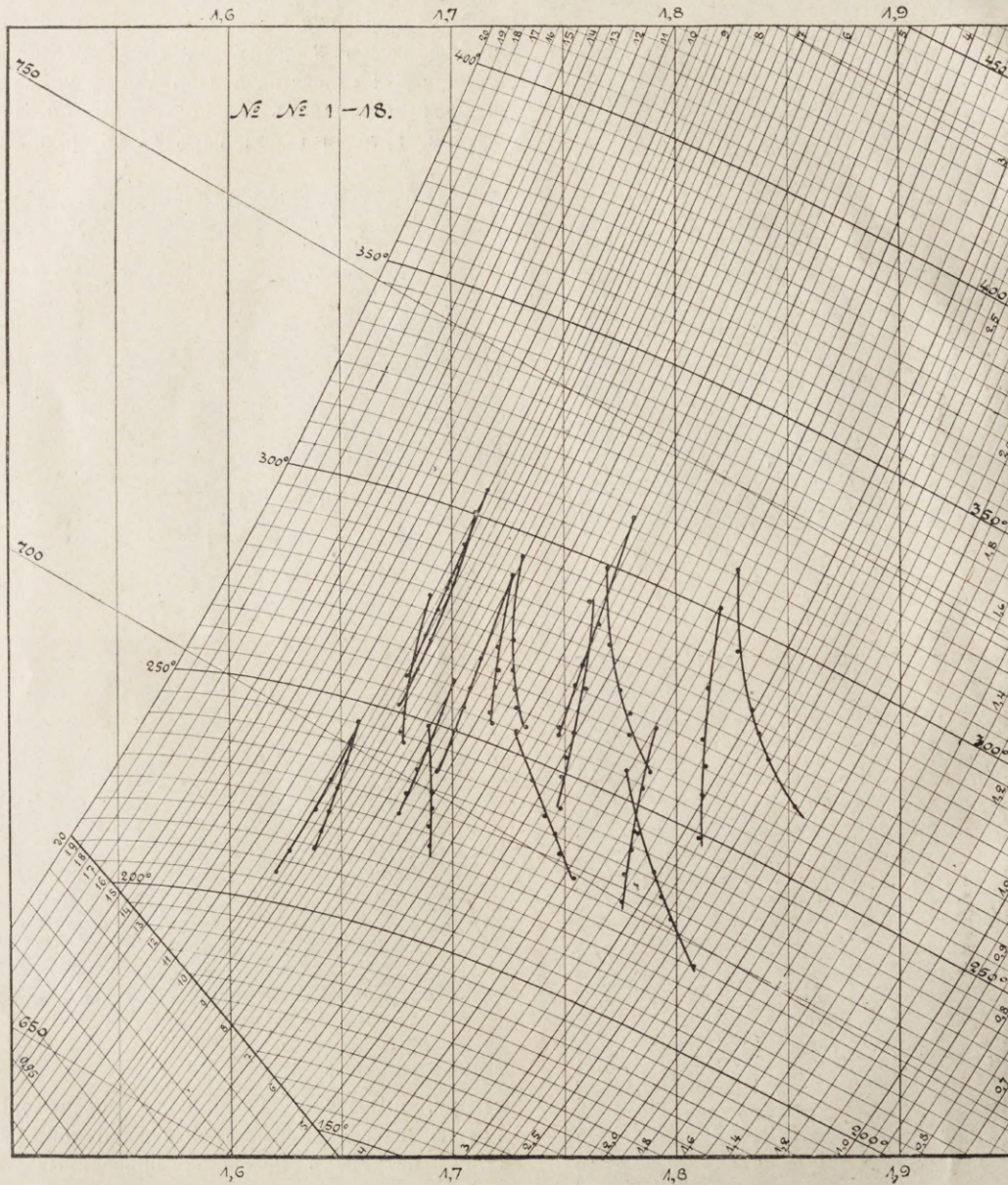


Фиг. 15.

сатору, имѣющему поверхность охлажденія $= 36$ м.² Группа насосовъ этой конденсаціонной установки состоитъ изъ трехъ насосовъ, приводимыхъ въ движеніе отъ одного электромотора. Регулированіемъ количества охлаждающей воды и работы водоструйного воздушнаго насоса, можно достигнуть любого разрѣженія въ конденсаторѣ въ предѣлахъ отъ 1 до $0,03$ кл./см.² При такой установкѣ и одновременномъ испытаніи шести діафрагмъ расходъ пара устанавливается въ зависимости отъ начального состоянія пара, давленія послѣ шестой діафрагмы, а также размѣра и формы всѣхъ діафрагмъ. Строго опредѣленное состояніе пара и мятіе пара можетъ быть создано лишь для одной діафрагмы, въ зависимости отъ

которых устанавливаются давления и температуры перед каждой из остальных диафрагм. При всех опытах отсчеты давлений пара перед диафрагмами (по контрольному манометру) и падений давлений (по ртутному дифференциальному манометру) выполнялись одним лицом. Централизация этих отсчетов достигнута установкой двух полей чугунных распределительных колонок

справа. При измерении малых давлений пара, с правой распределительной колонкой соединялся обыкновенный ртутный манометр (виден на фиг. 12 — справа), при помощи которого давление пара прочитывалось с надлежащей точностью. Распределительные колонки и вся система трубок тщательно заполнялись водою и правильность показания ртутного дифференциального манометра



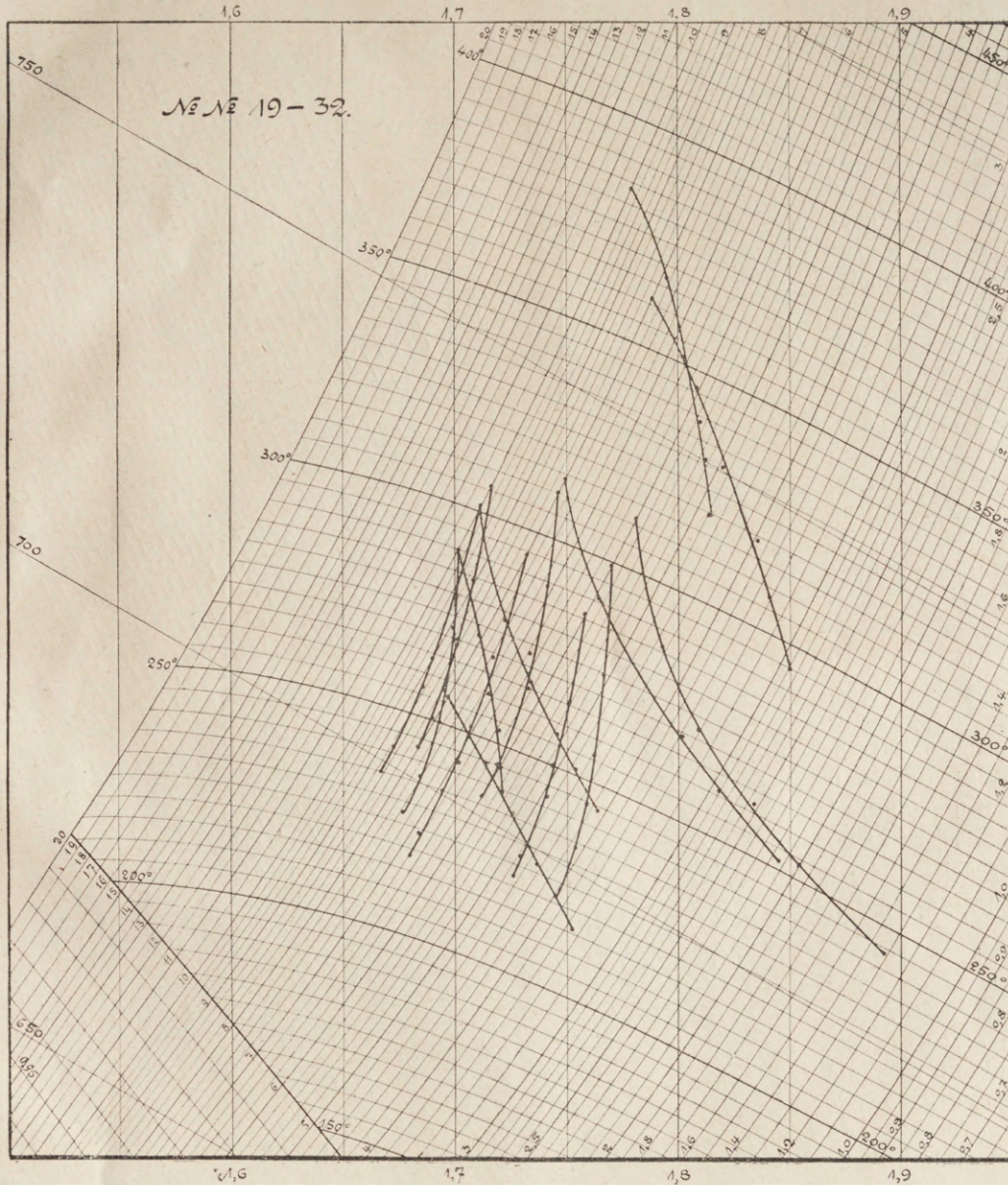
Фиг. 16

с боковыми кранами (фиг. 12—14). Краны правой колонки соединены с приемными цилиндрами (см. фиг. 5), установленными перед диафрагмами, а левой — с приемными цилиндрами после диафрагм. Обь колонки соединены мѣдными трубками с ртутным дифференциальным манометром, а правая, кромѣ того, с контрольным манометром, установленным самостоятельно на колонкѣ

неоднократно контролировалась. Этот контроль состоялъ въ томъ, что закрывалась паропускная двухдюймовая или выпускная задвижки и, при различныхъ давленияхъ пара, находившагося въ покоѣ въ патрубкахъ, между которыми зажаты диафрагмы, провѣрялось показаніе ртутнаго дифференциальнаго манометра. Равенство высотъ ртути въ обѣихъ стеклянныхъ трубкахъ манометра при

соединении его съ любой изъ діафрагмъ являлось, конечно, доказательствомъ постоянства въ нихъ верхняго уровня воды и отсутствія воздушныхъ или паровыхъ пузырьковъ. При такой установкѣ одинъ наблюдатель легко можетъ записать, каждыя 5 минутъ, давленія и паденія давленій въ 10—12 діафрагмахъ. Если при включеніи диф-

тѣхъ поръ, пока въ трубкахъ не сконденсируется паръ и вода не заполнитъ ихъ совершенно. После такой невольной продувки нельзя начинать отсчеты прежде, чѣмъ соединительныя трубки будутъ настолько охлаждены, что ихъ можно спокойно касаться рукой, такъ какъ иначе не можетъ быть увѣренности въ отсутствіи въ нихъ па-



Фиг. 17.

ференціального манометра открыты ошибочно краны лѣвой и правой колонки, соединяющіе различныя діафрагмы, то разница давленій можетъ быть случайно такъ велика, что ртуть выбрасывается изъ манометра въ его пріемную коробку и черезъ полученную петлю паръ продувается изъ патрубковъ съ большимъ въ патрубковъ съ меньшимъ давленіемъ. Въмѣсто воды въ соединительныхъ трубкахъ окажется паръ и измѣренія должны быть прерваны до

ровныхъ пузырьковъ и, слѣдовательно, возможности полученія правильныхъ отсчетовъ.

Температура пара передъ каждой изъ шести діафрагмъ измѣрялась ртутными термометрами.

На основаніи полученныхъ такимъ образомъ температуръ и давленій передъ каждой изъ шести діафрагмъ за все время каждаго опыта (отсчеты дѣлались каждыя 5 минутъ), выводились среднія значенія для каждаго

опыта и отмѣчались на I, s — диаграммѣ Мольте. По этимъ шести точкамъ вычерчивались кривыя „измѣненія состоянія пара“, для каждаго изъ опытовъ (фиг. 16), плавность протеканія которыхъ служитъ гарантїей отсутствія случайности и неправильности отсчетовъ, относящихся къ каждой отдѣльной діафрагмѣ. При идеальной изоляціи всѣхъ патрубковъ, между которыми зажаты діафрагмы, измѣненіе состоянія пара въ теченіе каждаго опыта должно было бы протекать по линіи $i = \text{const}$. Въ дѣйствительности изоляція совершенно отсутствовала и полученныя кривыя тѣмъ больше отклоняются отъ линіи $i = \text{const}$, чѣмъ выше температура пара и чѣмъ меньше количество пара протекало черезъ діафрагмы.

Количество пара определялось взвѣшиваніемъ конденсата.

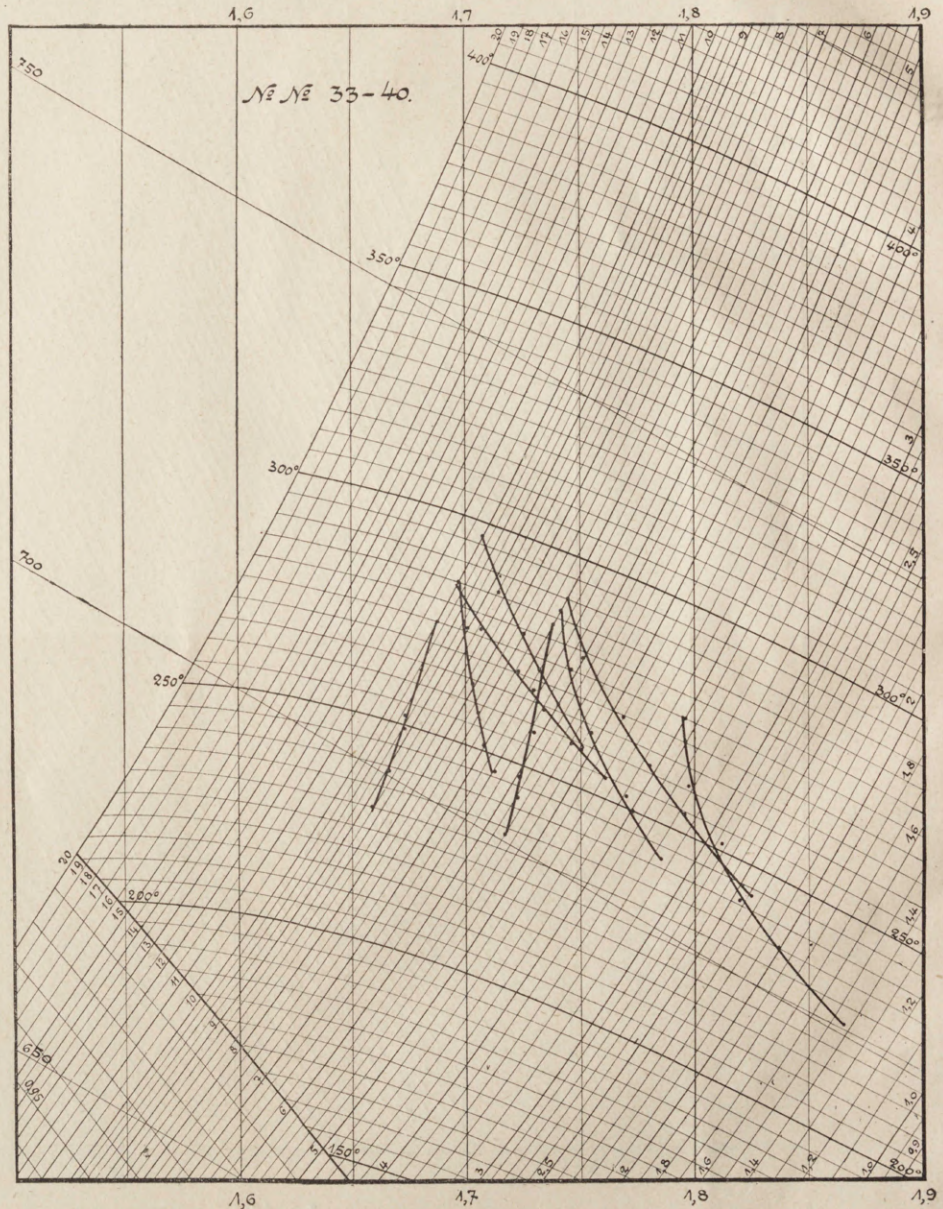
Описанная выше установка была выполнена лишь въ половинѣ мая 1913 года и всего проведено съ ней (до 15 іюня) 40 опытовъ и изслѣдовано 18 діафрагмъ. На основаніи полученныхъ давленій и температуръ пара передъ каждой изъ испытываемыхъ одновременно шести діафрагмъ было построено 40 контрольныхъ кривыхъ (фиг. 16, 17, 18). Въ числѣ испытанныхъ при помощи этой установки діафрагмъ находилось 6 „скругленныхъ“ и 6 „острыхъ“ (фиг. 10 и 11) діафрагмъ слѣдующихъ диаметровъ:

$d = 15, 20, 25, 30, 35, 40$ м/м.

Опыты велись съ различными давленіями и температурами пара передъ каждой діафрагмой, различными паденіями давленій и расходомъ пара. На основаніи полученныхъ значеній p_1 и t_1 подсчитывался удѣльный объемъ пара — v_1 по формулѣ (24). Въ зависимости отъ измѣренной для каждой діафрагмы высоты ртутнаго дифференціального манометра и давленія p_1 — определялась величина „переходнаго“ коэффициента x по диаграммѣ (фиг. 6 или 8). Имѣя еще опредѣленный взвѣшиваніемъ конденсата часовой расходъ пара, можно было подсчитать величину коэффициента расхода по уравненію (27).

Въ виду того, что диаметръ патрубковъ, подводившихъ паръ къ каждой изъ діафрагмъ равенъ 125 м/м. и те-

ченіе пара въ нихъ было достаточно равномернo по всему сѣченію благодаря вставленнымъ въ нихъ сѣткамъ, а наибольшая изъ испытанныхъ діафрагмъ имѣла диаметръ = 40 м/м., явилось возможнымъ при всѣхъ этихъ подсчетахъ пренебречь разницей между дѣйствительнымъ и кажущимся коэффициентами и считать полученные изъ опытовъ — дѣйствительными коэффициентами расхода.



Фиг. 18.

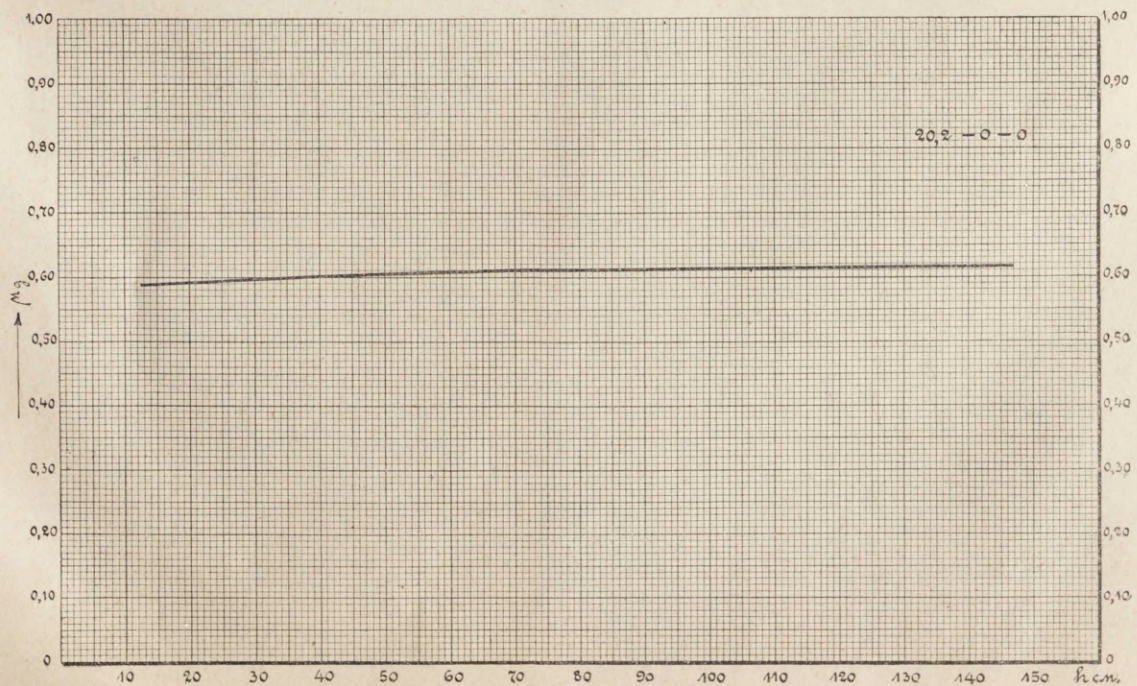
Для характеристики полученныхъ опытныхъ данныхъ и произведенныхъ подсчетовъ ниже приведено 6 таблиц¹⁾ и кривыхъ измѣненія коэффициентовъ расхода для различныхъ діафрагмъ (Таблицы и фиг. 19, 20, 21, 22, 23, 24).

¹⁾ Весь опытный матеріалъ будетъ опубликованъ по окончаніи всей намѣченной программы испытаній.

Кoeffициенты расхода круглой диафрагмы:

$$d = 20,2 \text{ м/м}; r = 0 \text{ м/м}; l = 0 \text{ м/м}; D = 125 \text{ м/м}.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ Опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м. <i>H_г</i> .	Давление пара въ кл/см ² .	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ м ³ /кл.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_0
19	7/VI—13	11 ⁴⁵ —12 ¹⁰	736,3	4,58	256,5	0,535	27,23	5,95	0,957	7,12	234,2	0,600	
20	"	12 ¹⁵ —12 ³⁰	"	5,07	250,0	0,477	17,56	3,46	0,976	6,05	201,1	0,598	
21	"	12 ⁵⁵ —1 ²⁰	"	7,06	251,8	0,341	16,22	2,30	0,984	6,89	231,1	0,594	
22	"	1 ²⁵ —1 ⁵⁰	"	6,60	272,8	0,382	26,10	3,95	0,972	8,25	275,3	0,597	
23	"	1 ⁵⁵ —2 ²⁰	"	9,00	263,9	0,273	17,00	1,89	0,987	7,89	261,1	0,584	
24	"	2 ²⁵ —2 ⁵⁰	"	8,62	269,8	0,289	24,93	2,89	0,980	9,26	314,4	0,603	
25	"	3 ³⁰ —3 ⁵⁵	"	8,22	257,5	0,296	34,50	4,20	0,971	10,80	356,6	0,593	
26	"	4 ⁰⁰ —4 ³⁵	"	7,11	260,1	0,345	59,38	8,35	0,939	13,12	427,0	0,604	
27	8/VI—13	4 ⁴⁵ —5 ¹⁵	740,0	5,22	235,6	0,449	64,22	12,30	0,908	11,97	390,0	0,610	
28	"	11 ³⁰ —12 ⁵	"	6,30	266,5	0,395	85,30	13,54	0,898	14,68	465,0	0,616	
31	"	2 ²⁵ —2 ⁵⁵	"	4,88	331,1	0,577	74,64	15,30	0,883	11,36	351,6	0,611	
32	11/VI—13	3 ⁰⁵ —3 ³⁵	747,9	6,61	351,4	0,439	74,52	11,27	0,916	13,00	414,7	0,607	
33	"	1 ³⁰ —2 ⁰⁰	"	10,03	275,4	0,250	28,35	2,83	0,981	10,64	352,6	0,589	
34	"	2 ⁰⁵ —2 ³⁵	"	7,00	283,7	0,367	34,18	4,88	0,965	9,64	318,0	0,595	
35	"	2 ⁴⁰ —3 ¹⁰	"	4,00	274,9	0,637	45,74	11,44	0,915	8,47	271,8	0,610	
36	"	3 ²⁰ —3 ⁵⁰	"	7,00	286,8	0,370	72,47	10,35	0,923	13,98	455,4	0,615	
37	"	4 ⁰⁰ —4 ³⁰	"	10,00	284,9	0,256	75,77	7,58	0,945	17,19	570,4	0,613	
38	19/VI—13	2 ⁰⁰ —2 ³⁰	745,7	7,00	290,1	0,372	80,95	11,56	0,913	17,74	479,8	0,617	
39	"	2 ³⁵ —3 ⁰⁵	"	10,00	297,2	0,262	98,41	9,84	0,928	19,36	626,6	0,608	
40	"	3 ¹⁰ —3 ⁴⁰	"	10,00	285,4	0,256	111,11	11,11	0,918	20,81	668,9	0,613	

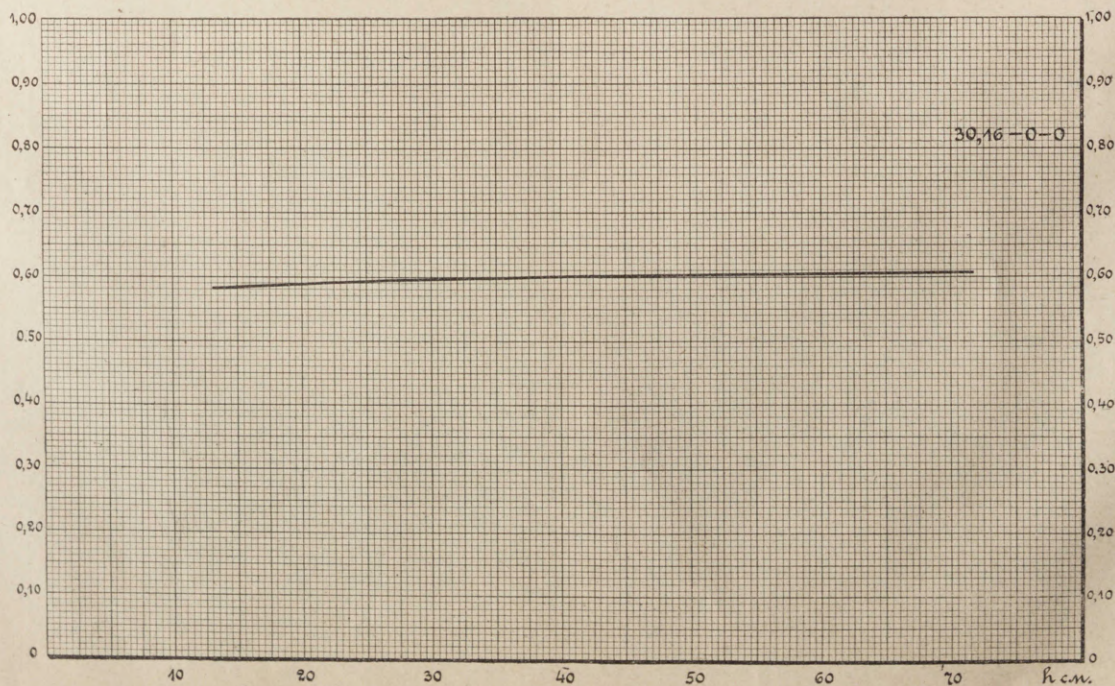


Фиг. 19.

Кoeffициенты расхода круглой диафрагмы:

$d=30,16$ м/м; $r=0$ м/м; $l=0$ м/м; $D=125$ м/м.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м/м H/мм.	Давление пара въ в.л./см.².	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ л³/к.л.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.		„Переходный“ коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ к.л.	„Кажущийся“ коэффициентъ расхода.	„Убывающий“ коэффициентъ расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_0
1	1/VI 13	150—215	742,8	3,97	268,6	0,634	25,0	6,3	0,955	6,28	445,2	0,588	
2	„	225—300	„	3,98	301,8	0,673	35,0	8,8	0,935	7,21	506,4	0,598	
3	„	310—310	„	3,00	312,4	0,682	49,9	12,5	0,906	8,55	594,4	0,600	
4	„	420—450	„	6,01	299,4	0,442	66,5	11,6	0,913	12,25	877,4	0,613	
5	4/VI 13	1200—1230	739,4	„	290,5	0,435	45,0	7,5	0,946	10,19	729,0	0,592	
6	„	115—155	„	„	313,0	0,453	25,1	4,1	0,971	7,44	545,3	0,590	
7	„	205—235	„	8,01	289,5	0,324	25,0	3,1	0,979	8,78	646,8	0,589	
8	„	245—325	„	„	290,0	0,324	45,0	5,6	0,960	11,77	858,7	0,591	
9	„	335—435	„	„	294,5	0,327	65,0	8,1	0,941	14,09	1018,1	0,601	
10	„	430—510	„	10,01	278,2	0,252	50,1	5,0	0,965	20,08	1051,6	0,605	
11	5/VI 13	135—200	735,3	„	300,2	0,264	29,8	2,90	0,979	10,64	776,9	0,582	
12	„	205—235	„	„	306,5	0,267	19,9	2,0	0,986	8,64	644,8	0,591	
13	„	255—320	„	„	245,3	0,235	14,9	1,495	0,990	7,96	582,7	0,578	
14	„	325—350	„	10,02	„	0,235	31,0	3,1	0,978	11,50	847,2	0,588	
15	„	415—410	„	8,01	262,1	0,307	20,3	2,5	0,983	8,15	586,8	0,578	
16	„	445—510	„	8,00	249,3	0,293	49,9	6,2	0,955	12,92	950,6	0,603	
17	„	515—510	„	6,02	255,1	0,405	67,4	11,2	0,917	12,90	912,6	0,603	
18	„	550—615	„	4,01	257,0	0,614	48,8	12,2	0,909	8,91	628,6	0,607	

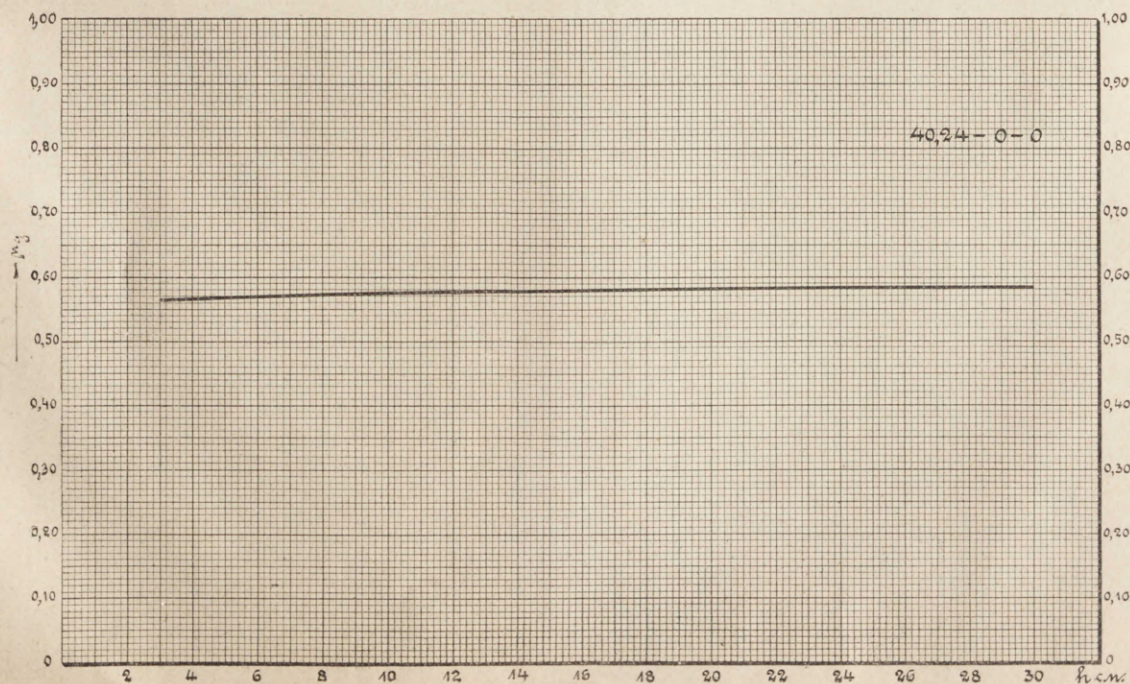


Фиг. 20.

Кoeffициенты расхода кругло й диафрагмы.

$d=40,24$ м/м; $r=0$ м/м; $l=0$ м/м; $D=125$ м/м.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давлениe атмосферы въ м/м H_0 .	Давлениe пара въ м/м H_1 .	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ м³/кг.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.		"Переходный" коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ кг.	"Кажущаяся" коэффициентъ расхода.	"Действительный" коэффициентъ расхода.
				P_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{P_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_d
1	1/VI—13	150—215	3,45	3,46	244,2	0,694	8,47	2,45	0,983	3,495	445,2	0,571	
2	"	225—300	"	3,29	271,1	0,770	12,60	3,84	0,973	4,04	506,4	0,566	
3	"	310—340	"	3,01	282,8	0,683	19,60	6,52	0,953	4,76	594,4	0,575	
4	"	420—450	"	4,71	273,6	0,538	26,75	5,78	0,960	7,05	877,4	0,571	
5	4/VI—13	1200—1230	739,4	5,17	260,0	0,477	16,00	3,10	0,978	5,79	7,29	0,565	
6	"	115—155	"	5,54	276,1	0,449	8,50	1,54	0,990	4,35	545,3	0,567	
7	"	205—235	"	7,51	260,8	0,326	8,43	1,12	0,992	5,08	646,8	0,563	
8	"	245—325	"	7,12	267,6	0,350	15,33	2,15	0,986	6,61	858,7	0,579	
9	"	335—435	"	6,80	268,3	0,367	24,70	3,63	0,975	8,20	1018,1	0,560	
10	"	430—510	"	9,01	253,6	0,267	17,03	1,87	0,986	7,97	1051,6	0,588	
11	5/VI—13	135—200	735,3	9,46	275,0	0,265	9,85	1,04	0,994	6,08	776,9	0,565	
12	"	205—235	"	9,65	281,8	0,264	6,51	0,67	0,997	4,97	644,8	0,571	
13	"	255—320	"	9,68	223,2	0,231	4,80	0,50	"	4,55	582,7	0,565	
14	"	325—350	"	9,39	229,0	0,242	10,32	1,10	0,993	6,51	847,2	0,575	
15	"	415—440	"	7,69	244,0	0,308	6,77	0,75	0,995	4,69	586,8	0,565	
16	"	445—510	"	7,06	234,4	0,329	17,67	2,50	0,983	7,32	950,6	0,580	
17	"	515—540	"	4,73	238,4	0,500	26,65	5,64	0,960	7,30	912,6	0,573	
18	"	550—615	"	3,03	236,9	0,773	19,97	6,59	0,953	5,08	628,6	0,571	

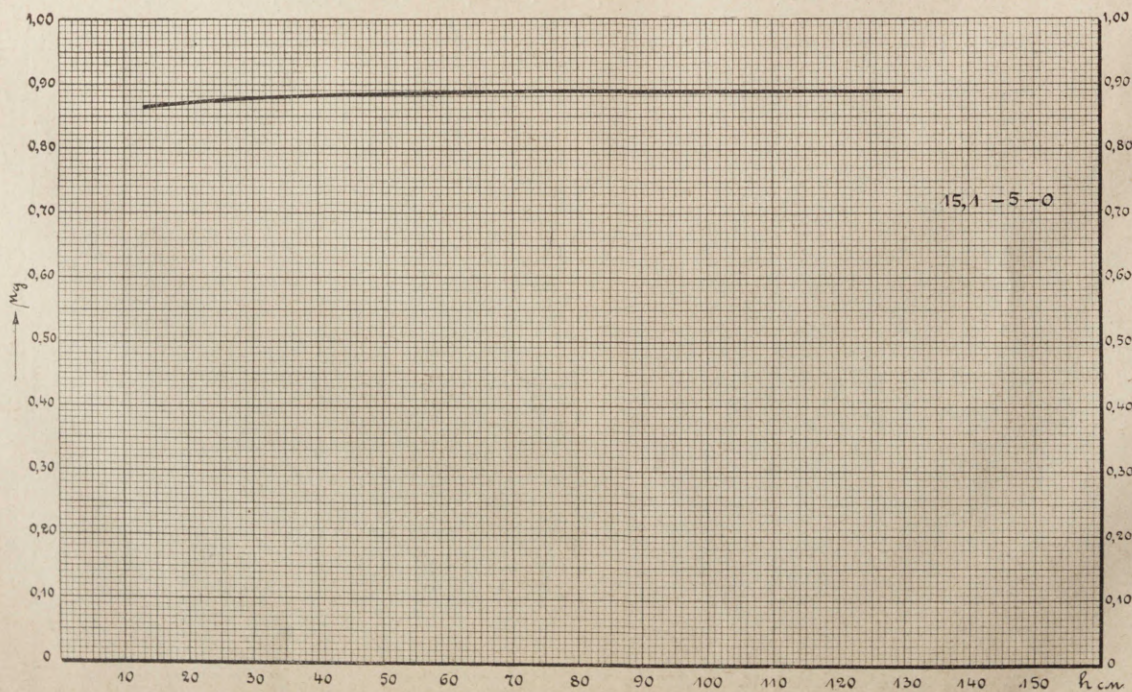


Фиг. 21.

Коэффициенты расхода круглой диафрагмы:

$d=15,1 \text{ м/м}; r=5 \text{ м/м}; l=0 \text{ м/м}; D=125 \text{ м/м}.$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, месяц, год.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы в м/м <i>H_{атм}</i> .	Давление пара в кт./см. ² .	Температура пара в °C.	Уд. объем пара в м ³ /к.д.	Разница давлений в см. по ртути. дифф. ман.		Переходный коэффициент.		Часовой расход пара в к.д.	„Кажущийся“ коэффициент расхода.	„Действительный“ коэффициент расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_0
19	7/VI—13	11 ⁴⁵ —12 ¹⁰	736,3	5,10	274,8	0,498	39,17	7,67	0,944	8,85	234,2	0,874	
20	„	12 ¹⁵ —12 ⁵⁰	„	5,40	265,1	0,461	25,55	4,73	0,967	7,44	201,1	0,871	
21	„	12 ⁵⁵ —1 ²⁰	„	7,40	269,0	0,337	23,92	3,23	0,979	8,40	231,1	0,876	
22	„	1 ²⁵ —1 ⁵⁰	„	7,08	289,3	0,367	37,93	5,35	0,962	10,17	275,3	0,877	
23	„	1 ⁵⁵ —2 ²⁰	„	9,39	279,6	0,270	25,10	2,67	0,982	9,62	261,1	0,861	
24	„	2 ²⁵ —2 ⁵⁰	„	9,04	284,3	0,284	36,47	4,06	0,971	11,35	314,4	0,890	
25	„	3 ³⁰ —3 ⁵⁵	„	8,31	271,8	0,301	49,60	5,97	0,957	12,83	356,6	0,895	
26	„	4 ⁰⁰ —4 ³⁵	„	8,12	273,0	0,310	82,25	10,15	0,925	16,27	427,0	0,884	
27	„	4 ⁴⁵ —5 ¹⁵	„	6,26	244,8	0,380	85,23	13,60	0,897	14,97	390,0	0,905	
28	8/VI—13	11 ³⁰ —12 ⁵	740,0	7,69	278,3	0,330	11,040	14,36	0,891	18,24	465,0	0,893	
29	„	12 ¹⁰ —12 ⁴⁰	„	5,95	291,5	0,439	102,40	17,22	0,867	15,25	382,1	0,903	
30	„	1 ³⁰ —2 ⁰⁰	„	4,45	286,6	0,584	82,50	18,53	0,857	11,88	294,2	0,902	
31	„	2 ²⁵ —2 ⁵⁵	„	6,07	345,0	0,474	94,50	15,57	0,881	14,10	351,6	0,884	
32	„	3 ⁰⁵ —3 ³⁵	„	7,86	367,0	0,379	99,20	12,62	0,905	16,16	414,7	0,884	

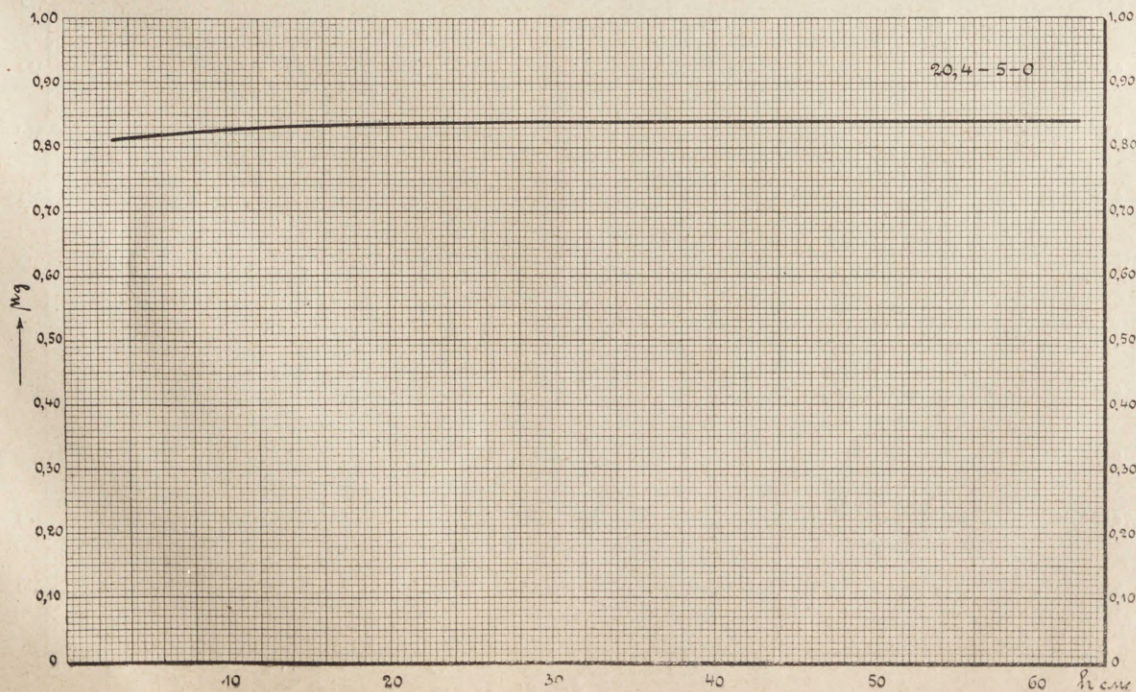


Фиг. 22.

Коэффициенты расхода круглой диафрагмы:

$$d = 20,4 \text{ м/м}; r = 5 \text{ м/м}; l = 0 \text{ м/м}; D = 125 \text{ м/м}.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м/м $H_{\text{атм}}$.	Давление пара въ кл/см ² .	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ м ³ /кл.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.		„Переходный“ коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ кл.	„Калкуля“ коэффициентъ расхода.	„Действительный“ коэффициентъ расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_0
19	7/VI—13	11 ⁴⁵ —12 ¹⁰	736,3	4,24	244,8	0,565	13,82	3,26	0,978	4,94	234,2	0,827	
20	„	11 ¹⁵ —12 ⁵⁰	„	4,87	242,7	0,490	8,74	1,80	0,988	4,215	201,1	0,822	
21	„	12 ⁵⁵ —1 ²⁰	„	6,88	242,5	0,344	7,88	1,145	0,993	4,79	231,1	0,828	
22	„	1 ²⁵ —1 ⁵⁰	„	6,28	265,1	0,395	12,93	2,06	0,986	5,71	275,3	0,833	
23	„	1 ⁵⁵ —2 ²⁰	„	8,80	257,0	0,275	8,18	0,93	0,994	5,45	261,1	0,822	
25	„	3 ³⁰ —3 ⁵⁵	„	7,79	250,0	0,308	17,23	2,21	0,985	7,48	356,6	0,830	
26	„	4 ⁰⁰ —4 ³⁵	„	6,38	253,0	0,380	31,20	4,90	0,965	9,05	427,0	0,833	
28	8/VI—13	11 ³⁰ —12 ⁵⁵	740,0	5,32	257,6	0,461	49,13	9,23	0,932	10,32	465,0	0,826	
29	„	12 ¹⁰ —12 ⁴⁰	„	3,57	269,1	0,706	56,30	15,78	0,881	8,91	382,1	0,833	
31	„	2 ²⁵ —2 ⁵⁵	„	3,95	318,8	0,699	44,46	11,23	0,917	7,96	351,6	0,823	
32	„	3 ⁰⁵ —3 ³⁵	„	5,73	338,3	0,497	41,12	7,17	0,949	9,09	414,7	0,822	
33	11/VI—13	1 ³⁰ —2 ⁰⁰	747,9	9,33	251,9	0,256	14,03	1,50	0,990	7,39	352,6	0,824	
35	„	2 ⁴⁰ —3 ¹⁰	„	2,83	251,7	0,863	32,54	11,49	0,914	6,14	271,8	0,828	
36	„	3 ²⁰ —3 ⁵⁰	„	5,15	263,4	0,482	48,40	9,39	0,931	10,01	455,4	0,835	
37	„	4 ⁰⁰ —4 ³⁰	„	8,06	263,8	0,306	44,13	5,47	0,961	12,01	570,4	0,845	
38	12/VI—13	1 ⁵⁵ —2 ²⁵	745,7	4,81	269,5	0,523	57,93	12,05	0,911	10,52	479,8	0,844	
39	„	2 ³⁵ —3 ⁰⁵	„	7,51	278,6	0,329	62,70	8,35	0,939	13,59	626,6	0,839	

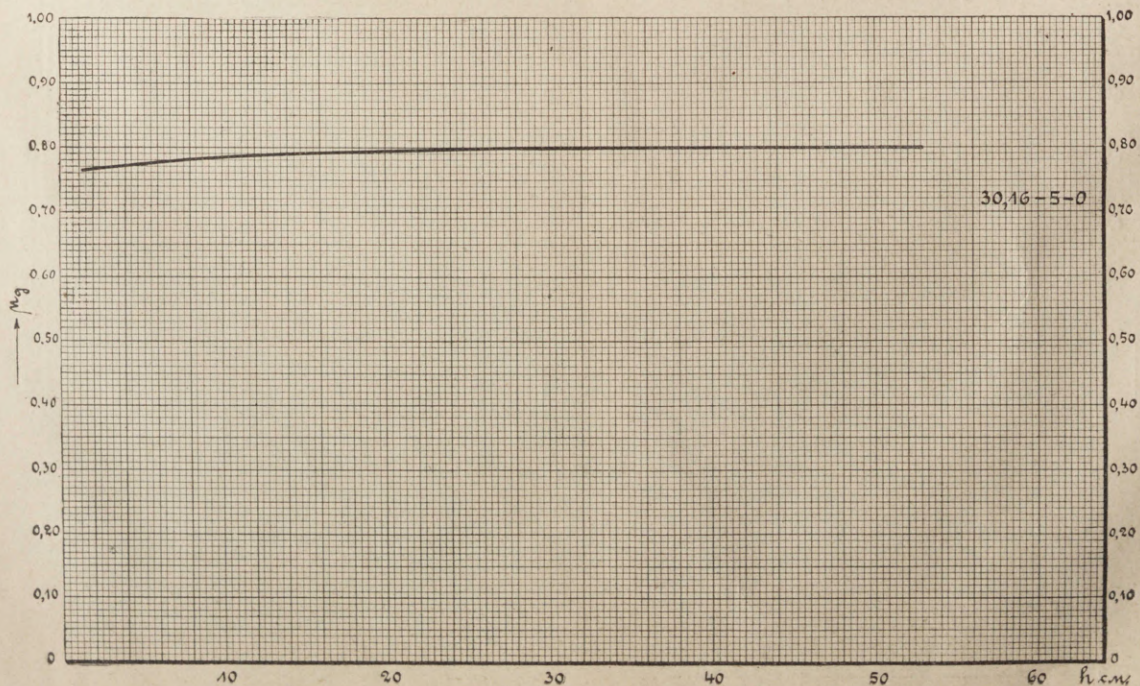


Фиг. 23.

Коэффициенты расхода круглой диафрагмы.

$d=30,16$ м/м; $r=5$ м/м; $l=0$ м/м; $D=125$ м/м.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ Опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м/м. <i>H₀</i> .	Давление пара въ кг/см ² .	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ м ³ /кг.	Разница давленийъ въ см. по рт. дифф. ман.		„Переходный“ коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ кг.	„Кажущийся“ коэффициентъ расхода.	„Действительный“ коэффициентъ расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_d
1	1/VI-13	150—215	712,8	3,65	253,7	0,671	14,10	3,87	0,973	4,58	445,2	0,7805	
2	„	225—300	„	3,58	282,8	0,724	20,84	5,73	0,958	5,37	506,4	0,779	
3	„	310—340	„	3,41	293,5	0,775	31,60	9,24	0,923	6,38	594,4	0,780	
4	„	420—450	„	5,21	282,5	0,494	41,90	8,04	0,938	9,19	877,4	0,795	
5	4/VI-13	1200—1230	739,4	5,41	270,9	0,465	25,63	4,74	0,966	7,41	729,0	0,795	
6	„	115—153	„	5,72	286,4	0,454	14,08	2,46	0,982	5,58	545,3	0,778	
7	„	205—233	„	7,71	268,0	0,323	14,02	1,82	0,988	6,58	646,8	0,777	
8	„	245—325	„	7,41	272,4	0,339	25,00	3,48	0,976	8,58	858,7	0,802	
9	„	335—435	„	7,21	275,1	0,351	37,25	5,17	0,962	10,30	1018,1	0,803	
10	„	430—510	„	9,36	257,4	0,259	26,97	2,88	0,980	10,20	1051,6	0,819	
11	5/VI-13	135—200	735,3	9,64	287,0	0,267	16,12	1,61	0,990	7,76	776,9	0,792	
12	„	205—235	„	9,78	292,5	0,266	10,89	1,11	0,993	6,39	644,8	0,795	
13	„	255—320	„	9,79	231,2	0,233	7,98	0,82	0,995	5,84	582,7	0,785	
14	„	325—350	„	9,06	235,8	0,240	16,60	1,73	0,982	8,30	847,2	0,813	
15	„	415—440	„	7,8	251,5	0,308	11,15	1,48	0,983	6,01	586,2	0,778	
16	„	445—510	„	7,42	241,0	0,315	28,16	3,80	0,974	9,40	950,6	0,818	
17	„	515—540	„	5,23	245,4	0,458	41,18	7,85	0,943	9,48	912,6	0,798	
18	„	550—61	„	3,40	243,3	0,705	31,10	9,14	0,933	6,63	628,6	0,795	



Фиг. 24.

Для больших расходов пара—до 5000 кл. в час выполнена установка для одновременного испытания шести диафрагм на комбинированном котле в котельной. По схемѣ—эта установка совершенно аналогична с описанной выше, но расход пара можетъ быть определенъ лишь учетомъ питательной воды. Для получения достаточно точнаго расхода пара за двухчасовой опытъ приходилось считаться съ расходомъ пара не меньшимъ 1500 кл. в часъ. Съ этой установкой проведено пока 32 опыта и изслѣдовано 22 диафрагмы, 12 изъ которыхъ

непосредственнымъ руководствомъ К. В. Кирша (27 опытовъ) или А. И. Ставровскаго (5 опытовъ), богатый опытъ которыхъ по испытанію паровыхъ котловъ давалъ полную увѣренность въ правильности определяемаго расхода пара.

Используя полученные опытные данные относительно давленій и температуръ пара передъ каждой изъ диафрагмъ, можно было построить „кривую измѣненія состоянія пара“ (фиг. 25), протеканіе которой рѣзко отличается отъ кривыхъ, указанныхъ на фиг. 16, 17, 18. Эта кривая (фиг. 25) даетъ значительно большее приближеніе къ прямой $i = \text{const}$ и указываетъ на небольшія потери отъ охлаждения патрубковъ, между которыми зажаты диафрагмы. Какъ патрубки, такъ и весь паропроводъ покрыты стеклянной изоляціей, толщиной 50 м/м.

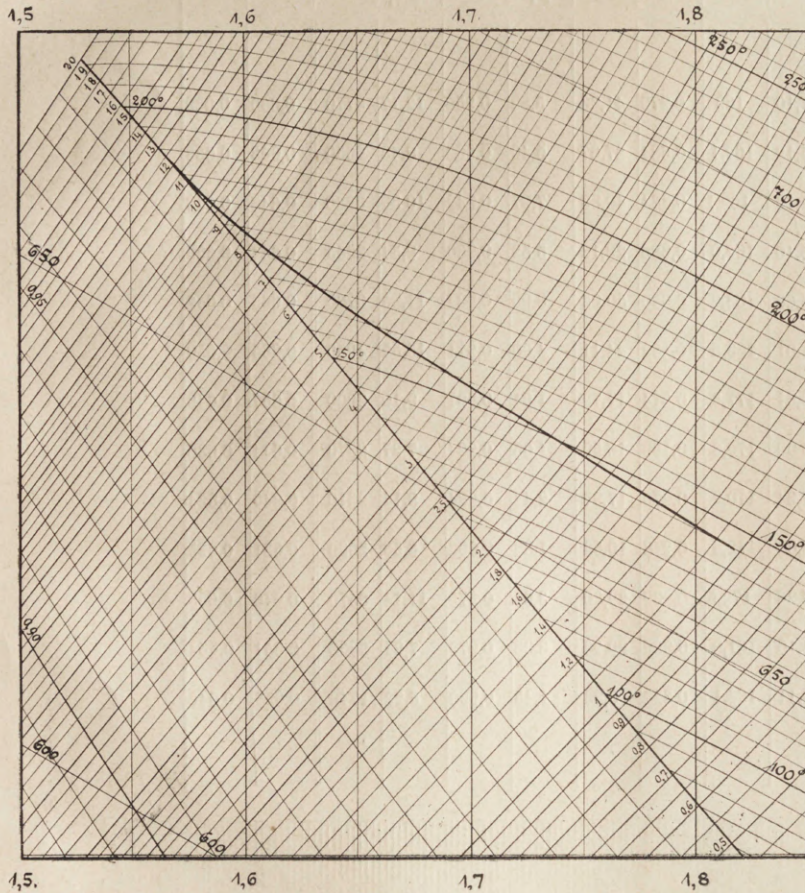
Полученныя опытные данные были использованы для подсчета дѣйствительныхъ коэффициентовъ расхода по формуламъ (18) и (27) для $d < 50$ м/м., а для диафрагмъ больше 50 м/м. введена поправка по уравн. (44). Для характеристики полученныхъ результатовъ и сравненія значений коэффициентовъ μ и μ_0 ниже приведено 2 таблицы и диаграммы коэффициентовъ μ_0 (фиг. 26, 27).

Опыты съ этой установкой были начаты въ декабрѣ 1912 года, которая была выполнена въ началѣ безъ приемныхъ цилиндровъ (см. фиг. 5) и безъ длинной горизонтальной части у соединительныхъ трубокъ около паропровода. Опытъ показалъ, что при централизациі отсчетовъ это несовершенство установки имѣетъ весьма существенное вліяніе на точность получаемыхъ отсчетовъ по ртутному дифференціальному манометру, въ особенности при малыхъ паденіяхъ давленій. Въ виду этого первая серія опытовъ съ диафрагмами 75 и 90 м/м. не дала достаточнаго количества надежныхъ данныхъ для подсчетовъ коэффициентовъ μ_0 и должна быть повторена.

На основаніи имѣющагося въ настоящее время въ лабораторіи опытнаго матеріала можно считать выясненными около 460 значений коэффициентовъ расхода, изъ которыхъ около 300 относятся къ тонкимъ диафрагмамъ, толщиной = 5 м/м. Эти данные получены при начальныхъ давленіяхъ пара $p_1 =$ отъ 2 до 12 кл/см. 2, t_1 —до 350° С. и паденій давленій $h =$ отъ 3 до 300 см. ртутнаго столба.

Используя имѣющіяся пока данные относительно тонкихъ диафрагмъ, *диафрагмъ*, можно съ достаточной для практики точностью, считать, что дѣйствительный коэффициентъ расхода μ_0 :

1. Не зависитъ отъ начальнаго давленія пара,
2. При малыхъ паденіяхъ давленій (h) увеличивается вмѣстѣ съ h , стремясь для каждой диафрагмы при боль-



Фиг. 25.

были типа „скругленных“ и „острых“ тонкихъ диафрагмъ слѣдующихъ діаметровъ:

$$d = 30, 40, 50, 60, 75, 90 \text{ м/м.}$$

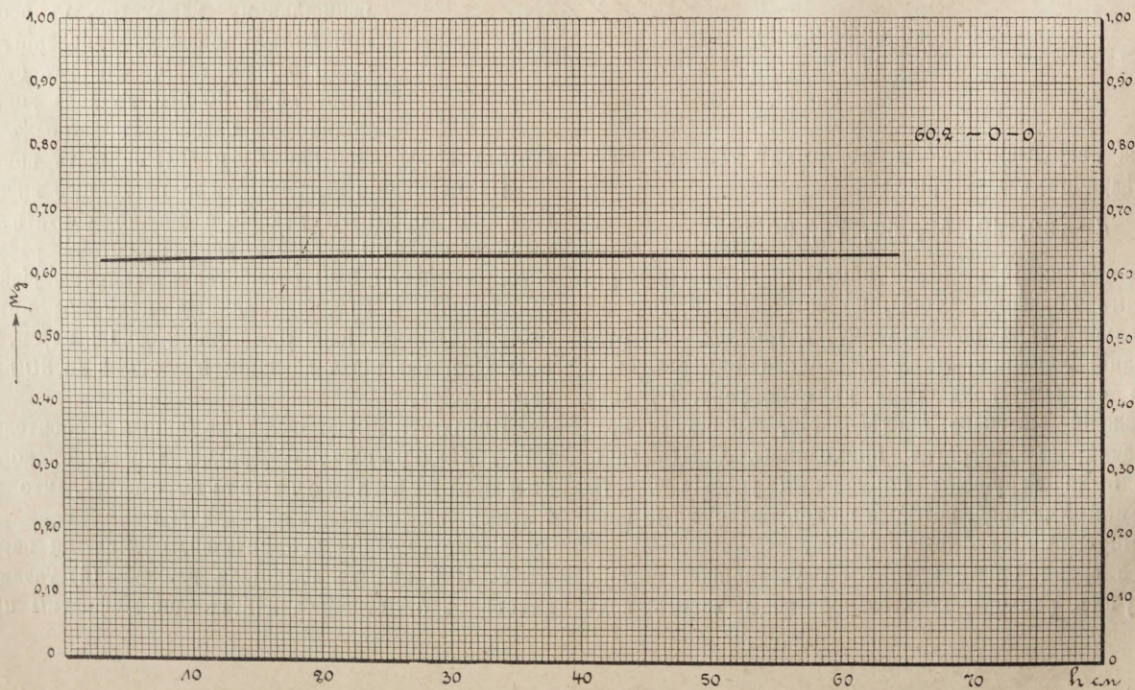
Изъ соображеній экономіи опыты съ диафрагмами велись такимъ образомъ, чтобы, по возможности, ограничивать расходъ пара количествомъ, потребнымъ на отопленіе зданій Училища. Лишь нѣсколько опытовъ было проведено съ выпускомъ пара въ атмосферу. Въ виду такихъ условій опытнаго изслѣдованія, выборъ расхода пара и размѣровъ диафрагмъ приходилось дѣлать такъ, чтобы не были нарушены нормальныя условія работы въ котельной Училища, которыя не допускали мятія пара до давленій его ниже 4,5 атмосферъ.

За все время опытовъ съ этой установкой питаніе котла и учетъ расхода питательной воды велись подѣ

Кoeffициентъ расхода круглой диафрагмы:

$$d = 60,20 \text{ м/м}; r = 0 \text{ м/м}; l = 0 \text{ м/м}; D = 125 \text{ м/м}.$$

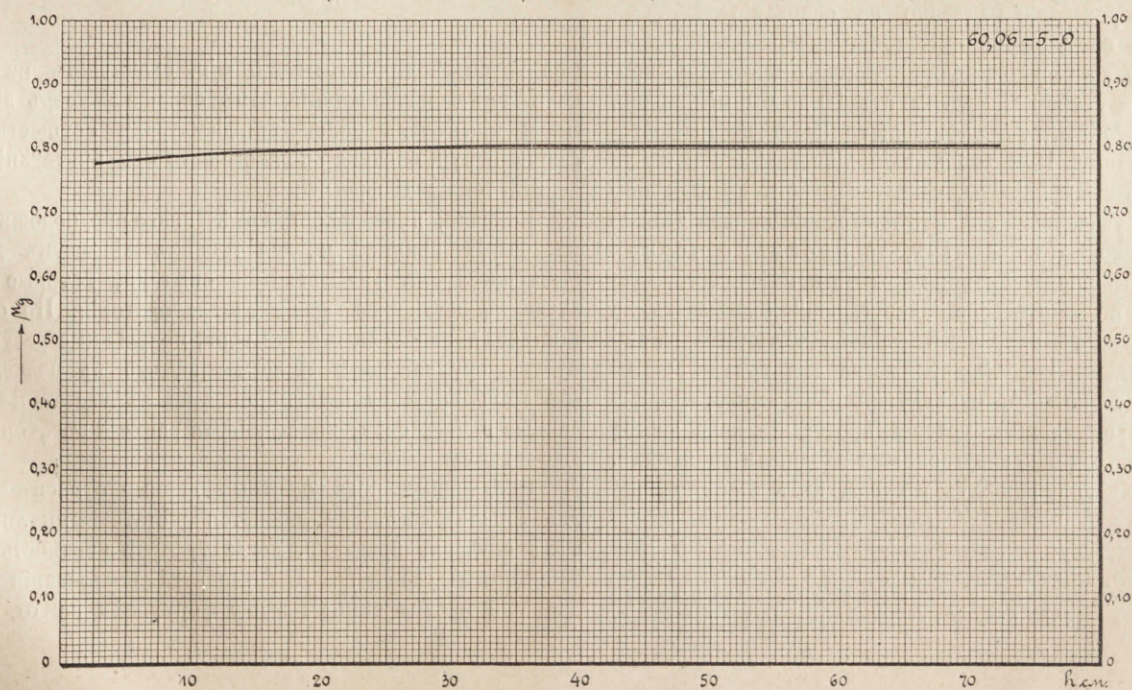
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, мбелль, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м/м $H_{\text{атм}}$.	Давление пара въ кл/см ² .	Температура пара въ °С.	Уд. объемъ пара въ м ³ /кл.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.		"Переходный" коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ кл.	"Кажущійся" коэффициентъ расхода.	"Действительный" коэффициентъ расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	α	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_0
	26/V—13	208—332	750,4	7,10	169	0,279	41,36	5,82	0,958	12,17	3770	0,635	0,629
	"	341—541	"	5,12	162,1	0,384	27,67	5,40	0,962	8,48	2650	0,638	0,632
	27/V—13	938—1140	750,1	5,12	162,1	0,384	40,83	7,97	0,942	10,30	3220	0,648	0,642
	"	1155—205	"	5,10	162,0	0,386	28,18	5,52	0,960	8,54	2655	0,634	0,629
	3/V—13	1057—110	752,2	5,60	163,2	0,350	50,05	8,93	0,934	11,95	3790	0,665	0,658
	"	1240—210	"	11,01	183,6	0,182	44,11	4,00	0,971	15,55	4950	0,665	0,650
	18/III—13	226—356	748,2	9,31	177,5	0,214	17,79	1,91	0,987	9,10	3000	0,657	0,649
	"	410—535	"	10,00	179,6	0,199	10,59	1,06	0,994	7,27	2370	0,644	0,638
	19/II—13	1048—1237	753,2	7,34	170,2	0,270	17,92	2,44	0,984	8,14	2610	0,640	0,634
	"	1239—245	"	8,06	172,5	0,246	10,62	1,32	0,992	6,56	2090	0,631	0,625
	"	345—448	"	8,26	172,5	0,239	29,80	3,61	0,975	11,14	3570	0,646	0,639
	17/III—13	1100—100	751,0	5,10	161,8	0,385	20,28	3,98	0,972	7,24	2330	0,651	0,644
	"	115—255	"	6,11	166,1	0,322	8,83	1,45	0,990	5,22	1748	0,653	0,646



Коэффициенты расхода круглой диафрагмы:

$$d = 60,06 \text{ м/м}; r = 5 \text{ м/м}; l = 0 \text{ м/м}; D = 125 \text{ м/м}.$$

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
№ опыта.	Число, месяц, годъ.	Продолжительность опыта.	Барометрическое давление атмосферы въ м/м $H_{\text{атм}}$.	Давление пара въ кг./см.².	Температура пара въ $^{\circ}\text{C}$.	Уд. объемъ пара въ м³/кг.	Разница давлений въ см. по рт. дифф. ман.		Переходный коэффициентъ.		Часовой расходъ пара въ кг.	„Кажущийся“ коэффициентъ расхода.	„Действительный“ коэффициентъ расхода.
				p_1	t_1	v_1	h	$\frac{h}{p_1}$	x	$\sqrt{\frac{h}{v_1}}$	Q	μ	μ_d
	26/IV—13	11 ³⁰ —11 ¹⁵	750,4	6,71	167,8	0,294	16,48	2,45	0,983	7,47	3010	0,814	0,799
	„	2 ⁰⁸ —3 ³²	„	5,42	163,0	0,363	30,77	5,67	0,961	9,19	3770	0,848	0,827
	„	3 ⁴¹ —5 ⁴¹	„	4,73	160,5	0,414	18,73	3,97	0,972	6,71	2650	0,808	0,795
	27/VI—13	9 ³⁸ —11 ¹⁰	750,1	4,49	159,0	0,436	29,63	6,60	0,953	8,22	8220	0,816	0,801
	„	11 ⁵⁵ —2 ⁰³	„	4,70	160,0	0,417	18,82	4,00	0,972	6,70	2655	0,809	0,795
	3/V—13	10 ⁵⁷ —11 ¹⁰	752,2	4,80	161,1	0,410	38,07	7,93	0,943	9,62	3790	0,830	0,816
	„	10 ⁴⁰ —12 ¹⁰	753,2	6,05	165,8	0,326	50,38	8,34	0,939	12,32	4800	0,822	0,808
	18/III—13	12 ¹⁰ —2 ¹⁰	„	10,30	182,3	0,195	29,23	2,83	0,980	12,25	4950	0,820	0,806
	18/III—13	4 ¹⁰ —5 ⁵⁵	753,2	9,80	172,6	0,204	7,43	0,75	0,995	6,00	2370	0,790	0,778
	19/III—13	10 ¹⁸ —12 ³⁷	„	7,08	167,8	0,278	12,04	1,70	0,988	6,56	2610	0,798	0,787
	16/III—13	11 ²¹ —11 ¹⁶	„	10,35	181,8	0,193	3,94	0,38	0,996	4,51	1800	0,794	0,778
	17/III—13	11 ⁰⁰ —1 ⁰⁰	751,0	4,97	161,5	0,393	13,45	2,50	0,982	5,84	2330	0,807	0,794
	„	1 ¹⁵ —2 ⁵⁵	„	6,01	165,2	0,329	6,01	1,00	0,993	4,27	1748	0,815	0,798



Фиг. 27.

ших паденіяхъ давленій къ нѣкоторому постоянному значенію (фиг. 19—24, 26, 27).

3. Зависитъ отъ начальной температуры пара и для сухого насыщеннаго пара онъ больше, чѣмъ для перегрѣтаго пара¹⁾.

4. Зависитъ отъ типа діафрагмы и отъ ея діаметра.

5. Въ „острыхъ“ тонкихъ діафрагмахъ μ_d уменьшается довольно быстро съ увеличеніемъ діаметра до 30 м/м., а затѣмъ остается почти постояннымъ и равнымъ: для перегрѣтаго пара ($t_1 = 260—300^\circ\text{C}$.) $\mu_d = 0,58$, а для сухого насыщеннаго пара ($t_1 = 160—180^\circ$) $\mu_d = 0,63$.

6. Въ „скругленныхъ“ тонкихъ діафрагмахъ μ_d плавно уменьшается съ увеличеніемъ діаметра діафрагмы (фиг. 28).

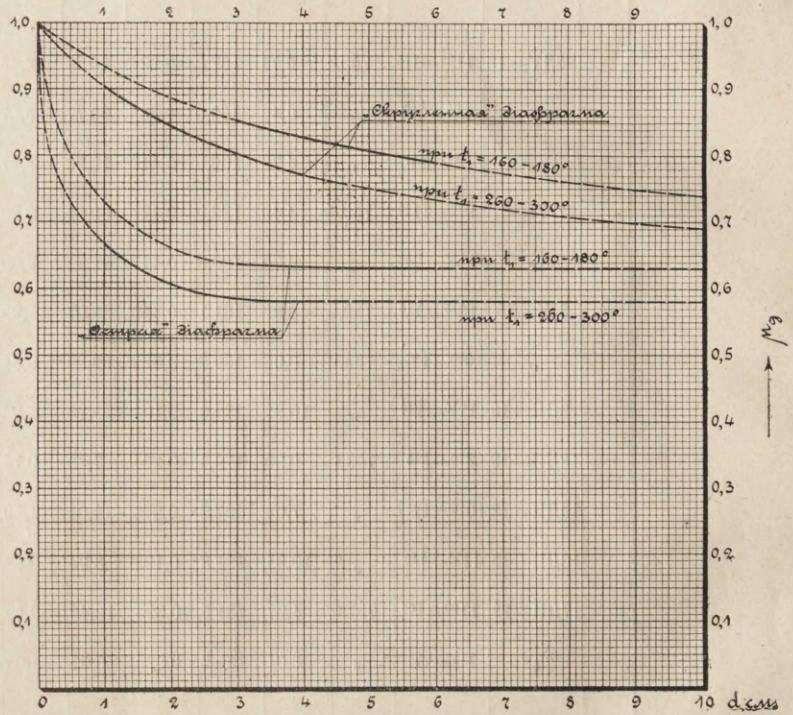
Въ виду указаннаго выше (фиг. 19—24, 26, 27) лишь незначительнаго измѣненія коэффициента μ_d отъ мятія пара (h), практически является допустимыми впродъ до болѣе детальнаго опытнаго изслѣдованія этой зависимости, считаться лишь съ измѣненіемъ μ_d въ зависимости отъ типа и діаметра діафрагмы и температуры пара t_1 . Используя полученныя опытыя данныя, можно намѣтить протеканіе четырехъ кривыхъ коэффициентовъ μ_d двѣ — для „острыхъ“ и двѣ для „скругленныхъ“ діафрагмъ для діаметровъ до 80—100 м/м. (фиг. 28). Конечно, эти кривыя даютъ лишь приблизительно правильную зависимость μ_d отъ d и будутъ вполнѣ исправлены, когда будетъ закончена вся программа испытаній и въ распоряженіи лабораторіи будетъ достаточный опытный матеріалъ.

На фиг. 28 вычерчены сплошной линіей тѣ части кривыхъ, которыя построены по опытнымъ даннымъ относительно коэффициентовъ μ_d , а пунктирной линіей намѣчено вѣроятное протеканіе этихъ кривыхъ. Это предположительное протеканіе намѣчено на основаніи слѣдующихъ соображеній:

На основаніи опытомъ установленнаго протеканія кривыхъ μ_d для острой діафрагмы отъ 10 до 60 м/м. видно, что, при $d > 30$ м/м., коэффициенты имѣютъ почти постоянную величину. При уменьшеніи діаметровъ отъ 30 до 10 м/м. эти коэффициенты, какъ указываетъ нижняя кривая, быстро увеличиваются. Это протеканіе кривой должно быть, очевидно, объяснено тѣмъ, что идеально острая діафрагма выполнена быть не можетъ и имѣющее „скругленіе“ оказываетъ на строеніе струи тѣмъ большее вліяніе, чѣмъ меньше діаметръ діафрагмы. Въ предѣлѣ — когда діаметръ діафрагмы близокъ къ нулю — это, практически неизбежно, „скругленіе“ — осуществляетъ условія протеканія пара черезъ діафрагму съ „хорошо скругленными входными кромками“, для которыхъ коэффициентъ расхода, какъ извѣстно, ра-

венъ $\infty 1$. Исходя изъ этихъ соображеній, представляется безспорнымъ, что при $d = \infty 0$, коэффициентъ μ_d долженъ быть $= \infty 1$, какъ въ „скругленныхъ“, такъ и въ „тонкихъ“ діафрагмахъ.

На основаніи опытомъ установленнаго протеканія кривыхъ μ_d для „скругленныхъ“ діафрагмъ видно, что при уменьшеніи діаметровъ μ_d — стремится къ значенію его $= \infty 1$, а при увеличеніи ихъ — плавно уменьшается, приближаясь, конечно, къ значеніямъ μ_d дѣйствительнымъ для „тонкой“ діафрагмы. Это приближеніе должно быть объяснено тѣмъ, что вліяніе „скругленія“ при постоян-



Фиг. 28.

ной толщины діафрагмы $= 5$ м/м. оказываетъ на струю пара тѣмъ меньшее вліяніе, чѣмъ больше діаметръ діафрагмы и при очень большихъ діаметрахъ осуществляется форма струи, близкая къ таковой же при протеканіи пара черезъ тонкія діафрагмы.

Конечно, правильность намѣченнаго предположительнаго протеканія кривыхъ μ_d для тонкихъ діафрагмъ должна быть провѣрена дальнѣйшими опытами, которые и ведутся въ настоящее время въ лабораторіи. По окончаніи всѣхъ намѣченныхъ опытовъ, полученные результаты будутъ опубликованы и возможно, что въ зависимости отъ нихъ придется внести поправки въ указанныя выше данныя относительно коэффициента расхода въ „тонкихъ“ діафрагмахъ.

Полученныя пока опытыя данныя относительно μ_d для тонкихъ діафрагмъ являются достаточными лишь для тѣхъ случаевъ практики, когда требуется точность испытанія не болѣе 3%. Для удобства пользования этими данными и выведенными выше формулами на отдѣльной

¹⁾ Эта, совершенно неожиданная и, пока, необъяснимая зависимость μ_d отъ t должна быть вполнѣ исправлена и выяснена рядомъ специальныхъ опытовъ, ведущихся въ настоящее время.

приложенной таблицѣ (см. отдѣльную таблицу) данъ сводъ всѣхъ формулъ и четыре діаграммы, используя которыя, можно легко подсчитать расходъ пара при практическихъ испытаніяхъ.

Примѣненіе „тонкихъ“ діафрагмъ на практикѣ весьма удобно во многихъ случаяхъ, но желательно имѣть и данныя относительно коэффициентовъ расхода пара черезъ діафрагмы фасоннаго профиля. При заданномъ, практически допустимомъ, мятіи пара, площадь діафрагмъ различнаго профиля измѣняется, при прочихъ равныхъ условіяхъ, обратно пропорціонально величинамъ соотвѣствующихъ имъ коэффициентовъ расхода — μ_d . Чѣмъ меньше діаметръ діафрагмы, установленной въ данномъ паропроводѣ, тѣмъ меньше вліяетъ на коэффициентъ расхода,

практически всегда возможная, неравномѣрность протека, канія пара черезъ живое сѣченіе паропровода и тѣмъ слѣдовательно, надежнѣе результаты измѣреній и подсчетовъ. Въ виду этого и для практики является весьма желательнымъ выясненіе общей функціональной зависимости коэффициента μ_d отъ факторовъ, обусловливающихъ его величину, которая была выражена выше общимъ уравненіемъ:

$$\mu_d = \xi(d, r, l, p_1, v_1, \Delta p_1) \frac{D}{d} \left($$

Имѣя общее выраженіе этой зависимости, нетрудно будетъ, для каждаго даннаго случая, выбрать наивыгоднѣйшую формулу діафрагмы и соотвѣствующее значеніе коэффициента расхода μ_d .

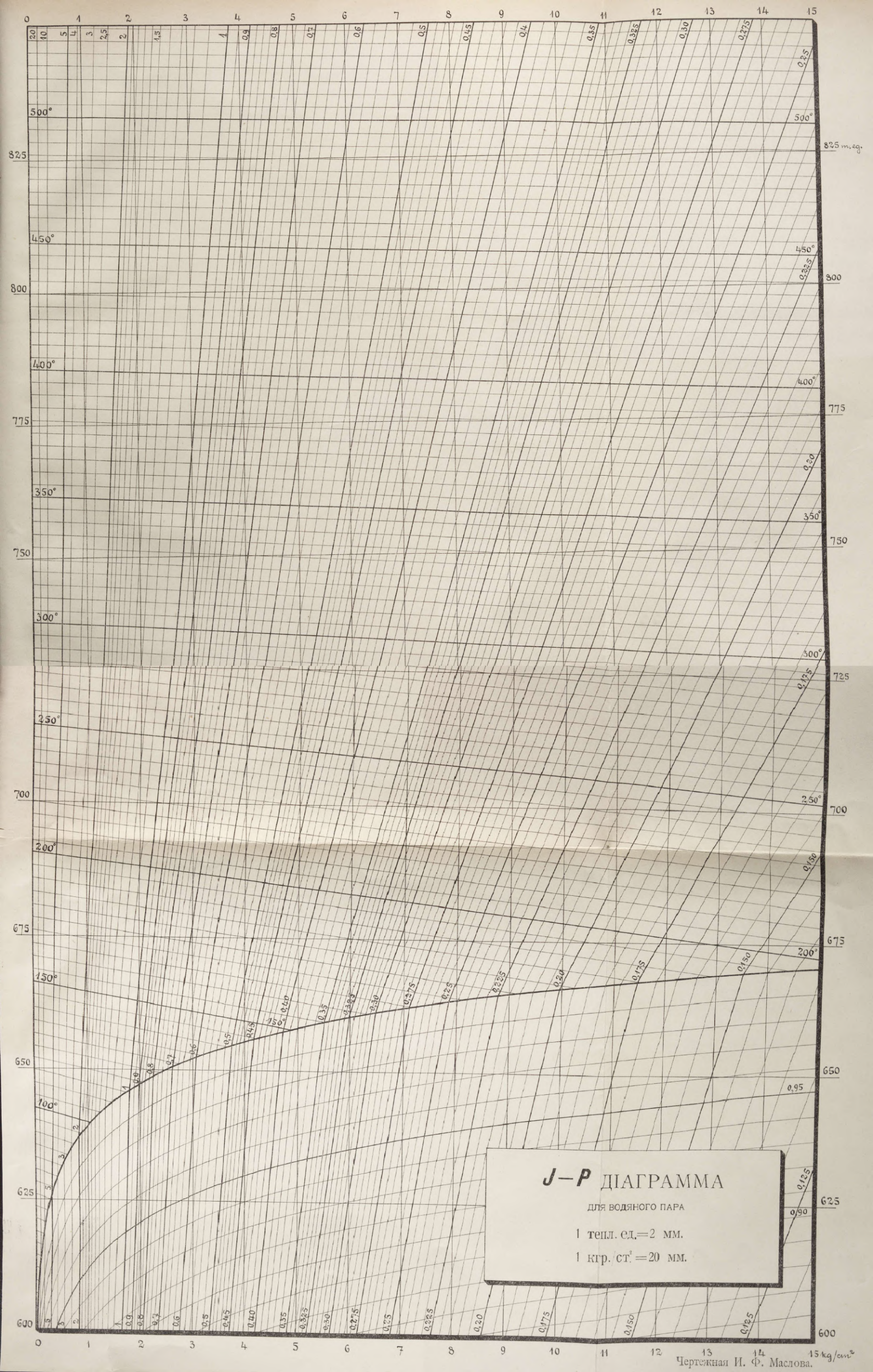


Диаграмма I.

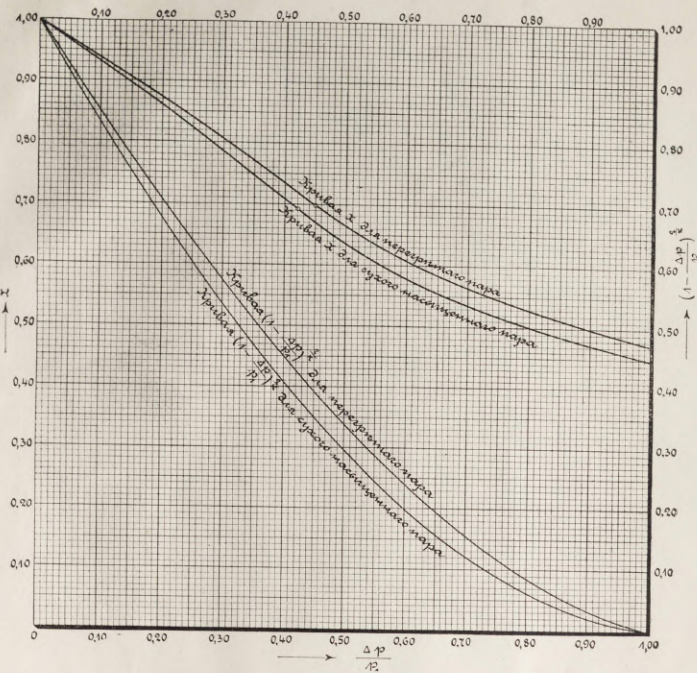
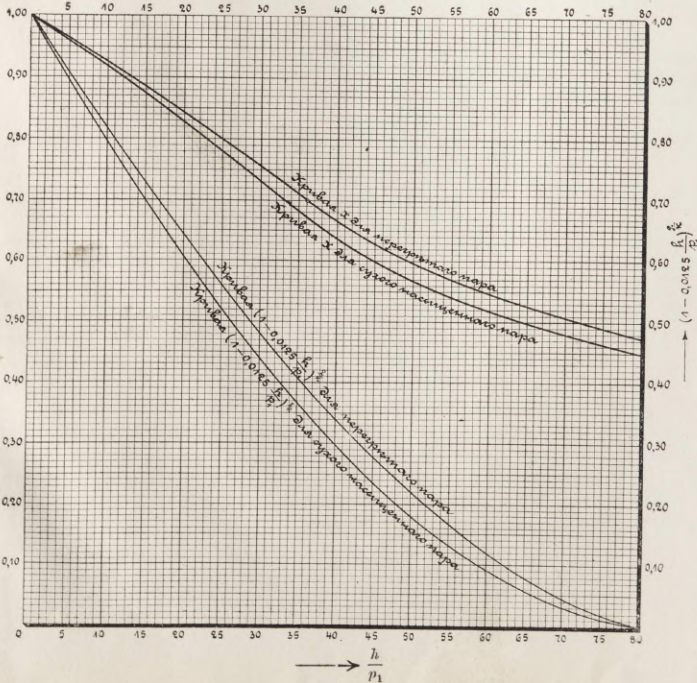


Диаграмма II.



Обозначения:

- G — секундный расход пара через диафрагму в кл.
- Q — часовой " " " " " "
- p_1 — давление пара " перед " диафрагмой в кл/см².
- t_1 — температура " " " в °С.
- v_1 — уд. объем пара " " " в м³/кл. определяется по p_1 и t_1 из уравнения
- $v_1 = 47 \frac{273 + t_1}{10000 p_1} + 0,001 - 0,075 \left(\frac{273}{273 + t_1} \right)^{15}$, или можетъ быть взятъ по I, p — диаграммъ Молье.
- μ_0 — „дѣйствительный“ коэффициентъ расхода
- μ — „кажущійся“ " " "
- d — диаметръ диафрагмы в см.
- Δp — разниця давленій пара в паропроводѣ передъ—и послѣ диафрагмы в кл/см² (измѣренная индикаторомъ или пружиннымъ манометромъ).
- h — разниця давленій пара в паропроводѣ передъ—и послѣ диафрагмы, выраженная в см. ртутнаго столба (измѣренная ртутнымъ дифференціальнымъ манометромъ).
- x — „переходный“ коэффициентъ, зависящій отъ отношенія $\frac{\Delta p}{p_1}$ и соответственно отъ $\frac{h}{p_1}$
- D — диаметръ паропровода в см.

Расходъ пара.

$$G = 0,0348 x \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} = 0,00389 x \mu d^2 \sqrt{\frac{h}{v_1}} \dots \dots \dots (1)$$

$$Q = 125,2 x \mu d^2 \sqrt{\frac{\Delta p}{v_1}} = 14,0 x \mu d^2 \sqrt{\frac{h}{v_1}} \dots \dots \dots (2)$$

Ф-лы (1) и (2) дѣйствительны для всѣхъ значений Δp и h . Коэффициентъ x долженъ быть взятъ по той кривой диаграммъ I или II, которая соответствуетъ состоянiю протекающаго пара.

Если передъ диафрагмой паръ сухой насыщенный, то расходъ пара можетъ быть подсчитанъ, вмѣсто ф-лъ (1) и (2), по ф-ламъ:

$$G = 0,0265 x \mu d^2 p_1^{15/32} \sqrt{\Delta p} = 0,00296 x \mu d^2 p_1^{15/32} \sqrt{h} \dots \dots (3) \quad Q = 95,4 x \mu d^2 p_1^{15/32} \sqrt{\Delta p} = 10,7 x \mu d^2 p_1^{15/32} \sqrt{h} \dots \dots (4)$$

Если отношеніе $\frac{\Delta p}{p_1} \geq 0,454$ или соответственно $\frac{h}{p_1} \geq 36,3$ — при *перегрѣтомъ парѣ*, то расходъ пара можетъ быть подсчитанъ, вмѣсто ф-лъ (1) и (2), по формуламъ:

$$G = 0,0164 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \dots \dots (5) \quad Q = 59,1 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \dots \dots (6)$$

Если отношеніе $\frac{\Delta p}{p_1} \leq 0,423$ или соответственно $\frac{h}{p_1} \leq 33,84$ при *сухомъ насыщенномъ парѣ*, то расходъ пара можетъ быть подсчитанъ вмѣсто ф-лъ (1) и (2) по формуламъ:

$$G = 0,0156 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \dots \dots (7) \quad Q = 56,3 \mu d^2 \sqrt{\frac{p_1}{v_1}} \dots \dots (8)$$

Или же, вмѣсто ф-лъ (3) и (4), по формуламъ:

$$G = 0,0119 \mu d^2 p_1^{31/32} \dots \dots (9) \quad Q = 42,9 \mu d^2 p_1^{31/32} \dots \dots (10)$$

Значенія величинъ $p_1^{15/32}$ и $p_1^{31/32}$ могутъ быть взяты по диаграммѣ IV.

Примѣчаніе. При отношеніяхъ $D: d > 2,5$ можно принимать $\mu = \mu_0$, а при $D: d < 2,5$ необходимо μ подсчитать по формуль:

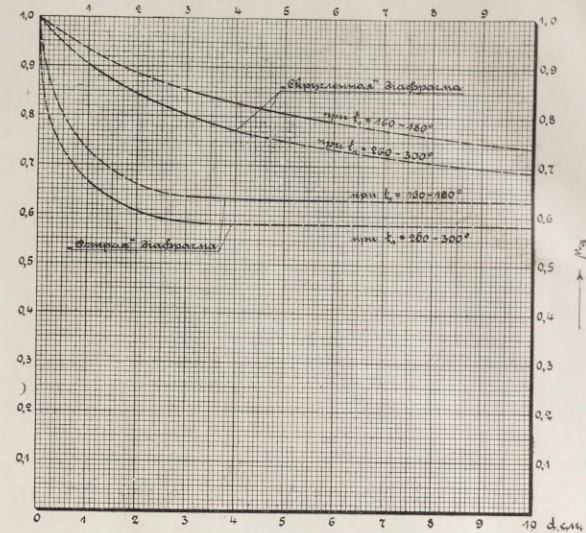
$$\mu = \frac{\mu_0}{\sqrt{1 - \mu_0^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4 \left(1 - \frac{\Delta p}{p_1}\right)^2}} \quad \text{или} \quad \mu = \frac{\mu_0}{\sqrt{1 - \mu_0^2 \left(\frac{d}{D}\right)^4 \left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1}\right)^2}} \dots \dots (11)$$

въ которую подставляются: значеніе μ_0 изъ диаграммы III, а значенія

$$\left(1 - \frac{\Delta p}{p_1}\right)^2 \quad \text{или} \quad \left(1 - 0,0125 \frac{h}{p_1}\right)^2$$

изъ диаграммъ I или II.

Диаграмма III.



Зависимость „дѣйствительнаго“ коэффициентъ расхода μ_0 — отъ диаметра „скругленной“ и „острой“ диафрагмы.

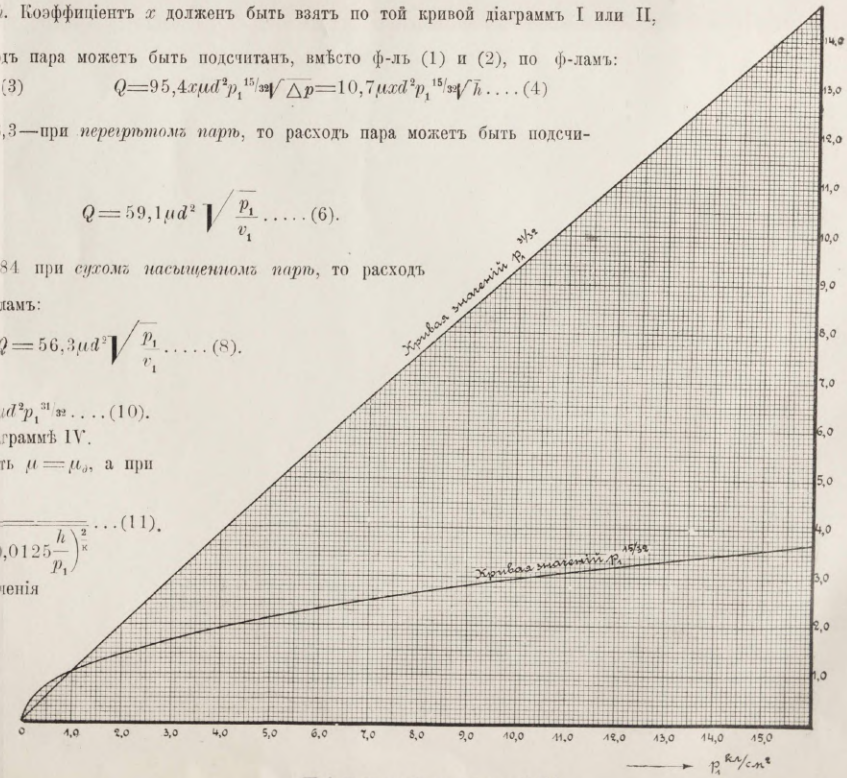


Диаграмма IV.

ВЫШЛИ ИЗЪ ПЕЧАТИ СЛѢДУЮЩІЕ ВЫПУСКИ

Извѣстій Механическаго Института.

- Вып. I. **К. В. Киршъ.** Общія указанія относительно постановки занятій въ П. Л. Процессъ растопки холоднаго котла. Тепловое состояніе и теплосодержаніе котла. Сравнительныя изслѣдованія котловъ при установившемся тепловомъ состояніи. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1904 г. № 5).
- Вып. II. **В. И. Гриневецкій.** Графическій расчетъ парового котла. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. III. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе паровой установки Фряновской шерст. фабрики. Работа локомотивнаго котла П. Л. при новой нефтяной топкѣ. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1906 г. № 6).
- Вып. IV. **И. А. Калининковъ.** Изслѣдованіе причинъ разрыва парового котла. Испытаніе желѣзо-бетонныхъ брусъ-евъ. Испытаніе на разрывъ образцовъ съ выточкой или запилкомъ. Вліяніе скручиванія литого желѣза на его механическія свойства. Испытаніе литейнаго и ковкаго чугуна. Упругость приводныхъ ремней. Экстензометръ для ремней. Дефлектометръ. На какую глубину слѣдуетъ ввертывать желѣзную шпильку въ чугунъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. V. Студ. **А. И. Ставровскій.** Испытаніе форсунокъ. (Распроданъ. См. Бюл. П. О. 1907 г. № 6).
- Вып. VI. **К. В. Киршъ.** Опыты съ корнвалійскимъ и водотрубнымъ котломъ Л. П. К. при нефтяномъ отопленіи. Изслѣдованіе котельной центральной станціи московскаго трамвая.
К. В. Киршъ и И. И. Куколевскій. Изслѣдованіе парозлектрической установки центральной станціи И. М. Т. У. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. VII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе установки изъ корнвалійскаго котла, перегрѣвателя и жел. экономайзера прямого дѣйствія при нефтяномъ отопленіи и напряженіяхъ до 51 kg/m² въ часъ. Комбинированный котель Л. П. К. и опыты съ нимъ. Къ вопросу о теплопередачѣ въ паровыхъ котлахъ. Цѣна 1 руб.
- Вып. VIII. **И. А. Калининковъ.** Экспериментальное изслѣдованіе раструбныхъ соединеній вырванію. Химическіе составы и механическія свойства чугуновъ московскихъ литейныхъ заводовъ. Крѣпость заплечиковъ въ чугунныхъ деталяхъ. Вліяніе на результаты испытанія формы поперечнаго сѣченія чугунныхъ брусковъ, изъ которыхъ вытачиваются нормальные образцы для разрыва.
Студ. **Б. М. Лампси.** Испытаніе смазочныхъ маселъ. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. IX. **И. А. Калининковъ.** Экспериментальное изслѣдованіе раструбныхъ соединеній (сопротивленіе вырванію). Цѣна 50 коп.
- Вып. X. **И. А. Калининковъ и В. Ф. Раздорскій.** Матеріалы къ ученію о механическихъ свойствахъ растеній. Цѣна 1 руб. 25 коп.
- Вып. XI. **И. В. Арбатскій.** Вліяніе лученспусканія на показанія пирометровъ (Einfluss der Strahlung auf Pyrometeranzeigen). О погрѣшностяхъ при измѣреніи температуръ при помощи термоэлемента и гальванометра (Ueber Fehler bei thermoelektrischen Temperaturmessungen). Цѣна 50 коп.
- Вып. XII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе корнвалійскаго, комбинированнаго и водотрубнаго котловъ Л. П. К. въ комбинаціи съ ребристымъ экономайзеромъ при напряженіяхъ до 55 kg/m² въ часъ. (Versuche am Einflammer-, Combinierten und Wasserrohrkessel des D. K. L. in Verbindung mit einem Rippenrohreconomiser. Kesselbelastungen bis 55kg/m² pro Stunde). Водотрубный котель Л. П. К. съ вертикальными ходами и перегрѣвателемъ. (Versuche am Wasserrohrkessel des D. K. L. bei vertikalen Zügen und mit Ueberhitzer). Изслѣдованіе ребристаго экономайзера сист. „Р. Каблицъ“. (Versuche am Rippenrohreconomiser Sist. „R. Kablitz“). Цѣна 1 руб. 50 коп.
- Вып. XIII. **К. В. Киршъ.** Изслѣдованіе южно-руссскихъ антрацитовъ. (C. Kirsch. Versuche mit südrussischen Antraziten). Цѣна 2 руб.
- Вып. XIV. **В. И. Ясинскій.** Къ вопросу о диафрагменномъ измѣреніи расхода пара. (W. I. Jasinsky. Zur Frage der Diaphragmenmessung des Dampfverbrauches). Цѣна 1 руб. 50 коп.
- Вып. XV. **К. В. Киршъ.** Сжиганіе антрацитовъ съ легкоплавкой золой. Рѣшетки высокаго напряженія. Опыты съ уральскимъ антрацитомъ.

(Выйдетъ изъ печати въ февралѣ 1914 года).