

А. В. Угаровъ,

ПРОФЕССОРЪ ТОМСКАГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА ИМПЕРАТОРА НИКОЛАЯ II.

МАШИНА

СЪ ПРОМЕЖУТОЧНЫМЪ

ОТБОРОМЪ ПАРА.

РАБОЧІЙ РЕЖИМЪ МАШИНЫ,

КАКЪ ОСНОВА ЕЯ РАЗСЧЕТА.

СЪ 17 ФИГУРАМИ ВЪ ТЕКСТЪ И 6 ТАБЛИЦАМИ ЧЕРТЕЖЕЙ.

ТОМСКЪ,

ТИПО-ЛИТОГРАФІЯ СИБИРСКАГО ТОВАРИЩЕСТВА ПЕЧАТНАГО ДѢЛА.

1915.

ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

Стран.	Строка		Напечатано:	Должно быть:
5	10	снизу	x_3	x
7	11	„	горизонталь	горизонталь
9	7	сверху	O	O_1
10	3	снизу	цилиндръ	цилиндръ
11	1	сверху	въ	на
„	2	снизу	чертежахъ	чертежъ
13	7	„	цилиндръ	цилиндръ
„	4	„	сжатія	сжатія
14	11	сверху	отклоненія	отключенія
17	2	снизу	<i>К. Водописскимъ</i>	<i>Х. Водописскимъ</i>
24	18	„	пропущено:	низкаго давленія
27	21	„	l_3l_4	l_3l_4'
28	7	„	алгебраическая	алгебраическая
30	7	„	$0,4$	$0,5$
34	10	„	аналитическое	аналитически
„	6	„	равнялось	равнялось
39	8	„	$7,5$	$7,6$
„	6	„	O_2t''	O_2t_2
43	15	сверху	изслѣдованіи	изслѣдованіи
50	15	„	полный,	полный
59	1	„	разби,	разби-
60	11	„	діаграммахъ	діаграммахъ --
65	5	„	(табл. V)	(черт. табл. V)
„	6	„	табл. VI	черт. табл. VI
71	12	„	разбираемымъ	разбираемыхъ
76	3	„	15 мт.	14 мт.
77	11	„	Q	Q_i
„	13	„	Q	Q_i
„	таблица		Q	Q_i
78	таблица		Q	Q_i
85	4	снизу	$2,153$	$2,513$
86	13	„	$2,153$	$2,513$
„	8—9	„	отбираемый	отбираемый
Въ текстѣ вездѣ			балансъ	балансъ

Введение.

Излагаемая ниже работа имѣетъ предметомъ изслѣдованія явленія, происходящія въ машинѣ съ отборомъ пара при измѣняющихся величинахъ, какъ самого отбора, такъ и нагрузки машины.

Понимая подъ *рабочимъ процессомъ паровой машины* при ея установившемся состояніи всю совокупность *периодически повторяющихся въ неизмѣнной послѣдовательности явленій, претерпѣваемыхъ средленнымъ, впущеннымъ въ машину, количествомъ пара за все время нахожденія его въ машинѣ*, авторъ поставилъ себѣ цѣлю: выяснитъ на основаніи изученія рабочаго процесса машинъ съ отборомъ пара условія подсчета работы и проектированія машинъ подобнаго рода.

Теоретическія изслѣдованія аналогичнаго характера ведутся обычно однимъ изъ слѣдующихъ методовъ. Одинъ методъ, которому слѣдуетъ *Reutlinger* *), состоитъ въ томъ, что предполагаютъ машину, работающую безъ потерь, и тѣмъ самымъ считаютъ *изминимъ вычерчиваніе индикаторныхъ диаграммъ* изучаемой машины, ведя весь расчетъ по отношенію къ количеству тепла, заключенному въ парѣ, проходящемъ черезъ машину за определенное время.

Другой методъ, котораго придерживается *L. Schneider***), основанъ на *примѣрномъ вычерчиваніи индикаторныхъ диаграммъ* для каждаго изъ цилиндровъ машины, при чемъ *по возможности* учитываются—на основаніи опытныхъ данныхъ различныхъ экспериментаторовъ—всѣ происходящія въ машинѣ потери и, на основаніи полученныхъ при подобномъ построеніи диаграммъ, выводятся условія работы машины при отборѣ отъ нея пара.

L. Schneider строитъ при своихъ изслѣдованіяхъ рядъ рэнкинизированныхъ диаграммъ. Подобнаго рода диаграммы, позволяя судить о количествѣ и характерѣ работы, доставляемой каждымъ изъ цилин-

*) *E. Reutlinger*—Die Zwischendampfverwertung in Entwicklung, Theorie und Wirtschaftlichkeit. Berlin—1912.

**) *L. Schneider*—Über die Verwertung des Zwischendampfes und des Abdampfes der Dampfmaschinen zu Heizzwecken. Berlin—1910.

L. Schneider—Die Abwärmeverwertung im Kraftmaschinenbetrieb. Berlin—1912.

дровъ машины въ отдѣльности, вмѣстѣ съ тѣмъ не обладаютъ наглядностью изображенія отдѣльныхъ частей рабочаго процесса съ точки зрѣнія одновременнаго дѣйствія парораспредѣлительныхъ органовъ каждаго изъ ея цилиндровъ и со стороны явленій, происходящихъ въ ресиверѣ, попеременно сообщаемыхъ со всѣми полостями каждаго изъ цилиндровъ.

Наиболѣе нагляднымъ и удобнымъ—въ указанномъ смыслѣ—является способъ совмѣстнаго начертанія индикаторныхъ диаграммъ обоихъ цилиндровъ, предложенный *Schröter*'омъ.

Авторъ излагаемой ниже работы рѣшилъ въ своемъ изслѣдованіи пойти по промежуточному изъ указанныхъ выше двухъ методовъ, именно: авторъ предполагаетъ машину безъ потерь, происходящихъ отъ теплообмѣна между паромъ и стѣнками цилиндра, безъ потерь отъ пропусканія пара черезъ неплотности машины, отъ излученія въ пространство, безъ потерь отъ мятія пара, производимаго распределительными приборами, и безъ потерь отъ тренія. Словомъ, предполагается *наличие идеальныхъ условій*, при которыхъ возможно допустить постоянное существованіе во всѣхъ полостяхъ машины сухого насыщеннаго пара, подчиняющагося закону *Мариотта* $pv=c$.

Такъ какъ при указанныхъ условіяхъ въ машину будетъ поступать количество пара, зависящее лишь отъ періодовъ наполненія и сжатія въ цилиндрѣ высокаго давленія, то опредѣленіе расхода пара на одну силу въ часъ само собою можетъ относиться только къ такъ называемому *полезному расходу* пара.

Вотъ для такой то машины, опираясь—какъ будетъ указано въ свое время—на введеніе въ ея рабочей процессъ *фактивнаго* цилиндра отбора, выстраиваются авторомъ диаграммы *Schröter*'а для различныхъ условій работы машины и по нимъ изучается зависимость между обнаружившимися измѣненіями различныхъ періодовъ и факторовъ рабочаго процесса.

Какъ слѣдствіе сдѣланныхъ допущеній принято, что смѣшеніе паровъ подчиняется закону *Дальтона*, по которому давленіе смѣси

$$p_m = \frac{p_1 v_1 + p_2 v_2 + p_3 v_3 + \dots}{v_1 + v_2 + v_3 + \dots}$$

Ради ясности начертанія отдѣльныхъ фазъ рабочаго процесса принимается, что давленіе смѣси пара въ двухъ или нѣсколькихъ сообщившихся между собою объемахъ устанавливается *мгновенно*. Въ различныхъ случаяхъ давленіе смѣси опредѣляется или аналитически или графически по методу *Mönch*'а (при условіи, что окончательный объемъ смѣси не мѣняется).

При изслѣдованіи рабочаго процесса паровыхъ машинъ приходитса находить давленіе смѣси и при условіи, что смѣшивающіеся объемы измѣняютъ свою величину. Сообщающіяся между собою рабочія полости различныхъ цилиндровъ машины при движеніи ихъ поршней даютъ намъ какъ разъ примѣръ подобныхъ условій.

Нахожденіе давленія смѣси въ подобныхъ случаяхъ проще всего свести къ нахожденію точки пересѣченія равностороннихъ гиперболъ, выражающихъ собою графически измѣненія состоянія пара для каждаго изъ смѣшивающихся количествъ.

Въ задачѣ нахожденія точки пересѣченія двухъ гиперболъ могутъ быть два же случая: а) центры обѣихъ гиперболъ лежатъ по *разныя стороны* отъ точки ихъ встрѣчи (см. *фиг. 1*) и б) эти центры находятся по *одну сторону* отъ искомой точки (*фиг. 2*).

Для случая смѣси двухъ количествъ пара при постоянномъ объемѣ мы имѣемъ, что давленіе смѣси

$$p_x = \frac{p_1 v_1 + p_2 v_2}{v_1 + v_2}.$$

Для случая измѣняющихся объемовъ результирующій—соотвѣтствующій опредѣленному моменту рабочаго процесса—объемъ v , занятый смѣшавшимися количествами пара, будетъ равенъ:

$$v = v_1 + v_2 \pm v_3.$$

Тогда, для давленія смѣси, мы получимъ слѣдующее аналитическое выраженіе:

$$p'_x = \frac{p_1 v_1 + p_2 v_2}{v_1 + v_2 \pm v_3},$$

откуда, зная постоянныя соотвѣтственныхъ гиперболъ $p_1 v_1 = c_1$ и $p_2 v_2 = c_2$, имѣемъ

$$p'_x = \frac{c_1 + c_2}{v},$$

т. е. давленіе смѣси при измѣняющихся объемахъ равно суммѣ соотвѣтственныхъ постоянныхъ, дѣленныхъ на окончательный объемъ.

Указанный вопросъ легко рѣшается и графически *).

Такъ какъ построеніемъ отдѣльныхъ точекъ равносторонней гиперболы мы всегда можемъ найти объемы, занимаемые паромъ при опредѣленномъ давленіи, то примемъ всегда легко вводимое условіе: *начальныя* давленія смѣшивающихся объемовъ *одинаковы*.

Такимъ образомъ, мы имѣемъ слѣдующія данныя:

$$p_1 v_1 = c_1, p_2 v_2 = c_2 \text{ и } p_1 = p_2.$$

*) А. Угаровъ. Изъ практики чертежнаго зала. Журн. О-ва Сиб. Инж. 1915 г. № 2.

По принятымъ на *фиг. 1* обозначеніямъ мы имѣемъ:

$$p_x(v_1+x) = p_1v_1,$$

$$p_x(v_3-x+v_2) = p_2v_2.$$

Для почленно другъ на друга эти равенства и произвоя сокращения, получаемъ пропорцію:

$$\frac{v_1+x}{v_3-x+v_2} = \frac{v_1}{v_2},$$

откуда, опираясь на свойства разности предыдущихъ и послѣдующихъ, имѣемъ:

$$\frac{x}{v_3-x} = \frac{v_1}{v_2}.$$

Слѣдовательно, чтобы найти точку пересѣченія линіи 0_10_2 — оси объемовъ — съ вертикалью, проходящей черезъ искомую точку пересѣченія гиперболъ, надо раздѣлить *внутреннимъ образомъ* отрѣзокъ $AB = v_3$ на части, пропорціональныя даннымъ первоначальнымъ объемамъ v_1 и v_2 .

Для этого откладываемъ по *разныя стороны* линіи 0_10_2 отрѣзки $AC = AO_1 = v_1$ и $BD = BO_2 = v_2$. Прямая, соединяющая точки C и D , даетъ точку E вертикали EG . Имѣя эту вертикаль, обычнымъ для равностороннихъ гиперболъ построениемъ, находимъ искомую точку F — общую обѣимъ кривымъ.

Для случая, когда точка пересѣченія гиперболъ находится *по одну сторону* отъ обоихъ началъ координатъ, при прежнихъ же данныхъ имѣемъ согласно обозначеній *черт. 2*:

$$p_x(v_1+x) = p_1v_1$$

и
$$p_x(x-v_3+v_2) = p_2v_2,$$

откуда, по свойству пропорціи, получаемъ:

$$\frac{x}{x-v_3} = \frac{v_1}{v_2}.$$

т. е. для нахождения положенія ординаты искомой точки пересѣченія надо раздѣлить отрѣзокъ $AB = v_3$ *внѣшнимъ путемъ* на части пропорціональныя даннымъ объемамъ.

Откладывая *по одну сторону* линіи 0_10_2 на соответственныхъ вертикаляхъ отрѣзки $AC = AO_1 = v_1$ и $BD = BO_2 = v_2$, проводимъ прямую CD , дающую намъ точку E . На вертикали EG обычнымъ путемъ находимъ точку F пересѣченія гиперболъ.

Въ обоихъ разобранныхъ примѣрахъ точка F опредѣляетъ собою искомое давленіе смѣси p_x .

Давленіе смѣси для нѣсколькихъ сообщающихся объемовъ можетъ быть найдено подобнымъ же приемомъ, послѣдовательно примѣняемымъ.

Для выявленія разницы между рабочими процессами машины **Tandem** обычного типа и машиною **Tandem** съ отборомъ пара, а также для лучшаго выясненія отдѣльныхъ періодовъ этого послѣдняго процесса, авторъ счелъ необходимымъ рассмотретьъ и для первой изъ указанныхъ машинъ ея рабочей процессъ во всѣхъ его отдѣльныхъ фазахъ.

Такимъ образомъ, изложеніе произведеннаго изслѣдованія само собою распадается на слѣдующія части:

- a) графическое изображеніе рабочаго процесса машины *Tandem* обычного типа;
- b) графическое изображеніе рабочаго процесса машины *Tandem* съ промежуточнымъ отборомъ пара;
- c) примѣрный подсчетъ машины *Tandem* безъ охлажденія и опредѣленіе границъ возможнаго промежуточнаго отбора пара;
- d) примѣрный подсчетъ машины *Tandem* съ охлажденіемъ (при невысокомъ вакуумѣ) и опредѣленіе границъ возможнаго отбора;
- e) изслѣдованіе условій работы машины при *переменномъ* отборѣ пара *постояннаго* давленія;
- f) изслѣдованіе условій работы машины при *переменномъ* отборѣ пара *переменнаго* давленія;
- g) установленіе совокупности различныхъ условій работы разобранный машины, какъ основы проектированія машинъ подобнаго рода;
- h) заключеніе; общіе выводы.

Во избѣжаніе неясностей здѣсь уместно будетъ указать, что при дальнѣйшемъ изложеніи подъ *правой* и *лввой* рабочими полостями, *правымъ* и *лввымъ* мертвыми положеніями подразумѣваются таковыя, согласно ихъ расположенію на соотвѣтственныхъ чертежахъ.

Подъ *конечнымъ давленіемъ* расширенія—(p_e) и сжатія—(p_c) понимаются давленія, соотвѣтствующія мертвымъ положеніямъ *першня при отсутствіи* періодовъ предваренія выпуска и впуска. Давленія пара *въ концѣ періодовъ* расширенія и сжатія, иначе, въ моменты предваренія выпуска и впуска обозначаются: для перваго—(p_3) и для втораго—(p_1). Обозначенія величинъ, относящихся къ цилиндру высокаго давленія, сопровождаются однимъ штрихомъ ('), таковыя же цилиндра низкаго давленія отмѣчаются двумя штрихами ('').

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

Графическое изображеніе рабочаго процесса машины Tandem обычнаго типа.

Допустимъ, что намъ извѣстны слѣдующія величины:

- p_e —давленіе въ *klg* на 1 см^2 впускаемаго въ машину пара,
 p_a —давленіе выходящаго изъ машины пара,
 S_1 —объемъ цилиндра высокаго давленія,
 m_1 —объемъ его вреднаго пространства,
 S_2 —объемъ цилиндра низкаго давленія,
 m_2 —объемъ его вреднаго пространства,
 R —объемъ ресивера,
 S_0 —степень наполненія въ $\%$ объема цилиндра высокаго давленія,
 p_c' и p_c'' —конечныя давленія сжатія въ обоихъ цилиндрахъ.

Согласно методу *Schröter*'а мы предполагаемъ всѣ объемы отнесенными къ площади поршня большаго цилиндра; такимъ образомъ, величины S_1 , S_0 , m_1 , m_2 и R выражены въ соотвѣтствующихъ частяхъ S_2 —общаго хода поршней машины.

Откладываемъ въ нѣкоторомъ масштабѣ на верхней горизонтали (*черт. 1, табл. I*) послѣдовательно величины S_1 , m_1 , R , m_2 и S_2 и проводимъ черезъ всѣ точки, ограничивающія отложенные отрѣзки, вертикальныя линіи. На произвольномъ разстояніи, достаточномъ однако для помѣщенія объемныхъ и индикаторныхъ діаграммъ, отъ верхней горизонтальной линіи проводимъ нижнюю горизонталь, которая является основаніемъ чертежа и вмѣстѣ съ тѣмъ линіей *абсолютнаго нулеваго давленія*. На этой послѣдней линіи отмѣтимъ точки O_1 и O_2 , полученныя при пересѣченіи вертикалей, ограничивающихъ объемъ ресивера.

Для возможности учитывать объемы, описываемые поршнями машины, строимъ подъ отрѣзками S_1 и S_2 соотвѣтственныя объемныя діаграммы. Построеніе этихъ діаграммъ произведемъ наиболѣе удобнымъ, вполне точнымъ и простымъ способомъ, дающимъ объемныя діаграммы независящими отъ длины шатуна, что не мѣшаетъ, когда это надо, учитывать и вліяніе конечной длины этого послѣдняго. Примѣняемый

способъ основанъ на томъ, что на вертикаляхъ, ограничивающихъ объемную діаграмму, откладываются отрѣзки пропорціональныя частямъ хода поршня, являющимся функціями угловъ поворота кривошипа.

При этомъ условіи, объемы, описанные поршнемъ, будучи прямо пропорціональными соответственнымъ его ходамъ, графически выражаются *прямыми* линиями.

Такъ какъ въ *Tandem*—машинѣ оба поршня движутся согласно и описываютъ полные объемы въ одно и тоже время, то, очевидно, объемныя діаграммы для обоихъ цилиндровъ, дабы быть связанными между собою по времени, должны быть построены такъ, чтобы мертвыя положенія поршней (въ объемныхъ діаграммахъ) лежали на однихъ горизонталяхъ. На *черт. 1 (табл. I)* объемной діаграммѣ (1—2—3) цилиндра высокаго давленія соотвѣтствуетъ объемная діаграмма (5—6—7) цилиндра низкаго давленія; попарно точки (1—5), (2—6), (3—7) лежатъ на общихъ горизонталяхъ. При такомъ взаимномъ расположеніи объемныхъ діаграммъ, объемы, описанные одновременно поршнями обоихъ цилиндровъ, легко находятся проведеніемъ горизонтали черезъ точку, соотвѣтствующую на какой либо одной изъ діаграммъ разбираемому моменту рабочаго процесса.

Начертивъ объемныя діаграммы, перейдемъ къ построенію индикаторныхъ діаграммъ работы пара въ каждомъ изъ цилиндровъ.

Начнемъ съ цилиндра высокаго давленія. Отъ точки O_1 , на вертикали, черезъ нее проходящей, отложимъ въ избранномъ масштабѣ давленіе p_0 впуска въ машину и проведемъ горизонтальную линію. Отъ мертваго положенія поршня на этой линіи нанесемъ $ab = S_0$ —*степени наполненія* цилиндра высокаго давленія. Снося точку b (моментъ отсѣчки цилиндра высокаго давленія) на объемную діаграмму, мы видимъ, что въ періодъ наполненія объема пара, притекающаго въ цилиндръ, измѣняются какъ горизонтальные отрѣзки между (1— B) и вертикалью черезъ точку O_1 .

Послѣ отсѣчки заключенный въ цилиндрѣ паръ долженъ заполнять, освобождаемые при дальнѣйшемъ движеніи поршня, объемы и давленіе его должно падать. Графически это измѣненіе давленія, выражая собою законъ *Мариотта* $pv = c$, изобразится равносторонней гиперболой, отнесенной къ своимъ асимптотамъ, какъ къ координатнымъ осямъ. Осями этими будутъ на чертежѣ оси p и v . Линія O_0O_4 , какъ было упомянуто ранѣе, являясь линіей нулеваго давленія, вмѣстѣ съ тѣмъ служитъ и осью объемовъ для индикаторныхъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ. Для вычерчиванія *Мариоттовой* кривой, проходящей черезъ точку b , намъ надо отыскать начало координатъ. Этому

началу координатъ соответствуетъ условіе: $p=0, v=0$. Слѣдовательно, осью p для разбираемаго періода пара (расширеніе въ цилиндрѣ высокаго давленія) будетъ линія, соответствующая нулевому объему заключеннаго въ цилиндрѣ пара. Такой нулевой объемъ получится, если мы продвинемъ мысленно поршень до конца вреднаго пространства. Отсюда мы заключаемъ, что осью p должна служить вертикаль, проходящая черезъ точку O .

Построивъ однимъ изъ извѣстныхъ въ геометріи способовъ равно-стороннюю гиперболу, проходящую черезъ точку b , пользуясь точкой O_1 какъ центромъ, мы получимъ графическое изображеніе измѣненія давленій пара въ періодъ расширенія въ маломъ цилиндрѣ.

Зададимся моментомъ *предваренія выпуска* пара изъ цилиндра высокаго давленія въ ресиверъ. Отложимъ соответственныя точки C и c на объемной и индикаторной діаграммахъ.

Въ моментъ предваренія выпуска паръ изъ цилиндра переходитъ въ ресиверъ, въ свою очередь—при установившемся состояніи машины—заполненный паромъ. Такъ какъ ресиверъ сообщается то съ однимъ, то съ обоими цилиндрами, то давленіе заключающагося въ немъ пара является величиною переменною. Подъ ресивернымъ давленіемъ пара мы будемъ подразумѣвать вездѣ въ дальнѣйшемъ давленіе пара въ ресиверѣ, соответствующее моменту предваренія выпуска изъ цилиндра высокаго давленія.

Для улучшенія условій выхода пара изъ малаго цилиндра устраиваютъ *паденіе давленія* при сообщеніи цилиндра съ ресиверомъ. Достигается это соответственнымъ выборомъ ресивернаго давленія p_r .

При построеніи рабочаго процесса давленіе смѣси—различныхъ количествъ пара различнаго давленія—мы будемъ опредѣлять графически пользуясь методомъ *Mönch'a*.

Зададимся нѣкоторымъ паденіемъ давленія пара въ моментъ предваренія выпуска, равнымъ въ масштабѣ давленій отрѣзку cd^*). Тогда давленіе смѣси—пара, заключавшагося передъ этимъ моментомъ въ маломъ цилиндрѣ, съ паромъ, заполняющимъ ресиверъ,—опредѣлится ординатой точки d , измѣренной отъ линіи O_0O_1 . Это давленіе при методѣ *Mönch'a* находится на перпендикулярѣ, возстановленномъ на границѣ,—отложенныхъ послѣдовательно,—смѣшивающихся объемовъ. Такимъ перпендикуляромъ является вертикаль, проходящая черезъ точку O_1 . Дѣйствительно—слѣва отъ нея имѣется уже отложенный объемъ пара, соответствующій точкѣ C , справа же объемъ ресивера.

*) См. *черт. 2, табл. I*, гдѣ въ увеличенномъ масштабѣ показаны соответственныя части индикаторныхъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ.

Такимъ образомъ, чтобы найти, необходимое для заданнаго паденія давленія, ресиверное давленіе, мы сносимъ по горизонталямъ точку d въ d_1 на вертикаль O_1 и точку c въ c_1 на вертикаль O_2 . Соединяя прямой линіей точки c_1 и d_1 , мы получимъ искомое ресиверное давленіе на ординатѣ C въ видѣ отрезка fk .

Послѣ того, какъ въ маломъ цилиндрѣ и ресиверѣ мгновенно установилось общее давленіе, при дальнѣйшемъ движеніи поршня къ лѣвому мертвому положенію происходитъ *расширеніе пара* въ двухъ сообщенныхъ между собою объемахъ. Повторяя изложенныя выше разсужденія, мы приходимъ къ заключенію, что началомъ координатъ соотвѣтствующей *Мариоттовой* кривой является точка O_2 , характеризующая собою нулевой объемъ для разсматриваемаго періода рабочаго процесса.

Періодъ расширенія пара, по кривой, выстроенной изъ центра O_2 , будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не наступитъ моментъ *предваренія впуска* пара въ цилиндръ *низкаго* давленія. Предвареніе впуска, какъ извѣстно, знаменуетъ собою конецъ соотвѣтственнаго *періода сжатія*.

Задавшись, въ зависимости отъ системы парораспределенія большаго цилиндра, моментомъ предваренія впуска, мы проводимъ соотвѣтствующую вертикаль (на чертежѣ: $I-n_2$). Отложимъ затѣмъ на лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня цилиндра *низкаго* давленія отъ линіи O_0O_4 конечное давленіе сжатія p_c'' и построимъ кривую сжатія, пользуясь для этого центромъ O_2 , характеризующимъ собою нулевой объемъ разбираемаго періода. Полученная кривая въ пересѣченіи съ ординатой предваренія впуска даетъ точку n'' , опредѣляющую собою давленіе и объемъ количества пара, находящагося въ большомъ цилиндрѣ въ моментъ его сообщенія съ ресиверомъ и малымъ цилиндромъ. Въ общемъ случаѣ давленіе это менѣе существующаго въ даннй моментъ давленія пара, заключеннаго въ сообщающихся съ большимъ цилиндромъ объемахъ, т. к. конечное давленіе сжатія p_c'' выбирается лишь такимъ, чтобы оно обезпечивало плавный безударный ходъ машины.

Такимъ образомъ мы видимъ, что вступившій въ дѣйствіе факторъ влечетъ за собою *новое паденіе давленія* пара въ маломъ цилиндрѣ и ресиверѣ и соотвѣтственный *подъемъ давленія* въ большомъ цилиндрѣ. Для опредѣленія происходящаго измѣненія давленія пара, пользуясь опять таки методомъ *Mönch'a*, отложимъ на ординатѣ ($I-n_2$) давленіе, имѣющееся въ разбираемый моментъ въ маломъ цилиндрѣ и ресиверѣ, а на ординатѣ точки e —соотвѣтственно давленіе $p_1''=n_2n''$. Соединяя прямой линіей полученныя точки, мы опредѣляемъ искомое давленіе

смѣси въ вертикали O_2 , являющейся для даннаго случая разграничивающей объемы линіей*). Нанеся полученное давленіе на соответственныя ординаты индикаторныхъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ, мы можемъ идти далѣе.

Послѣ момента предваренія впуска пара въ большой цилиндръ оба поршня продолжаютъ двигаться къ своимъ *мвм* мертвымъ положеніямъ. Наступившій періодъ характеризуется сообщеніемъ между собою *правой* рабочей полости малаго цилиндра, ресивера и *лввой* рабочей полости большого цилиндра. Въ зависимости отъ движенія поршней давленіе пара во всѣхъ этихъ объемахъ будетъ измѣняться одновременно и одинаково. Очевидно, что — при совмѣстномъ движеніи поршней — объемъ, описанный поршнемъ малаго цилиндра, будетъ меньше объема, соответственнаго описаннаго поршнемъ большого цилиндра.

Въ результатѣ, поршень большого цилиндра, придвигаясь къ своему лѣвому мертвому положенію, уменьшаетъ общій объемъ пара значительно, чѣмъ этотъ объемъ увеличивается соответственнымъ ходомъ поршня малаго цилиндра. Ясно, что въ разбираемомъ періодѣ паръ будетъ *сжиматься* и давленіе его поднимется.

Когда поршни достигнутъ своего лѣваго мертваго положенія и начнутъ двигаться обратно, будетъ происходить слѣдующее: паръ, выталкиваемый изъ цилиндра высокаго давленія въ ресиверъ, переходитъ изъ этого послѣдняго въ цилиндръ низкаго давленія. Объемы, освобожденные поршнемъ большого цилиндра, болѣе таковыхъ, описанныхъ соответственнаго поршнемъ малаго цилиндра.

Общій объемъ сообщенныхъ между собою пространствъ увеличивается; паръ, заключающійся въ рассматриваемомъ объемѣ, *расширяется* и давленіе его падаетъ. Разбираемый нами періодъ является въ сущности *періодомъ наполненія* большого цилиндра. Итакъ, *во время наполненія большого цилиндра происходитъ расширение пара во всѣхъ сообщенныхъ между собою полостяхъ машины*. Графически это расширение должно выразиться опять таки равносторонней гиперболой. Такъ какъ наполненію большого цилиндра соответствуетъ выпускъ изъ малаго цилиндра, то, очевидно, одному и тому же измѣненію давленія пара заключеннаго въ общемъ объемѣ, должны соответствовать въ изображеніи рабочаго процесса *два* ординаты, каждая отдѣльно въ индикаторной діаграммѣ каждаго изъ цилиндровъ. Разбираемое измѣненіе давленія представится на чертежахъ *двумя* равносторонними гиперболами, выражающими **одно и тоже** измѣненіе состоянія пара,

*) См. точки g' и g'' на черт. 2, табл. I.

нанесенное на соответствующих ходахъ обоихъ поршней. По существу, эти кривыя представляютъ собою, слѣдовательно, **одну и ту же Мариоттову** кривую, вычерченную дважды съ *различнымъ* масштабомъ абсциссъ (объемовъ) для каждаго случая.

Ясное дѣло, что абсциссы обѣихъ гиперболъ должны относиться между собою, какъ соответственные объемы цилиндровъ, т. е. какъ $S_1:S_2$; величина же абсциссъ сдѣлается известной, когда будетъ определено начало координатъ — *нулевой* объемъ, одновременно соответствующій обѣимъ кривымъ.

Такъ какъ осью объемовъ этихъ двухъ гиперболъ, выражающихъ собою, какъ уже указано, одно и тоже измѣненіе состоянія пара, является общая обѣимъ индикаторнымъ диаграммамъ линія нулевыхъ давленій O_0O_4 и такъ какъ, съ другой стороны, обѣ кривыя согласно ходу рабочаго процесса обращены выпуклостью въ одну сторону, то и начало координатъ этихъ кривыхъ должно быть *общимъ*. Найдемъ это начало координатъ на продолженіи линіи O_1O_2 , являющейся, какъ уже сказано, одной изъ асимптотъ — осью объемовъ для индикаторныхъ диаграммъ. Началу координатъ соответствуютъ нулевой объемъ для разбираемаго періода рабочаго процесса.

Объемы пара для этого періода измѣняются пропорціонально отрѣзкамъ горизонталей, заключеннымъ между прямыми (2—3) и (6—7). Нулевому объему будетъ соответствовать отрѣзокъ равный нулю, определяемый, очевидно, точкою Q_1 пересѣченія продолженныхъ линій (2—3) и (6—7).

Если точка Q_1 находится за предѣлами чертежа, то для нулевого объема можно воспользоваться точкою Q пересѣченія линій (1—2) и (5—6), симметричныхъ первымъ, что и сдѣлано на *черт. 1 (табл. I)*.

Нулевой объемъ характеризуетъ собою вторую асимптоту, какъ перпендикуляръ къ линіи O_1O_2 , проходящій черезъ точку Q . Такимъ образомъ, искомое начало координатъ O_0 для гиперболъ, соответствующихъ разбираемому періоду измѣненія состоянія пара, нами найдено; началомъ всего этого періода, какъ мы указали выше, является моментъ предваренія впуска въ большой цилиндръ. Соответственное начальное состояніе пара, каждое въ своемъ масштабѣ абсциссъ, отмѣчено въ обѣихъ индикаторныхъ диаграммахъ точками g' и g'' . Пользуясь точками g' и g'' , мы проведемъ черезъ нихъ двѣ равностороннія гиперболы изъ центра O_0 , при чемъ части гиперболъ, лежащія **выше** точекъ g' и g'' , будутъ соответствовать *сжатію* пара при ходѣ обоихъ поршней къ лѣвому мертвому положенію; при обратномъ ходѣ поршней тѣ же кривыя въ цѣломъ будутъ выражать собою *расширеніе* пара. Такимъ образомъ, нами намѣченъ графическій ходъ выпуска пара изъ

малаго цилиндра и впуска его въ большой. Определеіе масштабовъ абсциссъ является излишнимъ, такъ какъ точка O_0 служитъ только вспомогательнымъ средствомъ для построенія гиперболъ. При своемъ расширеніи паръ занимаетъ объемы, измѣняющіеся какъ отрѣзки (въ масштабѣ чертежа) горизонталей между прямыми (2—3) и (6—7). Отрѣзки эти, какъ нетрудно видѣть, въ свою очередь пропорціональны абсциссамъ обѣихъ гиперболъ. Дѣйствительно, изъ *черт. 1.* имѣемъ:

$$\frac{2-6}{\gamma\delta} = \frac{\alpha-2}{\beta\gamma} = \frac{\alpha-6}{\beta\delta} = \frac{Q_1\alpha}{Q_1\beta}.$$

При вычерчиваніи разобранной части рабочаго процесса можно ограничиться построеніемъ гиперболы, проходящей черезъ какую либо одну изъ точекъ g' или g'' , разнеся давленія, опредѣляемая полученною гиперболою, помощью объемныхъ діаграммъ на соответственныя положенія поршня другого цилиндра.

Какъ мы видимъ изъ всего вышеизложеннаго, въ періодъ впуска въ большой цилиндръ давленіе пара постепенно понижается; ресиверъ сообщенъ съ обоими цилиндрами и, слѣдовательно, въ немъ происходитъ подобное же явленіе. Для правильнаго хода рабочаго процесса намъ необходимо подготовить ресиверъ къ сообщенію съ **лѣвой** рабочей полостью малаго цилиндра въ моментъ соответственнаго предваренія выпуска.

Слѣдовательно, къ этому моменту давленіе въ ресиверѣ надо довести до заданнаго ранѣе *ресивернаго давленія* p_r . Сдѣлать это можно, только *отключивъ большой цилиндръ* и **дожимая** оставшійся паръ въ ресиверѣ и сообщенной съ нимъ **правой** полостью малаго цилиндра.

Какъ только давленіе въ ресиверѣ поднимается до заданной величины, необходимо *отключить* ресиверъ отъ правой полости *малаго цилиндра*, оставивъ его изолированнымъ отъ обѣихъ цилиндровъ до момента сообщенія съ лѣвой рабочей полостью цилиндра высокаго давленія. Этимъ условіемъ опредѣляется: *моментъ отстыки* въ **лѣвой** полости большого цилиндра и долженствующій наступить моментъ отключенія малаго цилиндра отъ ресивера—*моментъ начала сжатія* въ **правой** полости цилиндра высокаго давленія.

Конечное давленіе сжатія p_c' въ маломъ цилиндрѣ намъ извѣстно. Началомъ координатъ для соответственной *Мариоттовой* кривой является, очевидно, точка O_1 . Пользуясь указанной точкой какъ центромъ, проводимъ гиперболу сжанія до пересѣченія въ точкѣ s съ горизонтальной линіей, проведенной отъ линіи O_0O_4 на разстояніи, соответствующемъ опредѣленному ранѣе ресиверному давленію. Точка s опредѣляетъ собою моментъ отключенія малаго цилиндра отъ реси-

зера. До наступленія этого момента, какъ было указано выше, въ ресиверѣ, сообщенномъ съ малымъ цилиндромъ, подъ дѣйствіемъ поршня этого послѣдняго, происходило постепенное повышеніе давленія пара до требуемаго. Ясно, что точка s характеризуетъ собою *конецъ* названнаго процесса и, слѣдовательно, принадлежитъ гиперболѣ *дожатія* пара въ ресиверѣ и маломъ цилиндрѣ. Начало координатъ этой гиперболы находится, очевидно, въ точкѣ O_2 . Проведя черезъ точку s гиперболу изъ центра O_2 до пересѣченія съ прежде вычерченной гиперболой общаго расширенія пара въ маломъ цилиндрѣ, ресиверѣ и большомъ цилиндрѣ, мы находимъ точку t' , опредѣляющую собою моментъ отклоненія малаго цилиндра и ресивера отъ большого цилиндра или искомый *моментъ отстычки* этого послѣдняго.

Задавшись, въ зависимости отъ системы парораспределительныхъ органовъ, *моментомъ предваренія* впуска (моментомъ конца періода сжатія) въ *маломъ* цилиндрѣ, мы тѣмъ самымъ опредѣляемъ точку n' на соотвѣтственной кривой сжатія. Соединяя прямой линіей точку n' съ точкой a , мы замыкаемъ индикаторную діаграмму цилиндра высокаго давленія.

Для дальнѣйшаго выполненія индикаторной діаграммы цилиндра низкаго давленія снесемъ точку t' на линію наполненія въ t'' и черезъ нее проведемъ гиперболу, соотвѣтствующую періоду *расширенія* пара только въ большемъ цилиндрѣ. Начало координатъ этой гиперболы находится въ точкѣ O_2 . Дополнивъ индикаторную діаграмму большого цилиндра нанесеніемъ соотвѣтственно выбраннаго момента *предваренія выпуска*, затѣмъ линіей выпуска, проведенной отъ линіи $O_0 O_4$ на разстояніи равномъ pa и дающей въ точкѣ пересѣченія съ ранѣе вычерченной гиперболой сжатія пара въ большомъ цилиндрѣ *моментъ начала сжатія*, мы замыкаемъ индикаторную діаграмму и большого цилиндра.

Опираясь на данныя числа оборотовъ и индикаторной мощности машины, опредѣливъ изъ вычерченныхъ діаграммъ расчетное среднее индикаторное давленіе, мы тѣмъ самымъ получаемъ возможность вычислить главнѣйшіе размѣры машины и перейти, если надо, къ расчету и конструированію ея частей.

На *черт. 1 (табл. I)* для большаго выдѣленія отдѣльныхъ періодовъ разобраннаго рабочаго процесса показаны, при посредствѣ объемныхъ діаграммъ различнаго рода штриховкой, всѣ объемы, послѣдовательно занимаемые порціей пара отъ момента *впуска* ея въ малый цилиндръ и до *выпуска* ея изъ большого цилиндра.

Послѣ того, какъ выясненъ и разобранъ характеръ отдѣльныхъ періодовъ рабочаго процесса машины *Tandem*, становится яснымъ и

и необходимый методъ повѣрки правильности, какъ проектированія процесса, такъ и его начертанія.

Дѣйствительно, въ машинѣ многократнаго расширения безъ потерь должно существовать и быть выполненнымъ одно простое условіе: *при установившемся состояніи машины черезъ каждый изъ ея цилиндровъ за одинъ ходъ поршня должно пройти такое количество пара, какое поступаетъ за тоже время въ цилиндръ высокаго давленія.*

Мы знаемъ, что на индикаторной діаграммѣ объемъ пара, вошедшаго въ машину за одинъ ходъ поршня, выражается отрѣзкомъ горизонтальной *линии впуска* пара между продолженной кривой сжатія пара и моментомъ отсѣчки.

Обобщая это положеніе, мы можемъ сказать: *объемъ пара, прошедшаго за одинъ ходъ поршня черезъ цилиндръ машины для каждого даннаго произвольнаго давленія выражается въ индикаторной діаграммѣ отрѣзкомъ соотвѣтственной горизонтальной линии между гиперболами расширения и сжатія.*

Слѣдовательно, проводя на нѣкоторомъ разстояніи (*черт. 1 таб. I*) параллельно оси O_3O_4 линію $p'q'$, мы получимъ, что—для соотвѣтственнаго давленія p_x — объемъ вошедшаго въ малый цилиндръ пара выразится отрѣзкомъ $p'q' = v_1 - v_2$, гдѣ v_1 и v_2 объемы расширяющагося и сжимаемаго пара. На этой же прямой находимъ точки ея пересѣченія съ соотвѣтственными гиперболами расширения и сжатія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія, которыя и опредѣляютъ величину отрѣзка $p''q'' = v_3 - v_4$.

При правильномъ построеніи рабочаго процесса, на основаніи сказаннаго выше, должно быть:

$$v_1 - v_2 = v_3 - v_4.$$

Помножая почленно это выраженіе на p_x и зная постоянныя соотвѣтственныхъ кривыхъ *Мариотта*, мы получаемъ слѣдующую зависимость:

$$c_1 - c_2 = c_3 - c_4.$$

Эта зависимость должна осуществляться во *всѣхъ* машинахъ *двукратнаго* расширения пара. Для машины *Tandem**) должна существовать, кромѣ указанной, еще одна специфическая зависимость, характеризующая разобранный рабочій процессъ. Зависимость эта обусловлена характеромъ *линии впуска* цилиндра высокаго давленія.

Обращаясь къ этой послѣдней линіи, мы видимъ, что она состоитъ изъ двухъ частей. Первая часть, какъ было указано выше, предста-

*) Также для сходныхъ по рабочему процессу машинъ *Woolf*.

вляеть собою перетеканіе пара черезъ ресиверъ въ цилиндръ низкаго давленія, сопровождающееся расширеніемъ за весь періодъ наполненія большаго цилиндра; вторая же часть выпуска—это дожатіе пара въ ресиверъ и цилиндръ высокаго давленія.

Такимъ образомъ, моментъ отсѣчки цилиндра низкаго давленія отмѣчается на линіи выпуска малаго цилиндра особою точкою t' . Въ этой послѣдней точкѣ мы имѣемъ *раздѣленіе* между двумя полостями одного опредѣленнаго количества пара т. е. имѣемъ передъ собою случай противоположный *смѣшенію* паровъ и подчиняющійся поэтому закону *Дальтона*. Называя давленіе пара въ точкѣ t' буквою p_t и опираясь на то, что передъ самымъ моментомъ отсѣчки паръ занималъ объемъ $\gamma\delta$, въ моментъ же отсѣчки отъ всего этого объема отключился объемъ $\varepsilon\delta$, мы можемъ написать:

$$\gamma\delta = \gamma\varepsilon + \varepsilon\delta;$$

помножая все на p_t и зная постоянныя соотвѣтственныхъ гиперболь, имѣемъ выраженіе закона *Дальтона* для разбираемаго случая въ такомъ видѣ:

$$c_5 = c_6 + c_3.$$

Это условіе и будетъ второй искомой повѣркой. Указанныя два условія позволяютъ контролировать графическій методъ аналитическимъ путемъ. Для этого надо перемножить полученные по методу *Schröter'a* объемы, занимаемые паромъ въ различные періоды рабочаго процесса, на соотвѣтственныя давленія и составить изъ произведеній только что выведенныя уравненія **парового балланса** *машины Tandem*.

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Графическое изображение рабочего процесса машины съ промежуточнымъ отборомъ пара.

Хотя литература по вопросу о промежуточномъ отборѣ пара обнимаетъ собою довольно обширный рядъ статей, но *простого* метода, позволяющаго строить рабочій процессъ проектируемой машины, опираясь на удобную своей наглядностью диаграмму *Schröter'a*, пока не предложено*).

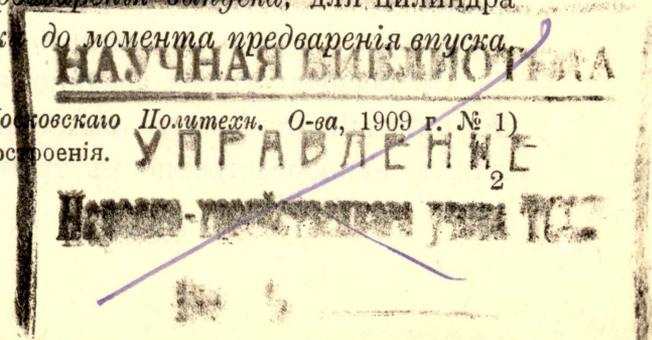
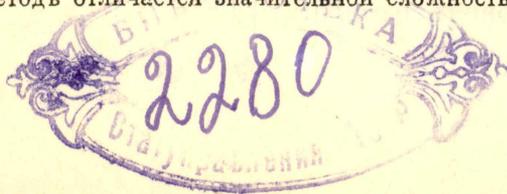
Въ виду этого авторъ, при изложеніи студентамъ соответственной главы курса паровыхъ машинъ, для освѣщенія *всѣхъ деталей* рабочего процесса, пользуется приѣмомъ, описаніе котораго изложено въ настоящей главѣ и который положенъ въ основу всего произведеннаго изслѣдованія.

Допустимъ, что имѣется *Tandem*—машина, изъ ресивера которой отбирается—въ данный періодъ времени—опредѣленное количество пара. Явленіе отбора, очевидно, состоитъ въ томъ, что, изъ поступающаго за одинъ ходъ поршня въ цилиндръ высокаго давленія опредѣленнаго *объема* пара, только нѣкоторая часть переходитъ черезъ ресиверъ въ цилиндръ низкаго давленія; другая же часть работы въ цилиндрѣ низкаго давленія *не совершаетъ*, потому что она за каждый ходъ поршня соответственно отнимается отъ машины для цѣлей какаго либо производства, совершенно аналогично тому, какъ отбирается отъ машины мятый паръ для цѣлей отопленія.

Очевидно, что ресиверъ машинъ подобнаго рода долженъ быть *постоянно* сообщеннымъ съ трубопроводомъ, отбирающимъ паръ.

Рабочій процессъ машины съ отборомъ пара будетъ соответствовать процессу обычной машины *Tandem* лишь въ тѣхъ періодахъ работы пара въ каждомъ изъ цилиндровъ, когда эти послѣдніе разобщены отъ ресивера, т. е.—для цилиндра высокаго давленія—отъ момента начала сжатія до момента предваренія выпуска; для цилиндра низкаго давленія—отъ момента отъсѣки до момента предваренія выпуска.

*) Описываемый *К. Водопишскимъ* (Бюл. Московскаго Политехн. О-ва, 1909 г. № 1) методъ отличается значительной сложностью построения.



Слѣдовательно, указанные части рабочаго процесса должны строиться обычнымъ путемъ.

Что же касается графическаго изображенія измѣненій давленія пара, происходящихъ вмѣстѣ съ измѣненіемъ объемовъ полостей, послѣдовательно занимаемыхъ имъ въ машинѣ (въ чемъ заключается главнымъ образомъ наглядность построения діаграммы *Schröter'a*) въ тѣ періоды рабочаго процесса, когда цилиндры машины сообщаются съ ресиверомъ и между собою, то тутъ, очевидно, надо учитывать вліяніе *объема* пара, уходящаго изъ ресивера, на измѣненіе давленій, дѣйствующихъ на поршни цилиндровъ.

Объемное вліяніе отбора пара на ресиверъ и сообщенные съ нимъ объемы полостей машины мы можемъ *отождествить* съ наличіемъ въ машинѣ нѣкотораго *фиктивного* цилиндра, сообщающагося поочередно и постоянно своими полостями съ ресиверомъ и трубопроводомъ отбора; цилиндръ этотъ, являясь какъ бы *насосомъ* двойнаго дѣйствія, откачивающимъ поочередно каждой своей полостью изъ ресивера паръ, долженъ имѣть объемъ, соответствующій какъ разъ той части всего объема пара, притекающаго въ цилиндръ высокаго давленія въ періодъ наполненія, которая выражаетъ собою относительную величину существующаго въ данное время отбора.

На основаніи всего сказаннаго, *фиктивный* цилиндръ долженъ обладать слѣдующими свойствами:

- a) объемъ его мѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ отбора пара;
- b) объемъ его зависитъ отъ объема пара, входящаго въ цилиндръ высокаго давленія въ періодъ наполненія;
- c) индикаторная работа фиктивнаго цилиндра равна нулю;
- d) въ немъ, какъ это принято и для всей изслѣдуемой машины, не существуетъ никакихъ потерь пара.

Введя понятіе о фиктивномъ цилиндрѣ—насосѣ (въ дальнѣйшемъ мы будемъ называть его также *цилиндромъ отбора*), мы получаемъ общую схему изучаемой машины, какъ она показана на *черт. 1, табл. II*.

Цилиндръ отбора *F* помѣщается между цилиндрами *H* и *N* высокаго и низкаго давленія такимъ образомъ, что поршни всѣхъ трехъ цилиндровъ посажены на общемъ штокѣ. Обѣ полости цилиндра высокаго давленія сообщены обычнымъ путемъ съ паропроводною трубою *A* и ресиверомъ *R*; обѣ полости цилиндра низкаго давленія сообщаются съ ресиверомъ (получая отъ него паръ для работы) и съ выхлопною трубою *B* машины.

Съ ресиверомъ же соединенъ своими полостями цилиндръ отбора *F*, имѣющій отдѣльную выхлопную (нагнетательную) трубу *C*, переходящую непосредственно въ трубопроводъ отбора.

Сообщение и разобщение между собою различныхъ полостей машины, включая сюда и воображаемый цилиндръ отбора, обслуживается соответственными парораспределительными органами.

На *черт. 1 (табл. II)* изображенъ моментъ, когда свѣжій паръ входитъ въ цилиндръ высокаго давленія въ полость со стороны кривошипа; далѣе—стрѣлками показанъ путь, по которому направляется паръ въ остальныхъ полостяхъ машины.

Имѣя схему машины, мы можемъ приступить къ построению диаграммы *Schröter*'а, предполагая извѣстными слѣдующія данныя:

- p_e —давление впускаемаго въ машину пара въ *klg* на 1 cm^2 ,
- p_r —ресиверное давленіе,
- p_a —давление выходящаго изъ машины пара,
- S_1 —объемъ цилиндра высокаго давленія,
- m_1 —объемъ его вреднаго пространства,
- S_2 —и m_2 —соответственные объемы для цилиндра низкаго давленія,
- R —объемъ ресивера,
- S_0 —нормальная степень наполненія въ $\%$ объема цилиндра высокаго давленія,
- p_e' и p_e'' —конечныя давленія сжатія въ соответственныхъ цилиндрахъ.

Какъ и для машины *Tandem* обычнаго типа, мы предполагаемъ, согласно методу *Schröter*'а, всѣ объемы отнесенными къ площади поршня большаго цилиндра; такимъ образомъ величины S_0 , S_1 , m_1 , m_2 и R выражены въ соответствующихъ частяхъ S_2 —общаго хода всѣхъ поршней машины.

Опираясь на приведенныя данныя, мы можемъ перейти къ выполнению интересующаго насъ графическаго изображенія рабочаго процесса машины *Tandem*, соединенной съ откачивающимъ паръ насосомъ. Пусть горизонтальная прямая O_4O_6 (*табл. II, черт. 2*) представляетъ собою линію абсолютнаго нулевого давленія. Отложимъ на ней послѣдовательно въ нѣкоторомъ масштабѣ величины S_1 , m_1 , R , m_2 и S_2 , затѣмъ проведемъ рядъ соответственныхъ вертикалей и отмѣтимъ точки O_1 и O_2 , ограничивающія объемъ ресивера.

Чтобы имѣть возможность учитывать объемы, описываемые рабочими поршнями машины, строимъ ниже линіи O_4O_6 подъ отрѣзками S_1 и S_2 объемныя диаграммы въ видѣ прямыхъ линій, координированныхъ между собою по времени. На *черт. 2* объемной диаграммѣ цилиндра высокаго давленія (1—2—3) соответствуетъ объемная диаграмма (4—5—6) цилиндра низкаго давленія.

Перейдемъ къ построению индикаторныхъ диаграммъ для каждаго изъ *рабочихъ* цилиндровъ машины.

Начнемъ съ цилиндра высокаго давленія. Отъ точки O_1 на вертикали, черезъ нее проходящей, отложимъ вверхъ въ избранномъ масштабѣ давленіе p_c , проведемъ горизонтальную линію и на ней, считая отъ вертикали, соответствующей правому мертвому положенію поршня, отложимъ отрѣзокъ $ab = S_0$ — степени наполненія. Гиперболы расширенія и сжатія пара въ разбираемой машинѣ для цилиндра высокаго давленія мы должны строить, какъ и въ обычной машинѣ *Tandem*, пользуясь точкою O_1 , какъ центромъ; построивъ гиперболу, проходящую черезъ точку b , находимъ точку c' — конечное давленіе расширенія.

Отложимъ затѣмъ отъ линіи O_4O_6 на вертикали, соответствующей правому мертвому положенію поршня, конечное давленіе сжатія $p_{c'}$ и проведемъ черезъ полученную точку гиперболу сжатія пара въ маломъ цилиндрѣ. Найдемъ точки m' и n' пересѣченія этой гиперболы съ горизонталями, проходящими черезъ точки c' и b . Ясно, что отрѣзокъ bn' представляетъ собою *объемъ*, соответствующій — при давленіи p_c — впущенному въ машину за одинъ ходъ поршня количеству свѣжаго пара. Количество это — при принятомъ въ нашемъ изслѣдованіи отсутствіи какихъ либо потерь въ машинѣ — должно являться *мѣрой ея полезнаго (полезнаго) расхода* пара. Отрѣзокъ $c'm'$ будетъ очевидно представлять собою *объемъ*, занимаемый *тѣмъ-же* количествомъ пара, при конечномъ давленіи расширенія — $p_{c'}$.

Перейдемъ временно къ цилиндру низкаго давленія.

Проведемъ на разстояніи равномъ давленію p_a отъ горизонтали O_4O_6 линію выпуска пара изъ машины. Отложивъ затѣмъ на вертикали, соответствующей лѣвому мертвому положенію поршня, конечное давленіе сжатія $p_{c''}$, мы получаемъ возможность, пользуясь точкою O_2 , построить гиперболу сжатія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія. Построивъ эту кривую, находимъ точку z пересѣченія ея съ линіей выпуска; точка z опредѣлила собою *начало періода сжатія*.

Найдемъ далѣе пересѣченіе этой же гиперболы въ точкѣ c'' съ продолженной горизонталью $c'm'$. Если мы теперь отложимъ $c''m'' = c'm'$ и проведемъ изъ центра O_2 гиперболу расширенія $m''r$, то будемъ имѣть передъ собою *примѣръ* обычной машины *Tandem*, въ цилиндрахъ которой работаютъ *одинаковыя* количества пара. Мы знаемъ уже, что въ разбираемой машинѣ имѣется, какъ разъ, обратный случай, такъ какъ нѣкоторая часть пара отбирается изъ ресивера. Допустимъ, что отборъ равенъ 40% отъ всего пара, поступающаго въ машину при данномъ наполненіи цилиндра высокаго давленія. Тогда, откладывая отъ точки m'' *влево* отрѣзокъ равный $0,4 c'm'$, мы получимъ точку n'' . Отрѣзокъ $c''n''$ представляетъ собою *объемъ* пара, входящаго за каждый

ходъ поршня въ большой цилиндръ при давленіи, соотвѣтствующемъ конечному давленію расширенія пара въ маломъ цилиндрѣ.

Черезъ точку n'' , пользуясь какъ центромъ точкой O_2 , мы проводимъ гиперболу, существующаго при наличіи отбора расширенія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія; точка q этой гиперболы опредѣляетъ собою соотвѣтствующее конечное давленіе расширенія— p_e'' .

Мы построили теперь всѣ тѣ части рабочаго процесса, которыя опредѣляются, какъ упоминалось выше, работой цилиндровъ, не сообщенныхъ ни съ ресиверомъ, ни между собою. Для того, чтобы имѣть возможность строить далѣе изображеніе рабочаго процесса, намъ надо опредѣлить и учесть объемъ S_f цилиндра отбора, отнесенный къ площади поршня цилиндра низкаго давленія.

Объемъ этотъ у насъ уже опредѣленъ.

Дѣйствительно, если необходимо, чтобы при выходѣ поршня большого цилиндра изъ лѣваго мертваго положенія, въ этотъ послѣдній цилиндръ проникала лишь часть $s''n''$ всего объема $s''m''$, заключеннаго при томъ же мертвомъ положеніи въ цилиндрѣ высокаго давленія, то, очевидно, въ этомъ же мертвомъ положеніи цилиндръ отбора долженъ помѣщать въ себѣ объемъ пара, выражаемый отрезкомъ $n''m''$.

Такимъ образомъ, для построенія объемной діаграммы цилиндра отбора у насъ имѣется уже одна данность. Отложивъ отъ вертикали O_2 вправо*) на линіи (2—7) отрезокъ равный $n''m''$, мы получимъ конечную точку c_3 объемной прямой.

Снесемъ затѣмъ точку b на объемную діаграмму цилиндра высокаго давленія въ точку b_1 и черезъ эту послѣднюю проведемъ горизонталь до пересѣченія въ точкѣ b_2 съ вертикалью O_2 . Если бы мы въ моментъ отсѣчки цилиндра высокаго давленія создали возможность сообщенія этого цилиндра съ цилиндромъ отбора, то, согласно всему сказанному выше, объемъ полости этого послѣдняго цилиндра, могущей быть предоставленной для отбора пара давленія p_e долженъ равняться 40% отрезка bn' . Откладывая отъ вертикали O_2 на продолженной горизонтали b_1b_2 отрезокъ равный $0,4bn'$, мы получимъ точку b_3 —вторую точку объемной діаграммы цилиндра отбора. Соединяя прямой точки b_3 и c_3 , мы получаемъ искомую объемную діаграмму для одного хода поршня.

Точка пересѣченія прямыхъ (1—4) и b_3c_3 характеризуетъ собою какъ бы вредное пространство— m_f —цилиндра отбора. Нетрудно ви-

*) Вправо для того, чтобы объемы цилиндра отбора всегда суммировались съ объемомъ ресивера; такимъ образомъ точка c_3 соотвѣтствуетъ лѣвому мертвому положенію поршня цилиндра отбора.

дѣтъ, съ другой стороны, что точка β пересѣченія прямой b_3c_3 съ вертикалью O_2 лежитъ на горизонтали, проходящей черезъ точку α пересѣченія прямой (1—2) съ вертикалью O_1 .

Дѣйствительно, нулевому объему, занимаемому паромъ цилиндра высокаго давленія въ данномъ положеніи (поршень цилиндра высокаго давленія какъ бы продвинулся вправо до конца вреднаго пространства) долженъ соотвѣтствовать нулевой же объемъ цилиндра отбора.

Ясно, далѣе, что—вмѣстѣ съ *измѣненіемъ* объема отбираемаго пара—измѣняется величина отрѣзка $n''m''$, главнымъ образомъ характеризующая собою объемъ цилиндра отбора и его вредное пространство;— такимъ образомъ мы видимъ, что—при наличіи легко находимой точки β —прямая βc_3 можетъ быть проведена безъ опредѣленія точки b_3 .

Проводя прямую γc_3 симметрично βc_3 по отношенію къ линіи (2—7), мы получаемъ полную объемную діаграмму цилиндра отбора за одинъ оборотъ главнаго вала машины.

При начертаніи рабочаго процесса намъ необходимо учитывать весь—постепенно увеличивающійся въ теченіе *одного оборота* вала машины—объемъ, отнимаемый отъ порціи пара, впущенной для разбираемаго положенія машины въ *правую* рабочую полость цилиндра высокаго давленія.

Такъ какъ, съ приходомъ поршня цилиндра отбора въ лѣвое мертвое положеніе— c_3 —и дальнѣйшей переменной направленія движенія поршня, отборъ пара продолжается въ *лѣвую* полость, то, очевидно, новые объемы должны быть сложенными съ прежде описанными поршнемъ цилиндра отбора объемами. Такимъ образомъ для одного оборота вала машины законъ измѣненія *отбираемыхъ объемовъ* выразится прямой βc_3 и—ея продолженіемъ—*результирующей* прямой $c_3\gamma_1$.

Послѣ всего сказаннаго мы можемъ вернуться къ построенію индикаторной діаграммы цилиндра высокаго давленія.

Для лучшей смѣны давленій, дѣйствующихъ на поршень, какъ извѣстно, необходимо наличіе предваренія выпуска. Пусть предвареніе выпуска наступитъ при положеніи поршня, соотвѣтствующемъ на діаграммѣ точкѣ d ; въ этотъ моментъ цилиндръ высокаго давленія сообщается съ ресиверомъ, а черезъ него и съ цилиндромъ отбора.

Въ этихъ двухъ послѣднихъ объемахъ царитъ нѣкоторое общее давленіе пара, постоянно измѣняющееся въ зависимости отъ измѣненія объемовъ полостей, съ которыми попеременно сообщается ресиверъ; давленіе, соотвѣтствующее моменту предваренія выпуска изъ малаго цилиндра, и есть извѣстное намъ по заданію *ресиверное давленіе* p_r .

Предполагая, для обобщенія вопроса, ресиверное давленіе p_r неравнымъ давленію расширившагося пара въ положеніи поршня, соотвѣтствующемъ точкѣ d , мы получимъ, что въ моментъ предваренія выпуска произойдетъ въ цилиндрѣ высокаго давленія паденіе, а въ ресиверѣ и цилиндрѣ отбора повышеніе давленія пара, при чемъ давленія во всѣхъ сообщившихся полостяхъ уравниваются и—по нашему допущенію—давленіе смѣси устанавливается мгновенно. Пользуясь методомъ *Mönch*'а, мы можемъ построениемъ опредѣлить давленіе смѣси, если знаемъ отдѣльно давленія и объемы смѣшивающихся количествъ пара. Давленіе смѣси, какъ уже указывалось ранѣе, находится на перпендикулярѣ, возстановленномъ на границѣ послѣдовательно сложенныхъ смѣшивающихся объемовъ. Такимъ перпендикуляромъ для разбираемаго момента рабочаго процесса является вертикаль O_1 , такъ какъ слѣва отъ нея имѣется объемъ, соотвѣтствующій точкѣ d (d_1d_2 равняется объему правой рабочей полости цилиндра высокаго давленія, включая и вредное пространство); справа же—объемъ d_2d_3 , равный объему ресивера, сложенному съ соотвѣтственной частью объема *правой* полости цилиндра отбора. Какъ эта послѣдняя полость, такъ и ресиверъ заполнены—при установившемся состояніи машины и цилиндра насоса—паромъ, поступившимъ въ нихъ ранѣе разбираемаго момента изъ *левой* полости цилиндра высокаго давленія.

Снося, по методу *Mönch*'а, давленіе пара въ точкѣ d на ординату, соотвѣтствующую точкѣ d_3 и, наоборотъ, давленіе p_r —пара въ объемѣ d_2d_3 на ординату, проходящую черезъ точку d , мы находимъ на вертикали O_1 давленіе смѣси, откуда—далѣе—находимъ паденіе давленія de .

При дальнѣйшемъ движеніи поршней машины къ лѣвому мертвому положенію должно происходить *расширеніе пара* во всѣхъ *трехъ*, сообщенныхъ другъ съ другомъ, объемахъ.

Чтобы построить соотвѣтствующую гиперболу расширенія, намъ надо—согласно съ прежнимъ—найти начало координатъ этой гиперболы на линіи O_4O_6 . Мы знаемъ уже, что это начало координатъ должно характеризоваться условіемъ $v=0$; съ другой стороны, мы знаемъ, что для разбираемаго измѣненія состоянія пара объемы мѣняются, какъ отрѣзки горизонталей между прямыми (1—2) и βc_3 .

Чтобы найти нулевой объемъ, продвинемъ мысленно поршни цилиндра высокаго давленія и цилиндра отбора (предполагая возможнымъ подобное независимое другъ отъ друга ихъ движеніе) въ направленіи, при которомъ объемы, выражаемые соотвѣтственными отрѣзками горизонталей, уменьшаясь постепенно, уменьшились бы до нуля. Выполняя

сказанное графически, мы должны продолжить линіи (1—2) и βc_3 до ихъ пересѣченія въ точкѣ A . Вертикаль черезъ точку A , будучи искомой асимптотой—осью p —даетъ намъ начало координатъ O_3 . Пользуясь точкой O_3 какъ центромъ, мы строимъ гиперболу, проходящую черезъ точку e^*).

Разобранное расширеніе пара будетъ происходить по построенной гиперболѣ до тѣхъ поръ, пока не вступитъ въ дѣйствіе новый факторъ, каковымъ является *предвареніе впуска* въ цилиндръ низкаго давленія.

Посмотримъ что произойдетъ въ машинѣ.

Пусть предвареніе впуска наступитъ, когда поршень цилиндра низкаго давленія находится въ положеніи, опредѣляемомъ ординатой f' . Точка пересѣченія f'' этой ординаты съ построенной ранѣе гиперболой сжатія $c''z$ даетъ намъ давленіе, имѣющееся въ разбираемый моментъ въ большомъ цилиндрѣ. Въ общемъ случаѣ давленіе это должно отличаться отъ давленія, существующаго въ данный же моментъ въ присоединяющихся къ цилиндру низкаго давленія полостяхъ машины. Въ результатѣ сообщенія полостей произойдетъ новое смѣшеніе паровъ. Для того, чтобы найти давленіе смѣси, намъ надо снова опредѣлить объемы и давленія смѣшивающихся количествъ пара.

Пользуясь объемными діаграммами (4—5) и (1—2), мы находимъ проведеніемъ вертикалей и горизонталей ($f''f_2—f_2f_1—f_1f$) въ индикаторной діаграммѣ цилиндра высокаго давленія точку f , на объемной же діаграммѣ цилиндра точку f_3 .

Такимъ образомъ мы получаемъ слѣдующія условія смѣшенія: объемъ f_1f_3 съ давленіемъ f_0f и объемъ $f_2\delta$ съ давленіемъ $f'f'$. Откладывая на продолженной горизонтали f_1f_3 точку f_4 такъ, чтобы $f_3f_4=f_2\delta$, мы можемъ найти по тому же методу *Mönch*'а на ординатѣ, проходящей черезъ точку f_3 , давленіе смѣси**), а отсюда находимъ точки g' и g'' на индикаторныхъ діаграммахъ обоихъ цилиндровъ (см. табл. II черт. 3-а).

Чтобы узнать, что произойдетъ въ машинѣ послѣ разобраннаго момента, надо изслѣдовать, какъ будетъ при дальнѣйшемъ движеніи всѣхъ поршней къ лѣвому мертвому положенію измѣняться объемъ сообщенныхъ между собою *четырехъ* полостей машины (цилиндръ высокаго давленія, ресиверъ, цилиндръ отбора и цилиндръ низкаго давленія). Для этого построимъ *суммарную* объемную діаграмму двухъ послѣднихъ цилиндровъ. Діаграмма эта строится очень легко: надо

*) Смотри табл. II, черт. 3-а, гдѣ соответственныя части рабочаго процесса для обоихъ цилиндровъ изображены въ увеличенномъ видѣ.

**) На черт. 2 таб. II точки d_3 , f_3 и c_3 расположены въ послѣдовательномъ порядкѣ другъ около друга.

сложить объемы, описываемые *одновременно* поршнями цилиндра низкаго давленія и цилиндра отбора, т. е. къ отрѣзкамъ горизонталей между линіями (4—5) и вертикалью O_2 прибавить таковыя между линіей β_3 (на тѣхъ же горизонталяхъ) и той же вертикалью O_2 . *Результирующая* объемная діаграмма, будучи прямою линіей, получится легче всего, если мы соединимъ уже имѣющуюся точку f_4 съ точкою β_1 , соотвѣтствующей на линіи (4—5) *нулевому* отрѣзку объемной діаграммы цилиндра отбора.

Такимъ образомъ мы имѣемъ, что въ разбираемомъ періодѣ рабочаго процесса объемы, занимаемые паромъ при движеніи всѣхъ поршней машины, мѣняются какъ отрѣзки горизонталей между прямыми (1—2) и $\beta_1 f_4$. Мы видимъ, что—при данныхъ условіяхъ—объемы эти стремятся *уменьшаться*. Чтобы найти начало координатъ для построения соотвѣтственной гиперболы *сжатія*, подобно сказанному ранѣе для періода ef , мы продолжаемъ линіи (1—2) и $\beta_1 f_4$ до пересѣченія ихъ въ точкѣ B , проекція которой на линію $O_4 O_6$ нулевыхъ давленій даетъ начало координатъ въ точкѣ O_4 . Пользуясь этой точкой, мы проводимъ до лѣваго мертваго положенія гиперболы сжатія $g'h'$ и—такъ какъ теперь мы строимъ части рабочаго процесса, принадлежащія индикаторнымъ діаграммамъ обоихъ цилиндровъ—соотвѣтственно $g'h''$.

Въ дальнѣйшемъ поршни машины начинаютъ двигаться отъ лѣваго мертваго положенія къ правому; въ сообщеніи находятся по прежнему всѣ четыре полости, но общій законъ измѣненія объемовъ становится инымъ.

Дѣйствительно, объемы, описываемые поршнями рабочихъ цилиндровъ, характеризуются прямыми (2—3) и (5—6), должны же учитываться объемы цилиндра отбора—какъ указано выше—результирующей прямой $c_3 \gamma_1$. Для того чтобы опредѣлить, какъ будутъ измѣняться въ цѣломъ всѣ объемы, мы должны построить новую линію суммарныхъ объемовъ цилиндра низкаго давленія и цилиндра отбора. Суммарная объемная діаграмма, подобно ранѣе сказанному, найдется, если мы на продолженной горизонтали $\gamma \gamma_1$ отложимъ отъ точки γ_2 *вправо*, точку γ_3 , при чемъ возьмемъ $\gamma_2 \gamma_3 = \gamma \gamma_1 = 2 (S_f + m_f)$. Прямая $c_4 \gamma_3$ представитъ собою искомую діаграмму.

Разсматривая измѣненія отрѣзковъ горизонталей между прямыми (2—3) и $c_4 \gamma_3$, мы видимъ, что объемы, занимаемые паромъ при движеніи поршней машины вправо, увеличиваются—происходитъ расширение во всѣхъ сообщенныхъ между собою полостяхъ, характеризующее собою періодъ наполненія въ цилиндрѣ низкаго давленія. Чтобы

построить соответственные гиперболы индикаторныхъ диаграммъ обоихъ цилиндровъ, отыщемъ подобно изложенному въ предшествовавшей главѣ ихъ *общее начало* координатъ. Для этого находимъ точку C встрѣчи прямыхъ $(2-3)$ и $c_4\gamma_3$, а по ней искомое O_5 .

Гиперболу расширения пара во время періода наполненія въ цилиндрѣ низкаго давленія доводимъ до точки k'' — пересѣченія съ вычерченной ранѣе гиперболой $n''q$. Точка k'' опредѣляетъ собою *моментъ отсѣчки*. Нанесеніемъ на гиперболѣ $k''q$ точки u , соответствующей избранному моменту *предваренія выпуска*, мы заканчиваемъ построение графическаго изображенія рабочаго процесса цилиндра низкаго давленія

Обратимся теперь къ индикаторной диаграммѣ цилиндра высокаго давленія. Снесемъ точку k'' на соответственную гиперболу въ точку k' .

Очевидно, что цилиндръ низкаго давленія послѣ отсѣчки въ k'' отключился отъ всѣхъ остальныхъ объемовъ. Происходящее въ дальнѣйшемъ измѣненіе объемовъ пара, заключеннаго въ *правой* полости цилиндра высокаго давленія, ресиверѣ и *левой* полости цилиндра отбора, характеризуется измѣненіемъ отрѣзковъ горизонталей между прямыми $(2-3)$ и $c_3\gamma_1$. По прежнему, найдя точку D встрѣчи этихъ прямыхъ, мы опредѣляемъ O_6 — начало координатъ для построенія соответствующей гиперболы сжатія во всѣхъ *трехъ* объемахъ.

Пересѣченіе этой гиперболы въ точкѣ l съ ранѣе построенной гиперболой $m'n'$ опредѣляетъ собою моментъ *начала сжатія* въ цилиндрѣ высокаго давленія. Задаваясь необходимымъ *предвареніемъ выпуска*, мы опредѣляемъ пересѣченіемъ соответственной ординаты съ гиперболой $m'n'$ точку t , обуславливающую собою имѣющееся въ данный моментъ давленіе пара. Соединяя, какъ это обычно дѣлается, точку a прямой линіей съ точкою t , мы замыкаемъ индикаторную диаграмму цилиндра высокаго давленія.

Теперь намъ остается провѣрить правильность положенныхъ въ основу построенія — принятыхъ намъ данными — величинъ, главнымъ образомъ p_r — ресивернаго давленія.

Для этого надо изслѣдовать, что происходитъ въ ресиверѣ послѣ начала періода сжатія въ цилиндрѣ высокаго давленія.

Мы знаемъ уже, что въ точкѣ (k', k'') ресиверъ отключился отъ цилиндра низкаго давленія, въ точкѣ l ресиверъ отключился и отъ цилиндра высокаго давленія, оставшись сообщеннымъ только съ цилиндромъ отбора. Слѣдовательно, при дальнѣйшемъ движеніи поршней машины къ правому мертвому положенію происходитъ отборъ пара исключительно изъ ресивера, выражающійся *расширеніемъ* пара, заключеннаго въ обѣихъ, сообщенныхъ между собою, полостяхъ.

При правильности принятых нами данных это расширение должно совершаться таким образом, чтобы при наступлении момента *предварения выпуска* для *левой* полости цилиндра высокого давления в ресиверѣ и цилиндрѣ отбора царило избранное нами давление p_r ; иными словами, чтобы падение давления в *левой* рабочей полости, соответствующее разбираемому моменту, опять равнялось величинѣ Δe (конечно при условіи, что в *обѣих* полостях цилиндра высокого давления работают *одинаковыя* количества пара, и отдѣльные главные моменты парораспределения также *одинаковы*, что вполне достижимо при клапанных распределениях, обслуживающихъ обычно машины подобнаго рода).

Послѣдовательнымъ нахожденіемъ точекъ l_1 , l_2 и l_3 мы получаемъ возможность провести черезъ послѣднюю изъ нихъ гиперболу l_3l_4' разбираемаго расширения, пользуясь какъ центромъ точкой O_1 . Перенеся посредствомъ объемныхъ діаграммъ эту кривую на индикаторную діаграмму цилиндра высокого давления, мы получаемъ гиперболу ll_4 ; въ точкѣ l' —пересѣченія ея съ ординатой предваренія выпуска изъ *левой* полости—мы и должны, при правильномъ выборѣ всѣхъ данныхъ получить принятое нами давление p_r .

Эту же повѣрку можно произвести помощью объемныхъ діаграммъ и на гиперболѣ l_3l_4 , опредѣливъ на ней точку l'' .

Съ выполненіемъ указанной повѣрки мы получаемъ законченную картину отдѣльныхъ моментовъ и періодовъ рабочаго процесса, характеризующаго *машину Tandem съ промежуточнымъ отборомъ пара*.

Для полноты изслѣдованія на объемныхъ діаграммахъ различной штриховкой показаны отдѣльные періоды рабочаго процесса, по которымъ легко усмотрѣть объемы, занимаемые паромъ въ различныхъ полостяхъ машины соответственно каждому данному моменту. Для цилиндра низкаго давления выдѣлены періоды расширения и сжатія пара.

Здѣсь уместно будетъ указать еще на слѣдующія подробности, обнаруживающіяся при подобномъ изслѣдованіи изучаемаго рабочаго процесса.

Въ то время, какъ—при измѣненіи отбора—точка A пересѣченія линий $(1-2)$ и β_3c_3 всегда остается *между* вертикалями O_1 и O_2 и, слѣдовательно, періодъ ef является всегда *расширеніемъ* пара, точка B пересѣченія линий $(1-2)$ и β_1f_4 —этимъ свойствомъ не обладаетъ.

Дѣйствительно, вмѣстѣ съ измѣненіемъ отбора измѣняется наклонъ линий β_3c_3 и β_1f_4 . Слѣдовательно, въ зависимости отъ отношенія объемовъ рабочихъ цилиндровъ, обуславливающаго собою взаимный наклонъ линий $(1-2)$ и $(4-5)$ и отъ объема цилиндра отбора могутъ быть (показанные на *черт. 3, табл. II*) три случая:

а) линии (1—2) и β_{1c_4} пересекаются при продолжении *вниз* — разобраный выше случай *сжатия* ($g'h' - g''h''$);

б) линии эти *параллельны* — при движении поршней объема, занимаемые паромъ, не мѣняются — давление остается *постояннымъ*, линии $g'h'$, $g''h''$ параллельны O_4O_6 ;

в) линии (1—2) и β_{1c_4} пересекаются при продолжении *вверх* — периодъ $g'h'$ ($g''h''$) является *расширениемъ*.

На черт. 3 — для всѣхъ случаевъ *а, б, в* — сохранены однѣ и тѣ же обозначенія для отдѣльныхъ периодовъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ.

Такъ какъ отъ точки h'' при обратномъ ходѣ поршней *всегда идетъ кривая расширения $h''k''$* , то мы заключаемъ, что, какова бы ни была величина отбора пара, на индикаторной діаграммѣ цилиндра низкаго давления около мертваго положенія всегда получается *петля*.

Мы указывали выше, что индикаторная работа цилиндра отбора должна равняться нулю.

Для теоретически-допустимаго случая неизмѣняющагося давления пара въ ресиверѣ это очевидно само собою. Дѣйствительно, индикаторная діаграмма въ подобномъ случаѣ (*табл. II, черт. 4-а*) выразится прямой AB , которую *дважды* пройдетъ карандашъ индикатора за одинъ оборотъ вала машины; положительная работа цилиндра отбора за прямой ходъ поршня равна таковой же отрицательной за обратный ходъ и сумма работъ за одинъ оборотъ вала равна нулю.

Въ дѣйствительности, какъ мы знаемъ, давление пара въ ресиверѣ мѣняется вмѣстѣ съ измѣненіемъ объемовъ рабочихъ полостей цилиндровъ, сообщающихся въ различные моменты съ ресиверомъ. Индикаторная діаграмма цилиндра отбора въ данномъ случаѣ приметъ видъ, показанный въ увеличенномъ масштабѣ давлений на *черт. 4-б*, гдѣ всѣ обозначенія соотвѣтствуютъ таковымъ же *черт. 2 (таб. II)*.

Легко видѣть, что — съ одной стороны — индикаторная діаграмма выражается площадью заштрихованной фигуры, — съ другой же стороны — что алгебраическая сумма работъ за оба хода поршня равняется нулю.

Умѣя изображать графически рабочей процессъ машины съ отборомъ пара, мы должны имѣть въ своемъ распоряженіи средство, позволяющее легко и быстро контролировать правильность, какъ проектированія, такъ и начертанія этого процесса.

Такимъ средствомъ, какъ и для машины *Tandem* обычнаго типа, является *составленіе пароваго балланса*.

Если постоянныя соответственныхъ гиперболъ будутъ обозначены, какъ показано на *черт. 2 (таб II)*, то, очевидно, для разобранный машины должны существовать одновременно два слѣдующія условія:

$$c_5 = c_6 + c_3$$

$$\frac{(c_1 - c_2) - (c_3 - c_4)}{c_1 - c_2} = k,$$

гдѣ k — имѣющійся въ данное время *относительный отборъ* пара, т. е. выраженный *въ доляхъ всего* пара, притекающаго въ машину; c_3 и c_6 — постоянныя гиперболъ, полученныя при учетѣ *соответственнаго объема* цилиндра отбора.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Примѣрный подсчетъ машины-Tandem безъ охлажденія, съ примѣненіемъ использованія пара для цѣлей техническаго нагрѣва.

Для того, чтобы въ предположенномъ изслѣдованіи по возможности освѣтить всѣ условія, съ которыми приходится считаться при проектированіи машинъ съ отборомъ пара, удобнѣе всего обратиться къ опредѣленному числовому примѣру.

Такъ мы и сдѣлаемъ.

Пусть намъ дано спроектировать машину въ 1000 индикаторныхъ силъ, предназначенную для приведенія въ движеніе ряда машинъ-орудій, обслуживающихъ данное производство, при чемъ машина—по условіямъ самаго производства—должна удовлетворять требованіямъ широкаго предѣла измѣненій, какъ нагрузки машины, такъ и использованія проходящаго черезъ нее пара.

Число оборотовъ главнаго вала машины въ минуту—120. Давленіе выпуска пара равно 11 *Atm. abs.*

Примемъ, какъ обычно, давленіе выпуска пара равнымъ 1,1 *Atm. abs.*, т. е. будемъ строить машину безъ охлажденія, стремясь по возможности использовать теплоту проходящаго черезъ машину пара и предполагая использовать мятый паръ машины—какъ это дѣлается въ рационально ведомыхъ производствахъ—для цѣлей отопленія.

Для опредѣленія отношенія объемовъ цилиндровъ проектируемой машины строимъ (табл. III, черт. 1) теоретическую индикаторную діаграмму одноцилиндровой машины данной намъ мощности.

Вредное пространство машины примемъ равнымъ 8% объема цилиндра; основаніе діаграммы равнымъ 100 *mm.*, масштабъ давленій 1 *Atm = 15 mm.*

Зададимся конечнымъ давленіемъ расширенія p_e , превышающимъ давленіе выпуска приблизительно на 0,4 *Atm.*, что соотвѣтствуетъ въ масштабѣ 24,5 *mm.* и черезъ полученную точку *E* проведемъ кривую расширенія пара *DE*.

При распредѣленіи между цилиндрами производимой машиною работы, положимъ въ основу, какъ это дѣлаютъ обычно для *Tandem*-машины, приблизительно одинаковое паденіе температуръ пара въ каждомъ изъ цилиндровъ.

Пользуясь таблицами температуръ насыщеннаго пара, находимъ для температуры впуска $t_e^\circ = 183,05$ и для выпуска $t_a^\circ = 101,76$, откуда получаемъ соответствующую среднюю температуру $t_m^\circ = 142,40$, на основаніи чего принимаемъ ресиверное давленіе $p_r = 4 \text{ Atm.}$ ($t_r^\circ = 142,82$).

Такъ какъ подъ ресивернымъ давленіемъ мы условились понимать давленіе, соответствующее моменту предваренія выпуска пара изъ малаго цилиндра, то, очевидно, въ разбираемомъ случаѣ точка B на кривой расширенія пара опредѣляетъ собою указанный моментъ парораспределенія (при первоначальномъ предположеніи, что паденіе давленія пара въ моментъ сообщенія съ ресиверомъ отсутствуетъ).

Принимая періодъ предваренія выпуска равнымъ 9% отъ соответственнаго хода поршня S_1 и вредное пространство 8% , имѣемъ, что отрѣзокъ CB выразится въ доляхъ хода поршня малаго цилиндра такъ:

$$CB = (100 - 9 + 8) \cdot S_1 = 0,99 \cdot S_1.$$

По чертежу имѣемъ $CB = 44 \text{ mm.}$, откуда

$$S_1 = \frac{100 \cdot CB}{99} = 44,44 \dots$$

Такъ какъ S_2 мы приняли равнымъ 100 mm. , то искомое отношеніе объемовъ цилиндровъ

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{44,44}{100} \approx \frac{1}{2,25}.$$

Такое отношеніе объемовъ встрѣчается у машинъ съ отборомъ пара*), а потому мы и остановимся на немъ.

Продолжая начатый подсчетъ, мы опредѣляемъ затѣмъ длину линіи FG , равной ходу поршня S_1 плюсъ вредное пространство m_1 , изъ условія:

$$FG = (100 + 8) \cdot S_1 = 48,04 \text{ mm.}$$

Имѣя $m_1 = 0,08 S_1 = 3,6 \text{ mm.}$, проводимъ линію LH , ограничивающую вредное пространство индикаторной діаграммы малаго цилиндра.

Отрѣзокъ LD горизонтальной прямой, проведенной отъ оси абсциссъ на разстояніи $165 \text{ mm.} = 11 \text{ Atm.}$, даетъ намъ необходимую степень наполненія малаго цилиндра, $\epsilon = \frac{S_0}{S_1}$.

Чтобы устранить наличіе отбора пара *только изъ ресивера* въ промежутокъ времени между моментомъ начала сжатія въ одной полости

*) *L. Schneider. Die Abwärmeverwertung.* S. 17.

цилиндра высокаго давленія и моментомъ предваренія выпуска изъ другой полости того же цилиндра и тѣмъ самымъ—съ одной стороны—обеспечить *постоянный* притокъ свѣжаго пара въ ресиверъ,—съ другой же стороны—упростить ходъ рабочаго процесса, удаливъ изъ него соотвѣтственный періодъ расширения пара въ ресиверѣ и фиктивномъ цилиндрѣ отбора (см. предшеств. главу), мы дѣлаемъ этотъ періодъ времени равнымъ нулю, т. е. беремъ *равными между собою* періоды сжатія и предваренія выпуска въ обѣихъ полостяхъ малаго цилиндра.

Отложивъ на линіи CB точку A , соотвѣтствующую началу сжатія въ цилиндрѣ высокаго давленія, при условіи, что $HA=0,09 S_1$, мы получаемъ возможность провести кривую сжатія пара въ теоретической индикаторной діаграммѣ одноцилиндровой машины.

Находя точку N пересѣченія этой гиперболы съ линіей LN , мы находимъ конечное давленіе сжатія p_c' въ маломъ цилиндрѣ проектируемой машины равнымъ $8,44 \text{ Atm}$, что, составляя около $0,77 p_c$ —давленія впуска, является допустимымъ.

Разсматривая построенную діаграмму, мы видимъ, что за одинъ ходъ поршня въ машину поступаетъ количество свѣжаго пара, занимающее—при ресиверномъ давленіи равномъ 4 Atm .—объемъ пропорціональный отрѣзку AB .

Періодъ сжатія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія возьмемъ равнымъ 12% , что соотвѣтствуетъ конечному давленію сжатія въ большемъ цилиндрѣ $p_c''=2,75 \text{ Atm}$, т. е. около $0,7 p_r$.

Доведа эту послѣднюю гиперболу сжатія до пересѣченія въ точкѣ A_1 съ линіей CB и откладывая на этой послѣдней $A_1 B_1 = AB$, мы проведеніемъ черезъ точку B_1 соотвѣтственной гиперболы расширения пара въ цилиндрѣ низкаго давленія находимъ конечное давленіе расширения пара въ большемъ цилиндрѣ $p_c''=1,55 \text{ Atm}$.

Такимъ образомъ мы располагаемъ теперь всѣми необходимыми данными для начертанія по методу *Schröter*'а изображенія рабочаго процесса проектируемой машины.

Такъ какъ періоды предваренія впуска и выпуска имѣютъ своимъ назначеніемъ подготовить въ каждомъ изъ цилиндровъ соотвѣтственное давленіе пара, долженствующее дѣйствовать на поршень при его мертвомъ положеніи, и т. к.—съ другой стороны—мы приняли для изслѣдуемой машины, что давленія пара въ сообщающихся полостяхъ устанавливаются мгновенно, то—при начертаніи рабочаго процесса—мы будемъ учитывать лишь моментъ сообщенія малаго цилиндра съ ресиверомъ, какъ *моментъ начала отбора*; концомъ соотвѣтственнаго

отбора, на основаніи изложеннаго выше, является *начало сжатія* потому что одновременно съ нимъ начинается отборъ изъ *другой* полости малаго цилиндра.

Построивъ, по приему, указанному въ главѣ первой, діаграмму *Schröter*'а для проектируемой машины (*табл. III, черт. 2*) и спланиметрировавъ полученныя индикаторныя діаграммы обоихъ цилиндровъ, мы находимъ расчетное среднее индикаторное давленіе (отнесенное къ площади поршня большого цилиндра) равнымъ:

$$p_i = 3,225 \text{ klg.}$$

Для полученія возможно болѣе точныхъ результатовъ построения рабочаго процесса, попутно съ графическимъ методомъ опредѣленія величинъ давленія пара въ различные моменты времени, эти же величины опредѣлялись и аналитическимъ путемъ изъ соотвѣтственныхъ выраженій $p_x v_x = c_x$. Также аналитически провѣрено положеніе точки O_3 , абсциссы точки A пересѣченія продолженныхъ объемныхъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ, нужной для построения кривой наполненія пара въ большомъ цилиндрѣ.

На этой послѣдней повѣркѣ остановимся немного подробнѣе.

Беря за начало прямоугольной системы координатъ точку (5), мы легко составляемъ уравненія линій объемныхъ діаграммъ въ слѣдующемъ видѣ:

для линіи (1 — 2)

$$a x + S_1 y - a (S_1 + m_1 + R + m_2) = 0,$$

для линіи (4 — 5)

$$a x + S_2 y = 0.$$

Рѣшая совмѣстно эти уравненія по отношенію къ x , получаемъ:

$$O_3 O_4 = x = \frac{S_2 (S_1 + m_1 + R + m_2)}{S_2 - S_1}.$$

Вычитая изъ полученной величины отрѣзокъ $O_5 O_4 = (S_1 + m_1 + R + m_2)$ мы опредѣляемъ длину отрѣзка $O_3 O_5 = x'$ въ слѣдующемъ видѣ:

$$x' = x - (S_1 + m_1 + R + m_2),$$

$$x' = \frac{S_1 (S_1 + m_1 + R + m_2)}{S_2 - S_1}.$$

Изъ отношеній этихъ двухъ величинъ (x, x') находимъ:

$$O_3 O_5 : O_3 O_4 = S_1 : S_2.$$

Выведенное условіе даетъ возможность повѣрки положенія точки O_3 слѣдующимъ образомъ: на вертикаляхъ, проходящихъ черезъ тѣмъ мертвыя положенія обоихъ поршней машины, откладываемъ соответственные хода S_1 и S_2 ; прямая, соединяющая эти точки, проходитъ черезъ точку O_3 .

Указанная повѣрка воспроизведена на черт. 2 (табл. III).

Это же условіе подтверждаетъ и доказываетъ высказанное въ главѣ первой *a priori* положеніе, что масштабы абсциссъ кривой перетеканія пара изъ малаго цилиндра въ большой, изображающей на индикаторныхъ діаграммахъ обоихъ цилиндровъ двумя гиперболами, вычерченными изъ общаго центра O_3 , должны относиться, какъ соответственные объемы цилиндровъ (хода поршней S_1 и S_2 на діаграммѣ Schröter'a).

Вернемся къ проектируемой нами машинѣ.

При уменьшенной работѣ машины въ большой цилиндръ поступаетъ паръ, имѣющій малое давленіе, въ результатѣ чего, на соответственной индикаторной діаграммѣ могутъ образовываться петли. Петли эти помѣщаются у концовъ діаграммы—въ началѣ впуска пара въ цилиндръ и въ концѣ періода расширения пара. Первые петли показываютъ на имѣющееся *отжиманіе* распределительныхъ органовъ, ведущее къ нарушенію правильности ихъ дѣйствія; вторыя же показываютъ на *засасываніе* въ цилиндръ смѣси воздуха и пара изъ выхлопной трубы, что способствуетъ засоренію цилиндра, износу его стѣнокъ и влечетъ за собою порчу машины.

Оба рода петель являются и потому еще нежелательными, что они указываютъ на бесполезную отрицательную работу пара въ машинѣ.

Въ виду всего изложеннаго, подъ наименьшей мощностью машины мы будемъ въ дальнѣйшемъ понимать такую мощность, ниже которой на индикаторной діаграммѣ большого цилиндра уже образуются петли.

Путемъ соответственныхъ подсчетовъ, опираясь на опредѣленное аналитическое положеніе точки O_3 , объемныя діаграммы проектируемой машины и давленіе выпуска p_a изъ большаго цилиндра, можно опредѣлить начало періода и конечное давленіе сжатія такимъ образомъ, что бы при минимальной мощности машины—давленіе p_e'' впуска пара въ большой цилиндръ равнялось бы давленію p_c'' , а конечное давленіе расширения p_e'' —въ свою очередь давленію выпуска p_a .

Въ указанныхъ условіяхъ при дальнѣйшемъ пониженіи мощности машины петли образуются *одновременно* на обоихъ концахъ индикаторной діаграммы большого цилиндра.

Ясно, что получаемая въ такихъ условіяхъ мощность цилиндра низкаго давленія, а — слѣдовательно — и всей машины, будетъ *наименьшей, возможной безъ образованія петель, мощностью машины.*

Основываясь на приведенныхъ соображеніяхъ, у насъ и взявъ періодъ сжатія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія равнымъ 12% и конечное давленіе сжатія $p_c'' = 2,75 \text{ klg.}$

Такъ какъ колебанія мощности машинъ *Tandem* обычнаго типа совершаются исключительно за счетъ уменьшенія или увеличенія степени наполненія цилиндра высокаго давленія, всѣ же остальные моменты парораспредѣленія никакимъ измѣненіямъ не подвергаются, то, опираясь на минимальную работу большаго цилиндра, нетрудно опредѣлить, обратнымъ графическимъ построеніемъ или подсчетомъ, давленія пара въ различные моменты рабочаго процесса; иными словами — по данной діаграммѣ *Schröter*'а для *нормальной* работы машины нетрудно построить таковую же для минимальной или какой либо другой мощности машины.

Построивъ индикаторныя діаграммы (*табл. III, черт 2*) для минимальной работы машины и спланиметрировавъ ихъ, мы получаемъ минимальное расчетное среднее индикаторное давленіе

$$\min p_i = 2,25 \text{ klg.}$$

Максимальную мощность машины опредѣляемъ изъ того же условія отсутствія возможности образованія петель — теперь уже на индикаторной діаграммѣ цилиндра высокаго давленія.

Съ увеличеніемъ въ маломъ цилиндрѣ наполненія увеличивается и ресиверное давленіе; вмѣстѣ съ нимъ, очевидно, увеличивается и конечное давленіе сжатія p_c' цилиндра высокаго давленія.

Всякое увеличеніе наполненія, происшедшее вслѣдъ за тѣмъ, какъ конечное давленіе сжатія p_c' сдѣлалось равнымъ давленію впуска p_e' , вызываетъ образованіе петли у соотвѣтственнаго конца діаграммы. Опять на лицо отжиманіе органовъ впуска пара и отрицательная работа.

Такимъ образомъ ясно, что максимальная работа машины опредѣляется условіемъ:

$$p_c' = p_e'.$$

Исходя изъ указаннаго условія, мы, подобно тому, какъ и для минимальной работы, можемъ графическимъ построеніемъ, провѣреннымъ аналитическимъ подсчетомъ, получить на томъ же *черт. 2 (табл. III)* индикаторныя діаграммы обоихъ цилиндровъ при максимальной, допустимой безъ образованія петель, нагрузкѣ.

Планиметрируя эти диаграммы, мы получаемъ для соответственнаго индикаторнаго давленія:

$$\max p_i = 4,05 \text{ klg.}$$

Такъ какъ индикаторная мощность машины прямо пропорціональна среднему индикаторному давленію, то, принимая нормальную мощность машины за единицу, мы имѣемъ соответственныя мощности проектируемой машины, выраженными такими числами:

$$1,256 \text{ — } 1 \text{ — } 0,698.$$

Отсюда мы видимъ, что безъ образованія петель, т. е. при условіи спокойной работы парораспределительныхъ органовъ, нагрузка проектированной нами машины можетъ колебаться въ предѣлахъ отъ 1260 до 700 индикаторныхъ силъ—приблизительно на 30% въ ту и другую сторону отъ нормальной.

Если максимальная нагрузка и является достаточной, то минимальная должна быть признана еще очень высокой.

Опредѣлимъ теперь условія возможнаго отбора пара.

Величина отбора должна колебаться отъ нуля до нѣкотораго максимума, выше котораго рабочій процессъ становится неправильнымъ, на что указываетъ бесполезно совершаемая отрицательная работа, сопровождаемая появленіемъ петель въ индикаторныхъ диаграммахъ.

Ясное дѣло, что наибольшая величина возможнаго отбора выражается разностью между количествами пара, входящими въ машину при ея максимальной и минимальной работахъ.

Дѣйствительно, предѣлъ максимальной работы ограниченъ свойствами индикаторной диаграммы малаго цилиндра; предѣлъ же минимальной—зависитъ отъ индикаторной диаграммы большого цилиндра.

Заставляя машину работать такимъ образомъ, чтобы каждый изъ ея цилиндровъ совершалъ работу, соответствующую его предѣльной диаграммѣ, мы тѣмъ самымъ получаемъ возможность при этомъ крайнемъ случаѣ отвести изъ ресивера *наибольшее* количество пара.

Для того, чтобы условія отбора выразить въ числахъ, приведемъ количества пара, проходящаго черезъ машину при различныхъ ея нагрузкахъ, къ нѣкоторому общему давленію (у насъ такимъ давленіемъ взято $p_r = 4 \text{ Atm.}$) и опредѣлимъ соответствующіе указаннымъ количествамъ объемы.

Приведеніе къ общему давленію выполнено на индикаторныхъ диаграммахъ цилиндра низкаго давленія (*черт. 2, табл. III*), гдѣ полученные величины позволяютъ наглядно судить о возможномъ отборѣ.

Отрѣзки $\overline{\alpha\beta}$, $\overline{\alpha\gamma}$ и $\overline{\alpha\delta}$ одной общей горизонтали, будучи пропорциональны количествамъ пара, проходящимъ черезъ машину при ея минимальной, нормальной и максимальной нагрузкахъ, указываютъ разностью

$$\overline{\beta\delta} = \overline{\alpha\delta} - \overline{\alpha\beta}$$

величину пропорциональную возможному максимальному отбору.

Относительный максимальный отборъ k_{max} будетъ равенъ:

$$k_{max} = \frac{\overline{\beta\delta}}{\overline{\alpha\delta}}.$$

Опредѣляя по чертежу и провѣряя подсчетомъ названные отрѣзки, мы находимъ для нихъ, въ принятомъ при построении диаграммъ масштабѣ объемовъ, слѣдующія величины:

$$\overline{\alpha\delta} = 49,16 \text{ мм.}$$

$$\overline{\alpha\gamma} = 36,44 \text{ „}$$

$$\overline{\alpha\beta} = 24,2 \text{ „ .}$$

Изъ сопоставленія приведенныхъ величинъ заключаемъ, что максимальный отборъ, отнесенный къ *нормальному* количеству проходящаго черезъ машину пара, выразится такъ:

$$nk_{max} = \frac{49,16 - 24,2}{36,44} = 68,56 \approx 70 \%;$$

отнесенный же къ *наибольшему возможному*, проходящему черезъ машину, количеству пара будетъ равенъ:

$$k_{max} = \frac{49,16 - 24,2}{49,16} = 49,2 \approx 50 \%.$$

Въ интересахъ дальнѣйшаго изслѣдованія опредѣлимъ нѣкоторые размѣры машины, именно: полезную площадь поршня цилиндра низкаго давленія и соответственный опредѣленной средней скорости ходъ поршней машины.

Такъ какъ, по принятымъ нами условіямъ, въ машинѣ не существуетъ никакихъ потерь, то—обычно принимаемого въ расчетахъ—коэффициента неполноты индикаторныхъ диаграммъ мы вводить не будемъ.

Изъ основной формулы для расчета паровыхъ машинъ

$$N_i = \frac{O \cdot p_i \cdot c_m}{75}$$

имѣемъ:

$$O = \frac{75 \cdot N_i}{p_i \cdot c_m},$$

гдѣ

N_i — данное число индикаторныхъ силъ,

c_m — средняя скорость поршня *mtr/sec*,

O — полезная площадь поршня въ cm^2 .

Зададимся средней скоростью поршня $c_m = 3,1$ *mtr/sec*.

Тогда, учитывая среднее индикаторное давленіе, соотвѣтствующее нормальной работѣ машины, $p_i = 3,225$, имѣемъ:

$$O = \frac{75 \cdot 1000}{3,225 \cdot 3,1}.$$

Такъ какъ знаменатель даннаго выраженія безъ большой погрѣшности можетъ быть принятъ равнымъ 10 (въ дѣйствительности — 9,9975), то искомая площадь поршня

$$O = 7500 \text{ cm}^2.$$

По средней скорости поршня c_m и по данному числу оборотовъ n опредѣляемъ S_2 — ходъ поршня нашей машины.

$$c_m = \frac{S_2 n}{30},$$

откуда:

$$S_2 = \frac{3,1 \cdot 30}{120} = 0,775 \text{ mtr}.$$

Вернемся къ выясненію условій, сопровождающихъ отборъ пара изъ изслѣдуемой машины.

Чтобы составить понятіе — приблизительно правильное — о томъ, какъ отразится наибольшій отборъ на количествѣ доставляемой машиною работы, вычислимъ на основаніи ранѣе сдѣланныхъ планиметрированій, расчетное среднее индикаторное давленіе, опредѣляемое *предѣльными* индикаторными діаграммами каждаго изъ ея цилиндровъ.

Сдѣлавъ это, находимъ:

$$p_i = 2,413 \text{ klg}.$$

По отношенію къ среднему индикаторному давленію $p_i = 3,225$, соотвѣтствующему работѣ машины, принятой за единицу, имѣемъ:

$$\frac{3,124}{3,225} = 0,748,$$

т. е. при *наибольшемъ отборѣ* проектируемая машина можетъ развить лишь немногимъ болѣе ея *минимальной* мощности, выражаемой по отношенію къ единицѣ числомъ 0,698.

Считая, что—съ одной стороны—машина должна работать хорошо и спокойно при возможно широкихъ колебаніяхъ ея нагрузки и что—съ другой стороны—наибольшій отборъ пара можетъ потребоваться тогда, когда машина должна преодолевать наибольшую нагрузку, мы вынуждены признать, что спроектированный, для намѣченной къ изслѣдованію машины, рабочей процессъ не вполне хорошо удовлетворяетъ всѣмъ предъявленнымъ къ ней требованіямъ.

Для подтвержденія правильности выводовъ, сдѣланныхъ на основаніи построенныхъ при различныхъ нагрузкахъ машины діаграммъ, составимъ для каждаго случая *паровой баллансъ*.

Простоты ради, будемъ оперировать съ величинами, выраженными въ *мм.* и представляющими собою въ соотвѣтственныхъ масштабахъ объемы и давленія пара.

Нужныя для насъ величины беремъ прямо съ чертежа съ точностью до $\frac{1}{4}$ *мм.*

Обращаемся сперва къ діаграммамъ, соотвѣтствующимъ максимальной мощности машины.

Для точки *b* будемъ имѣть объемъ = 21 *мм.*, давленіе же 165 *мм.*, слѣдовательно:

$$c_1 = 21 \cdot 165 = 3465;$$

для точки *d* имѣемъ объемъ 7,5 *мм.* давленіе—78,25 *мм.*, откуда

$$c_2 = 586,875;$$

для точки *t'*—соотвѣтственно 65 и $O_2 t' = 50,75$ и

$$c_3 = 3298,75;$$

точка *n''* съ объемомъ $m_2 = 8$ и давленіемъ—41,25 даетъ

$$c_4 = 330;$$

для точки *t'* имѣемъ $p = 65$ и $v = t' t' = 179,75$, откуда

$$c_5 = 11683,75,$$

та же точка t' , будучи отнесена къ объему $v=t_1O_2=129$, опредѣляетъ собою

$$c_6 = 8385.$$

Составляемъ балансъ:

$$\begin{array}{r} 3465 \\ - 586,875 \\ \hline c_1 - c_2 = 2878,125 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 3298,75 \\ - 330 \\ \hline c_3 - c_4 = 2968,75 \end{array}$$

Невязка:

$$\begin{array}{r} 2968,75 \\ - 2878,125 \\ \hline 90,625 \cong 3\% \end{array}$$

Обратимся къ линіи выпуска изъ цилиндра высокаго давленія и къ кривой расширенія большаго цилиндра

$$\begin{array}{r} 3298,75 \\ + 8385,00 \\ \hline c_3 + c_6 = 11683,75 \end{array}$$

$$c_5 = 11683,75.$$

Невязка = 0.

Изъ приведеннаго примѣра подсчета *парового баланса* видно, что невязка можетъ доходить до сравнительно-крупной величины 3%. Это объясняется легко неточностью измѣреній по чертежу соответственныхъ данныхъ. При принятомъ нами масштабѣ давленій (1 *Atm* = 15 *mm*) погрѣшность въ 0,25 *mm* равна $\frac{1}{60}$ доли атмосферы—величина очень незначительная. Что же касается измѣренія объемовъ, то тамъ ошибка въ 0,25 *mm* приноситъ уже существенные результаты.

Выше мы опредѣлили полезную площадь и ходъ поршня цилиндра низкаго давленія:

$$O = 0,75 \text{ mtr}^2 \text{ и } S_2 = 0,775 \text{ mtr},$$

откуда полезный объемъ большаго цилиндра

$$Q = 0,58125 \text{ mtr}^3.$$

Этотъ объемъ на діаграммѣ *Schröter*'а принять у насъ равнымъ 100 *mm*, изъ чего мы видимъ, что 0,25 *mm* представляютъ собою

объемъ равный $1453,125 \text{ cm}^3$, что является весьма значительной величиною.

Такимъ образомъ мы заключаемъ, что пользование діаграммою *Schröter'a*, имѣющее достоинства наглядности и удобства начертанія, должно—во избѣжаніе ошибокъ—сопровождаться подсчетомъ и повѣркой хотя бы нѣкоторыхъ характерныхъ точекъ индикаторныхъ діаграммъ.

Благодаря тому, что объемныя діаграммы у насъ выражаются прямыми линиями, чрезвычайно легко простымъ подсчетомъ получить объемы занятые паромъ для каждаго изъ главныхъ моментовъ парораспределенія.

Въ дальнѣйшемъ черезъ все изслѣдованіе и проведенъ подобный *графо-аналитическій методъ* построения рабочаго процесса.

Вернемся къ составленію балланса для случая максимальнаго наполненія цилиндра высокаго давленія, при чемъ примемъ величины объемовъ и давленій, полученные подсчетомъ.

Весь соотвѣтственный рабочій процессъ у насъ (при данныхъ неизмѣнныхъ моментахъ парораспределенія) выведенъ изъ условія

$$pc' = pe',$$

слѣдовательно, *все* точки *всѣхъ* кривыхъ могутъ быть опредѣлены очень легко.

Значеніе объемовъ и давленій изображенныхъ соотвѣтственными отрѣзками, выразится тогда такъ:

$$\begin{array}{ll} \text{точка } -b: & p = 165 \qquad v = 21,47 \\ & c_1 = 3542,55 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{точка } -d: & p = 78,16 \qquad v = 7,6 \\ & c_2 = 594,0 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{точка } -t'': & p = 65,13 \qquad v = 50,35 \\ & c_3 = 3279,2955. \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{точка } -n'': & p = 41,25 \qquad v = 8. \\ & c_4 = 330 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Баллансъ:} & \begin{array}{r} 3542,55 \\ - 594,00 \\ \hline c_1 - c_3 = 2946,55 \end{array} & \begin{array}{r} 3279,2955 \\ - 330,00 \\ \hline c_2 - c_4 = 2949,2955 \end{array} \end{array}$$

$$\begin{array}{r} \text{Невязка:} \\ \quad \quad \quad - 2949,296 \\ \quad \quad \quad \underline{2946,550} \\ \quad \quad \quad 2,746 < 0,1\% \end{array}$$

Какъ видимъ изъ послѣдняго примѣра, балансъ получается болѣе вѣрнымъ, чѣмъ это было, когда соотвѣтственныя величины брались съ чертежа, хотя бы и съ точностью до $0,25 \text{ мм}$.

Какъ мы видѣли выше *паровой балансъ* изучаемой машины опирается въ числѣ прочихъ величинъ на постоянную c_3 гиперболы расширения пара въ цилиндрѣ низкаго давленія.

Величина этой постоянной въ свою очередь опредѣляется моментомъ отсѣчки большого цилиндра. Мы знаемъ, что этотъ послѣдній моментъ характеризуется на индикаторной діаграммѣ цилиндра высокаго давленія точкой пересѣченія двухъ равностороннихъ гиперболъ, проведенныхъ изъ центровъ O_2 и O_3 .

Графическій и аналитическій методы нахождения такихъ точекъ были указаны во „Введеніи“.

На *черт. 2, табл. III* положеніе ординаты разбираемой точки найдено построеніемъ, основаннымъ на пропорціональномъ дѣленіи внутреннимъ образомъ соотвѣтственнаго отрѣзка линіи объемовъ $O_3 O_2$.

ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.

Примѣрный подсчетъ машины Tandem съ охлажденіемъ (при невысокомъ вакуумѣ). Опредѣленіе границъ возможнаго отбора.

Въ главѣ третьей мы видѣли, что машина безъ охлажденія является мало приспособленной для работы въ условіяхъ широкаго измѣненія какъ нагрузки, такъ и отбора.

Строить машину съ охлажденіемъ, стремясь получить при высокомъ вакуумѣ возможно малый расходъ пара на индикаторную силу въ часъ, является съ точки зрѣнія использованія выходящей изъ машины тепловой воды нераціональнымъ, такъ какъ при высокомъ вакуумѣ, соответствующемъ въ новѣйшихъ машинахъ давленію выпускаемаго изъ машины пара $p_a = (0,05 - 0,06) \text{ Atm}$, вода, выходящая изъ холодильника машины, будетъ имѣть низкую температуру (около $30^\circ - 35^\circ \text{ C}$).

Поэтому мы возьмемъ давленіе p_a выпуска пара изъ машины, какъ это дѣлаетъ въ своемъ изслѣдованіи и *L. Schneider**), равнымъ $0,55 \text{ Atm}$., предполагая, что отработавшій въ машинѣ паръ примѣняется, согласно цѣлямъ производства, на нагреваніе соответственнаго количества воды до температуры около 80° C .

Для возможности сравненія рабочаго процесса обѣихъ разбираемыхъ машинъ оставимъ прежними отношеніе объемовъ цилиндровъ, объемъ ресивера и всѣ моменты парораспредѣленія.

Конечное давленіе расширенія p_e'' въ большомъ цилиндрѣ примемъ равнымъ p_a плюс $0,45 \text{ Atm}$, откуда

$$p_e'' = 1 \text{ Atm}.$$

Примѣняя по прежнему графоаналитическій методъ, мы выстраиваемъ (*черт. табл. IV*) рабочій процессъ машины съ небольшимъ вакуумомъ для нормальной и возможныхъ (безъ образованія петель на индикаторныхъ діаграммахъ) максимальной и минимальной нагрузокъ машины. На чертежѣ *табл. IV* соответственныя индикаторныя діаграммы выдѣлены изъ всего ряда выполненныхъ для изслѣдованія діаграммъ; кромѣ того отдѣльные моменты рабочаго процесса машины при *нормальной нагрузкѣ* отмѣчены кружками.

Планиметрируя діаграммы нормальной работы машины, мы находимъ расчетное среднее индикаторное давленіе

*) *Die Abwärmeverwertung*. S. 16.

$$n p_i = 2,627 \text{ klg.}$$

Среднее индикаторное давление машины безъ охлажденія мы имѣли ранѣе

$$n p_i = 3,225 \text{ klg.}$$

Такимъ образомъ мы видимъ, что для прежняго числа оборотовъ и прежней скорости поршня

$$c_m = 3,1 \text{ mtr/sec.}$$

мы должны имѣть для заданной нормальной мощности машины $N_i = 1000$ площадь поршня O цилиндра низкаго давления увеличенной въ $\frac{3,225}{2,627} = 1,228$ разъ.

Откуда опредѣляемъ площадь поршня

$$O = 9210 \text{ cm}^2.$$

Слѣдовательно, мы должны отмѣтить, что масштабъ объемовъ для діаграммы *Schröter*'а у насъ увеличился въ тоже число разъ.

Опредѣлимъ теперь полезный расходъ пара машиною, выражаемый, какъ мы уже знаемъ, опредѣленнымъ объемомъ за одинъ ходъ поршня. Относя этотъ объемъ къ прежнему давленію 4 Atm. , мы получаемъ (путемъ одновременнаго графическаго и аналитическаго подсчета), что полезный расходъ пара при нормальной нагрузкѣ машины (*черт. табл. IV*) выражается отрѣзкомъ

$$\alpha\gamma = 24,25 \text{ mm.}$$

Соотвѣтственный расходъ пара у первой машины выражался (*см. черт. 2. табл. III*) отрѣзкомъ

$$\alpha\gamma = 36,44 \text{ mm.}$$

Для того, чтобы сравнить между собою указанные расходы пара, надо, очевидно, привести эти отрѣзки къ одному масштабу объемовъ.

Выполняя сказанное, мы получаемъ, что расходъ пара машиною съ невысокимъ вакуумомъ выразится въ *прежнемъ* масштабѣ отрѣзкомъ

$$\alpha'\gamma' = 24,25 \cdot 1,228 = 29,78,$$

т. е. составляетъ $0,817$ расхода машины безъ охлажденія.

Планиметрируя послѣдовательно діаграммы максимальной и минимальной нагрузокъ машины, мы находимъ соотвѣтственно:

$$\max p_i = 4,73 \text{ klg.}, \quad \min p_i = 1,267 \text{ klg.},$$

откуда находимъ, принимая по прежнему $np_i = 2,627 \text{ klg.}$ за единицу, слѣдующія, допускаемыя колебанія въ нагрузкѣ машины:

<i>max.</i>	<i>norm.</i>	<i>min.</i>
$\frac{4,73}{2,627} = 1,8005$	1	$\frac{1,267}{2,627} = 0,4823.$

Иными словами машина, не претерпѣвая никакихъ нарушеній въ дѣйстви ея парораспредѣлительныхъ приборовъ, можетъ работать при половинной нагрузкѣ ($N_i = 482$) и можетъ допускать очень высокую перегрузку, доходящую до 80% ея нормальной мощности.

Послѣднее качество является для насъ особенно цѣннымъ. Изъ условій рабочаго процесса машинъ съ отборомъ пара мы знаемъ, что недостатокъ работы, доставляемой цилиндромъ низкаго давленія, долженъ восполняться соотвѣтственнымъ увеличеніемъ мощности, доставляемой малымъ цилиндромъ.

Слѣдовательно, чѣмъ больше допускаемое максимальное наполненіе цилиндра высокаго давленія, тѣмъ, можно сказать *a priori*, значительнѣе будетъ величина возможнаго отбора.

Опираясь на произведенное уже планиметрированіе, сдѣлаемъ подсчетъ мощности машины, обусловленный наличиемъ *предѣльныхъ* индикаторныхъ діаграммъ каждаго изъ ея цилиндровъ, предполагая тѣмъ самымъ наличие максимальнаго отбора.

Выполняя сказанное имѣемъ:

$$k p_i = 2,133,$$

или, по отношенію къ нормальной мощности, машина при наибольшемъ возможномъ отборѣ развиваетъ

$$\frac{2,133}{2,627} = 0,812,$$

т. е. на 19% менѣе нормальной и въ 1,685 разъ болѣе ея минимальной работы.

Опредѣлимъ теперь максимальный допустимый отборъ пара.

Приведа полезный расходъ пара машиною—при максимальномъ и минимальномъ наполненіи цилиндра высокаго давленія—къ объемамъ, соотвѣтственно изображеннымъ (*черт. табл. IV*) на индикаторной діаграммѣ большого цилиндра отрѣзками $\bar{\alpha\beta}$ и $\bar{\alpha\delta}$, мы получаемъ наибольшій отборъ въ видѣ отрѣзка:

$$\bar{\beta\delta} = \bar{\alpha\delta} - \bar{\alpha\beta}.$$

Опредѣляя подсчетомъ величины отрѣзковъ, характеризующихъ собою объемы проходимого черезъ машину пара, находимъ:

$$\bar{\alpha\delta} = 51,864,$$

$$\bar{\alpha\gamma} = 24,25,$$

$$\alpha\beta = 12,10,$$

откуда и опредѣляемъ максимальный отборъ:

$$\bar{\beta\delta} = 39,76.$$

Для возможности сравненія намъ необходимо привести эту величину къ масштабу объемовъ машины безъ охлажденія. Выполняя сказанное имѣемъ:

$$39,76 \cdot 1,228 = 48,83,$$

что, по сравненію съ приведенной въ главѣ третьей величиною максимальнаго отбора (24,96), даетъ *увеличеніе количества* возможнаго отбора въ

$$\frac{48,84}{24,96} = 1,957,$$

т. е. мы имѣемъ увеличеніе отбора почти *вдвое*.

Опредѣлимъ теперь относительную величину максимальнаго отбора по сравненію съ количествомъ пара, проходящимъ черезъ цилиндръ высокаго давленія, при нормальномъ и максимальномъ наполненіи.

Тогда имѣемъ:

$$nk_{max} = \frac{39,77}{24,25} = 1,6387 \approx 164\%.$$

$$k_{max} = \frac{39,77}{51,864} = 0,7668 \approx 77\%.$$

Изъ всего изложеннаго ясно, что введеніемъ въ рабочій процессъ машины невысокаго вакуума, мы значительно улучшили всѣ ея качества съ точки зрѣнія промежуточнаго отбора пара и, кромѣ того, получили возможность правильной работы машины при измѣненіи ея нагрузки отъ 482 до 1800,5 силъ.

На этой машинѣ мы и остановимся, выбравъ ее объектомъ предполагаемаго изслѣдованія.

Чтобы подтвердить сдѣланные выше выводы, основанные на сопоставленіи вычерченныхъ индикаторныхъ діаграммъ, провѣримъ пра-

вильность построения этих послѣднихъ составленіемъ *парового балланса* для трехъ разобранныхъ нагрузокъ машины, при чемъ будемъ, простоты ради, брать объемы и давленія въ видѣ соответственныхъ отръзковъ, выраженныхъ въ *тт.* (см. *Приложеніе* табл. II и III).

А) Наибольшая нагрузка машины.

Таблица данныхъ для балланса.

Точки діаграммы.	С о о т в ѣ т с т в е н н ы е			
	Объемъ.	Давленіе.	Постоянная гиперболы.	
<i>a_{тх}</i>	22,46	165,00	<i>c₁</i>	3705,90
<i>g'_{тх}</i>	7,60	78,16	<i>c₂</i>	594,016
<i>g''_{тх}</i>	108,00	30,34	<i>c₃</i>	3276,720
<i>h</i>	20,00	8,25	<i>c₄</i>	165,00
<i>e'_{тх}</i>	156,04	74,9	<i>c₅</i>	11687,396
<i>g'_{тх}</i>	107,60	78,16	<i>c₆</i>	8410,016

Баллансъ.

$$\begin{array}{r}
 3705,90 \\
 - 594,016 \\
 \hline
 c_1 - c_2 = 3111,884
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 3276,720 \\
 - 165,00 \\
 \hline
 c_3 - c_4 = 3111,720
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 3276,720 \\
 + 8410,016 \\
 \hline
 c_3 + c_6 = 11686,736
 \end{array}
 \qquad
 c_5 = 11687,396$$

Діаграммы составлены правильно.

В) Нормальная нагрузка машины.

Таблица данныхъ для балланса.

Точки діаграммы.	С о о т в ѣ т с т в е н н ы е			
	Объемъ.	Давленіе.	Постоянная гиперболы.	
<i>a_н</i>	10,6	165,00	<i>c₁</i>	1749,00
<i>g'_н</i>	7,6	38,70	<i>c₂</i>	294,12
<i>g''_н</i>	108,00	15,00	<i>c₃</i>	1620,00
<i>h</i>	20,00	8,25	<i>c₄</i>	165,00
<i>e'_н</i>	156,04	37,05	<i>c₅</i>	5781,28
<i>g'_н</i>	107,60	38,70	<i>c₆</i>	416

Балансъ.

$$\begin{array}{r} 1749,00 \\ - 294,12 \\ \hline c_1 - c_2 = 1454,88 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 1620,00 \\ - 165,00 \\ \hline c_3 - c_4 = 1455,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 1620,00 \\ + 4164,12 \\ \hline c_3 + c_6 = 5784,12 \end{array} \qquad c_5 = 5773,48$$

Невязка менѣе 0,2%

Діаграммы составлены правильно.

С) Наименьшая нагрузка машины.

Таблица данныхъ для баланса.

Точки діаграммы.	С о о т в ѣ т с т в е н н ы е			
	Объемъ.	Давленіе.	Постоянная гиперболы.	
a_{min}	5,38	165,00	c_1	887,70
g'_{min}	7,60	21,30	c_2	161,88
g''_{min}	108,00	8,25	c_3	891,00
h	20,00	8,25	c_4	165,00
e'_{min}	156,04	20,40	c_5	3183,216
g'_{min}	107,60	21,30	c_6	2291,88

Балансъ.

$$\begin{array}{r} 887,70 \\ - 161,88 \\ \hline c_1 - c_2 = 725,82 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 891,00 \\ - 165,00 \\ \hline c_3 - c_4 = 726,00 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 891,00 \\ + 2291,88 \\ \hline c_3 + c_6 = 3182,88 \end{array} \qquad c_5 = 3183,216$$

Діаграммы составлены правильно.

ГЛАВА ПЯТАЯ.

Ислѣдованіе машины *Tandem* при перемѣнной нагрузкѣ, безъ отбора отъ нея пара.

Чтобы имѣть возможность прослѣдить вліяніе отбора на расходъ пара, приходящійся на одну индикаторную силу машины въ часъ,—на распредѣленіе доставляемой машиною работы между обоими цилиндрами, а также, чтобы сравнить полученные результаты съ машиною *Tandem* обычнаго типа, ислѣдуемъ—при отсутствіи отбора—условія работы машины, главные размѣры и рабочій процессъ которой были опредѣлены нами въ предшествующей главѣ.

Ислѣдованіе поведемъ въ направленіи измѣненія нагрузки машины отъ наибольшаго до наименьшаго возможныхъ предѣловъ. Для каждаго случая опредѣлимъ индикаторную мощность всей машины и распредѣленіе этой мощности между цилиндрами; кромѣ того будемъ находить соотвѣтственный полезный расходъ пара.

Разобъемъ наибольшую нагрузку машины на послѣдовательныя ступени. Выше мы видѣли, что наибольшій допускаемый отборъ пара, будучи отнесенъ къ давленію 4 Atm. , объему выражается отрѣзкомъ $\beta\delta = 39,76 \text{ мм.}$ (черт. табл. IV). Этотъ то отрѣзокъ мы и раздѣлимъ на 9 частей такъ, чтобы одно изъ дѣленій совпадало съ количествомъ пара, соотвѣтствующимъ нормальной нагрузкѣ машины, остальные же дѣленія были удалены другъ отъ друга приблизительно на 4 мм. При этихъ условіяхъ, полагая, какъ уже сказано, что изъ машины нѣтъ отбора пара, мы можемъ построить для каждаго изъ цилиндровъ машины всего по 11-ти діаграммъ, соотвѣтствующихъ одиннадцати различнымъ объемнымъ количествамъ пара, проходящимъ черезъ цилиндры машины при различныхъ ея нагрузкахъ отъ наибольшей до наименьшей.

Для каждой нагрузки принятымъ графо-аналитическимъ методомъ и были построены (черт. табл. IV) соотвѣтственныя индикаторныя діаграммы, при чемъ правильность построенія контролировалась составленіемъ паровыхъ балансовъ.

Планиметрируя построенныя діаграммы, мы получаемъ возможность опредѣлить—мощность машины для каждаго случая и другія данныя, характеризующія ислѣдуемую машину при отсутствіи отбора.

Называя объемъ пара, проходящаго черезъ машину за одинъ ходъ поршня буквою q , имѣемъ въ масштабѣ объемовъ (при давленіи 4 Atm.) рядъ отрѣзковъ, соотвѣтствующихъ различнымъ ступенямъ нагрузки машины*).

Зная площадь поршня O_2 въ mtr^2 , ходъ его— S_2 , число оборотовъ машины— n въ минуту, и вѣсь единицы объема пара при давленіи 4 Atm. равный $2,147 \text{ klg.}$, мы легко можемъ вычислить G — часовою полезный расходъ пара въ $klg.$ —по слѣдующей формулѣ:

$$G = \frac{S_2 \cdot O_2}{100} \cdot q \cdot 2 \cdot n \cdot 60 \cdot 2,147.$$

Собирая все постоянныя величины въ одинъ коэффициентъ, мы придадимъ болѣе простой видъ этой формулѣ:

$$G = 220,676 \cdot q$$

и опредѣляемъ по ней часовою расходъ пара при различныхъ нагрузкахъ машины.

Зная полный, часовою расходъ пара и соотвѣтственную нагрузку машины мы опредѣляемъ Q_i —расходъ пара на одну индикаторную силу въ часъ.

Все полученныя величины собраны въ одну таблицу.

Таблица величинъ, характеризующихъ условія работы испыдуемой машины при отсутствіи отбора.

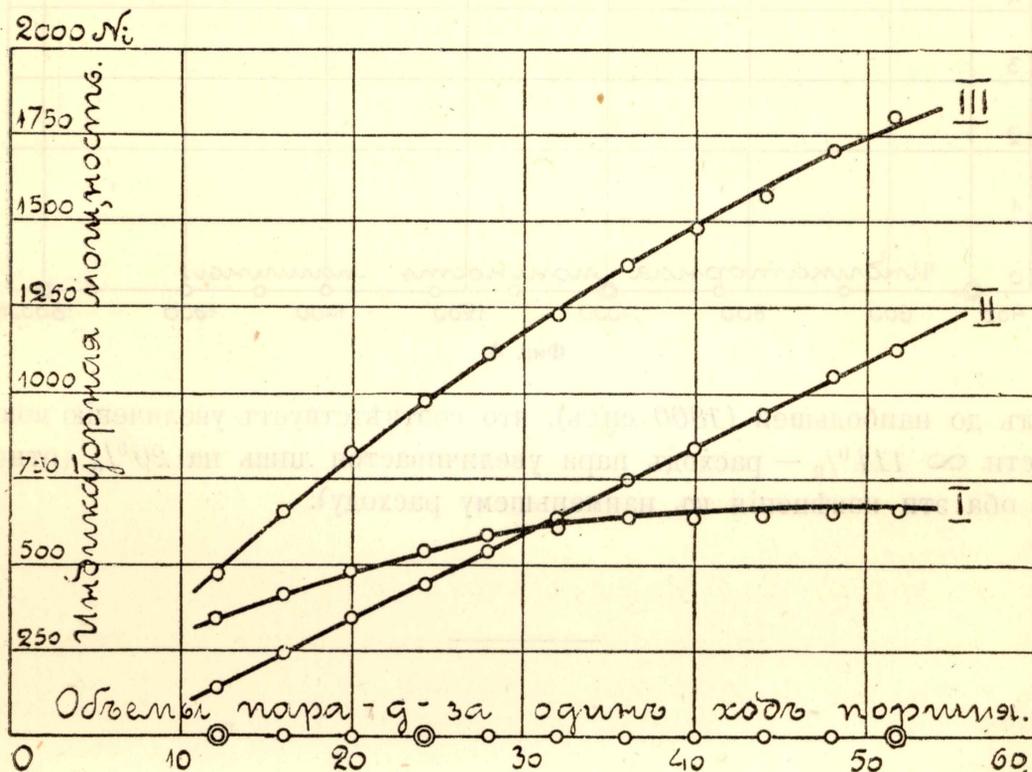
Объемныя количества пара, выраженные въ $mtr.$		Индикаторная мощность			Полный часовой расходъ пара G —въ $klg.$	Расходъ пара на силу въ часъ Q_i — $klg.$
		малаго цилиндра.	большого цилиндра.	всей машины.		
$min q_1$	12,1	340,15	142,12	482,3	2670,20	5,54
q_2	16	421,29	246,03	667,3	3530,80	5,29
q_3	20	489,81	350,3	840,1	4413,50	5,25
$n q_4$	24,25	550,72	449,28	1000	5351,40	5,35
q_5	28	588,79	548,17	1137	6178,90	5,43
q_6	32	611,63	636,9	1248,5	7061,70	5,66
q_7	36	642,08	755,9	1398	7944,40	5,68
q_8	40	644,62	852,7	1497,3	8827,10	5,90
q_9	44	647,16	948,8	1596	9709,80	6,08
q_{10}	48	659,94	1076,1	1736	10592,50	6,10
$max q_{11}$	51,864	659,94	1140,6	1800,5	11445,20	6,36

Разсматривая эту таблицу, мы видимъ, что наименьшій расходъ пара на силу въ часъ наблюдается около третьей ступени нагрузки машины, откуда въ обѣ стороны онъ увеличивается. Работа, доставляе-

*)См. Приложение.— Табл. I.

мая цилиндромъ высокаго давленія при различныхъ нагрузкахъ, колеблется въ значительно меньшихъ предѣлахъ (340,15—659,94), чѣмъ соответственная работа большого цилиндра (142,12—1140,6).

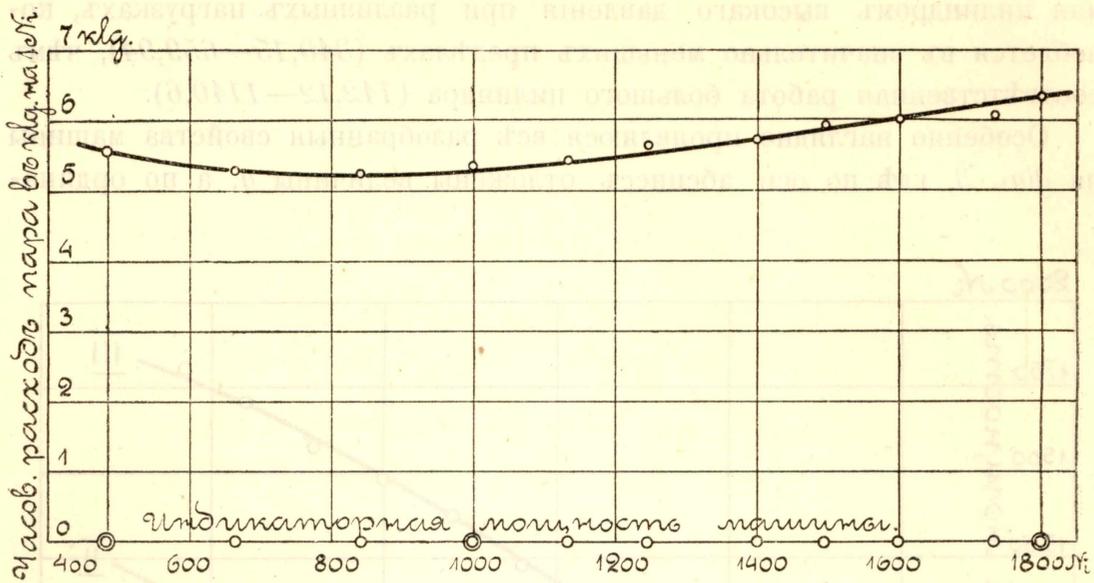
Особенно наглядно проявляются всѣ разобранныя свойства машины на *фиг. 3*, гдѣ по оси абсциссъ отложены величины q , а по ордина-



Фиг. 3.

тамъ работы, доставляемая цилиндромъ высокаго давленія (кривая I), цилиндромъ низкаго давленія (кривая II) и всей машиною (кривая III). Разсматривая эти кривыя, мы видимъ, что работа, доставляемая большимъ цилиндромъ, измѣняется почти прямо пропорціонально количеству проходящаго чрезъ машину пара.

На *фиг. 4* кривая изображаетъ собою измѣненіе расхода пара на индикаторную силу въ часъ въ зависимости отъ нагрузки машины. Мы видимъ, что въ предѣлахъ между наименьшей и наибольшей нагрузками расходъ пара въ общемъ измѣняется незначительно. Обращаясь къ таблицѣ, мы можемъ подсчитать, что при уменьшеніи общей мощности машины съ 840 силъ до 482, т. е. $\infty 57\%$, расходъ пара увеличивается на $4,73\%$, при увеличеніи же мощности съ 840



Фиг. 4.

силъ до наибольшей (1800 силъ), что соотвѣтствуетъ увеличенію мощности $\infty 114\%$ — расходъ пара увеличивается лишь на 20% (относя оба эти измѣненія къ наименьшему расходу).

Въ паровыхъ двигателяхъ, работающих въ паре, расходъ пара увеличивается по мере увеличения мощности. Это объясняется темъ, что при увеличении мощности увеличивается и температура пара, а также и его объемъ. Кроме того, увеличивается и трение в движущихся частях двигателя, что также приводит к увеличению расхода пара.

На рис. 4 приведены данные о часовом расходе пара на единицу мощности. Видно, что расходъ пара увеличивается по мере увеличения мощности, но не так быстро, как это можно было бы ожидать. Это объясняется темъ, что при увеличении мощности увеличивается и температура пара, а также и его объемъ. Кроме того, увеличивается и трение в движущихся частях двигателя, что также приводит к увеличению расхода пара.

ГЛАВА ШЕСТАЯ.

Исслѣдованіе условій работы машины, при отборѣ отъ нея различныхъ количествъ пара постояннаго давленія.

Дальнѣйшее исслѣдованіе изучаемой машины поведемъ въ направленіи измѣненія количествъ отбираемаго отъ машины при постоянномъ давленіи пара.

Условіе это формулируется не вполне правильно. Въ главѣ второй мы видѣли, что давленіе пара въ ресиверѣ и цилиндрѣ (трубопроводѣ) отбора подъ вліяніемъ измѣненія объемовъ рабочихъ полостей цилиндровъ машины, сообщающихся поочередно съ ресиверомъ, постоянно мѣняется.

Поэтому—строго говоря—отбора пара при постоянномъ давленіи существовать не можетъ. Мы же, для отличія разныхъ условій отбора, въ дальнѣйшемъ будемъ говорить объ отборѣ пара при *постоянномъ ресиверномъ* давленіи, понимая подъ этимъ послѣднимъ, какъ говорилось въ самомъ началѣ нашего изложенія, давленіе въ ресиверѣ, при установившемся состояніи машины, въ моментъ предваренія выпуска изъ малаго цилиндра.

Такимъ образомъ указанное условіе отбора сводится въ сущности къ переменному количеству *отбираемаго* отъ машины пара, въ то время какъ въ малый цилиндръ за каждый ходъ поршня входитъ *одно и тоже* количество пара.

Послѣднее же условіе выполняется при постоянствѣ степени наполненія цилиндра высокаго давленія.

Итакъ общая картина изучаемаго процесса ясна: малый цилиндръ выполняетъ опредѣленную работу за счетъ *всего* поступающаго въ него пара; большой же цилиндръ совершаетъ работу за счетъ *оставшагося* въ ресиверѣ послѣ отбора количества пара. Съ измѣненіемъ отбора измѣняется и работа цилиндра низкаго давленія, а вмѣстѣ съ нею и работа доставляемая всею машиною.

При болѣе подробномъ изученіи мы увидимъ, что—съ измѣненіемъ отбора—измѣняется—хотя и незначительно—соотвѣтственная работа малаго цилиндра.

Въ предыдущей главѣ мы произвели изслѣдованіе рабочаго процесса машины, опираясь на различныя ступени ея нагрузки, соотвѣтствующія различнымъ количествамъ поступающаго въ машину пара. Этими же самыми количествами пара мы воспользуемся при настоящемъ изслѣдованіи.

Будемъ пропускать черезъ малый цилиндръ наибольшее количество пара, соотвѣтствующее, очевидно, *предѣльной* индикаторной діаграммѣ; отъ этого количества при прохожденіи его черезъ ресиверъ будемъ отбирать паръ, начиная съ наибольшаго возможнаго отбора, обусловливаемаго *предѣльной* индикаторной діаграммой *большаго цилиндра*, затѣмъ, по ступенямъ, будемъ уменьшать отборъ, пока—при отборѣ равномъ нулю—не получимъ снова индикаторныхъ діаграммъ обычной машины *Tandem*, соотвѣтствующихъ наибольшей допускаемой нагрузкѣ.

Выполняя сказанное для 11 ступеней нагрузки машины, мы получимъ 10 ступеней отбора, для которыхъ и были построены соотвѣтственные индикаторныя діаграммы.

Такъ какъ, согласно главѣ II, начала координатъ для гиперболъ, характеризующихъ собою ту или иную часть рабочаго процесса, находятся, какъ проекціи точекъ пересѣченія прямыхъ линій определенныхъ объемныхъ діаграммъ, то и для изслѣдованія, описываемаго въ настоящей главѣ, всѣ построенія рабочаго процесса были проведены графо-аналитическимъ методомъ, т. е. начала координатъ для гиперболъ находились посредствомъ рѣшенія соотвѣтственныхъ уравненій прямыхъ линій*), отдѣльныя же точки индикаторныхъ діаграммъ изъ уравненій, относящихся до этихъ точекъ равностороннихъ гиперболъ $p.v=c$. Для окончательной повѣрки полученныхъ результатовъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ составлялся паровой балансъ.

При выполненіи изслѣдованія необходимо было, для каждаго отдѣльнаго количества отбираемаго пара, учитывать соотвѣтственное объемное вліяніе отбора на давленія пара, изображаемая въ индикаторныхъ діаграммахъ обоихъ рабочихъ цилиндровъ машины.

Объемное вліяніе отбора, какъ было указано во второй главѣ, определяется въ зависимости отъ объема, соотвѣтствующаго конечному давленію расширения p'_e , всего количества пара, проходящаго черезъ малый цилиндръ машины за одинъ ходъ поршня.

Такъ какъ степень наполненія цилиндра высокаго давленія—для условій изучаемаго отбора—остается постоянной, моментъ начала пе-

*) См. Приложение—Табл. XI.

ріода сжатія не измѣняется вообще, то, при установившемся состояніи машины, проходящее черезъ нее за одинъ ходъ поршня количество пара, остается постояннымъ.

На чертежѣ 1 (*табл. V*) приведены всѣ полученныя для различныхъ отбираемыхъ количествъ пара индикаторныя діаграммы. Объемныя же діаграммы и—характерныя для процесса—ихъ точки пересѣченія показаны лишь для случая отбора, когда въ цилиндръ низкаго давленія поступаетъ количество пара, соответствующее *нормальной* работѣ машины (при этой работѣ, какъ мы уже знаемъ, изъ доставляемыхъ машиною 1000 индикаторныхъ силъ на долю большого цилиндра приходится 449,28).

Для того чтобы получить изображеніе рабочаго процесса, соответствующаго каждому разбираемому случаю, необходимо, согласно гла въ второй, опредѣлить объемъ цилиндра отбора.

Мы ввели, при изслѣдованіи машины, условіе, по которому моментъ начала сжатія въ *одной* рабочей полости малаго цилиндра совпадаетъ съ моментомъ предваренія выпуска пара изъ *другой* полости того же цилиндра.

Отсюда слѣдуетъ, что необходимое количество пара должно быть отобрано не за одинъ оборотъ вала машины, а лишь за промежутокъ времени, соответствующій двумъ названнымъ выше моментамъ парораспределенія малаго цилиндра,—чтобы отборъ изъ одной полости шелъ, не нарушая правильности отбора изъ другой.

Такимъ образомъ общій отборъ пара изъ машины является суммою двухъ одинаковыхъ самостоятельныхъ отборовъ изъ каждой полости малаго ея цилиндра, непрерывно слѣдующихъ другъ за другомъ; ресиверъ постоянно сообщенъ съ цилиндромъ высокаго давленія (по очередно съ каждой изъ его рабочихъ полостей) и расширения пара въ ресиверѣ, несопровождаемаго полезною работою пара въ машинѣ, не происходитъ.

Сообразно выставленному условію—отсутствія вліянія каждаго изъ отбираемыхъ количествъ пара на слѣдующее по времени за нимъ—объемная діаграмма цилиндра отбора (*черт. 2, табл. II*) должна быть соответственнно измѣнена.

Дѣйствительно, рабочій процессъ, разобранный во второй главѣ, относится къ наличію въ машинѣ *цилиндра-насоса*, заполняющаго по очередно каждую свою полость паромъ, взятымъ изъ *двухъ* полостей малаго цилиндра, при чемъ въ цилиндрѣ отбора эти количества пара должны смѣшиваться. Учитывая это явленіе мы и говорили своевременно, что въ моментъ предваренія выпуска изъ *правой* полости ма-

лаго цилиндра къ нему приключается ресиверъ, а черезъ этотъ полѣдній и цилиндръ отбора, отчасти занятый паромъ, поступившимъ въ него ранѣе разбираемаго момента изъ *левой* полости цилиндра высокаго давленія (см. стр. 23).

Для того, чтобы—при начертаніи рабочаго процесса—выполнить *независимость* отбора изъ каждой полости малаго цилиндра, необходимо принять въ расчетъ объемное вліяніе цилиндра отбора лишь постольку, поскольку увеличеніе объема, происходящаго съ движенія поршня цилиндра отбора, сказывается на измѣненіи давленія пара въ *сообщенной* съ этимъ цилиндромъ полости, *не учитывая* совершенно находящагося въ цилиндрѣ отбора количества пара, поступившаго туда ранѣе изъ *другой* рабочей полости малаго цилиндра.

Чтобы выполнить сказанное, нужно изъ всѣхъ объемовъ, представляемыхъ результирующей діаграммою $\beta'\gamma_1$ (*черт. 1, табл. V*), вычестъ объемъ—равный отрѣзку b_2b_3 ,—представляющій собою какъ разъ объемъ пара, проникшаго за предшествовавшій разбираемому ходъ поршня изъ *левой* полости малаго цилиндра.

Результатомъ этого вычитанія явится линія $b_2\delta_1$, параллельная линіи $\beta'\gamma_1$ и проведенная отъ нея на разстояніи равномъ по горизонталямъ отрѣзку b_2b_3 .

Прямая $b_2\delta_1$ и будетъ представлять собою соотвѣтствующую **линію объемнаго вліянія отбора**.

Въ случаѣ, когда моменты начала сжатія и предваренія выпуска для полостей малаго цилиндра совпадаютъ, является очевиднымъ, что отрѣзокъ $\beta_1\delta_1$ горизонтальной линіи долженъ выражать собою *существующій* въ данное время относительный отборъ.

Такимъ образомъ линія объемнаго вліянія отбора для cadaго отдѣльнаго случая строится очень просто: *на горизонтали, соотвѣтствующей моменту начала сжатія въ маломъ цилиндрѣ, откладываемъ отъ вертикали O_2 отрѣзокъ $\beta_1\delta_1$, выражающій собою объемъ наличнаго отбора, соотвѣтствующій конечному давленію расширенія пара въ этомъ цилиндрѣ, и полученную точку δ_1 соединяемъ прямой линіей съ точкою b_2 , соотвѣтствующей на вертикали O_2 началу отбора, т. е. моменту предваренія выпуска пара изъ малаго цилиндра.*

Такъ какъ дальнѣйшій характеръ измѣненій объемовъ, послѣдовательно занимаемыхъ паромъ въ машинѣ, во всемъ согласенъ съ приведеннымъ въ главѣ второй изложеніемъ, то и порядокъ начертанія рабочаго процесса остается прежнимъ.

Опираясь на сказанное, мы на чертежѣ (*табл. V*) наносили лишь соотвѣтственныя линіи $b_2\delta_1$ объемнаго вліянія отбора, не пользуясь

вовсе объемными диаграммами фиктивного цилиндра-насоса, лишними теперь и помогшими—въ свое время и въ своемъ мѣстѣ—уяснить намъ всѣ детали общей картины отбора.

Перейдемъ къ болѣе подробному описанію произведеннаго изслѣдованія и полученныхъ результатовъ.

Сообразно *одинадцати* ступенямъ нагрузки машины, правильнѣе—количества пара, проходящаго черезъ малый цилиндръ за одинъ ходъ поршня при одинадцати различныхъ нагрузкахъ, мы получили *девять* ступеней отбора.

Выразимъ отборъ k_x —для каждой произвольной ступени разностью:

$$k_x = mxq_{11} - q_x,$$

гдѣ mxq_{11} —максимальное, поступающее въ малый цилиндръ, количество пара, выраженное въ *тм.*—согласно принятому масштабу объемовъ, а q_x —соотвѣтственно—оставшееся послѣ отбора и поступившее въ большой цилиндръ для дальнѣйшей работы.

Опредѣлимъ, кромѣ того, отборъ въ процентахъ отъ всего количества пара, поступающаго въ цилиндръ высокаго давленія*).

Полученныя величины сопоставимъ въ нижеслѣдующей таблицѣ.

Таблица величинъ, характеризующихъ отборъ пара.

Количества поступившаго въ большой цилиндръ пара.		Соотвѣтственная разность $mxq_{11} - q_x$		Отборъ въ 0/0 отъ mxq_{11}	Величины k_x , приведенныя къ давленію 5,14 Atm.
mxq_{11}	51,864	ok_{11}	0	0	0
q_{10}	48	k_{10}	3,864	7,45	3,00
q_9	44	k_9	7,864	15,16	6,12
q_8	40	k_8	11,864	22,88	9,23
q_7	36	k_7	15,864	30,59	12,34
q_6	32	k_6	19,864	38,30	15,45
q_5	28	k_5	23,864	46,01	18,56
nq_4	24,25	nk_4	27,614	53,24	21,48
q_3	20	k_3	31,864	61,44	24,78
q_2	16	k_2	35,864	69,15	27,90
$minq_1$	12,1	$maxk_1$	39,764	76,67	30,93

*) См. Приложение—Табл. I, V и VI.

Просматривая таблицу, видимъ, что, сообразно съ намѣченными нами степенями, отборъ мѣняется для каждой послѣдующей ступени приблизительно на 8% отъ всего, проходящаго черезъ малый цилиндръ, количества пара.

Курсивомъ въ таблицѣ отмѣчены данныя, относящіяся къ изображенному на чертежѣ взаимному расположенію всѣхъ линій объемныхъ діаграммъ.

Сравнивать между собою объемныя количества пара — а это приходится намъ дѣлать въ продолженіе всего изслѣдованія—возможно только при одинаковыхъ давленіяхъ. У насъ всѣ объемы приведены къ давленію равному 4 *Atm.* По отношенію къ этому-то давленію и вычислены были всѣ величины q и k , помѣщенные въ соотвѣтственныхъ таблицахъ.

Для построенія линіи объемнаго вліянія отбора, какъ мы уже знаемъ, необходимо количества пара, проходящія черезъ малый цилиндръ, привести къ объему, соотвѣтствующему конечному давленію расширенія p_2' .

Такъ какъ объемы сухого насыщеннаго пара—подчиняясь закону *Мариотта*—обратно пропорціональны давленію, то всѣ величины k , нужныя для построенія, должны быть перечисляемы сообразно имѣющемуся въ маломъ цилиндрѣ конечному давленію расширенія.

Для условій отбора, разбираемыхъ въ настоящей главѣ, конечное давленіе расширенія остается безъ перемѣны (5,14 *Atm.*), а потому всѣ значенія k_x , помѣщенные въ таблицѣ, надо помножить на одну и ту же величину $\left(\frac{4}{5,14} = 0,778\right)$. Полученныя значенія показаны въ послѣднемъ столбцѣ таблицы*).

Какъ было уже сказано раньше, для каждой ступени отбора вычерчивались индикаторныя діаграммы обоихъ цилиндровъ.

Разберемъ и опишемъ злѣсь подробно одинъ изъ случаевъ отбора, а именно, — nk_4 — соотвѣтствующій нормальной работѣ большого цилиндра.

Начнемъ съ индикаторной діаграммы цилиндра высокаго давленія (см. *черт. 1 табл. V*).

Отъ момента начала сжатія до момента предваренія выпуска индикаторная діаграмма малаго цилиндра для всѣхъ случаевъ отбора остается одинаковой, такъ какъ во всей этой части рабочаго процесса машины изслѣдуемая нами правая полость цилиндра высокаго давленія не сообщается съ ресиверомъ.

*) См. также *Приложеніе*—Табл. VI, величина β_d .

Сообщение это начинается въ точкѣ b и, такъ какъ мы разбираемъ случай отбора пара при постоянномъ ресиверномъ давленіи то, очевидно, падение давленія bc для всѣхъ случаевъ отбора остается одинаковымъ.

Начиная съ точки c , какъ мы знаемъ изъ второй главы, идетъ общее расширеніе пара въ цилиндрѣ высокаго давленія, въ ресиверѣ и цилиндрѣ отбора. Начало координатъ соответственной гиперболы найдется, какъ проекція точки A —пересѣченія продолженныхъ прямыхъ $(1-2)$ и $(b_2-\delta_1)$ —на линію нулевыхъ давленій O_1O_3 .

Такъ какъ съ измѣненіемъ отбора будетъ измѣняться и длина соответственнаго отрезка $\beta_1\delta_1$, а съ нею вмѣстѣ и наклонъ линіи $b_2\delta_1$ къ горизонтали, то, очевидно, точка O_3 —описываемое начало координатъ—будетъ мѣнять свое положеніе на линіи O_1O_2 .

Слѣдовательно, гиперболы расширения, будучи построены для каждаго разобраннаго случая отбора изъ соответственнаго центра O_3 , должны занимать на чертежѣ таблицы V послѣдовательный рядъ различныхъ положеній.

На индикаторной діаграммѣ цилиндра высокаго давленія для всѣхъ случаевъ отбора у насъ проведена лишь одна кривая cd , такъ какъ—въ виду кратковременности процесса разбираемаго расширения—давленія пара къ концу этого періода отличаются другъ отъ друга чрезвычайно мало. Дѣйствительно, давленія въ мертвомъ положеніи поршня малаго цилиндра, будучи опредѣлены подсчетомъ *) для крайнихъ значеній отбора $mxk_1=76,67\%$ и $k_0=0$, получились соответственно $5,09 \text{ Atm.}$ и $5,19 \text{ Atm.}$, что—при принятомъ нами масштабѣ давленій ($1 \text{ Atm.} = 15 \text{ mm.}$)—даетъ для *одиннадцати* послѣдовательно вычерченныхъ гиперболъ перемѣщеніе точки d лишь на $1,5 \text{ mm.}$

Вычислимъ наибольшую погрѣшность, полученную нами при указанномъ допущеніи.

Такъ какъ разстояніе между ординатами, проходящими черезъ точки c и d равно 4 mm. , то допущенное, противъ истиннаго, увеличеніе площади индикаторной діаграммы выразится площадкой соответственнаго треугольника cd_1d_{11} , равной по предыдущему

$$\frac{4 \cdot 1,5}{2} = 3 \text{ mm}^2.$$

Относя эту площадку къ ходу S_2 поршня большого цилиндра, мы получимъ соответственное измѣненіе расчетнаго средняго индикатор-

*) См. Приложение—Табл. VI.

наго давленія равнымъ въ *klg.*:

$$\frac{0,03}{15} = 0,002 \text{ klg,}$$

что является величиною незначительной.

Перейдемъ къ дальнѣйшему изложенію.

Такъ какъ въ разбираемой машинѣ, по принятому условію, не имѣется предваренія впуска пара въ большой цилиндръ, то расширеніе пара *cd* будетъ продолжаться до мертваго положенія поршня, гдѣ въ процессъ вступаетъ большой цилиндръ, вредное пространство котораго заполнено паромъ давленія $p_{e''}$ — конечнаго давленія сжатія.

Во всѣхъ четырехъ полостяхъ устанавливается теперь общее давленіе пара, опредѣляемое на индикаторныхъ діаграммахъ по методу *Mönch'a*, или аналитически — точками e' и e'' . Точки эти, подобно точкѣ d , различны для каждого случая отбора, но разница между ихъ положеніями на соотвѣтственныхъ вертикаляхъ еще менѣе ощутима, такъ какъ вычисленіемъ мы получаемъ*) для максимальнаго отбора mxk_{10} — давленіе въ точкѣ e' (e'') — $4,91 \text{ Atm.}$, для нулевого же отбора $k_0 - e'(e'') - 4,99 \text{ Atm.}$ — Эта разница по принятому масштабу выразится $1,2 \text{ mm.}$, соотвѣтствующихъ *одинадцати* различнымъ положеніямъ точки e' (e'').

Поэтому-то, для всѣхъ случаевъ разбираемаго отбора, мы приняли для линіи выпуска изъ малаго цилиндра и линіи впуска въ большой цилиндръ, за начальныя точки e' и e'' , соотвѣтствующія нулевому отбору, а потому всѣ послѣдовательно полученныя кривыя $e'f'$ являются для всѣхъ случаевъ отбора продолженіемъ другъ друга.

Въ дѣйствительности подобнаго явленія не происходитъ и каждая ступень отбора характеризуется ей лишь свойственной линіей наполненія большого цилиндра.

Пользуясь графо-аналитическимъ методомъ, при наличіи необходимыхъ центровъ O_1, O_2, \dots, O_5 , нетрудно вычертить для каждого цилиндра отдѣльно въ любомъ масштабѣ индикаторныя діаграммы, соотвѣтствующія произвольно взятому, отдѣльному случаю отбора.

Для насъ въ предпринятомъ изслѣдованіи желательно получить, особенно съ точки зрѣнія постепеннаго измѣненія момента отсѣчки въ большомъ цилиндрѣ, рядъ вычерченныхъ одна на другой индикаторныхъ діаграммъ въ порядкѣ послѣдовательности измѣненія отбора.

Ошибка, которую мы дѣлаемъ въ индикаторной діаграммѣ цилиндра высокаго давленія, какъ мы уже видѣли, отражается на расчетномъ среднемъ индикаторномъ давленіи чрезвычайно мало. Для цилиндра

*) См. Приложение — Табл. VI.

низкаго давленія погрѣшность, происходящая отъ принятаго допущенія, также мала, въ чемъ насъ убѣждаетъ слѣдующій подсчетъ.

Если, простоты ради, допустить, что—для наименьшей принятой ступени отбора k_{10} —наполненіе большого цилиндра идетъ по прямой $e''f''$, вмѣсто изображенной кривой $e''f''$, то планиметрируя получаемъ: при соотвѣтственномъ опредѣленіи средняго индикаторнаго давленія погрѣшность выразится величиною равной $0,04 \text{ Atm}$. Въ дѣйствительности происшедшая ошибка значительно меньше, такъ какъ наполненіе большого цилиндра *всегда* идетъ по кривой*).

Итакъ, принявъ сдѣланныя допущенія, вернемся къ дальнѣйшему описанію построенія рабочаго процесса для разбираемаго случая отбора.

Чтобы опредѣлить соотвѣтственный моментъ отсѣчки въ большомъ цилиндрѣ машины, необходимо найти точку f'' пересѣченія гиперболы $f''g''$ съ линіей наполненія $e''f''$. Пересѣченіе это можетъ быть найдено графическимъ построеніемъ и проверено аналитически, какъ было указано во введеніи.

Пользуясь объемными діаграммами рабочихъ цилиндровъ машины, мы можемъ отнести кривую $f''g''$ къ ходу поршня малаго цилиндра и совмѣстить ее съ индикаторной діаграммою этого послѣдняго (пунктирная кривая $f_3 g_3$), при чемъ начало координатъ преобразованной подобнымъ образомъ кривой перейдетъ въ точку O_6 ; тогда для нахождения координатъ точки f'' при всѣхъ случаяхъ отбора, мы получаемъ три совмѣстныхъ условія, характеризующихъ собою пересѣченіе трехъ гиперболъ въ одной точкѣ.

Условія эти, согласно сказанному во введеніи, могутъ быть выражены слѣдующимъ образомъ:

- а) пересѣченіе гиперболъ c_5 и c_6 даетъ для соотвѣтствующаго давленія p_x выраженіе:

$$p_x = \frac{c_5 + c_6}{O_4 O_5};$$

- б) гиперболы c_7 и c_6 даютъ для опредѣленія p_x значеніе:

$$p_x = \frac{c_6 + c_7}{O_6 O_5};$$

- в) для гиперболъ c_5 и c_7 подобнымъ же образомъ получаемъ:

$$p_x = \frac{c_5 - c_7}{O_4 O_6}.$$

*) Попытка автора вычертить совмѣстно соотвѣтственныя части обѣихъ индикаторныхъ діаграммъ для всѣхъ случаевъ разбираемаго отбора въ полномъ согласіи съ полученными расчетомъ величинами при принятомъ масштабѣ $1 \text{ Atm.} = 150 \text{ mm}$. не увеличила точности полученныхъ результатовъ.

Этими тремя условиями и было произведено определение момента отсѣчки цилиндра низкаго давленія для всѣхъ изслѣдованныхъ случаевъ отбора пара.

Послѣ момента отсѣчки большого цилиндра въ этомъ послѣднемъ идетъ самостоятельное расширеніе части пара, пришедшейся на его долю.

Линія же $f'g'$ выпуска изъ малаго цилиндра должна изображать собою *дожатіе* пара, совершающееся въ цилиндрѣ высокаго давленія и ресиверѣ *одновременно съ продолжающимся* отборомъ.

Какъ мы уже знаемъ, началомъ координатъ для соотвѣтственной гиперболы будетъ служить точка O_5 —проекція на линію O_1O_2 точки C —пересѣченія объемныхъ прямыхъ $(2-3)$ и $b_2\delta_1$.

Точка g' характеризуетъ собою начало періода сжатія въ маломъ цилиндрѣ.

Составимъ для разобраннаго случая отбора паровой балансъ на основаніи условий, выведенныхъ въ главѣ второй, и данныхъ, приведенныхъ въ табл. *IV* и *VI* (см. *Приложенія*).

Таблица данныхъ.

Точки діаграммы.	С о о т в ѣ т с т в е н н ы е.			
	объемъ.	давленіе.	постоянная гиперболы.	
a	22,46	165,0	c_1	3705,90
g'	7,60	78,16	c_2	594,02
f''	23,50	68,9	c_3	1619,15
r	8	20,63	c_4	165,0
e'	157,97	74,12	c_5	11708,74
g'	129,08	78,16	c_6	10088,89

Балансъ:

$$\begin{array}{r}
 10088,89 \\
 + \quad 1619,15 \\
 \hline
 c_6 + c_3 = 11708,04 \qquad c_5 = 11708,74 \\
 \\
 \begin{array}{r}
 3705,90 \\
 - \quad 594,02 \\
 \hline
 c_1 - c_2 = 3111,88
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 1619,15 \\
 - \quad 165,00 \\
 \hline
 c_3 - c_4 = 1454,15
 \end{array} \\
 \\
 \frac{(c_1 - c_2) - (c_3 - c_4)}{c_1 - c_2} = \frac{3111,88 - 1454,15}{3111,88}
 \end{array}$$

Послѣднее выраженіе должно дать соотвѣтственную величину отбора въ процентахъ отъ всего количества поступающаго въ машину пара. Выполняя указанные дѣйствія, находимъ:

$$\frac{(c_1 - c_2) - (c_3 - c_4)}{c_1 - c_2} = 0,5327.$$

Въ таблицѣ текста *), гдѣ указаны всѣ ступени отбора, противъ соотвѣтственной величины nk_4 имѣемъ 53,24 %.

Балансъ сходится. Слѣдовательно, построеніе индикаторныхъ діаграммъ было выполнено правильно.

Въ малый цилиндръ машины при разбираемыхъ условіяхъ отбора, какъ мы знаемъ, поступаетъ всегда одно и тоже количество пара, соотвѣтствующее максимальной нагрузкѣ машины, величина котораго была опредѣлена нами въ предыдущей главѣ равной 11445,20 *klg.* за 1 часъ работы **). Мы знаемъ, что указанный часовой расходъ соотвѣтствуетъ развиваемой машиною мощности въ 1800,5 индикаторныхъ силъ.

Зная величину отбора для каждой ступени въ % отъ общаго (валового) количества пара, поступившаго въ цилиндръ высокаго давленія, мы легко можемъ вычислить *прошедшее через оба цилиндра* машины количество пара, израсходованное исключительно на преодоленіе полезныхъ сопротивленій, представляемыхъ машинами-орудіями даннаго производства.

Паръ, отбираемый отъ машины для различныхъ нагревательныхъ приборовъ того же производства, расширяясь въ маломъ цилиндрѣ отъ давленія впуска ($p_c = 11 \text{ Atm.}$) до давленія въ ресиверѣ ($p_r = 5,21 \text{ Atm.}$), также совершаетъ въ машинѣ нѣкоторую опредѣленную работу.

Въ результатѣ—для каждой ступени отбора мы располагаемъ *суммарной* мощностью машины, соотвѣтствующей вполнѣ опредѣленному, *прошедшему через машину* исключительно для доставленія полезной работы, количеству пара.

Спланиметрируемъ всѣ полученныя индикаторныя діаграммы и опредѣлимъ работу, доставляемую каждымъ изъ цилиндровъ въ отдѣльности и всею машиною въ совокупности.

Тогда мы получимъ возможность опредѣлить, сколько *klg.* пара расходуетъ на единицу—доставляемой всей машиною—мощности, при различныхъ условіяхъ отбора.

*) См. стр. 57.

***) См. табл. на стр. 50.

Всѣ величины, полученные при данныхъ опредѣленіяхъ, соберемъ въ одну таблицу, при чемъ, какъ и ранѣе, объемы выразимъ въ *тт.*^{*}).

Таблица величинъ, характеризующихъ различныя условія работы машины.

Ступени отбора въ %.		Объемы пара, поступившаго въ большой цилиндръ.		Индикаторная мощность			Часовой расходъ пара въ <i>kkg.</i>	
				малаго цилиндра.	большого цилиндра.	всей машины.	полный.	на одну индик. силу.
k_0	0	q_{11}	51,864	659,94	1140,60	1800,54	11445,20	6,36
k_{10}	7,45	q_{10}	48	665,02	1093,64	1758,66	10592,50	6,02
k_9	15,16	q_9	44	662,35	1032,74	1695,09	9709,80	5,73
k_8	22,88	q_8	40	657,40	971,83	1629,23	8827,10	5,42
k_7	30,59	q_7	36	649,79	910,93	1560,72	7944,40	5,09
k_6	38,30	q_6	32	644,46	850,02	1494,48	7061,70	4,73
k_5	46,01	q_5	28	642,18	756,38	1393,56	6178,90	4,42
nk_4	53,24	q_4	24,25	636,85	682,53	1319,38	5351,40	4,06
k_3	61,44	q_3	20	629,24	586,22	1215,46	4413,50	3,63
k_2	69,15	q_2	16	621,29	476,97	1101,26	3530,80	3,21
k_1	76,67	q_1	12	614,00	342,60	956,60	2670,20	2,79

Разсматривая эту таблицу, мы можемъ отмѣтить нѣкоторыя особенности работы машины.

Въ то время какъ, съ увеличеніемъ количества отбираемаго отъ машины пара, общая мощность, доставляемая машиною, уменьшается, мощность малаго цилиндра измѣняется незначительно. При невысокихъ ступеняхъ отбора (k_{10}, k_9) мощность цилиндра высокаго давленія даже слегка превышаетъ собою предѣльную мощность того же цилиндра въ отсутствіе отбора. Въ противоположность этому мощность цилиндра низкаго давленія колеблется въ очень широкихъ предѣлахъ.

Наименьшая работа, могущая быть полученной отъ машины при наивысшей ступени отбора ($k_1 = 76,67\%$), равна 956,60 инд. силъ, т. е. всего на 4,34% меньше нормальной мощности машины.

Въ главѣ четвертой, опираясь на планиметрированіе предѣльныхъ для каждаго цилиндра диаграммъ, мы опредѣлили предварительно мощность машины при максимальномъ отборѣ равной 812 индикаторныхъ силъ.

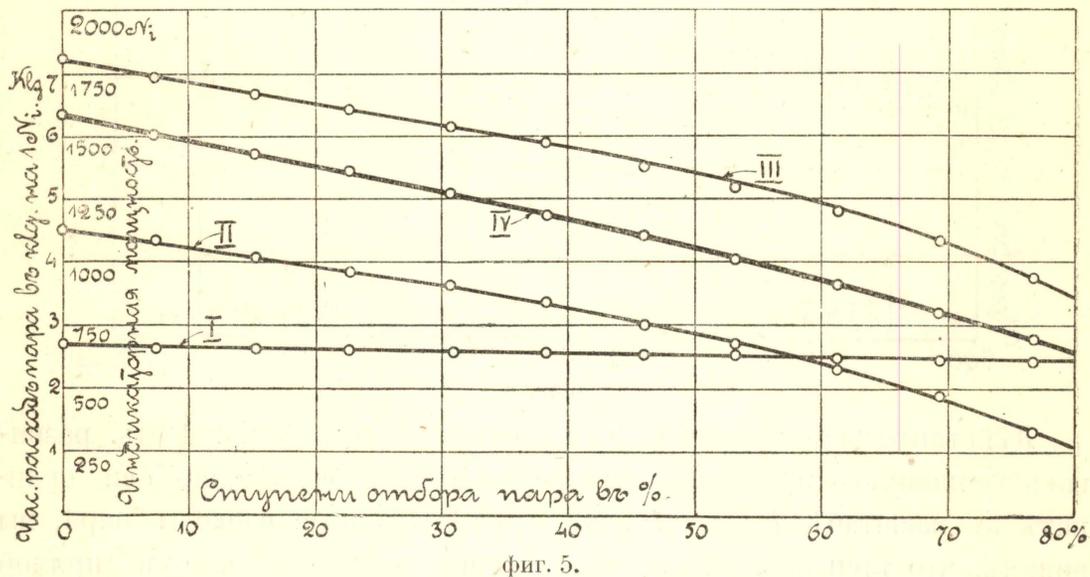
^{*}) См. Приложение—Табл. I, V и VI.

Подробное изучение условий работы машины показываетъ намъ, что предварительный подсчетъ не смогъ дать полной картины происходящихъ явленій.

Разсматривая *предельную* диаграмму цилиндра низкаго давления (табл. V), мы замѣчаемъ что площадь ея по сравненію съ изображенною на табл. IV значительно увеличилась.

Если мы произведемъ болѣе подробный подсчетъ измѣненія работы машины, то увидимъ, что при максимальномъ отборѣ, работа соответствующая *предельной* индикаторной диаграммѣ малаго цилиндра только немногимъ меньше ($\approx 7\%$) работы того же цилиндра при отсутствіи отбора; работа же большаго цилиндра, выражаемая *предельной* индикаторной диаграммой при отборѣ, на 141% больше таковой, соответствующей *предельной* [диаграммѣ того же цилиндра безъ отбора.

Для наглядности изобразимъ результаты изслѣдованія въ видѣ определенныхъ кривыхъ.



Откладывая по оси абсциссъ степени отбора въ $\%$ отъ всего количества поступившаго въ машину пара (см. фиг. 5) и на оси ординатъ соответственную мощность, мы получаемъ общую картину измѣненія условий работы въ видѣ трехъ кривыхъ.

Кривая I соответствует работѣ, доставляемой малымъ цилиндромъ.

Мы видимъ, что съ увеличеніемъ отбора она лишь незначительно приближается къ оси абсциссъ.

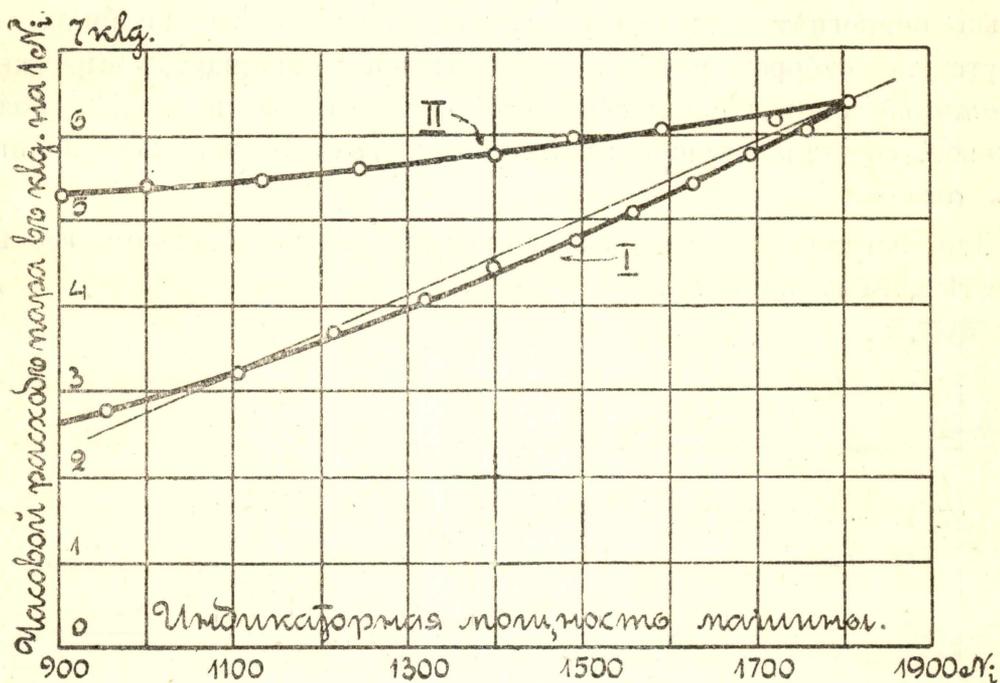
Кривая II представляетъ собою измѣненія мощности, доставляемой большимъ цилиндромъ.

Мы видимъ, что измѣненія отбора отражаются весьма сильно на величинахъ ординатъ этой кривой.

Кривая III представляет собою суммарную мощность обоих цилиндров и показывает намъ, что только при отборахъ выше 74% мы не можемъ получить отъ машины полной ея нормальной мощности (1000 силъ).

На той же *фиг. 5* по оси ординатъ отложенъ въ другомъ масштабѣ соответственный расходъ пара, приходящійся на одну индикаторную силу въ часъ при различныхъ ступеняхъ отбора.

Полученная кривая IV показываетъ, что измѣненіе расхода пара протекаетъ почти такъ же, какъ и измѣненіе общей мощности машины



Фиг. 6.

Дѣйствительно, нанося на оси абсциссъ (*фиг. 6*) мощность, развиваемую машиною при различныхъ ступеняхъ отбора, а на оси ординатъ въ масштабѣ $1 \text{ кг.} = 1 \text{ мт.}$ соответственные расходы пара, мы видимъ, что кривая I очень незначительно отклоняется отъ прямой линіи. Поэтому мы можемъ высказать положеніе: *въ машинѣ съ отборомъ пара при постоянномъ давленіи расходъ пара приблизительно прямо пропорціоналенъ развиваемой мощности.*

На той же *фиг. 6* помѣщена для сравненія кривая II расхода пара машиною безъ отбора при той же, доставляемой индикаторной работѣ.

Мы рассмотрѣли случай отбора пара, какъ его называютъ, при *постоянномъ* давленіи. Въ дѣйствительности мы знаемъ, что это *постоянство* давленія сводится къ тому, что *въ моментъ предваренія выпуска* изъ малаго цилиндра въ ресиверъ—при всѣхъ ступеняхъ от-

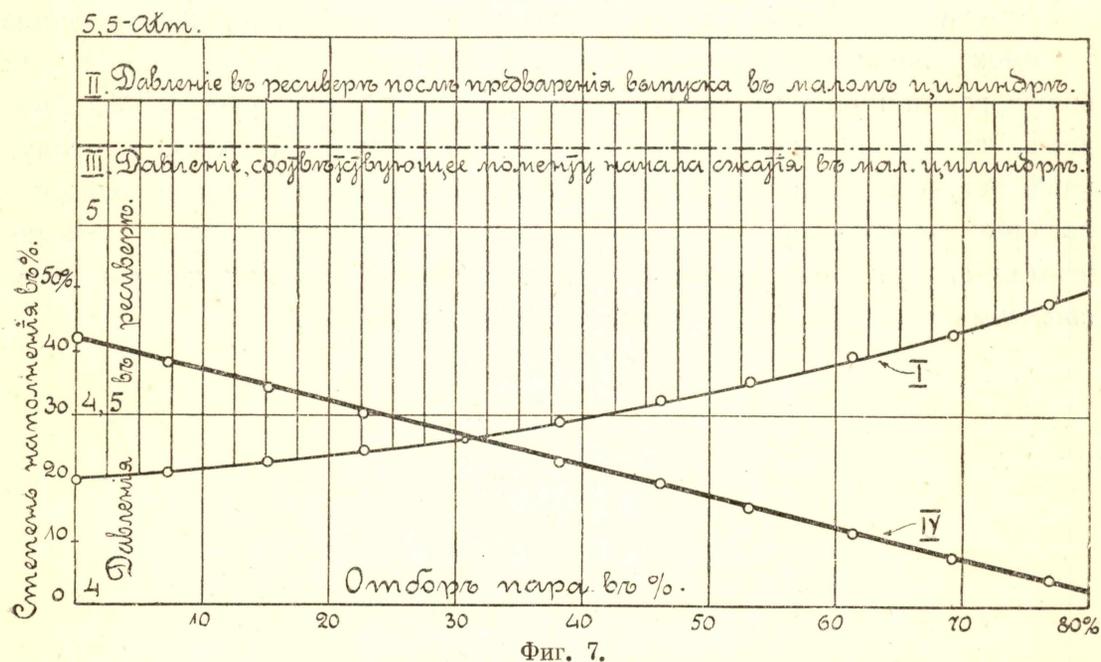
бора — давленіе пара въ ресиверѣ должно быть одинаковымъ. Благодаря наличію этого условія, въ моментъ сообщенія малаго цилиндра съ ресиверомъ въ этомъ послѣднемъ устанавливается для всѣхъ ступеней отбора одно и тоже давленіе, являющееся *максимальнымъ* ресивернымъ давленіемъ.

Что касается наименьшаго давленія пара, находящагося въ ресиверѣ и переходящаго въ трубопроводъ отбора, то, очевидно, это давленіе должно зависѣть отъ величины отбора.

Наименьшее давленіе пара въ ресиверѣ опредѣляется моментомъ отсѣчки въ цилиндрѣ низкаго давленія.

Соотвѣтственныя точки у насъ получены для всѣхъ ступеней отбора.

Нанося на оси абсциссъ *фиг. 7.* отборъ въ %, на оси же ординатъ наименьшее ресиверное давленіе въ крупномъ масштабѣ (ось абсциссъ соотвѣтствуетъ давленію въ 4 Atm.), мы получаемъ кривую *I*, показывающую намъ, что съ *увеличеніемъ* отбора отклоненія давленія въ ресиверѣ отъ наибольшаго (параллельная оси абсциссъ линія *II*) *уменьшаются*.



Фиг. 7.

Это странное, на первый взглядъ, положеніе вполне подтверждается изученнымъ нами рабочимъ процессомъ машины при данныхъ условіяхъ отбора.

Обращаясь къ чертежу *табл. V*, мы видимъ, что съ увеличеніемъ отбора уменьшается степень наполненія цилиндра низкаго давленія и тѣмъ самымъ *ранѣе* прекращается вліяніе объема этого цилиндра на измѣненіе давленія пара, находящагося въ ресиверѣ; вліяніе же это,

какъ мы знаемъ изъ изученія рабочаго процесса машины *Tandem* обычнаго типа, сказывается именно уменьшеніемъ давленія пара.

Чѣмъ раньше наступитъ моментъ отсѣжки въ большомъ цилиндрѣ, тѣмъ дельше будетъ происходить процессъ *дожатія* пара передъ поршнемъ малаго цилиндра и въ ресиверѣ. Вотъ этотъ то процессъ дожатія пара и умѣряетъ собою вліяніе высокаго отбора на измѣненіе давленія пара, находящагося въ ресиверѣ.

Такимъ образомъ мы можемъ высказать положеніе: *при большихъ отборахъ колебанія давленія пара въ ресиверѣ незначительны.*

На *фиг. 7* имѣется пунктирная — параллельная оси абсциссъ — линія *III*, показывающая давленіе въ ресиверѣ, соотвѣтствующее моменту его сообщенія съ малымъ цилиндромъ.

Для каждой ступени отбора мы имѣемъ, что въ моментъ прелваренія выпуска изъ малаго цилиндра въ ресиверѣ давленіе поднимается до линіи *II*, затѣмъ постепенно понижается (по той же соотвѣтствующей отбору ординатѣ) до кривой *I*, чтобы снова подняться до давленія, изображаемаго прямой *III*.

На той же *фиг. 7* изображена кривая *IV*, представляющая собою въ иномъ масштабѣ ординатъ законъ измѣненія степени наполненія большого цилиндра въ зависимости отъ наличнаго отбора. Мы видимъ, что степень наполненія измѣняется по прямой линіи, а потому, какъ результатъ произведеннаго изслѣдованія, является еще одно положеніе: *степень наполненія большого цилиндра уменьшается съ увеличеніемъ отбора согласно закону прямой линіи, соединяющей соотвѣтственныя точки нулевого и максимальнаго отборовъ.*

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.

Исслѣдованіе работы машины при отборѣ отъ нея различныхъ количествъ пара перемѣннаго давленія.

Во всякомъ производствѣ количество энергіи, необходимой для приведенія въ движеніе машинъ-орудій, колеблется въ зависимости отъ хода самого производства

Паровая машина-двигатель, приспособляясь къ измѣняющимся величинамъ полезныхъ сопротивленій, измѣняетъ свою мощность соотвѣтственнымъ измѣненіемъ степени наполненія цилиндра высокаго давленія.

Измѣненіе степени наполненія—при неизмѣняющихся (какъ это бываетъ обычно) остальныхъ моментахъ парораспределенія—влечетъ за собою измѣненіе ресивернаго давленія, понимая подъ этимъ послѣднимъ, какъ и ранѣе, давленіе въ моментъ сообщенія съ малымъ цилиндромъ.

Въ результатѣ получается условіе работы машины, могущее быть сформулированнымъ такъ: въ ресиверъ машины за каждый ходъ ея поршня поступаетъ при *различныхъ* наполненіяхъ *различное* количество пара *различнаго* давленія.

Отъ каждаго изъ этихъ количествъ—въ зависимости отъ требованій нагрѣвательныхъ приборовъ производства—отбирается та или иная часть пара; такимъ образомъ въ отличіе отъ условій предыдущей главы, въ цилиндръ низкаго давленія поступаетъ количество пара, зависящее какъ отъ величины отбора, такъ и отъ нагрузки машины.

Отъ каждаго, соотвѣтствующаго опредѣленной степени наполненія малаго цилиндра, количества пара при прохожденіи его черезъ ресиверъ могутъ быть отобраны разнообразныя количества, измѣняющіяся отъ нуля до нѣкотораго *максимума*, опредѣляемаго условіями работы машины.

Очевидное дѣло, *максимум* этотъ долженъ быть такого рода, чтобы машинѣ была обезпечена *предѣльная* индикаторная діаграмма *цилиндра низкаго давленія*.

Слѣдовательно, конструктивныя условія регулированія работы машины должны быть таковы: степень наполненія малаго цилиндра должна увеличиваться, какъ только при наличномъ отборѣ въ большемъ цилиндрѣ можетъ образоваться *предѣльная* діаграмма.

Такимъ образомъ, наиболѣе важнымъ вопросомъ, при изслѣдованіи различныхъ условій работы машины съ отборомъ пара переменнаго ресивернаго давленія, является изученіе условій *максимальнаго* отбора для каждой ступени поступающаго въ цилиндръ высокаго давленія количества пара.

Ступени эти уже разобраны нами въ главѣ пятой, когда мы изучали работу машины въ отсутствіе отъ нея отбора. Задача, предстоящая намъ теперь, — найти условія работы машины при отборѣ, соответствующемъ разности между *переменнымъ* количествомъ пара, проходящимъ черезъ *малый* цилиндръ и *постояннымъ* количествомъ, поступающимъ въ *большой* цилиндръ.

Опираясь на различныя ступени количества пара, проходящихъ въ машину и разобранныхъ въ главѣ пятой*), мы можемъ составить таблицу изслѣдуемыхъ предѣльныхъ случаевъ отбора. При поступленіи въ цилиндръ низкаго давленія всегда одного и того же объема, выражаемаго въ масштабѣ отрѣзкомъ *12,1 мм.* (соотвѣтственно давленію въ *4 Атм.*) возможные случаи отбора характеризуются слѣдующими величинами:

Объемъ пара, проходящ. черезъ малый цилиндръ.		Возможный предѣльный отборъ.			
		Отбираемый объемъ въ мм.	Тоже въ % отъ объема п. в. д.	Тоже въ 1 часъ кг.	
<i>m</i> q_1	12,1	$0k_{11}$	0	0	0
q_2	16	k_{10}	3,9	24,38	860,64
q_3	20	k_9	7,9	39,50	1743,35
<i>n</i> q_4	24,25	nk_8	12,5	50,10	2681,23
q_5	28	k_7	15,9	56,79	3508,77
q_6	32	k_6	19,9	62,19	4391,48
q_7	36	k_5	23,9	66,39	5274,19
q_8	40	k_4	27,9	69,75	6156,90
q_9	44	k_3	31,9	72,50	7039,61
q_{10}	48	k_2	35,9	74,79	7922,32
q_{11}	51,864	$maxk_1$	39,764	76,67	8775,00

Такъ какъ мы разбираемъ теперь случаи различнаго отбора, выраженные въ % отъ различныхъ *начальныхъ* (прошедшихъ черезъ малый

*) См. также Приложение—Табл. I, VIII и IX.

цилиндръ) количество пара, то, для возможности сравненія результатовъ изслѣдованія, въ послѣднемъ столбцѣ таблицы приведено *часовое* количество *klg.* пара (приведеннаго какъ и всюду къ *4 Atm.* давленія), соотвѣтствующее каждому отдѣльному случаю отбора.

Случай $max k_1$ (отборъ равенъ $76,67\%$ —возможный максимальный отборъ) разобранъ нами въ главѣ шестой.

Слѣдовательно, намъ надо изслѣдовать лишь *девять* остальныхъ случаевъ, являющихся, какъ уже было сказано, *предѣльными* для *деяти* различныхъ степеней наполненія малаго цилиндра.

Перейдемъ къ изложенію результатовъ изслѣдованія машины.

На чертежѣ *табл. VI* построены совмѣстно индикаторныя діаграммы обоихъ цилиндровъ для всѣхъ разбираемыхъ случаевъ отбора.

Какъ и ранѣе, опишемъ лишь одинъ случай nk_3 , соотвѣтствующій нормальной степени наполненія цилиндра высокаго давленія.

Индикаторную діаграмму малаго цилиндра отъ момента начала сжатія (точка g') до момента предваренія выпуска (точка b) строимъ обычнымъ путемъ. Обычнымъ же путемъ построимъ кривую сжатія пара, линію выпуска и линію расширенія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія; послѣднюю линію строимъ исходя изъ точки g' ,—эту же линію, трансформируя, переносимъ на соотвѣтственные хода малаго цилиндра, при чемъ начало координатъ перейдетъ въ точку O_6 .

Ниже линіи O_1O_2 выстраиваются обычныя объемныя діаграммы обоихъ цилиндровъ. Отмѣтимъ на нихъ точки, соотвѣтствующія уже извѣстнымъ моментамъ парораспредѣленія—главнымъ образомъ моментъ предваренія выпуска (точка b) и начало сжатія g' въ цилиндрѣ высокаго давленія.

Опредѣлимъ въ избранномъ масштабѣ объемъ, поступающаго за одинъ ходъ поршня въ малый цилиндръ, количества пара, соотвѣтственно конечному его давленію расширенія p_c' и возьмемъ часть этого объема, равную имѣющемуся для разбираемаго случая процентному отбору. Тогда, нанося на вертикали O_2 точки b_2 и δ_1 и на горизонтали черезъ эту послѣднюю точку отрѣзокъ $\beta_1\delta_1$, изображающій собою наличный отборъ, мы получаемъ возможность нанести на чертежѣ прямую линію $b_2\delta_1$ *объемнаго вліянія отбора*, опираясь на которую, легко находимъ графически и провѣряемъ аналитически положенія точекъ O_3 , O_4 и O_5 , соотвѣтствующихъ данному отбору.

Все дальнѣйшее построеніе рабочаго процесса поведемъ также графо-аналитическимъ путемъ.

Вернемся къ цилиндру высокаго давленія и изложимъ въ немногихъ словахъ все происходящее въ машинѣ.

Въ моментъ предваренія выпуска, при сообщеніи съ ресиверомъ и фиктивнымъ цилиндромъ отбора, произойдетъ на индикаторной діаграммѣ малаго цилиндра паденіе давленія bc ; затѣмъ до лѣваго мертваго положенія поршня будетъ идти расширеніе пара по гиперболѣ изъ центра O_3 , опредѣляемаго точкою A пересѣченія прямыхъ $(1-2)$ и $b_2\delta_1$.

Въ мертвомъ положеніи произойдетъ паденіе давленія пара de' , вызванное привключеніемъ большаго цилиндра къ прежнимъ объемамъ. Затѣмъ будетъ совершаться общее расширеніе пара во всѣхъ сообщенныхъ между собою полостяхъ машины, какъ рабочихъ, такъ и отбора. Соотвѣтственная гипербола расширенія $e'f'$ должна быть построена изъ центра O_4 , обусловленнаго точкой B пересѣченія линій $(2-3)$ и линіей суммарныхъ объемовъ $\delta_2 f_4$. Точка f' пересѣченія этой гиперболы съ трансформированной гиперболой расширенія пара въ большомъ цилиндрѣ опредѣляетъ собою моментъ отсѣчки f'' въ этомъ послѣднемъ. Гипербола $e''f''$ расширенія въ періодъ наполненія (изъ центра O_4) заканчиваетъ собою индикаторную діаграмму цилиндра низкаго давленія.

Въ цилиндрѣ высокаго давленія отъ точки f' и до точки g' идетъ извѣстное намъ дожатіе пара передъ поршнемъ малаго цилиндра, въ ресиверѣ и въ цилиндрѣ отбора. Соотвѣтственная гипербола строится изъ центра O_5 , опредѣляемаго точкою C пересѣченія объемныхъ линій $(2-3)$ и $b_2\delta_1$. Такимъ образомъ замыкается и индикаторная діаграмма цилиндра высокаго давленія. На чертежѣ *табл. VI* различнаго рода штриховкой отмѣчены объемы, послѣдовательно занимаемые паромъ въ различныхъ полостяхъ машины для разобраннаго случая отбора.

Точки f' (f'') для всѣхъ случаевъ отбора опредѣлялись аналитически изъ условій пересѣченія въ одной точкѣ трехъ соотвѣтственныхъ гиперболъ.

Составимъ, какъ дѣлали и раньше, паровой балансъ для описаннаго случая отбора.

Таблица данныхъ для баланса).*

Точки диаграммы.	С о о т в ѣ т с т в е н н ы е			
	объемъ.	давленіе.	постоянная гиперболы.	
a	10,60	165,00	c	1749,0
g'	7,60	38,70	c^1	294,12
g''	108,0	8,25	c^2	891,0
r	8	20,62	c^3	165
e'	157,84	36,93	c^4	5830,03
g'	127,60	38,70	c^5	4938,12
			c^6	

*) См. Приложение—Табл. X и III.

Балансъ.

$$\begin{array}{r}
 + 4938,12 \\
 \quad 891,00 \\
 \hline
 c_6 + c_3 = 5829,12
 \end{array}
 \qquad
 c_3 = 5822,72$$

$$\begin{array}{r}
 - 1749,0 \\
 \quad 294,12 \\
 \hline
 c_1 - c_2 = 1454,88
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 - 891,0 \\
 \quad 165,0 \\
 \hline
 c_3 - c_4 = 726,0
 \end{array}$$

$$\begin{array}{r}
 - 1454,88 \\
 \quad 726,00 \\
 \hline
 (c_1 - c_2) - (c_3 - c_4) = 728,88
 \end{array}$$

$$\frac{(c_1 - c_2) - (c_3 - c_4)}{c_1 - c_2} = \frac{728,88}{1454,88} = 0,501,$$

откуда мы видимъ, что отборъ въ % долженъ быть равнымъ

$$k = 50,1\%,$$

что вполне соотвѣтствуетъ величинѣ nk_8 , приведенной въ таблицѣ для разбираемаго случая.

Слѣдовательно, индикаторныя діаграммы вычерчены правильно.

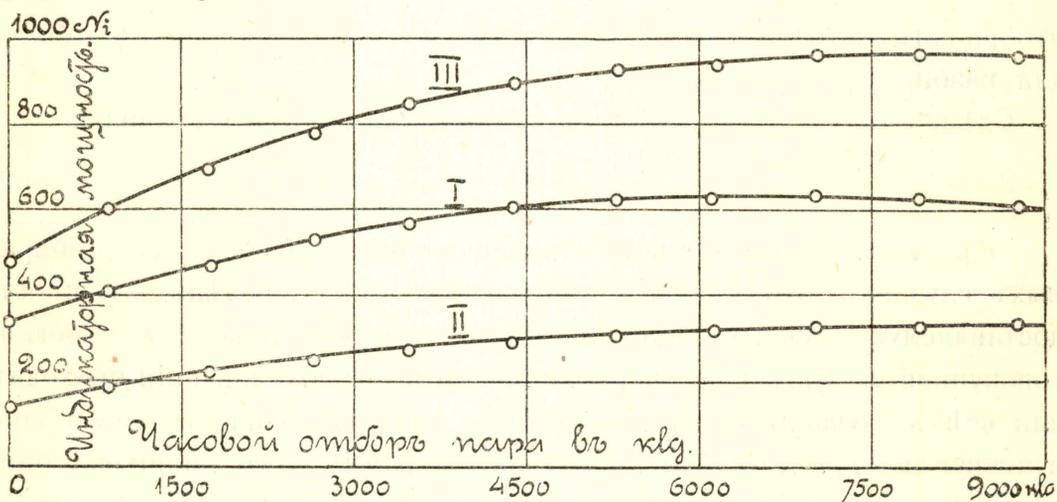
Обратимся теперь ко всѣмъ индикаторнымъ діаграммамъ разбираемыхъ случаевъ отбора. Спланиметрируемъ ихъ, опредѣлимъ мощность, доставляемую каждымъ изъ цилиндровъ машины и всей машиною въ совокупности. Такъ какъ черезъ цилиндръ низкаго давленія проходитъ для всѣхъ случаевъ отбора *постоянное* часовое количество пара, соотвѣтствующее *предельной* индикаторной діаграммѣ этого цилиндра, опредѣленное уже нами въ главѣ пятой какъ $2670,20 \text{ klg.}$, то намъ не трудно будетъ вычислить и расходъ пара въ klg. на одну индикаторную силу въ часъ. Сдѣлавъ всѣ нужные подсчеты, мы соберемъ найденныя величины въ таблицу, характеризующую работу машины при изслѣдованныхъ условіяхъ отбора*).

*) См. также Приложение—Табл. IX.

Часовой отборъ пара въ <i>kg.</i>		Индикаторная мощность			Расходъ пара въ <i>kg.</i> на одинъ силочасъ.
		малаго цилиндра.	большого цилиндра.	всей машины.	
$0k_{11}$	0	340,15	142,12	82,27	5,54
k_{10}	860,64	408,45	193,00	601,45	4,44
k_9	1743,35	476,97	220,78	697,75	3,83
nk_8	2681,23	530,26	248,57	778,83	3,43
k_7	3508,77	573,66	276,74	850,40	3,14
k_6	4391,48	604,11	291,97	896,08	2,98
k_5	5274,19	621,62	304,53	926,15	2,88
k_4	6156,90	624,29	314,81	939,10	2,84
k_3	7039,61	634,56	327,37	961,93	2,78
k_2	7922,32	626,95	334,98	961,93	2,78
k_1	8775,00	614,00	342,60	956,60	2,79

Первая и послѣдняя строки таблицы полноты ради взяты изъ предшествующихъ главъ.

Для полученія общей картины измѣненій условій работы изобразимъ графически приведенныя въ таблицѣ данныя.



Фиг. 8.

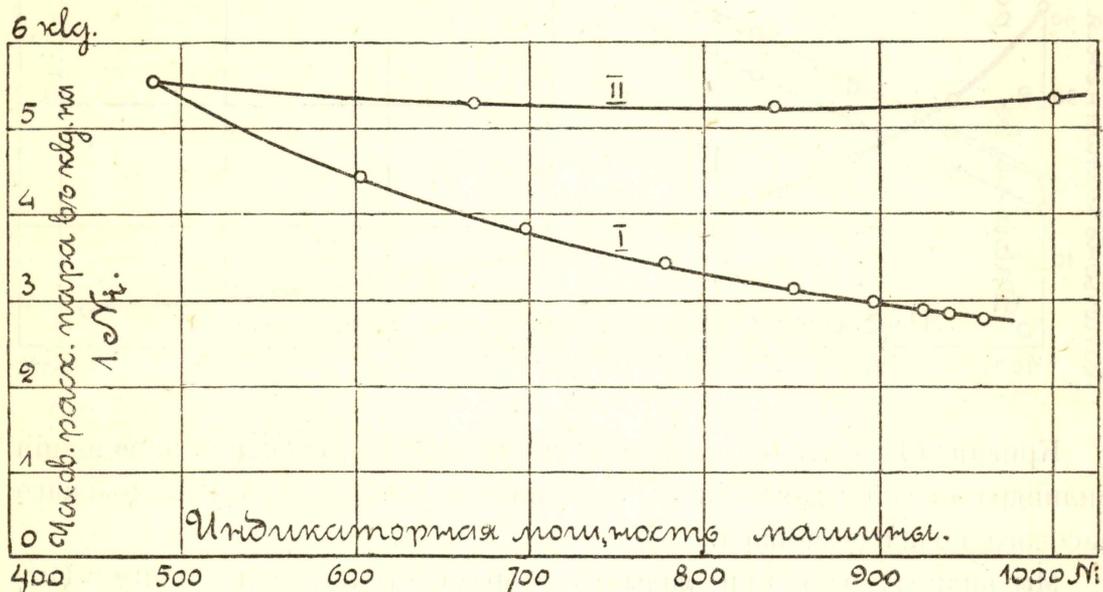
Откладывая на оси абсциссъ *фиг. 8* отбираемое часовое количество пара въ *kg.*, на оси же ординатъ соответствующую мощность машины, мы получаемъ три кривыя.

Кривая *I* соответвуетъ мощности, доставляемой цилиндромъ высокаго давления. Мы видимъ, что увеличеніе отбора возможно лишь при увеличеніи наполненія въ маломъ цилиндрѣ, влекущемъ за собою

до нѣкотораго предѣла увеличеніе мощности; изъ таблицы мы усматриваемъ, что послѣ отбора k_3 работа, доставляемая цилиндромъ высокаго давленія, начинаетъ уменьшаться.

Кривая II показываетъ намъ, что мощность, доставляемая цилиндромъ низкаго давленія, сначала возрастаетъ вмѣстѣ съ мощностью малаго цилиндра, затѣмъ это возрастаніе становится менѣ значительнымъ и кривая почти переходитъ въ прямую линію, параллельную оси абсциссъ.

Кривая III показываетъ, что увеличеніе отбора при переменномъ ресиверномъ давленіи возможно лишь при возрастаніи общей, доставляемой машиною, мощности—опять таки до нѣкотораго предѣла; при самыхъ высокихъ ступеняхъ отбора мощность машины начинаетъ, хотя и незначительно, но понижаться.



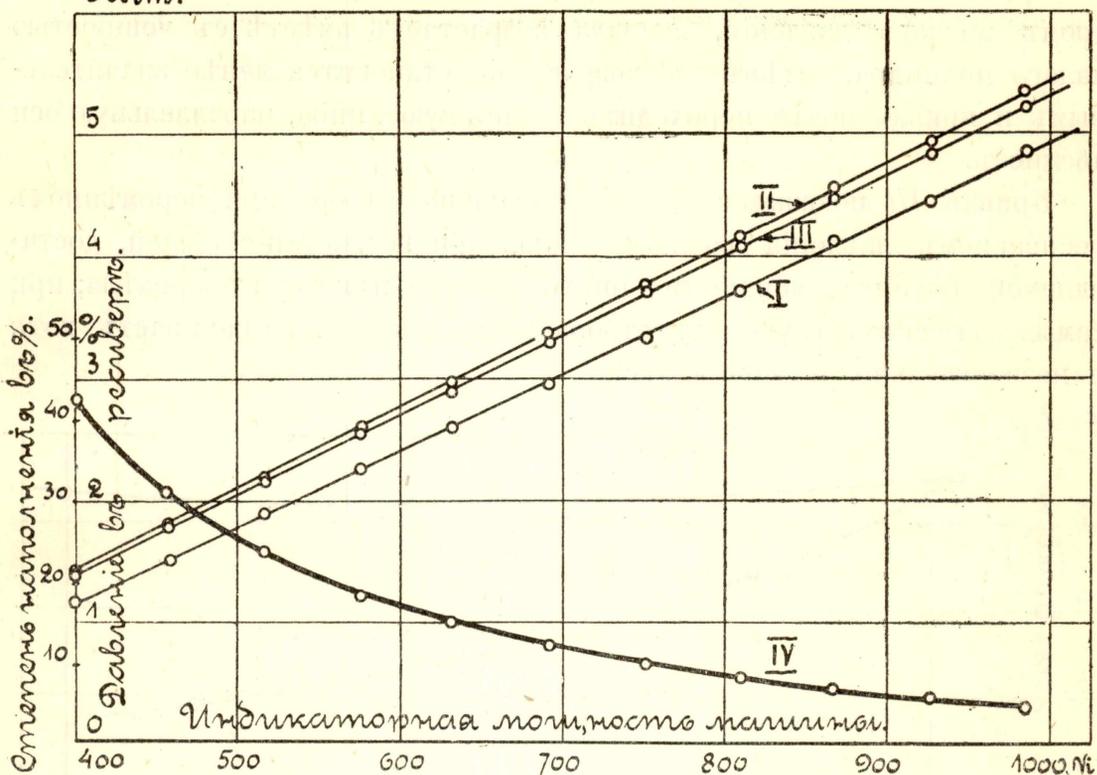
Фиг. 9.

На фиг. 9 кривая I изображаетъ собою расходъ пара вь $kg.$ на одну индикаторную силу вь часъ. Мы видимъ, что съ увеличеніемъ мощности машины, сопровождаемымъ увеличеніемъ отбора, расходъ пара значительно понижается. Кривая II на той же фиг. 9 показываетъ расходъ пара на одну индик. силу при соответственной мощности той же машины, но *въ отсутствіе отбора*.

Колебанія давленія въ ресиверѣ изображены на фиг. 10, гдѣ линія I соотвѣтствуетъ давленіямъ въ моментъ отсѣчки большаго цилиндра; линія II—давленіямъ, устанавливающимся въ ресиверѣ послѣ сообщенія съ малымъ цилиндромъ и линія III—давленіямъ въ ресиверѣ въ моментъ начала сжатія въ маломъ цилиндрѣ. Характеръ этихъ трехъ линій указываетъ на увеличеніе соотвѣтственныхъ давленій вмѣстѣ съ увеличеніемъ отбора.

Кромѣ того мы видимъ, что давленія въ ресиверѣ для каждаго даннаго отбора въ общемъ мѣняются незначительно (масштабъ давленій $1 \text{ Atm.} = 15 \text{ mm.}$).

60 km.



Фиг. 10.

Кривая IV фиг. 10 показываетъ измѣненіе степени наполненія цилиндра низкаго давленія въ зависимости отъ измѣненія отбираемаго часового количества пара.

Мы видимъ, что при малыхъ отборахъ степень наполненія мѣняется значительно больше, чѣмъ при отборахъ высокихъ.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ.

Сопоставленіе полученныхъ результатовъ изслѣдованія.

Чтобы получить возможность сравнивать между собою различные случаи измѣненія условій работы машины, необходимо собрать вмѣстѣ всѣ величины, характеризующія количества пара—какъ поступающаго въ цилиндръ высокаго давленія, такъ и проходящаго черезъ цилиндръ низкаго давленія.

Для работы машины безъ отбора пара и съ отборомъ при постоянномъ ресиверномъ давленіи мы получимъ таблицу, показывающую при одинаковыхъ часовыхъ количествахъ пара G , поступающаго въ малый цилиндръ, соответственный расходъ пара Q въ *klg.*, приходящійся въ часъ на одну индикаторную силу, развиваемую машиной.*)

G <i>klg.</i>	Безъ отбора.		Съ отборомъ.	
	N_i	Q	N_i	Q
2670,20	482,3	5,54	956,60	2,79
3530,80	667,3	5,29	1101,26	3,21
4413,50	840,1	5,25	1215,46	3,63
5351,40	1000,0	5,35	1319,38	4,06
6178,95	1137,0	5,43	1398,56	4,42
7061,70	1248,5	5,66	1494,48	4,73
7944,40	1398,0	5,68	1560,72	5,09
8827,10	1497,3	5,90	1629,23	5,42
9709,80	1596,0	6,08	1695,09	5,73
10592,50	1736,0	6,10	1758,66	6,02
11445,20	1800,5	6,36	1800,5	6,36

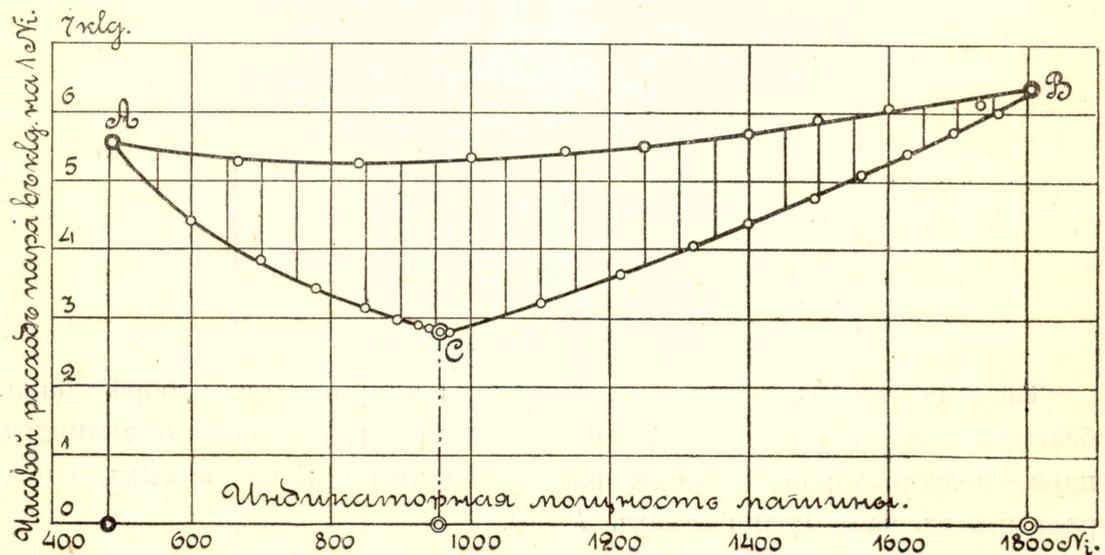
Таблица для сравненія условій работы машины при отборѣ пара, базируясь на количествѣ Q —прошедшаго черезъ большой цилиндръ пара—должна характеризовать работу машины при различныхъ отбираемыхъ въ часъ количествахъ P *klg.*

*) См. Приложение.—Табл. I.

Машина работаетъ съ отборомъ пара					
постояннаго давленія.			пережѣннаго давленія.		
P	N_i	Q	P	N_i	Q
0	1800,5	6,36	0	482,27	5,54
852,69	1758,66	6,02	860,64	601,45	4,44
1735,40	1695,09	5,73	1743,35	697,75	3,83
2618,11	1629,23	5,42	2681,23	778,83	3,43
3500,82	1560,72	5,09	3508,77	850,40	3,14
4383,53	1494,48	4,73	4391,48	896,08	2,98
5266,24	1398,56	4,42	5274,19	926,15	2,83
6093,78	1319,38	4,06	6156,90	939,10	2,84
7031,66	1215,46	3,63	7039,61	961,93	2,78
7914,37	1101,26	3,21	7922,32	961,93	2,78
8775,01	956,60	2,79	8775,01	956,60	2,79

Разсматривая эту таблицу, мы видимъ, что количества отбираемаго пара при различныхъ ступеняхъ отбора для того и другого случая мало отличаются другъ отъ друга. Это и понятно, т. к. ступени отбора взяты почти одинаковыми; ступени эти у насъ выбраны сообразно со степенями количествъ пара, приходящихъ въ машину безъ отбора при ея различныхъ нагрузкахъ.

Изобразимъ графически зависимость между расходомъ пара и нагрузкой машины при различныхъ условіяхъ ея работы.



Фиг. 11.

Отложимъ (*фиг. 11*) на оси абсциссъ, считая начало координатъ соотвѣтствующимъ 400 индикаторнымъ силамъ, въ опредѣленномъ масштабѣ всѣ полученныя при изслѣдованіи различныя нагрузки машины; на соотвѣтствующихъ ординатахъ отложимъ величины пропорціональныя расходу пара на одну силу въ часъ.

Кривая *AB*—будетъ изображать собою расходъ пара машиною при работѣ безъ отбора, какъ это было показано на *фиг. 4*.

Кривая *AC*—такъ же, какъ на *фиг. 9*, показываетъ *уменьшеніе* расхода пара съ *увеличеніемъ* мощности машины при отборѣ пара переменнаго давленія.

Кривая *BC*—повторяя собою кривую *фиг. 6*—изображаетъ собою *уменьшеніе* расхода пара, появляющееся при отборѣ пара постояннаго давленія вмѣстѣ съ *уменьшеніемъ* мощности машины.

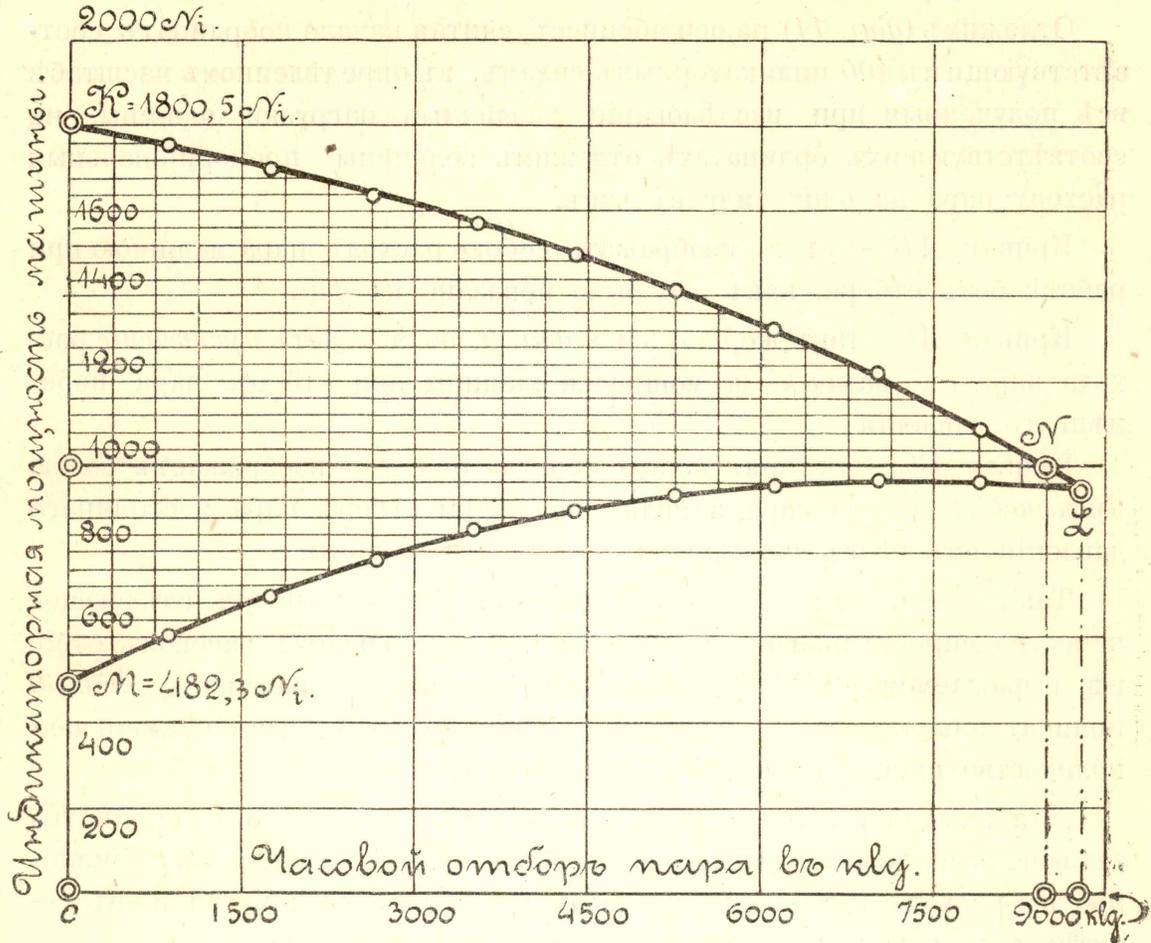
Такимъ образомъ, замкнутая кривая *ABC* показываетъ слѣдующее качество спроектированной машины: при наибольшемъ часовомъ отборѣ, выражаемомъ 8775 *klg.* пара, машина можетъ развивать 956,60 индикаторныхъ силъ, затрачивая на одну силу въ часъ наименьшее количество пара, равное 2,79 *klg.* (точка *C*).

Для каждой развиваемой машиною мощности отрѣзокъ ординаты, заключенный между отдѣльными вѣтвями кривой, показываетъ экономію въ расходѣ пара, могущую быть полученной съ примѣненіемъ соотвѣтствующаго данной нагрузкѣ максимальнаго отбора.

Для того, чтобы получить представленіе о величинѣ возможнаго отбора, при пользованіи кривой *ABC* необходимо вычислить—соотвѣтственно взятой ординатѣ—наименьшій необходимый полный часовой расходъ пара; затѣмъ наибольшее возможное количество пара, могущее поступить въ цилиндръ высокаго давленія; разность между этими двумя величинами и будетъ соотвѣтствовать отбору.

Такимъ образомъ мы видимъ, что кривая *ABC*, характеризуя въ общемъ пользу отбора въ смыслѣ уменьшенія расхода пара, приходящагося на силу въ часъ, не даетъ наглядной картины, обрисовывающей совокупность условій отбора и общей, доставляемой машиною, мощности. Поэтому мы построимъ, опираясь на прежнія же данныя, новую кривую.

Будемъ откладывать (*фиг. 12*) по оси абсциссъ величины отбора, начиная отъ нулевого и кончая наибольшимъ возможнымъ; на ординатахъ будемъ откладывать соотвѣтственную, развиваемую машиною мощность.



Масштабъ абсциссъ $75 \text{ клг.} = 1 \text{ мм}$, ординатъ — 20 индикаторныхъ силъ $= 1 \text{ мм}$.

Откладывая величины, характеризующія собою отборъ при постоянномъ давленіи, мы получаемъ *нисходящую* кривую KL , показывающую **уменьшеніе** мощности машины, вызываемое **увеличеніемъ** отбора.

Нанося затѣмъ въ послѣдовательномъ порядкѣ величины, характеризующія собою возможный — при каждой данной нагрузкѣ — наибольшій отборъ при переменномъ давленіи, мы получимъ *восходящую* кривую ML , показывающую возможность **увеличенія** отбора, обусловленную **увеличеніемъ** мощности, доставляемой машиною.

Ясное дѣло, что обѣ эти кривыя должны сойтись въ одной общей точкѣ, характеризующей собою *предѣльную* величину возможнаго отбора; для изслѣдованной машины мы получили эту величину равной 8775 клг. пара въ часъ.

Замкнутая фигура KLM даетъ намъ подробную картину тѣхъ разнообразныхъ условій, въ которыя можетъ быть поставлена машина, соотвѣтственно измѣняющимся требованіямъ нагрузки и отбора.

Дѣйствительно—огрѣзокъ любой ординаты между вѣтвями кривой показываетъ намъ, въ какихъ предѣлахъ можетъ измѣняться мощность машины, сообразно съ имѣющимся отборомъ, выражаемымъ соответственной абсциссою; часть же кривой фигуры *KLM* расположенная между любыми двумя ординатами, показываетъ, въ какихъ предѣлахъ будетъ измѣняться мощность машины—сообразно съ измѣненіями отбора.

На *фиг. 12* для полноты картины нанесена горизонтальная линія, соответствующая нормальной работѣ машины.

Разсматривая кривую *KLM*, мы видимъ, что машина въ отсутствіе отбора можетъ развить свою максимальную мощность (1800 инд. силъ); постепенно съ увеличеніемъ количества пара, отбираемого при постоянномъ давленіи, мощность машины падаетъ и при отборѣ равномъ ∞ 8475 *klg.* пара въ часъ (точка *N*) машина доставляетъ нормальное количество работы (1000 инд. силъ); при дальнѣйшемъ увеличеніи отбора общая мощность машины падаетъ ниже нормальной и наконецъ наступаетъ предѣльный максимальный отборъ, при соответствующей мощности равной 956,6 инд. силъ. Мы достигли наибольшей мощности при наибольшемъ отборѣ.

Съ другой стороны, при отсутствіи отбора, какъ показываетъ намъ та же кривая *KLM*, машина можетъ работать съ минимальной нагрузкой равной 482,3 индикаторныхъ силъ.

Для того, чтобы—безъ вреда для парораспредѣлительныхъ органовъ цилиндра низкаго давленія—имѣть возможность отбирать отъ машины паръ, необходимо увеличивать нагрузку машины. Тогда при соответственномъ измѣненіи степени наполненія малаго цилиндра измѣняется, какъ мы знаемъ, и ресиверное давленіе.

При дальнѣйшемъ увеличеніи отбора пара переменнаго давленія мощность машины должна соответственно повышаться и при отборѣ около 7000 *klg.* пара въ часъ мощность машины достигаетъ своего *maximum'a* (962 индик. силы); затѣмъ мощность падаетъ, достигая въ точкѣ *L* опять таки наибольшей возможной (956,6 *силъ*) при наибольшемъ возможномъ отборѣ (8775 *klg.*).

Такимъ образомъ мы видимъ, что кривая *KLM* охватываетъ собою все разнообразныя, возможныя при правильной работѣ обоихъ цилиндровъ, условія эксплуатаціи машины; характеризуетъ собою весь допустимый режимъ машины, а потому и можетъ быть названа кривою режима работы машины при различныхъ условіяхъ отбора пара или, короче, кривою режима.

Точка L —характеризующая собою предѣльныя, не могущія быть измѣненными, совмѣстныя величины мощности и отбора, должна быть названа *предѣльной точкой* кривой режима.

Произведение величинъ, опредѣляющихъ собою координаты точки L , очевидно представляетъ собою нѣкоторое характерное число.

Резюмируя все изслѣдованное, мы можемъ вывести слѣдующее заключеніе: *кривая режима машины позволяетъ установить, въ зависимости отъ требованій производства, расписание работы машины, руководствуясь которымъ можно поставить машину въ полное соответствие съ условіями, предъявляемыми къ ней въ каждой фазѣ производства.*

Если требованіе на отбираемый паръ превыситъ возможную при данной нагрузкѣ величину—очевидно, необходимо добавить въ трубопроводъ отбора черезъ дроссельный клапанъ паръ непосредственно отъ котла.

Кривыя измѣненія степени наполненія большого цилиндра и кривыя, показывающія колебанія ресивернаго давленія (см. *фиг. 7 и 10*), даютъ руководящія указанія при проектированіи парораспредѣлительныхъ органовъ цилиндра низкаго давленія и регулятора, завѣдующаго измѣненіемъ впуска пара въ этотъ послѣдній цилиндръ. Практика показала, что измѣненіе давленія въ ресиверѣ, сообразно съ измѣняющимися требованіями отбора, является наиболѣе удобопримѣнимой силой для воздѣйствія на регуляторъ цилиндра низкаго давленія машинъ съ отборомъ пара.

ГЛАВА ДЕВЯТАЯ.

Обзоръ выполненнаго изслѣдованія.

Какъ результатъ нашего изслѣдованія опредѣленной машины съ отборомъ пара, мы получили кривую режима машины.

Повторимъ въ немногихъ словахъ описаніе пути, по которому мы достигли этой кривой.

Опираясь на избранное отношеніе объемовъ цилиндровъ, на вредныя ихъ пространства, на объемъ ресивера и на давленія пара при впускѣ и выпускѣ его изъ машины, мы строили рядъ индикаторныхъ діаграммъ для различныхъ количествъ пара, поступающаго въ малый цилиндръ машины и отбираемыхъ изъ ресивера.

Сообразно размѣрамъ машины, опредѣленнымъ по индикаторнымъ діаграммамъ для нормальной ея работы, мы вычислили мощность, доставляемую машиною въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ отбора.

Индикаторная діаграмма нормальной работы машины строилась нами при нѣсколько произвольно выбранномъ конечномъ давленіи расширенія въ большомъ цилиндрѣ; точно также при опредѣленіи размѣровъ машины, въ общемъ довольно произвольно, выбрана средняя скорость поршня *с_т*.

Для выбора послѣдней величины, какъ извѣстно, существуетъ рядъ эмпирическихъ формулъ, дающихъ не вполне согласные результаты.

Посмотримъ, нельзя ли—при проектированіи машины съ отборомъ пара—избѣгнуть этой произвольности и тѣмъ самымъ поставить опредѣленныя рамки условіямъ, могущимъ быть предъявленными къ машинѣ.

Опираясь на приведенныя выше данныя, мы можемъ—не опредѣляя размѣровъ машины—построить по методу *Schröter*'а индикаторныя діаграммы *наибольшей* и *наименьшей* мощности, доставляемой машиною въ отсутствіе отбора.

Какъ мы видѣли въ главѣ третьей, разность въ количествахъ расходимаго—соотвѣтственно указаннымъ двумъ предѣльнымъ условіямъ работы машины—пара опредѣляетъ собою возможный наибольшій отборъ.

Количества пара, какъ было указано своевременно, выражаются на индикаторныхъ діаграммахъ, соотвѣтственно каждому давленію, отрѣзками горизонталей между гиперболами расширенія и сжатія.

Построивъ для каждаго изъ цилиндровъ машины его *предѣльную* индикаторную діаграмму, мы можемъ, опять таки не опредѣляя размѣровъ машины, получить въ $\%$ относительную величину *наибольшаго* отбора.

Разбивъ этотъ относительный отборъ на рядъ интерваловъ, мы можемъ, опираясь на методъ учета объемаго вліянія отбора, построить соотвѣтственныя индикаторныя діаграммы.

Планиметрируя всѣ эти діаграммы, мы получимъ расчетныя среднія индикаторныя давленія, опредѣляющія собою мощность машины, когда извѣстны ея размѣры, и пропорціональныя этой мощности при неизвѣстныхъ размѣрахъ.

Относя процентную величину каждой ступени отбора къ единицѣ объема описаннаго поршнемъ цилиндра низкаго давленія машины, мы безъ опредѣленія размѣровъ этого послѣдняго, получаемъ рядъ величинъ, пропорціональныхъ возможному — при каждой ступени нагрузки — отбору пара.

Короче говоря, *не зная размѣровъ машины* — вѣрнѣе — зная ея относительные размѣры, мы получаемъ возможность построить *кривую режима* проектируемой машины, со всѣми ее сопровождающими кривыми, полученными нами при произведенномъ изслѣдованіи.

Во всѣхъ этихъ кривыхъ намъ будетъ извѣстенъ лишь масштабъ давленій; масштабъ же объемовъ остается произвольно взятымъ — *неопредѣленнымъ*.

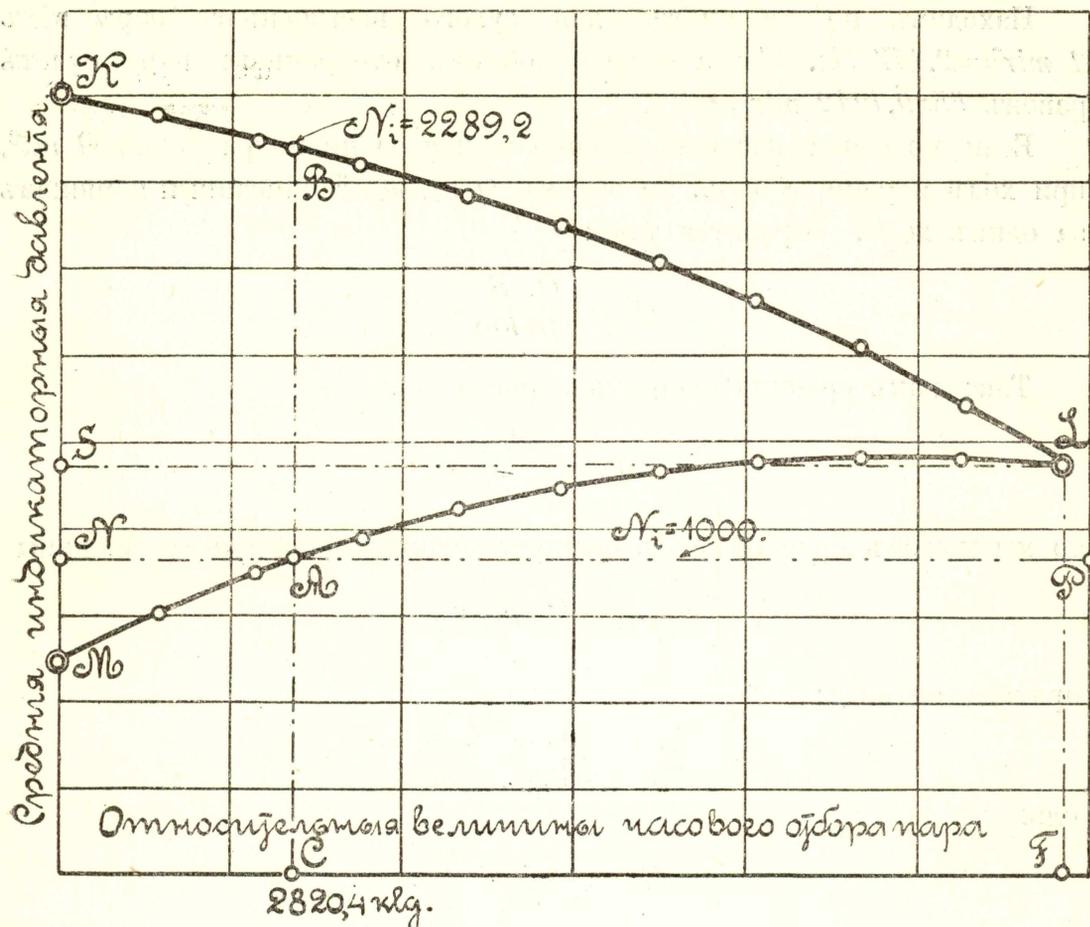
Допустимъ, что все, сказанное нами только что, мы продѣлали при проектированіи заданной намъ машины.

Тогда индикаторныя діаграммы, построенныя для *нормальной* работы машины, будутъ представлять собою одну изъ *промежуточныхъ* изслѣдованныхъ ступеней отбора.

Подобно предыдущему мы вычерчиваемъ (*фиг. 13*) кривую режима машины, нанося на оси абсциссъ *относительныя* величины отбора пара при переменномъ и постоянномъ давленіи, а на оси ординатъ — величины, пропорціональныя среднему индикаторному давленію, отнесенныя, какъ обычно, къ единицѣ площади поршня.

Кривая режима *KLM* будетъ имѣть *предѣльную точку* *L*, характеризующую собою мощность машины при наибольшемъ отборѣ, соотвѣтствующемъ полному напряженному ходу производства.

Предположимъ, что изученіе требованій даннаго производства (такое должно всегда предшествовать опредѣленію условій работы машины) выяснило, что при наибольшемъ отборѣ — соотвѣтствующемъ *12000 klg.* пара въ часъ, для приведенія въ движеніе — необходимыхъ



Фиг. 13.

для производства—машинъ-орудій, требуется индикаторная мощность, равная 1300 силъ, въ то время, какъ нормальная мощность машины при всѣхъ прежнихъ данныхъ должна равняться 1000 силъ.

Мы видимъ изъ сказаннаго, что требованія производства опредѣляютъ намъ координаты предѣльной точки *L* кривой режима.

Если извѣстны истинныя величины координатъ—извѣстенъ масштабъ абсциссъ кривой режима, опредѣляющій собою объемы, описываемые поршнемъ.

Опредѣлимъ главные размѣры машины и величину доставляемой ею максимальной и минимальной мощности.

Расчетное среднее индикаторное давление, соответствующее предѣльной точкѣ, опредѣляется непосредственнымъ планиметрированіемъ индикаторныхъ діаграммъ—въ данномъ случаѣ оно равно 2,153 *kg*.*).

Высчитаемъ объемъ пара—соответствующій данному часовому отбору при опредѣленномъ давленіи (какъ и вездѣ у насъ—примемъ 4 *Atm*.).

*) См. Приложение—Табл. X.

Находимъ по таблицамъ для сухого насыщеннаго пара въсь $1 \text{ mtr}^3 = 2,147 \text{ klg}$. Тогда часовой объемъ отобраннаго пара будетъ равенъ $5589,1942 \text{ mtr}^3$.

Если полезная площадь поршня большого цилиндра равна $O \text{ cm}^2$, при ходѣ поршня $S \text{ mtr.}$, то объемъ Q въ mtr.^3 , описанный поршнемъ за одинъ ходъ, выразится такъ:

$$Q = \frac{O \cdot S}{10000}.$$

Такъ какъ средняя скорость поршня

$$cm = \frac{S \cdot n}{30},$$

то мы можемъ преобразовать формулу индикаторной работы машины

$$N_i = \frac{O \cdot p_i \cdot cm}{75},$$

придавъ ей видъ:

$$N_i = \frac{p_i \cdot n \cdot S \cdot O}{75 \cdot 30 \cdot 10000},$$

или:

$$N_i = \frac{p_i \cdot n \cdot Q}{75 \cdot 30}.$$

Подставляя данныя намъ значенія $N_i = 1300$, $n = 120$ и величину $p_i = 2,153$, мы получаемъ полезный объемъ цилиндра низкаго давленія

$$Q = 0,9700 \text{ mtr}^3.$$

Съ другой стороны мы знаемъ часовой объемъ отбираемаго пара, откуда можемъ простымъ подсчетомъ опредѣлить объемъ пара, отбираемый за нѣкоторую часть одного хода поршня большого цилиндра. Называя этотъ объемъ буквою q , мы получаемъ:

$$q = \frac{5589,1942}{2 \cdot 120 \cdot 60} = 0,3881 \text{ mtr}^3.$$

Мы имѣли ранѣе (см. Приложение—табл. V), что по отношенію къ ходу поршня большого цилиндра, принятому въ діаграммѣ *Schröter*'а равнымъ 100 mm. , наибольшій возможный отборъ при давленіи 4 Atm. выражается при принятомъ масштабѣ объемовъ отрѣзкомъ въ $39,764 \text{ mm.}$, или, по отношенію къ объему цилиндра низкаго давленія,

$$q = 0,39764 \cdot Q.$$

Такимъ образомъ, изъ условій отбора пара мы получаемъ равенство:

$$0,39764.Q = 0,3881 \text{ mtr}^3.,$$

откуда

$$Q = 0,9761 \text{ mtr}^3.$$

Сравнивая два найденныхъ значенія полезнаго объема большого цилиндра, мы видимъ, что онѣ отличаются весьма мало другъ отъ друга. Дѣйствительно:

$$\frac{0,9761}{0,9700} = 1,0063.$$

Послѣдняя величина намъ показываетъ, что, при выбранномъ соотношеніи объемовъ цилиндровъ, ресивера и вредныхъ пространствъ, требуемому максимальному отбору должна соотвѣтствовать мощность машины въ 1308,2 индикат. силъ, что является почти точнымъ выполненіемъ заданія.

Въ случаѣ полученія значительной разницы въ опредѣленіяхъ объема большого цилиндра, приходится признать эти условія несомвѣстными съ принятыми относительными объемами рабочихъ полостей машины и, измѣнивъ эти соотношенія, построить индикаторныя діаграммы, дающія для предѣльнаго отбора необходимое среднее индикаторное давленіе. Имѣя индикаторныя діаграммы для предѣльнаго отбора, легко построить соотвѣтственныя діаграммы наименьшей и наибольшей мощности и по нимъ установить весь режимъ машины.

Вернемся, однако, къ проектируемой нами машинѣ.

Для полученія главныхъ размѣровъ машины—при данномъ объемѣ большого цилиндра—необходимо задаться средней скоростью поршня c_m .

Этой величиною мы зададимся, исходя изъ соображенія, чтобы при наименьшей работѣ малаго цилиндра соотвѣтственно уменьшившееся-же давленіе конца сжатія p_c' было достаточно для устраненія вреднаго вліянія инерціонныхъ силъ, вызывающихъ стукъ въ зазорахъ сочлененій машины.

По индикаторной діаграммѣ наименьшей работы малаго цилиндра (*черт. табл. IV*) находимъ движущее рабочее давленіе (разность давленій по обѣ стороны поршня) въ мертвомъ положеніи равнымъ 1,634 *klg*.

Инерціонное давленіе p_b въ мертвомъ положеніи поршня имѣетъ наибольшее значеніе, выражаемое такъ:

$$p_b = \frac{G}{O \cdot g} \cdot \frac{v^2}{R} (1 + \mu),$$

гдѣ $\frac{G}{O}$ — вѣса движущихся возвратно частей машины, отнесенные къ единицѣ площади поршня;

g — ускореніе силы тяжести;

$\mu = \frac{1}{5}$ — отношеніе радіуса кривошипа R къ длинѣ шатуна;

$v = \frac{2\pi Rn}{60}$ — средняя окружная скорость пальца кривошипа.

Примемъ по *Радимеру* $\frac{G}{O} = 0,3 \text{ klg.}$, что является значительнымъ вѣсомъ; примемъ далѣе, что движущее рабочее давленіе малаго цилиндра равно соотвѣтствующему инерціонному давленію (какъ запасъ у насъ остается еще движущее рабочее давленіе большого цилиндра).

Выразимъ инерціонное давленіе черезъ радіусъ кривошипа:

$$p_b = \frac{G}{O \cdot g} \cdot \frac{4\pi^2 n^2 R}{3600} \cdot \frac{6}{5}$$

Примемъ въ виду незначительной разницы величинъ:

$$\pi^2 = g,$$

тогда, подставляя числовыя значенія, имѣемъ:

$$1,634 = \frac{0,3 \cdot 4 \cdot 14400 \cdot R \cdot 6}{3600 \cdot 5}$$

Откуда:

$$R = 0,284 \text{ mtr.},$$

ходъ поршня:

$$S = 2R = 0,568 \text{ mtr.},$$

средняя скорость:

$$c_m = \frac{S \cdot n}{30} = 2,272 \text{ mtr}$$

Имѣя ходъ поршня, по вычисленному ранѣе объему большого цилиндра, нетрудно опредѣлить и полезную площадь поршня O .

$$O \text{ mtr}^2 = \frac{0,9761}{0,568} = 1,71848.$$

Площадь поршня получилась, по сравненію съ ранѣе вычисленной для той же машины, нѣсколько крупной, благодаря тому, что средняя скорость, вмѣсто прежней величины $3,1 \text{ mtr.}$, взята уменьшенной до $2,272 \text{ mtr.}$

Опредѣливъ главные размѣры машины, мы можемъ, опираясь на кривую режима, вычислить обѣ предѣльныя нагрузки машины, при работѣ ея безъ отбора пара.

Выполняя сказанное, получаемъ для наименьшей мощности машины величину $659,53$ индикаторныхъ силъ; наибольшая же допустимая нагрузка принимаетъ значеніе $2461,9$ индик. силъ, т. е. при отсутствіи отбора машина можетъ допустить перегрузку почти на 150% .

Работа машины съ такой перегрузкой является чрезмерной и, конечно, мало выгодной съ точки зрѣнія расхода пара. Конструктору же машины, во всякомъ случаѣ, необходимо знать верхній возможный предѣлъ нагрузки, дабы сообразовать съ нимъ опредѣленіе прочныхъ размѣровъ частей машины.

Проведемъ на *фиг. 13* горизонтальную линію NP , соответствующую въ —уже извѣстномъ намъ—масштабѣ, нормальной работѣ машины въ 1000 инд. силъ. Черезъ точку A —пересѣченія этой прямой съ нисходящей вѣтвью кривой режима KLM проведемъ ординату. Такъ какъ даннымъ предѣльнымъ отборомъ опредѣляется масштабъ абсциссъ, то мы видимъ, что при нормальной работѣ машины, отъ нея можетъ быть отобрано въ часъ $2820,4$ *klg.* пара, при чемъ, не уменьшая этого отбора, мы можемъ дать машинѣ нагрузку въ $2289,2$ инд. силъ.

Режимъ спроектированной машины въ своихъ главныхъ чертахъ выясненъ.

Если бы мы задались условіемъ, что при максимальномъ отборѣ, равномъ 12000 *klg.* въ часъ, достаточно нормальной мощности машины, то линія NP перемѣстилась бы на кривой режима въ положеніе LS . Ясное дѣло,—какъ размѣры машины, такъ и ея общій режимъ получились бы соответственнно иными.

ГЛАВА ДЕСЯТАЯ.

Дополненіе. Заключение. Обще выводы.

Дополненіе къ главамъ первой и второй. Если желательно получить графическое изображеніе рабочаго процесса машины, обслуживаемой *перегрѣтымъ* паромъ, необходимо строить кривыя измѣненія состоянія пара, опираясь на соотвѣтственные показатели политропъ, при чемъ начала координатъ для построенія этихъ послѣднихъ кривыхъ будутъ тѣже, что и для равностороннихъ гиперболъ, представляющихъ собою кривыя расширенія и сжатія рабочаго процесса машинъ при сухомъ насыщенномъ парѣ.

Дополненіе къ главѣ второй. Паръ, работающій въ различныхъ полостяхъ машины не можетъ быть признанъ сухимъ насыщеннымъ, съ паросодержаніемъ $x = 1$, хотя бы онъ и вступалъ перегрѣтымъ въ цилиндръ высокаго давленія. Въ особенности это явленіе отмѣчено для цилиндра низкаго давленія машинъ съ отборомъ пара изъ ресивера.

Чтобы учесть *уменьшенное* паросодержаніе при построеніи индикаторныхъ діаграммъ, необходимо соотвѣтственныя кривыя измѣненія состоянія *сухого* насыщеннаго пара отнести къ новому *увеличенному* объему, дабы получить въ этомъ новомъ объемѣ сухого насыщеннаго пара такое же давленіе, какъ въ имѣющемся объемѣ, занятомъ паромъ уменьшеннаго паросодержанія.

Такимъ образомъ необходимо всѣ объемы, описываемые поршнемъ, умножить на величину $(1 : x)$.

При объемныхъ діаграммахъ, выраженныхъ прямыми линіями, указанное преобразованіе объемовъ производится очень легко.

Положимъ, у насъ имѣется (*фиг. 14*) объемная діаграмма $(\alpha - \beta - \gamma)$ цилиндра низкаго давленія съ относящимися къ ней линіями вредныхъ пространствъ. Разберемъ вліяніе уменьшеннаго паросодержанія (пусть $x = 0,75$) на измѣненіе объемовъ, описываемыхъ поршнемъ по направленію линіи $(\beta - \gamma)$, во время періода наполненія лѣвой полости.

Увеличивая объемъ $(B - \gamma)$ въ отношеніи $(1 : 0,75)$, мы получаемъ отрѣзокъ $(B - C) = \frac{4}{3} (B - \gamma)$; отложимъ эту величину отъ точки B на горизонтали $(B - \gamma)$. Продолжимъ затѣмъ линію $(\beta - \gamma)$ до пересѣченія съ вертикалью, ограничивающей вредное пространство цилиндра; точка пересѣченія A будетъ означать собою на линіи $(\beta - \gamma)$ *нулевой* объемъ для всякаго паросодержанія.

(K и L) и (L и M), то окажется, что, окружности эти пройдутъ черезъ рядъ точекъ, полученныхъ ранѣе при изслѣдованіи различныхъ ступеней отбора.

Такимъ образомъ намѣчается возможность полученія—по тремъ главнымъ точкамъ—кривой режима машины, не прибѣгая къ построению индикаторныхъ діаграммъ, соответствующихъ промежуточнымъ нагрузкамъ машины.

Рядъ кривыхъ режима, будучи построенъ, при опредѣленныхъ заданіяхъ наибольшаго отбора и соответствующей мощности, для различныхъ относительныхъ размѣровъ полостей машины, можетъ дать указанія на значеніе объема отдельныхъ полостей машины и связь ихъ съ общими условіями ея работы.

Упрощеніе метода нахождения отдельныхъ точекъ кривой режима значительно облегчило бы, въ общемъ кропотливое, изслѣдованіе работы машины съ отборомъ пара для каждаго отдельнаго случая.

Воздерживаясь отъ окончательныхъ выводовъ, могущихъ быть основанными на чертежѣ *фиг. 15*, авторъ оставляетъ вопросы о выясненіи при помощи кривой режима вліянія объемовъ различныхъ полостей машины на условія ея работы съ отборомъ пара, а также объ изученіи дальнѣйшихъ свойствъ кривой режима и возможныхъ методовъ ея упрощеннаго построенія, какъ матеріалъ для дальнѣйшихъ изслѣдованій, и тѣмъ заканчиваетъ описаніе предпринятой имъ работы и полученныхъ результатовъ*).

Въ заключеніе авторъ считаетъ необходимымъ привести главные, могущіе быть сдѣланными на основаніи произведенной работы, общіе выводы, относящіеся въ большей своей части къ машинѣ безъ потерь.

1) Пользованіе прямыми линіями, какъ діаграммами объемовъ при изученіи машины *Tandem* и подобныхъ ей по рабочему процессу, позволяетъ легко и точно—графически и аналитически—опредѣлять центры кривыхъ, соответствующихъ различнымъ измѣненіямъ состоянія пара въ различныхъ полостяхъ машины.

2) Учетъ—въ видѣ отрѣзковъ горизонталей между соответственными кривыми измѣненія состоянія—проходящихъ черезъ цилиндры машины многократнаго расширенія количествъ пара, а также подсчетъ постоянныхъ величинъ, характеризующихъ эти кривыя—съ послѣдующимъ составленіемъ парового балланса—позволяетъ провѣрять

*) Мысль о построеніи кривыхъ режима помощью окружностей явилась автору передъ самой отдачей всей работы въ печать.

правильность построения индикаторных диаграмм для всех рабочих цилиндров машины.

3) При построении диаграммы *Schröter*'а для машинъ съ промежуточнымъ отборомъ пара введение въ рабочей процессъ фиктивного цилиндра отбора, какъ нѣкотораго насоса двойного дѣйствія, позволяетъ—по аналогіи—разсмотрѣть всѣ детали рабочаго процесса для произвольнаго возможнаго отбора.

4) Разсматривая дѣйствіе цилиндра отбора на количество пара, поступившее только въ *одну* изъ полостей цилиндра высокаго давленія, мы получаемъ возможность отъ аналогіи перейти къ учету дѣйствительнаго объемнаго вліянія, соотвѣтствующаго существующему въ машинѣ отбору пара.

5) Машина *Tandem*, работающая съ выпускомъ пара при атмосферномъ давленіи, не допускаетъ значительныхъ колебаній нагрузки и не даетъ возможности измѣнять въ широкихъ предѣлахъ количества отбираемаго отъ нея пара.

6) Машина *Tandem* съ высокимъ вакуумомъ является мало пригодной, съ точки зрѣнія использованія,—непревращеннаго цилиндромъ низкаго давленія въ работу,—тепла пара, такъ какъ вода, выходящая изъ холодильника машины, имѣетъ низкую температуру.

7) Машина съ небольшимъ противодавленіемъ (около $0,5 \text{ Atm}$), давая изъ холодильника горячую (около 80° C) пригодную для многихъ техническихъ цѣлей воду, вмѣстѣ съ тѣмъ допускаетъ достаточно широкія колебанія нагрузки и значительный промежуточный отборъ пара.

8) Предѣльные индикаторныя діаграммы для каждаго изъ рабочихъ цилиндровъ машины, обезпечивая спокойствіе работы парораспределительныхъ органовъ, вмѣстѣ съ тѣмъ обусловливаютъ собою возможный максимальный отборъ пара.

9) Максимальный отборъ выполняется при неизмѣнномъ ресиверномъ давленіи.

10) Отборъ пара ниже максимальнаго можетъ совершаться какъ при постоянномъ, такъ и при переменномъ ресиверномъ давленіи.

11) Каждому количеству отбираемаго пара соотвѣтствуютъ опредѣленные, возможные колебанія нагрузки машины.

12) Построение индикаторныхъ діаграммъ обоихъ цилиндровъ машины для каждаго отдѣльнаго случая отбора, позволяетъ опредѣлить вліяніе отбора на расходъ пара, приходящійся на одну индикаторную силу въ часъ.

13) Построение индикаторных диаграмм обоих цилиндров для каждого случая отбора дает возможность определить условия проектирования парораспределительных органов машины.

14) Изучение колебаний ресиверного давления при различных случаях отбора в связи с необходимыми изменениями степени наполнения большого цилиндра позволяет определить условия проектирования регулятора, обслуживающего паровпускные окна цилиндра низкого давления.

15) Взаимная связь между отбором пара и работой, доставляемой машиною, наглядно изображается кривой режима машины.

16) Кривая режима имеет три главные точки, характеризующие собою наибольшую и наименьшую мощность машины в отсутствие отбора и наибольшую мощность, соответствующую наибольшему же отбору.

17) Отрезки ординат, заключенные между ветвями кривой режима, показывают возможные — при неизменяющемся отборе — колебания нагрузки машины. Ветви кривой режима соответствуют двум качественным условиям отбора.

18) Участок кривой режима, заключенный между двумя ее ветвями и какими либо двумя ординатами, показывает возможные изменения мощности машины при изменении отбора (качественном и количественном) в пределах, соответствующих взятым ординатам.

19) Горизонтальная линия нормальной работы машины своим пересечением с кривой режима устанавливает границы соответственно возможного отбора.

20) Кривая режима, будучи вычерчена для определенных *относительных* размеров отдельных полостей машины, дает возможность по — обусловленным требованиям производства — максимальному отбору и необходимой соответственной мощности машины определить главные ее размеры.

21) Ряд кривых режима, полученных для *одного* определенного задания условий работы машины, будучи выстроен при *различных* относительных размерах полостей машины, может дать в руки конструктору указания в смысле наиболее целесообразного выбора объема ресивера и объемов цилиндров машины.

22) Намеченная возможность упрощенного построения кривой режима, устраняя необходимость вычерчивания большого числа индикаторных диаграмм, тем самым облегчит изучение различных условий работы машин с промежуточным отбором пара.



Краткій указатель періодической литературы послѣднихъ лѣтъ по вопросу о поршневыхъ паровыхъ машинахъ съ промежуточнымъ отборомъ пара.

Бюллетени Политехническаго Общества.

1909. *X. Водоминскій.*—Построение теоретической индикаторной диаграммы машины-тандемъ съ использованиемъ пара изъ ресивера. 1909, 1910 и 1912 годы содержатъ рядъ переводныхъ и компилятивныхъ статей съ указаніями иностранныхъ источниковъ.

Журналъ Общества Сибирскихъ Инженеровъ.

1915. *A. Угаровъ.*—Графическое изображеніе рабочаго процесса машины съ промежуточнымъ отборомъ пара.

Memoires et compte rendu des travaux de la Société des ingenieurs civils.

1912. *Beaurrienne.*—Production simultanée d'énergie électrique et de chaleur.

Revue de mécanique.

1912. *Lecuir.*—Note sur le chauffage à l'aide de la vapeur de décharge des machines monocylindriques ou le vapeur prise au receiver des machines compounds.

Engineering News.

1912. *Peck.*—Bleeding steam from receivers of triple expansion engines for heating feed water.

Gesundheits-Ingenieur.

1912. *Brabbée.*—Forschungsarbeiten der Prüfungsanstalt für Heizungs- und Lüftungseinrichtungen.

Zeitschrift des Bayerischen Revisions-Vereins.

1907. *Eberle.*—Einfluss des Gegendruckes und der Zwischendampfentnahme auf den Dampfverbrauch von Kolbenmaschinen.
1912. *Kammerer.*—Einige Untersuchungs-Ergebnisse von Maschinen und Turbinen mit Gegendruck und Zwischendampfentnahme.

Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure.

1912. *Hottinger*.—Einige Dampfkraftanlagen mit Abwärmeverwertung.

1913. *Pfleiderer*.—Die Eincylindermaschine mit Zwischendampfentnahme.

Подробныя указанія литературы по вопросу объ использованіи для цѣлей технического нагрѣва мѣткого и промежуточнаго пара изъ паровыхъ машинъ имѣются въ слѣдующихъ, справочныхъ изданіяхъ:

Fortschritte der Technik,

Repertorium der technischen Journal-Litteratur,

Revue de l'Ingenieur et index technique.

Приложение.

Данные, характеризующія условия работы и главные размеры
исследованной машины.

N_i — число индикаторных силъ = 1000,

n — „ оборотовъ вала машины въ минуту = 120,

p_e — давление впускаемаго въ машину пара = 11 *Atm. abs.*,

p_a — „ выходящаго изъ машины пара = 0,55 *Atm. abs.*,

c_m — средняя скорость поршня въ секунду = 3,1 *mtr.*,

S — ходъ поршня = 0,775 *mtr.*,

O_2 — площадь поршня цилиндра низкаго давления 0,921 *mtr.*²,

$O_2 \times S$ — полезный объемъ цилиндра низкаго давления =
= 0,713775 *mtr.*³,

$O_1 \times S$ — полезный объемъ цилиндра высокаго давления =
= 0,317230 *mtr.*³

φ — отношение объемовъ цилиндровъ $O_2 : O_1 = 2,25$,

R — объемъ ресивера = 0,713775 *mtr.*³,

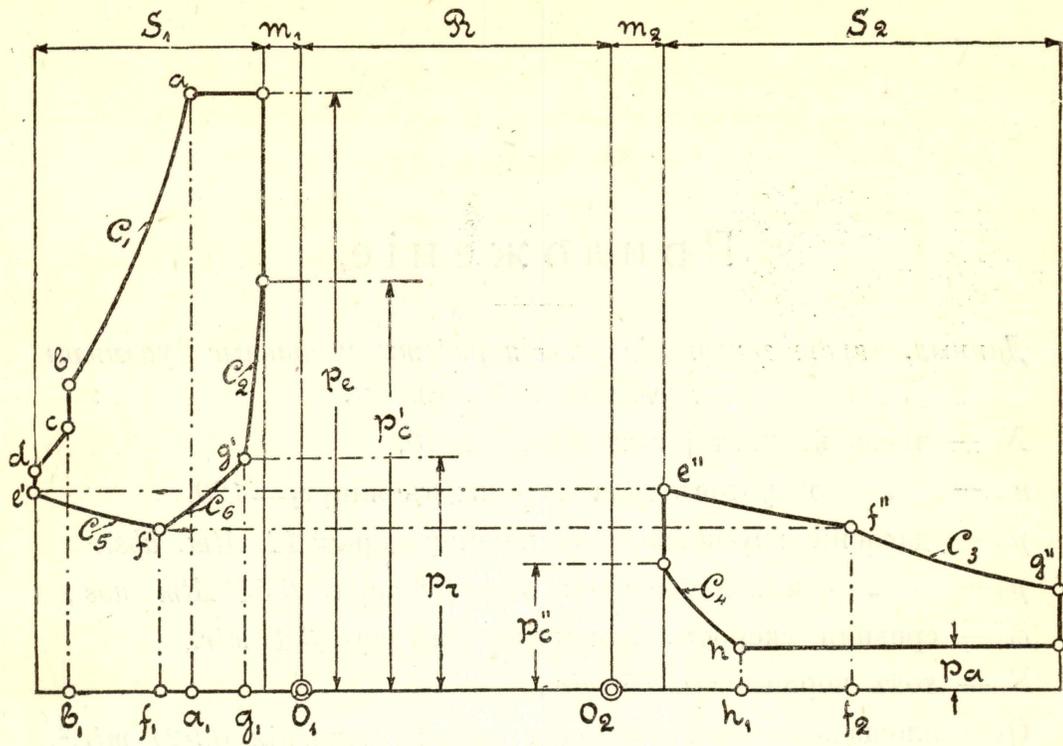
m_1, m_2 — объемы вредныхъ пространствъ соответственныхъ
цилиндровъ = 8⁰/₆.

μ — масштабъ объемовъ для диаграммъ *Schröter*'а на чертежахъ
(табл. IV, V, VI) 1 *mm.* = 7137,75 *cm.*³

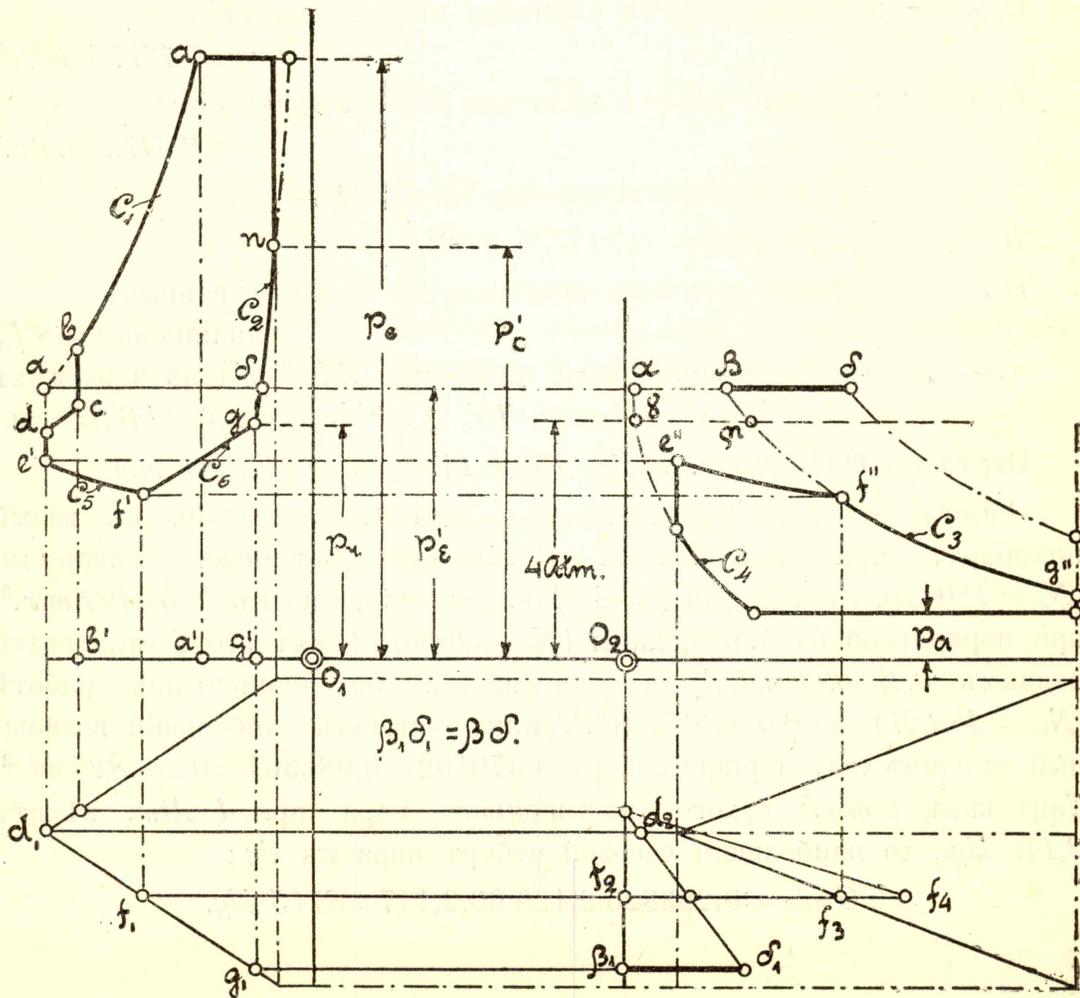
Отрѣзокъ O_1O_3 (черт. табл. III и IV) равенъ 172,84 *mm.*

Объемъ пара, поступающаго за одинъ ходъ поршня въ малый цилиндръ, при наибольшей, развиваемой машиною, мощности; ($N_i = 1800,5$), отнесенный къ 4 *Atm.* давления, равенъ 0,370192 *mtr.*³; при нормальной работѣ машины ($N_i = 1000$) объемъ этотъ становится равнымъ 0,173090 *mtr.*³ и уменьшается при наименьшей работѣ ($N_i = 482,27$) до 0,086367 *mtr.*³. Такимъ образомъ наибольшій возможный за одинъ ходъ поршня отборъ 0,370192 — 0,086367 = 0,283825 *mtr.*³. Такъ какъ 1 *mtr.*³ сухого насыщеннаго пара при 4 *Atm.* вѣситъ 2,147 *klg.*, то наибольшій часовой отборъ пара въ *klg.*:

$$G_{max} = 0,283825 \cdot 2 \cdot 120 \cdot 60 \cdot 2,147 = 8775 \text{ klg.}$$



Фиг. 16.



Фиг. 17.

Ступени количества пара, приходящихъ въ машину—безъ отбора— при ея различныхъ нагрузкахъ, вычисленныя въ *klg.* за одинъ часъ (*G*) и въ объемахъ за одинъ ходъ—(*Q mtr.³*), отнесенныхъ къ 4 *Atm.* давления.

Объемы выражены согласно масштабу диаграммъ Schröter'a въ *mm.*

Т а б л и ц а I.

Наименованіе ступеней.	<i>G klg.</i> въ часъ	<i>Q</i> —за одинъ ходъ.	
		<i>mtr.³.</i>	<i>mm.</i>
<i>minQ</i> ₁	2670,2	0,086367	12,1
<i>q</i> ₂	3530,8	0,114204	16
<i>q</i> ₃	4413,5	0,142755	20
<i>prmq</i> ₄	5351,4	0,173090	24,25
<i>q</i> ₅	6178,9	0,199857	28
<i>q</i> ₆	7061,7	0,228408	32
<i>q</i> ₇	7944,4	0,256959	36
<i>q</i> ₈	8827,1	0,285510	40
<i>q</i> ₉	9709,8	0,314061	44
<i>q</i> ₁₀	10592,5	0,342612	48
<i>maxQ</i> ₁₁	11445,2	0,370192	51,86

Величины, относяціяся къ индикаторнымъ діаграммамъ машины безъ отбора пара (черт. табл. IV), при ея различныхъ нагрузкахъ.

Наименованіе точекъ, определяющихъ собою объемы и давления, согласно эскизу фиг. 16.

Т а б л и ц а II.

Неизмѣняющіяся величины.

Давленія.	<i>Atm.</i>	Въ мас-штабѣ.	Объемы въ <i>mm.</i> діаграммы.			
			<i>S</i>	<i>m</i>	<i>f</i>	<i>O</i>
<i>p</i> ₂	11	165,00 <i>mm.</i>	<i>S</i> ₁	44,44	<i>b</i> ₁ <i>O</i> ₁	44,04
<i>p</i> _а	0,55	8,25 „	<i>m</i> ₁	3,6	<i>g</i> ₁ <i>O</i> ₁	7,6
<i>p</i> _{с''}	1,375	20,63 „	<i>S</i> ₂	100	<i>f</i> ₂ <i>O</i> ₂	50,35
			<i>m</i> ₂	8	<i>f</i> ₁ <i>f</i> ₂	179,60
			<i>R</i>	100	<i>f</i> ₁ <i>O</i> ₂	129,24

Т а б л и ц а III.
Величины, меняющиеся со нагрузкою машины.

Ступени коли- чество пара.	Д а в л е н и я				Т о ч к и индикаторныхъ диаграммъ												Расчетное среднее ин- дикат. давл. <i>p_с</i>		
	реальное <i>p_r-q_r'</i>		<i>p_c'</i>		<i>a</i>		<i>b</i>		<i>c</i>		<i>d</i>		<i>e' = e''</i>		<i>f' = f''</i>			<i>g''</i>	
	Атм.	мм.	Атм.	мм.	Объемъ въ мм.	Атм.	мм.	Атм.	мм.	Атм.	мм.	Атм.	мм.	Атм.	мм.	Атм.		мм.	Атм.
<i>min. q₁</i>	1,42	21,30	3,0	45	5,38	1,34	20,10	1,4	21,0	1,36	20,40	1,36	20,40	1,18	17,70	0,55	8,25	1,267	
<i>q₂</i>	1,79	26,85	3,78	56,70	7,05	1,76	26,40	1,78	26,70	1,73	25,95	1,71	25,65	1,49	22,35	0,69	10,35	1,753	
<i>q₃</i>	2,17	32,55	4,58	68,70	8,77	2,19	32,85	2,18	32,70	2,12	31,80	2,08	31,20	1,81	27,15	0,84	12,60	2,207	
<i>norm. q₄</i>	2,58	38,70	5,45	81,75	10,60	2,65	39,75	2,53	37,95	2,53	37,95	2,47	37,05	2,14	32,10	1,0	15,0	2,627	
<i>q₅</i>	2,93	43,95	6,19	92,85	12,21	3,05	45,75	2,97	44,55	2,89	43,35	2,81	42,15	2,44	36,60	1,14	17,10	2,987	
<i>q₆</i>	3,32	49,80	6,99	104,85	13,92	3,48	52,20	3,37	50,55	3,27	49,05	3,18	47,70	2,76	41,40	1,29	19,35	3,280	
<i>q₇</i>	3,70	55,50	7,84	117,60	15,64	3,91	58,65	3,76	56,40	3,66	54,90	3,54	53,10	3,08	46,20	1,44	21,60	3,673	
<i>q₈</i>	4,08	61,20	8,61	129,15	17,36	4,34	65,10	4,16	62,4	4,0	60,75	3,91	58,65	3,40	51,0	1,58	23,70	3,930	
<i>q₉</i>	4,46	66,90	9,41	141,15	19,09	4,77	71,55	4,55	68,25	4,43	66,45	4,27	64,05	3,71	55,65	1,73	25,95	4,193	
<i>q₁₀</i>	4,84	72,60	10,22	153,30	20,80	5,20	78,0	4,95	74,25	4,82	72,30	4,64	69,60	4,03	60,45	1,88	28,2	4,560	
<i>max. q₁₁</i>	5,21	78,158	11,0	165,0	22,46	5,61	84,15	5,33	79,85	5,19	77,95	4,99	74,85	4,34	65,10	2,02	30,30	4,730	

Данныя, относящіяся къ индикаторнымъ діаграммамъ (черт. табл. V) машины съ промежуточнымъ отборомъ пара при постоянномъ ресиверномъ давленіи.

Наименованія точекъ, опредѣляющихъ собою объемы и давленія, согласно эскизу фиг. 17.

Т а б л и ц а IV.

Величины, остающіяся неизмѣнными.

Д а в л е н і я			Объемы въ <i>тт.</i>	
—	<i>Atm.</i>	<i>тт.</i>	діаграммъ.	
p_e	11,0	165,0	$a'O_1$	22,46
p_a	0,55	8,25	$ад$	51,86
$p_{e'}=p_e$	11,0	165,0	$g'O_2$	107,6
p_r	5,21	78,15	$b'O_1$	44,04
$p_{e''}$	1,375	20,63		

Ступени отбора пара опредѣляются, какъ разность между $maxq_{11}$ и каждымъ меньшимъ количествомъ пара, поступающимъ въ большой цилиндръ машины.

Т а б л и ц а V

Ступени отбора пара при постоянномъ ресиверномъ давленіи.

(Объемы за одинъ ходъ поршня отнесены къ 4 *атм.*).

Наименованіе ступеней.		Объемъ отбора за одинъ ходъ въ <i>тт.</i>	Отсоръ въ ‰ отъ $maxq_{11}$.
$max k_1$	$q_{11}-q_1$	39,764	76,67
k_2	$q_{11}-q_2$	35,834	69,15
k_3	$q_{11}-q_3$	31,864	61,44
$порт k_4$	$q_{11}-q_4$	27,614	53,24
k_5	$q_{11}-q_5$	23,864	46,01
k_6	$q_{11}-q_6$	19,864	38,30
k_7	$q_{11}-q_7$	15,864	30,59
k_8	$q_{11}-q_8$	11,864	22,88
k_9	$q_{11}-q_9$	7,864	15,16
k_{10}	$q_{11}-q_{10}$	3,864	7,45
ok_{11}	$q_{11}-q_{11}$	0	0

Т а б л и ц а VI.

Величины, изменяющіяся соответственно ступенямъ отбора.

Ступени отбора.	Объемы въ <i>mm</i> діаграммы.					Точки индикаторныхъ діаграммъ.								Расчетное средн. индик. давл. $p_i - klg$.
	$\beta\delta$.	$d_1 d_2$.	$f_2 f_3$.	$f_1 f_4$.	$g_1 \delta_1$.	d		$e' = e''$		$f' = f''$		g''		
						Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	
k_1	30,93	150,82	12,38	162,53	138,53	5,09	76,35	4,910	73,65	4,80	71,97	0,55	8,25	2,513
k_2	27,90	150,55	15,79	165,07	135,50	5,10	76,50	4,914	73,71	4,72	70,80	0,69	10,35	2,893
k_3	24,78	150,27	19,46	167,46	132,38	5,11	76,65	4,933	74,0	4,66	69,90	0,84	12,60	3,193
k_4	21,48	149,97	23,51	169,94	129,08	5,12	76,80	4,941	74,12	4,59	68,85	1,00	15,00	3,466
k_5	18,56	149,71	27,10	171,88	126,16	5,13	76,95	4,948	74,22	4,54	68,10	1,14	17,10	3,674
k_6	15,45	149,43	31,02	173,72	123,05	5,14	77,10	4,956	74,34	4,49	67,35	1,29	19,35	3,923
k_7	12,34	149,15	34,97	175,33	119,94	5,15	77,25	4,963	74,45	4,45	66,75	1,44	21,60	4,10
k_8	9,23	148,87	38,67	176,71	116,83	5,16	77,40	4,971	74,57	4,41	66,15	1,58	33,70	4,280
k_9	6,12	148,59	42,66	177,99	113,72	5,17	77,55	4,978	74,67	4,38	65,70	1,73	25,95	4,453
k_{10}	3,00	148,31	46,62	178,93	110,6	5,18	77,70	4,986	74,79	4,36	65,40	1,88	28,20	4,620
$0k_{11}$	0	148,04	50,48	179,75	107,6	5,19	77,85	4,990	74,85	4,35	65,25	2,02	30,35	4,733

Для построения линий объемнаго влияния отбора необходимо знать объемъ $\alpha\beta$ проходящаго за одинъ ходъ поршня черезъ малый цилиндръ пара при его конечномъ давленіи расширенія p_{ϵ}' . Для разбираемаго отбора—при постоянной степени наполненія ϵ малаго цилиндра— $p_{\epsilon}' = 5,14 \text{ Atm.}$ Слѣдовательно, надо значенія k изъ таблицы V измѣнить въ отношеніи (4 : 5,14), (см. *фиг. 17*); выполнивъ это, получаемъ числовыя значенія величинъ отбора $\beta\delta = \alpha\delta - \alpha\beta$. (Табл. VI).

Данныя, относящіяся къ индикаторнымъ діаграммамъ (черт. табл. VI) машины съ отборомъ пара при переменномъ ресиверномъ давленіи.

Наименованіе точекъ, опредѣляющихъ собою объемы и давленія, согласно эскизу *фиг. 17*.

Т а б л и ц а VII.

Величины, остающіяся неизмѣнными.

Д а в л е н і я			Объемы въ <i>mm.</i> діаграммы (при 4 <i>Atm.</i>)	
—	<i>Atm.</i>	<i>mm.</i>		
p_{ϵ}	11,0	165,00	γp	12,1
p_a	0,55	8,25	$g_1 O_2$	107,6
p_{ϵ}''	1,375	20,63	$b' O_1$	44,04
$p_{\epsilon}'' = p_a$	0,55	8,25	—	—

Степени отбора опредѣляются, какъ разности между q_x —количествами пара, поступающими за одинъ ходъ поршня въ малый цилиндръ и $min q_1$ —неизмѣнно поступающимъ въ большой цилиндръ машины. Какъ и во всѣхъ предшествовавшихъ таблицахъ, гдѣ не оговорено, количества пара выражаются въ *mm.* масштаба діаграммы *Schröter*'а и отнесены къ давленію 4 *Atm.*

Т а б л и ц а VIII.

Степени отбора пара при переменномъ ресиверномъ давленіи.

Степени.	Разность между колич. пара.	Объемы въ <i>mm.</i>
$\max k_1$	$q_{11} - q_1$	39,76
k_2	$q_{10} - q_1$	35,90
k_3	$q_9 - q_1$	31,90
k_4	$q_8 - q_1$	27,90
k_5	$q_7 - q_1$	23,90
k_6	$q_6 - q_1$	19,90
k_7	$q_5 - q_1$	15,90
k_8	$q_4 - q_1$	12,15
k_9	$q_3 - q_1$	7,90
k_{10}	$q_2 - q_1$	3,90
$0 k_{11}$	$q_1 - q_1$	0

Т а б л и ц а IX.

Величины отбора для каждой ступени: Q , выраженные в ‰ отъ количества пара, соответственно поступающего за одинъ ходъ поршня въ малый цилиндръ, и G —въ *kg.* за одинъ часъ работы машины.

Ступени отбора.	$Q=‰$.	$G=kg.$
k_1	76,67	8775,0
k_2	74,79	7922,32
k_3	72,50	7039,61
k_4	69,75	6156,90
k_5	66,39	5274,13
k_6	62,19	4391,48
k_7	56,79	3508,77
k_8	50,10	2681,23
k_9	39,50	1743,35
k_{10}	24,38	860,64

Для построения на диаграммѣ *Schröter*'а линій объемнаго вліянія отбора необходимо, соотвѣтственно каждой ступени отбора, опредѣлить объемъ $\alpha\beta$ (эскизъ *фиг. 17*) проходящаго за одинъ ходъ поршня черезъ малый цилиндръ количества пара при его конечномъ давленіи расширенія p_{ϵ}' . Такъ какъ степень наполненія цилиндра высокаго давленія мѣняется совмѣстно со ступенями отбора, то для получения числового значенія величинъ $\beta\delta$, необходимо вычислить соотвѣтственныя значенія p_{ϵ}' , чтобы затѣмъ измѣнить величины k_x и $\alpha\beta$, выраженные въ *mm.* масштаба діаграммы, въ отношеніи ($A : p_{\epsilon}'$).

Т а б л и ц а X.

Величины, изменяющіяся при ступеняхъ отбора пара переменнаго давления.

Наименованіе точекъ согласно эскизу фиг. 17.

Ступени отбора.	p_{ϵ}' Atm.	$\frac{4}{p_{\epsilon}'}$	Объемы въ <i>mm</i> масштаба						Точки индикаторныхъ діаграммъ.										Расчетное среднее индик. давление P_i — <i>kg.</i>		
			$\alpha\delta$	$\beta\delta$	$d_1 d_2$	$f_2 f_3$	$f_1 f_4$	$g_1 \delta_1$	<i>c</i>		<i>d</i>		$e' = e''$		$f' = f''$		$g' - p_r$			$n \quad p_{\epsilon}'$	
									Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>	Atm.	<i>mm.</i>		Atm.	<i>mm.</i>
k_1	5,14	0,778	40,34	30,93	150,82	12,38	162,53	138,53	5,33	79,95	5,09	76,35	4,910	73,65	4,80	71,97	5,21	78,15	11,00	165,00	2,513
k_2	4,76	0,840	40,32	30,16	150,75	13,35	163,18	137,76	4,95	74,25	4,73	70,95	4,574	68,61	4,45	66,75	4,84	72,60	10,22	153,30	2,527
k_3	4,37	0,915	40,26	29,19	150,67	14,56	164,11	136,79	4,55	68,25	4,35	65,25	4,219	63,29	4,08	61,20	4,46	66,90	9,41	141,15	2,527
k_4	3,9 6	1,005	40,24	23,07	150,57	16,01	165,21	135,67	4,16	62,40	3,98	59,70	3,865	57,98	3,71	55 65	4,08	61,20	8,61	129,15	2,467
k_5	3,58	1,117	40,22	26,70	150,44	17,78	166,56	134,30	3,76	56,40	3,60	54,00	3,511	52,67	3,34	50,10	3,70	55,50	7,84	117,60	2,433
k_6	3,19	1,254	40,12	24,95	150,29	20,00	168,17	132,55	3,37	50,55	3,23	48,45	3,155	47,33	2,97	44,55	3,32	49,80	6,99	104,85	2,354
k_7	2,80	1,429	40,01	22,72	150,09	22,85	169,71	130,32	2,97	44,55	2,85	42,75	2,791	41,87	2,60	39,00	2,93	43,95	6,19	92,85	2,234
k_8	2,43	1,646	39,92	20,00	149,84	26,28	171,95	127,60	2,53	37,95	2,50	37,50	2,462	36,93	2,26	33,90	2,58	38,70	5,45	8 75	2,046
k_9	2,01	1,990	39,80	15,72	149,46	31,60	173,94	123,32	2,18	32,70	2,10	31,50	2,077	31,15	1,88	28,20	2,17	32,55	4,58	68,70	1,833
k_{10}	1,62	2,469	39,50	9,63	148,91	39,10	177,81	117,23	1,78	26,70	1,72	25,80	1,712	25,63	1,52	22,78	1,79	26,85	3,78	56,70	1,580

Многія изъ приведенныхъ величинъ опредѣлялись аналитически по соответственнымъ гиперболамъ Отрѣзки O_1O_4 , O_1O_3 и O_2O_5 (черт. табл. V и VI), характеризующіе собою начала координатъ гиперболъ, изображающихъ собою опредѣленное измѣненіе состоянія пара, для каждой ступени отбора *различны*.

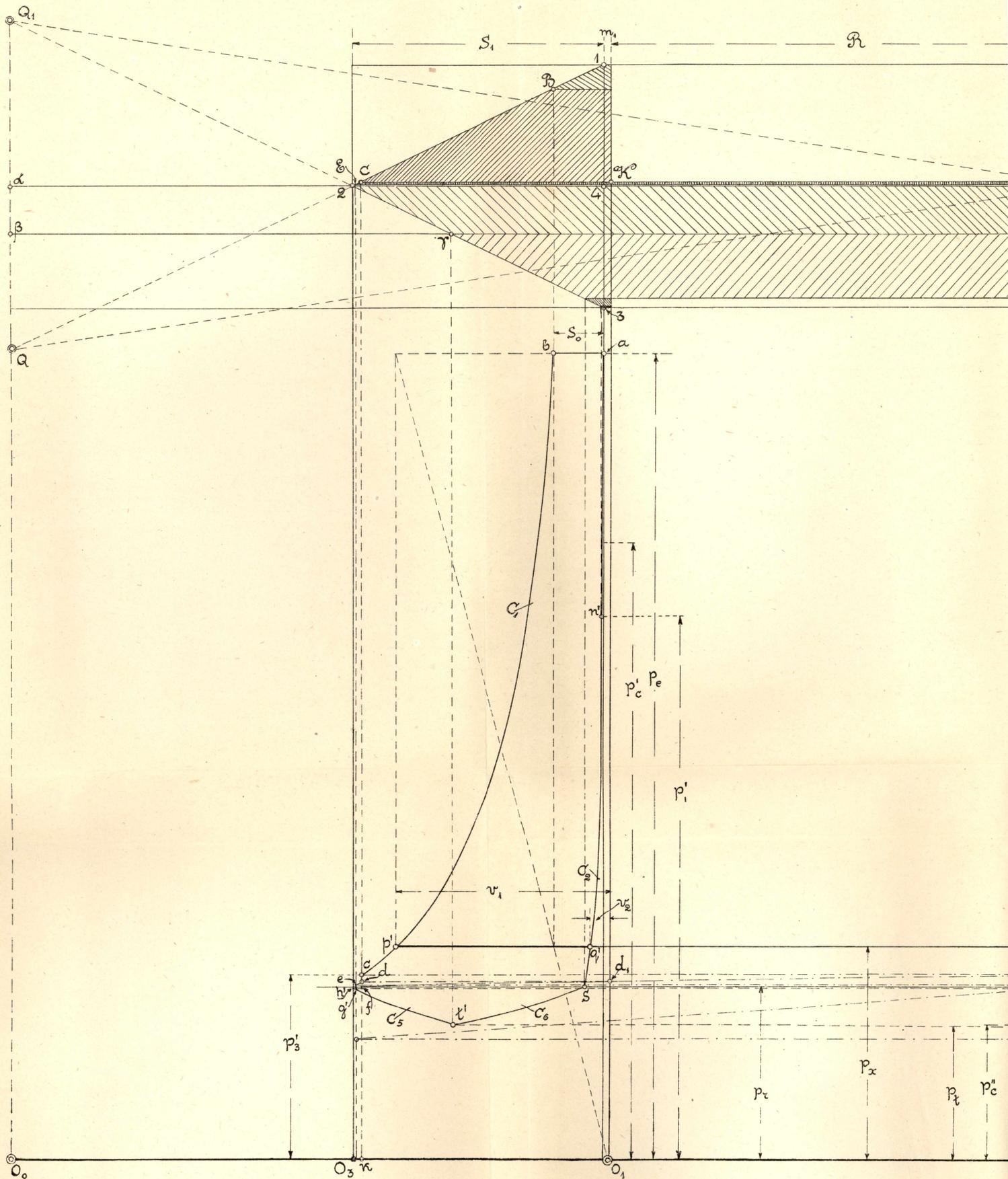
Т а б л и ц а XI.

Величины, въ тт., опредѣляющія начало координатъ различныхъ гиперболъ, при различныхъ случаяхъ отбора пара.

(*nc* — отборъ при постоянномъ давленіи)
(*np* — » » переменномъ »)

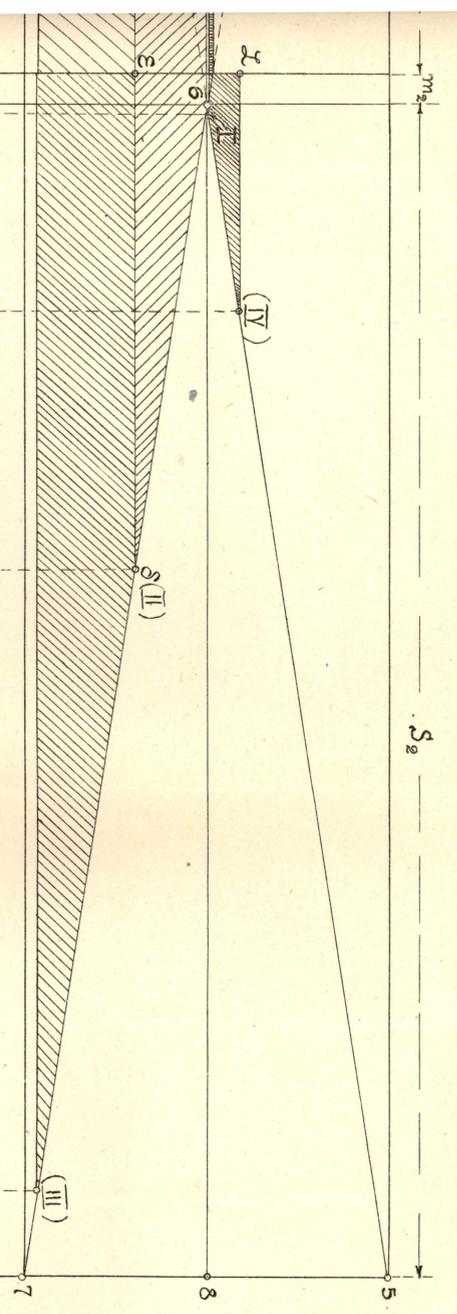
Ступени отбора.	k_1		k_2		k_3		k_4		k_5		k_6		k_7		k_8		k_9		k_{10}
	<i>nc</i>	<i>np</i>	<i>nc</i>																
O_1O_4	129,65	130,35	132,47	131,22	135,59	132,30	139,16	133,66	142,60	135,41	146,57	137,75	150,89	140,84	155,63	146,21	160,86	154,96	166,66
O_1O_3	40,90	41,78	44,47	42,88	48,44	44,25	53,07	45,97	57,57	48,21	62,85	51,23	68,70	55,26	75,24	62,37	82,53	74,30	90,90
O_2O_5	348,08	320,88	256,22	291,60	194,60	260,71	142,24	228,36	109,04	194,69	81,03	159,57	58,45	124,73	39,86	83,21	24,28	42,21	10,81

Графическое изображение рабочего процесса
машины Тандем обьемного типа.

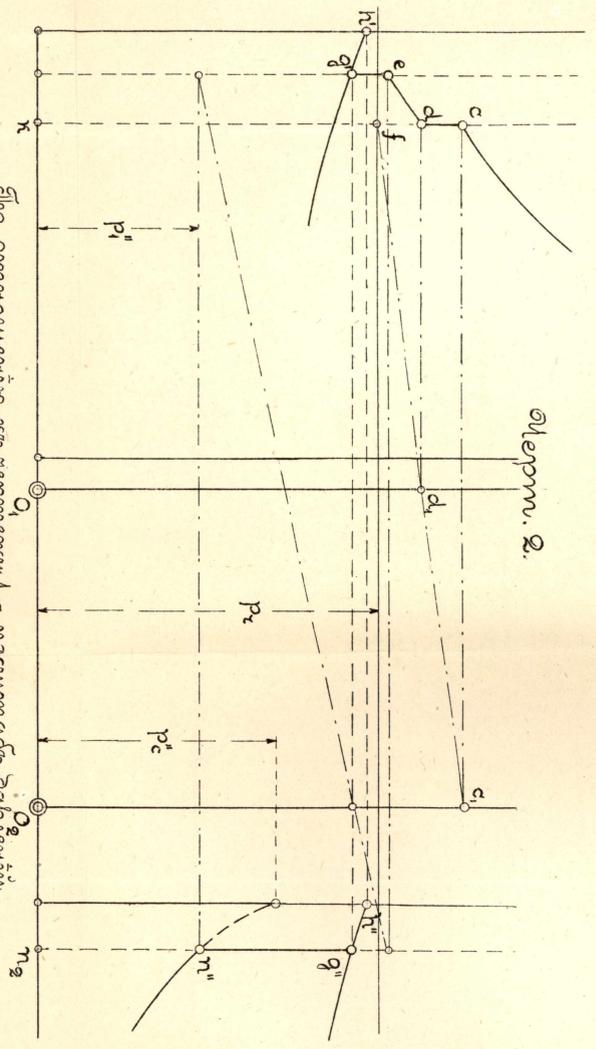


Глибамина I.

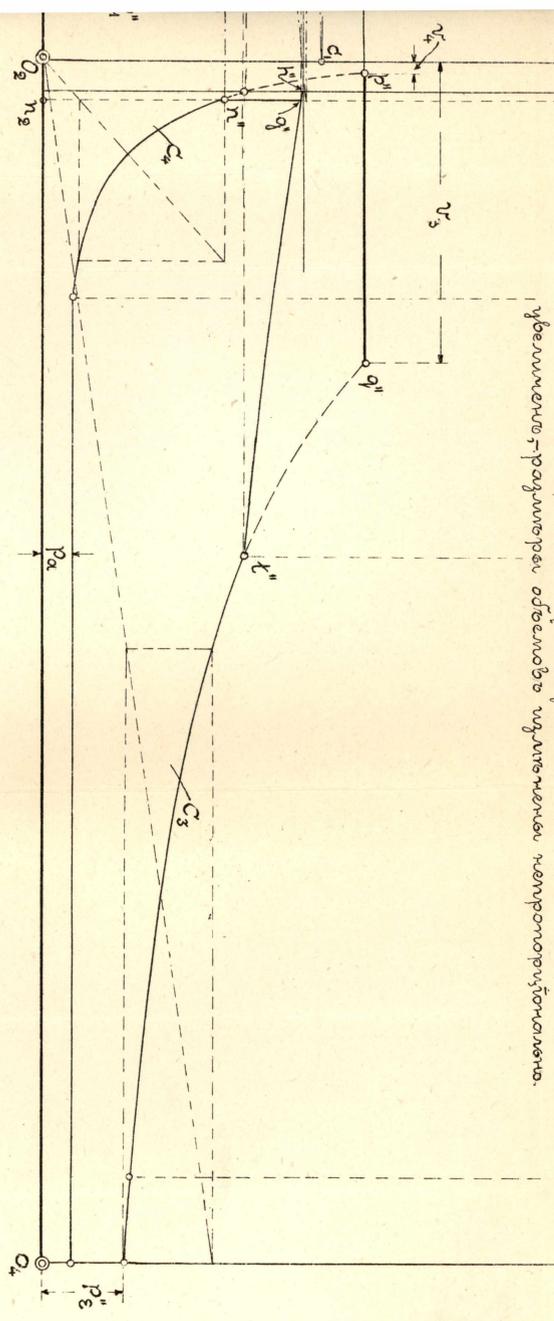
Чертеж 1.



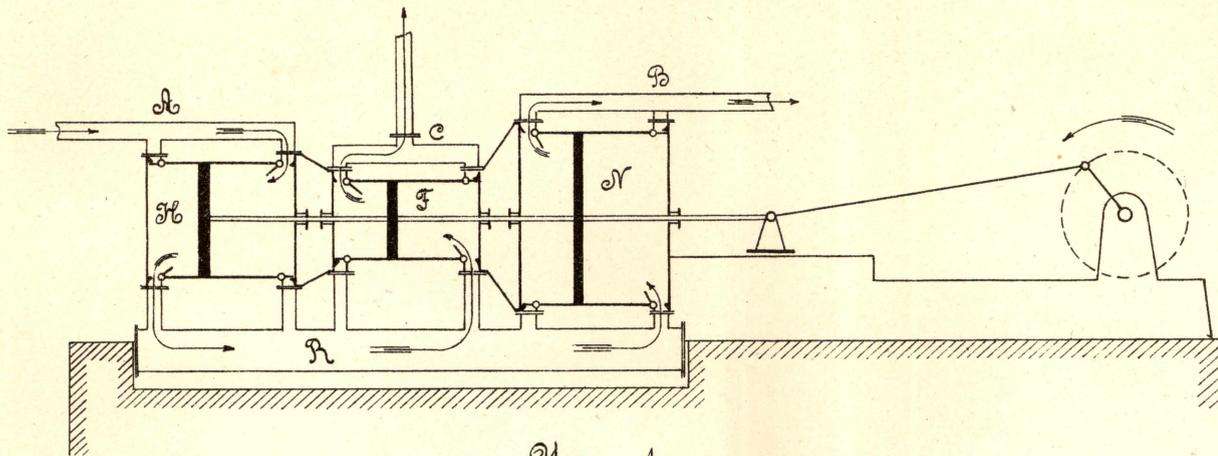
Черт. 2.



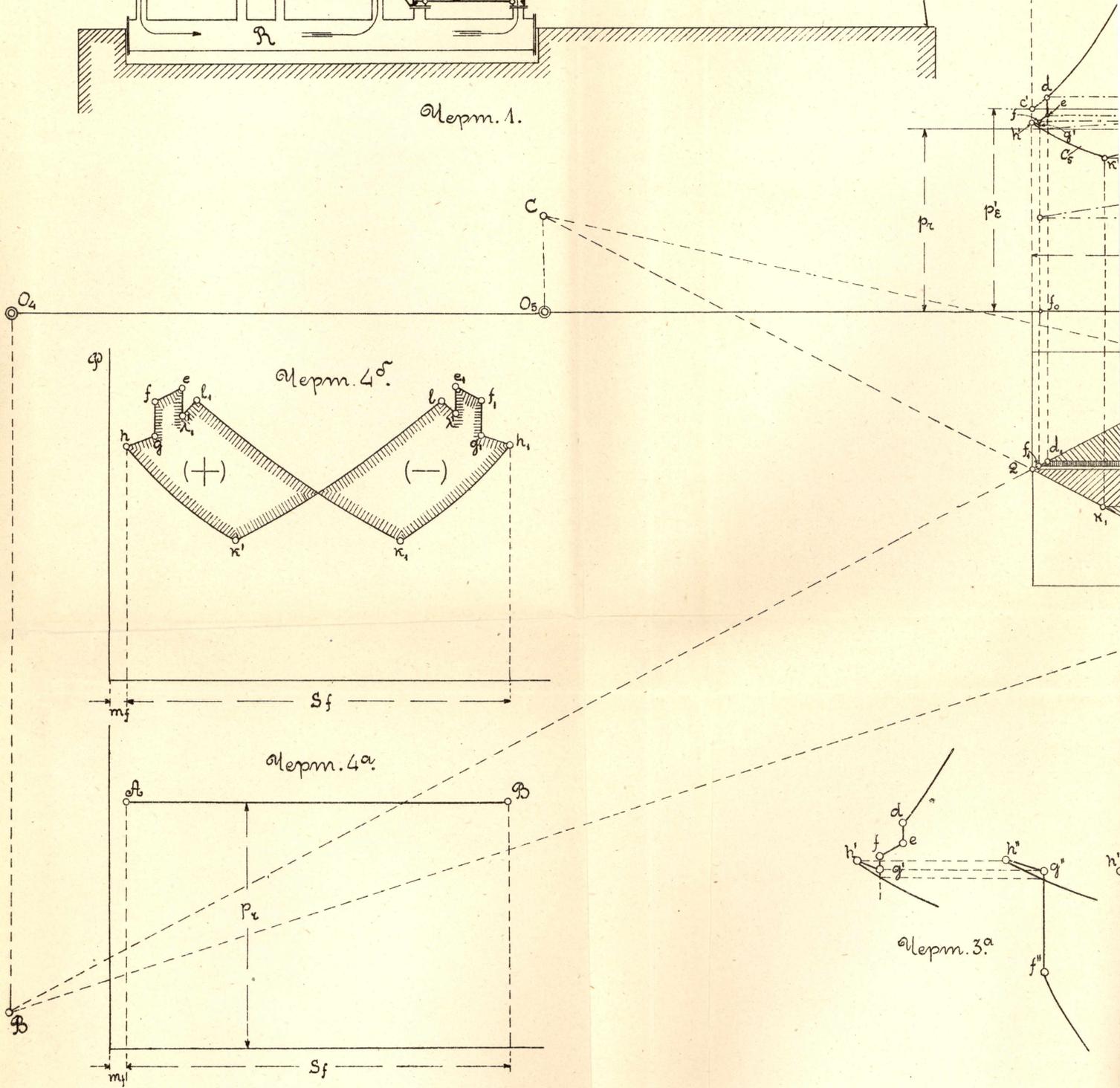
Глиба омонимично на чертеж 1 - максимална дължина на глибамина I - максимална дължина на глибамина I - максимална дължина на глибамина I.



Графическое изображение рабочего процесса машины с промежуточным отбором пара.

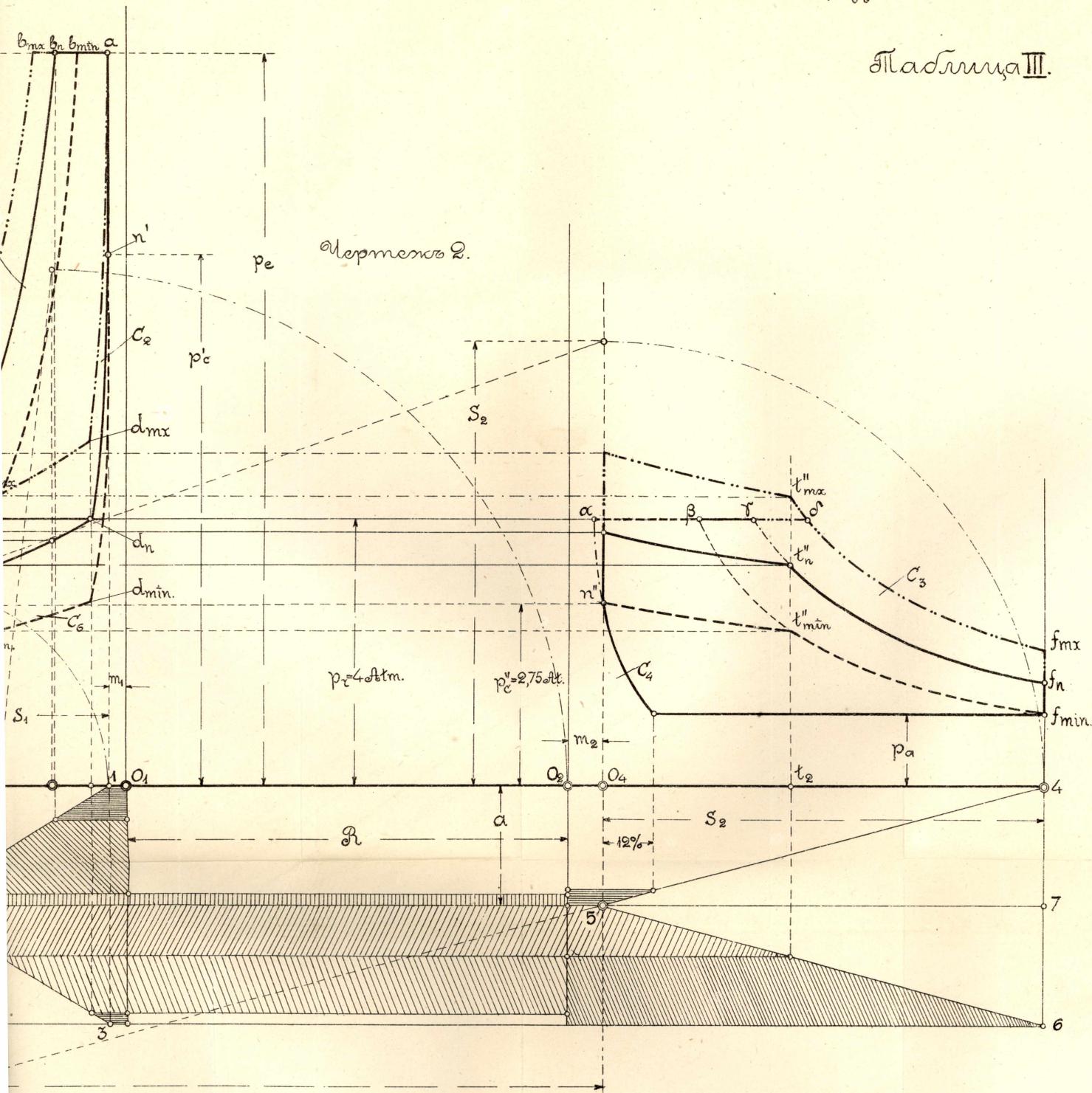


Черт. 1.



Рабочий процесс парового Тандем-безохлаждения при трех нагрузках.

Таблица III.

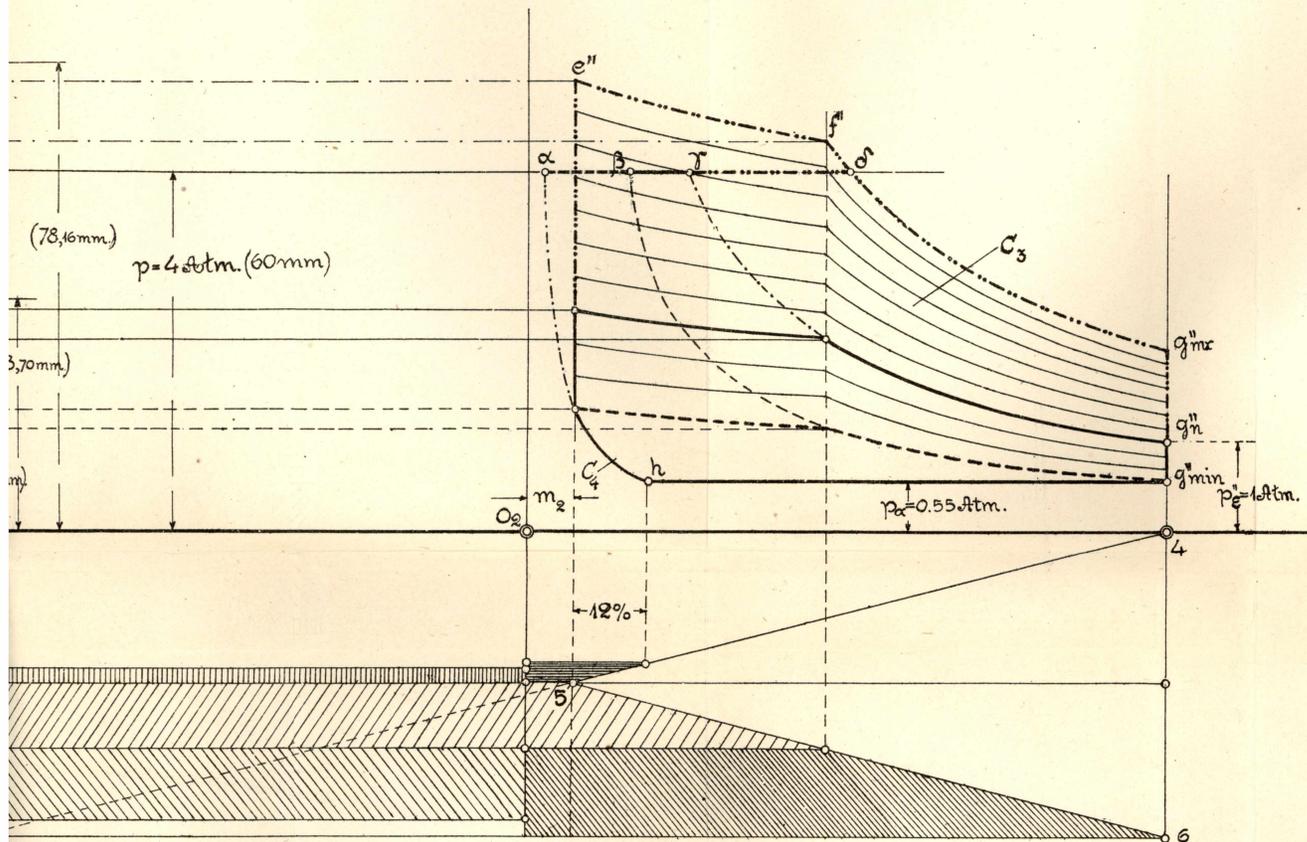


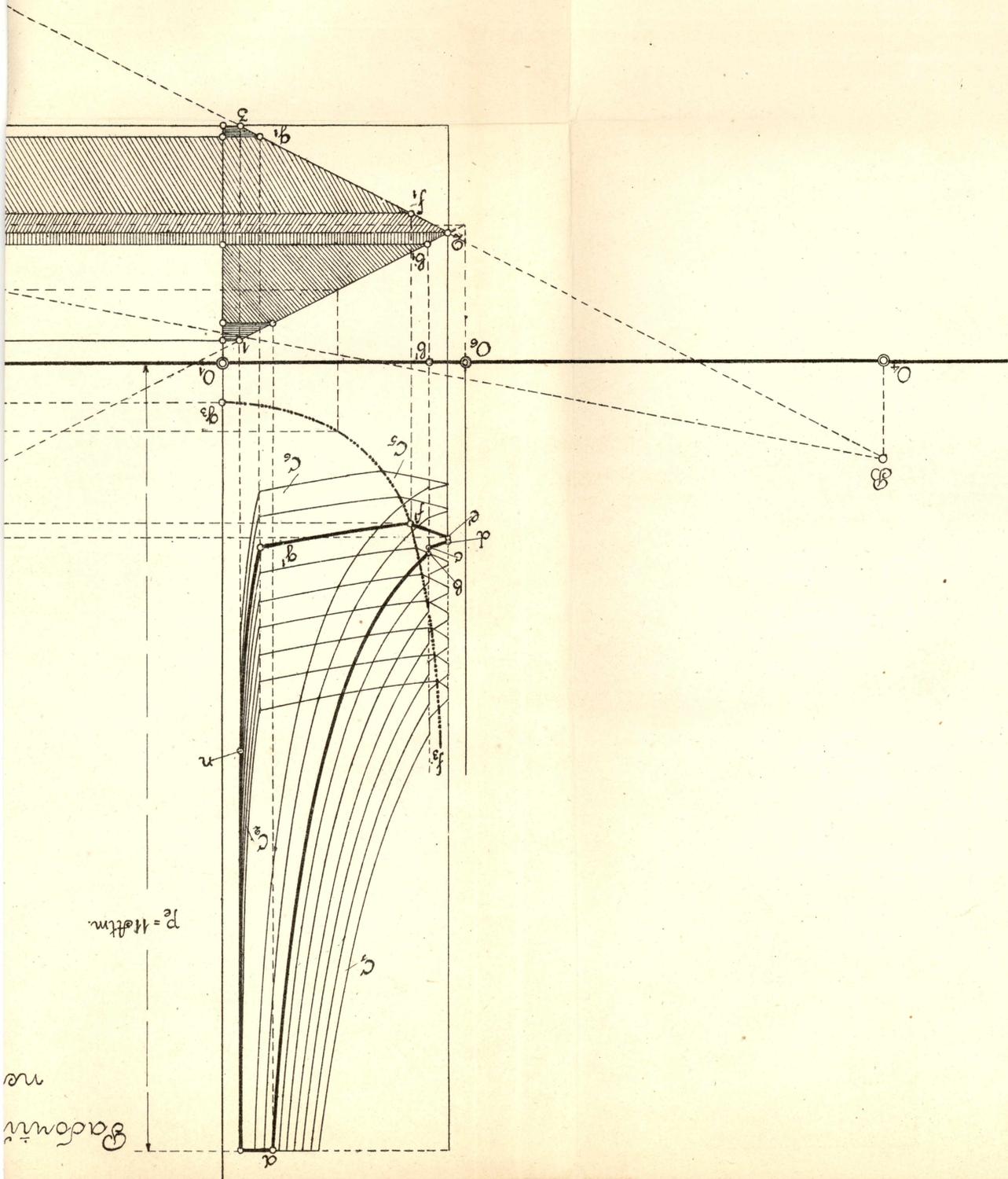
Расчетное среднее индикаторное давление во плг-р_i.

Нагрузка парового	Малый цилиндр	Большой цилиндр	$p_i = p_i' + p_i''$
Валленомая	$\min p_i' = 1,440$	$\min p_i'' = 0,810$	$\min p_i = 2,250$
Зворнаемая	$n p_i' = 1,625$	$n p_i'' = 1,600$	$n p_i = 3,225$
Зваибольшая	$\max p_i' = 1,600$	$\max p_i'' = 2,450$	$\max p_i = 4,050$

Расчетное среднее индикаторное давление во кдг.-р_i.

Нагрузка машины	Малый цилиндр	Большой цилиндр	$p_i = p_i' + p_i''$
Эвальметная.	$\min p_i' = 0,867$	$\min p_i'' = 0,400$	$\min p_i = 1,267$
Эворталенная.	$n p_i' = 1,447$	$n p_i'' = 1,180$	$n p_i = 2,627$
Эвандоленная.	$\max p_i' = 1,733$	$\max p_i'' = 2,997$	$\max p_i = 4,730$





процесс машины Tandem с отбором из ресивера
 определенного количества пара переломного давления.

Масштаб габаритов
 1 ед.м. = 15 мм.

