

Изменение мощности паромашин.

Мощность паромашин, как известно, выражается в л. с. в виде: $N_e = \frac{1}{30.75} \eta \cdot p_i \cdot O$. При неизменных в данной машине: O — полезной площади поршня в кв. сант. и l — длине хода поршня в мет. эффективная мощность N_e могла бы меняться при изменении: n — числа оборотов в мин. и p_i — среднего индикаторного давления, ибо η — мех. к. п. практически величина постоянная. Но изменения n для заданных условий производства не представляется удобным, так как исполнительные механизмы, приводимые в движение от данной паромашин, имеют определенные наивыгоднейшие скорости движения, нарушение коих ведет к понижению качественной и количественной стороны выработки продукта. С другой стороны, это именно число оборотов n учтено при проектировании самой паромашин в части, касающейся ее динамики. Так., обр. в сущности остается одна возможность к изменению мощности N_e данной паромашин — это изменение p_i , сохраняя n постоянным.

Среднее индикаторное давление всякой паромашин можно представить так: $p_i = \sigma (k p - k_e p_e) \dots (1)$, где p и p_e — давления впуска и выпуска в аб. атм., k и k_e — усредняющие коэффициенты переднего и заднего давлений и σ — коэффициент надежности, характеризующий потери в действительной индикаторной диаграмме вследствие парораспределения и теплообмена со стенками цилиндра, $\sigma = 0,90 - 0,95$.

Из формулы (1) для p_i ясно, что можно получать изменения p_i , меняя величину p , что имеет место в действительных паромашинах при регулировке дроссель — клапаном. В этом случае изменение p_i в зависимости от p будет происходить по закону *прямой* линии, проведенной от начала координат. на расстоянии $\sigma k_e p_e$ под углом к оси p , тангенс коего равен σk . На чер. 1 изображен этот закон для частного примера: $p = 6,15$; $p_e = 1,1$; $k = 0,58$; $k_e = 1,13$ и $\sigma = 0,93$, причем для $p = 6,15$ атм. $p_i = 2,2$ атм., а для $p = 4$ атм. $p_i = 1,05$ атм.

Способ изменения мощности машин при посредстве «матия пара» довольно распространен в небольших паромашинах. Он обладает, однако, следующими общеизвестными недостатками: 1) пусть в теоретической индикаторной диаграмме (чер. 2) начальное давление AC понижение до AC^1 , а степень наполнения

$\frac{CD}{AB} = \frac{C^1D^1}{AB}$ оставлена прежней. Получим диаграмму $C^1D^1E^1GK C^1$.

Продолжив линию расширения E^1D^1 до встречи с прямой CD получим теоретическую диаграмму $KCFE^1GK$ при первоначальном давлении AC и при

степени впуска $\frac{CF}{AB} < \frac{CD}{AB}$. Расход пара по весу одинаков в обоих последних

диаграммах, между тем как во второй получается избыток работы, изображаемый площадкой $CF C^1D^1$. А так как добавочный расход тепла на приготовление пара более высокого давления ничтожен, то ясно, что мощность машин выгоднее уменьшать более ранней отсечкой, чем матией пара, что и подтверждается опытом.

2) Существуют паромашинны, у которых переход равнодействующих горизонтальных усилий чрез ноль, происходит после мертвого положения. При дроссель—клапанах увеличение p в этом случае вызывает приближение нуля давлений к мертвой точке до возможного совпадения с ней, результатом чего могут быть удары в сочленениях машины.

3) При уравнивании сил инерции механизма достаточным сжатием давление последнего в конце p_c ограничивает дальнейшее понижение p , так как при $p < p_c$ будет появляться петля в конце сжатия, и наступает искажение вида индикаторной диаграммы, чем суживаются пределы регулирования, или же, в случае большого понижения мощности, приходится мириться с потерями в индикаторной диаграмме.

Естественно поэтому, что способ изменения мощности N_e при посредстве изменения степени ε наполнения, т. е. при изменении k в формуле (1) для p_i , является наиболее рациональным.

Коэффициент переднего давления k выражается чрез степень наполнения ε в следующем виде: $k = \varepsilon + (\varepsilon + m) \ln \frac{1+m}{\varepsilon+m}$, где m — величина вредного пространства в $\frac{0}{0}/\%$ рабочего объема парового цилиндра. Положивши $x = \varepsilon + m$, преобразовываем: $k = \alpha x - x m + \beta x \ln (1+m) - \beta x \ln x$. Чтобы избавиться от $\ln x$, прибегнем к разложению в строку, при чем для возможности игнорирования всех членов разложения, начиная со второго, x под знаком \ln умножим на некоторый множитель $\gamma > 1$, прибавив одновременно величину $+$ $\beta x \ln \gamma$. Тогда: $k = x [\alpha + \beta \ln (1+m) + \beta \ln \gamma] - \alpha m - 2 \beta x \frac{\gamma x - 1}{\gamma x + 1}$, откуда: $\gamma [\alpha + \beta \ln (1+m) + \beta \ln \gamma - 2 \beta] x^2 - \gamma k x - k + [\alpha + \beta \ln (1+m) + \beta \ln \gamma - \alpha m \gamma + 2 \beta] x - \alpha m = 0$.

Таким образом имеем уравнение кривой второго порядка вида: $A x^2 - B x \gamma + D x - \gamma = 0$, при чем $A C - B^2 = -(\gamma)^2 < 0$, т. е. кривая — гипербола. Для выбора значения γ заметим, что второй член разложения в строку $\ln \gamma x$ равен $\frac{2}{3} \beta x \left(\frac{\gamma x - 1}{\gamma x + 1} \right)^3$ и обращается в ноль при $\gamma = \frac{1}{x}$, для чего пришлось бы давать переменные значения γ для каждого x , что, очевидно, невозможно. В одноцилиндровой машине при работе на холодильник обычные колебания для $x = 0,1 - 0,5$, а при работе на атмосферу $x = 0,2 - 0,7$, чему соответствуют значения γ в первом случае $\gamma = 10 - 2$, а во втором $\gamma = 5 - 1,43$, поэтому, держась ближе к нормальным степеням наполнения, выберем для первого случая $\gamma = 5$, а для второго еще и с тем расчетом, чтобы множитель A при x^2 обратить в ноль для упрощения задачи. Если принять $\beta = 0,85$; $\alpha = 0,92$; $m = 0,08$, получим $\gamma = 2,3$, когда $A = 0$. Обозначим для последнего случая: $\psi = D - B \gamma$ и $\tau = -B x - 1$. Тогда: $\psi \tau = (D - B \gamma) (-B x - 1) = -B (D x - B x \gamma - \gamma) - D = -B F - D = \text{const.}$ Уравнение асимптот гиперболы $\psi \tau = 0$, т. е. $y = \frac{D}{B}$ и $x = -\frac{1}{B}$. Имеем численные значения для вышеуказанного частного примера:

Коэффициенты.	Их буквенные выражения.	Их численные значения.
A.	$\gamma [\alpha + \beta \ln (1+m) + \beta \ln \gamma - 2 \beta]$.	0
B.	γ .	2,3
D.	$\alpha + \beta \ln (1+m) + \beta \ln \gamma - \alpha m \gamma + 2 \beta$.	3,23
F.	αm .	0,074

Таким образом для ассимтот имеем $k = \frac{3,23}{2,3} = 1,4$ и $x = -\frac{1}{2,3} = -0,43$.
Необходимую точку для построения гиперболы найдем, полагая $x=0$, при чем $k = -F = -0,074$. Построение гиперболы сделано на чер. 3.—

Переходя ко второму случаю работы на холодильник, заметим, что A не равно. Тогда уравнение нашей гиперболы можно представить в виде:

$$\left[0,5 By - \left(0,5 D - \frac{A}{B} \right) \right]^2 - [A x - 0,5 (By - D)]^2 + 0,25 D^2 + A F -$$

$$- \left(0,5 D - \frac{A}{B} \right)^2 = 0$$
, так что уравнение для ассимтот: $\left[0,5 By - \left(0,5 D - \frac{A}{B} \right) \right]^2 - [A x - 0,5 (By - D)]^2 = 0$, откуда, по разложении разности квадратов на произведение суммы их на их разность, имеем: $x = -\frac{1}{B}$, а уравнение другой ассимтоты: $By - D + \frac{A}{B} - Ax = 0$, что при $x=0$ дает $y = \frac{D}{B} - \frac{A}{B^2}$ и при $x=1$ дает $y = \frac{D}{B} - \frac{A}{B^2} + \frac{A}{B}$.

Коэффициенты в численных значениях нашего частного примера будут для данного случая:

Коэффици- енты.	Их буквенные выражения.	Их численные значения.
A.	$\gamma [\alpha + \beta \ln(1+m) + \beta \ln \gamma - 2\beta]$.	3,3
B.	γ .	5,0
D.	$\alpha + \beta \ln(1+m) + \beta \ln \gamma - \alpha m \gamma + 2\beta$.	3,7
F.	αm .	0,074

Так. обр.: $x = -\frac{1}{B} = -\frac{1}{5} = -0,20$; для другой ассимтоты при $x=0$ имеем $y = \frac{D}{B} - \frac{A}{B^2} = \frac{3,7}{5} - \frac{3,3}{25} = 0,61$ и при $x=1$ имеем $y = \frac{D}{B} - \frac{A}{B^2} + \frac{A}{B} = \frac{3,7}{5} - \frac{3,3}{25} + \frac{3,3}{5} = 1,27$. Точка, нужная для построения гиперболы, получается при $x=0$, когда $k = -F = -0,074$. Гипербола построена на чер. 4 способом секущих.

Неточности от игнорирования второго члена разложения $\frac{2}{3} \beta x \left(\frac{\gamma x - 1}{\gamma x + 1} \right)^3$ выразятся для крайних значений x :

x	$\gamma=5$	$\gamma=2,3$
0.1	0,002	—
0.2	—	0,006
0.5	0,02	—
0.7	—	0,004

Изменение p_i в основном уравнении (1) в зависимости от k изобразится в виде *прямой* $p_i = \sigma p_k - \sigma k e p_a$, проходящей от начала координат на расстоянии $\sigma k e p_e$ под углом к оси k , тангенс коего $= \sigma p$. Для вышеуказанного частного примера машины: $p_i = -0,93.6,15. k - 0,93.1,13.1,1$; для $k=0$ имеем $p_i = -0,93.1,13.1,1 = -1,15$; для $k=1$ имеем: $p_i = 5,7 - 1,15 = 4,55$.
На чер. 5 изображена эта прямая. По найденному k для любого p_i легко найти $x = \varepsilon + m$, пользуясь той или другой гиперболой для k (чер. 3—4) в зависимости от обстоятельств. Так, для $p_i = 2,2$ атм.

находим $k = 0,57$, чему на чер. 3 отвечает $x = 0,33$ и след. $\varepsilon = 0,25$. Легко решается и обратная задача: по заданному $\varepsilon = x - m$ найти p_i при помощи гипербол $k = f(x)$ и прямой $p_i = f(k)$.

Если бы желательно было установить непосредственную зависимость между p_i и $x = \varepsilon + m$, то нетрудно убедиться, исходя из основного уравнения (1) $p_i = \sigma k p_c - \sigma k_e p_e$, что для любого x для p_i получаем значения, как разность между ординатами той или иной гиперболы k (чер. 3—4) и ординатами прямой, проведенной параллельно оси x на расстоянии от нее $= \sigma k_e p_e$, при чем масштаб для тех и других ординат должен быть взят сравнительно с чер. 3—4 в σp раз менее. Так, для упоминавшегося частного примера имеем значение p_i для $x = 0,5$ при работе на атмосферу (чер. 3): $p_i = \frac{6,15 \cdot 0,93}{100} (51,5 - 20) = 2,95$ атм.

Таким образом непосредственная зависимость $p_i = f(x)$ — гиперболическая.

Основное уравнение (1) $p_i = \sigma (k p_c - k_e p_e)$ показывает возможность изменения p_i при изменении k_e . Коэффициент заднего давления k_e выражается чрез ε — степень сжатия — в виде: $k_e = 1 - \varepsilon + \varphi (\varepsilon + m) \ln \frac{\varepsilon + m}{m} = 1 -$

$Z (1 + \varphi \ln m) + m + \varphi Z \ln Z$, если обозначить $Z = \varepsilon + m$ и чрез φ — коэффициент, характеризующий мятие пара в момент начала сжатия $= 1,1$. Зная, что Z обычно находится в пределах $Z = 0,1 - 0,5$, и что, следовательно, множитель при Z под знаком \ln при разложении в строку с игнорированием второго члена разложения может быть $\gamma_1 = 1,0 - 2$, можно принять $\gamma_1 = 5$. Тогда имеем: $\gamma_1 [2\varphi - 1 - \varphi \ln (m\gamma_1)] Z^2 - \gamma_1 k_e Z + [\gamma_1 (1 + m) - 2\varphi - 1 - \varphi \ln (m\gamma_1)] Z - k_e + 1 + m = 0$, т. е. опять для зависимости между k_e и Z имеем гиперболу,

ибо $AC - B^2 = -(-\gamma_1)^2 < 0$. Координаты центра гиперболы будут: $z = -\frac{1}{\gamma_1} = -0,2$ и $k_e = -\frac{2\gamma_1 [2\varphi - 1 - \varphi \ln (m\gamma_1)]}{\gamma_1^2} + \frac{\gamma_1 (1 + m) - 2\varphi - 1 - \varphi \ln (m\gamma_1)}{\gamma_1} = -\frac{2 \cdot 11}{25} + \frac{3,2}{5} = -0,24$, при чем уравнение второй ассимтоты $k_e = -0,24 +$

$+ [2\varphi - 1 - \varphi \ln (m\gamma_1)] Z$, что для $Z = 1$ дает $k_e = 2,4$. Необходимую для построения гиперболы точку найдем, полагая $Z = 0$, так что $k_e = 1 + m = 1,08$. Гипербола способом секущих построена на чер. 6. Заметим, что относительная погрешность от игнорирования второго члена разложения здесь будет менее, чем в случае k , ибо k_e всегда > 1 .

Пользование изменениями k_e для изменения мощности паромашин на практике обычно не применяется, ибо имеет следующие невыгоды: 1) давление p_c в конце сжатия принято выбирать достаточным для уравнивания сил инерции частей с попеременно-возвратным движением: это обеспечивает плавность хода. При уменьшении p_c легко могут получиться удары в сочленениях машины; 2) при увеличении p_c увеличивается работа противодействия, при чем возрастание p_c от компрессии пара получается невыгодным путем, как превращение механической работы в теплоту, а в случае значительных мертвых пространств может иметь место даже предварительная конденсация. Термически наивыгодное давление в конце сжатия не должно превосходить средней температуры стенок концов цилиндра: отступление от этого ведет к увеличению расхода пара; 3) пределы регулирования мощности гораздо шире в случае изменения степени наполнения или применения дроссель клапана. Если к изменению степени сжатия, как к самостоятельному средству изменения мощности, не принято прибегать на практике, тем не менее в машинах с кулисным парораспределением, а также в случаях плоских регуляторов вместе с изменением степени наполнения изменяется и степень сжатия в обратном направлении, т. е. увеличение, напр., степени наполнения влечет за собой уменьшение степени сжатия и наоборот. Так. обр. изменение мощности про-

исходит в этих случаях с двух сторон одновременно, отчего мощность машины изменяется быстрее. Для возможности выяснения закона изменения p_i в зависимости от ε (или $x = \varepsilon + m$) необходимо в каждом отдельном таком случае знать зависимость $\varepsilon = f(\varepsilon)$. Если ограничиваться грубо приближенным решением задачи, то окажется, что иногда эта зависимость может быть выражена крайне простым линейным уравнением вида: $\varepsilon = a - b\varepsilon$. Такая зависимость имеет место, например, в некоторых типах паровозов¹⁾. Так, для паровоза сер. К в численных значениях она будет: $\varepsilon = 0,38 - 0,42\varepsilon$. Выразив ε через x и Z , получим: $Z = a + m + bm - bx$ и $Z = 0,49 - 0,42x$, полагая $m = 0,08$. Пользуясь этой зависимостью, находим график зависимости p_i от x для данного частного случая, как разность ординат кривой $k = f(x)$ с уменьшенным в σp раз масштабом (чер. 3), ибо в паровозах отсечки ранее $x = 0,2$ неупотребительны, и ординат кривой $k_e = f(Z)$ (чер. 6) с уменьшенным масштаба в p/p_e раз, имея в виду, что масштабы чер. 3—6 одинаковы, при чем ординаты последней кривой (чер. 6) берутся для тех значений Z , которые отвечают соответственным значениям x из линейного графика (чер. 7): $Z = 0,49 - 0,42x$. Искомая зависимость $p_i = f^1(x)$ выстроена на чер. 8, где для $x = 0,5$ имеем p_i , как разность ординат $ab - ad =$

$$= (71 - 10,5) \frac{0,93 \cdot 12,5}{100} \approx 6,9 \text{ атм.}, \text{ при чем } p = 12,5 \text{ атм. и } p_e = 1,2 \text{ атм.}$$

Само собой разумеется, что влияние скорости движения паровоза на p_i здесь не учитывается.

Наконец, из основного (1) уравнения $p_i = \sigma (k p - k_e p_e)$ явствует возможность изменения p_i при изменении p_e . Невыгоды регулировки мощности при помощи изменения p_e заключаются в следующем: 1) меняется давление в конце сжатия, а след. не устранена возможность ударов; 2) при повышении p_e является опасность образования петель на индикаторной диаграмме в конце расширения и сжатия; 3) при изменении p_e машина является неэкономичной, ибо каждой степени наполнения отвечает лишь одно наиболее экономичное давление выпуска p_e в зависимости от амортизационных и эксплуатационных расходов и стоимости топлива. Как известно, при выборе наивыгоднейшего давления холодильника приходится делать подсчет всех расходов при заданном p_i для разных p_e , при чем в целях выяснения полезного расхода пара определяется для каждого p_e соответственная степень наполнения ε . Так, обр. задача в случае изменения p_e в основном (1) уравнении $p_i = \sigma (k p - k_e p_e)$ видоизменяется: приходится отыскивать $x = \varepsilon + m$, как $x = f(p_e)$ при $p_i = \text{const}$. Аналогичная задача возникает еще и в другом случае практики, когда надлежит найти степень наполнения при изменении противодавления с сохранением мощности, что имеет место в случаях переустройства установки, работавшей на холодильник, для работы на отопление и при обратной переделке. Нетрудно видеть, что $\frac{p_i}{\sigma p} + \frac{k_e}{p} p_e = k$, т. е. k изменяется, как $k = f(p_e)$, по закону прямой, проведенной от начала координат на расстоянии $\frac{p_i}{\sigma p}$ под углом к оси p_e , тангенс коего $= \frac{k_e}{p}$. Для нашего частного примера при $p_e = 0$ имеем $k = p_i / \sigma p = 0,38$, а для $p_e = 1$ имеем $k = 0,56$, что и нанесено на чер. 9. По заданному p_e легко находим k , а пользуясь кривыми (чер. 3—4) $k = f(x)$, просто определяем соответственное x . Но можно иметь непосредственное изображение зависимости $p_e = f(x) = \frac{p}{k_e} K - \frac{p_i}{\sigma k_e}$, т. е. эта зависимость гиперболического вида.

¹⁾ Паспорта паровозов: 1—5—О Е ф (Игр., 1917, стр. 14); 1—4—О Щп (Игр. 1915, стр. 7); 1—3—1 С (Игр. 1915, стр. 7); 2—3—О Ку (Игр. 1915, стр. 7); 0—5—О Э (Москва 1918, стр. 7).

Каждое значение p_e получается, как разность ординат кривой $k=f(x)$ (чер. 3—4) в уменьшенном в $\frac{p}{k_e}$ раз масштабе и ординат прямой $\frac{p_i}{\sigma k_e}$ параллельной оси x в том же масштабе k . Так, обр. для $p_e = 0,3$ атм. имеем на чер. 10: $p_e = \frac{0,3}{6,15} \times 1,13 \times 100 = 5,5$ мм., так что $x = 0,23$, откуда $\varepsilon = 0,15$.

Все вышесказанное относится к машинам, работающим насыщенным паром. Для машин перегретого пара коэффициент переднего давления имеет вид: $k_n = \alpha \varepsilon + \frac{\beta}{n-1} (\varepsilon + m) \left[1 - \left(\frac{\varepsilon + m}{m+1} \right)^{n-1} \right]$, что может быть представлено, полагая $x = \varepsilon + m$, в виде: $k_n = \left[\alpha + \frac{\beta}{n-1} - \frac{x \beta \cdot n-1}{(n-1)(m+1)^{n-1}} \right] x - \alpha m$.

Осложняющим обстоятельством здесь является то, что показатель n политропы, будучи зависим от температуры перегретого пара, в то же время зависит и от степени наполнения $\varepsilon = x - m$.

Для характеристики последней зависимости могут служить кривые чер. 11, относящиеся до опытов проф. Schröter'a с машинами двукратного расширения, при чем кривые эти дают зависимость n от ε в ЦВД. Так как в современных машинах температура перегретого пара обычно бывает $300—350^\circ \text{Ц}$, то, допуская приближенную линейную зависимость между n и $x = \varepsilon + m$ в пределах $x = 0,1$, когда $n = 1,0$, и $x = 0,4$, когда $n = 1,24$, получим: $n = 0,8x + 0,92$, при чем m принято $= 0,08$, как часто встречается величина для клапанного и золотникового с цилиндрическими золотниками парораспределения, применяемых при перегретом паре. Очень часто рекомендуется при выборе значения показателя n для давлений¹⁾ $p \geq 9$ кил./кв. сант. пользоваться следующей таблицей Berner'a:

Средние показатели расширения для ЦВД.				
Температура пара в С.	200	250	300	350
Малая нагрузка	1,00	1,05	1,10	1,14
Нормальная нагрузка	1,05	1,10	1,14	1,17
Усиленная »	1,10	1,15	1,18	1,20

Но здесь, во-первых, зависимость от степени наполнения существует лишь в скрытом и при том неопределенном виде (малая, нормальная, усиленная нагрузка), а во-вторых, для больших машин значения n рекомендуется повышать на $0,02—0,04$ и вместе свидетельствуется, что практически даже большие отклонения от действительных величин имеют обыкновенно мало значения. Вообще в выборе n существует некоторая неопределенность и, надо думать, пользование приближенной формулой $n = 0,8x + 0,92$ в указанных границах не может создать грубых ошибок. Умножим и разделим вычитаемое внутри [] скобок выражения для k_n на $1,5^{n-1}$ и произведем разложение в строку в числителе вычитаемого $\beta (1,5^n)^{n-1}$, а в его знаменателе $(n-1) [1,5(1+m)]^{n-1}$. Тогда получим: $k_n = \left\{ \alpha + \frac{\beta}{n-1} - \frac{\beta [1 + (n-1) \ln 1,5 x]}{(n-1) [1 + (n-1) \ln 1,5 (1+m)]} \right\} x - \alpha m$.

Вторые члены разложения можно игнорировать, ибо при $x = 0,1$ превращается в ноль $n - 1$, а при $x = 0,4$, вторые члены разложения будут: $0,9 \cdot 0,24^2 \cdot \frac{(\ln 0,6)^2}{2} \cdot 0,4 = 0,002$ и $0,24 \cdot 0,24^2 \cdot \frac{(\ln 0,6)^2}{2} = 0,001$.

¹⁾ Berner. Применение перегретого пара к поршневой паровой машине. Москва. 1908 г. стр. 83.

Разложим также в строку и $\beta(n-1)x \ln 1,5x$. Второй член разложения при $x=0,4$ равен $\frac{2}{3} \left(\frac{1,5x-1}{1,5x+1} \right)^3 (n-1) \times \beta \times x = 0,0008$, каковую величину можно также игнорировать, и, следовательно, вместо $\ln 1,5$ надлежит подставить всего лишь $2 \left(\frac{1,5x-1}{1,5x+1} \right)$. Правую часть выражения для k_n приводим теперь к одному знаменателю, подставив вместо n его приближенное значение $= 0,8x + 0,92$, и производим фактическое деление многочлена числителя на многочлен знаменателя, после чего имеем:

$$k_n = \left\{ 1,2\alpha \ln[1,5(1+m)]x^3 + \{1,5\alpha - 3\beta + [0,68\alpha + 1,5\beta - 1,2\alpha m] \ln[1,5(1+m)]\}x^2 + \right. \\ \left. + \{ \alpha + 2\beta - 1,5\alpha m + [\beta - 0,08\alpha + 0,04\alpha m] \ln[1,5(1+m)] \}x + \right. \\ \left. + 0,08\alpha m \ln[1,5(1+m)] - \alpha m \right\} : \left\{ 1,2 \ln[1,5(1+m)]x^2 + \right. \\ \left. + \{1,5 + 0,68 \ln[1,5(1+m)]\}x + 1 - 0,08 \ln[1,5(1+m)] \right\} = \\ = \frac{0,55x^3 - 0,35x^2 + 3,04x - 0,07}{0,57x^2 + 1,83x + 0,96} = 0,97x - 3,72 + \\ + \frac{8,81x + 3,49}{0,57x^2 + 1,83x + 0,96} = y_1 + y_2.$$

Таким образом k_n для каждого x получаем, как сумму ординат y_1 и y_2 . Но $y_1 = 0,97x - 3,72$ есть уравнение прямой, а $y_2 = \frac{8,81x + 3,49}{0,57x^2 + 1,83x + 0,96}$ получается, как частное от деления ординат прямой числителя на соответственные ординаты параболы¹⁾ знаменателя для одних и тех же абсцисс x . — Все дело сводится, следовательно, к построению двух прямых и одной параболы. Любопытно отметить, что парабола знаменателя совершенно не зависит от α и β , т. е. не связана с характером парораспределения и может быть построена раз навсегда, как для клапанного, так и для золотникового парораспределения. Построение для y_1 и y_2 выполнены на чер. 12, где нанесена и кривая k_n в зависимости от x , при чем масштаб для абсцисс $1 = 100$ мм., а для ординат прямых $1 = 10$ мм. для возможности размещения в пределах чертежа, а для самой кривой k_n опять $1 = 100$ мм.

За пределами отсечки, когда $x \geq 0,4$, показатель политропы n , повидимому, можно принять постоянным $= 1,24$. Посему имеем для этого случая:

$$k_n = \left\{ \{1,5\alpha - 3\beta + [\alpha(n-1) + \beta]1,5 \ln[1,5(1+m)]\}x^2 + \right. \\ \left. + \{ \alpha + 2\beta - 1,5\alpha m + [\alpha(n-1) + \beta - 1,5\alpha m(n-1)] \ln[(1,5(1+m))] \}x - \right. \\ \left. - \alpha m - \alpha m(n-1) \ln[1,5(1+m)] \right\} : \left\{ 1,5 \{1 + (n-1) \ln[1,5(1+m)]\}x + \right. \\ \left. + 1 + (n-1) \ln[1,5(1+m)] \right\} = \frac{-0,47x^2 + 3,16x - 0,08}{1,67x + 1,11} = -0,28x + 2,08 - \\ - \frac{2,38}{1,67x + 1,11}, \text{ т. е., в данном случае дело сводится к построению трех}$$

прямых, что и выполнено на чер. 13. Совокупная кривая изменений k_n от x в пределах от $x=0,1$ до $x=0,7$ нанесена на том же чер. 13. Эта же кривая может изображать и закон изменения среднего переднего давления $k_n \cdot p \cdot \sigma$ для любого p , в зависимости от x , при чем масштаб чертежа, само собой разумеется, должен быть уменьшен в p -раз.

¹⁾ Ибо $AC - B^2 = 0$.

Перейдем теперь к машинам двукратного расширения. Совокупное среднее индикаторное давление p_i представляется здесь в виде суммы частных таких же давлений в каждом из цилиндров, при чем p'_i в ЦВД должно быть отнесено, конечно, к площади поршня ЦНД, т. е. $p_i = \frac{p'_i}{\delta} + p''_i$, где δ — отношение объемов цилиндров. Можно написать: $p'_i = \sigma(kp - k_r p_r)$, где p_r — среднее ресиверное давление и $p''_i = \sigma(kp_r - k_e p_e)$, при чем чрез ρ оценивается разница между контр-давлением на поршень ЦВД и давлением на поршень ЦНД. Обычно принимают ρ в 0,1 p_r , т. е. $\rho = 1,1$. — Таким образом p_i , будучи зависимо от k , как в одноцилиндровой машине, при изменении степени пополнения ε в ЦВД или E в ЦНД зависит в то же время и от p_r , которое меняется вместе с ε и E . Для весового количества пара, проходящего чрез паромашину, имеем: $\gamma \cdot F_1 (m_0 + \varepsilon) = \gamma_r \cdot F_2 (M_0 + E)$. Считая приближенно: $\gamma = p$, $\gamma_r = p_r$, $m_0 = m - \frac{\rho p_r (c + m)}{p}$ и $M_0 = M - \frac{p_e (C + M)}{p_r}$ ¹⁾, а также полагая $\delta = \frac{F_2}{F_1}$, получаем: $p_r = \frac{p}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)} \varepsilon + \frac{\rho m + \delta(C + M)p_e}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)}$, т. е. зависимость среднего ресиверного давления от переменной степени ε наполнения ЦВД выражается законом *прямой* линии в предположении, что в то же время степень сжатия ЦВД c остается постоянной так же, как степень наполнения E и сжатия C в ЦНД. Поставим p_r в зависимости от $x = \varepsilon + m$.

Тогда: $p_r = \frac{p}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)} x + \frac{\delta(C + M)p_e}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)}$. Берем частный пример машины компаунд: $\delta = 2,5$; $p = 7$; $p_e = 0,2$; $m = M = 0,08$; $c = 0,08$; $C = 0,12$ и $E = 0,6$. Имеем: $p_r = 3,8 x + 0,055$. Построение сделано на чер. 14, с масштабом для ординат $1 = 10$ мм., где, на пример, для $x = 0,5$ получаем значение ординаты 20,5 мм., что дает $p_r = \frac{20,5}{10} = 2,05$ атм.

Обращаемся сначала к отысканию зависимости среднего индикаторного давления p'_i в ЦНД от x . Подставляя в общее уравнение $p'_i = \sigma(kp - k_e p_e)$ вместо p_r его выражение чрез x , получаем: $p'_i = \frac{\sigma k p}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)} x + \frac{\delta(C + M)p_e \cdot \sigma k}{\delta M + \delta E + \rho(c + m)} - \sigma k_e p_e$. Таким обр. зависимость для ЦНД между средним его индикаторным давлением p'_i и x тоже *линейного* вида.

Выразим эту зависимость в числовых значениях вышеприведенного примера машины компаунд, приняв: $\beta = 0,85$, $\alpha = 0,93$ и $\sigma = 0,93$. Тогда: $p'_i = 2,9 x - 0,17$. На чер. 15 имеем, например, для $x = 0,5$ значение $p'_i = \frac{13,5}{10} = 1,35$ атм.

В ЦВД изменение p'_i обусловлено изменением двух факторов k и p_r . Пользуясь чер. 4, легко находим кривую для $\sigma k p$ на чер. 16, на котором в его масштабе наносим и прямую $\sigma k_r p_r$ применяя чер. 14. Разность ордопад двух этих линий и дает значение p'_i для любого x . Так. обр., например, для $x = 0,5$ имеем $p'_i = (74 - 33,5) \cdot \frac{0,93 \cdot 7}{100} = 2,76$ атм., так что совокупное $p_i = 1,35 + \frac{2,76}{2,5} = 2,45$ атм.

¹⁾ Объем вредных пространств., заполняемых паром впускного давления.

Из чер. 16 явствует, что при изменениях ε мощность ЦВД меняется мало начиная с $x \geq 0,3$.

Заметим кстати, что чер. 14 дает возможность установить максимальную отсечку в ЦВД, какую мы можем допустить без искажения вида индикаторной диаграммы в ЦВД. Максимальное давление в конце сжатия p_c не должно превосходить давления впуска p во избежание образования петли, т. е. приближенно имеем: $p_c \cdot m = p_r (c + m)$, откуда $p_r = \frac{p_c m}{c + m}$. По найденному этим путем значению p_r и чер. 14 отыскиваем x , а следовательно и $\varepsilon_{\max} = x - m$.

Если при прочих неизменных условиях парораспределения будет меняться одна лишь степень наполнения E в ЦНД, то, исходя опять таки из постоянства весового количества пара получаем: $\delta p_r X + p (c + m) p_r - p (m + \varepsilon) - \delta p_c (C + M) = 0$, где $X = E + M$. Так. обр. между ресиверным давлением p_r и X существует *гиперболическая* зависимость, ибо $A\delta - B^2 = -\delta^2 < 0$. Пусть $\tau = \delta p_r$ и $\psi = \delta X + p (c + m)$. Тогда $\tau \cdot \psi = \delta [\delta X p_r + p (c + m) p_r] = \delta [p (m + \varepsilon) + \delta p_c (C + M)] = \text{const.}$ Для асимптот имеем. $\tau \cdot \psi = 0$, так что $\delta p_r = 0$, т. е. $p_r = 0$ и $\psi = \delta X + p (c + m) = 0$, т. е. $X = -\frac{p(c+m)}{\delta}$. Возьмем пример; $\varepsilon = 0,27$; $m = M = 0,08$; $p = 11$; $p_c = 1,1$; $\delta = 2,25$; $c = 0,09$ и $C = 0,12$. Имеем для асимптоты $X = -\frac{1,1(0,09 + 0,08)}{2,25} = -0,083$. Необходимо для построения гиперболы точку найдем, полагая $x = 1$, так что $p_r = \frac{p(m + \varepsilon) + \delta p_c (C + M)}{\delta X + p(c + m)} = 1,78$. Построение выполнено на чер. 17.

Займемся далее отысканием зависимости среднего индикаторного давления p'_i в ЦВД от X . Подставляя в уравнение $p'_i = \sigma (k p_r - p k_r p_r)$ вместо p_r его значение из предыдущего, получаем: $p'_i = \sigma \left\{ k p_r - k_r \cdot \frac{p [p(m + \varepsilon) + \delta p_c (C + M)]}{p(c + m) + \delta X} \right\}$, что приводится к виду: $p(c + m) p'_i + \delta p'_i X - \sigma \delta k p X - S = 0$, т. е. зависимость p'_i от X тоже *гиперболическая*. Имеем уравнения асимптот: $\tau = \delta p'_i - \sigma \delta k p = 0$ и $\psi = \delta X + p(c + m) = 0$, откуда: $p_i = \frac{\sigma \delta k p}{\delta} = \sigma p k$ и $X = -\frac{p(c + m)}{\delta}$, что дает в численных значениях нашего частного примера:

$p'_i = 5,9$ и $X = 0,083$. Необходимую точку получаем для $X = 1,0$, что дает $p'_i = 4,6$ атм. Графическое изображение этого закона имеем на чер. 18.

Что касается среднего индикаторного давления ЦНД: $p''_i = \sigma (k p_r - k_e p_e)$, то, как видно из формулы, при изменении E будем иметь одновременно изменения k и p_r , при чем для зависимости k от X надлежит пользоваться гиперболой чер. 3, ибо в ЦНД $X = 0,3 - 0,8$. Умножая ординаты этой гиперболы на соответственные ординаты гиперболы $p_r = f(X)$ по чер. 17 для одних и тех же абсцисс, откладывая произведения (чер. 19) для тех же абсцисс в виде новых ординат в масштабе $\frac{\text{чер. 3} \times \text{чер. 17}}{\text{чер. 3}}$ и вычитая из последних постоянные ординаты прямой $-k_e p_e$, отложенные в том же масштабе, получим в виде разности этих ординат значения p''_i между линиями а б и в г. если масштабом для измерения будет служить масштаб чер. 17: σ . Так, для

$x = 0,5$ имеем $p''_i = \frac{11,5}{10,0,93} = 1,2$ атм.

Построим, наконец, на чер. 20 кривую изменения суммарного $p_i = p'_i / \delta + p''_i$ в зависимости от X путем сложения ординат чер. 18 с разностными отрезками между а б и в г чер. 19.

Усматриваем, что максимум мощности получается при $X = 0,5$. Дальнейшее увеличение X ведет к уменьшению мощности машины, что объясняется возрастанием потери от падения давления при сообщении ЦВД с ресивером а также возможностью образования петли в конце сжатия в ЦНД. Уменьшение $X < 0,5$ тоже понижает мощность машины, так как начинает возрастать ресиверное давление, а значит и противодействие в ЦВД, вследствие чего является увеличение давления в конце сжатия в ЦВД, возникает опасность образования здесь петель в конце сжатия, а также петель в конце расширения.

Попутно нельзя не отметить одного интересного следствия, вытекающего отсюда, а именно нельзя не отметить возможности использования графика типа чер. 20 для целей распределения мощности между цилиндрами по-равну в машинах компаунд. Здесь надо различать два случая: случай золотникового парораспределения в ЦВД и клапанного. Золотниковое парораспределение обуславливает необходимость получения некоторой определенной степени наполнения в ЦВД, зависящей от типа золотников. Так, например, для простых коромысловых золотников степени наполнения менее 50% хода поршня являются невыгодными, как ухудшающие условия выпуска и сжатия и как требующие больших эксцентриситетов, а след., и большой работы трения; для золотников Трика-Вейса можно принять $\varepsilon \geq 0,35$, а для двойных золотников обычно принимают $\varepsilon = 0,25$ и т. д. Эти степени наполнения являются как бы поперед заданными. Пусть давление впуска в ЦВД $p = 8$ атм. Для этого давления и при работе на холодильник наивыгоднейшая степень наполнения, проведенная к ЦНД, скажем, равна $\varepsilon_0 = 0,07 - 0,06$. Тогда для возможности ее получения, например, при двойном золотнике в ЦВД надлежит выбрать отношение объемов цилиндров $\frac{0,25}{0,07} \approx 3,5$. Для экономичных золотниковых машин и постоянной нагрузки большие отношения объемов 3—5 являются обычными для Америки.¹⁾ Задаваясь степенями сжатия s и S из условий золотникового парораспределения и плавности хода (возможность разгрузки сил инерции достаточным давлением в конце сжатия), получаем все данные, зная ε и p и считая меняющейся величину $X = E + M$, построить кривую $p_i = f(X)$, как на чер. 17., кривую $p'_i = f'(X)$ и кривую $p''_i = f''(X)$ по типу чер. 18 и 19. Строя кривую суммарного p_i по чер. 20, определяем X , при котором $p'_i = p''_i$. Это $X = E + M$ и принимаем за степень наполнения ЦНД, обеспечивающую распределение работ поровну между цилиндрами в машине компаунд. На чер. 20 это случится при $X = 0,43$. Принятие степени наполнения $X = E + M$ вместо E необходимо, ибо конечный объем ресивера создает уменьшение площади индикаторной диаграммы ЦВД в машине компаунд и увеличение таковой же в ЦНД примерно до 10%²⁾. В случае клапанной машины кроме приведенной степени наполнения ε_0 обычно является заданным отношением объемов δ цилиндров, которое можно определить, исходя из теоретической диаграммы соответственной одноцилиндровой машины путем деления площади ее пополам хотя бы методом интегральной кривой, или при помощи таблиц Нгабак'а или Наедер'а. Зная δ , находим $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \delta$, после чего задача отыскания $X = E + M$ для равномерного распределения работы между цилиндрами решается по предыдущему.

Особые случаи представляют машины, у которых одновременно с изменением степеней наполнения в обоих цилиндрах меняются, и степени сжатия, что имеет место, например, в машинах с кулисами, или машинах с плоскими регуляторами, где при изменении степени наполнения ЦВД одновременно ме-

¹⁾ Левенсон. Современные американские паровые машины. СПб. 1912, стр. 6.

²⁾ Дуббель. Конструирование и расчет паровых машин. 1907. СПб., стр. 27.

няется здесь и степень сжатия. В этих случаях является необходимым прежде всего установить закон зависимости между ε и s в ЦВД и E и S в ЦНД, а также зависимость между ε и E , в какой мере изменения ε вызывают изменения E . В качестве частного примера, указывающего на удобство решения подобных задач с помощью излагаемых здесь методов, возьмем паровоз н/т вып. 1901 г. Как усматривается из чер. 21, зависимость между ε и s , с одной стороны, и E и S , с другой, приближается к линейной типа: $Z = a - bx$, причем $Z = s + m$, а значения постоянных в ЦВД a и b , как d и t в ЦНД, указаны на чер. 21.—Что же касается зависимости между ε и E , то для данного типа паровоза можно принять приближенно: $E = \varepsilon + 0,69$. Исходя из постоянства потока пара чрез паромашину: $\gamma F_1 (m_0 + \varepsilon) = \gamma_r F_2 (M_0 + E)$ и пользуясь вышеуказанными выражениями для m_0 , M_0 , и только что указанными зависимостями E , s от ε и S от E приводим после преобразований уравнение потока пара к виду: $Bx p_r + Dx - F p_r - N = 0$, что определяет гиперболу, при чем коэффициенты имеют нижеследующие значения:

Коэффициенты.	Их буквенные выражения.	Их численные значения.
B.	$\frac{F_1}{F_2} \cdot \rho \cdot b - 1$	-0,82
D.	$\rho \frac{F_1}{F_2} - p_e \cdot f$	+5,3
F.	$\rho \cdot a \cdot \frac{F_1}{F_2} + i$	+0,31
N.	$d - f \cdot i$	+0,55

Здесь $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{\delta} = 0,47$ — отношение объемов цилиндров паровозов н/т; $m = M = 0,08$; $\rho = 12,5$; $p_e = 1,25$; $i = E - \varepsilon = 0,09$; $\rho = 1,1$; d и f в ЦНД то же, что a и b в ЦВД, т. е. коэффициенты в зависимости между S и E . Необходимо иметь в виду, что с увеличением скорости движения паровоза будет происходить искажение вида индикаторных диаграмм в обоих цилиндрах вследствие изменений ρ , α , β , φ и p_e , за чем следить не входит в задачу настоящей работы.

Гипербола для принятых заданий выстроена на чер. 22, при чем для асимптот ее имеем: $p_r = -\frac{D}{B} = +6,47$ и $x = \frac{F}{B} = -0,38$, а для необходимой точки при $x=0$ имеем: $p_r = 1,78$.—

Перемножение ординат последней гиперболы p_r на соответственные ординаты гиперболы k_r (чер. 6) для одних и тех же абсцисс x и на $\sigma \rho$ даст кривую изменения заднего давления $\sigma \rho k_r p_r$, при чем при пользовании гиперболой k_r (чер. 6) Z определяется предварительно по x из вышеуказанного линейного уравнения (чер. 21). Эта кривая выстроена на чер. 23, где выше ее нанесена кривая переднего давления для тех же абсцисс x , как произведение ординат гиперболы k (чер. 3) на $\sigma \rho$, ибо отсечка в паровозе не бывает обычно меньше $x=0,3$. Разность ординат кривых чер. 23 ($\sigma \rho k - \sigma \rho k_r p_r$) для любого значения x дает величину среднего индикаторного давления $p'i$ в ЦВД.—Так, для $x=0,6$ имеем $p'i = \frac{40}{100} \cdot 0,93 \cdot 12,5 = 4,65$ атм. Совершенно аналогичным способом ведем построение для кривых

переднего и заднего давлений в ЦНД, что и выполнено на чер. 24, пользуясь линейной зависимостью между E и C в ЦНД: $Z=0,48+0,4 X$. На чер. 25 выстроена диаграмма изменения совокупного давления; $p_i = \frac{p'_i}{\delta} + p''_i$, при чем при построении этой диаграммы принималось, что степени ε наполнения в ЦВД отвечает в ЦНД $E=\varepsilon+0,09$, в соответствии с чем и брались ординаты по чер. 24. для переноса на чер. 25.—Например, для $x=0,6$ имеем $p_i = \frac{36}{100} \cdot 12,5 \cdot 0,93 \approx 4,2$ атм.

Разберем еще случай изменения противодействия в ЦНД при сохранении общей мощности паромашин в виду практического значения этого случая, о чем отмечено выше в соответственной части, касающейся одноцилиндровой машины. Из уравнения для ЦНД: $p''_i = \sigma (k_{pr} - k_e p_e)$ имеем: $p_r = \frac{p'_i}{\sigma k} + \frac{k_e}{k} p_e$, т. е. при сохранении $p''_i = \text{const.}$ имеем изменение p_r в зависимости от p_e по закону *прямой* линии. Подставляя в уравнение постоянства весового количества пара, проходящего чрез паромашину: $(\varepsilon + m_0) p \cdot F_1 = (E + M_0) p_r \cdot F_2$ вместо m_0 , M_0 и p_r значения из предыдущего, получаем: $\varepsilon = \left\{ \left[(E + M) \delta + \rho (c + m) \right] \frac{k_e}{k} - (C + M) \delta \right\} \frac{p_e}{p} - m + \left[(E + M) \delta + \rho (c + m) \right] \frac{p'_i}{\delta k p}$, т. е. изменение наполнения ε в ЦВД при изменении p_e происходит тоже по закону *прямой* линии, проведенной от начала координат на расстоянии $\left[(E + M) \delta + \rho (c + m) \right] \frac{p'_i}{\delta k p} - m$ и под углом наклона и оси p_e , тангенс коего $= \frac{1}{p} \left[(E + M) \delta + \rho (c + m) \right] \frac{k_e}{k} - (C + M) \delta$, при чем предполагается, что все условия парораспределения, как то: c , C и E остаются неизменными. Прямая изображена на чер. 26 для нашего частного примера: $p=7$; $c=0,08$; $C=0,12$; $E=0,6$; $p'_i=0,9$; $m=M=0,08$; $\delta=2,5$. Тогда $\varepsilon=0,275 p_e + 0,23$, так что, например, для $p_e=0,2$ атм. $\varepsilon=0,27$. Мощность ЦВД, как мы выше видели (чер. 16), при изменении $\varepsilon \approx 0,25$ меняется мало.

Способ регулирования мятием пара в машинах двукратного расширения в настоящее время применяется редко, но в паровозах при езде «на малый клапан» способ этот (вручную) употребителен. Точно также и в стационарных машинах всегда возможны случаи работы машины не при полном начальном давлении вследствие ли постоянных причин (конструктивная слабость котлов и пр.) или временных (плохое топливо, неопытность кочегаров и пр.) Исходя из условия постоянства потока пара по весу имеем: $p (\varepsilon + m_0) = \delta p_r (E + M_0)$, откуда после подстановки вместо M_0 и m_0 их выражений из предыдущего получаем: $p_r = \frac{\varepsilon + m}{\rho (c + m) + \delta (E + M)} p - \frac{p_e (C + M) \cdot \delta}{\delta (c + m) + \delta (E + M)}$, т. е. изменение p_r при изменениях p происходит по закону *прямой*, как и p'_i в зависимости от p : $p''_i = \frac{\sigma k (\varepsilon + m)}{\rho (c + m) + \delta (E + M)} p - \frac{p_e (C + M) \cdot \sigma k \cdot \delta}{\rho (c + m) + \delta (E + M)} - \sigma k_e p_e$. Для нашего частного примера машины компаунд имеем при $\varepsilon=0,25$: $p_r = 0,175 p - 0,054$ и $p'_i = 0,135 p - 0,23$, каковые прямые и выстроены на чер. 27 и 28. Для p'_i имеем: $p'_i = \sigma k p - \sigma k_r p_r$, т. е. p'_i получаем при изменении p как разность ординат прямой $y_1 = \sigma k p$, проходящей чрез начала координат, и прямой $y_2 = \sigma k_r p_r = \frac{\sigma k_r (\varepsilon + m) \cdot \rho}{\rho (c + m) + \delta (E + M)} p -$

$$= \frac{p_e (C + M) \delta \sigma_{kr} \cdot \rho}{\rho (c + m) + \delta (E + M)}$$
 . Для нашего численного примера: $y_1 = 0,93 \cdot 0,56 \cdot p = 0,52 p$ и $y_2 = 0,186 p = 0,057$. Построение выполнено на чер. 29. На чер. 28 верхняя прямая изображает закон изменения суммарного $p_i = \frac{p'}{\delta} + p''$ при изменении p .

Теперь в принятом порядке изложения надлежит заняться машинами двухкратного расширения с перегретым паром. Принимается обычно, что в ЦВД пар поступает уже насыщенным или слабо перегретым, почему период расширения здесь, как и периоды сжатия в обоих цилиндрах, происходят так же, как в машинах насыщенного пара. Таким образом в уравнении постоянства весового количества пара, идущего чрез паромашину, изменения будут касаться лишь ЦВД. Называя чрез γ_n — удельный вес перегретого пара, получим: $\gamma_n \cdot F_1 (\varepsilon + m_0) = \gamma_r F_2 (E + M_0)$. Удельный объем перегретого пара, как известно, выражается: $V_n = \frac{1}{\gamma_n} = \frac{47,1 \cdot T_n}{p} = 0,016$, где T_n — абс. температура перегретого пара, а p — его давление в кил./кв. м. Но приближенно можно принять, что удельные объемы перегретого пара изменяются, как для газов, т. е. $\frac{1}{\gamma_n} : \frac{1}{\gamma} = T_n : T$, где γ , по предыдущему, удельный вес сухого насыщенного пара того же давления, а T — его абс. температура. Можно написать, следовательно: $p \cdot \frac{T}{T_n} (\varepsilon + m_0) = \delta p_r (E + M_0)$. Считая степень наполнения ε в ЦВД неизменной, как s и C , а меняющейся лишь степень наполнения E в ЦНД, вставляя вместо m_0 и M_0 их выражения из предыдущего, имеем: $\delta p_r X + \frac{T}{T_n} \rho (c + m) p_r - \frac{T}{T_n} p (m + \varepsilon) - \delta p_e (C + M) = 0$, т. е., как и для насыщенного пара, зависимость между p_r и $X = E + M$ *гиперболическая*. Необходимая для построения гиперболы точка при $X=1$ будет: $p_r = \frac{\frac{T}{T_n} p (m + \varepsilon) + \delta p_e (C + M)}{\delta X + \frac{T}{T_n} \rho (c + m)}$, что в численных значениях примера чер. 17 при перегреве до 325° ц. дает $p_r = 1,43$.

Для асимптот имеем: $p_r = 0$ и $X = - \frac{\frac{T}{T_n} \rho (c + m)}{\delta} = - 0,06$. Гипербола выстроена на чер. 30. Для ЦВД имеем: $p'_i = \sigma \cdot [k_n p - k_r \cdot \rho \cdot \frac{\frac{T}{T_n} p (m + \varepsilon) + \delta p_e (C + M)}{\delta X + \frac{T}{T_n} \rho (c + m)}]$, что дает: $\delta p'_i X + \frac{T}{T_n} \rho (c + m) p'_i - \sigma k_n p \delta X + Q = 0$, т. е. $p'_i = \varphi (X)$ опять *гипербола*. Асимптоты: $p'_i = - \frac{\frac{T}{T_n} \rho (c + m)}{\delta} = - 0,06$. Необходимая точка при $X=1$ будет $p'_i = 4,22$. Гипербола построена на чер. 31. Построение графика $p'_i = \varphi (X)$ для машины перегретого пара будет отличаться от такового (чер. 19) для машины насыщенного пара лишь тем, что ординаты гиперболы к (чер. 3) надлежит для данного случая умножать на ординаты гиперболы p_r на чер. 30, а не на чер. 17. График построен на чер. 32. Совокупный

график для $p_i = \frac{p'_i}{\delta} + p''_i$ дан на чер. 33, из коего усматривается, что в случае перегретого пара равенство работ в цилиндрах будет иметь место при $X=0,38$.—

В случае, если меняется одна лишь степень ε наполнения в ЦВД, из равенства $p \cdot T/T_n (\varepsilon + m_0) = \delta p_r (E + M_0)$ получаем:

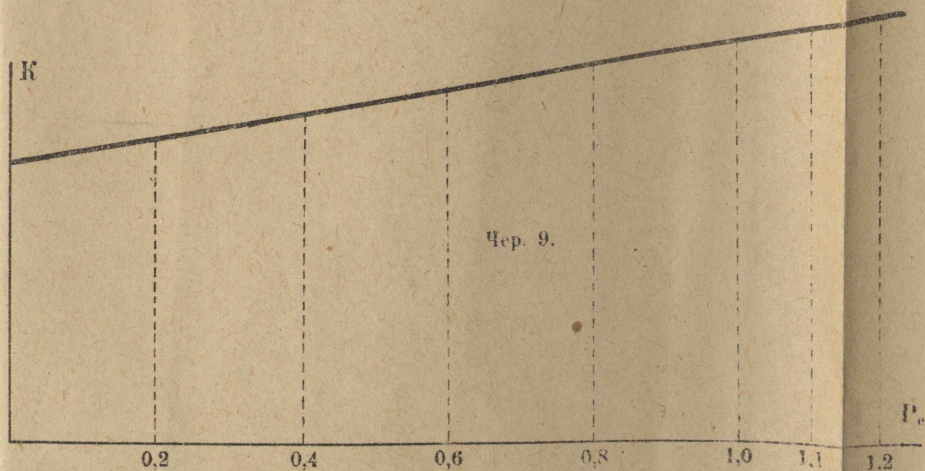
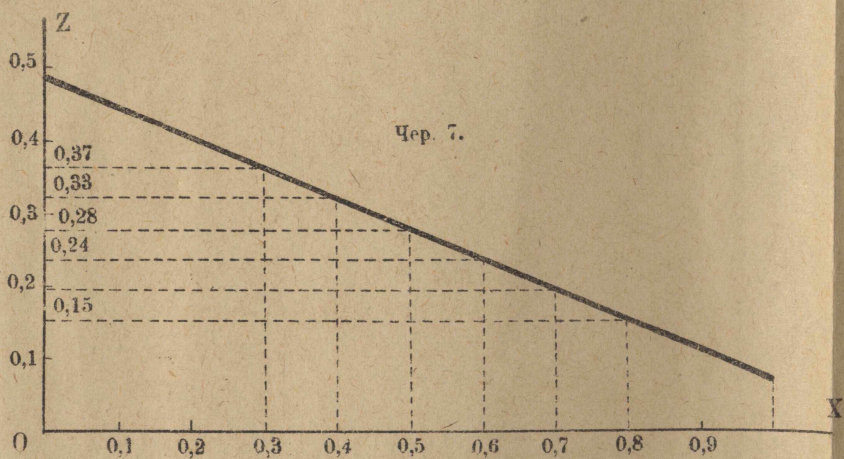
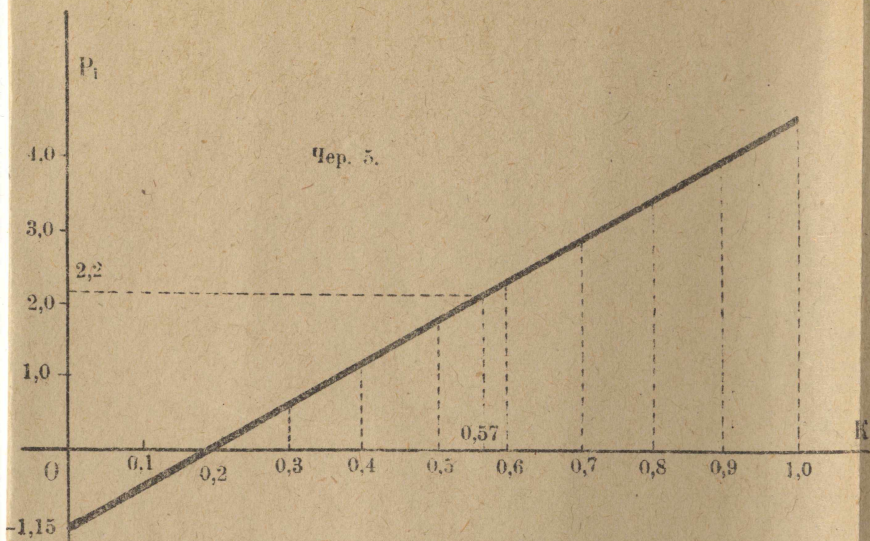
$$p_r = \frac{p \cdot T/T_n}{\delta (E + M) + T/T_n \rho (c + m)} x + \frac{\delta p_e (C + M)}{\delta (E + M) + T/T_n \rho (c + m)} \text{ и}$$

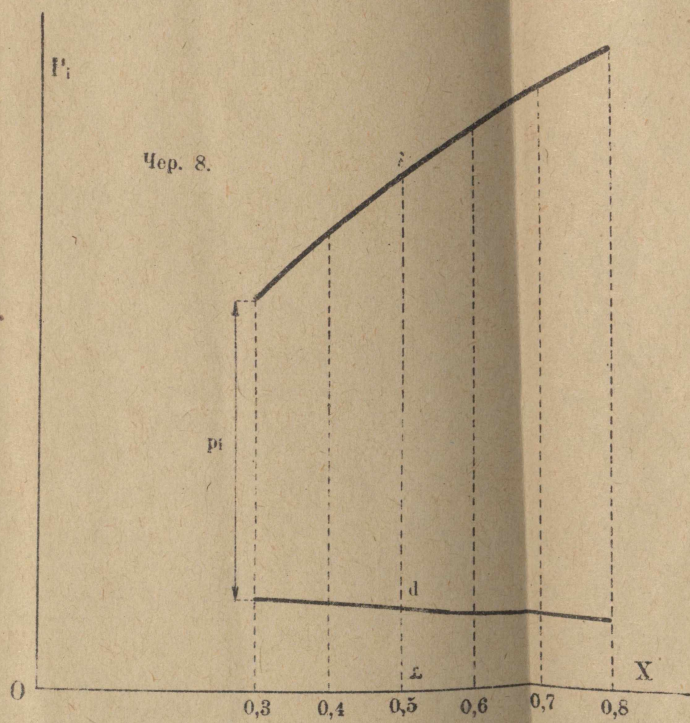
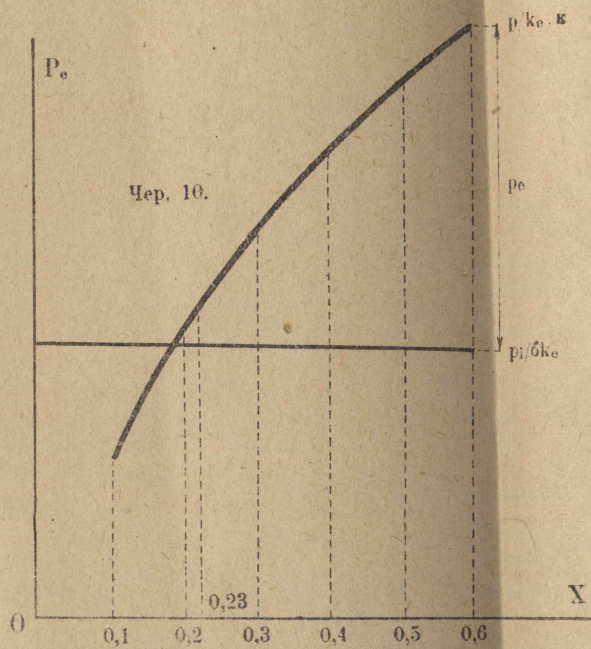
$$p''_i = \frac{\sigma k_r p \cdot T/T_n}{\delta (E + M) + T/T_n \rho (c + m)} x + \frac{\delta p_e (C + M) \sigma k}{\delta (E + M) + T/T_n \rho (c + m)} - \sigma k_e p_e.$$

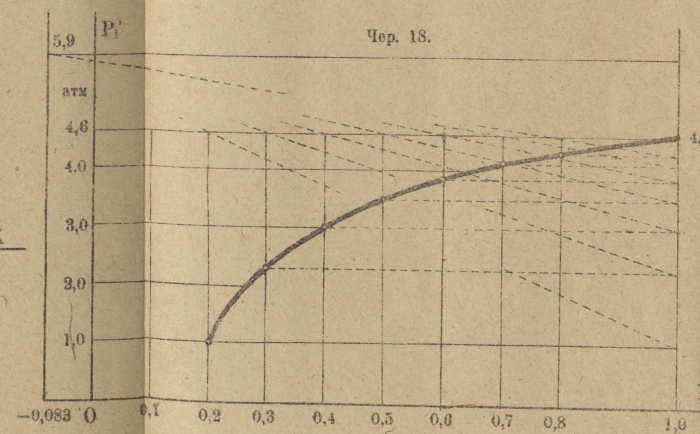
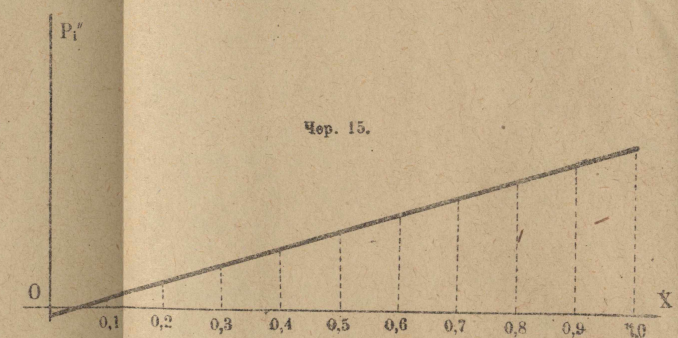
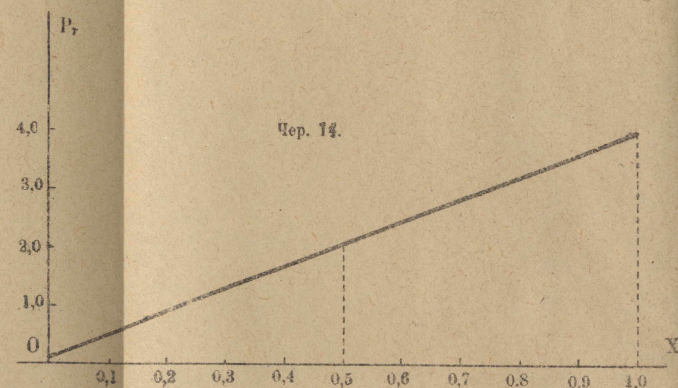
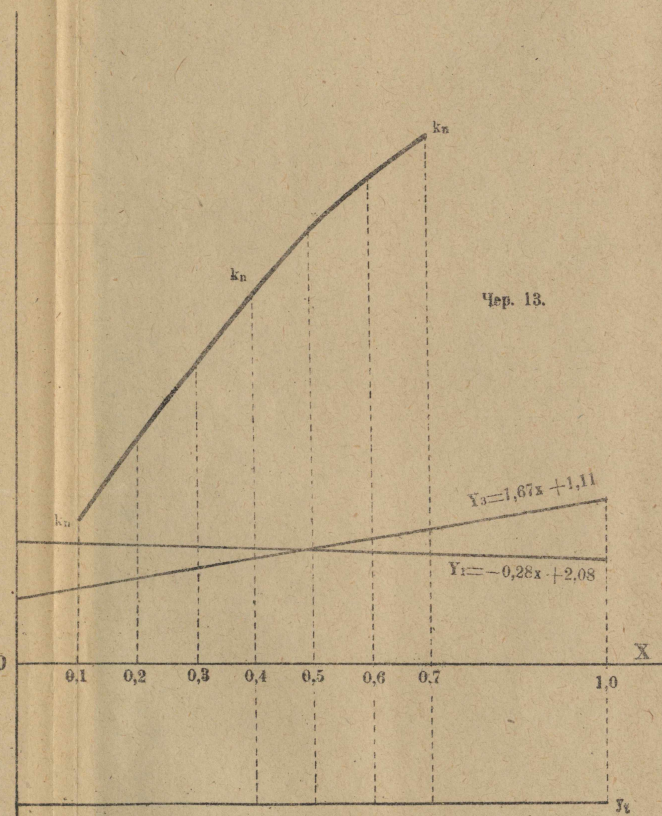
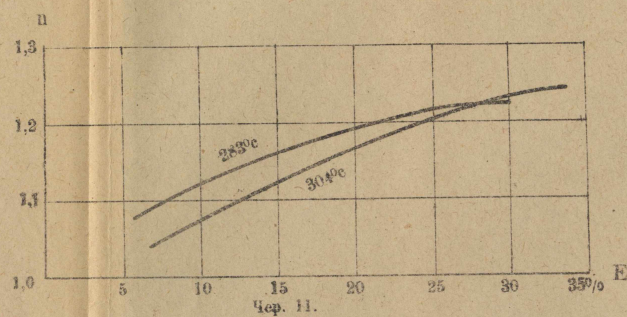
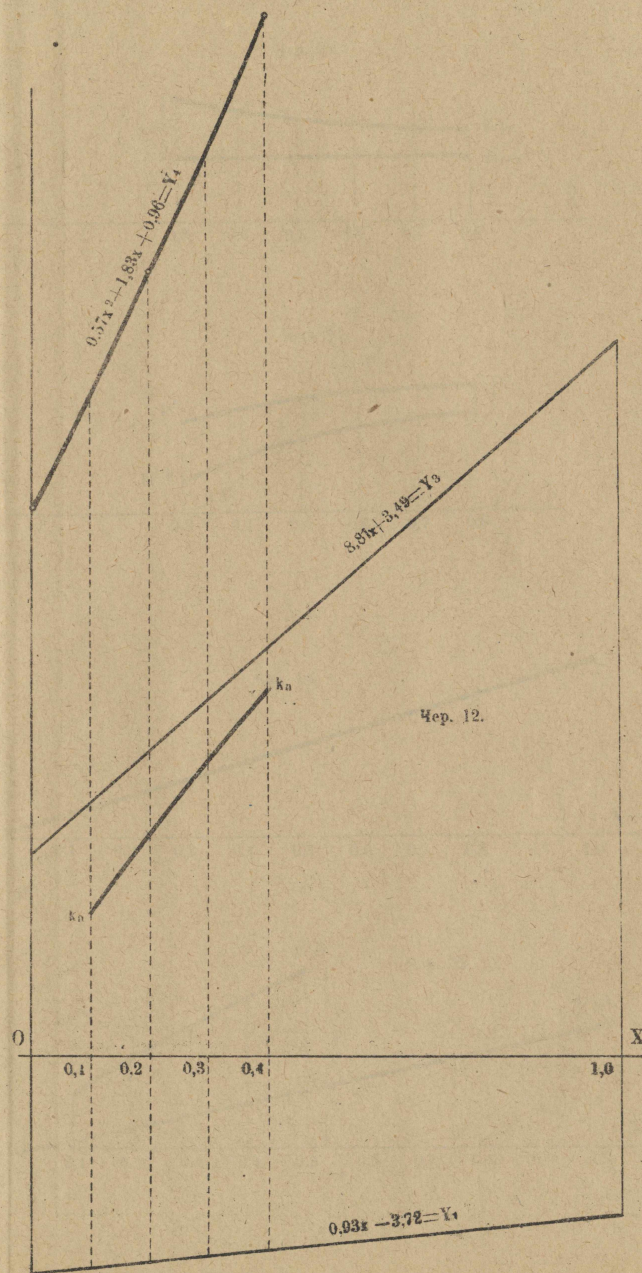
Так. обр. p_r и p''_i в зависимости от x изменяются по закону *прямой*. Эти прямые построены на чер. 34 и чер. 35 для частного примера машины компаунд (чер. 14) в предположении перегрева до 300°Ц . После подстановки численных значений получаем: $p_r = 2,9x + 0,055$ и $p''_i = 2,24x - 0,16$. Для ЦВД, пользуясь чер. 13, легко находим кривую $\sigma k_n p$ на чер. 36, на коем в его масштабе наносим и прямую $\sigma k_r p_r$, применяя чер. 34. Разность ординат двух этих линий и дает значения p'_i .— Совокупная диаграмма изменений $p_i = p'_i / \delta + p''_i$ в зависимости от x представлена на чер. 35, где видно, что при всех x преобладающей является работа ЦВД. Выравнивание работы может быть достигнуто уменьшением степени наполнения ЦНД.

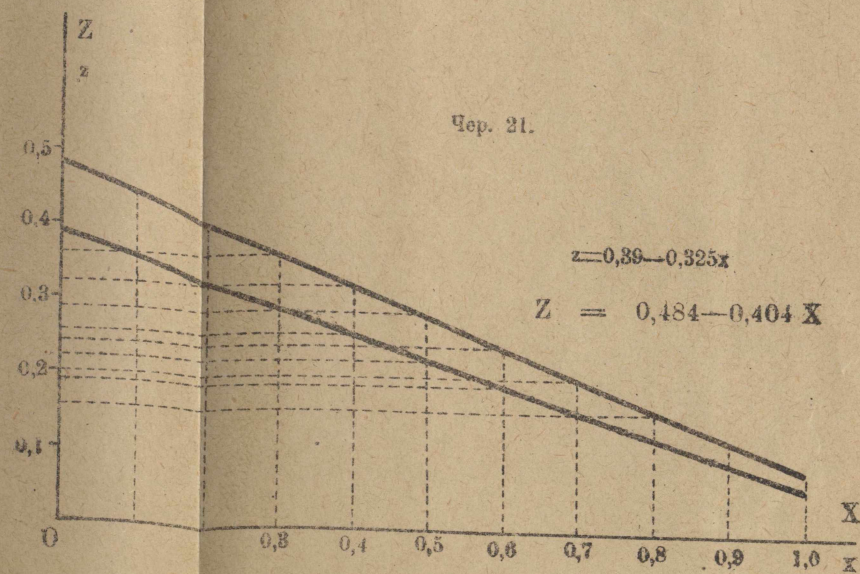
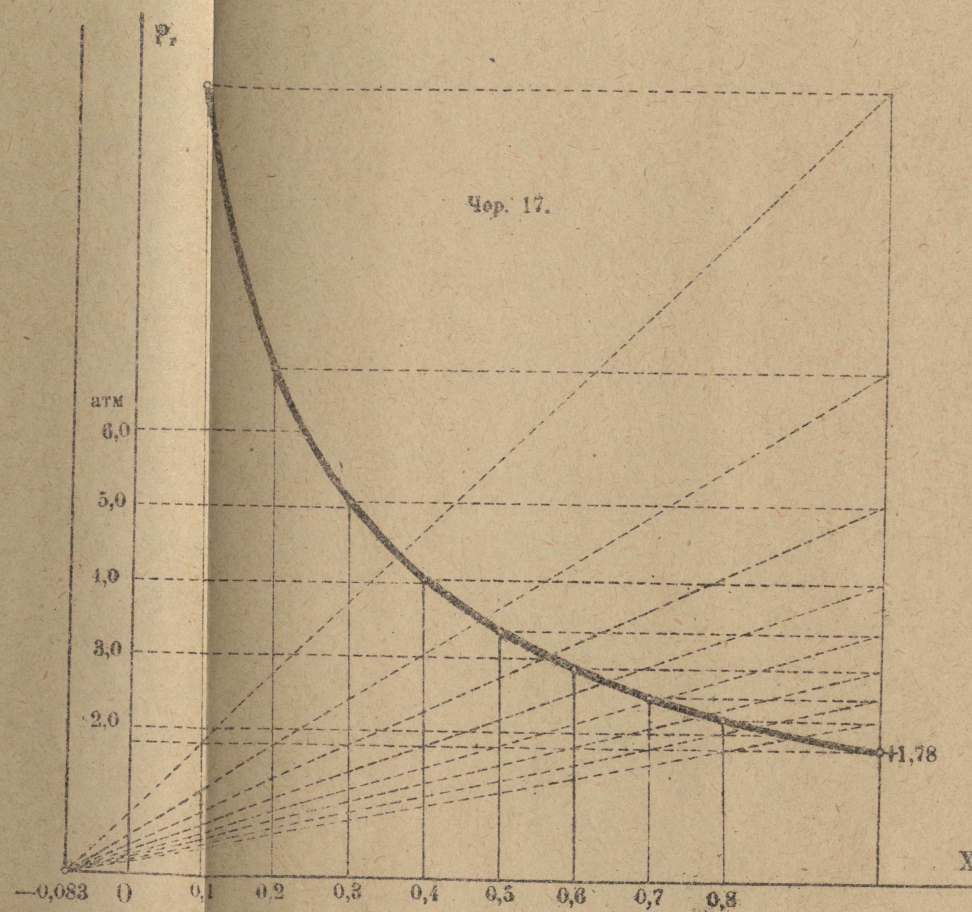
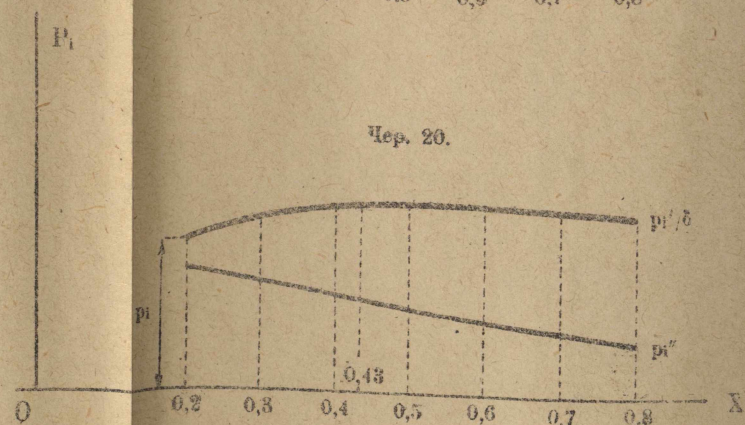
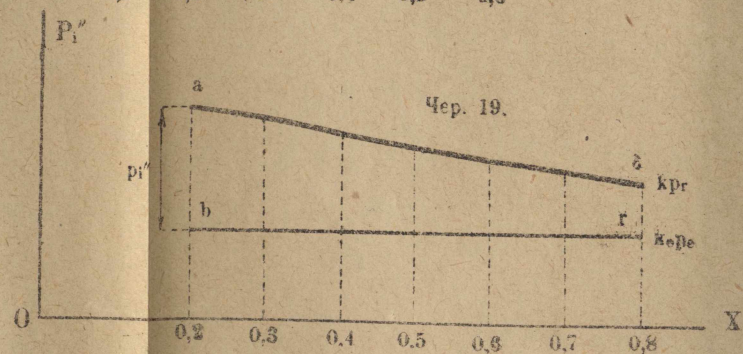
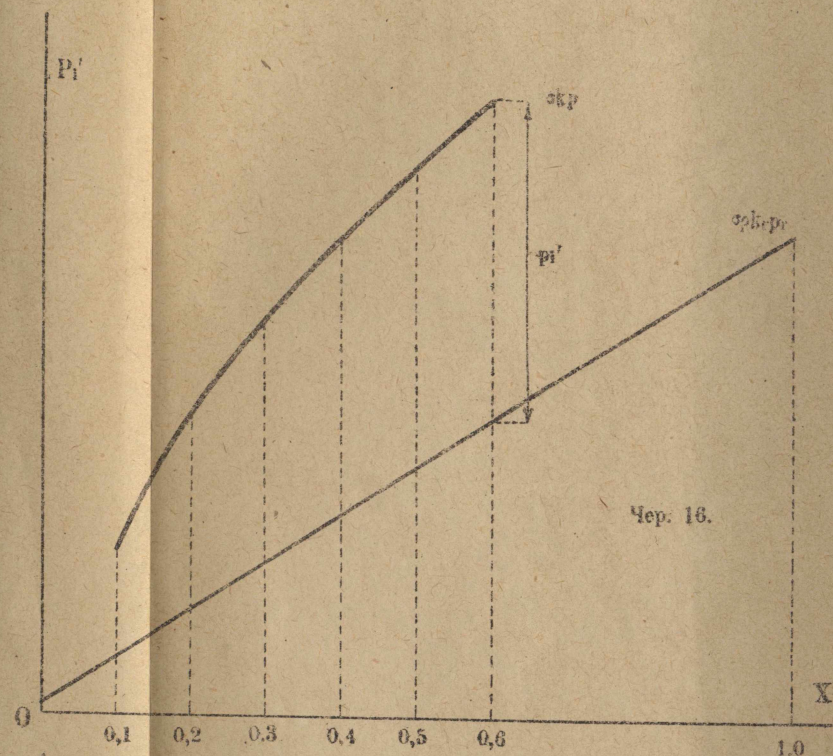
Этими частными случаями и позволительно ограничиться для иллюстрации применения к машинам двукратного расширения перегретого пара равенства: $p \cdot T/T_n (\varepsilon + m_0) = \delta \cdot p_r (E + M_0)$ и гиперболы k_n (чер. 13), ибо эти случаи, будучи типовыми, в связи с изложенным относительно машин насыщенного пара, достаточно могут ориентировать в многочисленных и разнообразных положениях практики.

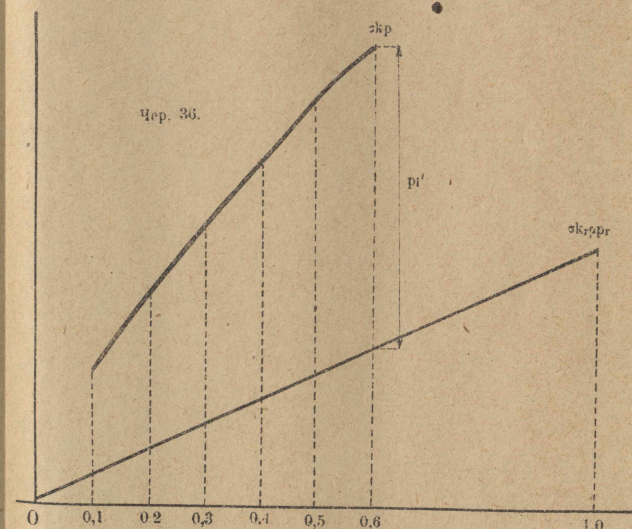
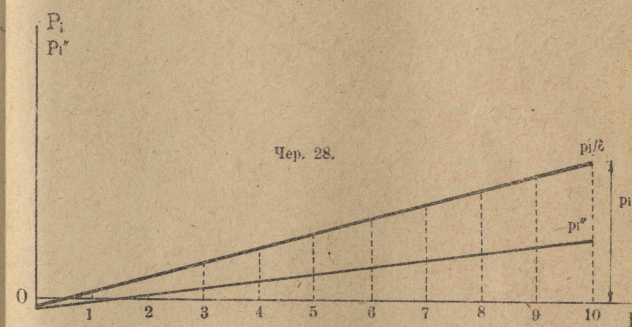
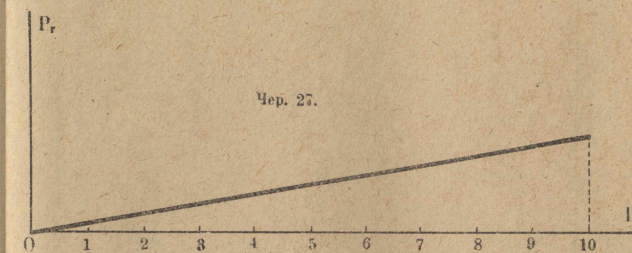
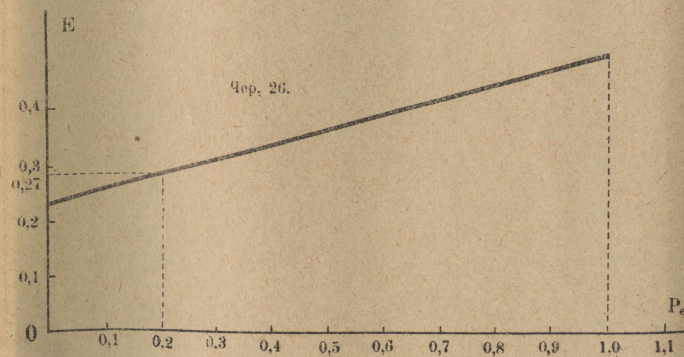
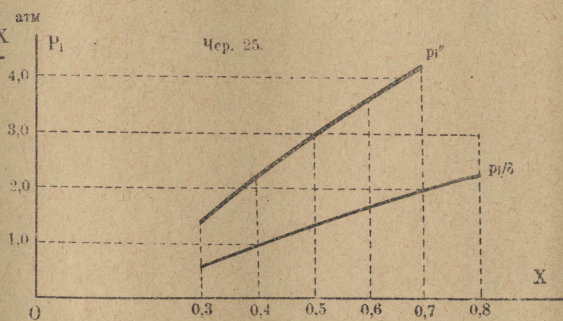
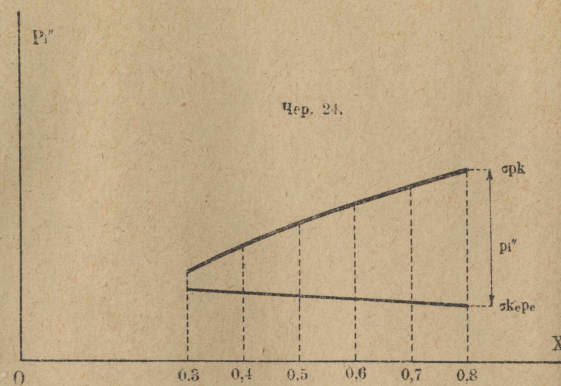
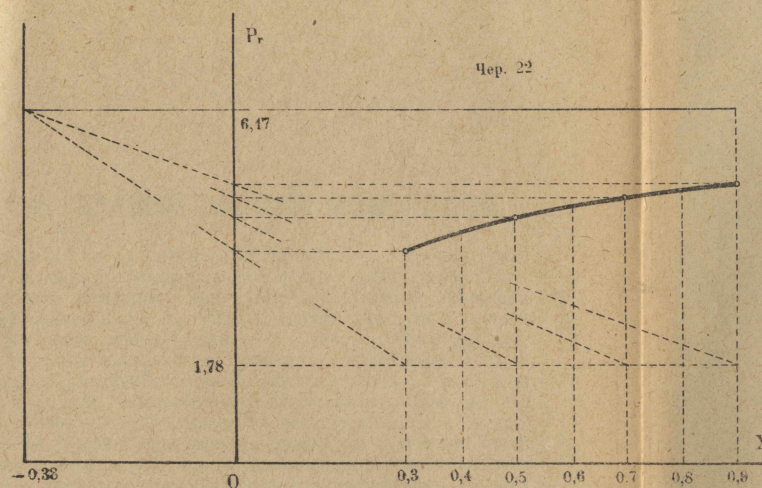
В заключение необходимо отметить, что разбавившиеся выше зависимости для коэффициентов переднего k и заднего k_e давлений, принятые за основные, выведены в согласии с существующей практикой в предположении постоянства коэффициентов α , β , φ , при изменении степеней наполнения ε и сжатия s . Между тем имеются данные предполагать, что последние коэффициенты меняются в свою очередь при изменении ε и s , будучи различны для разных типов парораспределения. Опытового материала для суждения о законах такого изменения имеется в литературе мало, почему в качестве одной из ближайших работ в паротехнической лаборатории Томского Технологического Института намечается установление таких зависимостей для α и β , как $f(\varepsilon)$, и φ , как $f(s)$.

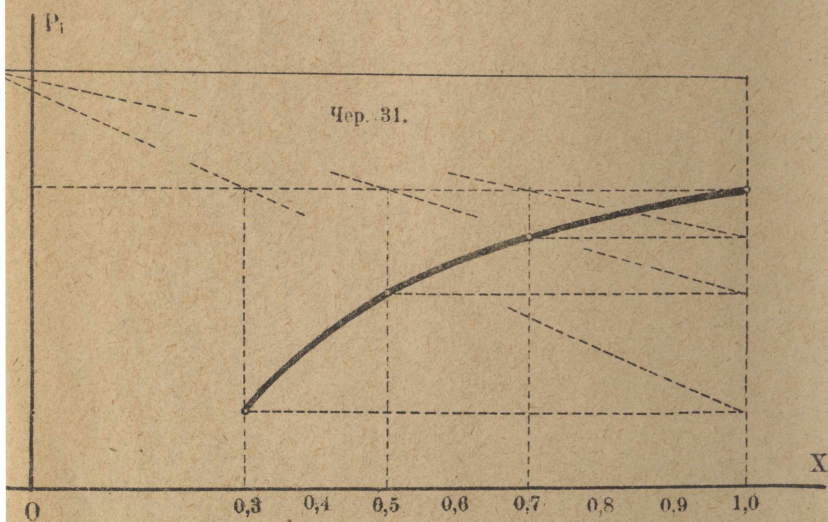
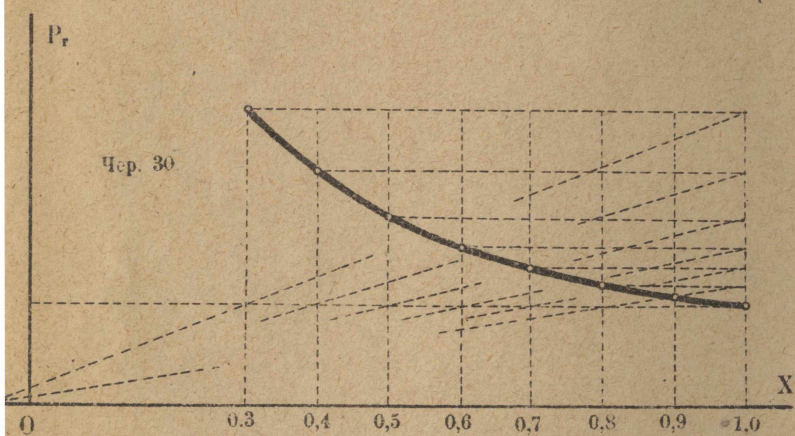
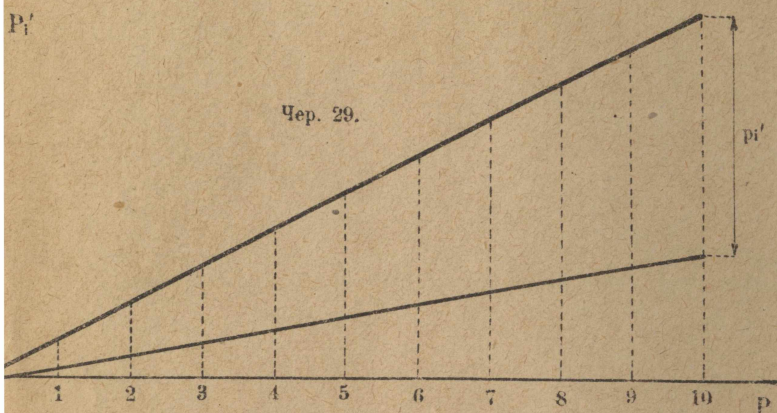




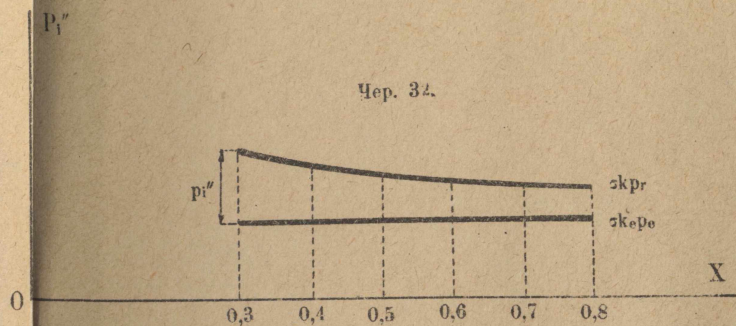




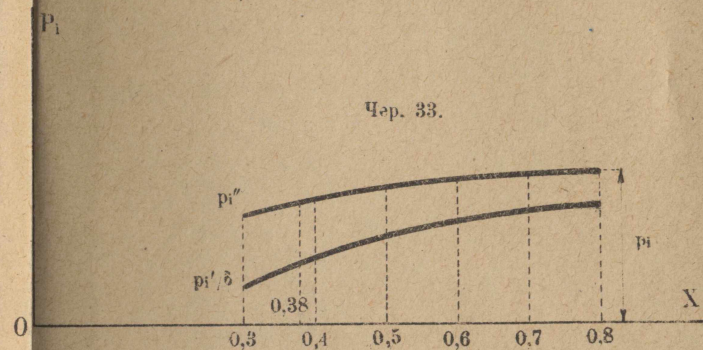




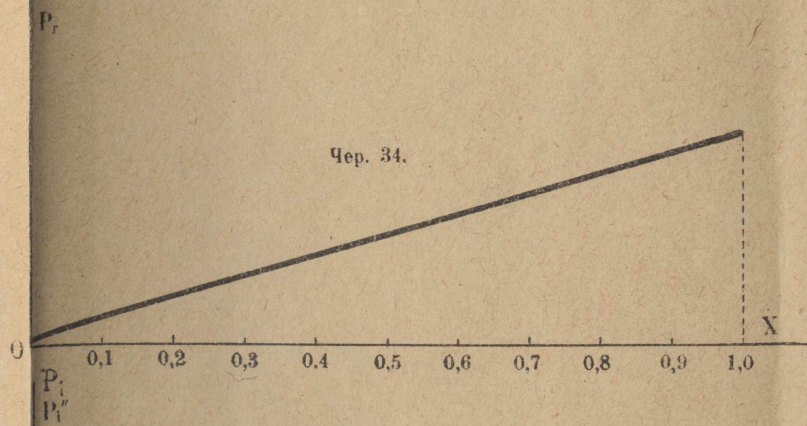
Чер. 32.



Чер. 33.



Чер. 34.



Чер. 35.

