Р. 135750.

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

Вышнеградский.
Курс паровых
машин.

1881 год.

КУРСЪ ПАРОВЫХЪ МАШИНЪ.

Проверр. 1935

Р. 135750

ПРОВЕРЕНО 1945

ПРОВЕРЕНО 1952

Дмитриевский

1881 г.

Московское высшее техническое училище

ГЛАВА ПЕРВАЯ.

О дѣйствіи насыщеннаго пара въ паровыхъ машинахъ.

1. Паровыя машины суть одинъ изъ видовъ термическихъ машинъ, существенно отличающихся отъ машинъ въ которыхъ посредствующимъ тѣломъ служитъ воздухъ или другіе газы. - Главная черта этого отличія заключается въ слѣдующемъ: воздухъ (или вообще какой либо газъ), дѣйствующій въ другихъ термическихъ машинахъ, подвергаясь въ нихъ извѣстнымъ измѣненіямъ, проходитъ черезъ рядъ состояній, весьма значительно удаленный отъ того предѣла, при которомъ возможенъ переходъ воздуха въ жидкое состояніе; паръ-же, дѣйствующій въ паровыхъ машинахъ находится не только постоянно въ насыщенномъ состояніи, но даже въ смѣси съ водою, такъ, что здѣсь посредствующее тѣло, измѣняясь внутри машины постоянно, находится отчасти въ жидкомъ видѣ, отчасти-же хотя и въ состояніи газообразномъ, но такомъ, которое стоитъ прямо на предѣлѣ отдѣляющемъ оное отъ состоянія капельно-жидкаго. -

Вслѣдствіе этого получается существенное отличіе въ способѣ дѣйствія машинъ воздушныхъ и паровыхъ: въ первыхъ посредствующее тѣло во все время своего дѣйствія въ машинѣ остается въ состояніи газообразномъ; во вторыхъ-же во время самого дѣйствія въ машинѣ происходятъ переходы посредствующаго тѣла изъ жидкаго состоянія въ газообразное и наоборотъ. - Такіе переходы очевидно не могутъ остаться безъ существеннаго вліянія на самое дѣйствіе машины. - Во всякомъ же случаѣ возможность такихъ переходовъ придаетъ чрезвычайно важное значеніе вопросу о температурѣ стѣнокъ того сосуда, въ которомъ происходятъ измѣненія посредствующаго тѣла. - Разница между этой температурой и температурой дѣйствующаго въ машинѣ тѣла безъ сомнѣнія играетъ свою роль въ воздушныхъ машинахъ, но тамъ эта роль несущественна т.к. она ограничивается охлажденіемъ или нагрѣваніемъ лишь небольшой части тѣла, непосредственно къ стѣнкамъ прилегающей, и во всякомъ случаѣ на объемъ, занимаемый тѣломъ, не можетъ оказать существеннаго вліянія; въ паровыхъ-же машинахъ эта разница, вслѣдствіе предѣльнаго состоянія посредствующаго тѣла, опредѣляетъ собою или переходъ части воды въ паръ, или обратное осажденіе части пара въ видѣ воды, что немедленно въ значительной мѣрѣ оказываетъ вліяніе на объемъ всей дѣйствующей смѣси и опредѣляетъ явленія, которыхъ въ дѣйствіи воздушныхъ машинъ вовсе не замѣчается. - Такъ, представимъ себѣ, что мы разсматриваемъ двѣ машины, одну воздушную и одну паровую въ то время, какъ въ цилиндръ той и другой происходитъ притокъ дѣйствующаго тѣла при его наивысшей температурѣ и допустимъ, что

стѣнки цилиндровъ обѣихъ машинъ имѣютъ температуру значительно ниже, чѣмъ температура притекающаго тѣла; въ воздушной машинѣ, вслѣдствіе этого вѣсъ горячаго воздуха, потребнаго для наполненія цилиндра лишь незначительно увеличится, т.к. лишь на извѣстное число процентовъ возрастаетъ плотность (*) тѣхъ слоевъ, которые, прилегая къ стѣнкамъ цилиндра охлаждаются, но должны разумѣется сохранять то-же давленіе, что и остальныя неохлаждающіяся части; — въ паровой-же машинѣ, вслѣдствіе разсматриваемой разницы въ температурѣ, часть пара прямо осядетъ на стѣнки въ видѣ жидкости, уменьшивъ свой объемъ въ нѣсколько сотъ разъ, и вслѣдствіе этого вѣсъ пара, притекающаго въ цилиндръ во время впуска увеличивается вслѣдствіе низкой температуры стѣнокъ несравненно сильнѣе, чѣмъ вѣсъ воздуха. — (**) По этой, между прочимъ, причинѣ вліяніе стѣнокъ, которымъ можно пренебрегать въ теоріи воздушныхъ машинъ, имѣетъ при разсмотрѣніи паровыхъ машинъ существенное значеніе. —

2. Хотя, согласно изъясненому въ предыдущемъ параграфѣ паровыя машины имѣютъ существенное отличіе отъ машинъ воздушныхъ, тѣмъ не менѣе онѣ остаются въ полномъ смыслѣ слова термическими машинами, и слѣд. для нихъ справедливы тѣ положенія, которыя найдены вообще въ „*Приложеніи механической теоріи теплоты къ термическимъ машинамъ*." Потому, если при употребленіи пара въ качествѣ посредствующаго тѣла, онъ при расширеніи не подвергается охлажденію, а при сжатіи нагрѣванію посредствомъ однѣхъ и тѣхъ-же источниковъ теплоты (т.е. машина дѣйствуетъ безъ регенераторовъ) и если мы на время оставимъ въ сторонѣ вліяніе стѣнокъ сосуда, въ которомъ паръ дѣйствуетъ (т.е. если допустимъ, что температура стѣнокъ поддерживается постоянно, какимъ либо особымъ способомъ, равною температурѣ смѣси въ сосудѣ находящейся) то должны сказать, что наивыгоднѣйшій циклъ для паровой машины будетъ циклъ Карно, состоящій изъ изотермическихъ и адіабатическихъ линій. — Этотъ циклъ можно себѣ вообразить произведеннымъ съ паромъ; для этой цѣли представимъ себѣ цилиндръ, имѣющій въ поперечномъ сѣченіи одинъ метръ и въ немъ поршень; положимъ, что все пространство K занято водою имѣющею температуру t, равную температурѣ теплаго источника, находящагося въ нашемъ распоряженіи. Пусть вѣсъ этой воды есть M, положимъ, что снаружи на поршень дѣйствуетъ давленіе p, равное давленію насыщеннаго пара, имѣющаго температуру t. — При-

(*) Такъ, если воздухъ входитъ при температурѣ 150°, а стѣнки имѣютъ температуру лишь 50°, то плотность тѣхъ частей воздуха, которыя принимаютъ температуру этихъ стѣнокъ увеличивается въ пропорціи:

$$1 : 1 + 0{,}00366 \cdot 100 = 1{,}366$$ т.е. на сполна на 37%. —

(**) Такъ, напр. если насыщенный паръ входитъ при температурѣ 150°, то каждый кф. его занимаетъ 384 куб. дециметра; обратясь-же въ воду этотъ кф. занимаетъ объемъ только одного куб. дец. слѣдовательно плотность пара при этомъ увеличивается въ пропорціи, какъ 1 : 384. —

ведемъ воду нашего цилиндра въ сообщеніе съ теплымъ источникомъ и такимъ образомъ станемъ сообщать воде теплоту; т.к. эта вода подвержена наружному давленію въ точности соотвѣтствующему ея температурѣ, то температура эта возвышаться не можетъ, но часть воды будетъ обращаться въ паръ, и поршень парового цилиндра начнетъ двигаться вправо; если зависимость между объемомъ, который послѣдовательно занимаетъ вода, смѣшанная съ паромъ внутри цилиндра и соотвѣтствующимъ этому объему давленіемъ на поршень, будетъ изображаться по извѣстному способу кривой линіей, имѣющей абсциссы равныя объемамъ и ординаты равныя давленіямъ, то начальное состояніе пара будетъ изображаться нижнею точкою a, которой абсцисса Oa' равна высотѣ части цилиндра, первоначально занятой водою, а ордината a'a изображаетъ въ принятомъ масштабѣ давленіе на поршень. — Во все время, пока будемъ сообщать воде теплоту не измѣняя наружное давленіе на поршень, линія, выражающая измѣненія состоянія нашего тѣла очевидно будетъ горизонтальная прямая, проходящая черезъ a. Положимъ, что сообщеніе теплоты и протекающее отъ этого обращеніе воды въ паръ безъ возвышенія температуры подъ постояннымъ наружнымъ давленіемъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока поршень не придетъ въ положеніе b. — Если X будетъ, соотвѣтствующая этому положенію поршня, пропорція пара въ смѣси (количество пара приходящееся на одинъ кг. смѣси), то количество воды обращенной въ паръ очевидно будетъ MX, и какъ это испареніе совершается подъ давленіемъ P, то количество теплоты, сообщаемой нашей смѣси, равно M.X.r, гдѣ r обозначаетъ соотвѣтствующую давленію P скрытую теплоту пара. — Положимъ, что когда поршень достигъ положенія b мы прекратимъ сообщеніе цилиндра съ источникомъ теплоты и начнемъ уменьшать внѣшнее давленіе на поршень; смѣсь начнетъ расширяться и если измѣненіе давленія будетъ происходить достаточно медленно, то смѣсь наша, не получая и не отдавая теплоты станетъ измѣнять свое состояніе по адіабатической кривой, постепенно увеличивая свой объемъ и понижая свою температуру, будемъ продолжать это расширеніе до тѣхъ поръ, пока температура смѣси не сдѣлается равною температурѣ t, теплаго источника, который мы имѣемъ въ своемъ распоряженіи; пусть это случится, когда поршень займетъ положеніе γ. — Наружное давленіе при этомъ положеніи поршня будетъ P', соотвѣтствующее температурѣ t_1 и пропорція пара въ смѣси будетъ X_1, которое опредѣлится изъ извѣстнаго ур-ія адіабатической линіи. — Воображимъ затѣмъ, что поддерживая внѣшнее давленіе P, мы будемъ отнимать отъ нашей смѣси теплоту, приведя цилиндръ въ сообщеніе съ холоднымъ источникомъ; смѣсь начнетъ сжиматься, и измѣненіе ея состоянія изобразится снова прямою линіей Cd параллельною оси абсциссъ и имѣющею ордината CC', равную давленію пара соотвѣтствующему температурѣ холоднаго источника; будемъ продолжать это до тѣхъ поръ, пока не дойдемъ до точки въ со-

торой прямая cd пересѣкается съ адіабатической линіей, идущей черезъ начальную точку a. - Когда достигнемъ этого, начнемъ постепенно увеличивать внѣшнее давленіе на нашу смѣсь, уничтоживъ въ то-же время ея сообщеніе съ источникомъ теплоты, слѣдовательно не отнимая отъ нея и не придавая ей теплоты. - При этомъ очевидно законъ дальнѣйшаго измѣненія смѣси будетъ адіабатическая линія, идущая черезъ d, и какъ эта адіабатическая линія проходитъ также черезъ точку a, то по окончаніи всего цикла смѣсь займетъ объемъ Oa' и будетъ имѣть давленіе aa' т.е. вернется въ свое первоначальное состояніе. - Въ теченіе всего описаннаго цикла соберется работа, равная площади abcd, и какъ процессъ, помощію котораго произведена эта работа есть ничто иное, какъ циклъ Карно, то отношеніе между количествомъ теплоты, обращеннымъ въ работу, и количествомъ теплоты переданнымъ водѣ отъ теплаго источника, будетъ равно единицѣ, уменьшенной на отношеніе наименьшей температуры къ наибольшей. - Въ этомъ впрочемъ легко убѣдиться прямымъ вычисленіемъ; на самомъ дѣлѣ, опредѣливъ сначала работу доставляемую нашимъ процессомъ, раздѣливъ ее на четыре части: 1, работа производимая до начала разширенія подъ постояннымъ давленіемъ; 2, работа, производимая послѣ начала разширенія подъ перемѣннымъ давленіемъ; 3, работа во время обратнаго хода поршня подъ постояннымъ давленіемъ; 4, работа во время сжатія подъ перемѣннымъ давленіемъ. a) Для вычисленія первой части означимъ черезъ W, объемъ, занятый въ цилиндрѣ водою при началѣ процесса, а черезъ v объемъ описываемый поршнемъ до начала разширенія. - Такъ какъ число кгр. воды есть M и пропорція пара въ смѣси при началѣ разширенія обозначена черезъ x то будемъ имѣть:

$$W = M\sigma \quad \text{и}$$

$$W + v_1 = M(x.u + \sigma)$$

и слѣдовательно:

$$v_1 = M.x.u$$

а работа произведенная паромъ до начала разширенія будетъ очевидно:

$$p(W + v_1 - W) = pv_1 = M.p.x.u$$

b) для вычисленія количества работы, собранной въ теченіе разширенія, замѣтимъ, что во время разширенія, по предположенію теплота не сообщалась смѣси и не отнималась отъ нея, и слѣдовательно работа получается при этомъ измѣненіи на счетъ внутренней энергіи пара, поэтому смѣсь наша имѣетъ меньшую внутреннюю теплоту въ состояніи c, чѣмъ въ состояніи b, разность между этими двумя значеніями внутренней теплоты эквивалентна съ произведенной искомой нами работой, разность же эта очевидно будетъ:

$$M\left(q - q_1 + x\left(\tau - \frac{1}{A}p.u\right) - x_1\left(\tau_1 - \frac{1}{A}p_1.u_1\right)\right)$$

гдѣ количества, отмѣченныя значкомъ внизу относятся къ состоянію, изображаемому точкою c; а какъ работа, получаемая отъ этого количества истрачиваемой внутренней теплоты будетъ равна ея произведенію на механическій эквивалентъ теплоты, то, собираемая въ теченіе второго періода работа будетъ:

$$AM\left(q - q_1 + x\left(\tau - \frac{1}{A}p.u\right) - x_1\left(\tau_1 - \frac{1}{A}p_1u_1\right)\right)$$

гдѣ количества, означенныя значками относятся къ состоянію c. -

c) Чтобы найти работу при обратномъ движеніи поршня отъ c до d замѣтимъ,

что при переходѣ изъ c въ d давленіе p_1 остается безъ перемѣны, температура пара пара не измѣняется, а перемѣна состоитъ въ томъ, что вмѣсто пропорціи x_1 пара, имѣющей мѣсто при состояніи c, будетъ при состояніи d смѣси другая пропорція x_2 пара, такъ что при переходѣ изъ (c) въ (d), (x_1-x_2) каждаго килограмма пара, или количество равное $M(x_1-x_2)$ обращается въ воду.- Вслѣдствіе этого объемъ всей смѣси, бывшій въ началѣ равнымъ $M(x_1u_1+\sigma)$ обращается въ $M(x_2u_1+\sigma)$ и какъ давленіе во все это время было постояннымъ, то произведенная работа будетъ:

$$p_1\{M(x_2u_1+\sigma)-M(x_1u_1+\sigma)\}=M\,p_1u_1(x_2-x_1)$$

d) при измѣненіи состоянія смѣси отъ d до a ей не сообщается теплоты и отъ нея теплоты не отнимается, слѣд. производимая работа пріобрѣтается также на счетъ внутренней энергіи, а какъ разность между внутренней энергіей въ d и внутреннею энергіей въ a будетъ для одного килограмма

$$q_1+x_2\left(\tau_1-\frac{1}{A}\cdot p_1u_1\right)-q$$

и для M кгр.

$$M\left\{q_1+x_2\left(\tau_1-\frac{1}{A}\cdot p_1u_1\right)-q\right\}$$

то пріобрѣтаемая во время измѣненія отъ d до a работа будетъ:

$$AM\left\{q_1+x_2\left(\tau_1-\frac{1}{A}\cdot p_1u_1\right)-q\right\}$$

складывая пріобрѣтенныя четыре количества работы, получимъ количество работы, собранной во все время полнаго размаха поршня взадъ и впередъ, оно будетъ:

$$AM\{x\tau+x_2\tau_1-x_1\tau_1\}$$

Теплота придается смѣси отъ a до b, и отнимается отъ c до d; но во время измѣненія отъ a до b не происходитъ никакой другой перемѣны, кромѣ того, что Mx килограммовъ обращаются изъ воды въ паръ подъ постояннымъ давленіемъ p; слѣд. при этомъ наша смѣсь поглощаетъ количество теплоты $M.x.\tau$, а потому отношеніе между количествомъ теплоты, обращеннымъ въ работу и количествомъ теплоты, заимствованнымъ отъ теплаго источника будетъ:

$$\frac{M(x.\tau+x_2\tau_1-x_1\tau_1)}{M.x.\tau}=1-\frac{x_1\tau_1-x_2\tau_1}{x.\tau}$$

но т.к. по предположенію смѣсь наша изъ состоянія (x,τ) переходитъ въ состояніе $(x_1\tau_1)$, и изъ состоянія $(x_2\tau_1)$ въ состояніе $(0,\tau)$ по адіабатическимъ линіямъ, то, обозначая черезъ T и T_1 наивысшую и наинизшую абсолютныя температуры, а черезъ τ и τ_1, величины превращеній, состоящихъ въ нагрѣваніи воды отъ нуля по Цельсію до температуръ t и t_1, получимъ:

$$\frac{x.\tau}{T}+\tau=\frac{x_1\tau_1}{T_1}+\tau_1$$

а

$$\frac{x_2\tau_1}{T}+\tau_1=\tau$$

откуда:

$$\frac{x_1\tau_1-x_2\tau_1}{T_1}=\frac{x_1\tau}{T}$$

и слѣдовательно:

$$\frac{x_1\tau_1-x_2\tau_1}{x_1\tau_1}=\frac{T_1}{T}$$

поэтому вышенайденное выраженіе, показывающее отношеніе между теплотою обращенною въ работу, и теплотою, заимствованной отъ теплаго источника, приводится къ виду: $1-\frac{T_1}{T}$, какъ того и слѣдовало ожидать для процесса составленнаго изъ изотермическихъ и адіабатическихъ линій.-

3. Въ дѣйствительности въ паровыхъ машинахъ было-бы крайне затруднитель-

но совершить циклъ Карно, какъ мы это вообразили, не говоря уже о полной невозможности поддерживать температуру стѣнокъ, такимъ образомъ, чтобы она въ каждое время была равна температурѣ смѣси; для этого мгновенія самый процессъ, имѣющій мѣсто въ паровой машинѣ, во многомъ отступаетъ отъ описаннаго выше цикла Карно.-

1) Когда поршень находится въ мертвой точкѣ, то въ пространство между нимъ и кромкою цилиндра (такъ наз. вредномъ пространствѣ) заключена не вода при температурѣ соотвѣтствующей этому давленію, подъ коимъ работаетъ машина; въ этомъ пространствѣ заключена смѣсь пара и воды, имѣющая вообще другое давленіе, нежели то подъ которымъ работаетъ машина.-

2) Дѣйствующій въ машинѣ паръ образуется не черезъ нагрѣваніе смѣси, заключенной во вредномъ пространствѣ; онъ образуется черезъ нагрѣваніе воды въ особомъ аппаратѣ — КОТЛѢ и затѣмъ пускается въ машину.-

3) въ котлѣ-же, обращенное въ паръ количество воды замѣняется равнымъ ему по вѣсу количествомъ воды, которая входитъ въ котелъ при температурѣ отличной отъ той, которая соотвѣтствуетъ давленію до начала расширенія.

4) Паръ, получаемый въ котлѣ, прежде чѣмъ войдетъ въ машину, теряетъ часть своего давленія отъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ имъ въ трубахъ, и затѣмъ входитъ въ цилиндръ уже расширеннымъ, смѣшивается съ тѣмъ паромъ, который до начала впуска находится во вредномъ пространствѣ; это смѣшеніе продолжается въ теченіе всего того времени, пока входитъ новый паръ, т.е. до самаго начала расширенія, такъ, что строго говоря давленіе, въ теченіе всего этого времени внутри цилиндра не остается постояннымъ.-

5) Послѣ того уже начинается расширеніе пара, которое идетъ въ началѣ почти такъ, какъ и въ циклѣ Карно, но оканчивается обыкновенно гораздо прежде, чѣмъ давленіе внутри цилиндра достигнетъ до давленія внутри холодильника (*)

6) Въ тотъ моментъ, когда поршень достигъ другой мертвой точки открывается сообщеніе съ холодильникомъ и паръ выходитъ изъ цилиндра а не остается въ немъ,

---

(*) Причина побуждающая оканчивать расширеніе прежде, чѣмъ паръ достигнетъ давленія, равнаго давленію въ холодильникѣ, заключается во вредныхъ сопротивленіяхъ, которыя имѣютъ мѣсто въ машинѣ.- Работа этихъ вредныхъ сопротивленій обращается въ теплоту и очевидно при постепенномъ уменьшеніи давленія вслѣдствіе расширенія, происходящаго по мѣрѣ движенія поршня къ мертвой точкѣ, мы дойдемъ наконецъ до того, что работа, которая при дальнѣйшемъ движеніи поршня, вслѣдствіе вредныхъ сопротивленій обращается въ теплоту, сдѣлается больше, чѣмъ работа при томъ-же движеніи, получаемая изъ теплоты, вслѣдствіе расширенія пара; очевидно, что дальнѣйшее расширеніе, при подобныхъ условіяхъ становится не только безполезнымъ но даже вреднымъ, такъ какъ вся собираемая при этомъ теплота должна переходить въ холодный источникъ и будетъ только увеличивать расходы на охлажденіе этого источника.-

какъ это дѣлается въ циклѣ Карно; такой выпускъ пара продолжается почти до самаго конца обратнаго хода поршня, и затѣмъ только начинается сжатіе пара внутри объема, равнаго вредному пространству, сложенному съ объемомъ, который остается еще описать поршню послѣ начала сжатія, чтобы достигнуть первоначальной мертвой точки.-

7) Если присоединимъ къ этому еще то обстоятельство, имѣющее впрочемъ весьма малое вліяніе, что новый паръ впускается въ цилиндръ прежде, чѣмъ поршень достигнетъ своей мертвой точки, а равно и сообщеніе съ холодильникомъ происходитъ также ранѣе того, какъ поршень достигъ другой мертвой точки, то получимъ довольно полное изображеніе процесса дѣйствительно совершаемаго въ нашихъ паровыхъ машинахъ.-

Какъ видно, процессъ этотъ существенно отличается отъ цикла Карно и это отличіе становится еще болѣе и, разумѣется во вредъ машинѣ, если во время впуска, паръ встрѣчаетъ какія нибудь очень значительныя затрудненія, напр. когда онъ принужденъ проходить черезъ очень узкія отверстія, какъ это бываетъ въ локомотивахъ, въ которыхъ мѣдный паръ проходитъ черезъ выдувную трубку и производитъ искусственную тягу.-

Вслѣдствіе всѣхъ исчисленныхъ отступленій отъ цикла Карно полезное дѣйствіе паровой машины гораздо меньше, чѣмъ оно было-бы если бы ея процессъ совершался дѣйствительно по циклу Карно.- Вычисленіе вліянія каждаго изъ названныхъ отступленій на дѣйствительную работу, совершаемую машиною, не представляетъ особаго затрудненія, когда извѣстны всѣ условія дѣйствія машины; но вліяніе важнѣйшаго изъ обстоятельствъ, опредѣляющихъ полезное дѣйствіе машины, а именно вліяніе разницы между температурою стѣнокъ сосуда, содержащаго паръ и температурой самого пара крайне трудно уловить исчисленіемъ, и потому для этой цѣли необходимо прибѣгнуть къ опытамъ, посредствомъ которыхъ можно-бы было опредѣлить: 1) дѣйствительную работу, совершаемую паромъ и 2) теплоту приносимую паромъ, входящимъ въ машину; 3) теплоту, уносимую паромъ, выходящимъ изъ машины.- Способы производства этихъ опытовъ и ихъ результаты составятъ предметъ слѣдующихъ параграфовъ, для большей-же ясности предварительно будутъ объяснены различные, употребляемые въ настоящее время способы дѣйствія пара въ машинахъ.-

4. Какъ уже было замѣчено, употребляемыя въ дѣйствительности паровыя машины состоятъ изъ двухъ отдѣльныхъ приборовъ: *парового котла* въ которомъ теплота, горящаго топлива передается водѣ, обращаемой въ паръ и *парового цилиндра* съ принадлежностями въ коемъ паръ передаетъ давленіе на поршень.

Паровой цилиндръ снабженъ особымъ распредѣлительнымъ приборомъ, при помощи котораго паръ, приготовленный въ котлѣ впускается въ цилиндръ для дѣйствія на поршень, паръ-же, окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ получаетъ свободный изъ него выходъ.-

При этомъ паръ можетъ производить свое давленіе на поршень или исключительно съ одной его стороны или-же, попеременно дѣйствуетъ на обѣ сто-

роны поршня; въ этомъ послѣднемъ случаѣ машина дѣйствуетъ совершенно точно также, какъ если бы вмѣсто одного цилиндра съ однимъ поршнемъ, были въ дѣйствіи два одинаковые цилиндра съ двумя поршнями, изъ коихъ одинъ двигался бы въ правую а другой въ лѣвую сторону.- Сообразно этому машины, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ то на одну, то на другую сторону попеременно наз. *машинами двойнаго дѣйствія*, между тѣмъ, какъ машины, въ коихъ паръ приходитъ въ прикосновеніе только съ одной стороной поршня именуются *машинами простого дѣйствія*.-

Паръ, окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ, выпускается изъ него или въ атмосферу, или въ особый закрытый сосудъ, постоянно охлаждаемый, черезъ что температура его поддерживается смотря по степени охлажденія около 60°—45° по Ц. Въ первомъ случаѣ паровыя машины именуются *машинами безъ охлажденія пара*, а во второмъ случаѣ *Машинами съ охлажденіемъ пара*.-

Очевидно, что въ первомъ случаѣ давленіе выпускаемаго пара равно атмосферному, а во второмъ случаѣ оно равно давленію насыщеннаго пара, имѣющаго температуру равную температурѣ холодильника, такъ, что дѣйствіе пара въ паровыхъ машинахъ безъ охлажденія пара совершенно одинаково съ дѣйствіемъ пара въ машинахъ соединенныхъ съ холодильникомъ въ которомъ бы постоянно поддерживалась температура въ 100° и слѣд. сущность различія между паровыми машинами съ охлажденіемъ, и паровыми машинами безъ охлажденія пара приводится къ тому, что въ первыхъ температура холоднаго источника будетъ, какъ сказано выше, смотря по степени охлажденія пара отъ 45° до 60° по Ц., а во вторыхъ она м.б. разсматриваема, какъ равная 100° Ц.- Засимъ паровыя машины различаются еще по тому, бываетъ ли цилиндръ машины соединенъ съ котломъ во время всего движенія поршня въ одну сторону, или же паръ входитъ въ цилиндръ изъ котла только на части размаха, причемъ остальная часть размаха совершается уже подъ вліяніемъ пара постепенно расширяющагося.- Въ первомъ случаѣ машина получаетъ наз. *машины безъ расширенія пара*, а во второмъ именуется *машиною съ расширеніемъ пара*.-

Должно здѣсь заключить, что расширеніе пара происходитъ не всегда такъ, какъ это сказано выше: нерѣдко для этой цѣли устраиваются два цилиндра, съ отдѣльнымъ въ каждомъ изъ нихъ поршнемъ, при чемъ оба эти поршня совершаютъ свои размахи въ разныя времена, но объемъ, описываемый однимъ изъ поршней меньше, чѣмъ объемъ, описываемый другимъ поршнемъ: въ этомъ случаѣ съ котломъ соединяется только одинъ изъ цилиндровъ, именно тотъ, котораго объемъ меньше, и паръ, окончившій свое дѣйствіе въ этомъ цилиндрѣ, выпускается въ цилиндръ большаго объема, гдѣ и дѣйствуетъ исключительно расширеніемъ, между тѣмъ, какъ въ цилиндрѣ меньшаго объема онъ дѣйствуетъ или исключительно полнымъ давленіемъ, или же будучи пускаемъ въ малый цилиндръ только на части размаха его поршня дѣйствуетъ сначала полнымъ давленіемъ, а потомъ расширеніемъ.- Машины въ которыхъ паръ такимъ образомъ, послѣдовательно проходитъ черезъ два цилиндра наз. *сложенными машинами* (compound engines).- Въ противоположность имъ паровыя машины, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ

только въ одномъ цилиндрѣ могутъ быть названы простыми машинами. Иногда первыя наз. также Машинами Вульфа, по имени Англійскаго инженера, который первый разъ ихъ устроилъ.-

Сложныя машины бываютъ двухъ родовъ — или оба поршня, какъ малаго такъ и большаго цилиндра находятся въ одно и то-же время въ мертвыхъ точкахъ и въ одно и то-же время изъ нихъ выходятъ, причемъ сообщеніе между цилиндрами соотвѣтствующее началу перехода пара изъ малаго цилиндра въ большой происходитъ въ то время, какъ оба поршня стоятъ въ мертвой точкѣ, или-же машины устраиваются такъ, что въ то время, какъ одинъ изъ поршней находится въ мертвой точкѣ другой стоитъ посрединѣ размаха и наоборотъ; въ этомъ случаѣ между цилиндрами устраивается промежуточный резервуаръ въ который впускается паръ, окончившій свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ и для сего резервуаръ этотъ сообщается съ тою частью малаго цилиндра въ которой содержится паръ, окончившій въ немъ свое дѣйствіе, въ то время, какъ поршень этого цилиндра находится въ мертвой точкѣ, и это сообщеніе резервуара съ цилиндромъ продолжается въ теченіе всего того времени, какъ поршень совершаетъ свой размахъ до другой мертвой точки; въ большой-же цилиндръ паръ поступаетъ изъ промежуточнаго резервуара, который и сообщается съ большимъ цилиндромъ, когда его поршень находится въ мертвой точкѣ, причемъ это сообщеніе продолжается лишь до того времени, какъ поршень большаго цилиндра доходитъ до средины своего размаха, а затѣмъ оно прекращается, послѣ чего паръ, перешедшій въ большой цилиндръ расширяется въ немъ, пока его поршень недостигнетъ другой мертвой точки; въ этотъ большой цилиндръ, наполненный окончившимъ въ немъ свое дѣйствіе паромъ, сообщается съ холодильникомъ, когда паръ этотъ выпускается при обратномъ размахѣ поршня.- Дѣйствіе пара въ машинахъ Вульфа только что описаннаго устройства представляетъ нѣкоторую разницу, сравнительно съ машинами въ коихъ оба поршня достигаютъ своихъ мертвыхъ точекъ въ одно и то-же время. Въ этихъ послѣднихъ машинахъ, паръ, окончившій свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ тотчасъ начинаетъ вытѣсняться изъ него въ большой цилиндръ, котораго поршень отступаетъ передъ входящимъ въ этотъ цилиндръ паромъ, такъ, что объемъ пара, окончившаго свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ, уменьшаясь вслѣдствіе движенія малаго поршня въ то-же время увеличивается вслѣдствіе движенія большаго поршня, и какъ перемѣщенія обоихъ поршней устраиваются такимъ образомъ, что объемы, или описываемые въ каждый промежутокъ времени пропорціональны объемамъ, описываемымъ во время полнаго размаха, то ясно, что объемъ пара заключеннаго между поршнями обоихъ цилиндровъ постоянно увеличивается, и слѣд. паръ расширяется, достигая передъ моментомъ своего выхода, изъ большаго цилиндра, объема этого послѣдняго.-

Въ машинахъ-же съ промежуточнымъ резервуаромъ дѣйствіе пара происходитъ такимъ образомъ: когда поршень малаго цилиндра достигнетъ своей мертвой точки, то паръ, окончившій свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ приходитъ въ сообщеніе съ паромъ, заключеннымъ въ промежуточномъ резервуарѣ и въ то-же время, или вѣрнѣе нѣсколько раньше этого промежуточный резервуаръ рас-

сообщается съ рабочею частью большаго цилиндра; такъ, что выходъ пару изъ резервуара закрытъ, что продолжается до тѣхъ поръ, пока большой поршень не придетъ въ мертвую точку, т. е. пока малый не достигнетъ средины своего размаха; посему въ теченіе всей первой половины новаго размаха малаго поршня, паръ, выходящій изъ малаго цилиндра въ промежуточный резервуаръ подвергается сжатію; затѣмъ происходитъ сообщеніе промежуточнаго резервуара съ большимъ цилиндромъ и въ теченіе второй половины размаха малаго поршня, нерабочая часть малаго цилиндра, промежуточный резервуаръ и большой цилиндръ сообщены между собою; при этомъ происходитъ слѣдующее: поршень большаго цилиндра, выходя изъ своей мертвой точки двигается сначала очень медленно, между тѣмъ, какъ поршень малаго цилиндра, находясь около середины своего размаха двигается очень быстро; вслѣдствіе этого и выходитъ, что въ теченіе нѣкотораго времени послѣ открытія промежуточнаго резервуара съ большимъ цилиндромъ происходитъ еще сжатіе пара между обоими поршнями, затѣмъ уже начинается его расширеніе и къ тому времени паръ, занимавшій въ моментъ сообщенія большаго цилиндра съ промежуточнымъ резервуаромъ объемъ его послѣдняго, сложенный съ половиной объема малаго цилиндра, принимаетъ объемъ равный объему промежуточнаго резервуара, и очевидно, что когда движеніе установилось, то къ этому моменту весь паръ, впущенный въ малый цилиндръ изъ котла перейдетъ въ большой цилиндръ и займетъ, какъ выше сказано половину его объема; затѣмъ уже онъ по мѣрѣ дальнѣйшаго движенія поршня большаго цилиндра станетъ расширяться до тѣхъ поръ, пока не займетъ полнаго объема большаго цилиндра, послѣ того онъ впускается въ холодильникъ.—

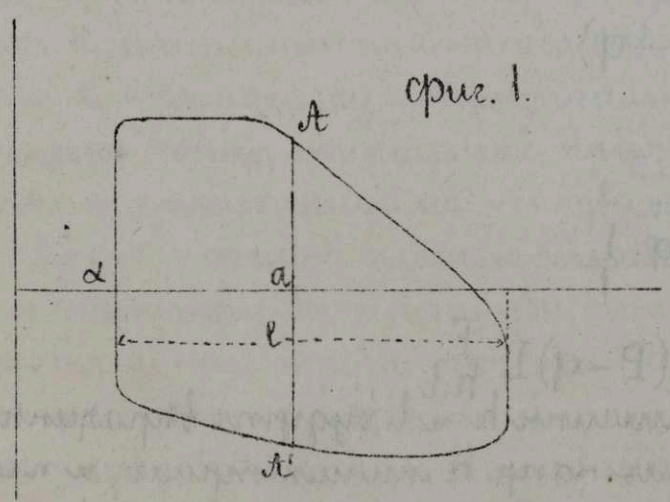
Вотъ главнѣйшіе изъ способовъ дѣйствія пара въ машинахъ нынѣ по преимуществу употребляемыхъ.—

§ 5. Послѣ этихъ объясненій переходимъ къ вопросу объ опытномъ изслѣдованіи паровыхъ машинъ; первая задача, которая здѣсь представляется состоитъ въ удостовѣреніи той работы, которая пріобрѣтается вслѣдствіе дѣйствія пара въ теченіе цѣлаго періода, состоящаго изъ полнаго размаха поршня отъ первой мертвой точки до второй и отъ сей послѣдней обратно до первой.— Для этой цѣли употребляется особый приборъ, изобрѣтенный Уаттомъ и носящій названіе индикатора.— Устройство его послѣ Уатта подвергалось многимъ измѣненіямъ и усовершенствованіямъ, которыя весьма хорошо осуществлены въ индикаторѣ, извѣстномъ подъ именемъ Ричарда, но основное начало примѣненное Уаттомъ къ устройству этого прибора осталось и понынѣ безъ всякаго измѣненія.— Начало это состоитъ въ слѣдующемъ: съ паровымъ цилиндромъ въ которомъ хотятъ изслѣдовать дѣйствіе пара соединяютъ посредствомъ трубочки нижнюю часть небольшаго цилиндра (отъ 1 до 2,5 cent. въ діаметрѣ) въ которомъ можетъ плотно, но почти безъ всякаго тренія ходить поршень, къ стержню этого поршня укрѣпленъ одинъ конецъ спиральной пружины, другой конецъ которой укрѣпленъ неподвижно. Эта спиральная пружина при движеніи поршня растягивается и сжимается и производитъ на него давленіе въ сторону противоположную тому направленію, въ которомъ на поршень дѣйствуетъ паръ, и служитъ къ уравновѣшенію сего дѣйствія; понятно, что въ этомъ приборѣ, большая или меньшая высота столпа

поршенька внутри цилиндра будетъ показывать болѣе или менѣе высокое давленіе пара въ паровомъ цилиндрѣ и притомъ, если имѣемъ хорошо регулированную пружину, то перемѣщеніе поршенька по вертикальному направленію будетъ пропорціонально измѣненіямъ давленія пара въ паровомъ цилиндрѣ.- Если затѣмъ предположимъ, что съ поршенькомъ соединенъ карандашъ, передъ которымъ, по горизонтальному направленію двигается бумага, причемъ перемѣщенія этой бумаги пропорціональны перемѣщеніямъ поршня, то понятно, что черезъ комбинацію горизонтальнаго движенія поршенька прибора на бумагѣ во время полнаго размаха пароваго поршня взадъ и впередъ начертится кривой контуръ, площадь котораго будетъ находиться въ извѣстномъ соотношеніи съ работою, которую доставилъ паръ, во время размаха; дѣйствительно, если примемъ за ось x атмосферическую линію, т.е. горизонтальную прямую, которую начертитъ карандашъ на нашей бумагѣ, когда давленіе на поршенъ прибора со стороны пароваго цилиндра было равно атмосферному, то ордината контура будетъ по предположенію пропорціональна дѣйствительному давленію пара внутри пароваго цилиндра, т.е. полному давленію за вычетомъ атмосферного, въ то время когда паровой поршень, испытываемой машины, прошелъ отъ мертвой точки путь αa, а ордината $A'a$ будетъ пропорціональна дѣйствительному (въ разсматриваемомъ случаѣ отрицательному) давленію въ тотъ моментъ, когда поршень въ обратномъ движеніи своемъ пришелъ на то-же разстояніе αa отъ мертвой точки.- Потому, если означимъ черезъ q высоту атмосферного давленія и если назовемъ черезъ p и p_1 полныя давленія пара на поршень внутри цилиндра въ ту пору, какъ поршень, двигаясь вправо, а потомъ влѣво находится отъ своей мертвой точки на разстояніи $\alpha a = x$, то будетъ:

$$Aa = m(p-q) \quad ; \quad A'a = m(q-p_1) \; ;$$

гдѣ m нѣкоторый коэфиціентъ, свойственный каждому прибору отдѣльно.- Въ другой стороны если назовемъ черезъ V объемъ, описанный поршнемъ машины отъ мертвой точки α, до положенія, соотвѣтствующаго a, то по положенію величина V будетъ пропорціональна x, слѣд:



фиг. 1.

$$x = nV \; ; \quad dx = n.dV \; ;$$

но площадь F контура, ограниченнаго кривою, описанною карандашемъ есть очевидно:

$$F = \int_0^l A.a.dx + \int_0^l A'adx = \int_0^l (Aa + A'a)dx.$$

Замѣняя здѣсь Aa, $A'a$ и dx ихъ величинами очевидно найдемъ:

$$F = m.n.\left\{ \int_0^V p\,dV - \int_0^V p'\,dV \right\}$$

то легко видѣть, что величина:

$$\int_0^V p.dV$$

есть внѣшняя работа пріобрѣтенная въ то время, когда поршень совершалъ свой прямой размахъ, а какъ эта послѣдняя работа въ машинахъ двойнаго дѣйствія одинакова съ внутреннею работою, испытываемой при прямомъ размахѣ поршня давленіемъ, производимымъ на его нерабочую сторону, то изъ этого слѣдуетъ, что площадь F для машины простаго дѣйствія будетъ пропорціональна внѣшней работѣ, пріобрѣтаемой во время полнаго движенія поршня впередъ и назадъ, а для машинъ двойнаго дѣйствія та-же площадь будетъ пропорціональна внѣшней работѣ пріобрѣтаемой во время движенія поршня отъ одной мертвой точки до слѣдующей.- Поэтому, чтобы опредѣлить работу, пріобрѣтаемую паровою машиною, нужно только измѣрить площадь контура діаграммы начерченной карандашемъ индикатора и раздѣлить эту площадь на произведеніе $m.n$ или умножить на $\frac{1}{m}\cdot\frac{1}{n}$.- Чтобы найти послѣдній изъ множителей сего произведенія назовемъ черезъ A площадь пароваго поршня, черезъ L его длину размаха и черезъ l основаніе діаграммы; тогда:

$$V = AL$$

и какъ по предположенію:

$$l = n.V$$

то будетъ:

$$l = n.A.L.$$

и слѣдовательно:

$$\frac{1}{n} = A\frac{L}{l}$$

для нахожденія $\frac{1}{m}$ необходимо опредѣлить соотношеніе между давленіемъ на □ cent. площади поршенька, соотвѣтствующее прижиму, для сей цѣли, если не желаютъ производить полную повѣрку индикатора, достаточно укрѣпить его предварительно отнятаго къ паровому котлу посредствомъ манометра, замѣтить давленіе внутри котла и отмѣтить карандашемъ на бумагѣ индикатора положеніе его поршенька, когда цилиндръ индикатора соединенъ съ атмосферою и когда онъ соединенъ съ паровымъ котломъ.- Если разстояніе этихъ двухъ отмѣтокъ есть h, а замѣченное давленіе внутри пароваго котла есть P, то по опредѣленію величины m будетъ:

$$h = m(P - q)$$

и слѣдовательно:

$$\frac{1}{m} = \frac{P-q}{h}$$

Так. обр. мы имѣемъ, что множитель:

$$\frac{1}{m}\cdot\frac{1}{n} = A\frac{P-q}{h}\cdot\frac{L}{l}$$

и слѣд. искомая работа будетъ:

$$\frac{1}{m}\cdot\frac{1}{n}F = A(P-q)L\frac{F}{h.l}$$

изъ этого выраженія видно, что если величины h и l будутъ выражены въ однихъ и тѣхъ-же линейныхъ единицахъ напр. въ миллиметрахъ, и площадь F въ соотвѣтствующихъ этимъ линейнымъ единицамъ, квадратныхъ единицахъ, то дробь $\frac{F}{h.l}$ будетъ абсолютное число.-

Если затѣмъ размахъ пароваго поршня L будетъ выраженъ въ метрахъ, площадь его A въ □ cent. и давленіе $P-q$ (т.е. манометрическое давленіе внутри котла, соотвѣтствующее перемѣщенію h карандаша индикатора)

въ кф. на □ cent., то очевидно произведеніе:

$$A(P-q)L_1..$$

будетъ представлять собою работу, выраженную въ кф. поэтому и выраженіе:

$$A(P-q)L\frac{F}{h.t}$$

дастъ такое число кф. работы, доставленной паровою машиною въ одинъ полный размахъ въ обѣ стороны, когда она простаго дѣйствія, и въ половинный размахъ (т.е. въ одну сторону) когда она двойнаго дѣйствія.-

Переводя найденную формулу на обыкновенный языкъ, мы получимъ вообще для опредѣленія работы паровой машины посредствомъ индикатора слѣдующее правило:

Замѣтьте прежде всего перемѣщеніе карандаша, соотвѣтствующее какому либо опредѣленному избытку давленія пара надъ атмосферным на поршень индикатора; вычислите работу, которая получилась бы при полномъ размахѣ парового поршня въ цилиндрѣ паровой машины, если бы во все время размаха дѣйствовало внутренее давленіе равное тому, которое соотвѣтствуетъ замѣченному перемѣщенію карандаша, и помножьте эту работу на отношеніе площади діаграммы индикатора къ площади прямоугольника, имѣющаго своимъ основаніемъ основаніе діаграммы, а своею высотою замѣченное перемѣщеніе карандаша.. Произведеніе дастъ работу, доставляемую паромъ въ теченіе полнаго періода, т.е. въ теченіе размаха въ обѣ стороны для машинъ двойнаго дѣйствія и въ теченіе половиннаго періода т.е. размаха въ одну сторону для машинъ двойнаго дѣйствія.-

§6. Разъяснивъ съ основаніемъ устройство и дѣйствіе индикатора перейдемъ къ подробному описанію его въ томъ видѣ, какъ онъ сдѣланъ Ричардсомъ. Индикаторъ этого устройства съ его принадлежностями изображенъ на таблицѣ I^ой, на которой (фиг. 1) изображаетъ наружный боковой видъ и планъ, (фиг. 2) изображаетъ разрѣзъ чрезъ оси обоихъ цилиндровъ, составляющихъ индикаторъ и видъ снизу съ открытою нижнею частью.-

Изъ этихъ фигуръ видно, что индикаторъ состоитъ изъ небольшаго цилиндра K, въ которомъ плотно, но по возможности безъ тренія двигается поршенекъ K_1, принимающій на себя давленіе пара.- Этотъ поршенекъ снабженъ стержнемъ K_2 и на нарѣзку его центральной части надѣта гайка, въ которой прикрѣпленъ конецъ спиральной пружины t, другой конецъ которой укрѣпленъ, какъ точкаеъ увидимъ неподвижно.- Цилиндръ K внутри котораго дѣйствуетъ поршень плотно вставленъ въ цилиндрическій, сообразно его наружному діаметру конецъ трубы, приводящей паръ къ поршенку K.; снаружи этотъ конецъ трубы имѣетъ нарѣзку на которую навинченъ нижнимъ концемъ своимъ наружный цилиндръ a, имѣющій въ верхнемъ концѣ своемъ рѣзьбу, въ которую ввинчивается крышка, имѣющая въ своемъ центрѣ цилиндрическое отверстіе для прохода стержня K_2 поршенка и вступъ съ наружною рѣзьбою, на которую навинчивается гайка служащая верхнимъ концомъ спиральной пружины t.-

Труба, приводящая паръ къ поршенку к, состоитъ изъ двухъ частей; изъ нихъ верхняя принимаетъ въ свой верхній конецъ, какъ уже выше упомянуто цилиндръ, въ которомъ двигается стержень; нижній-же ея конецъ представляетъ снаружи конусъ, входящій въ коническое отверстіе нижней части трубы; немного выше этого конуса, снаружи верхней части трубы имѣется винтовая нарѣзка, которая, вмѣстѣ съ винтовою нарѣзкою на верхнемъ концѣ нижней части трубы служитъ для ихъ взаимнаго соединенія посредствомъ гайки D; относительно этихъ нарѣзокъ должно замѣтить, что обѣ онѣ суть правыя, но нарѣзка нижней части трубы грубѣе, а нарѣзка верхней части мельче; такимъ образомъ получается для соединенія обѣихъ частей трубы такъ наз. дифференціально-винтовое сцѣпленіе, которое замѣтно уменьшаетъ усиліе, нужное для вращенія гайки при извѣстномъ давленіи между соединяемыми предметами и въ то-же время представляетъ возможность верхнюю часть трубы черезъ поворачиваніе около оси привести въ какое угодно положеніе нисколько не нарушая плотности соединенія между обѣими частями трубы; нижній конецъ нижней трубы имѣетъ винтовую нарѣзку посредствомъ которой онъ сообщается съ трубою, ведущею прямо въ паровой цилиндръ.-

Между этими двумя нарѣзками на разсматриваемой нижней части трубы находится кранъ, въ ключѣ котораго, кромѣ канала того-же діаметра, какъ и самая труба, имѣется еще узенькій каналъ по направленію перпендикулярному, сообщающій съ одной стороны каналъ болѣе широкій съ наружною поверхностью ключа; соотвѣтственно этому узенькому каналу, имѣется и въ коробкѣ крана отверстіе; съ помощію крана этого можно:

1) Сообщить нижнюю сторону поршенька только съ паровымъ цилиндромъ, (при этомъ ручка крана обыкновенно направлена кверху).-

2) Соединить нижнюю сторону поршенка и съ паровымъ цилиндромъ и съ атмосферою (при этомъ ручка крана обыкновенно направлена книзу).-

3) Соединить нижнюю сторону поршенка только съ атмосферою, разъединивъ ее съ паровымъ цилиндромъ (при этомъ ручка крана направлена горизонтально въ ту-же сторону на которой находится отверстіе въ коробкѣ крана).-

4) Разъединить нижнюю сторону поршенка съ паровымъ цилиндромъ и съ атмосферою (при этомъ ручка крана идетъ горизонтально въ сторону противоположную той на которой находится отверстіе коробки).-

Первое положеніе крана есть то, при которомъ снимается діаграмма; третье положеніе есть то, при которомъ провѣривается атмосферическая линія; второе положеніе никогда не должно имѣть мѣста, а четвертое только во время установки и снятья индикатора а равно въ случаяхъ, когда требуется осмотрѣть что-либо внутри его не снимая самого индикатора съ пароваго цилиндра.-

Кромѣ описанныхъ частей индикаторъ Ричарда заключаетъ въ себѣ еще записывающій приборъ, посредствомъ котораго отмѣчается на бу-

малъ, соотвѣтствующее каждому положенію паровaго поршня сжатіе пружины t, увеличенное въ нѣсколько разъ. Этотъ приборъ состоитъ изъ двухъ частей; первая изображена въ боковомъ видѣ на фиг. 1. и въ разрѣзѣ на фиг. 2, цилиндръ P на который навертывается, служащая къ снятію діаграммы бумага; концы этой бумаги закрѣпляются на цилиндрѣ съ помощію двухъ пружинъ b; самый цилиндръ P надѣтъ плотно на другой болѣе короткій цилиндръ, который составляетъ одно цѣлое съ блокомъ W, соединяющимся посредствомъ своего диска съ длинною ступицею T, надѣтою свободно на вертикальную неподвижную ось R; ступица эта вверху оканчивается коробкою U, и къ ней укрѣпляется одинъ конецъ плоской спиральной пружины, другой конецъ которой утверждается неподвижно къ оси R.- Нижній конецъ ступицы расточенъ въ видѣ конуса и опирается на коническую часть оси T. и сверхъ того, для уменьшенія тренія, происходящаго на конической цапфѣ отъ вѣса всего прибора ступица поддерживается плоскою кирлою пружиною M, которая краями своими упирается въ особый кружекъ, положенный на подставкѣ r; въ этой послѣдней утверждена и ось R посредствомъ шпонки и гайки.- Сама-же подставка r составляетъ одно цѣлое съ разрѣзнымъ цилиндромъ L, который надѣтъ на нижнюю часть трубы a, можетъ около нея вращаться и можетъ быть на ней закрѣпленъ посредствомъ винта, стягивающаго его разрѣзъ.- Вмѣстѣ съ подставкою r отлитъ рожекъ въ которомъ сидятъ два направляющихъ маленькихъ блока ч и ч₁, служащіе для направленія шнурка укрѣпленнаго однимъ концомъ на блокѣ W; изъ сказанныхъ двухъ блоковъ служитъ одинъ, смотря по тому внизъ или вверхъ долженъ быть отклоненъ шнуръ, служащій для приведенія въ движеніе всего цилиндра P; одинъ конецъ этого шнура, какъ уже сказано укрѣпленъ къ окружности блока W, а другой конецъ укрѣпляется къ какой нибудь составной части машины, которая имѣетъ движеніе пропорціональное движенію паровaго поршня; такимъ образомъ бумага навернутая на цилиндръ, двигается вмѣстѣ съ вращеніемъ этого цилиндра, причемъ движеніе ей сообщается въ одну сторону шнуромъ, а въ другую сторону пружиною, заключенною въ коробкѣ U.- Само собою понимается, что та часть машины къ которой укрѣпленъ шнуръ, приводящій въ движеніе бумагу, должна имѣть размахъ не превосходящій окружности цилиндра P, уменьшенной на ширину пружинъ посредствомъ которыхъ укрѣпляется бумага къ цилиндру.- Если въ машинѣ не имѣется такой части, то ее вводятъ туда искусственно, соединяя, какъ это большею частью дѣлается, головку паровaго стержня посредствомъ тяги съ длиннымъ плечомъ особаго рычага, къ короткому плечу котораго привязывается конецъ шнурка.-

Собственно пишущій приборъ индикатора Ричардса также надѣтъ цилиндромъ на трубу a, какъ на цапфу и можетъ около нея вращаться въ извѣстныхъ предѣлахъ; съ цилиндромъ a составляютъ одно цѣлое два плоскіе отростка X и X₁ къ концамъ которыхъ утверждены оси ора-

Листъ 3й.

35750.

Московское высшее техническое училище

щенія равныхъ рычаговъ g и g_1, соединенныхъ между собою звѣномъ H, въ срединѣ котораго укрѣпленъ карандашъ, заключенный въ особую маленькую трубочку, надѣваемую къ бумагѣ спиральною пружиною, довольно слабою. Система двухъ рычаговъ g и g_1 и звѣна H образуетъ очевидно параллелограммъ, при помощи котораго средина звѣна H получаетъ прямолинейное вертикальное движеніе.- Къ рычагу g привѣшена небольшая тяга F, которая на широкомъ своемъ концѣ, имѣетъ сферическую цапфу F, которая входитъ въ сферическое-же углубленіе головки G, соединенной винтомъ m со стержнемъ K_2 поршенка K_1; этими частями перемѣщеніе поршенка передается карандашу, перемѣщенія котораго при общепринятыхъ размѣрахъ всей передачи, получаются отъ трехъ до четырехъ разъ большія, чѣмъ перемѣщенія поршенка K_1, что очень важно, такъ какъ позволяетъ получать значительнаго размѣра діаграммы, при довольно крѣпкихъ пружинахъ, сжатіе которыхъ легче, между тѣмъ для слабыхъ пружинъ, рецирровать такъ, чтобы оно было пропорціонально оказываемому на карандашъ K_1 усилію.-

Вмѣстѣ съ индикаторомъ продается обыкновенно и заключается въ томъ же ящикѣ:

1) Особая пружина, (фиг. 3) для замѣны пружины t; одна изъ этихъ двухъ пружинъ рецирована такъ, что можетъ быть употребляема не болѣе, какъ для трехъ атмосферъ, а другая годится и при 8 атмосферахъ.-

2) Двѣ спиральныя плоскія пружины (фиг. 4) для замѣны пружины и на случай излома этой послѣдней.-

3) Отвертка (фиг. 5) для отвертыванія и завертыванія всѣхъ винтовъ имѣющихъ прорѣзы на головкахъ.-

4) Отвертка (фиг. 6) для винта m.

5) Два деревянныхъ блока съ металлическою втулкою (ф. 7) для направленія шнурка движущаго цилиндръ P, на случай, если по взаимному расположенію, точки укрѣпленія шнура, къ движущему его рычагу и блока W, къ которому укрѣпленъ другой конецъ шнура, сей послѣдній долженъ или два раза измѣнить свое направленіе.-

6) Двѣ оси блоковъ (ф. 8) оканчивающіяся деревянною рѣзьбою для укрѣпленія ихъ къ имѣющимся, или нарочно для опыта устраиваемымъ, деревяннымъ стойкамъ.-

7) Одинъ штифтъ (ф. 9), служащій, какъ для раздѣлки въ деревѣ первой дыры для осей блоковъ, такъ затѣмъ и для завертыванія въ дерево этихъ осей, въ которыхъ нарочно для этой цѣли просверлены дырочки.-

8) Двѣ деревянныя пластинки съ тремя отверстіями (ф. 10), двѣ металлическія пластинки, также съ тремя отверстіями (ф. 11) и крючекъ (ф. 12); всѣ эти части служатъ для удобнѣйшаго соединенія конца шнура съ точкою машины отъ которой онъ получаетъ движеніе и главнѣйшимъ образомъ для того, чтобы безъ потери времени придать шнуру надлежащую натянутость; какъ это дѣлается ясно видно изъ чертежа (ф. 13).-

9) Деревянный масштабъ (ф. 14) для измѣренія давленій, изображаемыхъ

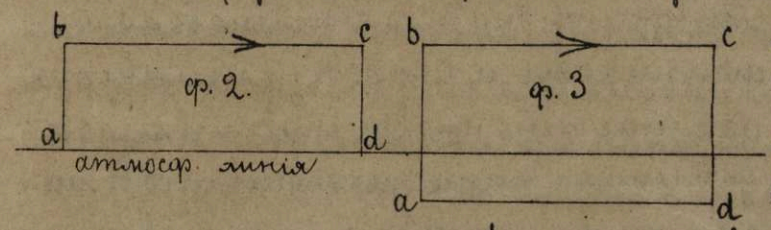
ординатами діаграммы; на этомъ масштабѣ находятся два дѣленія изъ коихъ одно соотвѣтствуетъ пружинѣ, могущей работать до 3-ех атм. и другое пружинѣ, могущей работать до 8 атмосферъ.-

10) Приборъ для проведенія равноотстоящихъ параллельныхъ линій (ф. 15), состоящій изъ одиннадцати параллельныхъ стальныхъ пластинокъ, соединенныхъ равноотстоящими другъ отъ друга шарнирами съ двумя металлическими полосками ab и cd.-

11) Изъ угловой линейки (ф. 15), служащей для направленія предъидущаго прибора.- Употребленіе ея видно изъ (ф 17), а именно: съ самаго начало длинная сторона линейки направляется по атмосферической линіи діаграммы, и наружная сторона ac крайней полоски прибора для проведенія параллельныхъ линій направляется по короткой стороны линейки, затѣмъ все передвигается до тѣхъ поръ пока внутренняя сторона той-же полоски не сдѣлается касательною къ діаграммѣ; послѣ того, удерживая полоску ac на мѣстѣ, измѣняемъ отклоненіе полосокъ ab и cd до того, пока наружная сторона полоски bd не сдѣлается касательною къ діаграммѣ съ другаго ея конца; тогда проводя по правымъ сторонамъ всѣхъ полосокъ прямыя линіи получаютъ десять равноотстоящихъ ординатъ діаграммы, изъ которыя посредствомъ масштаба и затѣмъ исчисляютъ площадь діаграммы по формулѣ Симпсона.-

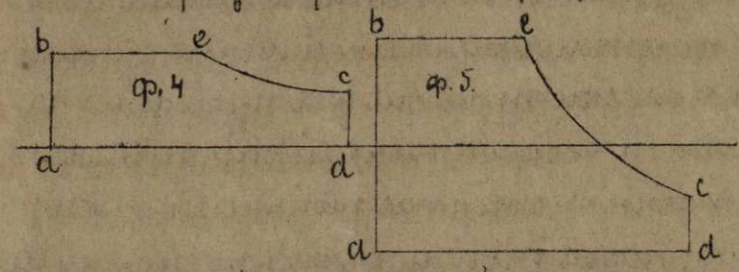
7. Очертаніе контура діаграммы, получаемой посредствомъ индикатора существенно зависитъ отъ способа дѣйствія пара, почему оно, независимо отъ измѣренія количества работы доставляемой паромъ, можетъ служить для опредѣленія всѣхъ обстоятельствъ, имѣющихъ вліяніе на измѣненіе давленія пара внутри цилиндра.-

Такъ, если представимъ себѣ машину съ однимъ цилиндромъ безъ расширенія, и если допустимъ сначала, что въ ней нѣтъ ни опереженія со стороны впуска, ни сжатія и притомъ, что полное закрытіе и открытіе впускной выпускнаго отверстій происходитъ въ одно мгновеніе то получается діаграмма долженая имѣть видъ (ф. 2) и (ф. 3), смотря по тому будетъ-ли машина съ охлажденіемъ пара или безъ онаго.- Въ этихъ фиг. вертикальная прямая ab изображаетъ мгновенное возвышеніе давленія пара, когда поршень находится въ мертвой точкѣ и паръ открывается доступъ въ цилиндръ; горизонтальная прямая bc представляетъ постоянно поддерживающееся на одной и той же высотѣ давленіе пара, въ то время, какъ поршень совершаетъ свой размахъ, пропорціональный основанію bc діаграммы, а паръ имѣетъ свободный доступъ изъ котла въ рабочую часть цилиндра; вертикальная прямая cd изображаетъ паденіе давленія внутри цилиндра до атмосфернаго (ф. 1) или до давленія холодильника (ф. 2), въ то время когда поршень по окончаніи размаха находится въ другой мертвой точкѣ и бывшая въ предъидущій размахъ рабочей, часть цилиндра обращается въ нерабочую,

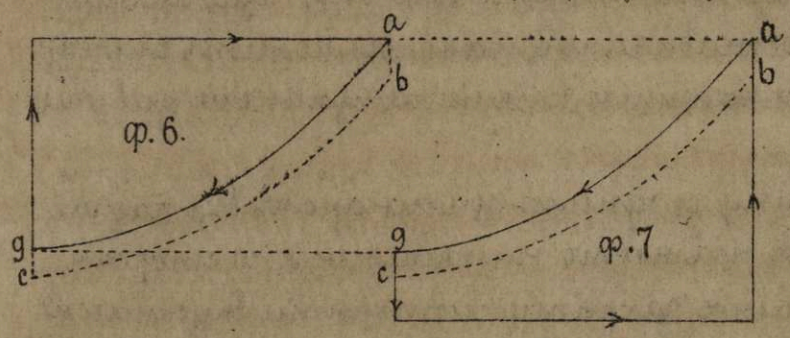


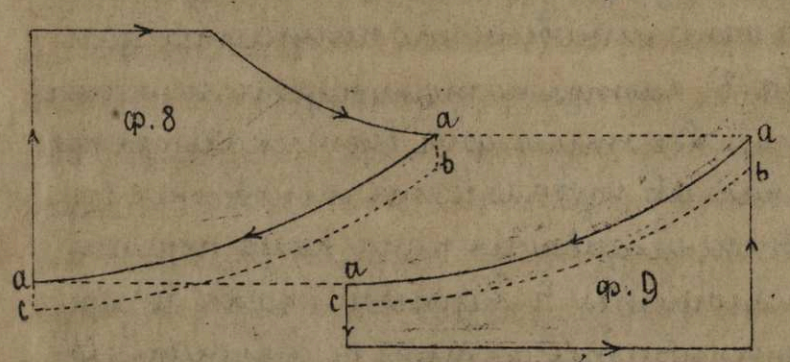
соединяясь съ атмосферою или съ холодильникомъ; наконецъ da представляетъ постоянное давленіе пара въ нерабочей части цилиндра во время перехода поршня къ первоначальной мертвой точкѣ.—

Если машина дѣйствуетъ однимъ цилиндромъ и въ ней происходитъ разширеніе, при соблюденіи опять того условія, что закрытіе и открытіе отверстій сообщающихъ цилиндръ съ котломъ и холодильникомъ происходитъ мгновенно и что нѣтъ ни сжатія ни опереженія со стороны впуска и выпуска, то діаграмма должна для машинъ безъ разширенія имѣть видъ (ф. 4), и для машинъ съ разширеніемъ видъ (ф. 5).— Въ этихъ фиг. ab, cd и ad изображаютъ то-же, что въ предъидущихъ фиг. 2 и 3; be изображаетъ постоянное давленіе поддерживающееся въ рабочей части цилиндра во время сообщенія ея съ котломъ, точка e соотвѣтствуетъ моменту прекращенія этого сообщенія или т. наз. отсѣчкѣ пара а ес разширенію пара, продолжающемуся во время рабочаго размаха, начиная съ точки e.—



Если машина дѣйствуетъ разширеніемъ въ двухъ цилиндрахъ, мертвыя точки которыхъ совпадаютъ, то при соблюденіи всѣхъ предъидущихъ предложеній, и подъ условіемъ, что мертваго или вреднаго пространства вовсе нѣтъ при переходѣ пара изъ малаго цилиндра въ большой, мы получимъ діаграммы, имѣющія видъ тѣхъ, кои начерчены сплошными линіями на ф. 6 и 7 въ томъ случаѣ, когда разширеніе въ маломъ цилиндрѣ не производится вовсе, и на ф. ф. 8 и 9 въ томъ случаѣ, когда разширеніе начинается въ маломъ цилиндрѣ, причемъ фиг. 6 и 8 относятся къ малому а фиг. 7 и 9 къ большому цилиндру.— Если же между малымъ и большимъ цилиндромъ имѣется мертвое или вредное пространство, то т. к. непосредственно передъ сообщеніемъ его съ малымъ цилиндромъ, оно было сообщено съ холодильникомъ и слѣд. въ немъ имѣется давленіе очень низкое сравнительно съ давленіемъ пара, заключеннаго въ маломъ цилиндрѣ, то при сообщеніи малаго цилиндра съ большимъ, давленіе пара нѣсколько падаетъ, что и отражается перемѣщеніемъ линіи разширенія вниз изъ ас въ bc на діаграммахъ и большаго и малаго цилиндра.—

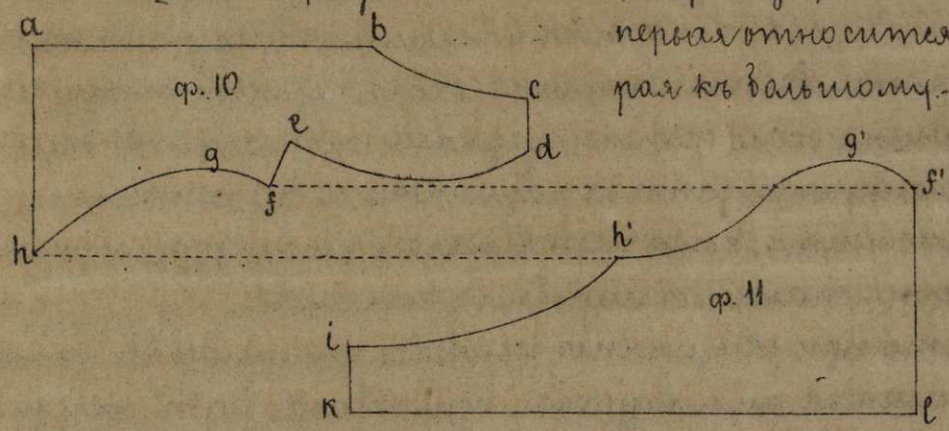




Съ помощію данныхъ въ предъидущемъ объясненіи, относительно способа дѣйствія пара въ этихъ машинахъ, легко отдать себѣ отчетъ въ фигурахъ діаграммъ, и на нихъ нѣтъ нужды болѣе останавливаться.—

Если относительно сложныхъ машинъ съ перпендикулярно другъ къ другу поставленными кривошипами сдѣлаемъ предположеніе, что закрытіе и

открытіе оконъ, сообщающихъ малый цилиндръ съ котломъ и промежуточнымъ резервуаромъ происходятъ мгновенно, когда поршень малый находится въ мертвыхъ точкахъ, а равно, что сообщеніе большаго цилиндра съ промежуточнымъ резервуаромъ и холодильникомъ происходитъ также мгновенно, въ то время, когда большой поршень находится въ мертвой точкѣ, то діаграммы для такой машины представятся въ видѣ, изображенномъ на фиг. 10 и 11, изъ коихъ первая относится къ малому цилиндру а вторая къ большому.- На фиг. этихъ ab представляетъ періодъ впуска пара изъ котла въ малый цилиндръ съ неизмѣннымъ давленіемъ пара; bc изображаетъ періодъ расширенія пара въ маломъ цилиндрѣ; cd мгновенное паденіе давленія пара, когда поршень по окончаніи своего размаха приходитъ въ мертвую точку, и сообщается съ промежуточнымъ резервуаромъ (*) въ которомъ давленіе бываетъ обыкновенно ниже, чѣмъ въ маломъ цилиндрѣ при помощи расширенія; de представляетъ постепенное возрастаніе давленія во время выпускапара изъ малаго цилиндра въ промежуточный резервуаръ, разобщенный съ большимъ цилиндромъ; ef представляетъ мгновенное паденіе давленія пара въ нерабочей



(*) Это паденіе давленія могло-бы быть избѣгнуто только въ такомъ случаѣ, если бы давленіе въ промежуточномъ резервуарѣ въ моментъ его сообщенія съ малымъ цилиндромъ было то-же самое, что и въ маломъ цилиндрѣ въ концѣ расширенія; а т. к. моментъ сообщенія промежуточнаго резервуара съ малымъ цилиндромъ есть въ то-же время моментъ разобщенія его съ большимъ цилиндромъ, то оказывается, что условіе необходимое для избѣжанія помянутаго паденія давленія состоитъ въ томъ, что въ большомъ цилиндрѣ въ моментъ разобщенія его съ промежуточнымъ резервуаромъ должно быть то-же давленіе пара, какъ въ маломъ, въ моментъ сообщенія его съ этимъ резервуаромъ; а какъ весь паръ, заключенный въ этомъ послѣднемъ въ упомянутый моментъ и наполняющій собою объемъ, описываемый малымъ поршнемъ въ теченіе размаха + объемъ вреднаго пространства малаго цилиндра, долженъ перейти въ большой цилиндръ и наполнить то его пространство, которое въ немъ открыто для пара въ моментъ разобщенія его съ промежуточнымъ резервуаромъ и которое, согласно объясненному выше равно половинѣ объема описаннаго большимъ поршнемъ плюсъ объемъ вреднаго пространства большаго цилиндра; но нетрудно видѣть, что условіе для избѣжанія паденія cd давленія, будетъ состоять въ томъ, что половина объема описываемаго въ размахъ большимъ поршнемъ, сложенная съ вреднымъ пространствомъ большаго цилиндра должна равняться цѣлому объему, описываемому малымъ поршнемъ, сложенному съ вреднымъ пространствомъ малаго поршня.-

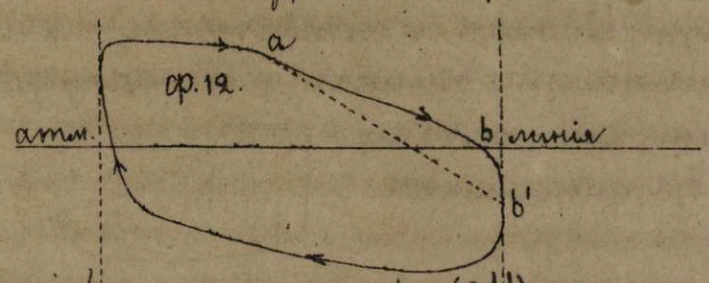
части малаго цилиндра и въ промежуточномъ резервуаръ въ тотъ моментъ, когда происходитъ сообщеніе сего послѣдняго съ большимъ цилиндромъ въ которомъ предположено существованіе вреднаго пространства, только что передъ тѣмъ сообщеннаго съ холодильникомъ, и слѣд. заключающаго въ себѣ паръ очень низкаго давленія; fg представляетъ постепенное возрастаніе давленія въ нерабочей части малаго цилиндра, въ началѣ того времени, какъ промежуточный резервуаръ сообщенъ съ малымъ и большимъ цилиндромъ и въ немъ, вслѣдствіе малой скорости большаго поршня около мертвой точки и большой скорости малаго поршня около средины размаха происходитъ еще сжатіе; gh представляетъ слѣдующее затѣмъ расширеніе, и ha мгновенное возрастаніе давленія въ тотъ моментъ, когда часть малаго цилиндра, соединенная съ индикаторомъ сообщается также съ паровымъ котломъ.-

Фиг. II. представляетъ то, что при сказанныхъ условіяхъ получилось-бы на индикаторѣ, соединенномъ съ большимъ цилиндромъ; при этомъ f'g'h' есть линія измѣненія давленій пара въ большомъ цилиндрѣ въ ту пору, какъ промежуточный резервуаръ сообщенъ съ нимъ и съ малымъ цилиндромъ; вслѣдствіе сего понятно, что точки линіи f', g', h' должны имѣть тѣ-же ординаты, какъ и соотвѣтствующія имъ точки линіи fhg діаграммы малаго цилиндра; линія fh' i представляетъ расширеніе въ рабочей части большаго цилиндра, по разобщеніи ея съ промежуточнымъ резервуаромъ, причемъ вообще по мѣрѣ движенія поршня давленіе падаетъ быстрѣе, чѣмъ въ предъидущій періодъ, т.к. относительное уменьшеніе объема при томъ-же перемѣщеніи большаго поршня, становятся теперь по разобщеніи большаго цилиндра съ промежуточнымъ резервуаромъ гораздо значительнѣе; ik, есть мгновенное паденіе давленія при сообщеніи большаго цилиндра съ холодильникомъ и kl представляетъ линію діаграммы, соотвѣтствующую обратному движенію большаго поршня въ ту пору, какъ часть цилиндра, соединенная съ индикаторомъ сообщается также съ холодильникомъ.-

8. Въ дѣйствительности индикаторныя діаграммы отличаются отъ тѣхъ, которыя начерчены въ предъидущемъ параграфѣ, и главныя черты отличія заключаются въ слѣдующемъ: а) Дѣйствительно получаемыя посредствомъ индикатора діаграммы дѣйствія пара въ паровыхъ цилиндрахъ не представляютъ тѣхъ рѣзкихъ угловъ, которые изображены на предшествующихъ чертежахъ; причина этого заключается въ томъ, что отверстія сообщающія паровые цилиндры съ котломъ, промежуточнымъ резервуаромъ и холодильникомъ закрываются и открываются не мгновенно, какъ это предположено при построеніи теоретическихъ діаграмъ предъидущаго параграфа, но постепенно мало по малу, вслѣдствіе чего всѣ углы діаграммы закругляются.- b) Быстрыя возвышенія и паденія давленія, представляемыя на теоретическихъ діаграммахъ, прямыми, перпендикулярными къ атмосферической линіи въ дѣйствительности получаются къ ней наклонными вслѣдствіе существованія опереженій со стороны впуска и выпуска.- Вслѣдствіе сего, въ упомянутой выше постепенности въ открытіи оконъ, дав-

ленiе постепенно возвышается въ цилиндръ при соединенiи его съ котломъ еще прежде, чѣмъ поршень дойдетъ до своей мертвой точки. С) Вслѣдствiе существующаго, хотя и небольшаго сжатiя въ концѣ нерабочаго размаха поршня, является соотвѣтственное ему понятiе лишней стороны дiаграммы. —

По всѣмъ вышеуказанным причинамъ дiаграммы снятыя съ нашихъ съ однимъ цилиндромъ получаютъ вообще видъ изображенный на ф. 12. — Весьма замѣчательно, что въ большей части случаевъ, при самыхъ обыкновенныхъ условiяхъ дѣйствiя паровыхъ машинъ, линiя расширенiя (ab) полученная на дѣйствительныхъ дiаграммахъ, лежитъ выше, чѣмъ

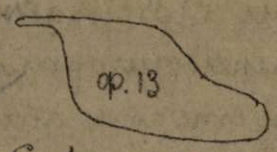


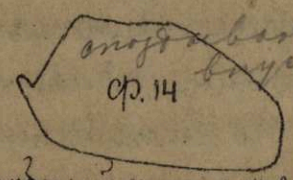
адiабатическая линiя (ab'), для сухаго пара, такъ, что давленiе съ увеличенiемъ объема въ дѣйствительности понижается слабѣе, чѣмъ то слѣдовало бы въ случаѣ, когда паръ расширяется не заимствуя и не отдавая теплоты, что конечно не иначе можетъ быть, какъ если во время означеннаго расширенiя паръ откуда либо заимствуетъ теплоту. — Въ послѣдствiи мы увидимъ, что эта теплота двигается вслѣдствiе влiянiя стѣнокъ цилиндра, на которыя осаждается во время впуска паръ въ видѣ воды въ очень значительномъ количествѣ, часть этой воды во время расширенiя испаряется, заимствуя теплоту для этого необходимую въ нѣкоторой долѣ отъ стѣнокъ, а главнѣйшимъ образомъ отъ другихъ частей воды, остающейся и во время расширенiя на стѣнкахъ въ капельномъ видѣ. — Не останавливаясь на дальнѣйшихъ подробностяхъ этого явленiя, къ разсмотрѣнiю котораго мы возвратимся позднѣе, здѣсь замѣтимъ только еще, что по дѣйствительнымъ дiаграммамъ, снимаемымъ съ машинъ весьма легко судить о томъ, дѣйствуютъ ли въ порядкѣ всѣ органы, непосредственно влiяющiе на работу, доставляемую паромъ, т.е. въ порядкѣ ли находится поршень, распредѣлительный приборъ, проводъ пара къ цилиндру и холодильникъ, т.к. разнообразные недостатки, могущiе встрѣтиться въ дѣйствiи сихъ органовъ, отражаются, каждый сообразно на видѣ снимаемой съ машины дiаграммы. —

Такъ, если проводъ пара изъ котла представляетъ какое нибудь большое препятствiе движенiю пара, то ординаты дiаграммы, изображающiя его давленiе во время впуска замѣтно уменьшаются. — Если холодильникъ находится въ безпорядкѣ, и туда входитъ значительное количество воздуха, то часть дiаграммы, соотвѣтствующая выпуску приближается къ атмосферической линiи. — Подобныя же явленiя, но только въ значительно большемъ размѣрѣ, имѣютъ мѣсто въ случаѣ, когда происходитъ течь пара изъ рабочей части въ нерабочую часть, черезъ поршень неплотно прилегающiй къ стѣнкамъ цилиндра. — Затѣмъ недостатки установки распредѣлительнаго прибора, также весьма ясно усматриваются на дiаграммѣ.

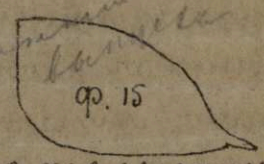
Такъ, если опереженiе со стороны впуска пара черезъ чуръ велико, то паръ успѣваетъ пріобрѣсти полное давленiе, прежде чѣмъ успѣетъ дойти до мертвой точки, причемъ въ верхней части дiаграммы этой, является весьма

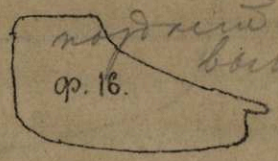
характеристическій крючекъ (ф. 13).- Если паръ вмѣсто опереженія имѣетъ опаздываніе, такъ что впускъ начинается послѣ прохода черезъ мертвую точку, то въ нижней части діаграммы, соотвѣтствующей концу сжатія является подобный же крючекъ (ф 14).



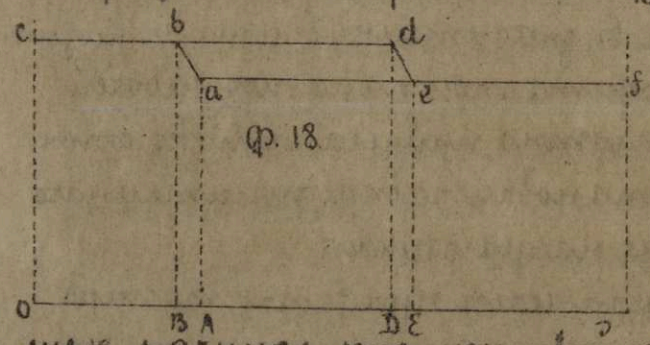


Въ случаѣ если впускъ происходитъ слишкомъ рано, то подобный крючекъ является внизу діаграммы, въ концѣ ея, соотвѣтствующемъ мертвой точкѣ, гдѣ начинается впускъ (ф. 15).- Напротивъ если впускъ происходитъ слишкомъ поздно, то является крючекъ въ томъ-же концѣ діаграммы но въ верхней ея части а не въ нижней (ф. 16).-





Такимъ образомъ діаграмма даетъ весьма ясное понятіе о томъ, что происходитъ съ паромъ, заключающимся въ цилиндрѣ и употребленіе индикатора для того, чтобы постоянно слѣдить за дѣйствіемъ паровой машины и соотвѣтственно оказавшемуся исправлять, какъ распредѣлительный приборъ такъ поршень и холодильникъ, распространяется съ каждымъ годомъ все болѣе.- Замѣтимъ еще, что въ діаграммахъ иногда есть одинъ или нѣсколько крючковъ подобныхъ тѣмъ, которые изображены на (ф. 17). Эти крючки бываютъ особенно ясны въ томъ случаѣ, когда въ индикаторѣ употреблена пружина довольно слабая, а поршень сравнительно довольно тяжелый; такіе крючки не указываютъ ни на какой недостатокъ въ дѣйствіи пара и происходятъ единственно отъ инерціи поршня, представляя собою его колебанія вслѣдствіе скорости, пріобрѣтенной во время быстраго подъема поршня при усиливающемся давленіи пара.- Эти колебанія безъ сомнѣнія порчатъ діаграмму до извѣстной степени и потому было сдѣлано нѣкоторое число попытокъ къ устройству индикатора независимаго отъ инерціи поршня.- Хотя до сихъ поръ устроенные съ этою цѣлью индикаторы не вполнѣ отвѣчаютъ своему назначенію, но представляется полезнымъ упомянуть о томъ началѣ, которое служитъ для ихъ устройства.- Вообразимъ, что пружина, производящая давленіе на поршень индикатора сжата до того, что давленіе это равно тремъ атмосферамъ, и что поршень задержанъ такимъ образомъ, что онъ опуститься изъ этого положенія не можетъ, поднятся-же можетъ но лишь на самую незначительную высоту, отвѣчающую напр. увеличенію давленія въ $\frac{1}{10}$ атмосферы; діаграмма, которая будетъ имѣть видъ abcdefa (ф. 18), причемъ OA будетъ путь, который поршню остается пройти до мертвой точки, въ тотъ моментъ, когда давленіе внутри цилиндра съ точностью равно 3 атмосферамъ, и OD будетъ въ точности путь, который поршень прошелъ, начиная отъ мертвой точки до того момента, когда давленіе пара при расширеніи постепенно уменьшаясь сдѣлается равно $3\frac{1}{10}$ атмосферамъ.



такимъ образомъ получимъ двѣ точки a и d, принадлежащія діаграммѣ совершенно правильной, независимо отъ инерціи поршня; если затѣмъ вообразимъ, что въ слѣдующій размахъ парового поршня индикаторъ оставляетъ, и пружина его сжимается до $3\frac{1}{10}$ атмосферъ, и поршень снова задерживается такъ, что онъ опуститься ниже этого положенія не можетъ, а поднятьсяможетъ только соотвѣтственно увеличенію давленія на $\frac{1}{10}$ атм. то при слѣдующемъ затѣмъ размахѣ, получимъ еще двѣ совершенно вѣрныя точки діаграммы и т.д. Такимъ образомъ, получая въ каждый изъ размаховъ парового поршня, въ теченіе котораго дѣйствуетъ индикаторъ по двѣ совершенно правильныхъ точки діаграммы, соотвѣтствующія различнымъ давленіямъ въ паровомъ цилиндрѣ и измѣняя эти давленія отъ наименьшаго, имѣющаго мѣсто во время выпуска, до наибольшаго, имѣющаго мѣсто во время впуска, мы очевидно изъ всѣхъ этихъ точекъ можемъ образовать одну діаграмму, которая будетъ совершенно независима отъ инерціи поршенка индикатора.- Само собою понимается, что она будетъ имѣть дѣйствительное значеніе только въ томъ случаѣ, если всѣ размахи при которыхъ сняты отдѣльныя точки діаграммы, совершаются при одинаковыхъ условіяхъ.-

9. Удостовѣривъ посредствомъ діаграммы работу индикатора, которая доставляется паромъ въ теченіе одного полнаго размаха поршня, необходимо еще для полнаго опытнаго изслѣдованія данной паровой машины опредѣлить количество теплоты приносимое паромъ въ цилиндръ изъ кот. ла въ теченіе полнаго размаха поршня и количество теплоты уносимое въ то-же время паромъ изъ цилиндра въ холодильникъ; для перваго очевидно нужно опредѣлить:

1) Количество расходуемаго пара по вѣсу.- 2) Температуру или давленіе этого пара; 3) Количество воды примѣшанной къ пару.-

Вѣсъ расходуемаго пара опредѣляется весьма просто; а именно питаютъ паровой котелъ изъ вмѣренного бака во все время опыта, который долженъ быть вообще для своей достовѣрности довольно продолжителенъ; наблюдая притомъ, чтобы въ концѣ опыта уровень воды въ котлѣ былъ тотъ-же самый, что и въ началѣ опыта.- Очевидно если въ проводѣ воды къ котлу нѣтъ нигдѣ течи и если паръ изъ котла никуда кромѣ машины не уходитъ, то вѣсъ воды, израсходованной изъ бака во время опыта, представляетъ собою также и вѣсъ пара, который израсходованъ во время опыта изъ цилиндра паровой машины.-

То-же самое опредѣленіе можно впрочемъ сдѣлать и иначе, воспользовавшись числами, которыя необходимо получить при рѣшеніи второй задачи, т.е. при наложеніи теплоты, уносимой паромъ изъ цилиндра; для этой цѣли, какъ увидимъ ниже, необходимо опредѣлить количество, какъ холодной воды, которая притекаетъ въ холодильникъ, такъ и количество теплой воды, освобождаемой холодильникомъ.- Вѣсъ этого послѣдняго очевидно долженъ быть больше, чѣмъ вѣсъ холодной воды, служащей для охлажденія пара, ровно на количество охлаждаемаго пара, измѣренное также по вѣсу.- Но такое измѣреніе очевидно пред-

ставляетъ собою значительное неудобство, состоящее въ томъ, что количество холодной воды, которая служитъ для охлажденія пара, обыкновенно отъ 20 до 30 разъ бываетъ больше, чѣмъ вѣсъ охлаждаемаго пара и потому этотъ послѣдній представляетъ собою сравнительно малую величину, нахожденіе которой производится при разсматриваемомъ способѣ посредствомъ разности между двумя, сравнительно очень большими величинами, ясно, что такое опредѣленіе можетъ вести къ очень значительнымъ ошибкамъ.—

Самое лучшее будетъ состоять въ томъ, чтобы прямымъ опытомъ опредѣлять количества; израсходованной питательной воды, израсходованной охлаждающей воды и освобожденной изъ холодильника теплой воды; сравненіе между собою этихъ трехъ количествъ будетъ служить повѣркою, которая столь необходима при довольно сложномъ опытѣ, и дастъ понятіе о степени точности, которая соблюдается при экспериментаціи.—

Температура пара при входѣ въ цилиндръ опредѣляется весьма легко посредствомъ термометра, или-же вмѣсто прямого его опредѣленія находится давленіе пара посредствомъ манометра, а затѣмъ уже по таблицамъ отыскивается соотвѣтствующая этому давленію температура.— Можно также не привѣтая къ особому прибору взять давленіе пара, приходящаго изъ котла въ цилиндръ по діаграммѣ индикатора, хотя и здѣсь надежнѣе прямое, независимое отъ индикатора опредѣленіе давленія или температуры, которое можетъ служить въ то-же время повѣркою показаній индикатора.—

Самое затруднительное состоитъ въ точномъ опредѣленіи пропорціи пара въ смѣси, поступающей въ цилиндръ; для этой цѣли часто производятъ слѣдующій калориметрическій опытъ.— Изъ распредѣлительной коробки или изъ трубы близъ нея берутъ небольшую трубочку съ краномъ, конецъ которой опускаютъ въ сосудъ въ которомъ находится извѣстное по вѣсу количество G воды, извѣстной температуры t; кранъ держатъ открытымъ въ теченіе нѣсколькихъ минутъ, и опять его закрываютъ, опредѣляютъ затѣмъ температуру t' и вѣсъ G' смѣси, и изъ этихъ данныхъ и температуры t'', входящаго пара, легко опредѣлить, какъ пропорцію пара въ смѣси, приходящей въ цилиндръ, такъ и количество G'' этой смѣси.— Дѣйствит., прежде всего очевидно, что:

$$G' = G + G''$$

Затѣмъ, если считая теплоемкость воды постоянною, примемъ ее, какъ обыкновенно бываетъ за единицу, то количество теплоты, заключенной въ водѣ G при температурѣ t будетъ: $G(X+t)$, гдѣ X обозначаетъ количество теплоты, заключенное въ кгр.-мѣ воды при температурѣ 0° по Ц.; чтобы опредѣлить количество, на которое увеличивается теплота калориметра, черезъ введеніе туда G'' кгр. смѣси пара и воды; назовемъ черезъ x пропорцію пара, содержащагося въ этой смѣси и слѣд. черезъ $1-x$, пропорцію воды въ этой смѣси; количество теплоты, которое принесется въ калориметръ водой, въ этой смѣси заключенной, очевидно будетъ: $G''(1-x)(X+t'')$; Количество-же теплоты, которое появится въ калориметрѣ отъ введенія туда G'' кгр. сухаго, насыщеннаго пара можетъ быть опредѣлено слѣдующимъ разсужденіемъ: внутренняя

теплота смѣси, поступающая въ калориметръ, выражается черезъ:
$g''x\left[X+t''+r-\frac{p.u}{A}\right]$ гдѣ r, p, u суть: скрытая теплота, давленіе и разность удѣльнаго объема сухаго насыщеннаго пара и воды, всѣ взятые при температурѣ t''. Часть этого количества теплоты при проходѣ по трубкѣ обращается въ живую силу, но какъ эта живая сила потомъ обратится снова въ теплоту, когда смѣсь калориметра придетъ въ покой, то на это явленіе въ данномъ случаѣ нѣтъ нужды обращать вниманія, но необходимо принять въ соображеніе другое явленіе, а именно уменьшеніе объема всей смѣси g'', происходящее вслѣдствіе обращенія въ воду сухаго насыщеннаго пара въ ней заключеннаго; если предположить, что паръ, идущій по трубѣ отъ паропроводной трубы до калориметра постепенно понижаетъ свое давленіе, доходя до атмосфернаго въ томъ концѣ трубки, который опущенъ въ калориметръ и въ этомъ мѣстѣ сполна обращается въ воду, то работа, расходуемая давленіемъ пара въ паропроводной трубѣ будетъ очевидно:

$$g''.p(x.u+\delta)$$

работа-же, пріобрѣтаемая вслѣдствіе дѣйствія атмосфернаго давленія будетъ: $g''.p_0\delta$ гдѣ p_0 – давленіе атмосферы на единицу площади; такимъ образомъ разсматриваемый переходъ изъ паропроводной трубы въ калориметръ сопровождается расходомъ работы:

$$g''\{p.x.u+(p-p_0)\}$$

которая обратится въ теплоту, давая количество сей послѣдней равное:

$$g''\left[\frac{p.x.u}{A}+\frac{(p-p_0)\delta}{A}\right]$$

поэтому, какъ видно, полное количество теплоты имѣющееся въ калориметрѣ при концѣ опыта будетъ:

$$g[X+t]+g''(1-x)[X+t'']+g''\left[X+t''+r-\frac{p.u}{A}\right]+g''\left[\frac{p.x.u}{A}+\frac{(p-p_0)\delta}{A}\right]$$

что очевидно можно написать такимъ образомъ:

$$[g+g'']X+gt+g''\left(t''+\frac{(p-p_0)\delta}{A}\right)+g''.r.x$$

приравнивая это, дѣйствительно находящееся въ концѣ опыта количеству теплоты въ калориметрѣ, которое очевидно будетъ $g'(X+t')$ и заключая по предыдущему: $g+g''=g'$, получимъ:

$$t''+rx=\frac{g'}{g''}X+\frac{g}{g''}t-\frac{(p-p_0)\delta}{A}$$

или отбрасывая послѣдній членъ числителя вслѣдствіе его малости и замѣняя черезъ $g'-g$ вездѣ g'' будемъ имѣть:

$$t''+rx=\frac{gt}{g'-g} \quad \text{и} \quad x=\frac{g(t''-t)-g'(t'-t)}{(g'-g)r}$$

съ помощію этой формулы опредѣляется пропорція пара въ смѣси выходящей изъ паропроводной трубы въ калориметръ. – Если мѣсто паропроводной трубы изъ которой берется паръ для калориметра, находится въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ цилиндромъ, то можно принять, что та-же пропорція пара имѣется и въ смѣси, идущей въ цилиндръ и такимъ образомъ опредѣляются всѣ элементы, необходимые для наблюденія теплоты, доставленной въ цилиндръ паровой машины, въ теченіе извѣстнаго времени. – А именно, если назовемъ черезъ M количество (по вѣсу) воды, доставленной въ котелъ въ теченіе разсматриваемаго времени, черезъ X, количество теплоты при нуль

температуру, заключенное въ 1 кгр. воды, черезъ t'' температуру смѣси передъ входомъ въ цилиндръ и черезъ x пропорцію пара въ смѣси, то получимъ, что полное количество теплоты, принесенной паромъ въ цилиндръ будетъ:

$$M[X + t'' + xr]$$

Вставляя-же сюда найденное выше выраженіе $t'' + xr$, найдемъ, что количество теплоты, приносимое паромъ въ цилиндръ, въ то-же время, какъ котелъ содержитъ M кгр. изобразится черезъ: $M\left[X + \frac{S}{S'-S}.t\right]$

10: Чтобы опредѣлить количество теплоты, которое приносится въ холодильникъ паромъ, оканчивающимъ свое дѣйствіе въ цилиндръ паровой машины поступаютъ обыкновенно слѣдующимъ образомъ: измѣряютъ съ возможною точностью количество и температуру, израсходованной во время опыта холодной (инвекціонной) воды и измѣряютъ также количество и температуру кондиціонной (теплой) воды, доставленной во время опыта холодильникамъ; очевидно, что съ помощью этихъ данныхъ легко опредѣлится, какъ все количество теплоты, выходящее изъ холодильника въ теченіе опыта, такъ и то ея количество, которое доставляется приносящею въ холодильникъ инвекціонною водою, а какъ полное количество теплоты, выходящее изъ холодильника очевидно равно суммѣ количества, доставленнаго холодною водою и принесеннаго паромъ, окончившимъ свое дѣйствіе въ цилиндръ, то сіе послѣднее опредѣлится разностью двухъ найденныхъ посредствомъ опыта количествъ теплоты.- Температуры, какъ инвекціонной, такъ и кондиціонной воды опредѣляются, какъ то разумѣется само собою при помощи термометровъ, что-же касается до количествъ воды, которая приходитъ въ холодильникъ и которая изъ него выходитъ, то непосредственное ихъ измѣреніе затрудняется вслѣдствіе значительной ихъ величины; потому означенное измѣреніе производится обыкновенно слѣдующимъ образомъ, вода, которая должна поступить въ холодильникъ изливается прежде въ особый бакъ, ниже котораго стоитъ другой бакъ, соединенный съ холодильникомъ, въ этотъ послѣдній вода изъ верхняго бака спускается посредствомъ водослива причемъ постоянно, черезъ короткіе промежутки времени замѣчаютъ стояніе воды надъ ребромъ водослива верхняго бака; по средней величинѣ этихъ стояній если они не очень разнятся между собою и по размѣрамъ водослива можно опредѣлить количество воды прошедшей въ нижній бакъ во время опыта; но какъ коэфиціенты расхода воды черезъ водосливъ довольно сильно зависятъ отъ его устройства, то всего лучше посредствомъ прямаго опыта удостовѣриться въ величинѣ этого расхода въ каждомъ данномъ случаѣ; съ этою цѣлью обыкновенно рядомъ съ нижнимъ бакомъ, о которомъ упомянуто выше и который соединенъ съ холодильникомъ, ставится еще другой, напередъ обмѣренный бакъ и непосредственно ниже водослива устраивается подвижной-желобъ, посредствомъ котораго можно направлять воду, изливающуюся посредствомъ водослива изъ верхняго бака, или въ бакъ, соединенный съ холодильникомъ или-же въ обмѣренный бакъ.- Замѣчая время въ теченіе котораго вода, изливающаяся посредствомъ водослива проходитъ въ обмѣренный бакъ, и опредѣляя количество воды въ этомъ бакѣ накопляющееся при различныхъ стояніяхъ уровня воды въ верхнемъ бакѣ надъ ребромъ водослива, легко легко опредѣляется съ требуемою точностью коэфиціентъ расхода воды черезъ-

водослив, и находится затѣмъ соотвѣтственно времени продолженія опыта количество воды, излившееся изъ верхняго бака въ бакъ, соединенный съ холодильникомъ.- Если затѣмъ наблюсти, чтобы въ концѣ опыта уровень воды въ бакѣ, соединенномъ съ холодильникомъ былъ тотъ-же, что и въ началѣ опыта, то очевидно, что количество воды, излившейся во время опыта изъ верхняго бака въ нижній поступило въ холодильникъ.-

Совершенно подобнымъ-же образомъ поступаютъ и для измѣренія количества конденсаціонной воды, освобождаемой холодильникомъ, но при этомъ въ верхнемъ бакѣ принимающемъ изъ холодильника воду ставятъ нѣсколько вертикальныхъ сплошныхъ и продырявленныхъ перегородокъ, при помощи которыхъ заставляютъ воду прежде нежели она дойдетъ до водослива, нѣсколько разъ спуститься внизъ и подняться кверху и пройти черезъ много узкихъ отверстій; все это дѣлается отчасти для того, чтобы по возможности отдѣлить отъ теплой воды приходящей изъ холодильника масло, которое она приноситъ съ собою въ довольно значительномъ количествѣ и которое сильно мѣшаетъ наблюденію уровня воды, но главная цѣль означенныхъ перегородокъ состоитъ въ томъ, чтобы придать возможное постоянство уровню воды въ бакѣ передъ водосливомъ; вода доставляется въ этотъ бакъ изъ воздушнаго насоса, который не дѣйствуетъ равномѣрно даже и тогда, когда онъ двойнаго дѣйствія, при простомъ-же дѣйствіи воздушнаго насоса колебанія уровня воды, по необходимости получаются весьма значительныя; сопротивленія, вводимыя перегородками, увеличивающіяся вмѣстѣ со скоростью воды, очевидно имѣютъ своимъ послѣдствіемъ уменьшеніе до ничтожныхъ размѣровъ колебаній уровня воды въ бакѣ, производимыхъ неравномѣрнымъ дѣйствіемъ воздушнаго насоса.-

При разсматриваемыхъ опытахъ наблюденіе положенія уровня воды должно быть обращено самое сильное вниманіе, т. к. ошибки въ немъ могутъ повести къ очень значительнымъ погрѣшностямъ.- Для этого могутъ быть употреблены различные приборы.- Какъ извѣстно для опредѣленія положенія уровня воды можетъ употребляться или игла, или поплавокъ.- Въ первомъ случаѣ заостренную иглу, укрѣпленную верхней своей частью въ оправку, могущую скользить по раздѣленной шкалѣ полегоньку опускаютъ къ водѣ, постоянно смотря на изображеніе острія въ водѣ, и останавливаютъ иглу, замѣчая положеніе оправки на раздѣленной шкалѣ; тогда, когда разстояніе между остріемъ и его изображеніемъ въ водѣ дѣлается совершенно незамѣтнымъ.- Крючекъ имѣетъ иглу направленную кверху, и точно также вдѣланъ въ оправку, могущую скользить на раздѣленной шкалѣ, причемъ крючекъ сначала погружается въ воду такъ, что игла его совершенно закрыта водою, затѣмъ оправку крючка начинаютъ полегоньку двигать вверхъ и останавливать, замѣчая положеніе оправки на шкалѣ, когда на поверхности воды, противъ иглы является струйка, показывающая, что игла только что вышла изъ уровня воды.- Наконецъ поплавокъ состоитъ въ открытой металлической чашкѣ (*) черезъ

(*) Въ видѣ поплавка можно было употреблять также и закрытый металлическій сосудъ, но этого нельзя совѣтовать, т. к. небольшая течь закрытаго сосуда можетъ остаться неизвѣстною для наблюдателя и вслѣдствіе ея весь опытъ окажется совершенно негоднымъ.-

дно которой проходитъ трубка, этой трубкой чашечка свободно надѣвается на вертикальный стержень, и къ ней укрѣпляется указатель, ходящій возлѣ шкалы, придѣланной къ верхней части бруска.-

Изъ всѣхъ этихъ способовъ для наблюденія уровня воды въ резервуарѣ первые два даютъ особенно точныя указанія, но они требуютъ при производствѣ каждаго опыта сильнаго вниманія; поплавокъ въ этомъ отношеніи представляетъ гораздо менѣе неудобства, особенно при измѣняющемся нѣсколька уровнѣ воды, чего обыкновенно нельзя вполнѣ избѣгать въ резервуарѣ теплой воды, вслѣдствіе непрерывнаго, неравномѣрнаго дѣйствія насоса; при употребленіи поплавка нужно только озаботиться тѣмъ, чтобы съ точностью обозначить на шкалѣ, по которой ходитъ его указатель, положеніе уровня водослива.-

Это перенесеніе уровня ребра водослива на шкалу впрочемъ одинаково важно и для крючка и для иглы, т. к. приборы эти не только не могутъ стоять прямо надъ ребромъ водослива, но должны стоять по возможности далеко отъ него, иначе ихъ показанія будутъ невѣрны.- Въ цѣлью перенесенія уровня ребра водослива на шкалу указателя, какъ извѣстно, можно употребить много способовъ.- Одинъ изъ нихъ могъ бы состоять напр. въ слѣдующемъ: вообразимъ сначала бакъ пустой, положимъ на ребро водослива одинъ конецъ вѣрной линейки, на которой поставленъ ватерпасъ, а другой конецъ линейки подопремъ какою нибудь правильною горизонтальною плоскостью, положимъ надъ сей послѣдней поперечину на боковую стѣнку резервуара и къ этой поперечинѣ пристроимъ иглу, которая могла бы опускаться, подниматься и быть закрѣплена въ приданномъ ей положеніи. Остріе этой иглы опустимъ на плоскость поддерживающую линейку и въ этомъ положеніи закрѣпимъ иглу; очевидно, что остріе иглы будетъ въ этомъ случаѣ находиться на одинаковой высотѣ съ ребромъ водослива.- Затѣмъ, оставивъ иглу въ этомъ положеніи и установивъ въ бакъ стойку для поплавка и надѣвъ на нее самый поплавокъ, наполняютъ сосудъ водою, причемъ послѣднія порціи воды приливаютъ понемногу и весьма осторожно наблюдаютъ иглу; съ прибавленіемъ воды останавливаются, какъ скоро остріе иглы и его изображеніе въ водѣ совпадутъ и замѣчаютъ показаніе указателя поплавка на шкалѣ; нерѣдко эту шкалу дѣлаютъ подвижною съ цѣлью прямо установить ея нуль противъ того положенія указателя поплавка, которое онъ занимаетъ, когда уровень воды въ резервуарѣ совпадетъ съ ребромъ водослива.- Все устройство поплавка должно быть сдѣлано такъ, чтобы его безъ затрудненія можно было вынуть изъ резервуара и обтереть, какъ поплавокъ, такъ и стержень по которому онъ скользитъ, т. к. вода, которая содержитъ въ себѣ, несмотря на всю предосторожность, довольно большое количество масла, можетъ скоро загрязнить поплавокъ, а если онъ лишается свободы въ своемъ движеніи, то его показанія будутъ ошибочны.-

Для приблизительнаго сужденія о количествѣ воды, вытекающей черезъ водосливъ при различныхъ напорахъ прилагаемъ таблицу, составленную на основаніи весьма тщательныхъ опытовъ (Стр. 31), сдѣланныхъ на заводѣ В. Дэнкинъ и Сѣ и относящуюся къ водосливу въ 6" шириною.-

Съ помощью сказанныхъ пріемовъ можно опредѣлить количество, какъ ин-

Напоръ въ дюймахъ	Расходъ въ анг. фун. въ 1'	Напоръ въ дюймахъ	Расходъ въ анг. фун. въ 1'	Напоръ въ дюймахъ	Расходъ въ анг. фун. въ 1'	Напоръ въ дюймахъ	Расходъ въ анг. фун. въ 1'
$1\frac{1}{2}$	274	$2\frac{3}{8}$	547	$3\frac{1}{4}$	874	$4\frac{1}{8}$	1250
$1\frac{9}{16}$	292	$2\frac{7}{16}$	568	$3\frac{5}{16}$	900	$4\frac{3}{16}$	1279
$1\frac{5}{8}$	310	$2\frac{1}{2}$	589	$3\frac{3}{8}$	926	$4\frac{1}{4}$	1306
$1\frac{11}{16}$	327	$2\frac{9}{16}$	612	$3\frac{7}{16}$	951	$4\frac{5}{16}$	1336
$1\frac{3}{4}$	345	$2\frac{5}{8}$	634	$3\frac{1}{2}$	977	$4\frac{3}{8}$	1365
$1\frac{13}{16}$	365	$2\frac{11}{16}$	657	$3\frac{9}{16}$	1003	$4\frac{7}{16}$	1394
$1\frac{7}{8}$	383	$2\frac{3}{4}$	680	$3\frac{5}{8}$	1030	$4\frac{1}{2}$	1424
$1\frac{15}{16}$	402	$2\frac{13}{16}$	704	$3\frac{11}{16}$	1056	$4\frac{9}{16}$	1454
2	421	$2\frac{7}{8}$	727	$3\frac{3}{4}$	1083	$4\frac{5}{8}$	1483
$2\frac{1}{16}$	442	$2\frac{15}{16}$	751	$3\frac{13}{16}$	1112	$4\frac{11}{16}$	1514
$2\frac{1}{8}$	462	3	775	$3\frac{7}{8}$	1139	$4\frac{3}{4}$	1544
$2\frac{3}{16}$	483	$3\frac{1}{16}$	800	$3\frac{15}{16}$	1166	$4\frac{13}{16}$	1575
$2\frac{1}{4}$	503	$3\frac{1}{8}$	825	4	1193	$4\frac{7}{8}$	1605
$2\frac{5}{16}$	525	$3\frac{3}{16}$	850	$4\frac{1}{16}$	1221	$4\frac{15}{16}$	1635

векціонной, такъ и конденсаціонной воды, а затѣмъ и количество теплоты, принесенной въ холодильникъ паромъ, окончившимъ свое дѣйствіе въ цилиндрѣ машины.-

Если обозначимъ черезъ Q_1 количество инжекціонной воды, поступившей въ холодильникъ во время опыта и черезъ t_1 ея температуру, а черезъ Q_2 количество конденсаціонной воды, вышедшей изъ холодильника въ теченіе того-же опыта черезъ t_2 ея температуру, то очевидно количество теплоты, которое приносится въ холодильникъ водою есть: $Q_1(X+t_1)$; а количество теплоты, уносимое изъ холодильника теплою водою будетъ: $Q_2(X+t_2)$; разность ихъ, которая очевидно будетъ $(Q_2-Q_1)X+Q_2t_2-Q_1t_1$ представитъ собою количество теплоты приносимое въ холодильникъ паромъ, окончившимъ свое дѣйствіе въ паровой машинѣ.- А какъ паръ, приходя въ машину приноситъ съ собою количество теплоты:

$$M(X+t_1+\tau x)=MX+M\frac{\varsigma' t'-\varsigma t}{\varsigma'-\varsigma}$$

и такъ какъ $M=Q_2-Q_1$, то очевидно, что изъ всей теплоты пара должно преобразоваться въ работу, количество, изображаемое черезъ:

$$M\frac{\varsigma' t'-\varsigma t}{\varsigma'-\varsigma}-\{Q_2t_2-Q_1t_1\}$$

Это количество должно быть эквивалентно работѣ, которая доставлена машиною во время опыта, и которая можетъ быть вычислена посредствомъ діаграммъ.-

Разница, могущая при этомъ представиться, очевидно представляетъ собою тѣ потери, которыя происходятъ отъ охлажденія цилиндра и другихъ обстоятельствъ вслѣдствіе которыхъ теплота не преобразовываясь въ работу передается другимъ тѣламъ, а не водѣ, поступающей въ холодильникъ.-

11. Въ предъидущемъ описанъ способъ производства полныхъ опытовъ для изслѣдованія паровой машины, онъ сопряженъ со значительными затрудненіями и требуетъ нѣсколько весьма основательныхъ наблюденій, поэтому для рѣшенія частныхъ вопросовъ, встрѣчающихся относительно данной паровой машины нерѣдко сокращаютъ вышеописанный способъ испытанія и ограничиваются имнаблюденіями индикатора или опредѣленіемъ количества питательной воды, причемъ получаютъ вѣсъ смѣси, израсходованной на каждую единицу пріобрѣтенной работы или-же ограничиваются наблюденіемъ индикатора и опредѣленіемъ

количества и температуры теплой воды, уносимой холодильникомъ.- Въ первомъ случаѣ, очевидно, чѣмъ болѣе будетъ частное отъ раздѣленія количества питательной воды на работу машины, тѣмъ машина хуже; точно также, чѣмъ больше будетъ частное, произведенія изъ количества теплой воды и ея температуры на работу машины, тѣмъ хуже машина дѣйствуетъ, такимъ образомъ получается возможность сравнивать между собою различныя машины и судить объ ихъ относительномъ достоинствѣ; но эти, неполные даже опыты могутъ служить и для дальнѣйшихъ заключеній о машинахъ, т.к. во всѣхъ опытахъ, которые были произведены, при условіяхъ соблюденія надлежащей точности оказывалось, что разность между полученными изъ опытовъ по предыдущему способу, количествомъ теплоты вступившемъ въ цилиндръ, и количествомъ теплоты, выходившемъ изъ холодильника была эквивалентна количеству работы, которое было измѣряемо посредствомъ діаграммъ, по крайней мѣрѣ въ предѣлахъ точности самыхъ опытовъ.- Такимъ образомъ всѣ точные опыты представляютъ въ этомъ отношеніи результаты вполнѣ согласные съ тѣмъ, что можно предсказать, выходя изъ теоретическихъ разсужденій.- Въ виду сего мы не будемъ присоединяющемъ разложеніи останавливаться на опытныхъ числахъ, относящихся къ количеству теплоты, освобождаемому холодильникомъ, т.к. числа эти въ достаточной степени согласны съ числами теоретическими, получаемыми черезъ отнятіе теплоты эквивалентной, изображаемой діаграммою работы, отъ общаго количества теплоты, доставляемой цилиндру.-

12. Переходимъ теперь къ численнымъ результатамъ, полученнымъ изъ опытовъ, произведенныхъ описаннымъ выше способомъ, и прежде всего замѣтимъ, что Гирномъ была испытана паровая машина съ цилиндромъ въ $51\frac{c}{m}$ діаметра, $106\frac{c}{m}$ хода, дѣлающая 55 оборотовъ; давленіе впускаемаго въ цилиндръ пара было 51550 кф. на □ метръ.-

Пропорція пара въ смѣси, опредѣленная калориметрическимъ опытомъ оказалась 0,955.- Количество смѣси, потребляемое въ теченіе одного разгонала поршня, опредѣленное наблюденіемъ надъ питаніемъ котла было 0,1122 кф.- Количество пара при началѣ впуска, оставшееся въ цилиндрѣ отъ предыдущаго разгонала и наполнившее вредное пространство было: 0,0013 кф. Объемъ, занимаемый паромъ въ моментъ отсѣчки былъ: 0,015885 куб. метра.-

Прежде, чѣмъ идти далѣе остановимся на этихъ числахъ.- При давленіи въ 51550 кф. на □ метръ, разность удѣльныхъ объемовъ сухаго, насыщеннаго пара и воды составляетъ 0,3646 куб. мет.; слѣд. если назовемъ черезъ x_0 пропорцію пара въ смѣси въ моментъ отсѣчки, то получимъ, что удѣльный объемъ смѣси въ этотъ моментъ будетъ: $x_0 \times 0,3646 + 0,001$, а какъ въ то-же время этотъ удѣльный объемъ, очевидно равенъ абсолютному объему, занятому въ разсматриваемое мгновеніе смѣсью (0,015885) раздѣленному на вѣсъ занимающей его смѣси (0,1122 + 0,0013) то мы получаемъ ур-іе, изъ котораго можемъ опредѣлить x_0 и будемъ имѣть:

$$x_0 = \frac{1}{0,3646}\left\{\frac{0,015885}{0,1135} - 0,001\right\} = 0,381$$

т.е. пропорція пара, которая въ смѣси приводимой къ цилиндру была 0,955

уменьшилась почти въ два съ половиною раза. Чтобы яснѣе представить себѣ значеніе этого результата, опредѣлимъ какъ велико было-бы количество пара, нужное для наполненія того-же объема 0,015885 куб. метра, если бы пропорція пара въ смѣси во время впуска не измѣнялась. - Удѣльный объемъ смѣси былъ-бы въ этомъ случаѣ:

$$0,955 \times 0,3646 + 0,001 = 0,3492$$

и слѣдовательно количество ея, нужное для наполненія объема 0,015885 было-бы:

$$\frac{0,015885}{0,3492} = 0,0455 \text{ кф.-мма}$$

а отнимая отсюда количество 0,0013 кф. находящееся въ цилиндрѣ при началѣ впуска, получимъ, что для наполненія нашего объема нужно было-бы доставить изъ котла всего 0,0422 кф.. между тѣмъ въ дѣйствительности расходуется: 0,1122 кф. т.е. въ 2,54 больше.-

Полученныя числа показываютъ, что въ данной машинѣ во время впуска происходитъ весьма значительное обращеніе пара въ воду, отчего удѣльный объемъ смѣси уменьшается слишкомъ въ $2\frac{1}{2}$ раза и расходъ пара во столько-же разъ увеличивается сравнительно съ тѣмъ, что было-бы, если бы разсматриваемое явленіе не имѣло мѣста.-

Другой опытъ, произведенный съ другою машиной тѣмъ-же Бирномъ далъ слѣдующее: Цилиндръ машины имѣлъ діаметръ въ 60 см.- Размахъ поршня былъ 170,2.- Число оборотовъ машины въ минуту было приблизительно 30; давленіе впускаемаго въ цилиндръ пара было 37773 кф.-

Пропорція пара въ смѣси, опредѣленная калориметрическимъ опытомъ была 0,99.- Количество смѣси, потребляемое въ теченіе одного размаха поршня посредствомъ наблюденія надъ питаніемъ котла опредѣлилось въ 0,37321 кф. Количество пара, оставшагося въ цилиндрѣ при началѣ впуска по незначительности своей замѣчено небыло.- Объемъ занимаемый паромъ въ моментъ отсѣчки былъ 0,1259 куб. метра.

На основаніи этихъ чиселъ и принимая въ соображеніе, что разность удѣльныхъ объемовъ сухаго насыщеннаго пара и воды, при имѣющемъ мѣсто во время впуска давленіи есть 0,4837, заключаемъ, что пропорція пара въ смѣси въ моментъ отсѣчки будетъ:

$$x_0 = \frac{1}{0,4837}\left\{\frac{0,1259}{0,3732} - 1\right\} = 0,695$$

Вмѣсто 0,99, какъ это было въ трубѣ, проводящей паръ въ цилиндръ.-

Замѣтимъ также, что если бы пропорція пара въ цилиндрѣ въ моментъ отсѣчки была та-же, что и въ трубѣ, то количество расходуемаго пара было-бы:

$$\frac{0,1259}{0,4837 \times 0,99 + 0,001} = \frac{0,1259}{0,4799} = 0,2623.-$$

вмѣсто 0,3732 расходуемыхъ дѣйствительно.- Поэтому въ настоящемъ, второмъ примѣрѣ мы получаемъ также значительное осажденіе пара въ видѣ воды во время впуска, приводящее къ тому, что пропорція пара въ смѣси наполняющей цилиндръ въ моментъ отсѣчки уменьшается въ $1,43\left(\frac{0,99}{0,695}\right)$ раза, а расходъ пара увеличивается въ $1,42\left(\frac{0,3732}{0,2623}\right)$ раза.-

Обѣ машины, къ которымъ относятся вышеупомянутыя цифры имѣли цилиндры, защищенные рубашками проводниками, но нерѣдко цилиндры машинъ

окружаютъ паровыми кожухами или такъ наз. ванными рубашками. Устройство это состоитъ въ томъ, что паровой цилиндръ, помѣщается внутри другаго цилиндра такъ, что между обоими цилиндрами остается свободный промежутокъ, около двухъ или 3^х cnt. ширины и въ этотъ промежутокъ пускаютъ паръ изъ котла, иногда тотъ самый, который потомъ долженъ работать въ цилиндрѣ, а иногда паръ этотъ приводится туда особой трубочкою. — Весьма часто не только окружаютъ цилиндръ такими рубашками, но и обѣ крышки цилиндра дѣлаютъ полыми, такъ что онѣ представляютъ собою подушки, внутренняя сторона которыхъ постоянно наполняется паромъ. Разсматривая опыты, произведенные съ такими машинами, мы находимъ между ними машину тѣхъ-же самыхъ размѣровъ, какъ и первая, которая была разсмотрѣна въ предыдущемъ параграфѣ. — Для нея по калориметрическому опыту пропорція пара въ смѣси, приходящей въ цилиндръ оказалась 0,95. — Давленіе, при которомъ машина работала во время впуска было 5 22,40 кф., и соотвѣтствующая этому давленію разность объемовъ, сухаго насыщеннаго пара и воды есть 0,3596. — Расходъ пара на размахъ поршня былъ 0,1253 а объемъ, который онъ занималъ въ цилиндрѣ въ моментъ отсѣчки былъ: 0,024 куб. мет.

На основаніи этихъ чиселъ оказывается, что пропорція пара въ смѣси находящейся въ цилиндрѣ въ моментъ отсѣчки составляетъ:

$$\frac{1}{0,3596} \times \left\{ \frac{0,024}{0,1253} - 1 \right\} = 0,53.$$

вмѣсто 0,95, т.е. пропорція пара въ смѣси уменьшилась въ 1,8 раза. —

Если паръ содержался внутри цилиндра въ той-же пропорціи, какъ былъ въ трубѣ, то его было бы израсходовано на размахъ поршня:

$$\frac{0,024}{0,95 \times 0,3596 + 0,001} = \frac{0,024}{0,3626} = 0,07 \text{ кф.}$$

вмѣсто дѣйствительно израсходованныхъ 0,1253 кф. т.е. расходъ пара увеличился также въ 1,8 раза. —

Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ имѣемъ въ цилиндрѣ, несмотря на присутствіе кожуха, очень значительное осажденіе пара въ видѣ воды уменьшающее въ 1,8 раза пропорцію пара въ смѣси и во столько-же разъ увеличивающее расходъ пара. —

Приведемъ затѣмъ еще числа, полученныя Бирномъ относительно машины Вульфа. — Малый цилиндръ этой машины имѣлъ поперечное сѣченіе 0,13594 □ метра. — Число размаховъ поршня въ минуту было 46; впускъ продолжался въ теченіе полнаго размаха малаго поршня и давленіе впускаемаго пара было 3,75 атмосферы. —

Пропорція пара въ впускаемой смѣси была 0,9215, объемъ занимаемый паромъ въ цилиндрѣ въ концѣ впуска былъ 0,1791 куб. метра. —

Эта машина поочередно была опытамъ при дѣйствіи паровой рубашки и безъ ея дѣйствія; въ первомъ случаѣ расходъ пара внутри цилиндра былъ 0,4125 кф. а во второмъ 0,4355 кф. Такъ какъ разность удѣльныхъ объемовъ сухаго насыщеннаго пара и воды при давленіи въ 3,75 атмосферы составляетъ 0,4875 то изъ предъидущихъ чиселъ слѣдуетъ, что пропорція пара въ смѣси въ моментъ

отсѣчки была: при употребленіи рубашки _____ 0,889
безъ употребленія рубашки _____ 0,842

т.е. въ первомъ случаѣ пропорція пара уменьшилась въ 1,036 раза, а во второмъ случаѣ въ 1,095 раза.-

Такъ, что въ этой машинѣ происходитъ осажденіе пара въ видѣ воды во время впуска; но какъ видно въ гораздо меньшей пропорціи, чѣмъ въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ.-

Возьмемъ наконецъ еще имѣющіяся данныя относительно машинъ дѣйствующихъ перегрѣтымъ паромъ.- Въ этой машинѣ употребляется паръ при давленіи въ 42450 кгр. на □ met. и при входѣ въ цилиндръ не только не содержалъ въ себѣ воды, но былъ сильно перегрѣтъ, т.к. былъ доведенъ до температуры 231° вмѣсто 145, которые представляютъ собою температуру насыщеннаго пара при давленіи въ 42450 кгр.- Объемъ занимаемый этимъ паромъ въ концѣ впуска былъ 0,1259 куб. met., расходъ же пара былъ на каждый размахъ поршня 0,3065 кгр. поэтому удѣльный объемъ пара въ цилиндрѣ при концѣ впуска былъ:

$$\frac{0,1259}{0,3065} = 0,4107$$

между тѣмъ удѣльный объемъ сухаго насыщеннаго пара при томъ давленіи, есть 0,4233; откуда видно, что не только паръ не былъ перегрѣтъ при концѣ впуска, но заключалъ въ себѣ нѣкоторое количество воды, а именно пропорція пара въ смѣси опредѣлится въ этомъ случаѣ черезъ вычисленіе выраженія:

$$\frac{0,4107 - 0,001}{0,4233} = 0,97$$

такъ, что перегрѣтый первоначально паръ въ концѣ впуска заключалъ въ себѣ до 3% процентовъ воды.-

Общій обзоръ всѣхъ приведенныхъ фактовъ показываетъ, что во время впуска въ паровыхъ машинахъ происходитъ значительное осажденіе пара на стѣнки въ видѣ воды и слѣд. потеря теплоты.- При этомъ присутствіе рубашки имѣетъ на это осажденіе очень мало вліянія, между тѣмъ, какъ способъ расширенія пара имѣетъ на это весьма значительное дѣйствіе, а именно, какъ видно изъ приведенныхъ чиселъ осажденіе пара во время впуска гораздо значительнѣе, тогда, когда расширеніе происходитъ въ томъ-же цилиндрѣ въ которомъ дѣлается впускъ и напротивъ количество пара, осаждающагося въ видѣ воды во время впуска гораздо меньше для тѣхъ машинъ, въ которыхъ расширеніе производится въ отдѣльномъ цилиндрѣ.-

12. Удостовѣривъ посредствомъ опытовъ весьма значительное осажденіе пара, въ видѣ воды во время впуска, необходимо изслѣдовать куда дѣвается та теплота, которая освобождается вслѣдствіе этого осажденія.- Очевидно она или можетъ отдаваться черезъ стѣнки цилиндра окружающему воздуху, или во время расширенія употребляется на нагрѣваніе пара и возвышеніе его давленія, или-же наконецъ можетъ прямо переноситься въ холодильникъ.- Прямые опыты, которые были сдѣланы надъ количествомъ теплоты, отдаваемой наружу черезъ стѣнки цилиндра, показываютъ, что эта потеря сравнительно очень невелика, и что, слѣд. главнѣйшимъ образомъ освобождающаяся при осаж-

дении пара внутри цилиндра теплота идетъ или на возвышеніе его давленія во время расширенія причемъ употребляется полезнымъ образомъ, или же переводится въ холодильникъ, причемъ расходуется не только совершенно безполезнымъ но даже и вреднымъ образомъ, т.к. увеличиваетъ количество теплоты, которое нужно извлечь изъ холодильника.- Опыты, новый способъ производства которыхъ объяснен въ предъидущемъ, могутъ прямо указать на то, какое количество разсматриваемой теплоты идетъ на одно и другое употребленіе.-

Разсматривая первую изъ приведенныхъ въ предъидущемъ параграфѣ машинъ, дѣйствующую безъ оболочки, мы легко видимъ, что количество теплоты, освободившейся изъ остывшаго во время впуска пара, будетъ равно обратившемуся въ воду количеству пара, умноженному на его скрытую теплоту, слѣд. въ данномъ случаѣ представляется черезъ: $0,1122\{0,955 - 0,381\}499,24 = 32,151$ единицъ теплоты.- Чтобы опредѣлить тучасть этой теплоты, которая была отдана пару во время расширенія, замѣтимъ, что въ расширеніи участвовало 0,1135 кгр. смѣси а внутренняя ея теплота при началѣ расширенія была:

$$0,1135\{153,65 + 0,381 \times 455,05\} = 0,1135 \times 327,024 \text{ (*)}$$

а какъ по показаніямъ діаграммы давленіе въ концѣ расширенія есть 5010 кгр. что соотвѣтствуетъ температурѣ въ 80,95; теплотѣ жидкости въ 81,24; и внутренней скрытой теплотѣ въ 511,24, то очевидно, что внутренняя теплота смѣси въ концѣ расширенія будетъ: $0,1135\{81,24 + x_1 \times 511,45\}$ гдѣ x_1 есть пропорція пара въ смѣси въ концѣ расширенія; чтобы опредѣлить эту пропорцію, замѣтимъ, что объемъ, занимаемый паромъ въ концѣ расширенія есть 0,21837 куб. метра, и т.к. разность удѣльныхъ объемовъ пара и воды при температурѣ 80,95 есть 3,268 то будетъ:

$$x_1 = \left\{\frac{0,21857}{0,1135} - 0,001\right\}\frac{1}{3,268} = 0,588.$$

Вставляя это число въ выраженіе внутренней теплоты пара въ концѣ расширенія получаемъ, что она будетъ: $0,1135 \times 381,973$.- Такимъ образомъ видимъ, что:

1) Пропорція пара въ смѣси въ концѣ расширенія есть 0,588, между тѣмъ, какъ въ началѣ расширенія она была 0,381, слѣд. часть воды, освѣвшей во время впуска испарилась во время расширенія.-

2) Внутренняя теплота смѣси въ концѣ расширенія больше, чѣмъ въ началѣ на

$$0,1135 \times 54,949 = 6,237 \text{ единицъ.-}$$

Такимъ образомъ въ данномъ случаѣ расширеніе доставляетъ результаты прямо обратные тѣмъ, кои получаются въ предположеніи, что оно совершается изъ заимствованія и отдачи теплоты; въ этомъ послѣднемъ предположеніи паръ долженъ осаждаться и внутренняя теплота смѣси уменьшаться; мы же видимъ совершенно наоборотъ: вода испаряется и внутренняя теплота смѣси увеличивается. Это увеличеніе можетъ получиться очевидно только насчетъ теплоты, освободившейся во время впуска, такъ, что изъ нея 6,237 единицъ передаются въ данномъ слу-

(*) Здѣсь 153,65 есть теплота жидкости и 455,05 внутренняя скрытая теплота насыщеннаго пара при температурѣ 152,14, которую имѣла смѣсь въ моментъ отсѣчки.-

чать смѣси и идутъ на увеличеніе ея внутренней теплоты, но какъ смѣсь, расширяясь и увеличиваясь въ то-же время, какъ это показано внутреннюю теплоту, производитъ еще внѣшнюю работу, которая выражается частью площади діаграммы, относящеюся къ расширенію, и какъ прямое измѣненіе діаграммы опредѣляетъ, что эта часть площади эквивалентна 5,7 единицъ теплоты, то очевидно, что полное количество теплоты, которое передано было пару во время расширенія составляетъ 11,937, а какъ всего освободилось во время впуска 32,151 единицъ теплоты, то очевидно, что въ данномъ случаѣ 20,214 прямо перешло въ холодильникъ.-

Чтобы объяснить себѣ всю совокупность разсмотрѣннаго нами явленія замѣтимъ, что въ моментъ сообщенія съ холодильникомъ цилиндра, онъ наполненъ смѣсью пара и воды, причемъ паръ представляетъ по вѣсу 0,588 всей смѣси, а вода 0,412.- Когда открывается сообщеніе съ холодильникомъ, давленіе мгновенно, именно крайней мѣрѣ быстро понижается: часть смѣси, находящаяся въ видѣ воды, имѣющая значительную температуру, сравнительно съ тѣм, которая устанавливается въ цилиндрѣ вслѣдствіе сообщенія съ холодильникомъ, очевидно должна закипѣть и обратиться частью въ паръ, отнявъ теплоту для этого необходимую отъ остальной части, остающейся въ видѣ воды и этотъ паръ отправится въ холодильникъ, унеся туда съ собою все количество теплоты, такимъ образомъ заимствованное.- Но количество это очевидно весьма мало: на самомъ дѣлѣ въ данномъ случаѣ всего воды есть въ цилиндрѣ 0,412 × 0,1135 кгр. и допуская пониженіе ея температуры отъ 81 до 41, т.е. на 40° вслѣдствіе сообщенія цилиндра съ холодильникомъ, получимъ, что количество теплоты, которое можетъ быть заимствовано отъ имѣющейся въ цилиндрѣ воды составитъ всего:

$$0,412 \times 0,1135 \times 40 = 1,87 \text{ единицъ.-}$$

между тѣмъ, какъ по вышеизложенному перешло въ холодильникъ 20,21 единицъ.- Ясно, что только небольшая часть этой теплоты, а именно 1,87 единицъ было взято отъ воды, остальныя-же 18,34 единицы могли быть заимствованы только отъ стѣнокъ цилиндра испаряющеюся водою, такъ, что стѣнки были значительно охлаждены, именно вслѣдствіе этого отнятія теплоты.- Чтобы опредѣлить, какое количество воды, находящейся въ цилиндрѣ съ помощію всей заимствованной теплоты обратилось въ паръ, замѣтимъ, что скрытая теплота при 41° составитъ весьма приблизительно 579 единицъ, а слѣд. чтобы нагрѣть до 41° килограммъ воды, имѣющей температуру 81°, нужно къ нему прибавить количество теплоты: 579 — 40 = = 539 единицъ, а какъ отъ стѣнокъ заимствовано количество теплоты въ 18,34 то очевидно, что съ помощію этой теплоты было испарено $\frac{18,34}{539} = 0,034$ кгр. воды изъ общаго его количества, которое по предъидущимъ даннымъ составляло въ концѣ ея расширенія 0,046 кгр.-

Разсматриваемое весьма значительное охлажденіе стѣнокъ вслѣдствіе испаренія во время выпуска даетъ прямо ключъ къ объясненію доказаннаго приведенными опытами, происходящаго во время впуска охлажденія пара въ видѣ воды на стѣнки цилиндра.- Вслѣдствіе сказаннаго испаренія внутренняя поверхность стѣнокъ цилиндра получаетъ температуру очень близкую къ температурѣ холодильника,

и сырой паръ, входящій въ цилиндръ во время впуска, прикасаясь къ этимъ охлажденнымъ стѣнкамъ, долженъ осадиться въ видѣ воды.—

Мы видимъ такимъ образомъ, что устанавливается въ паровой машинѣ, которую разсматриваемъ, при посредствѣ стѣнокъ цилиндра, слѣдующее явленіе: входящій паръ отдаетъ этимъ стѣнкамъ значительное количество теплоты, осаждаясь на нихъ въ видѣ воды (въ разсматриваемой машинѣ количество это есть 32,15 единицъ), во время расширенія часть этой воды испаряется, для чего заимствуется теплота, отчасти отъ самой воды, понижающей при расширеніи свою температуру, отчасти отъ стѣнокъ (въ разсматриваемой машинѣ часть заимствованной такимъ образомъ теплоты есть 11,937); затѣмъ при сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ происходитъ еще испареніе воды, оставшейся въ цилиндрѣ, которая при этомъ испареніи отнимаетъ отъ стѣнокъ остальную, оставшуюся еще въ нихъ часть теплоты имъ переданной въ періодъ впуска черезъ осажденіе пара въ видѣ воды (это количество въ разсматриваемой машинѣ составляетъ 20,14).—

Этимъ явленіемъ, какъ видимъ, нѣкоторое количество теплоты, переносящееся изъ котла прямо въ холодильникъ, черезъ то, что во время впуска пара, нѣкоторое количество пара осаждается въ видѣ воды, отдавая свою скрытую теплоту стѣнкамъ, а во время выпуска, часть образовавшейся такимъ образомъ воды обращается въ паръ, отнимая отъ нихъ необходимую для сего скрытую теплоту.— Относительно пользованія теплотою очевидно это имѣетъ значеніе подобное тому, какое имѣло-бы прямое протеканіе изъ котла въ холодильникъ нѣкотораго количества пара.—

Прилагая тѣ-же вычисленія, какія сдѣланы въ предыдущемъ относительно первой машины, къ остальнымъ разсмотрѣннымъ машинамъ и представляя ихъ въ общей таблицѣ вмѣстѣ съ результатами, относящимися къ первой машинѣ мы получимъ слѣдующее,:

		I	III	II	IV	V	VI	
№№	Наименованіе количествъ полученныхъ прямымъ наблюденіемъ и вычисленныхъ по наблюденіямъ.—	Машина съ однимъ цилиндромъ безъ паровой рубашки	Ditto	Ditto съ паровой рубашкой	Машина отъ 1-го періода паромъ безъ пар. рубашки	Машина Вульфа безъ паровой рубашки	Машина Вульфа съ паровой рубашкой	Наименованіе единицъ въ которыхъ выражены числа таблицы
1.	Діаметръ цилиндра	51	60,5	51	60,5	41,6	41,6	Cent.
2.	Величина размаха	106	170,2	126	170,2	126	126	Cent.
3.	Въ смѣси, расходуемой въ одинъ размахъ.	0,1122	0,37318	(*) 0,1205 + +0,0048	0,3065	0,4355	(**) 0,4125 + +0,0425	Кр.
4.	Пропорц. въ смѣси, идущей въ цилиндръ	0,955	0,99	0,95	1,000	0,9215	0,9215	абс. един.
5.	Давленіе смѣси, поступающей въ ц.	51550	37773	52240	42449	38750	38750	кил. на □ м.
6.	Темпер. смѣси при входѣ въ цилиндръ	152,14	140,78	152,64	231	141,68	141,68	град. Ц.
7.	Объемъ занятый смѣсью въ концѣ впуска	0,01588	0,1259	0,024	0,1259	0,1791	0,1791	куб. мет.
8.	Пропорція пара въ смѣси въ концѣ впуска	0,381	0,6955	0,53	0,935	0,863	0,909	абс. един.

		I	III	II (xx)	IV (xxxx)	V	VI (xxxx)	
9.	Количество теплоты отдаваемое стѣнками во время впуска.	32,151	56,5	25,47 × × 1,45	22,47	12,90	2,61 + + 17,79	ед. тепл.
10.	Объемъ смѣси въ концѣ расширенія	0,21837	0,49	0,21837	0,49	0,7885	0,7885	куб. мет.
11.	Давленіе смѣси въ концѣ расширенія	5010	9701	8020	9355	7078	8030	кг. □ мет.
12.	Пропор. пара въ смѣси въ концѣ расш.	0,588	0,747	0,863	0,880	0,766	0,920	абс. ед.
13.	Кол. внутр. тепл. смѣси въ нач. расш.	36,695	173,34	47,61	176,81	241,38	233,90	ед. тепл.
14.	Кол. внутр. тепл. въ концѣ расшир.-	42,846	167,48	63,65	164,44	207,49	229,15	ед. тепл.
15.	Избытокъ внутр. теплоты смѣси въ кон. расш. надъ внутр. тепл. смѣси въ началѣ расширенія.	6,237	5,86	10,04	-12,37	-33,82	-4,35	ед. тепл.
16.	Количество теп. экв. раб. во время расш. показыв. діаграммою	5,7	15,84	7,92	16,5	8,64	14,31	ед. тепл.
17.	Колич. тепл. перешед. отъ стѣнокъ къ смѣси во время расширенія	11,937	9,98	23,95	4,13	-25,5	10,79	ditto
18.	Колич. тепл. перешедшей отъ стѣн. въ холод. во время выпуска	20,214	30,28	3,84	(xxxxxx) 18,34 — — 2,5	43,23	9,61	ditto
19.	Колич. экв. работы во время впуска	1,95	11,22	2,96	12,61	16,37	16,37	ditto
20.	Колич. тепл. обр. въ раб. во время впус. пара	7,65	27,06	10,88	29,11	25,01	30,68	ditto
21	Колич. теплоты соотв. работѣ циркуляцій. во время выпуска въ предположеніи, что давленіе холодиль. $\frac{1}{10}$ атмосферы.	0,55	1,23	0,55	1,97	1,97	1,23	ditto
22	Колич. теп. экв. дѣйствит. собранной въ оборотъ работы.	7,10	25,83	10,33	23,04	23,71	27,88	ditto.
23.	Колич. тепл. потрач. на образованіе цирк. пара, предпол. что температура водѣ = темп. холодной.-	65,554	223,194	72,54	270,62	285,47	117,71	ед. тепл.
24.	Колич. тепл. наибольшее, которое могло быть обращ. въ работу каждой машины, если она дѣйствовала по циклу Карно.-	16,388	51,334	18,130	62,343	65,658	73,153	ед. тепл.
25.	Полезное дѣйствіе машины	0,433	0,503	0,570	0,370	0,432	0,381	отв. число

(x) Въ суммѣ 0,1205 + 0,0048 второе слагаемое представляетъ количество смѣси, сгущающееся въ теченіе одного размаха поршня въ паровомъ кожухѣ, и возобновляющееся въ котлѣ.- Въ описанномъ опытѣ не указано, какая часть теплоты, доставленная этимъ сгущавшимся паромъ, потеряна наружу, и какая часть передана цилиндру.-

(xx) Въ суммѣ 0,1425 + 0,0452 второе слагаемое есть количество смѣси, при каждомъ размахѣ сгущавшееся въ паровомъ кожухѣ и возобновлявшееся въ котлѣ.- Изъ этого количества 0,0452 вслѣдствіе внѣшняго охлажденія сгущалось 0,0066; а остальная 0,0386, сгущаясь передаютъ свою теплоту стѣнкамъ цилиндра.-

Послѣдняя строка этой таблицы, изображающая полезное дѣйствіе представляетъ для каждой машины величину отношенія между дѣйствительно обращенной въ работу теплотою и наибольшимъ ея количествомъ, которое можетъ быть обращено въ работу, значеніе этой дроби для каждой машины представляется на основаніи опытовъ наиболѣе выгодной, но для того, чтобы сказанное заключеніе было правильно, нужно было-бы, чтобы обстоятельства дѣйствія всѣхъ машинъ были одинаковы, между тѣмъ, какъ видно изъ приведенной таблицы далеко не всѣ опыты были произведены въ одинаковыхъ условіяхъ, и особенно расширеніе паровъ различныхъ испытанныхъ машинахъ, было очень различное, а именно мы имѣемъ для машинъ:

I. Въ однимъ цилиндромъ безъ паровой рубашки расширеніе въ — . — . 13,75 раз.
II. Въ однимъ цилиндромъ безъ рубашки, дѣйствующей насыщ. паромъ — . 3,90 .
III. Въ однимъ цилиндромъ и съ паровой рубашкой — . — . — . — . — . — . 9,10 .
IV. Въ одн. цил. безъ рубашки, дѣйствующей перегрѣт. паромъ — . — . — . 3,90 .
V. Машины Вулфа безъ паровой рубашки — . — . — . — . — . — . — . — . 4,40 .
VI. Такой-же съ паровой рубашкой — . — . — . — . — . — . — . — . — . — . 4,40 .

Эта разность въ степени расширенія служитъ отчасти причиною и весьма значительной разницы въ давленіяхъ смѣси въ концѣ расширенія, которая видна изъ строки второй нашей таблицы. — Вслѣдствіе этой разницы а также и другихъ причинъ, оцѣнка достоинства разсматриваемыхъ машинъ не можетъ быть выражена въ настоящемъ случаѣ ихъ полезнымъ дѣйствіемъ, а число это, хотя и полезное, какъ увидимъ ниже, для соображеній объ устройствѣ машинъ, совершенно не можетъ для разсматриваемыхъ опытовъ служить мѣрою ихъ достоинства. —

Обозрѣвая всѣ числа таблицы мы приходимъ къ слѣдующимъ результатамъ:

А. *Относительно осажденія пара во время впуска.* —

1) Присоединеніе паровой рубашки къ цилиндру машины уменьшаетъ количество пара, обращающагося въ воздухъ во время впуска, какъ въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ (I и II; 4 и 8); такъ и въ машинахъ съ двумя цилиндрами (V и VI; 4, и 8), дѣйствіе паровой рубашки въ этомъ отношеніи гораздо замѣтнѣе при маши-

---

(×××) Входящее въ эту сумму слагаемое 1,45 есть количество теплоты, освобождаемое въ рубашкѣ черезъ осажденіе 0,0048 кгр. пара, уменьшенное на 0,95 единицъ теплоты; эта послѣдняя часть теплоты употреблена на вознагражденіе нарушеннаго охлажденія.

(××××) Входящее въ эту сумму слагаемое 2,61 есть количество теплоты освободившееся вслѣдствіе осажденія пара внутри цилиндра, а 17,79 вслѣдствіе осажденія пара внутри кожуха. —

(×××××) Общая потеря 22,47 состоитъ изъ двухъ частей, а именно 12,41 получается отъ охлажденія пара отъ 231° до температуры насыщенія 144,96 а остальная 10,06 отъ осажденія части этого пара, обратившагося въ насыщенный. —

(××××××) Входящія въ эту разность, какъ вычитаемое, 2,5 единицъ теплоты представляетъ потерю отъ нарушеннаго охлажденія, такъ, что въ холодильникъ переносится только 15,84 единицы теплоты. —

нахъ съ однимъ цилиндромъ, нежели при машинахъ съ двумя цилиндрами, но ни въ томъ, ни въ другомъ случаѣ паровая рубашка не предупреждаетъ вполнѣ осажденіе пара на стѣнкахъ цилиндра въ видѣ жидкости.-

2) Неравненно лучшее и болѣе дѣйствительное ослабленіе этого явленія производится устройствомъ машины съ двумя цилиндрами, такъ, чтобы впускъ пара происходилъ въ одинъ малый цилиндръ, а выпускъ пара производился только изъ большаго цилиндра (I и V, 4,8, II и VI и 4,8).-

3) Ослабленію осажденія пара внутри цилиндра во время впуска замѣтно содѣйствуетъ увеличеніе діаметра цилиндра (I и III ; 4,8)

4) Очень сильное осажденіе пара во время впуска уменьшается, хотя и не уничтожается вполнѣ перегрѣвомъ пара (III и IV, 4,8).-

Всѣ эти явленія объясняются чрезвычайно легко: 1) Уменьшеніе осажденія вслѣдствіе присоединенія паровой рубашки происходитъ очевидно отъ того, что при этомъ температура стѣнокъ съ которыми приходитъ въ соприкосновеніе паръ, входящій въ цилиндръ, выше, чѣмъ температура стѣнокъ паровго цилиндра не снабженнаго рубашкою, но какъ видно эта разница нечрезвычайно велика.-

2) Значительное уменьшеніе осажденія пара въ машинахъ съ двумя цилиндрами, сравнительно съ машинами объ одномъ цилиндрѣ, происходитъ отъ того, что въ первыхъ стѣнки цилиндра, принимающаго горячій паръ, никогда не сообщаются съ холодильникомъ, и охлажденіе ихъ происходитъ не вслѣдствіе того, что осадившаяся на нихъ вода испаряется во время выхода пара изъ цилиндра въ холодильникъ, а вслѣдствіе явленій, имѣющихъ мѣсто во время сообщенія малаго цилиндра съ большимъ; въ это время паръ, подвергаясь постепенному расширенію несомнѣнно охлаждается, но осаждается лишь постепенно мало по малу, при томъ въ началѣ расширенія, когда всѣ стѣнки малаго цилиндра сообщены съ большимъ, температура ихъ почти нисколько не понижается, сравнительно съ тѣмъ, что она была во время сообщенія съ котломъ и затѣмъ лишь мало по малу ихъ эта охлаждается вслѣдствіе своего расширенія, но въ то-же самое время стѣнки малаго цилиндра постепенно закрываются вслѣдствіе движенія впередъ малаго поршня, и такимъ образомъ если-бы во время расширенія и происходило нѣкоторое отнятіе теплоты отъ стѣнокъ малаго цилиндра, то это отнятіе можетъ происходить лишь въ неравненно меньшей степени, чѣмъ въ прежнемъ случаѣ, когда паръ входитъ въ цилиндръ, стѣнки котораго непосредственно передъ тѣмъ были сообщены съ холодильникомъ.- Понятно также, что осажденіе пара въ маломъ цилиндрѣ должно еще нѣсколько уменьшиться вслѣдствіе присоединенія къ нему паровой рубашки.- Это послѣднее уменьшеніе впрочемъ не должно быть значительно, т. к. вообще паровая рубашка производитъ на осажденіе пара вліяніе очевидно гораздо слабѣйшее, чѣмъ раздѣленіе дѣйствія пара на два цилиндра.-

3) Вліяніе большаго діаметра цилиндра на уменьшеніе осажденія пара понятно само собою, т. к. чѣмъ больше цилиндръ, тѣмъ меньше поверхность его стѣнокъ

относительно полнаго его объема.-

4) Точно также понятно безъ дальнѣйшихъ объясненій и уменьшеніе осажденія пара посредствомъ его перегрѣва, т.к. въ этомъ случаѣ паръ, прежде чѣмъ осаждаться, отдаетъ стѣнкамъ цилиндра довольно значительное количество теплоты, посредствомъ простаго уменьшенія своей температуры.-

Б. *Относительно дѣйствія пара во время расширенія.*-

Сравнивая строки 8 и 12 видно, что за исключеніемъ только машины съ двумя цилиндрами безъ оболочки (V) и машины дѣйствующей перегрѣтымъ паромъ (IV) во время расширенія происходитъ не осажденіе пара, напротивъ того обращеніе воды въ паръ.- Разсматривая-же строку 17 усматриваемъ, что за исключеніемъ только одной машины съ двумя цилиндрами безъ оболочки происходитъ обратное явленіе, т.е. теплота во время расширенія отдается стѣнкамъ цилиндра.- Оставляя покамѣстъ въ сторонѣ машины съ двумя цилиндрами, мы весьма легко объясняемъ себѣ, имѣющій мѣсто во время расширенія переходъ теплоты отъ стѣнокъ цилиндра къ смѣси внутри его находящейся тѣмъ, что какъ вода покрывающая стѣнки, образовавшаяся во время впуска черезъ осажденіе пара, такъ и самыя стѣнки имѣютъ температуру болѣе высокую чѣмъ смѣсь, находящаяся въ періодѣ расширенія и постепенно черезъ нее охлаждающаяся.- Что касается до машинъ съ двумя цилиндрами безъ паровой рубашки, то въ нихъ вслѣдствіе слабаго осажденія пара во время впуска, количество теплоты переданной стѣнкамъ малаго цилиндра въ теченіе этого періода очень мало и затѣмъ во время расширенія паръ соприкасается съ только что охлажденными посредствомъ предварительнаго сообщенія съ холодильникомъ, стѣнками большаго цилиндра, вслѣдствіе чего, само собою разумѣется происходитъ осажденіе пара и отнятіе отъ него стѣнками большаго цилиндра теплоты, которое въ этихъ машинахъ далеко невознаграждается тѣмъ небольшимъ количествомъ теплоты, которое передается смѣси во время расширенія отъ стѣнокъ малаго цилиндра, согрѣтыхъ осадившимся на нихъ во время впуска паромъ.- Изъ таблицы (V.17) видно, что количество отдаваемой при расширеніи стѣнкамъ теплоты въ этихъ машинахъ весьма большое; это вредное явленіе значительно ослабляется въ машинахъ Вульфа съ паровою рубашкой въ которыхъ теплота, передаваемая стѣнкамъ цилиндра, осаждающимся внутри котелка паромъ не только вознаграждаетъ все количество теплоты, отнятое отъ стѣнокъ большаго цилиндра его предварительнымъ сообщеніемъ съ холодильникомъ, но даже часть этой теплоты прямо передается расширяющейся смѣси, какъ это видно изъ нашей таблицы (VI.9,15,16,17).- Изъ нея видно, что во время впуска отдается стѣнкамъ отъ смѣси только (VI,9) 2,61 единицъ, въ работу во время расширенія обращается (VI,16) 14,31, внутренняя-же теплота смѣси во время расширенія уменьшается лишь на 4,75 единицъ теплоты, т.к. 2,61 единицы теплоты переданныя стѣнкамъ во время впуска могутъ потомъ быть только возвращены смѣси и притомъ не иначе, какъ во время расширенія, то изъ этого источника, соединеннаго съ уменьшеніемъ (VI,15) на 4,75 единицы внутренней теплоты пара во время расширенія могутъ быть обращены въ работу только 7,36 единицъ теплоты, а какъ въ дѣйствитель-

ности обращается въ работу 14,31 (VI, 16) единицъ, то остатокъ 14,31 — 7,36 = = 6,95 очевидно доставляется теплотою, передаваемою въ рубашкѣ, такъ, что въ этомъ случаѣ изъ 17,79 единицъ теплоты, собираемой въ рубашкѣ, въ дѣйствительности работу обращается 6,95 единицъ т.е. почти 39% — что очевидно есть весьма выгодное употребленіе.—

Изъ предъидущаго сравненія способа дѣйствія пара въ разныхъ машинахъ можно прямо заключить, что машины системы Вульфа съ паровой рубашкой представляются наиболѣе выгодными въ нихъ: 1) вполнѣ отдѣленъ отъ холодильника малый цилиндръ, сообщающійся съ котломъ, вслѣдствіе чего осажденіе пара въ видѣ воды во время впуска происходитъ лишь въ незначительныхъ размѣрахъ, которые еще больше уменьшаются вліяніемъ парового кожуха, или рубашки.— 2) Стѣнки большаго цилиндра, охлаждающіяся вслѣдствіе сообщенія съ холодильникомъ нагрѣваются вновь паромъ, осаждающимся въ кожухѣ и черезъ это не только уничтожается отнятіе теплоты отъ работающаго пара во время расширенія, но даже значительная часть теплоты, освобождаемой паромъ, осаждающимся въ рубашкѣ, переходитъ къ работающему въ машинѣ пару и служитъ къ возвышенію ея полезнаго дѣйствія.— Вліяніе паровой рубашки для машинъ Вульфа весьма явно видно изъ сравненія строкъ 3, 16, 19 въ столбцахъ V и VI; изъ нихъ видно, что машина безъ рубашки при расходѣ пара въ 0,4355 кгр. обращаетъ въ работу 30,68 ед. теплоты, тогда, что каждый килограммъ расходуемаго пара, обращаетъ въ работу въ машинѣ безъ рубашки 57,4 единицъ теплоты, а въ машинахъ съ рубашкой 67 ед. теплоты, что составляетъ прямое сбереженіе топлива на 17%.—

—

ГЛАВА ВТОРАЯ.

Охлажденіе пара.

1. Паровыя машины устраиваются съ охлажденіемъ пара, или безъ онаго; въ послѣднихъ паръ, окончившій свое дѣйствіе выпускается прямо въ атмосферу, которая въ этомъ случаѣ и представляетъ собою холодный источникъ термической паровой машины, въ которой паръ выпускается подъ давленіемъ во всякомъ случаѣ не ниже атмосфернаго, слѣд. при температурѣ не меньшей 100° по Ц.—

Въ машинахъ съ охлажденіемъ пара, отработавшій паръ впускается въ особый сосудъ, въ которомъ температура поддерживается искусственнымъ образомъ не выше 35° — 40° по Ц.; въ этомъ сосудѣ паръ осаждается, понижаетъ свое давленіе и большею частью обращается въ воду; сосудъ, служащій для охлажденія пара наз. холодильникомъ.—

Холодильники бываютъ двухъ родовъ: 1) холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ, гдѣ въ томъ-же сосудѣ, въ который притекаетъ паръ, впрыскивается вода, смѣшивающаяся съ паромъ и производящая его охлажденіе; эти холодильники

употребляются по преимуществу; и 2) холодильники съ наружнымъ охлажденіемъ, употребляющіеся въ нѣкоторыхъ машинахъ, и устроенные такимъ образомъ, что мятый паръ впускается въ особый сосудъ, соприкасающійся своими стѣнками съ охлаждающею жидкостью; эти стѣнки состоятъ обыкновенно изъ мѣдныхъ трубъ, заключенныхъ въ сосудъ, и паръ двигается большею частью внутри этихъ трубъ, а снаружи ихъ циркулируетъ холодная вода. — Въ такомъ родѣ холодильникахъ, охлаждающая вода не смѣшивается съ паромъ, что для морскихъ машинъ весьма важно, т. к. при этомъ получается возможность имѣть для питанія котла прѣсную воду, не смѣшанную съ большимъ количествомъ морской воды, которая даетъ осадки, вредящіе и дѣйствію и прочности котла. Но зато для выхновенныхъ, постоянныхъ машинъ холодильники съ наружнымъ охлажденіемъ, какъ по своей громоздкости, такъ и по большой стоимости трубъ, необходимыхъ для полученія достаточной поверхности, способной охладить паръ, — нерѣдки и рѣдко употребляются.

2. Холодильникъ съ внутреннимъ охлажденіемъ состоитъ изъ сосуда, соединеннаго съ одной стороны съ выходною трубою парового цилиндра, черезъ которую въ сосудъ этотъ приходитъ окончившій свое дѣйствіе паръ; съ другой стороны холодильникъ соединенъ съ резервуаромъ холодной воды другою трубою, оканчивающеюся особымъ устройствомъ, назначеннымъ къ раздѣленію струи воды на возможно мелкія части, чтобы она могла лучше перемѣшиваться съ паромъ и охлаждать его. — Количество воды, этою трубою доставляемой регулируется обыкновенно особымъ краномъ, помощію котораго можно устанавливать, усиливать, ослаблять и совершенно прекращать вбрызгиваніе въ холодильникъ воды. — Вмѣстѣ съ водою кранъ вбрызгивается въ холодильникъ, въ него входитъ также значительное количество воздуха, который при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи, содержится въ водѣ въ пропорціи 5% по объему; этотъ воздухъ освобождается изъ воды при пониженномъ давленіи холодильника и долженъ быть изъ него удаленъ вмѣстѣ съ водою вбрызгиваемою и водою, получаемою при охлажденіи пара. — Для этого служитъ обыкновенно особый насосъ, именуемый воздушнымъ, т. к. по общему весьма значительная часть продуктовъ, выкачиваемыхъ посредствомъ него изъ холодильника состоитъ изъ воздуха. — Этотъ насосъ стоитъ или снаружи холодильника или внутри его; первый типъ есть конструкція Уатта; второй принадлежитъ Мозлею. — Воздушный насосъ устраивается или двойнаго или простаго дѣйствія; въ первомъ случаѣ онъ, подобно всякому насосу двойнаго дѣйствія снабженъ четырьмя клапанами, двумя всасывающими и двумя выпускными, если же воздушный насосъ простаго дѣйствія, то въ немъ вмѣсто двухъ клапановъ обыкновенно устраивается три; одинъ изъ нихъ отдѣляетъ стаканъ насоса отъ холодильника, другой находится въ поршнѣ насоса, и третій служитъ для отдѣленія стакана насоса отъ помѣщенія, въ которое выкачивается вода. — Во время нисходящаго движенія поршня два клапана, отдѣляющіе стаканъ насоса съ одной стороны отъ холодильника, съ другой стороны отъ пріемника въ который выкачиваются продукты, содержащіеся въ холодильникѣ, закрыты; въ началѣ закрытъ также клапанъ поршня. — Помѣрѣ же того,

какъ поршень опускается, въ пространствѣ надъ поршнемъ, давленіе первоначально равное атмосферному, уменьшается, давленіе же подъ поршнемъ, которое при началѣ нисходящаго размаха равно давленію въ холодильникѣ, увеличивается, когда эти два давленія сравняются между собою, клапанъ поршня открывается, и продукты, заключавшіеся подъ поршнемъ, переходятъ на верхъ его; при этомъ очевидно, что стаканъ насоса до самаго конца нисходящаго размаха будетъ сохранять одно и то-же давленіе, которое будетъ заключаться между давленіемъ холодильника и давленіемъ атмосферы.- Затѣмъ начнется восходящій размахъ, клапанъ поршня закроется, давленіе подъ поршнемъ станетъ уменьшаться и когда оно сдѣлается равнымъ давленію въ холодильникѣ, то клапанъ, отдѣляющій холодильникъ отъ стакана насоса откроется и вода вмѣстѣ съ воздухомъ изъ холодильника начнетъ переходить въ стаканъ подъ поршнемъ, въ то-же время давленіе надъ поршнемъ станетъ возрастать и когда оно сравнится съ атмосферным, то клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ пріемника, въ который выкачивается воздухъ и вода, открывается, и вода, вмѣстѣ съ воздухомъ выходитъ изъ стакана насоса.- Все это продолжается до конца восходящаго размаха.-

Чтобы составить себѣ совершенно правильное понятіе о способѣ дѣйствія воздушнаго насоса, замѣтимъ еще одну его особенность, происходящую изъ того, что имъ выкачивается не однородная жидкость, а смѣсь воды и газовъ; особенность эта состоитъ въ слѣдующемъ: когда клапанъ, отдѣляющій холодильникъ отъ стакана насоса, открывается, вода въ холодильникѣ стоитъ обыкновенно выше этого клапана; въ то-же время пространство подъ поршнемъ наполнено только водою; поэтому вода, тотчасъ по открытіи клапана устремляется подъ поршень и вытѣсняетъ за нимъ; это продолжается до тѣхъ поръ, пока уровень въ холодильникѣ не понизится до уровня клапана.- Начиная съ этого момента, при дальнѣйшемъ движеніи поршня кверху, ничто не мѣшаетъ воздуху и отчасти пару идти изъ холодильника въ насосъ, и часть его дѣйствительно перейдетъ туда и помѣстится непосредственно подъ поршнемъ, отъ этого уровень воды упадетъ и насосъ поднимется въ холодильникѣ.- Затѣмъ поршень продолжаетъ подниматься; часть воды снова переходитъ изъ холодильника въ стаканъ; уровень воды снова въ холодильникѣ дойдетъ до клапана, накопившійся воздухъ и паръ, частью снова переходятъ подъ поршень насоса; уровень воды снова падаетъ въ стаканѣ насоса и поднимается въ холодильникѣ и т.д. и все это продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень недостигнетъ своей мертвой верхней точки, т.е. во время восходящаго размаха уровень воды въ холодильникѣ нѣсколько разъ опускается и поднимается и воздухъ проходитъ въ стаканъ насоса пузырями.- При нисходящемъ размахѣ, когда откроется клапанъ поршня, въ пространство надъ нимъ проходятъ сначала воздухъ и паръ, помѣщающіеся подъ поршнемъ, а затѣмъ уже начинаетъ переходить вода, и при этомъ никакихъ особенныхъ явленій не замѣчается.-

Должно обратить вниманіе на роль, которую играетъ клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ пріемника, въ который выкачиваются продукты охлажденія пара; если-бы его не было то насосъ могъ бы дѣйствовать столь-же ис-

правно, и разница заключалась бы только в том, что клапан поршня открывался бы при нисходящем движении несколько позднее, т.к. его открытие могло-бы послѣдовать только послѣ того, как воздух подъ поршнемъ былъ-бы сжатъ до давленія атмосферы; но поршень, при своемъ нисходящемъ разгонѣ, до момента открытія клапана побуждался бы к движенію разностью атмосферного давленія надъ давленіемъ подъ поршнемъ, а во время восходящаго размаха должен былъ-бы преодолѣвать ту же разность; в присутствіи клапана, отдѣляющаго отъ насоса пріемникъ выкачиваемыхъ продуктовъ, давленіе на верхнюю сторону поршня в стаканѣ во время нисходящаго размаха постепенно убывает, а потому работа давленія, побуждающаго поршень к движенію во время опусканія меньше; работа давленія, сопротивляющагося его подъему во время восходящаго размаха будет также меньше, нежели в томъ случаѣ, когда клапана в верхней части стакана не имѣется, т.к. давленіе на верхнюю сторону поршня меньше атмосферного, и поравняется съ нимъ только в тотъ момент, когда нарушенный клапанъ откроется.- Такимъ образомъ клапанъ этотъ уменьшает неравномѣрность усилія, требующагося для движенія воздушнаго насоса, и в этомъ отношеніи см. способствует болѣе равномѣрному ходу машины.-

Независимо отъ этого клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ внѣшняго пространства, в которое выкачиваются продукты охлажденія, приносит еще существенную пользу в другомъ отношеніи.- Если бы этого клапана не было, то при началѣ восходящаго размаха клапанъ поршня стал бы закрываться очень быстро, т.к. это закрытіе производилось бы перевѣсомъ полнаго атмосферного давленія надъ почти совершенною пустотою, образующеюся в стаканѣ насоса подъ поршнемъ при началѣ его восходящаго движенія.- Такое внезапное закрытіе клапана поршня необходимо сопровождается значительнымъ ударомъ, дѣйствующимъ и на поршень воздушнаго насоса, и на всѣ тѣ органы при посредствѣ которыхъ онъ приводится в движение.- Этотъ ударъ значительно ослабляется, если стаканъ насоса отдѣленъ клапаномъ отъ внѣшняго пространства, т.к. при началѣ восходящаго движенія поршня внутри стакана, надъ поршнемъ имѣется давленіе гораздо меньше атмосферного.- Правда, что за то при началѣ нисходящаго движенія поршня производится довольно сильный ударъ, вслѣдствіе закрытія самого клапана, стоящаго вверху воздушнаго насоса, но как сѣдло этого клапана утверждено прямо в неподвижныхъ частяхъ машины, то сказанный ударъ вовсе не производитъ того вреднаго дѣйствія, которое производится ударомъ клапана сидящаго в поршнѣ воздушнаго насоса.-

Для лучшаго объясненія устройства охлаждающихъ приборовъ съ внутреннимъ охлажденіемъ на Таб 1—4 изображены различные типы употребляемыхъ холодильниковъ, изъ нихъ первый (фиг.1,2) устроенъ по общему типу Уатта, второй (фиг.4) по типу Мозеля а третій, четвертый и пятый (фиг.6-15) имѣютъ насосы двойнаго дѣйствія.- Разсматривая означенные чертежи видимъ, что охлаждающій приборъ, изображенный на (фиг. 1) и (фиг. 2) состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ чугунныхъ цилиндровъ, изъ которыхъ правый представляетъ собою стаканъ насоса;

алый есть холодильникъ.— Оба цилиндра установлены на одномъ общемъ чугунномъ ящикѣ, въ которомъ укрѣплено сѣдло всасывающаго клапана.— Около сѣдла въ ящикѣ имѣется отверстіе, закрытое привинченною крышкою, для возможности осматривать клапанъ.— Выше стакана насоса (правый цилиндръ) находится небольшой бакъ, въ которомъ обращается теплая вода, отводимая изъ этого бака особой трубой; внутри холодильника (лѣвый цилиндръ) находится привинченная къ чугунному ящику поднимающаяся вверхъ труба, которая можетъ закрываться или открываться болѣе или менѣе посредствомъ коническаго клапана, которому движеніе сообщается при помощи соединенныхъ съ нимъ стержня отъ особаго ручнаго маховика, устройство котораго изображено на (ф. 3).— Дѣйствіемъ этого клапана въ устьѣ трубы образуется большее или меньшее кольцеобразное отверстіе, черезъ которое холодная вода вбрызгивается въ видѣ распадающагося фонтана въ холодильникъ и весьма хорошо перемѣшивается съ мятнымъ паромъ, поступающимъ въ холодильникъ трубою, примыкающею къ нему въ верхней части.—

Обыкновенно весь холодильникъ такого устройства ставится внутри особаго резервуара, наполненнаго холодной водой, играющею при этомъ двоякую роль.— Она охлаждаетъ стѣнки холодильника и сверхъ того предохраняетъ отъ доступа воздуха соединенія между отдѣльными составными частями холодильника, а черезъ то предотвращаетъ просачиваніе воздуха черезъ мощія быть въ соединеніяхъ неплотности, вливаніе же черезъ эти неплотности въ холодильникъ холодной воды не можетъ на его дѣйствіе оказать вреднаго вліянія, разумѣется подъ условіемъ, что это количество не будетъ черезъ чуръ велико, и не затруднитъ дѣйствія воздушнаго насоса.—

(Фиг. 4) изображаетъ общее устройство холодильника по типу Мюдзеля; какъ видно изъ чертежа воздушный насосъ поставленъ внутри цилиндра A, составляющаго собственно холодильникъ, въ который трубою D притекаетъ мятный паръ, а хлоросолъ E притекаетъ холодная вода, предварительно проходящая черезъ регулирующій кранъ F; Эта вода идетъ въ холодильникъ изъ бака, внутри котораго онъ помѣщенъ (съ тою же цѣлью, съ которою была объяснена при описаніи предыдущаго холодильника).—

Надъ воздушнымъ насосомъ и здѣсь находится камера, въ которой собирается теплая вода, отводимая трубою J.— Изображенный на чертежѣ холодильникъ имѣетъ только два клапана, а именно одинъ внутри поршня, а другой, отдѣляющій стаканъ воздушнаго насоса отъ внѣшняго пространства; клапана же, отдѣляющаго холодильникъ отъ стакана воздушнаго насоса здѣсь нѣтъ и вслѣдствіе этого дѣйствіе воздушнаго насоса нѣсколько видоизмѣняется сравнительно съ тѣмъ, что было объяснено выше.— Восходящій размахъ ничѣмъ не отличается отъ восходящаго размаха и при существованіи между холодильникомъ и насосомъ клапана, т.к. этотъ послѣдній при восходящемъ размахѣ открытъ; но при нисходящемъ движеніи поршня прежде всего воздухъ, находящійся непосредственно подъ поршнемъ сдавливается, увеличивая давленіе на поверхность воды въ стаканѣ, и вода эта, имѣющая свободное сообщеніе съ холодильникомъ понижаетъ свой уровень внутри насоснаго стакана и повышаетъ его въ холодильникѣ.— Это продолжается до

тѣхъ поръ, пока вслѣдствіе постепеннаго пониженія поршня давленіе поверхъ его не сдѣлается на вѣсъ клапана меньше постепенно возрастающаго давленія подъ поршнемъ; тогда клапанъ поршня откроется и сначала воздухъ, а потомъ и вода (когда поршень опустится до ея уровня въ стаканѣ) начнутъ переходить на верхнюю сторону поршня.- Такимъ образомъ вслѣдствіе отсутствія нижняго клапана, вода въ стаканѣ, поднятая при восходящемъ размахѣ, безполезнымъ образомъ опускается во время нисходящаго размаха, причемъ такія-же колебанія уровня являются и въ холодильникѣ, а вслѣдствіе того, то уменьшается, то увеличивается объемъ воздуха и пара внутри холодильника, и это отражается колебаніями также и въ давленіи холодильника, поэтому и здѣсь устройство клапана между насосомъ и холодильникомъ принесло бы существенную пользу.-

(фиг. 6 и 7) изображаютъ холодильникъ съ горизонтальнымъ насосомъ двойнаго дѣйствія; здѣсь холодильникомъ собственно служитъ пространство A въ которое вода приводится сильными трубами E и E' черезъ кранъ F изъ трубы G, а мятый паръ приводится трубою D. Воздушный насосъ B расположенъ внизу холодильника и отдѣленъ отъ него двумя всасывающими клапанами d и d'; резервуаръ теплой воды K находится въ верхней части холодильника и отдѣленъ отъ насоса двумя напорными клапанами f и f'.- Какъ видно изъ чертежа сальникъ воздушнаго насоса находится подъ водою съ цѣлью предотвратить просачиваніе воздуха; клапаны здѣсь прямоугольные, сдѣланные изъ вулканизированнаго каучука, опирающагося на бронзовыя рѣшетки, изображенныя на (фиг. 9—10); на (фиг. 8) изображено приспособленіе, которое довольно часто употребляется для того, чтобы остановить дѣйствіе холодильника (на случай его починки) и продолжать дѣйствіе паровой машины безъ охлажденія пара.- Для этого на трубѣ A, отводящей мятый паръ изъ цилиндра устроивается клапанъ F, который имѣетъ форму двойнаго конуса, и можетъ быть нажатъ винтомъ или къ верхнему или къ нижнему своему сѣдлу; въ первомъ случаѣ, который и изображенъ на чертежѣ, паръ изъ трубы A идетъ внизъ, и затѣмъ боковою трубою отводится въ холодильникъ; во второмъ случаѣ паръ изъ трубы A идетъ наверхъ и отводится въ атмосферу.-

Фиг. 11 и 12 представляютъ другой холодильникъ съ горизонтальнымъ насосомъ двойнаго дѣйствія и съ каучуковыми кружными клапанами, устроенными по системѣ Пенна, и изображенными детально на фиг. 13.- Холодильникъ имѣетъ здѣсь видъ прямоугольнаго ящика, въ нижней части котораго помѣщенъ насосъ; съ одной стороны его находится клапанный ящикъ, раздѣленный посрединѣ перегородкою, отдѣляющею всасывающій (нижній) и нагнетательный (верхній) клапаны, сообщающіеся съ лѣвой стороною поршня, отъ такихъ-же клапановъ, работающихъ на его правой сторонѣ.- При такомъ расположеніи насоса, весьма нерѣдко систему верхнихъ клапановъ поднимаютъ нѣсколько надъ насосомъ съ тою цѣлью, чтобы воздухъ, проходящій черезъ всасывающій клапанъ нашелъ себѣ помѣщеніе въ клапанной коробкѣ, по возможности не входя въ самый стаканъ насоса.- Какъ видно при обѣихъ холодильникахъ съ воздушными насосами двойнаго дѣйствія употреблены каучуковые клапаны вмѣсто металлическихъ, весьма часто употребляемыхъ въ насосахъ простаго дѣйствія.-

Причина предпочтенія каучуковыхъ клапановъ заключается въ значительной скорости движенія, которую обыкновенно придаютъ насосамъ двойнаго дѣйствія, приводимымъ въ движеніе прямо отъ стержня пароваго поршня.- При такой значительной скорости удары металлическихъ клапановъ весьма сильны и дѣйствіе ихъ очень скоро разстраивается; удары же каучуковыхъ клапановъ въ значительной степени смягчаются ихъ упругостью, и для большаго ослабленія этихъ ударовъ по примѣру Пенна каучуковые клапаны обыкновенно подраздѣляютъ на отдѣльные круглые клапаны, имѣющіе въ діаметрѣ не больше 18 cent.; такое подраздѣленіе весьма полезно, какъ для уменьшенія силы удара, такъ и для того, чтобы порча одного или нѣсколькихъ изъ большаго числа клапановъ не могла остановить дѣйствія насоса.-

На (ф. 14 и 15) изображенъ холодильникъ, устроенный подобно предъидущему, но въ которомъ клапаны расположены не сбоку, а по концамъ насоса.-

3. Для опредѣленія размѣровъ охлаждающаго прибора всего важнѣе знать количество воды, потребное для охлажденія; въ механической теоріи теплоты показано, что если означимъ черезъ G количество охлаждаемаго пара, а черезъ G' нужное для его охлажденія количество воды, то:

$$\frac{G'}{G} = \frac{t - t' + x\tau}{t' - t_0} = \frac{t + \tau - t_0 - (1-x)\tau}{t' - t_0} = \frac{606{,}5 + 0{,}305t - t' - (1-x)\tau}{t' - t_0}$$

гдѣ t' температура продуктовъ охлажденія, t_0 есть температура охлаждающей воды а t и τ суть температура и скрытая теплота охлаждаемаго пара; $(1-x)$ представляетъ степень влажности пара, т.е. x есть пропорція пара въ смѣси; это равенство показываетъ, что разсматриваемое отношеніе измѣняется вмѣстѣ съ температурами охлаждающей воды, охлаждаемаго пара и продуктовъ охлажденія, а также и степенью влажности пара, поступающаго въ холодильникъ.-

Количество охлаждающей воды весьма существенно зависитъ отъ ея температуры, чѣмъ меньше ея температура, тѣмъ меньшее количество воды потребно для охлажденія.- Обыкновенно не встрѣтится затрудненія, чтобы имѣть для охлажденія воду, которой температура не выше 15° по Ц., а слѣд. въ предъидущей формулѣ можно полагать $t_0 = 15°$.-

Температура охлаждаемаго пара также оказываетъ вліяніе на количество воды, употребляемой для охлажденія, но вліяніе это сравнительно весьма слабое, такъ напр. предполагая $t' = 40$, $t_0 = 15$, $x = 1$ мы получимъ:

при t =	152	100	40
G'/G =	24,5	23,9	23,1

При x отличномъ отъ единицы, вліяніе температуры охлаждаемаго пара на количество потребляемой воды также весьма мало: такъ, повторяя вычисленіе при тѣхъ-же данныхъ, но при $x = 0{,}8$, мы получимъ:

при t =	152,	100	40
G'/G =	20,5	19,6	18,5;

Только что приведенныя числа показываютъ въ то-же время, что степень влажности охлаждаемаго пара имѣетъ большое вліяніе на количество охлаждающей воды, а именно: чѣмъ влажнѣе паръ, поступающій въ холодильникъ, тѣмъ менѣе требуется воды для его охлажденія.- Но намъ извѣстно, что при томъ-же началь-

номъ давленіи дѣйствующаго въ цилиндрѣ пара, температура пара, окончившаго свое дѣйствіе и поступающаго въ холодильникъ будетъ тѣмъ ниже, и степень влажности тѣмъ больше, чѣмъ больше степень разширенія пара во время его дѣйствія.- Поэтому разширеніе пара, кромѣ прямого своего вліянія на увеличеніе полезнаго дѣйствія, приноситъ еще косвенную пользу, уменьшая количество воды, необходимой для охлажденія пара и слѣд. сокращая расходы, какъ на ея доставленіе къ машинѣ, такъ и на выкачиваніе ея посредствомъ воздушнаго насоса.-

Самое важное вліяніе на количество потребной для охлажденія воды оказываетъ температура продуктовъ охлажденія.- Если вычислить величину отношенія S'/S, предполагая $t=100°$, $x=1$, $t_0=15°$ при различныхъ значеніяхъ температуры t', то получимъ слѣдующую таблицу:

Температура продуктовъ охлажденія по Ц.	Давленіе въ холодильникѣ въ атмосферахъ	Отнош. вѣса охлажд. воды къ вѣсу охлажд. пара	Температура продуктовъ охлажденія по Ц.	Давленіе въ холодильникѣ въ атмосферахъ	Отнош. вѣса охлажд. воды къ вѣсу охлажд. пара
15	0,018	∞	60	0,210	13,10
20	0,025	126,00	65	0,260	11,70
25	0,035	62,50	70	0,330	10,54
30	0,046	41,30	75	0,400	9,70
35	0,062	30,70	80	0,480	8,76
40	0,080	24,40	85	0,590	8,00
45	0,104	20,10	90	0,700	7,46
50	0,132	17,10	95	0,840	6,93
55	0,167	14,80	100	1,000	6,35

Изъ этой таблицы видно: 1) что съ увеличеніемъ температуры продуктовъ охлажденія давленіе внутри холодильника возрастаетъ, но вначалѣ это возрастаніе весьма медленно, а потомъ становится все быстрѣе и быстрѣе; 2) что съ возрастаніемъ допускаемаго въ холодильникѣ давленія, количество потребной воды уменьшается, притомъ сначала весьма быстро, а по мѣрѣ приближенія давленія къ атмосферному все медленнѣе и медленнѣе, слѣд. наоборотъ съ возрастаніемъ количества охлаждающей воды, давленіе въ холодильникѣ падаетъ сначала очень быстро, а потомъ по мѣрѣ увеличенія количества воды, паденіе давленія становится все медленнѣе и медленнѣе, и наконецъ 3) что начиная съ того количества воды, которое достаточно, чтобы довести давленіе до 0,08 атм. (40° температуры) давленіе съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ количества охлаждающей воды, хотя и понижается, но пониженіе это едва замѣтно.- Изъ этого видно, что представляется серьезное невыгодство въ томъ, чтобы отсекать температуру продуктовъ охлажденія ниже 35 — 40 градусовъ, т.к. при дальнѣйшемъ пониженіи, выгода, получаемая отъ уменьшенія давленія не вознаграждаетъ расходовъ на доставленіе къ машинѣ холодной воды и на выкачиваніе изъ холодильниковъ продуктовъ охлажденія.-

Практика Чатта состояла въ томъ, чтобы доставлять для охлажденія пара

количество воды, превосходящее въ 27 разъ по вѣсу количество охлаждаемаго пара, что соотвѣтствуетъ давленію холодильника въ 0,07 атм. — По предъидущему разсчету при давленіи холодильника въ 0,08 атм., отношеніе между вѣсомъ охлаждающей воды и охлаждаемаго пара 24,4. — Нынѣ-же охлажденіе употребляется по преимуществу для машинъ, дѣйствующихъ со значительнымъ расширеніемъ пара; а изъ цилиндра тѣхъ машинъ паръ выходитъ съ большимъ процентомъ влажности даже и въ томъ случаѣ, если онъ при началѣ своего дѣйствія совершенно сухъ; поэтому, согласно приведеннымъ даннымъ, и если не заботиться о пониженіи давленія въ холодильникѣ далѣе 0,1 атм. то въ большинствѣ случаевъ можно принимать, что количество охлаждающей воды должно превосходить количество охлаждаемаго пара не болѣе, какъ въ 20 разъ. — Это число можно полагать въ основаніе всего разсчета охлаждающаго прибора, когда встрѣчается затрудненіе въ дешевой доставкѣ воды къ машинѣ; во всѣхъ-же случаяхъ, въ которыхъ этого затрудненія не имѣется благоразумнѣе слѣдовать правилу Уатта, разсчитывая, что на охлажденіе пара потребно количество воды въ 27 разъ большее по вѣсу противъ количества охлаждаемаго пара; притомъ, при опредѣленіи количества охлаждаемаго пара, должно считать, что машина дѣйствуетъ съ наименьшимъ возможнымъ для нея расширеніемъ; такъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда для временнаго увеличенія производимой машиной работы предполагается иногда дѣйствовать совсѣмъ безъ расширенія пара, должно принимать, что при каждомъ размахѣ поршня, количество охлаждаемаго пара наполняетъ собою весь объемъ цилиндра, что этотъ паръ совершенно сухой, и что температура его равна температурѣ внутри котла.

4. На основаніи предъидущаго нетрудно опредѣлить объемъ продуктовъ охлажденія, который долженъ быть удаленъ изъ холодильника посредствомъ воздушнаго насоса во время одного оборота вала машины. —

На самомъ дѣлѣ, пусть G будетъ вѣсъ пара, расходуемаго при одномъ оборотѣ вала машины, и пусть σ означаетъ удѣльный объемъ воды; произведеніе $G\sigma$ очевидно будетъ представлять собою объемъ воды, образующейся вслѣдствіе охлажденія пара, расходуемаго въ машинѣ при каждомъ оборотѣ вала машины; къ этому объему присоединяется объемъ охлаждающей воды, который, согласно приведенному въ параграфѣ 3 равенству будетъ:

$$G'\sigma = G\sigma\,\frac{t - t' + x\eta}{t' - t_0}$$

Къ этимъ двумъ объемамъ присоединяется еще объемъ, занимаемый воздухомъ, освобождающимся изъ воды въ холодильникѣ. — Какъ сказано выше, вода при атмосферномъ давленіи содержитъ въ себѣ до 5% по объему растворенного воздуха, который до входа въ холодильникъ имѣетъ слѣд. объемъ равный:

$$0{,}05 . G'\sigma = 0{,}05 . G\sigma\,\frac{t' - t' + x\eta}{t' - t_0}$$

По входѣ въ холодильникъ этотъ воздухъ расширяется, какъ вслѣдствіе того, что давленіе въ холодильникѣ меньше атмосфернаго, такъ и вслѣдствіе того, что температура холодильника выше температуры, которую имѣлъ воздухъ внѣ холодильника. — Чтобы вычислить объемъ, занимаемый воздухомъ, послѣ того, какъ онъ вошелъ въ холодильникъ, назовемъ черезъ h, выраженную въ миллиметрахъ высоту

столба ртути уравновѣшивающаго давленіе въ холодильникѣ, а черезъ T_0 и T' — обозначимъ абсолютныя температуры охлаждающей воды и холодильника; въ такомъ случаѣ, на основаніи закона Бе-Люссака и Маріотта объемъ, принимаемый воздухомъ по входѣ его въ холодильникъ будетъ:

$$0{,}05 . G'б \frac{760}{h} . \frac{T'}{T_0} = 0{,}05 . Gб \frac{t'-t+xr}{t'-t_0} . \frac{760}{h} . \frac{T}{T_0}$$

Такимъ образомъ весь объемъ продуктовъ охлажденія, при давленіи холодильника будетъ:

$$Gб\left\{1 + \frac{t-t'+xr}{t'-t_0}\left[1 + 0{,}05 . \frac{760}{h} . \frac{T_1}{T_0}\right]\right\}$$

Опредѣленный этою формулою объемъ продуктовъ охлажденія не будетъ совершенно правиленъ, т.к. мы принялъ въ соображеніе, что не весь паръ вошедшій въ холодильникъ осаждается и принимаетъ состояніе капельной жидкости, а что напротивъ часть его остается въ видѣ пара и слѣд. занимаетъ сравнительно гораздо больший объемъ, чѣмъ предположено при выводѣ означенной формулы. На этомъ основаніи объемъ жидкости, которую нужно выкачать воздушнымъ насосомъ вообще больше, чѣмъ найденный нами объемъ продуктовъ охлажденія; а какъ сверхъ того объемъ жидкости, выкачиваемый насосомъ всегда меньше, чѣмъ объемъ, описываемый поршнемъ насоса во время всасывающаго размаха, то этотъ послѣдній объемъ долженъ вообще значительно превосходить численную величину послѣдней написанной формулы. Чтобы найти практическій коэфиціентъ на который ее надо помножить, дабы получить надлежащій объемъ воздушнаго насоса, всего лучше сравнить результаты формулы съ дѣйствительнымъ объемомъ воздушныхъ насосовъ, исполненныхъ и хорошо дѣйствующихъ паровыхъ машинъ.

Въ машинахъ низкаго давленія системы Вульфа (дѣйствующихъ безъ расширенія) при давленіи пара равномъ атмосферному, можно полагать $x=1$, $t=100$, $t'=35$ $t_0=15$; въ такомъ случаѣ:

$$h = 62\tfrac{m}{m}\ ;\quad T' = 273 + 35 = 38\ ;\quad T_0 = 273 + 15 = 288.$$

и слѣд:

$$\frac{t-t'+xr}{t'-t_0} = 24{,}40\ ;\qquad 0{,}05 . \frac{760}{h} . \frac{T_1}{T_0} = 0{,}677$$

а потому объемъ продуктовъ охлажденія составитъ по выведенной формулѣ:

$$Gб\left[1 + 24{,}40\{1 + 0{,}677\}\right] = 41{,}91 . Gб = 0{,}04191 . G \text{ куб. метр.}$$

Вѣсъ G пара, расходуемаго въ одинъ оборотъ вала легко опредѣляется въ зависимости отъ объема, описываемаго паровымъ поршнемъ; назвавъ этотъ объемъ черезъ v, и полагая, что вредное пространство составляетъ $0{,}05v$, получимъ, что объемъ пара, расходуемаго въ одинъ оборотъ вала машины будетъ $2{,}1v$; а какъ удѣльный объемъ пара, имѣющаго атмосферное давленіе есть 1,65, то вѣсъ G пара, расходуемаго въ одинъ оборотъ вала машины составитъ $\frac{2{,}1}{1{,}65}v = 1{,}273v$ и слѣд. теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія, собирающихся въ холодильникѣ въ теченіе одного оборота вала машины будетъ:

$$1{,}273 \times 0{,}04191v = 0{,}0534v.$$

т.е. теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія составляетъ немного болѣе $\frac{1}{19}$ объема цилиндра.

Между тѣмъ Редтенбахеръ въ своихъ *Kritiker zum Wasserinnen* даетъ правила, что въ машинахъ низкаго давленія системы Уатта, т.е. дѣйствующихъ безъ расширенія, діаметръ воздушнаго насоса простаго дѣйствія долженъ составлять $\frac{2}{3}$ діаметра пароваго поршня и размаха воздушнаго насоса

равенъ половинѣ размаха пароваго поршня; потому и объемъ, который описывается поршнемъ воздушнаго насоса, въ дѣйствительности составляетъ $\frac{2}{9}$ объема, т.е. этотъ объемъ слишкомъ вчетверо болѣе теоретическаго объема продуктовъ охлажденія, вычисленнаго въ предъидущемъ параграфѣ; въ машинахъ, построенныхъ самимъ Уаттомъ объемъ, описываемый поршнемъ воздушнаго насоса составляетъ $\frac{1}{8}$ объема, описаннаго паровымъ поршнемъ, т.е. этотъ объемъ въ $2\frac{1}{2}$ раза больше теоретическаго объема продуктовъ охлажденія, наконецъ существуетъ весьма много машинъ, гдѣ объемъ воздушнаго насоса составляетъ отъ $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{7}$ объема, описываемаго паровымъ поршнемъ и гдѣ, слѣд. воздушный насосъ приблизительно въ три раза превосходитъ теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія.-

Принимая въ соображеніе, что машины, въ которыхъ заимствованы эти послѣднія данныя, относительно охлажденія дѣйствуютъ очень хорошо, можно принять вообще за правило, что для нахожденія объема воздушнаго насоса слѣдуетъ, опредѣливъ по вышеданной формулѣ для одного оборота вала теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія, увеличить его отъ $2\frac{1}{2}$ до 3 разъ; полученное произведеніе и будетъ объемъ воздушнаго насоса простаго дѣйствія; воздушный насосъ двойнаго дѣйствія будетъ конечно въ 2 раза меньше, т.е. будетъ равенъ теоретическому объему продуктовъ охлажденія, получаемыхъ при одномъ оборотѣ вала, увеличенному на 25% или на 50%.

Опредѣливъ объемъ, который долженъ быть описываемъ поршнемъ воздушнаго насоса, слѣдуетъ задать себѣ длину его размаха и затѣмъ найти площадь поршня.- При заданіи длины размаха нужно руководствоваться слѣдующими соображеніями: 1) насосъ дѣйствуетъ тѣмъ лучше, удары клапановъ его тѣмъ слабѣе, случаи остановки тѣмъ рѣже, чѣмъ меньше скорость поршня; 2) чрезвычайно важно, чтобы передача движенія поршню воздушнаго насоса была по возможности простая и входила естественнымъ образомъ въ установку машины; 3) расположеніе всѣхъ частей охлаждающаго прибора должно быть по возможности на виду, чтобы осмотръ ихъ былъ незатруднителенъ.-

Всѣ эти условія весьма удобно исполнить въ машинахъ съ коромысломъ, гдѣ воздушный насосъ подвѣшивается къ параллелограмму такимъ образомъ, что размахъ его обыкновенно составляетъ половину размаха поршня.- Оно также легко выполнимо и при такъ наз. машинахъ простаго дѣйствія (т.е. безъ коромысла) если не встрѣчается препятствія посадить на валъ машины особый кривошипъ, или сдѣлать особое колѣно для приведенія въ движеніе воздушнаго насоса, который тогда располагается по сосѣдству съ паровымъ цилиндромъ; если оказывается неудобнымъ устройство особаго кривошипа или колѣна на валѣ воздушнаго насоса, то нерѣдко, особенно при горизонтальныхъ машинахъ или устанавливаютъ холодильникъ по продолженію оси цилиндра, такъ, что паровой поршень и поршень насоса укрѣпляются на одномъ и томъ-же стержнѣ, или передаютъ движеніе отъ головки стержня пароваго поршня особому коромыслу, къ которому уже привѣшивается поршень воздушнаго насоса, конечно въ первомъ случаѣ поршень насоса получаетъ большую скорость и первое изъ приведенныхъ условій остается недостаточно выполненнымъ, но зато два другія условія выполнены превосходно; во второмъ случаѣ можно придать поршню насоса умѣренную скорость, но очевидно второе и третье изъ указанныхъ для

воздушнаго насоса целый остаются совершенно неудовлетворенными, особенно для горизонтальных машинъ, при которыхъ холодильникъ и воздушный насосъ въ этой системѣ приходится ставить въ особой ямѣ.— Имѣя это въ виду, а равно принимая въ соображеніе, тотъ фактъ, что существуютъ и хорошо дѣйствуютъ даже такія машины, въ которыхъ скорость воздушнаго насоса доходитъ до двухъ метровъ, можно принять за правило, что если для подъемливанія поршня воздушнаго насоса къ валу будетъ затруднительно посадить на немъ особый кривошипъ или сдѣлать особое кольцо, то преимущественно должно стараться укрѣпить поршень воздушнаго насоса на паровомъ стержнѣ, причемъ конечно онъ имѣетъ размахъ, равный размаху пароваго поршня; если же устройство кривошипа или кольца на главномъ валѣ не затруднительно, то этотъ послѣдній способъ приведенія въ движеніе воздушнаго насоса должно предпочесть, и для уменьшенія скорости поршня воздушнаго насоса размахъ его сдѣлать отъ $\frac{1}{2}$ до $\frac{1}{3}$ размаха пароваго поршня, наблюдая, чтобы скорость поршня была отъ 40 до 70 cent. въ секундѣ.-

5. Всасывающій клапанъ воздушнаго насоса долженъ быть разсчитанъ такимъ образомъ, чтобы продукты охлажденія, которые побуждаются при всасывающемъ движеніи поршня воздушнаго насоса переходить изъ холодильника въ стаканъ насоса единственно только избыткомъ давленія въ холодильникѣ надъ давленіемъ въ стаканѣ насоса подъ поршнемъ, проходили черезъ этотъ клапанъ при каждомъ всасывающемъ размахѣ поршня въ количествѣ равномъ совокупному ихъ вѣсу поступающему въ холодильникъ при одномъ оборотѣ, или при одномъ полуоборотѣ вала, смотря потому будетъ-ли воздушный насосъ простаго дѣйствія, или двойнаго, а т.к. давленіе, подъ которымъ вода поступаетъ изъ холодильника въ стаканъ насоса можно считать для всѣхъ машинъ съ охлажденіемъ приблизительно одинаковымъ, то и скорость движенія черезъ всасывающій клапанъ, можно считать также одинаковой для всѣхъ машинъ, если назовемъ эту скорость черезъ u, и черезъ A площадь отверстія клапана, а черезъ t-продолжительности его всасывающаго размаха, то объемъ продуктовъ охлажденія проходящій въ теченіе этого времени въ насосный стаканъ будетъ $A.u.t$; называя черезъ n число оборотовъ главнаго вала машины въ минуту, получимъ вслѣдствіе употребленія насосовъ двойнаго дѣйствія $nt = 30$, а потому объемъ продуктовъ охлажденія, переходящихъ въ насосный стаканъ при одномъ всасывающемъ размахѣ поршня составитъ $A.u.\frac{30}{n}$.-

Если R будетъ объемъ, описываемый при всасывающемъ размахѣ поршнемъ насоса, то очевидно должно быть:

$$A.u.\frac{30}{n} = R \quad \text{или} \quad A = \frac{n.R}{30.u} = \frac{R}{v}\cdot\frac{1}{30.u}\cdot n.v.-$$

(гдѣ v объемъ, описываемый въ одинъ размахъ паровымъ поршнемъ); а какъ $\frac{n.v}{30}$ есть очевидно объемъ, описанный паровымъ поршнемъ въ теченіе секунды, то называя этотъ объемъ, выраженный въ кубическихъ метрахъ черезъ $\mathfrak{M}$, мы получимъ:

$$\frac{A}{\mathfrak{M}} = \frac{R}{v}\cdot\frac{1}{u}$$

Но если назовемъ черезъ N, нормальную силу машины въ паровыхъ лошадяхъ, то по правилу Уатта будетъ $N = 65\,\mathfrak{M}$, а предъидущее равенство приведется къ:

$$65\frac{A}{N} = \frac{1}{u}\times\frac{R}{v}$$

откуда:
$$u = \frac{\left(\frac{R}{v}\right)}{65\left(\frac{A}{N}\right)}$$

Въ трехъ изъ существующихъ машинъ имѣемъ соотвѣтственно:

$$A/N = 0{,}0010 \; ; \quad 0{,}0014 \; ; \quad 0{,}0012 \; ;$$
$$R/v = 0{,}171 \; ; \quad 0{,}170 \; ; \quad 0{,}172 \; ;$$

а потому на основаніи предъидущей формулы получимъ соотвѣтственно:

$$u = 2{,}63 \; ; \quad 1{,}87 \; ; \quad 2{,}21 \; ;$$

Отсюда видно, что вообще можно для разсчета всасывающаго клапана принять, что средняя скорость продуктовъ охлажденія при проходѣ черезъ этотъ клапанъ составляетъ 2,2 метра, или что то-же, что давленіе, производящее эту скорость составляетъ 25 cent. водяного столба, т.е. $\frac{1}{40}$ долю атмосфернаго давленія. — Принимая эту величину скорости, легко найдемъ въ каждомъ частномъ случаѣ площадь всасывающаго клапана въ квадратныхъ метрахъ по вышеданной формулѣ:

$$A = \frac{R}{v} \cdot \frac{\mathfrak{M}}{u}.$$

Клапанъ въ поршнѣ насоса дѣлается возможно большимъ, съ цѣлью возможнаго уменьшенія вредныхъ сопротивленій, при движеніи продуктовъ охлажденія черезъ этотъ клапанъ. —

6. Холодильнику весьма нерѣдко придается объемъ, который при воздушномъ насосѣ простаго дѣйствія равенъ его объему, а при воздушномъ насосѣ двойнаго дѣйствія вдвое превосходитъ его объемъ, и опытъ показываетъ, что охлажденіе происходитъ при этомъ весьма удовлетворительнымъ образомъ, но въ тѣхъ случаяхъ, когда безъ особыхъ расходовъ оказывается возможность увеличить объемъ холодильника, онъ дѣлается гораздо болѣе, такъ напр. въ морскихъ машинахъ, гдѣ холодильникъ входитъ въ составъ установки машины, объемъ его обыкновенно значительно больше, чѣмъ сумма объемовъ воздушныхъ насосовъ машины. — Изъ механической теоріи теплоты извѣстно, что такое увеличеніе объема холодильника во всякомъ случаѣ можетъ только принести пользу, а потому во всѣхъ случаяхъ, когда это оказывается возможнымъ, надобно стараться увеличивать объемъ холодильника. —

7. Холодная вода поступаетъ въ холодильникъ подъ давленіемъ разности давленій атмосферы и холодильника, уменьшенной на потерю напора вслѣдствіе встрѣчаемыхъ водою препятствій на пути, и увеличенный на напоръ, который имѣетъ вода, поступающая въ холодильникъ надъ тѣмъ мѣстомъ, гдѣ она входитъ во внутрь холодильника; этотъ послѣдній напоръ можетъ быть и отрицательный въ томъ случаѣ, если вода, какъ это часто бываетъ, должна подниматься изъ колодца, расположеннаго ниже холодильника. — Называя его черезъ h, и обозначая черезъ H выраженную въ столбѣ воды разность между давленіемъ атмосферы и давленіемъ холодильника, а черезъ h' потерю напора, происходящую отъ сопротивленій при входѣ, мы получимъ, что скорость воды, входящей въ холодильникъ выразится формулою: $\sqrt{2g.(H+h-h')}$; а слѣд. называя черезъ A площадь поперечнаго сѣченія трубы приводящей воду и черезъ t время одного полнаго оборота машины, получимъ, что объемъ воды, входящей въ холодильникъ при одномъ оборотѣ вала машины будетъ: $A.t.\sqrt{2g(H+h-h')}$; а какъ $t = \frac{60}{n}$, то этотъ объемъ выразится у насъ черезъ:

$$A\,\frac{60}{n}\sqrt{2g(H+h-h')}$$

и слѣд. вѣсъ воды, поступающей въ холодильникъ будетъ:

$$1000.A\frac{60}{n}\sqrt{2g(H+h-h')}$$

Полагая эту величину равную вычисленному напередъ вѣсу воды, потребной для охлажденія, получимъ величину A, т.е. площадь поперечнаго сѣченія приводящей трубы; для этого надобно только знать величины H, h, h'; величина H можетъ быть принята для всѣхъ холодильниковъ равной 10 метрамъ; h опредѣляется въ каждомъ частномъ случаѣ, смотря по положенію резервуара, изъ котораго берется охлаждающая вода; что-же касается до h', то эту величину, выражающую потерю напора вслѣдствіе различныхъ встрѣчаемыхъ водою препятствій, вообще благоразумно предположить довольно значительною; т.к. вслѣдствіе такого предположенія будетъ лишь нѣкоторое увеличеніе діаметра трубы, приводящей воду, и слѣд. увеличеніе притока воды, уменьшить который всегда возможно посредствомъ припиранія крана, который всегда становится на трубѣ, и служитъ для регулированія притока воды.- Чтобы назначить правильную величину разности H — h' въ предыдущей формулѣ, всего лучше опредѣлить ее черезъ сравненіе результатовъ формулы съ размѣрами приводящей трубы существующихъ машинъ.- Мы уже упоминали прежде, что количество холодной воды, употребляемой для охлажденія пара въ машинахъ системы Уатта превосходитъ по вѣсу количество охлаждаемаго пара въ 27 разъ, и какъ расходъ пара въ этихъ машинахъ на одинъ оборотъ вала составляетъ 1,273 v кор. (гдѣ v есть объемъ, описываемый паровымъ поршнемъ при одномъ размахѣ) то вѣсъ охлаждающей воды будетъ: $27\times1{,}273\,v = 34{,}37\,v$ и слѣд. для машинъ Уатта, низкаго давленія, для которыхъ можно положить h=0 будетъ:

$$1000.A\frac{60}{n}\sqrt{2g(H-h')} = 34{,}37.v$$

или

$$\sqrt{2g(H-h')} = \frac{0{,}03437\,\frac{v.n}{60}}{A}$$

Но $\frac{vn}{60}$ есть половина объема описываемаго поршнемъ въ одну секунду, и слѣд. будетъ равно $\frac{N}{130}$, гдѣ N есть номинальная сила машины въ паровыхъ лошадяхъ, а потому

$$\sqrt{2g(H-h')} = \frac{0{,}03437}{130}.\frac{N}{A} = \frac{0{,}03437}{130}\,\frac{1}{\left(\frac{A}{N}\right)}$$

Величина $\left(\frac{A}{N}\right)$ составляетъ въ существующихъ машинахъ число очень близкое 0,0006, а слѣд для нихъ будетъ.-

$$\sqrt{2g(H-h')} = \frac{0{,}03437}{0{,}0078} = 4{,}4 \text{ метра.}$$

Отсюда опредѣляется весьма приблизительно (H-h') равное одному метру; т.е. въ этихъ машинахъ, для которыхъ H равно девяти метрамъ, труба, приводящая холодную воду опредѣлена въ предположеніи, что вредныя сопротивленія приводятъ къ потерѣ напора въ 8 мет., что очевидно невозможно; имѣя однако въ виду, что на трубѣ находится регулирующій кранъ можно опредѣлить размѣры трубы и на основаніи этого предположенія.- Должно только замѣтить, что запасъ, который здѣсь получается очень великъ, и, какъ показываетъ опытъ, приводная труба, разсчитанная въ существующихъ машинахъ по этому правилу достаточна, чтобы поднимать требующееся количество воды, даже съ глубины трехъ метровъ; поэтому правильнѣе будетъ, если при разсчетѣ трубы (а равно и регулирующаго притокъ пара крана, отверстіе котораго должно равняться площади поперечнаго съ-

ченія трубы), будемъ предполагать, что H – h' равняется не одному метру, а четырем метрамъ.-

Что касается до клапана, или вообще прибора, служащаго къ раздѣленію на части струи воды, то его должно располагать, какъ можно ближе къ трубѣ, приводящей паръ въ холодильникъ, и притомъ такъ, чтобы струи холодной воды встрѣчали паръ и перемѣшивались съ нимъ возможно лучше.-

Существующій способъ введенія холодной воды въ холодильникъ по весьма справедливому замѣчанію Редтенбахера, заключаетъ въ себѣ одинъ значительный недостатокъ, а именно самое важное для надлежащаго охлажденія пара очевидно состоитъ въ томъ, чтобы въ холодильникъ немедленно послѣ сообщенія его съ цилиндромъ ввести количество воды, достаточное для того, чтобы сразу обратить въ воду достаточное количество пара, вдругъ прибывающаго въ холодильникъ, затѣмъ количество нужной холодной воды становится уже гораздо меньше, т.к. она должна отнимать лишь небольшое количество теплоты, скопляющейся въ парѣ, переходящемъ въ холодильникъ вслѣдствіе сжатія при постепенномъ перемѣщеніи парового поршня.- Поэтому гораздо рациональнѣе было-бы тотчасъ по сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ, вводить въ сей послѣдній большое количество воды, а затѣмъ уменьшать это количество въ значительной степени; существующій способъ представляетъ явленіе совершенно противоположное.- Т.к. вода подчиняется къ вливанію въ холодильникъ избыткомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ холодильника, а это послѣднее тотчасъ по сообщеніи холодильника съ цилиндромъ имѣетъ еще порядочную величину, то скорость воды, вливающейся при этомъ въ холодильникъ невелика, а затѣмъ, помѣрѣ того, какъ пустота образуется внутри холодильника, вода все съ большею и большею скоростію, а слѣд. все въ большемъ и большемъ количествѣ туда вливается, такъ, что когда вода нужна въ большей массѣ, ея доставляется мало, а когда ея вовсе не требуется, напротивъ, она доставляется въ чрезвычайномъ избыткѣ; поэтому, согласно съ замѣчаніемъ Редтенбахера, было бы очень полезно вгонять воду въ холодильникъ не внѣшнимъ атмосфернымъ давленіемъ, а насосомъ, который могъ бы втаскивать воду въ холодильникъ прямо въ моментъ его сообщенія съ цилиндромъ.

8. Для отвода теплой воды вытаскиваемой изъ холодильника устраивается особая труба, которая примыкаетъ на извѣстной высотѣ къ резервуару, въ который первоначально выходятъ изъ насоса продукты охлажденія; этой трубѣ придаютъ значительное поперечное сѣченіе съ цѣлью по возможности уменьшить скорость движенія по ней воды.- Обыкновенно эта скорость принимается не болѣе 2 met. въ секунду и слѣд. напоръ, который нужно имѣть для сообщенія этой скорости, составляетъ отъ 20 до 25 cent.- т.что вода въ резервуаръ, получающемъ ее изъ насоса, должна стоять надъ отверстіемъ трубы не менѣе, чѣмъ на этой высотѣ.

Изъ этого слѣдуетъ необходимость имѣть надъ клапаномъ въ резервуаръ постоянный столбъ воды, который впрочемъ полезенъ и съ другой точки зрѣнія, а именно въ томъ отношеніи, что клапаны, а также въ случаѣ насоса постояннаго дѣйствія и сальники, будучи постоянно закрыты водой не могутъ пропускать воздуха во внутрь воздушнаго насоса.-

При устройствѣ резервуара для теплой воды необходимо озаботиться тѣмъ, чтобы его поперечное сѣченіе было значительно болѣе, чѣмъ поперечное сѣченіе клапана, въ противномъ случаѣ при открытіи клапана весь столбъ воды, надъ нимъ стоящій долженъ очень быстро пріобрѣсти такую скорость, что временно значительно усиливаетъ давленіе, требующееся отъ поршня и производитъ на него дѣйствіе подобное сильному удару. - Въ особенности эта предосторожность имѣетъ значеніе въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе значительнаго превышенія надъ воздушнымъ насосомъ уровня резервуара въ который окончательно удаляется теплая вода, необходимо бываетъ придать столбу воды прямо надъ насосомъ большую высоту. Въ этомъ случаѣ весьма полезно устраивать воздушный колоколъ, надъ выпускнымъ клапаномъ насоса такъ, чтобы по мѣрѣ поступленія подъ колоколъ воды, воздухъ въ немъ сжимался и давленіемъ своимъ сообщалъ постепенно водѣ требуемую скорость. При этомъ обыкновенно надъ выпускными клапанами поршня оставляютъ слой воды, который бы никогда не былъ меньше 15 или 20 cent. и который предотвращалъ бы просачиваніе воздуха во внутрь насоса, и затѣмъ на этой высотѣ надъ клапанами располагаютъ отверстіе отводной трубы, а выше его ставятъ воздушный резервуаръ. - При такомъ устройствѣ, вода будетъ входить въ резервуаръ, исключительно только отъ момента открытія впускнаго клапана, до момента окончанія размаха поршня воздушнаго насоса, а вытекать будетъ постоянно подъ усиленнымъ давленіемъ воздушнаго резервуара; поэтому въ моментъ открытія клапана количество воды въ резервуарѣ находящейся и давленіе въ немъ воздуха будутъ наименьшія, и слѣд. ударъ при открытіи клапана будетъ очень слабый; затѣмъ, когда клапанъ открыется давленіе начнетъ возрастать, а также начнетъ усиливаться скорость движенія воды, которая вмѣстѣ съ давленіемъ достигнетъ своего maximum'а въ концѣ размаха поршня воздушнаго насоса, и затѣмъ будетъ постоянно убывать до новаго открытія клапана. - Такимъ образомъ получается сообщеніе водѣ скорости весьма постоянныя, что особенно важно, если поршень насоса ходитъ быстро. - Расположенія, подобныя описанному потому и встрѣчаются по преимуществу въ машинахъ съ насосомъ двойнаго дѣйствія, въ которыхъ поршень имѣетъ обыкновенно скорость равную скорости пароваго поршня, доходящую иногда до 2½ метровъ въ секунду. -

9. Чтобы первоначально пустить въ ходъ паровую машину съ охлажденіемъ пара, надобно предварительно удалить воздухъ изъ холодильника и достигнуть нормальнаго давленія внутри его; съ этою цѣлью къ холодильнику приспособляютъ обыкновенно два клапана, наз. продувательными, и приводимые въ движеніе рукой; изъ нихъ одинъ служитъ для сообщенія холодильника съ паровымъ котломъ, а другой съ атмосферою; когда машина пускается въ ходъ, то холодильникъ наполненъ водою до того уровня, до котораго его возможно наполнять при существующемъ горизонтѣ въ бакѣ холодной воды; когда при этомъ открываются оба клапана, то паръ изъ котла идетъ въ холодильникъ, отчасти тамъ сгущается въ прикосновеніи съ холодной водою, а отчасти выгоняетъ воздухъ черезъ клапанъ, сообщающій холодильникъ съ атмосферою. - Впусканіе пара продолжается до тѣхъ поръ, пока воздухъ будетъ совсѣмъ

вынать изъ холодильника, что нетрудно сдѣлать, закрывъ оба клапана, и соединивъ холодильникъ съ вакуметромъ, который въ случаѣ совершеннаго устраненія воздуха изъ холодильника, тотчасъ показываетъ значительное пониженіе давленія.-

Впрочемъ иногда не устраиваютъ означенныхъ здѣсь клапановъ, и тогда продуваніе холодильника дѣлается при посредствѣ распредѣлительнаго золотника, который разъѣзжаютъ съ эксцентрикомъ, и руками переставляютъ такъ, чтобы паръ изъ котла могъ идти прямо въ холодильникъ, воздухъ и излишній паръ находятъ себѣ выходъ отчасти черезъ воздушный насосъ, а отчасти черезъ кранъ, служащій для впрыскиванія холодной воды.-

Размѣры продувательныхъ клапановъ довольно произвольны; ихъ всего удобнѣе относить къ объему холодильника; во многихъ машинахъ это отношеніе опредѣлено такимъ образомъ, что на каждый кубическій метръ объема холодильника приходится въ поперечномъ сѣченіи 25 □ cent. для впускнаго и 50 □ cent. для выпускнаго клапана.-

Сверхъ отверстій для продувательныхъ клапановъ, обыкновенно встрѣчаемыхъ въ холодильникахъ значительныхъ размѣровъ, въ нихъ дѣлается еще особое отверстіе плотно закрываемое тѣмъ-же способомъ, какъ отверстіе рычаговъ паровыхъ котловъ; это отверстіе необходимо для возможности, не разбирая холодильника, вычищать скопляющіяся въ немъ нечистоты, а именно остатки масла и сала, приносимые паромъ а равно механическія примѣси, приносимыя охлаждающею водою, и осаждающіяся изъ нея соли.-

10. Въ виду нѣкотораго осложненія машины черезъ присоединеніе къ ней воздушнаго насоса, сдѣлано было много попытокъ къ тому, чтобы производить охлажденіе безъ воздушнаго насоса.- Принципъ, на которомъ основано устройство большей части охлаждающихъ приборовъ безъ воздушнаго насоса состоитъ въ томъ, что въ началѣ каждаго размаха вода и воздухъ, скопившіеся въ холодильникѣ выталкиваются изъ него мятымъ паромъ, который конечно долженъ имѣть давленіе болѣе атмосферного, а затѣмъ уже мятый паръ охлаждается самъ.-

Такимъ образомъ теряется возможность расширять паръ до надлежащей степени и среднее давленіе въ холодильникѣ выходитъ больше, чѣмъ въ случаѣ употребленія воздушнаго насоса, такъ, что расходъ топлива въ случаѣ уничтоженія воздушнаго насоса непремѣнно увеличивается, и нѣкоторое упрощеніе машины, происходящее отъ уничтоженія воздушнаго насоса, не приноситъ столь значительной пользы, чтобы изъ за этого упрощенія отказываться отъ возможности расширять паръ въ надлежащей степени и отъ возможности надлежащимъ образомъ уменьшать давленіе на нерабочую сторону поршня.-

Въ цѣлью дать болѣе точное понятіе объ устройствѣ основанныхъ на этомъ принципѣ или такъ наз. продувательныхъ холодильниковъ на (фиг. 16 и фиг. 17), изображенъ одинъ изъ весьма хорошихъ типовъ этихъ холодильниковъ, изобрѣтенный Баркленомъ; онъ представляетъ собою вертикальную трубу B, діаметромъ равную съ выпускною паровою трубою, съ которой труба B соединена въ самомъ верху фланцемъ D; она имѣетъ на верху расширеніе, внутри котораго помѣщается другая труба C меньшаго діаметра, сообщенная фланцемъ E съ трубою, посредствомъ которой мо-

ждать прилив чистой охлаждающей воды; нижнее отверстие трубы C закрыто клапаном A, который посредством рычага E, стержня G и кривошипного эксцентрика K открывается и закрывается два раза в течение одного оборота машины.- Нижняя часть трубы B прямоугольная, снабжена 4-мя клапанами L, по одному на каждой стороне прямоугольного сечения и помещена внутри цистерны, принимающей теплую воду и всех прочих продуктов охлаждения.- Действие этого холодильника состоит в том, что пар, при сообщении цилиндра с холодильником, имеющий давление большее, чем атмосферное, входит во внутрь холодильника при закрытом клапане A, давлением своим открывает клапан L, и вытесняя из холодильника продукты охлаждения, собравшиеся в нем, т.е. воду и воздух, наполняет собой их объем; в этот момент открывается клапан A, охлаждающая вода устремляется в холодильник, осаждает пар там находящийся, затем клапан A закрывается, и находящаяся в холодильнике вода, как образовавшаяся из сгущенного пара, так и служившая для охлаждения, вместе с выдувшимся из ней последней воздухом, остается внутри холодильника до новой пульсации машины.-

11. Значительно более усовершенствовано в сравнении с предыдущим устройство холодильника без воздушного насоса, изобретенное Мак-Каттером, который примыкает к холодильнику принципом двойного запора, вообще употребляемый в тех случаях, когда необходимо вывести тело из одной среды, имеющей известное давление этой среды.-

Этим способом он достиг того, что можно выпускать пар из цилиндра под давлением значительно меньшим атмосферного. Холодильник Мак-Каттера изображен на фиг. 18 и фиг. 19 в вертикальном и горизонтальном разрезах.- Он состоит из двух ящиков, стоящих один над другим и разделенных между собою клапаном a, который при помощи рычагов d нажат к своему седлу, нагруженными пружинами f, напряжение которых можно регулировать при помощи винтов h.- Труба C, с помощью которой пар выпускается из цилиндра, и труба C', приводящая охлаждающую воду, сообщаются с холодильником в верхней его части.- Клапан, помещенный в самом верху холодильника служит для его прорывания.- Нижнее отверстие холодильника разобщено с атмосферою помощью клапана b, такого-же устройства, как и клапан a.- Оба эти клапаны бронзовые, и прикасаются к седлам не прямо, а при посредстве каучуковых прокладок, введенных с целью сделать запор более герметическим.- Нижняя часть, как видно, снабжена еще тремя трубатыми отростками: k, l, m; первый (k) находится в прямом сообщении с котлом, второй (l) с нагнетательным воздухом, и третий (m) с резервуаром холодной воды; все эти три клапана нажаты к своим седлам посредством пружин или противовесов и на их стержнях идут пальцы, на которые могут действовать кулаки особой оси, приводимой в движение от главного вала паровой машины.- Действием кулаков каждый клапан отворяется в определенное для него мгновение, и затем закрывается вновь пружиной или противовесом.-

Дѣйствіе этого холодильника состоитъ въ слѣдующемъ: сначала, когда машина пускается въ ходъ, его продуваютъ, чтобы вынать воздухъ, и затѣмъ пускаютъ холодную воду въ верхнюю часть холодильника; паръ тамъ осаждается и образуется пустота; затѣмъ машина ходитъ, и продукты охлажденія скопляются въ верхнемъ отдѣленіи холодильника въ теченіе нѣсколькихъ оборотовъ вала машины. (число этихъ оборотовъ зависитъ отъ объема холодильника; чѣмъ объемъ этотъ больше, тѣмъ рѣже нужно опоражниваить его).-

Когда продукты охлажденія скопляются въ такомъ количествѣ, что дальнѣйшее ихъ прибавленіе значительно увеличило давленіе внутри холодильника, клапанъ К открывается; паръ изъ котла входитъ въ нижнее отдѣленіе холодильника, и выгоняетъ имѣющійся въ немъ воздухъ.- Затѣмъ поднимается клапанъ М, и въ нижнее отдѣленіе холодильника пускается струя холодной воды, которая осаждаетъ паръ; въ нижнемъ отдѣленіи образуется пустота, давленіе въ верхнемъ отдѣленіи получаетъ перевѣсъ надъ давленіемъ нижняго: клапанъ а отворяется, и продукты охлажденія, скопившіеся въ верхнемъ отдѣленіи переходятъ въ нижнее; въ обоихъ отдѣленіяхъ устанавливается одинаковое давленіе, и клапанъ а, дѣйствіемъ пружины F запирается; затѣмъ поднимается клапанъ L, который пускаетъ въ нижнее отдѣленіе атмосферный воздухъ, такъ, что здѣсь устанавливается давленіе равное атмосферному; клапанъ b подъ вліяніемъ вѣса воды, надъ нимъ находящейся, отворяется, впускаетъ воду и затворяется снова; причемъ въ нижнемъ отдѣленіи остается попрежнему атмосферное давленіе.- Между тѣмъ вверху опять скопляются продукты постепенно, послѣ чего они опять опоражниваются въ нижнее отдѣленіе, тѣмъ-же способомъ, какъ прежде и т. д.

При такомъ способѣ на удаленіе изъ холодильника объема продуктовъ охлажденія, равнаго объему нижняго отдѣленія холодильника, тратится равный ему объемъ пара, котораго давленіе посредствомъ особаго прижатаго клапана доводится до давленія приблизительно равнаго 1,1 атм., и по опытамъ, произведеннымъ надъ одной машиной Вуньера, имѣвшею размахъ 914 m.m; въ маломъ поршнѣ 535 mm. и въ большомъ поршнѣ въ 695 mm. - Въ холодильникѣ поддерживалось давленіе въ 0,16 атм., причемъ діаметръ верхняго отдѣленія былъ 611 mm. а высота 1067 mm. діаметръ-же нижняго отдѣленія былъ 732 mm. и высота 305 mm. такъ, что объемъ верхняго конденсирующаго пространства почти въ полтора раза превосходилъ объемъ малаго цилиндра, и при такомъ большомъ объемѣ холодильника оказывалось возможнымъ производить опоражниваніе продуктовъ охлажденія черезъ 5–8 оборотовъ машины, не измѣняя замѣтно давленія внутри холодильника.-

Обсуждая вышеприведенныя данныя легко прійти къ заключенію, что собственно никакой экономіи въ топливѣ нѣтъ и нельзя ожидать отъ этого устройства, т.к. дабы вынать изъ холодильника продукты охлажденія здѣсь тратится пара столько-же, какъ и въ томъ случаѣ, когда-бы для движенія воздушнаго насоса употреблялся особый цилиндръ въ которомъ поршень описывалъ-бы объемъ равный объему воздушнаго насоса, и паръ, имѣющій начальное давленіе въ 1,1 атм., дѣйствовалъ-бы безъ расширенія и охлажденія, между тѣмъ, какъ при обыкновенномъ устройствѣ

воздушнаго насоса, уменьшающаго давленіе въ холодильникѣ не до 0,16 атм., какъ здѣсь, а до 0,1 атм., его сопротивленіе движенію — на основаніи произведенныхъ опытовъ со включеніемъ всѣхъ вредныхъ сопротивленій, приводится къ избытку давленія не больше какъ въ $\frac{1}{20}$ долю атм., на неработающую сторону парового поршня. — Сравнивая на основаніи приведенныхъ чиселъ эти два способа удаленія продуктовъ охлажденія, мы получаемъ, что при употребленіи воздушнаго насоса, работающаго въ цилиндрѣ, требуется при каждомъ оборотѣ вала работа, даже меньшая, чѣмъ при конденсаторѣ Макъ-Картера, а слѣд. паръ, расходуемый при этомъ приборѣ на удаленіе продуктовъ охлажденія, и дѣйствующій, какъ показано выше, при весьма невыгодныхъ условіяхъ, затрачивается совершенно даромъ, и потому употребленіе воздушнаго насоса несравненно выгоднѣе, чѣмъ охлажденіе посредствомъ аппарата Макъ-Картера. —

12. Въ цѣлью устроить охлажденіе пара безъ воздушнаго насоса въ 1868 году была сдѣлана, и весьма большое вниманіе возбудила, попытка воспользоваться живою силою поступающихъ въ холодильникъ охлаждающей воды и охлаждаемаго пара для удаленія продуктовъ охлажденія; Александръ Мортонъ и Барклай спорятъ между собою о правѣ первенства въ изобрѣтеніи, устроенныхъ съ этою цѣлью аппаратовъ, получившихъ названіе *холодильниковъ эжекторовъ*, которые основаны на слѣдующихъ соображеніяхъ. —

Въ обыкновенномъ холодильникѣ съ внутреннимъ охлажденіемъ, охлаждающая вода подходитъ къ входу въ холодильникъ избыткомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ въ холодильникѣ, причемъ этимъ избыткомъ производится значительная работа, употребляемая на увеличеніе живой силы воды, которая устремляется въ холодильникъ съ большою скоростью, и теряетъ эту скорость вслѣдствіе ударовъ и неправильныхъ движеній, которыя она въ холодильникѣ принимаетъ. — Такимъ образомъ работа избытка давленія атмосферы надъ холодильникомъ не приноситъ въ этомъ случаѣ никакой пользы; но мало того, работа эта приноситъ существенный вредъ, т. к. она обращается въ теплоту, и увеличиваетъ температуру продуктовъ охлажденія, а слѣд. и вредное давленіе внутри холодильника, работу эту вычислить весьма легко; если предположить, согласно правилу Уатта, что количество охлаждающей воды по вѣсу въ 27 разъ превосходитъ количество охлаждаемаго пара, то работа, доставляемая давленіемъ атмосферы при входѣ въ холодильникъ охлаждающей воды, составитъ на каждый кгр. охлаждаемаго пара (предполагая давленіе въ холодильникѣ $= \frac{1}{10}$ атм.). —

$$0{,}9 \times 10334 \times \frac{27}{1000} = 251 \text{ кгмет.}$$

Но кромѣ этой потери работы, здѣсь имѣется еще другая, а именно: паръ въ концѣ размаха поршня передъ выходомъ своимъ въ холодильникъ имѣетъ давленіе значительно превосходящее давленіе въ холодильникѣ и составляющее не менѣе 0,2 атм.; переходя въ холодильникъ онъ понижаетъ это давленіе до 0,1 атм. и обращается въ воду; этотъ процессъ можно себѣ представить такимъ образомъ, что паръ сначала въ передачѣ и замѣщенія воды расширяется и пріобрѣтаетъ извѣстную живую силу, часть которой затѣмъ тратится на сжатіе пара вслѣдствіе его

обращенія въ воду при отнятіи теплоты. — Разность между всею работою, произведенною при расширеніи пара и работою, потраченною на его сжатіе при обращеніи въ воду, въ совокупности съ работою, производимою рабочимъ паромъ на вытѣсненіе изъ парового цилиндра пара въ холодильникъ, — вся обращается при обыкновенномъ холодильникѣ въ теплоту, вслѣдствіе тренія, ударовъ и разныхъ сопротивленій, между тѣмъ, какъ хотя нѣкоторую часть этой работы, совокупна съ работою, доставляемою давленіемъ атмосферы на охлаждающую воду можно было-бы воспользоваться для удаленія изъ холодильника продуктовъ охлажденія. —

Чтобы составить себѣ понятіе о величинѣ этой работы вообразимъ себѣ паровую машину, работающую при начальномъ давленіи въ четыре атмосферы или при начальной температурѣ въ 144° по Ц. съ охлажденіемъ пара, причемъ въ холодильникѣ поддерживается давленіе въ 0,1 атм., и слѣд. температура въ 46,21 по Ц. Если паръ расширяется отъ 4^х атм. до 0,1 атм. давленія, и если допустимъ, что онъ вначалѣ заключаетъ въ себѣ 10% влажности, то пропорція (x_1) пара въ смѣси въ концѣ расширенія опредѣлится, какъ извѣстно, гр-мъ:

$$\tau_0 + \frac{x_0 r_0}{T_0} = \tau_1 + \frac{x_1 r_1}{T_1}$$

гдѣ $T_0 = 273 + 144$ и $T_1 = 273 + 46,21$ а $x_0 = 0,9$ т.к. при этомъ будетъ

$$\tau_0 = 0,42711, \quad \tau_1 = 0,14903; \quad r_0 = 505,117; \quad r_1 = 574,312$$

то:

$$x_1 = \frac{T_1}{r_1}\left\{\tau_0 - \tau_1 + \frac{x_0 r_0}{T_0}\right\} = \frac{319.21}{574,312}\left\{0,42711 - 0,14903 + \frac{0,9 \times 505,117}{417}\right\} = 0,756$$

а потому измѣненіе внутренней энергіи килограмма пара, выражающееся, какъ извѣстно, черезъ:

$$A\left\{\int_{T_1}^{T_0} c\,t\,d + x_0(r_0 - \frac{1}{A}p_0 u_0) - x_1(r_1 - \frac{1}{A}p_1 u_1)\right\}$$

гдѣ c есть теплоемкость воды, при разсматриваемомъ расширеніи будетъ:

$$424(145,31 - 46,28 + 0,9 \times 461,5 - 0,76 \times 538,8) = 47460 \text{ кил. мет.}$$

Такимъ образомъ одинъ кг. пара во время своего расширенія отъ 4 атм. до 0,1 атм. доставляетъ работу въ 47460 кгмет.; изъ этой работы передается поршню машины только одначасть, соотвѣтствующая расширенію пара до того давленія p, которое онъ имѣетъ въ паровомъ цилиндрѣ въ моментъ его сообщенія съ холодильникомъ. — Предполагая послѣдовательно, что это давленіе (p) будетъ: 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2 атмосферы, и употребляя вычисленіе, одинаковое съ только что приведеннымъ, найдемъ соотвѣтственно, что пропорція (x) пара въ смѣси въ моментъ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ и работа (L), переданная поршню машины при расширеніи пара внутри цилиндра до давленія (p) будетъ:

при p =	0,7;	0,6;	0,5;	0,4;	0,3;	0,2; атм.
x =	0,8227;	0,8174;	0,8091;	0,8014;	0,7918;	0,7792;
L =	23040;	24380;	26869;	29833;	33038;	36828;

Вычитая послѣдній рядъ чиселъ изъ 47460, мы находимъ, что работа (K), производимая расширеніемъ пара послѣ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ, будетъ:

при p =	0,7;	0,6;	0,5;	0,4;	0,3;	0,2 атм.
K =	24420;	23080;	20591;	17627;	14422;	10632

Удѣльный объемъ (u) смѣси въ моментъ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ опред.-

ментаго формулы $x.u + б$, гдѣ u удѣльный объемъ насыщеннаго пара, соотвѣтствующій конечному давленію въ холодильникѣ, и $б = 0,001$ = удѣльному объему воды, по этой формулѣ получимъ:

при $p =$ 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2;

$u =$ 1,900; 2,183; 2,566; 3,139; 4,070; 5,878 кв. мет.

Удѣльный-же объемъ смѣси, расширившейся до 0,1 атмосферы по той-же формулѣ будетъ 11,060 куб. мет.; а потому работа, полощаемая при обращеніи этой смѣси въ воду составитъ:-

$$[11,060 - 0,001].0,1.10334 = 11,059.0,1.10334.$$

работа-же, доставляемая при этомъ сжатіи мятаго пара рабочимъ паромъ, дѣйствующимъ на поршень, и выталкивающимъ мятый паръ изъ цилиндра въ холодильникъ будетъ: $u.0,1.10334$. - Вычитая разность этихъ двухъ работъ найдемъ, что изъ работы, производимой расширеніемъ пара, по сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ полощается на его сжатіе при обращеніи въ воду:

при $p =$ 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2;

9461; 9169; 8773; 8181; 7210; 5363;

Вычитая эти числа изъ соотвѣтствующихъ работъ (К), производимыхъ расширеніемъ пара послѣ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ, найдемъ, что часть работы (М), приносимая въ обыкновенный холодильникъ поступающимъ туда паромъ и потрачиваемая на удары, треніе и т. п. составитъ для каждаго кг. пара,

при $p =$ 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2;

$M =$ 14,959; 13911; 11818; 9446; 7212; 5269;

Присоединяя сюда работу, приносимую водою, устремляющеюся въ холодильникъ при обыкновенномъ способѣ охлажденія, работу, которая на каждый кг. охлаждаемаго пара составляетъ согласно вышенайденному 251 кгмет., получимъ, что полная работа (N), обращаемая внутри обыкновеннаго холодильника въ теплоту составитъ при $p =$ 0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; атм.

$N =$ 15210; 14162; 12069; 9697; 7463; 5520 кгмет.-

если бы струю охлаждающей воды, а равно и струю охлаждаемаго пара направить болѣе правильнымъ образомъ, чѣмъ это дѣлается въ холодильникѣ обыкновеннаго устройства, и производится взаимное ихъ смѣшеніе, такъ, чтобы этимъ сохранилась въ видѣ живой силы хотя нѣкоторая часть вышечисленной работы, то этой живой силой струи жидкости, образовавшейся черезъ смѣшеніе, можно-бы воспользоваться для того, чтобы всю эту жидкость извлечь изъ холодильника, преодолѣвъ атмосферное давленіе, т. к. работа для этого нужная очевидно только на $\frac{1}{27}$ превосходитъ работу, доставляемую давленіемъ атмосферы при входѣ охлаждающей воды въ холодильникъ, и слѣд. составляетъ всего 260 кг. мет.-

Изъ числа предъидущихъ чиселъ видно, что въ самомъ невыгодномъ случаѣ полная живая сила струи, образовавшейся черезъ смѣшеніе, будетъ въ 21 разъ превосходить работу, нужную для удаленія изъ холодильника воды, въ немъ накопляющейся.- Дѣйствіемъ этой живой силы вмѣстѣ съ жидкостью могъ бы быть извлеченъ и воздухъ, растворенный въ охлаждающей водѣ, и совокупно съ нею вошедшій въ холо-

дильникъ; дѣйствительно для удаленія изъ холодильника воздуха нужно израсходовать работу на его сжатіе до атмосферного давленія; работа эта на каждый кг. расходуемаго машиною пара выразится черезъ:

$$\frac{p_0 U_0}{k-1}\left\{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right\}$$

гдѣ p_0 есть начальное давленіе воздуха (въ нашемъ случаѣ 0,1 атм. или 1033 кг. на □met) p_1 есть конечное давленіе (въ нашемъ случаѣ 1 атм. или 10334 кг. на □met), k есть отношеніе теплоемкости воздуха при постоянномъ объемѣ, т.е. 1,41 и U_0 есть первоначальный объемъ сжимаемаго воздуха, получаемый въ холодильникѣ на каждый кг. расходуемаго пара.- Объемъ этотъ, составляющій при атмосферномъ давленіи и температурѣ 15° Ц пять процентовъ объема охлаждающей воды т.е. 0,05.27. 0,001 куб. met, очевидно при температурѣ холодильника въ 46° и при давленіи въ немъ = 0,1 атмосферы будетъ:

$$U_0 = 0{,}05.27.0{,}001.10.\frac{273+46}{273+15} = 0{,}0135.\frac{319}{288} = 0{,}015 \text{ куб. met.}$$

Вставляя всѣ эти числа въ предыдущую формулу находимъ, что для удаленія изъ холодильника воздуха, вошедшаго туда вмѣстѣ съ охлаждающею водою кг. пара водою, нужна работа всего въ 37 кг. met. а потому, если даже предположить, что обращается въ теплоту вся работа, доставляемая расширеніемъ воздуха, приходящаго въ холодильникъ, то и тогда, для извлеченія всѣхъ продуктовъ охлажденія нужно на каждый 1 кг. расходуемаго пара, издержать работу не превышающую 300 кг. met., т.е. нужная работа составляетъ едва $\frac{1}{17}$ долю того запаса живой силы, который, при самомъ сильномъ расширеніи внутри цилиндра будетъ въ струѣ жидкости, образовавшейся черезъ смѣшеніе, если только это смѣшеніе и дальнѣйшее движеніе струи происходитъ безъ дѣйствія вредныхъ сопротивленій.- Конечно этихъ вредныхъ сопротивленій совершенно избѣжать нельзя, но какъ исчисленный запасъ живой силы весьма великъ сравнительно съ потребною работою, то можно надѣяться, что при правильномъ устройствѣ прибора для смѣшенія и вывода струи, въ ней останется живая сила, достаточная для удаленія изъ холодильника всей накопляющейся въ немъ воды и всего, входящаго въ него воздуха.-

13. Мортонъ, для того, чтобы употребить въ пользу часть работы, обращающейся въ теплоту при обыкновенномъ холодильникѣ, устроилъ приборъ, весьма похожій на инжекторъ Жиффрара.- Приборъ этотъ, примѣненный къ машинѣ съ двумя сопряженными цилиндрами, въ томъ видѣ, какъ онъ былъ испытанъ Мекуорнъ-Ренкиномъ изображенъ на (фиг. 20).-

Фланцы A и B служатъ для соединенія съ приборомъ выпускныхъ трубъ обоихъ цилиндровъ машины; C есть фланецъ, къ которому укрѣпляется труба, приводящая охлаждающую воду; эта послѣдняя вступаетъ въ вертикальный, съуживающійся книзу конусъ, обхваченный снаружи другимъ конусомъ, въ который входитъ мятый паръ, приходящій трубою A; холодная вода, вошедшая отверстіемъ D, смѣшивается съ этимъ паромъ, охлаждаетъ его, нѣсколько нагрѣвается, и образовавшаяся струя нагрѣтой воды выходитъ черезъ отверстіе E, и смѣшивается съ мятымъ паромъ, приходящимъ трубою B, охлаждаетъ паръ, и этотъ, вновь нѣсколько нагрѣ-

вается и устремляется затѣмъ въ отверстіе F, по проходѣ черезъ которое вступаетъ въ коническую, расширяющуюся трубу, причемъ скорость воды мало по малу замедляется, и живая съ сила преобразуется въ работу, и вода при выходѣ преодолѣваетъ атмосферное давленіе.-

Независимо отъ описанныхъ частей по оси прибора идетъ центральный стержень G, выходящій изъ прибора посредствомъ сальника.- Этимъ стержнемъ можетъ быть болѣе или менѣе закрыто отверстіе D, и такимъ образомъ можетъ регулироваться и даже можетъ быть совсѣмъ остановленъ притокъ холодной воды, а слѣд. и дѣйствіе прибора.- Этотъ стержень имѣетъ впрочемъ еще и другое значеніе; какъ видно изъ чертежа, онъ внутри пустой съ продѣланными въ средней части отверстіями, посредствомъ которыхъ, и трубки M, внутренняя полость стержня сообщается съ камерой H съ которою съ другой стороны сообщается котелъ посредствомъ трубки N; внутри камеры H находится клапанъ, состоящій изъ двухъ плотно притертыхъ къ камерѣ поршней, соединенныхъ между собою короткою штангою, давленіе пара на верхній поршень уравновѣшивается т.к. паръ небольшимъ отверстіемъ въ тѣмъ поршнѣ сдѣланнымъ, можетъ проходить поверхъ его, и слѣд. давленіе на обѣ поверхности будетъ одно и то-же; давленіе-же на верхнюю поверхность нижняго клапана уравновѣшивается отчасти спиральною пружиною J, отчасти давленіемъ мятаго пара, который посредствомъ трубки KL сообщается съ нижней частью камеры H.- Если давленіе мятаго пара будетъ низкое, то давленіе пара, приходящаго изъ котла, пересиливаетъ совокупное дѣйствіе пружины и мятаго пара; весь клапанъ опускается и закрываетъ верхнимъ своимъ поршнемъ отверстіе трубки M. т.что полость стержня разобщается съ котломъ, когда-же давленіе мятаго пара отъ какихъ бы то ни было причинъ уменьшается, то оно, совокупно съ давленіемъ пружины на нижнюю поверхность клапана поднимаетъ его, открываетъ сообщеніе полости стержня съ котломъ, изъ котораго затѣмъ паръ идетъ по трубкѣ M и, выбрасываясь черезъ отверстіе G усиливаетъ притокъ воды и скорость и всасывающее дѣйствіе, по средствомъ чего мятый паръ лучше извлекается изъ цилиндровъ, и давленіе въ нихъ на нерабочую сторону поршня уменьшается.-

14. При опытахъ, произведенныхъ Мекуорнъ-Ренкиномъ и инженеромъ Мортона измѣрялось количество охлаждающей воды, температура струи входящей и выходящей изъ холодильника, давленіе на нерабочую сторону поршня, а также вѣсъ пара расходуемаго въ цилиндрахъ.- При этомъ оказалось, что давленіе на нерабочую сторону поршня около $\frac{1}{6}$ доли атмосферы, и что количество воды потребляемой аппаратомъ Мортона весьма значительно, а именно при среднемъ расходѣ 10 фунтовъ пара въ минуту, количество расходуемой холодной воды было 716,4 фунта т.е. холодной воды расходовалось по вѣсу 72 раза больше, сравнительно съ вѣсомъ охлаждаемаго пара; температура холодной воды была 8,33° Ц, а температура уходящей изъ аппарата воды была 30° Ц. температура пара въ моментъ соединенія цилиндра съ холодильникомъ была 90° Ц; изъ этого видно, что конденсаціонная вода, употребляемая на охлажденіе каждаго кгр. пара уносила съ собою количество теплоты, превосходящее первоначальную величину теплоты въ охлаждающей водѣ заключен-

нро, на

$$72.\{30-8,33\}=1560 \text{ кгр.met.}$$

между тѣмъ если допустить, что уходящій изъ цилиндровъ паръ былъ совершенно сухой, то онъ, проходя черезъ аппаратъ Мортона и выходя изъ него въ видѣ воды, терялъ количество теплоты равное:

$$606,5+0,305.90-30=603 \text{ кгр.met.}$$

т.е. охлаждаемый паръ терялъ теплоты въ 2½ раза меньше, чѣмъ пріобрѣтала теплоты охлаждающая вода. — Это обстоятельство Ренкинъ объяснилъ тѣмъ, что количество истраченнаго пара опредѣлялось при опытахъ на основаніи объема описаннаго поршнемъ, и предполагалось при вычисленіяхъ, что паръ былъ совершенно сухой, между тѣмъ онъ могъ заключать значительное количество воды, т.к. вѣсъ расходуемаго пара былъ опредѣленъ вѣрно; чтобы рѣшить, можно ли допустить это объясненіе, постараемся опредѣлить ту степень влажности, которую паръ долженъ имѣть, чтобы столь сильно увеличить количество теплоты, оказывающееся въ продуктахъ охлажденія. Пусть u будетъ разность удѣльныхъ объемовъ пара и воды, $б$ удѣльный объемъ воды, а x пропорція пара въ смѣси; удѣльный объемъ смѣси, какъ извѣстно, будетъ $x.u+б$; называя черезъ y дѣйствительное число килограммовъ смѣси, заключенной въ томъ же объемѣ, который наполняется однимъ килограммомъ сухаго пара, мы получимъ равенство:

$$y(x.u+б)=u+б$$

Сверхъ того вода въ смѣси была при температурѣ 90°, такъ же, какъ и паръ; поэтому количество теплоты, теряемой каждымъ килограммомъ было $90-30=60$ килограммградусовъ; но въ y кгр. смѣси воды было $y(1-x)$, слѣд. собственно отъ примѣшанной къ пару воды получилась часть 1560 единицъ, содержащихся въ продуктахъ охлажденія, изображающаяся черезъ: $60y(1-x)$. — Другая-же часть 1560 единицъ, доставленныхъ продуктамъ охлажденія паромъ изобразится черезъ $y.x.603$

Слѣд. мы получимъ: $603.y.x+60.y(1-x)=1560$

или: $543\,y.x+60\,y=1560$

А какъ въ нашемъ случаѣ $u=2,3344$ и $б=0,001$, то выведенное выше ур-іе напишется такъ: $2,3344.y.x+0,001.y=2,3354$

Опредѣляя изъ этихъ двухъ ур-ій x и y найдемъ:

$$x=0,037\ ;\quad y=27\ ;$$

Эти числа показываютъ, что объясненіе, данное Ренкиномъ совершенно правдоподобно, т.к. такой громадный расходъ изъ котла, составляющій 27 кгр. вмѣсто одного исчисленнаго при опытахъ по объему, описанному поршнемъ, непремѣнно былъ-бы замѣченъ, а потому гораздо вѣроятнѣе, что во время опытовъ паръ проходилъ — частью по центральному стержню прямо изъ котла, — такъ, что для образованія пустоты въ холодильникѣ, прямо зависящей отъ удаленія продуктовъ охлажденія, живая сила отработавшаго пара и воды была недостаточна, и требовалась еще живая сила свѣжаго неработавшаго пара, который выходитъ изъ котла. — Справедливость такого заключенія подтверждается и тѣмъ обстоятельствомъ, что скорость холодной воды, опредѣленная прямымъ измѣреніемъ ея расхода и точнымъ опредѣленіемъ площади поперечнаго сѣченія, черезъ которое

она протекала въ аппаратъ Мортона, составляла при опытахъ Рэнкина 43,2 фута, между тѣмъ уровень бака былъ на 5 футовъ ниже отверстія, и при давленіи внутри холодильника въ $\frac{1}{6}$ атмосферы (до 6" водяного столба), теоретическая скорость вытеканія, не принимая въ соображеніе никакихъ вредныхъ сопротивленій, сжатія струи, сопротивленій отъ постепенно расширяющагося воздуха и т. п. составляетъ всего: $\sqrt{64(35-5-6)}$ т. е. 40 футовъ; потому скорость, которую вода имѣла въ опытахъ Рэнкина не могла быть произведена простымъ давленіемъ атмосферы, и болѣе чѣмъ вѣроятно, что она производилась посредствомъ значительнаго расхода пара черезъ центральный стержень.—

Вѣроятно такіе результаты, какъ громадный расходъ воды для охлажденія, и большой расходъ пара прямо изъ котла для извлеченія продуктовъ охлажденія и была причиною того, что изобрѣтеніе Мортона, которое при его появленіи нѣкоторые, даже весьма опытные инженеры назвали важнѣйшимъ усовершенствованіемъ паровой машины послѣ Уатта не нашло себѣ обширныхъ примѣненій.—

На Вѣнской выставкѣ 1873 г. машины съ охлажденіемъ пара были вообще снабжены воздушнымъ насосомъ.— Эжекторы были представлены Кёртиномъ изъ Ганновера, они дѣйствуютъ безъ помощи насоса изъ котла, но зато, употребляемая для нихъ вода предварительно поднимается на извѣстную высоту посредствомъ насоса и затѣмъ уже падаетъ въ эжекторъ; устройство самого аппарата по системѣ Кёртина изображено въ разрѣзѣ на (фиг. 21), гдѣ h представляетъ трубу, черезъ которую мятый паръ входитъ въ приборъ, а i, расширяющуюся коническую трубу, служащую для удаленія продуктовъ охлажденія.— Здѣсь очевидно также, какъ и въ первоначальномъ аппаратѣ Мортона оказалось необходимымъ усилить живую силу смѣси охлаждающей воды и пара, но для этого усиленія вмѣсто притока свѣжаго пара, употреблено паденіе воды съ довольно значительной высоты, что вновь служитъ подтвержденіемъ прежняго заключенія, что въ Эжекторахъ вредныя сопротивленія, поглощаютъ значительную часть той работы, которая доставляется съ одной стороны расширеніемъ пара, а съ другой атмосфернымъ давленіемъ, что остатокъ этой работы недостаточенъ для удаленія продуктовъ охлажденія, хотя работа, для этого употребленная и весьма невелика.—

Тѣмъ-не менѣе эжекторъ заслуживаетъ полнаго вниманія по основной своей идеѣ и нѣтъ ничего невозможнаго въ предположеніи, что со временемъ удастся устранить причины нынѣ мѣшающія его правильному дѣйствію.—

15. Согласно объясненному въ § 1, цѣль, которую имѣютъ въ виду при устройствѣ холодильниковъ съ нарушеннымъ охлажденіемъ при морскихъ машинахъ, состоитъ въ томъ, чтобы снабжать прѣсною водою паровые котлы, для которыхъ представляетъ много неудобствъ морская вода, заключающая въ своемъ растворѣ до 3% различныхъ солей; это процентное содержаніе солей, по мѣрѣ обращенія воды въ паръ внутри котла, и по мѣрѣ питанія его тою-же самою соленою водою, очень быстро увеличивается и хотя насыщеніе воды солями, въ морской водѣ заключенными происходитъ при содержаніи ихъ въ растворѣ около 38%, но осадокъ этихъ солей въ

твердомъ видѣ на стѣнкахъ котла начинается уже при 12 процентномъ ихъ содержаніи, котораго весьма скоро достигла бы находящаяся въ котлѣ вода, если-бы не употреблялось такъ наз. продуваніе котловъ, производимое обыкновенно черезъ каждые два часа дѣйствія и состоящее въ томъ, что изъ котла выпускается цѣлую половину (а при болѣе значительномъ содержаніи солей въ морской водѣ даже 2/3) всего содержащагося въ котлѣ количества воды. — Это продуваніе очевидно представляетъ громадную потерю теплоты, т.к. вода, поступающая на мѣсто выпущенной имѣетъ гораздо меньшую температуру, и прямое устраненіе этого продуванія при питаніи прѣсной водой, производитъ сбереженіе въ топливѣ, составляющее не менѣе 10% и достигающее во многихъ случаяхъ до 25%. — Независимо отъ этого прямаго сбереженія въ топливѣ, происходящаго отъ устраненія выбрасыванія нагрѣтой воды, происходитъ отъ питанія прѣсною водою не прямое сбереженіе топлива, вслѣдствіе отсутствія въ котлахъ накипей, которыя, не смотря на частое продуваніе все таки образуются, и составляя дурно проводящій слой, облегающій изнутри поверхность нагрѣва, значительно увеличиваетъ расходъ топлива. —

Весьма важное значеніе питанія морскихъ котловъ прѣсною водою происходитъ еще отъ того обстоятельства, что при употребленіи морской воды для питанія котловъ дѣйствующихъ болѣе, чѣмъ съ двумя атмосферами дѣйствительнаго давленія, осадки солей образуются столь быстро, что выгодное дѣйствіе котла становится невозможнымъ. — Поэтому при употребленіи соленой питательной воды невозможно дѣйствовать парами высокаго давленія, и слѣд. приходится терять огромное количество топлива, которое можно сохранить при употребленіи паровъ высокаго давленія посредствомъ значительнаго ихъ расширенія. —

Кромѣ этихъ прямыхъ выгодъ примѣненіе питанія прѣсною водою: a) дозволяетъ съ меньшими котлами производить то же количество пара, что и при соленой водѣ т.к. теплопроводность стѣнокъ, согласно объясненному, при прѣсной водѣ значительно больше, чѣмъ при соленой; b) избавляетъ отъ необходимости чистить котлы; c) предохраняетъ паровой цилиндръ отъ царапинъ, которыя легко являются при употребленіи соленой воды, т.к. при образованіи изъ нея пара легко вмѣстѣ съ нимъ увлекаются земистыя частицы, которыя, попадая между поршнемъ и цилиндромъ, значительно повреждаютъ сей послѣдній. —

Отъ употребленія прѣсной питательной воды для судовъ дальняго плаванія проистекаетъ еще особая выгода, состоящая въ значительномъ сохраненіи внутри судна того мѣста, которое при питаніи котла соленой водой пришлось бы занять углемъ излишне употребляемымъ въ машинахъ безъ нарушенаго охлажденія. — Предполагая только 20% сбереженія, производимаго въ топливѣ отъ употребленія прѣсной воды и считая по 2 кф. угля въ часъ на лошадиную силу, получимъ, что 500 сильный пароходъ, долженствующій 14 дней пробыть на морѣ, долженъ имѣть при обыкновенномъ питаніи котловъ морскою водою запасъ угля, составляющій:

$$14 . 24 . 2 . 500 = 336{,}000 \text{ кф}$$

при прѣсной же питательной водѣ на 20% или слишкомъ на 67 тоннъ болѣе воды т.е. угля меньше нужно, такъ, что такой пароходъ можетъ принять това-

ровъ на 67 тоннъ болѣе въ томъ случаѣ, когда употребляетъ прѣсную воду, нежели въ томъ случаѣ, когда употребляетъ соленую воду для питанія своихъ котловъ.-

Впрочемъ употребленіе наружнаго охлажденія влечетъ за собою одну весьма серьезную невыгоду.- Опытъ показалъ, что долговѣчность котловъ сильно уменьшается отъ употребленія прѣсной воды, такъ, что котлы при соленой водѣ, служащіе обыкновенно около девяти лѣтъ, при прѣсной водѣ не служатъ болѣе пяти лѣтъ, и должны сильнѣйшаго вслѣдствіе того, что желѣзо оказывается сильно разъѣденнымъ и пострадавшимъ.- Это объясняется тѣмъ, что при наружномъ охлажденіи питательная вода заключаетъ въ себѣ довольно много сала, уносимаго изъ цилиндра охлаждаемымъ паромъ, и изъ того сала образуются кислоты, которыя и разъѣдаютъ желѣзо.- Должно надѣяться, что можно будетъ найти практически удобное средство устранить это вліяніе кислотъ при употребленіи наружнаго охлажденія, и тогда единственнымъ его недостаткомъ будетъ дороговизна первоначальнаго устройства и нѣкоторая громоздкость, отъ которой избавиться весьма трудно.-

16. Первое, дѣйствительно практическое, примѣненіе наружнаго, называемаго также поверхностнымъ, охлажденія, (Surface-condensation) сдѣлано было въ Англіи инженеромъ Голлемъ (Hall) на судахъ общества Индѣйскаго Пароходства.- Холодильникъ этой системы изображенъ въ вертикальномъ разрѣзѣ на фиг. 22; состоитъ онъ изъ системы вертикальныхъ трубокъ малаго діаметра, укрѣпленныхъ своими верхними и нижними концами въ двѣ металлическія доски, причемъ вся система заключена въ чугунный ящикъ, верхняя часть котораго образуетъ камеру, куда идетъ изъ машины мятый паръ, а нижняя часть образуетъ камеру, въ которой собирается вода, образующаяся черезъ охлажденіе пара; охлаждающая вода вгоняется особымъ насосомъ, циркулируетъ между трубками въ среднемъ пространствѣ, ограниченномъ двумя металлическими дисками, въ коихъ укрѣплены концы трубъ.- Для извлеченія прѣсной воды изъ нижней камеры поставленъ обыкновенный, и обыкновенныхъ размѣровъ воздушный насосъ; хотя объемъ продуктовъ охлажденія здѣсь гораздо меньше, чѣмъ при внутреннемъ охлажденіи.- Но, какъ первые холодильники Голля были приспособлены къ старымъ, уже существующимъ машинамъ, на мѣсто обыкновенныхъ холодильниковъ, то признано было полезнымъ для сокращенія расходовъ по передѣлкѣ оставить воздушные насосы прежняго устройства.-

Соединеніе трубъ съ дисками въ аппаратахъ Голля было сдѣлано посредствомъ особаго сальника для каждой трубы, какъ это показано на (фиг. 22 а), но это соединеніе, представляя каждой трубѣ полную возможность расширяться и сжиматься, въ то же время значительно увеличивало стоимость холодильника, и потому сдѣлано было много попытокъ къ тому, чтобы упростить это соединеніе.-

Между прочимъ пробовали дѣлать трубы съ продолговатымъ сѣченіемъ (фиг. 23) чтобы уменьшить число соединеній при той-же поверхности нагрѣва въ данномъ объемѣ, а для упрощенія соединенія трубъ съ досками, концы трубъ заливаются въ доски, для которыхъ подобрали сплавъ такимъ образомъ, чтобы получить плотный спай, который потомъ подправляли посредствомъ сильной расчеканки трубъ.-

Понятно однако, что такое соединеніе не представляло возможности свободнаго

расширенія трубъ и онѣ легко выскакивали. Затѣмъ было придумано гораздо лучшее соединеніе, состоящее въ томъ, что трубы просто вставлялись въ точно высверленныя въ доскѣ дыры (фиг. 24), затѣмъ на выдающіяся изъ этой доски концы/ихъ надѣвалась пластинка изъ каучука, и поверхъ ея еще мѣдная доска, которая посредствомъ болтовъ притягивалась къ первой доскѣ, а сдѣшая каучукъ по направленію оси трубъ, раздавала его по направленію перпендикулярному, плотно прижимая каучукъ къ боковымъ стѣнкамъ трубъ, и дѣлая въ томъ мѣстѣ герметическій запоръ безъ какого либо стѣсненія для расширенія трубъ.- Основанное на томъ-же началѣ, но еще болѣе удобное соединеніе трубъ придумано Сьюэлемъ (Sewell); оно состоитъ въ томъ, что (фиг. 25) на концы трубъ, свободно проходящихъ черезъ дыры, сдѣланныя въ металлической доскѣ, натянута каучуковая пластинка въ которой пробиты для трубъ отверстія меньшаго чѣмъ трубы діаметра; вслѣдствіе чего, каучукъ, надѣвшись на трубы образуетъ около каждой изъ нихъ плотно прилегающій воротникъ, внутри котораго она свободно можетъ двигаться.- Затѣмъ въ промежуткахъ между трубами каучукъ плотно прижатъ къ металлической стѣнкѣ, черезъ которую проходятъ трубы, посредствомъ особой, привинченной къ этой стѣнкѣ чугунной доски, снабженной по направленіямъ трубъ отверстіями, а въ промежуткахъ между трубами выдающимися ребрами.- Въ холодильникѣ Сьюэля по трубамъ проходитъ вода, а паръ циркулируетъ между трубами, такъ, что здѣсь средняя камера образуетъ холодильникъ, а каучуковые воротники, независимо отъ собственной упругости надѣваются къ трубкамъ избыткомъ давленія въ камерахъ, гдѣ циркулируетъ вода, надъ давленіемъ, имѣющемъ мѣсто собственно въ холодильникѣ, т.е. въ средней камерѣ.- Схематическій чертежъ холодильника Сьюэля имѣется на (фиг. 26).-

Паръ, окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ проходитъ въ холодильникъ трубою A, и охлажденный, въ видѣ воды, выходитъ трубою B.- Охлаждающая-же вода входитъ трубою C въ лѣвую камеру холодильника, и струя ея, встрѣчая въ перегородкѣ D (поставленной отъ дна на разстояніи равномъ $\frac{1}{3}$ высоты всей камеры) препятствіе къ движенію прямо вверхъ, загибается въ бокъ и черезъ нижнія трубы проходитъ въ правую камеру, откуда, встрѣчая перегородку E (поставленную на разстояніи $\frac{1}{3}$ высоты холодильника отъ его неба) средними трубами направляется опять въ лѣвую камеру, поверхъ перегородки D, и оттуда уже по верхнимъ трубамъ направляется второй въ правую камеру и выходитъ изъ холодильника трубою F.-

Это описаніе показываетъ, что холодильникъ Сьюэля есть аппаратъ съ противоположнымъ токомъ и ельд. въ немъ каждая единица охлаждающей поверхности производитъ наибольшее, возможное для нея дѣйствіе; вообще этотъ приборъ есть одинъ изъ самыхъ лучшихъ холодильниковъ съ нарушеннымъ охлажденіемъ; устроенъ онъ весьма практически въ томъ отношеніи, что всѣ трубки чрезвычайно легко вынимаются и вставляются опять, а для того, чтобы къ нимъ можно было удобно подойти, стѣнки водяныхъ камеръ укрѣплены къ ящику холодильника на винтахъ.- Такимъ образомъ оказывается возможнымъ въ холодильникѣ для 200 сильной машины, заключающемъ въ себѣ 4000 трубокъ, въ теченіи четырехъ часовъ вынуть всѣ трубки одну за другою, вычистить ихъ и собрать весь холодильникъ вновь.- Трубки для-

этого холодильника употребляются латунныя, имѣющія 20 m/m наружнаго діаметра, толщину стѣнокъ 1,5 m/m длину отъ 2 ft до 3 ft met., а оставаться онѣ центръ отъ центра на разстояніи 30 m/m.-

Чтобы избавиться по возможности отъ значительнаго числа трубъ малаго діаметра и множества соединеній, а также въ то же время достигнуть большой поверхности охлажденія при маломъ объемѣ, придумана была еще особая система холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, которая изображена въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ на (фф. 27 и 28).-

Приборъ состоитъ изъ двухъ системъ трубъ, изъ которыхъ одна имѣютъ діаметръ въ 75 m/m а другія въ 105 m/m.- Трубы большаго діаметра короче, а меньшаго діаметра длиннѣе и послѣднія установлены концентрически съ первыми; концы каждой системы трубъ укреплены въ особыхъ металлическихъ доскахъ C, D, E, F, которыя попарно соединены между собою кольцами G, H и трубами K, L, такимъ образомъ вся система составляетъ три камеры, изъ коихъ A и B, расположенныя по концамъ, соединены между собою кольцеобразными проходами между концентрически поставленными трубами, а средняя посредствомъ K и L сообщается съ внутренностью металлическаго цилиндра, въ которомъ заключенъ весь приборъ; съ одного конца въ этотъ цилиндръ входитъ вода, которая турбинкой съ винтовыми лопастями распредѣляется и идетъ частью внутри узкихъ, а частью снаружи широкихъ трубъ въ противоположный конецъ цилиндра, откуда особою трубою выводится вонъ; паръ-же, окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ поступаетъ въ камеру A, и попромежуткамъ между концентрическими трубами идетъ въ камеру B, откуда въ видѣ воды направляется особою трубою къ питательному насосу.- Этотъ приборъ имѣетъ то весьма хорошее свойство, что поперечное сѣченіе каждой струи пара весьма невелико, и притомъ оно представляется въ видѣ кольца, охлаждаемаго щаяся и снаружи и изнутри, такъ, что частицы пара получаютъ на пути своемъ изъ камеры A въ камеру B весьма тѣсное прикосновеніе съ охлаждаемыми поверхностями, что конечно способствуетъ ихъ обращенію въ воду.-

Описанный приборъ есть конечно одинъ изъ самыхъ лучшихъ дешевыхъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, т.к. здѣсь получается громадная охлаждающая поверхность на которую, сравнительно идетъ и мало матеріала, и за которую не очень много работы.-

Что касается до размѣровъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ описанныхъ системъ, въ которыхъ вода приводится къ охлаждаемымъ поверхностямъ непремѣнно струею, то, какъ показываетъ опытъ необходимо имѣть на каждый кгр. расходуемаго пара въ теченіе часа 0,0516 □ метра охлаждающей поверхности и расходовать 114 кгр. охлаждающей воды.- Чтобы перевести это правило на лошадиныя силы, мы замѣтимъ, что на каждый кгр. пара, расходуемаго въ секунду приходится охлаждающая поверхность въ 185,76 □ met., и какъ кгр. пара атмосферного давленія занимаетъ объемъ въ 1,65 куб. met., то на охлажденный кубическій метръ пара атмосферного давленія, расходуемаго въ теченіе секунды требуется охлаждающая поверхность въ 112,6 □ метра; кубическій же метръ такого пара;

расходуемый въ секунду, даетъ 65 номинальныхъ лошадиныхъ силъ, слѣд. охлаждающая поверхность на номинальную лошадиную силу составитъ 1,74 □ mt.-

17. Кромѣ описанныхъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, въ которыхъ вода непрерывною струею циркулируетъ около охлаждающей поверхности трубъ, есть еще холодильники въ коихъ производится охлажденіе трубъ посредствомъ опрыскиванія ихъ поверхности холодною водою. Самый извѣстный изъ такихъ холодильниковъ есть холодильникъ Пирссона, изображенный на (ф 29 и 30).-

Онъ состоитъ изъ системы горизонтальныхъ трубъ, вставленныхъ своими концами въ двѣ доски, которыя ограничиваютъ собою среднюю камеру, въ которую впрыскивается вода, охлаждающая снаружи трубки; по одну сторону средней камеры находится камера, въ которую входитъ отработавшій паръ, а по другую сторону камера, куда собирается образующаяся черезъ охлажденіе пара вода; вода эта извлекается изъ послѣдней камеры посредствомъ питательнаго насоса и употребляется для пополненія котла; охлаждающая же вода извлекается изъ средней камеры посредствомъ сильнаго воздушнаго насоса, который поддерживаетъ внутри средней камеры то-же давленіе, какое имѣется и въ боковыхъ камерахъ вслѣдствіе охлажденія пара; при этомъ часть охлаждающей воды обращается въ паръ и отнимается весьма значительное количество теплоты отъ трубокъ, на которыя падаетъ.-

Преимущество этого холодильника въ случаѣ, если имѣется недостаточное количество охлаждающей воды ясно само собою, — но сверхъ того, онъ заключаетъ въ себѣ еще нѣсколько достоинствъ.-

1) Такъ какъ въ немъ давленіе на трубки извнутри и снаружи одинаковое, то толщина стѣнокъ этихъ трубокъ можетъ быть сдѣлана весьма малая и слѣдовательно: а) при той-же охлаждающей поверхности потребуется менѣе матеріала на трубы и холодильникъ будетъ дешевле; б) вслѣдствіе тонкостѣнности трубъ, количество теплоты, черезъ нихъ отдаваемой въ то-же время будетъ больше, чѣмъ при толстыхъ трубахъ, и слѣд. охлаждающая поверхность можетъ быть уменьшена, что еще уменьшитъ расходы на устройство холодильника.-

2) Т. к. давленіе въ средней и боковыхъ камерахъ поддерживается въ этомъ холодильникѣ одно и то-же, то жидкости, содержащіяся въ нихъ не имѣютъ стремленія переходить изъ одной камеры въ другую, а потому здѣсь не нужно хлопотать о совершенно герметическомъ отдѣленіи камеръ, гдѣ охлаждается паръ и гдѣ циркулируетъ охлаждающая вода; вслѣдствіе этого обстоятельства трубки холодильника Пирссона просто вставлены въ точно высверленныя дыры досокъ отдѣляющихъ среднюю камеру отъ боковыхъ.- Это въ весьма значительной степени упрощаетъ и удешевляетъ устройство холодильника.-

Изображенный на чертежѣ охлаждающій приборъ Пирссона относится къ машинѣ въ 192 силы французскаго парохода Mouette; въ немъ охлаждающая поверхность составляетъ всего 124 □ mt, или 0,74 □ mt. на лошадиную силу, тогда какъ въ другихъ приборахъ съ наружнымъ охлажденіемъ, по вышесказанному на каждую лошадиную силу требуется 1,74 □ mt. охлаждающей поверхности.-

Тѣмъ не менѣе, не смотра на малый объемъ воздушнаго насоса, составляющій

всего $\frac{1}{10}$ долю объема парового цилиндра, въ трубахъ достигается давленіе небольшее того, которое получается въ большей части холодильниковъ и съ нарруженнымъ охлажденіемъ, производимымъ непрерывною струею воды.-

Конечно эти выгодные результаты съ аппаратомъ Пирсона обусловливаются необходимо устройствомъ особаго воздушнаго насоса, который не нуженъ въ обыкновенныхъ охлаждающихъ приборахъ съ нарруженнымъ охлажденіемъ.-

18. При устройствѣ нарруженнаго охлажденія необходимо имѣть въ виду, что питательный насосъ, посылающій въ котелъ прѣсную воду, получаемую отъ охлажденія пара, будетъ забирать также и воздухъ къ ней примѣшанный; воздухъ этотъ входя въ котелъ и переходя изъ него въ цилиндръ и оттуда въ холодильникъ увеличиваетъ давленіе внутри его имѣющееся, и такимъ образомъ уменьшаетъ полезное дѣйствіе, производимое холодильникомъ, поэтому весьма полезно на соединительной трубѣ между питательнымъ насосомъ и котломъ поставить горшекъ, снабженный самодѣйствующимъ клапаномъ, и примкнуть въ нижней частиго, идущія къ питательному насосу и котлу трубы.- Воздухъ, освобождающійся изъ воды, скопляется мало по малу въ верхней части горшка, но прежде чѣмъ онъ достигнетъ уровня верхней, производящей питательной трубы, поплавокъ откроетъ клапанъ и воздухъ выйдетъ наружу т.к. это дѣлается въ обыкновенной вантузѣ.

19. Когда нарруженное охлажденіе устраивается для морскихъ пароходовъ съ цѣлью питать котлы прѣсною водою, то необходимо имѣть въ виду, что вслѣдствіе различныхъ потерь пара, въ холодильникѣ вообще собирается меньшее количество воды сравнительно съ тѣмъ, что испаряется въ котлѣ, а потому недостающее въ холодильникѣ количество воды приходится пополнять.- Съ этою цѣлью устраивается особый приборъ именуемый дестиллаторомъ, назначенный для перегонки морской воды.- Эти дестиллаторы бываютъ весьма различнаго устройства; на (фр 31) изображенъ типъ весьма удобный и часто встрѣчающійся.-

Онъ состоитъ изъ желѣзнаго цилиндра, погруженнаго въ паровомъ резервуарѣ котла, и выдающагося изъ него наружу верхнею своею частью; этотъ цилиндръ посредствомъ трубки a, запирающейся краномъ и самодѣйствующимъ клапаномъ, соединеннымъ съ поплавкомъ, сообщенъ съ моремъ, а трубкою b съ холодильникомъ.- Чтобы наполнить этотъ цилиндръ морскою водою открываютъ кранъ на трубѣ b, причемъ внутри цилиндра устанавливается давленіе холодильника, а морская вода трубкою a устремляется въ дестиллаторъ, пока уровень воды не вознесется до того, что поплавокъ запретъ клапанъ, тогда морская вода, находящаяся подъ низкимъ давленіемъ холодильника, и окруженная снизу и съ боковъ горячимъ паромъ начинаетъ кипѣть, и пары ея идутъ въ холодильникъ, гдѣ и обращаются въ воду вмѣстѣ съ малымъ паромъ, идущимъ изъ цилиндра.- Дестиллаторъ при обыкновенныхъ условіяхъ долженъ дѣйствовать только по временамъ, именно тогда, когда замѣчается понижеиіе уровня воды въ котлѣ; чтобы его остановить, достаточно запереть кранъ на трубѣ b.- Въ дестиллаторѣ, если его не продувать, будетъ скопляться мало по малу значительное количество осадковъ морскихъ солей, въ предупрежденіе этого необходимо время отъ времени выдувать всю содержащу-

ются внутри его воду; съ этою цѣлью трубкою C пускаютъ паръ изъ котла въ дестиллаторъ, причемъ, содержащаяся въ немъ морская вода выталкивается черезъ трубку d, спускающуюся, какъ видно въ углубленіе, нарочно для этого сдѣланное въ днѣ дестиллатора. - Такимъ обр. вся вода со значительнымъ процентнымъ содержаніемъ солей выбрасывается изъ дестиллатора, и на мѣсто ея затѣмъ пускается морская свѣжая вода.

20. Дѣйствіе дестиллатора становится непрерывнымъ въ случаѣ, когда, останавливая машину на нѣкоторое время хотятъ однако сохранить въ котлахъ нормальное давленіе съ цѣлью быть готовыми немедленно, какъ того потребуется пустить машину въ ходъ, и съ этою цѣлью поддерживаютъ огонь въ топкѣ, выпуская образующійся паръ черезъ предохранительные клапаны въ атмосферу. - При этомъ является необходимость питать котелъ, и какъ машина не дѣйствуетъ, то прѣсная вода можетъ быть получена только черезъ охлажденіе пара въ дестиллаторѣ, который потому дѣйствуетъ постоянно, но какъ вмѣстѣ съ тѣмъ и дѣйствіе холодильника должно не прерываться, то во время подобныхъ стоянокъ необходимо постоянно приводить въ движеніе насосъ, доставляющій охлаждающую воду. - Въ то-же время надобно дѣйствовать и питательнымъ насосомъ; поэтому, для избѣжанія тяжелой ручной работы насосами, всегда полезно имѣть при машинѣ съ наружнымъ охлажденіемъ небольшую вспомогательную машину, приводящую въ движеніе питательный насосъ и насосъ для холодной воды. - Нерѣдко такую машину прямо устанавливаютъ въ размѣрахъ необходимыхъ для нормальнаго дѣйствія котловъ, и тогда чинятъ въ главной машинѣ насосъ для холодной воды и питательный насосъ, такъ, что пароходъ получаетъ прямо двѣ машины, изъ которыхъ одна служитъ для двигателя, а другая для охлажденія пара. -

Выше приведены данныя коими слѣдуетъ руководствоваться при разсчетѣ наружнаго охлажденія пара. Какъ видно изъ приведенныхъ чиселъ, количество охлаждающей воды въ приборахъ съ наружнымъ охлажденіемъ значительно (почти въ пять разъ) болѣе, чѣмъ въ приборахъ съ внутреннимъ охлажденіемъ, и поверхность охлажденія должна быть весьма значительная.

21. Охлажденіе пара, какъ наружное, такъ и внутреннее, особенно-же первое требуетъ, какъ видно изъ предъидущаго весьма большаго расхода воды, а потому въ тѣхъ случаяхъ, когда въ распоряженіи не имѣется достаточнаго количества холодной воды, или когда полученіе стоитъ слишкомъ дорого, обыкновенно отказываются отъ устройства охлажденія пара(*) но чтобы извлечь нѣкоторую пользу изъ теплоты, которую уноситъ съ собою паръ, окончившій дѣйствіе въ цилиндрѣ, его нерѣдко употребляютъ для подогрѣванія питательной воды, температуру которой доводятъ

(*) Иногда впрочемъ и въ этихъ случаяхъ употребляются машины съ охлажденіемъ пара но тогда теплую воду изъ холодильника не отводятъ прочь, а охлаждаютъ, проводя ее въ резервуары съ обширною поверхностью, прикасающеюся съ наружнымъ воздухомъ. - Такимъ образомъ, нагрѣтая черезъ охлажденіе пара вода снова принимаетъ первоначальную температуру, и можетъ быть вновь употреблена для охлажденія пара. - Это устройство имѣетъ тотъ недостатокъ, что оно дорого и занимаетъ много мѣста.

такимъ обр. до 70° Ц. и выше.- Подогрѣватели употребляются двухъ родовъ: съ *внутреннимъ подогрѣваніемъ*, причемъ паръ прикасается прямо къ водѣ, идущей для питанія котла и нагрѣваетъ ее и съ *наружнымъ подогрѣваніемъ* причемъ вода получаетъ теплоту отъ пара черезъ посредство стѣнокъ трубъ, въ коихъ она заключена, и около которыхъ циркулируетъ отработавшій паръ.-

Иногда впрочемъ бываетъ и наоборотъ, т.е. отработавшій паръ двигается по трубамъ, а вода находится въ бакѣ, изъ котораго и берется для питанія котла особымъ насосомъ.-

Въ первой системѣ вода нагрѣвается непремѣнно прежде, чѣмъ пройдетъ черезъ питательный насосъ, во второй системѣ она можетъ нагрѣваться и прежде и послѣ, но если нагрѣваніе воды желаютъ производить послѣ того, какъ она прошла черезъ питательный насосъ, т.е. когда она уже находится подъ давленіемъ, равнымъ давленію внутри котла, то очевидно выгоднѣе заставить воду идти по узкимъ трубамъ, а паръ заставить циркулировать около этихъ узкихъ трубъ, т.к. онѣ при маломъ діаметрѣ могутъ быть сдѣланы съ тонкими стѣнками, и выдерживать давленіе равное давленію котла, а также и наружный конецъ, подвергающійся и снаружи и внутри атмосферному давленію, можетъ быть сдѣланъ изъ очень тонкаго желѣза.-

Таково расположеніе подогрѣвателя, при которомъ изъ него берется вода въ питательный насосъ, имѣетъ то преимущество, что всѣ его части подвергаются только атмосферному давленію, а потому, не испытывая никакихъ напряженій почти не могутъ разстроиваться, но въ заслугу тоже является недостатокъ, состоящій въ томъ, что насосъ получаетъ горячую воду, дѣйствуетъ менѣе исправно, вслѣдствіе отдѣленія изъ горячей воды пара при всасывающемъ размахѣ, который при 100° напр. достигаетъ атмосферного давленія и слѣд. насосъ можетъ дѣйствовать хорошо только въ томъ случаѣ, если уровень бака, изъ коего черпается вода стоитъ выше самого верхняго положенія поршня.-

22. Въ послѣднее время подогрѣватели устраиваются весьма различныхъ системъ; здѣсь приводятся описанія двухъ подогрѣвателей, одного съ внутреннимъ и другого съ наружнымъ подогрѣвомъ, которые оба оказались весьма удовлетворительными.

Фиг. 32 изображаетъ подогрѣватель съ внутреннимъ подогрѣвомъ въ вертикальномъ разрѣзѣ.- Онъ представляетъ собою цилиндръ, закрытый сверху крышкою J и раздѣленный по высотѣ горизонтальными желѣзными перегородками B, B утвержденными на трехъ желѣзныхъ стержняхъ d, d, d, на нѣсколько взаимно сообщающихся камеръ.- Питательная вода вливается трубкою C, и переливаясь съ одной перегородки на другую падаетъ въ резервуаръ, составляющій собою пьедесталъ подогрѣвателя, мятый же паръ приходитъ трубою B, и циркулируя между перегородками въ направленіи обратномъ движенію воды нагрѣваетъ ее, какъ черезъ непосредственное прикосновеніе, такъ и черезъ перегородки B, и затѣмъ выходитъ въ атмосферу трубою E; отъ пьедестала этого прибора, составляющаго резервуаръ теплой воды идетъ труба F къ питательному насосу, и другая боковая труба къ небольшому цилиндру съ поплавкомъ, указывающимъ положеніе уровня воды въ резервуарѣ, и съ небольшою слѣпою трубою, назначенною для удаленія грязи накопившейся въ приборѣ

воды.- Дѣйствіе этого прибора совершенно ясно изъ сдѣланнаго описанія, а потому къ предъидущему прибавимъ только, что этотъ приборъ приноситъ еще особую пользу въ случаѣ, если вода, употребляемая для питанія котла, содержитъ много примѣсей и солей въ растворѣ, т. к. значительная часть ихъ осаждается на перегородкахъ, раздѣляющихъ камеры и можетъ быть съ нихъ легко удалена, для чего сдѣлать только открыть крышку, вынуть всю систему перегородокъ и простымъ выколачиваніемъ отбить осѣвшіе на нихъ осадки.-

На (фиг. 33) изображенъ въ вертикальномъ и горизонтальномъ разрѣзахъ въ $\frac{1}{25}$ натуральной величины приборъ съ нарѣзнымъ подогрѣваніемъ для 30-сильной машины; этотъ приборъ назначенъ для нагрѣванія воды, уже прошедшей черезъ питательный насосъ.- Онъ очень похожъ на поверхностный холодильникъ, и состоитъ изъ трехъ камеръ; изъ нихъ въ нижнюю камеру h входитъ трубкою g вода изъ питательнаго насоса, вода эта по десяти трубамъ, соединяющимъ верхнюю и нижнюю камеры, переходитъ въ верхнюю камеру k, откуда уже трубкою l идетъ въ котелъ.- Паръ окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ входитъ въ приборъ трубкою m, вертикальною перегородкою n принуждается идти внизъ, и затѣмъ, поднимаясь кверху выходитъ трубкою o.- Должно замѣтить въ приборѣ еще слѣдующія составныя части: въ нижней камерѣ есть овальное отверстіе q, плотно закрытое, и служащее при остановкахъ прибора для выгребанія грязи мало по малу накопляющейся въ нижней камерѣ, особенно при нечистой водѣ; въ нижней части средней камеры есть боковая трубка p, служащая для удаленія изъ резервуара воды, образующейся отъ охлажденія пара, и наконецъ въ верхней камерѣ имѣется предохранительный клапанъ, который необходимъ, чтобы приборъ не разорвался далѣе въ томъ случаѣ, если питательный насосъ будетъ дѣйствовать при закрытомъ питательномъ клапанѣ котла.-

ГЛАВА ТРЕТЬЯ.

Регулированіе движенія паровыхъ машинъ.

1. Работа, доставляемая паромъ, который дѣйствуетъ на поршень парового цилиндра, преобразуется въ работу полезныхъ сопротивленій при посредствѣ прочихъ органовъ машины.- Для этого преобразованія можно представить себѣ исчисленное множество весьма разнообразныхъ способовъ, тѣмъ не менѣе только два изъ нихъ имѣютъ дѣйствительное практическое примѣненіе.

Первый изъ этихъ способовъ состоитъ въ томъ, что полезное сопротивленіе прилагается прямо къ стержню парового поршня, т. что давленіе пара на паровой поршень при помощи стержня передается прямо туда, гдѣ находится преодолѣваемое сопротивленіе.- Второй же способъ состоитъ въ томъ, что сопротивленіе полезное, для преодолѣнія котораго устроена машина, прилагается соотвѣтственнымъ цѣлымъ образомъ къ валу

машины, которому при посредствѣ промежуточныхъ органовъ (шатуна съ кривошипомъ, къ коимъ въ извѣстныхъ случаяхъ присоединяется еще коромысло) передается движеніе парового поршня, превращаемое при самой передачѣ въ непрерывное вращательное движеніе; и въ той и въ другой системѣ дѣйствіе можетъ быть непрерывнымъ и періодическимъ, конечно только при соблюденіи того условія, что движущая сила и сопротивленія при каждомъ періодѣ движенія взаимно уравновѣшиваются, т. е. при условіи, что работа движущей силы, во время полнаго періода движенія равна суммѣ работъ сопротивленій; но ни въ той ни въ другой системѣ нѣтъ возможности распорядиться дѣйствіемъ движущей силы и сопротивленій такимъ образомъ, чтобы онѣ находились ПОСТОЯННО въ равновѣсіи: — дѣйствительно въ первой системѣ поршень при выходѣ изъ мертвой точки долженъ пріобрѣсти нѣкоторую скорость (иначе машина никогда не придетъ въ движеніе), а для этого необходимъ перевѣсъ движущей силы надъ сопротивленіемъ; точно также, приближаясь къ мертвой точкѣ, поршень долженъ терять пріобрѣтенную прежде скорость, а для этого необходимъ избытокъ сопротивленія надъ движущею силою. –

Равнымъ образомъ въ машинахъ съ вращательнымъ движеніемъ, вращающійся моментъ давленія, производимаго паромъ въ мертвыхъ точкахъ кривошипа обращается въ 0, и постоянно измѣняется при переходѣ отъ одной мертвой точки до другой; потому для постояннаго равновѣсія между силою и сопротивленіемъ въ такихъ машинахъ необходимо-бы было, чтобы и моментъ сопротивленія измѣнялся, и притомъ совершенно по такому-же закону, по которому измѣняется моментъ движущей силы, что достигнуть невозможно. –

Вслѣдствіе-же отсутствія постояннаго равновѣсія между движущею силою и сопротивленіемъ машина необходимымъ образомъ измѣняетъ скорость своего движенія, и предѣлы внутри которыхъ это измѣненіе происходитъ, существеннымъ образомъ зависятъ отъ величины и расположенія массъ, составляющихъ машину. –

2. Чтобы яснѣе представить себѣ вліяніе, производимое массами, составляющими машину, на предѣлы измѣненія ея скорости, возьмемъ сначала самый ясный примѣръ машинъ, въ которыхъ сопротивленіе непосредственно дѣйствуетъ на паровой стержень; этотъ примѣръ представляется корнваллійскими водокачальными машинами прямаго дѣйствія, въ которыхъ, къ стержню парового поршня прямо и непосредственно подвѣшены поршни насосовъ, служащихъ для вкачиванія воды изъ рудниковъ, для накачиванія ея въ резервуары съ цѣлью питанія городовъ и т. п. Въ сказанныхъ машинахъ разность между движущею силою и сопротивленіемъ, дѣйствующими на главный стержень машины бываетъ чрезвычайно велика и съ цѣлью заключенія скорости въ предѣлахъ, представляющихъ достаточную безопасность, съ этими машинами соединяются значительныя движущіяся уравновѣшенныя массы, сила инерціи которыхъ представляетъ или добавочное сопротивленіе (когда движущая сила имѣется въ избыткѣ надъ прочими сопротивленіями), или добавочный источникъ движущей силы, (когда сопротивленіе больше, чѣмъ сила, приводящая машину въ движеніе). – Въ первомъ случаѣ движеніе машины ускоряется; во второмъ замедляется но, какъ при значительной массѣ движущихся частей ихъ сила инерціи, соотвѣт-

ствующая малому измѣненію скорости представляетъ уже большую величину, то ускореніе и замедленіе движенія получаются незначительныя, и разность между наибольшею и наименьшею скоростью поршня (послѣдняя въ разсматриваемомъ случаѣ есть 0) выходитъ нечрезвычайно большая.-

Такимъ обр. въ этихъ машинахъ, представляющихъ собою типъ одного изъ первоначально употреблявшихся способовъ приложенія пара къ промышленнымъ цѣлямъ мы встрѣчаемъ уже принѣненіе силы инерціи движущихся масъ къ уменьшенію разности между наибольшею и наименьшею скоростью машины или къ регулированію движенія ея.-

3. Способъ, который употребленъ въ приведенномъ случаѣ для регулированія хода машины, не представляется однако дѣйствительно удобнымъ.- Не говоря уже о томъ, что размахъ поршня въ этихъ машинахъ не имѣетъ совершенно точныхъ предѣловъ, скорость движенія регулирующихъ масъ въ каждое мгновеніе здѣсь равна скорости движенія остальныхъ органовъ машины (пароваго поршня, стержня и насосныхъ поршней); а какъ скорость этихъ послѣднихъ частей, по самой сущности дѣла должна быть очень умѣренная, то скорость, а стало быть и ускореніе регулирующихъ масъ, не можетъ быть велико, вслѣдствіе-же этого, для полученія въ регулирующихъ массахъ достаточной силы инерціи необходимо эти массы брать довольно значительными, отчего машина становится крайне громоздка, дорога и непрочна.- Очевидно, что это неудобство было-бы устранено, если-бы регулирующія массы были соединены съ машиною такимъ образомъ, чтобы ихъ скорость значительно превосходила скорость тѣхъ органовъ машины, для которыхъ, какъ напр. для пароваго поршня желательно движеніе чрезвычайно быстрое.- Въ такомъ случаѣ при каждомъ измѣненіи скорости пароваго поршня, получалось-бы измѣненіе скорости регулирующихъ масъ въ столько-же разъ большее, во сколько разъ ихъ скорость превосходитъ скорость поршня при томъ положеніи, въ которомъ онъ находится, а потому въ регулирующихъ массахъ возбуждалась-бы весьма значительная сила инерціи даже при самомъ небольшомъ ускореніи или замедленіи пароваго поршня, а черезъ это, очевидно достигалась-бы возможность значительно уменьшить величину регулирующихъ масъ, безъ всякаго ослабленія ихъ регулирующаго дѣйствія.-

4. Наиболѣе простое, ведущее къ этой цѣли устройство состоитъ въ томъ, чтобы ввести въ составъ машины вращающійся валъ, на который посадить колесо съ большимъ вѣсомъ обода, имѣющее діаметръ значительно превосходящій размахъ пароваго поршня.- Путь, проходимый массою, сосредоточенною въ ободѣ такого колеса, будетъ во много разъ превосходить соотвѣтствующій путь поршня, а слѣд. скорость и ускореніе этой массы будетъ также во много разъ больше, чѣмъ соотвѣтствующая скорость и ускореніе поршня, движеніе котораго и можетъ вслѣдствіе того достаточно регулироваться при сравнительно небольшомъ вѣсѣ самой регулирующей массы.- Это соображеніе, вмѣстѣ съ выгодою, получаемою отъ точнаго ограниченія размаха поршня, соединеннаго посредствомъ шатуна и кривошипа съ вращающимся около неподвижной оси валомъ, и было побудительною причиною, по которой въ настоящее время даже въ тѣхъ случаяхъ, когда прямое назначеніе паровыхъ машинъ не требуетъ вращательнаго

движенія, это послѣднее вводится нарочно съ цѣлью регулированія въ составъ машины, и съ этимъ соединяется вращающійся валъ, несущій на себѣ колесо большаго діаметра съ тяжелымъ ободомъ, получающее названіе маховаго колеса.—

Вслѣдствіе изложенныхъ соображеній сдѣлалось нынѣ почти всеобщимъ употребленіе маховыхъ колесъ въ качествѣ регулирующихъ масъ для большихъ водоочаленъ и воздуходувныхъ машинъ, въ которыхъ однако обыкновенно поршень насоса или воздуходувнаго цилиндра, садится на продолженіе пароваго стержня, такимъ образомъ, что пріемникъ движущей силы (паровой поршень) прямо и непосредственно соединяется съ исполнительнымъ орудіемъ (поршнемъ, производящимъ давленіе на поднимаемую воду или на сдавливаемый воздухъ); въ этихъ машинахъ, подобно, какъ въ Корнвалійскихъ водокачкахъ, работа, доставляемая двигателемъ и работа, поглощаемая сопротивленіями, хотя и равны между собою для полнаго размаха поршня, но далеко неравны между собою для отдѣльныхъ частей этого размаха, и слѣд. въ нихъ, подобно тому, какъ въ Корнвалійскихъ машинахъ представляется необходимость ввести въ составъ машины такія массы, сила инерціи которыхъ при небольшихъ измѣненіяхъ въ скорости поршня могла бы поглощать разность между движущею силою и сопротивленіемъ.— Эти регулирующія массы и вводятся въ нихъ въ видѣ маховыхъ колесъ, садящихся на отдѣльномъ спеціально устроенномъ валѣ, который приводится въ движеніе особымъ шатуномъ и кривошипомъ отъ главнаго стержня общаго паровому и исполнительному поршнямъ.—

5. Въ обыкновенныхъ фабричныхъ машинахъ, цѣль которыхъ состоитъ въ полученіи вращательнаго движенія встрѣчается то же самое обстоятельство, что и въ машинахъ упомянутыхъ выше: въ нихъ обыкновенно сопротивленіе (представляющееся въ видѣ давленія на зубъ колеса, сидящаго на главномъ валѣ, или въ видѣ разности въ натянутостяхъ ремня, перекинутаго черезъ шкивъ, сидящій на томъ же главномъ валѣ) при нормальныхъ условіяхъ дѣйствуетъ постоянно съ одинаковымъ напряженіемъ, и по направленію касательному къ окружности, описываемой точкою его продолженія; движущая же сила пара, передаваемая на валъ при помощи шатуна и кривошипа измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ.— Такъ, не обращая даже вовсе вниманія на измѣненія движущей силы, происходящія отъ уменьшенія давленія пара при его расширеніи, прямо видно, что вращающее дѣйствіе пара равно 0 въ каждой изъ мертвыхъ точекъ кривошипа, очень мало по сосѣдству съ мертвыми точками и постепенно увеличивается по мѣрѣ приближенія кривошипа къ положеніямъ, въ коихъ онъ составляетъ съ шатуномъ прямой уголъ.— Слѣдовательно здѣсь между работою движущей силы и работою сопротивленія, соотвѣтствующими одному и тому же уму вращенія вала, встрѣчаются значительныя разницы, а потому, если съ машиною не будутъ связаны регулирующія массы, то угловая скорость машины будетъ измѣняться въ очень значительныхъ предѣлахъ, между тѣмъ для фабричныхъ машинъ выгодно устраненіе неравномѣрности угловаго движенія главнаго вала въ большей части случаевъ составляетъ одно изъ важнѣйшихъ и главнѣйшихъ условій хорошаго дѣйствія и слѣд. регулирующія массы представляются совершенною необходимостью.

Не трудно видѣть, что въ этомъ случаѣ устройство регулирующихъ масъ въ видѣ

маховаго колеса, прямо насаженнаго на ось главнаго вала, особенно удобно примѣняется къ достиженію возможно равномѣрнаго угловаго движенія. — Масса обода этого колеса, находящаяся въ большомъ разстояніи отъ оси вращенія, потребуетъ значительное линейное ускореніе или замедленіе при самомъ маломъ измѣненіи угловой скорости вала, и возбуждаемая въ ободѣ колеса этимъ ускореніемъ или замедленіемъ сила инерціи, можетъ при самыхъ незначительныхъ измѣненіяхъ въ угловой скорости вала поглотить большую разность между переносимою на валъ движущею силою пара и приложеннымъ къ валу сопротивленіемъ. Понятно, что для возбужденія въ ободѣ маховика силы инерціи достаточной для поглощенія данной разности между движущею силою и силою сопротивленія, потребуется тѣмъ меньшее измѣненіе угловой скорости, чѣмъ будетъ больше масса обода маховаго колеса, и чѣмъ больше будетъ его линейная, т. есть, чѣмъ больше будетъ его діаметръ. —

6. Такимъ обр. маховое колесо представляется весьма важнымъ и существеннымъ органомъ для паровыхъ машинъ вообще. — Какъ видно изъ всего предъидущаго роль его состоитъ въ ослабленіи неравномѣрности, происходящей въ движеніи машины отъ того, что движущая сила и сопротивленія не находятся постоянно въ равновѣсіи, хотя и уравновѣшиваются между собою для полнаго періода движенія; но независимо отъ этого въ дѣйствіи сопротивленій, преодолѣваемыхъ машиной встрѣчаются извѣстныя неправильности, которыя нарушаютъ равновѣсіе между ними и движущею силою даже и для полнаго періода движенія, такъ что работа сопротивленій, вычисленная для всего періода движенія, выходитъ или большею или меньшею, чѣмъ работа движущей силы. — При такихъ условіяхъ періодичность движенія машины уже необходимымъ образомъ нарушается, причемъ скорость или постепенно увеличивается (если перевѣсъ на сторонѣ движущей силы), или постепенно уменьшается (если перевѣсъ на сторонѣ сопротивленій). — Уничтожить вліяніе такихъ измѣненій въ сопротивленіи маховое колесо не въ состояніи, оно можетъ только вліяніемъ своей силы инерціи замедлить измѣненіе скорости, такъ, что при маховомъ колесѣ съ большею силою инерціи измѣненіе скорости, производимое такими причинами будетъ происходить не столь быстро, какъ въ машинахъ, которыя вовсе не имѣютъ маховаго колеса, или имѣютъ маховое колесо съ небольшою силою инерціи. —

7. Такое дѣйствіе маховыхъ колесъ, замедляющее измѣненіе скорости, которое происходитъ отъ нарушенія для цѣлаго періода равновѣсія между силою и сопротивленіемъ, имѣетъ, какъ увидимъ впослѣдствіи свое существенно важное значеніе, но во всякомъ случаѣ для уничтоженія неправильностей отъ такихъ причинъ происходящихъ, необходимо другаго рода регулированіе, посредствомъ котораго должно измѣняться напряженіе движущей силы для всего размаха поршня, увеличиваясь или уменьшаясь, смотря по тому, въ которую сторону измѣняется сопротивленіе. — Приборы, служащіе для этой цѣли называются обыкновенно регуляторами въ тѣсномъ смыслѣ этого слова; въ составъ ихъ входитъ, или устроенный на паропроводной трубѣ вращательный клапанъ, или приспособленіе для измѣненія степени расширенія пара, притомъ приборы эти расположены такимъ образомъ, что они приходятъ въ движеніе только въ томъ случаѣ, когда преодолѣваемое сопротивленіе измѣнится, — причемъ пер-

вый увеличивает отверстие для прохода пара, а второй увеличивает періодъ впуска пара, когда сопротивленіе возрастает, и наоборотъ первый уменьшает отверстіе для прохода пара, а второй уменьшает періодъ впуска, когда сопротивленіе убывает.-

Какъ видно изъ этого объ системы регуляторовъ, какъ бы они ни были совершенны въ прочихъ частяхъ своихъ, могутъ немедленно оказывать свое вліяніе на ходъ машины, только въ такомъ случаѣ, если впускъ пара въ цилиндръ открытъ; так. обр. если бы напр. сопротивленіе преодолѣваемое машиною вдругъ исчезло при такомъ положеніи поршня, когда впускъ пара уже закрытъ(*) т.е. когда уже началось расширеніе пара, то вліяніе регулятора, которое въ этомъ случаѣ должно состоять въ совершенномъ прекращеніи доступа пара, начинается только тогда, когда поршень окончитъ свой размахъ и начнетъ слѣдующій т.к. только тогда откроется вновь впускъ пара, и регуляторъ получитъ возможность уменьшить работу, доставляемую двигателемъ.-

8. Указанный недостатокъ регуляторовъ, при слабомъ маховомъ колесѣ, можетъ имѣть весьма вредныя послѣдствія, а именно: работа, доставляемая паромъ отъ мгновенія, когда уничтожилось дѣйствіе сопротивленія, до мгновенія, когда регуляторъ обнаружитъ свое вліяніе черезъ совершенное прекращеніе доступа пара, можетъ быть столь велика, что она произведетъ весьма опасную скорость машины.-

Чтобы это не случилось, маховое колесо должно быть достаточно сильно для того, чтобы своею силою инерціи поглотить всю работу, произведенную паромъ отъ мгновенія, когда прекратилось дѣйствіе сопротивленія безъ увеличенія скорости машины до предѣла, при которомъ начинается нѣкоторая опасность.- Это обстоятельство не играетъ особенно важной роли для машинъ, ходящихъ почти безъ расширенія; но для машинъ, дѣйствующихъ со значительнымъ расширеніемъ оно имѣетъ важное значеніе, которое нельзя оставить безъ вниманія при опредѣленіи размѣровъ маховика, которые должны быть въ этомъ отношеніи провѣрены и провѣрка эта можетъ быть произведена слѣдующимъ образомъ:

Пусть U и εU изображаютъ собою объемы, описываемые цилиндромъ въ теченіе всего размаха и во время впуска и пусть будетъ $\varepsilon' U$ объемомъ вреднаго пространства $\rho U = 1{,}035 + 0{,}1x$ гдѣ x обозначаетъ пропорцію пара въ смѣси, поступающей въ цилиндръ; назовемъ еще черезъ p начальное давленіе рабочаго пара на единицу площади рабочей стороны поршня, и черезъ p' давленіе, производимое мятымъ паромъ на единицу площади нерабочей стороны поршня, черезъ f приведенное къ единицѣ площади поршня сопротивленіе, доставляемое вредными сопротивленіями, когда машина ходитъ порожняя; работа, доставляемая паромъ во время расширенія будетъ, какъ извѣстно:

$$U\left[p\,\frac{(\varepsilon-\varepsilon')}{\rho u-1}\left\{1-\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1-\varepsilon'}\right)\rho u-1\right\}-(p'+f')(1-\varepsilon)\right]=T$$

Если представимъ себѣ, что вся эта работа поглощается исключительно силою инерціи обода, маховаго колеса, то назвавъ черезъ W и W_1 угловыя скорости колеса въ концѣ размаха, получимъ равенство:

(*) Что очень можетъ случиться напр. въ фабричной машинѣ, когда лопнетъ ремень, передающій движеніе машины приводу или сломается самый приводъ, или вообще случится какое либо обстоятельство, прекращающее связь между паровою машиною и рабочими машинами, которыя она приводитъ въ движеніе.-

$$\frac{MR^2}{2}(W^2 - W_1^2) = T$$

Въ этомъ равенствѣ можно положить W_1 равнымъ нормальной угловой скорости машины, и опредѣлить угловую скорость W, которую приметъ машина, имѣющая маховикъ извѣстной массы M и извѣстнаго радіуса R въ концѣ размаха, если въ моментъ начала расширенія будетъ совершенно уничтожено полезное сопротивленіе. — Точно также и наоборотъ задавъ себѣ предѣлъ W, который не долженъ превосходить скорость машины въ концѣ размаха и одну изъ величинъ M и R можемъ изъ предыдущаго ур-ія опредѣлить другую изъ этихъ двухъ величинъ. — Если положимъ:

$$W = W_1 + \frac{W_1}{m}$$

то получимъ, пренебрегая членами обратно пропорціональными m^2

$$\frac{MR^2 W_1^2}{m} = T$$

Откуда легко по даннымъ W_1, M и R опредѣлить m, или наоборотъ по даннымъ W_1, m и одной изъ величинъ M и R опредѣлить другую. — Что касается значенія m, то оно опредѣлено(*) въ каждомъ частномъ случаѣ сообразно нормальной скорости, которую имѣетъ машина и очевидно можетъ быть взято значительно меньше для машинъ, ходящихъ съ малою угловою скоростью, чѣмъ для машинъ быстровращающихся. — Въ большей части случаевъ при повѣркѣ маховика можно полагать m отъ 8 до 12. —

9. Предыдущій разборъ показываетъ, какое значеніе имѣетъ маховое колесо въ чрезвычайныхъ случаяхъ, при необыкновенномъ состояніи машины; главное же его назначеніе состоитъ въ томъ, какъ объяснено выше, чтобы производить регулированіе машины при обыкновенныхъ нормальныхъ условіяхъ ея дѣйствія; его главное назначеніе состоитъ въ томъ, чтобы при измѣненіяхъ скорости, заключенныхъ въ тѣсныхъ предѣлахъ развивать работу силы инерціи, достаточную для того, чтобы помощать избытки въ работѣ двигателя надъ его сопротивленіемъ и сопротивленія надъ двигателемъ, являющіяся въ паровой машинѣ на отдѣльныхъ частяхъ размаха поршня даже въ томъ случаѣ, когда для всего размаха работы эти равны между собою, чтобы получить вѣрныя правила для опредѣленія размѣровъ маховыхъ колесъ, удовлетворяющихъ этимъ условіямъ, назовемъ черезъ W_0 угловую скорость маховика въ которой либо изъ двухъ мертвыхъ точекъ поршня, а черезъ W угловую его скорость въ

(*) Г. Двельгаусеръ-Дери, который въ первый разъ обратилъ вниманіе на указанное здѣсь дѣйствіе маховыхъ колесъ (Revue universelle des mines 1872 г. Ш. XXXI стр. 205 и слѣд) совѣтуетъ полагать въ этомъ ур-іи W равнымъ наибольшей угловой скорости машины, которую она имѣетъ при нормальныхъ условіяхъ своего хода; если принять, что въ обыкновенныхъ случаяхъ наибольшая скорость машины отличается отъ другой не болѣе, какъ на 2% а во многихъ случаяхъ требуется для правильности производства, чтобы упомянутая разность не превосходила 1% средней скорости, то выставленные Г. Двельгаусеръ-Дери требованія представляются преувеличенными для разсматриваемаго случая, такъ, что здѣсь идетъ рѣчь вовсе не о томъ, чтобы получить большую равномѣрность хода, а только о томъ, чтобы не дойти до опасной скорости, и остановить машину какъ можно скорѣе. — Поэтому во многихъ случаяхъ можно полагать въ предыдущемъ ур-іи, что наибольшая скорость на 10 и даже на 15% превосходитъ среднюю скорость. — Правило г. Двельгаусеръ-Дери приводитъ во многихъ случаяхъ къ чрезмѣрно тяжелымъ маховикамъ. —

то мгновеніе, когда онъ находится на разстояніи S отъ этой мертвой точки, назовемъ соотвѣтственно $\varphi(S)$ и $\psi(S)$ работы доставляемыя двигателемъ и сопротивленіемъ въ то время, какъ поршень проходитъ путь S; на основаніи закона живыхъ силъ, и въ предположеніи, что вся разница между работою двигателя и сопротивленія преобразуется исключительно въ живую силу маховика, можемъ написать ур-іе:

$$\frac{MR^2}{2}(W^2 - W_0^2) = \varphi(S) - \psi(S)$$

Изъ этого ур-ія видимъ, что скорость W достигаетъ своей наибольшей и своей наименьшей величины для того значенія S, для котораго:

$$\varphi'(S)dS - \psi'(S)dS$$

перемѣняется знакъ; но какъ $\varphi'(S)dS$ и $\psi'(S)dS$ суть очевидно элементарныя работы двигателя и сопротивленія, соотвѣтствующія перемѣщенію dS поршня, то мы получаемъ слѣдующее заключеніе: *угловая скорость маховика достигаетъ своей наибольшей и наименьшей величины при такихъ положеніяхъ поршня, для которыхъ разность элементарныхъ работъ двигателя и сопротивленія измѣняетъ знакъ.* - Движеніе мы предполагаемъ періодическое, вычисленная-же для полнаго періода разность между работою двигателя и работою сопротивленія есть нуль; изъ этого заключаемъ, что разность между элементарными работами непремѣнно измѣняетъ свой знакъ въ теченіе періода и притомъ непремѣнно четное число разъ. -

Дѣйствительно угловая скорость маховика въ теченіе періода измѣняется, а какъ въ концѣ періода она принимаетъ ту-же величину, которую имѣла въ его началѣ, то очевидно скорость не можетъ ни постоянно возрастать, ни постоянно убывать; слѣдовательно она необходимо будетъ имѣть по крайней мѣрѣ одну наибольшую и одну наименьшую величину; если такихъ величинъ имѣется только одна между предѣлами ограничивающими періодъ, и если положимъ, что эта одна величина будетъ наибольшая, то очевидно, что отъ начала періода до того положенія при которомъ получается наибольшая величина, скорость постоянно возрастаетъ и отъ наибольшей величины до конца періода она постоянно убываетъ, а слѣд. всѣ безъ исключенія скорости, принимаемыя маховикомъ въ теченіе періода будутъ больше, чѣмъ скорость отвѣчающая началу и концу періода, а слѣд. эта послѣдняя скорость будетъ наименьшая. - Такимъ обр. въ этомъ случаѣ скорость маховика будетъ имѣть одну наибольшую и одну наименьшую величину, очевидно, что такое-же разсужденіе можно примѣнить и къ тому случаю, если между предѣлами, ограничивающими періодъ имѣется одна наименьшая скорость; тогда скорость, соотвѣтствующая началу и концу періода будетъ наибольшая, и слѣд. опять угловая скорость маховика будетъ имѣть одну наибольшую и одну наименьшую величину. - Переходя къ случаю, когда внутри предѣловъ періода будетъ нѣсколько положеній, при которыхъ скорость маховика будетъ наибольшею, замѣтимъ, что отъ одной наибольшей къ другой скорость не можетъ перейти, не проходя черезъ наименьшую величину, а потому между каждыми двумя смѣженными положеніями при которыхъ скорость имѣетъ наибольшую величину, существуетъ одно положеніе при которомъ она имѣетъ величину и наименьшую, а потому если MN (ф. 34) изображаетъ полный періодъ движенія и A, B, C, D изображаютъ положенія поршня, при которыхъ скорость будетъ наибольшею, то соотвѣтственно между A и D, между B и C, между

C – D а равно между D и A, существует по одному такому положению машины, при которомъ маховикъ имѣетъ наименьшую скорость, такимъ обр. каждой наибольшей скорости отвѣчаетъ внутри періода наименьшая скорость, и число этихъ наибольшихъ и наименьшихъ скоростей вмѣстѣ взятыхъ будетъ непремѣнно четное, а какъ при каждой наибольшей и наименьшей скорости разность элементарныхъ работъ двигателя и сопротивленія перемѣняетъ знакъ, то каждый періодъ заключаетъ въ себѣ четное число положеній при которыхъ эта разность измѣняетъ свой знакъ; одна половина этихъ положеній отвѣчаетъ наибольшимъ значеніямъ угловой скорости маховика, изъ наибольшихъ скоростей одна будетъ самая большая, пусть она будетъ W_1, а другая будетъ самая малая, пусть она будетъ W_2; пусть кромѣ того путь поршня отъ мертвой точки до положенія, соотвѣтствующаго самой большей изъ наибольшихъ скоростей будетъ S_1, а путь поршня отъ мертвой точки до положенія соотвѣтствующаго самой малой изъ наименьшихъ скоростей пусть будетъ S_2; очевидно, что мы получимъ:

$$\frac{MR^2}{2}\left\{W_1^2 - W_0^2\right\} = \varphi(S_1) - \psi(S_1)$$

$$\frac{MR^2}{2}\left\{W_2^2 - W_0^2\right\} = \varphi(S_2) - \psi(S_2)$$

откуда прямо находимъ:

$$\frac{MR^2}{2}\left\{W_1^2 - W_2^2\right\} = \left[\varphi(S_1) - \psi(S_1)\right] - \left[\varphi(S_2) - \psi(S_2)\right]$$

Если допустимъ, что полусумма наибольшей и наименьшей угловыхъ скоростей равна средней угловой скорости (C), то обозначая разность между наибольшею и среднею скоростію $\frac{C}{2i}$, мы можемъ написать первую часть предъидущаго ур-ія въ такомъ видѣ:

$$\frac{MR^2}{2}(W_1 - W_2)(W_1 + W_2) = \frac{1}{i} MR^2 C^2$$

и тогда все ур-іе представится слѣдующимъ образомъ:

$$\frac{1}{i} MR^2 C^2 = \left[\varphi(S_1) - \psi(S_1)\right] - \left[\varphi(S_2) - \psi(S_2)\right] \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

Если найдемъ всѣ величины при которыхъ разность элементарныхъ работъ $\varphi(S)ds - \psi(S)ds$ измѣняетъ свой знакъ, то величины S_1, S_2 будутъ намъ извѣстны и слѣд. вторая часть послѣдняго ур-ія, представляющая собою разность между работою, доставленною двигателемъ и работою, поглощенною сопротивленіемъ во время перехода отъ наименьшей скорости къ наибольшей будетъ вполнѣ извѣстна, а слѣд, зная среднюю угловую скорость вала, и назначивъ величину i, которая очевидно пропорціональна степени равномѣрности машины, мы изъ предъидущаго ур-ія безъ всякаго затрудненія опредѣлимъ MR^2 а слѣд. задавъ себѣ массу или радіусъ маховаго колеса (что должно быть сдѣлано на основаніи особыхъ, не относящихся къ равномѣрности движенія, соображеній, которыя будутъ изложены ниже) получимъ возможность опредѣлить въ первомъ случаѣ радіусъ, а во второмъ случаѣ массу обода маховаго колеса.

Замѣтимъ, что т.к. $\varphi'(S)dS$ изображаетъ элементарную работу движущаго усилія пара, и ds есть элементъ пути описываемый, то величина $\varphi(S)$ есть ничто иное, какъ величина давленія производимаго паромъ на поршень; точно также и по той-же причинѣ $\psi(S)$ есть величина давленія, производимаго на поршень въ направленіи противоположномъ давленію пара, вслѣдствіе сопротивленія, преодолѣваемаго машиною; если точка приложенія этого сопротивленія имѣетъ точно такое-же движеніе, какъ паровой поршень, то очевидно $\psi(S)$ будетъ равно самому сопротивленію; если-же движеніе точки

приложенія сопротивленія неодинаково съ движеніемъ поршня, то обозначивъ черезъ Q дѣйствительную величину сопротивленія, отвѣчающую пути S пройденному поршнемъ, и черезъ dS величину пути, проходимаго точкою приложенія сопротивленія этого по его направленію въ то-же время, какъ поршень отмѣриваетъ путь dS, найдемъ $\psi'(S)$ изъ ур-ія

$$\psi'(S)dS = Qds' \quad \text{или} \quad \psi'(S) = Q\frac{ds'}{dS}$$

10. Для опредѣленія размѣровъ маховаго колеса, какъ видно изъ предъидущаго прежде всего слѣдуетъ опредѣлить тѣ положенія машины, при которыхъ маховикъ имѣетъ свою наибольшую и наименьшую скорость; эти положенія могутъ быть найдены черезъ аналитическое разрѣшеніе вопроса о тѣхъ значеніяхъ S, при которыхъ выраженіе: $\varphi'(S)dS - \psi'(S)dS$, т.е. разность между элементарною работою двигателя и сопротивленія переходитъ изъ отрицательнаго въ положительное значеніе и наоборотъ. — Въ простѣйшихъ случаяхъ рѣшеніе этого вопроса не представляетъ собою никакихъ затрудненій, но когда машина дѣйствуетъ съ расширеніемъ, а также если сопротивленіе не сохраняетъ постоянной величины, аналитическое рѣшеніе разсматриваемаго вопроса вообще довольно затруднительно. — Въ такихъ случаяхъ лучше всего прибѣгнуть къ графическому его рѣшенію, причемъ можно различить два случая: одинъ, когда сопротивленіе дѣйствуетъ прямо и непосредственно на стержень пароваго поршня, и другой, когда оно приложено по касательной къ окружности, описываемой точкою его приложенія. —

11. Въ первомъ случаѣ проведемъ прямую MN (ф. 35), изображающую путь поршня во время полнаго періода и раздѣливъ въ точкахъ M, A, B, C, D, E, F, G ... N на возможно большее число частей, возставимъ въ началѣ каждой части перпендикуляры: Mm, Bb, Aa и пр. изображающіе соотвѣтствующее каждой точкѣ давленіе, производимое паромъ на рабочую сторону поршня, уменьшенное на соотвѣтствующее давленіе пара на нерабочую сторону поршня, такимъ образомъ получимъ кривую линію m a b c ... n, изображающую собою измѣненія въ величинѣ движущаго давленія пара; площадь этой кривой Mmabc ... nN представитъ собою очевидно, полную работу, доставленную двигателемъ во время періода: часть-же этой площади, заключенная между смѣжными ординатами н.п.м. Dd и Ee представитъ работу, доставленную двигателемъ въ то время, какъ поршень проходилъ путь DE, а потому если точки D и E безконечно близки, то площадь DdeED изобразитъ элементарную работу, доставленную паромъ на безконечно маломъ пути DE поршня; если затѣмъ точно такимъ-же образомъ построимъ прямую m'a'b'c' ... n', изображающую измѣненія всѣхъ преодолѣваемыхъ паромъ сопротивленій, то площадь этой кривой Mm'a'b'c' ... n'N представитъ собою полную работу сопротивленій, а какъ для періода, работа доставленная двигателемъ и работа, поглощенная сопротивленіями между собою равны, то площадь второй кривой непремѣнно должна быть равна площади первой кривой, а слѣд., если только всѣ величины сопротивленія неравны соотвѣтственно величинамъ движущаго давленія пара, то кривыя: mabc ... n и m'a'b'c' ... n' непремѣнно между собою пересѣкаются; въ точкахъ-же пересѣченія этихъ кривыхъ разность между давленіями на поршень движущей силы и сопротивленія очевидно перемѣняетъ знакъ, а слѣд. перемѣняетъ знакъ также и разность между элементарными работами

двигателя и сопротивленія, (т.к. эта разность работъ очевидно равна произведенію разности между движущею силою и сопротивленіемъ на одинаковый элементарный путь, проходимый точками ихъ приложенія.)

Такимъ образомъ абсциссы M, X, F, Y точекъ пересѣченія m, x, f, y кривыя, изображающихъ ходъ измѣненій движущей силы и сопротивленія, будутъ представлять собою положенія поршня, соотвѣтствующія наибольшимъ и наименьшимъ скоростямъ маховика; притомъ т.к. разность между движущею силою и сопротивленіемъ при положеніи поршня M переходитъ изъ отрицательной величины ($Nn - Nn' = -nn'$) въ положительную ($Mm - Mm' = +mm'$), то точка M соотвѣтствуетъ наименьшей скорости; при положеніи поршня X, разность между движущею силою и сопротивленіемъ изъ положительной величины переходитъ въ отрицательную (проходя въ этой точкѣ черезъ 0), слѣд. въ точкѣ X получается наибольшая скорость; точно также найдемъ, что въ точкѣ F скорость маховика будетъ наименьшая, а въ точкѣ Y она будетъ наибольшая.

12. Изъ этого уже видно, съ какимъ удобствомъ графически опредѣляются положенія, при которыя маховикъ получаетъ свою наибольшую и наименьшую скорости; но польза графическаго построенія этимъ не ограничивается, дѣйствительно, въ чертежѣ (фиг 35) площадь M max X A M очевидно представляетъ собою, выраженную въ принятомъ масштабѣ (*) работу, доставленную движущею силою въ то время, какъ поршень двигался отъ мертвой точки до положенія, соотвѣтствующаго одной изъ наибольшихъ скоростей маховика, площадь же M m' a' x X A M представляетъ собою работу, поглощенную въ то же время сопротивленіемъ; слѣд разность этихъ двухъ площадей (заштрихованная на чертежѣ площадка m m' a x a' m') представляетъ собою выраженный въ принятомъ масштабѣ избытокъ работы, доставленной двигателемъ надъ работою, поглощенною сопротивленіемъ при переходѣ поршня изъ мертвой точки въ положеніе, соотвѣтствующее наибольшей скорости; точно также площадь x b' c' d' e' f' f'' e d c b x, заштрихованная на чертежѣ представитъ въ принятомъ масштабѣ избытокъ работы, поглощенной сопротивленіями, надъ работою, доставленною двигателемъ, при переходѣ отъ наибольшей скорости, имѣющей мѣсто при положеніи поршня X къ наименьшей, имѣющей мѣсто въ точкѣ F; площадь t' f g y g' f' изображаетъ избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія, при переходѣ отъ наименьшей скорости, имѣющей мѣсто въ точкѣ F къ наибольшей, которая получится въ точкѣ Y, и наконецъ площадь y h' j' k' l' n' n l k j k y представитъ избытокъ работы сопротивленія надъ работою двигателя при переходѣ отъ наибольшей скорости въ точкѣ Y къ наименьшей въ точкѣ N, или, что то же,

---

(*) Для устраненія всякихъ недоумѣній замѣтимъ здѣсь же, что для перевода этой площади въ килограммметры слѣдуетъ величину ея, выраженную въ квадратныхъ единицахъ, раздѣлить на произведеніе изъ числа линейныхъ единицъ, изображающихъ при вычерчиваніи одинъ метръ и изъ числа линейныхъ единицъ, изображающихъ одинъ кдг.; такимъ образ. если измѣренная площадь составляетъ 1456 □ mm., и если при начертаніи 1 метръ принятъ равнымъ 20 mm, и одинъ кдг. откладывается, какъ $\frac{1}{100}$ mm., то разсматриваемая площадь выражаетъ работу въ:

$$\frac{1456}{20 \cdot \frac{1}{10}} = 7280 \text{ килограммметровъ.-}$$

въ точкѣ M.- Избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія при переходѣ отъ мертвой точки къ каждой изъ двухъ наибольшихъ скоростей будетъ: при переходѣ къ первой, соотвѣтствующей положенію поршня x:

$$\square\, m'maxa'm'$$

при переходѣ ко второй, соотвѣтствующей положенію y:

$$\square\, m'maxa'm' + \square\, f'fgyg'f' - \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx$$

Смотря по тому, которая изъ этихъ двухъ величинъ больше, опредѣлится которая изъ двухъ скоростей маховика, имѣющая ли мѣсто въ точкѣ X или, имѣющая мѣсто въ точкѣ Y будетъ самая большая изъ двухъ наибольшихъ скоростей; точно также избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія будетъ:

При переходѣ отъ мертвой точки къ первой наименьшей скорости, соотвѣтствующей самой мертвой точкѣ нуль, при переходѣ же ко второй наименьшей, соотвѣтствующей положенію поршня въ F, этотъ избытокъ будетъ:

$$\square\, m'maxa'm' - \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx$$

Если этотъ послѣдній избытокъ будетъ меньше перваго (въ нашемъ случаѣ нуля) то самая малая изъ двухъ наименьшихъ скоростей будетъ въ точкѣ F; въ противномъ случаѣ она будетъ при положеніи поршня въ точкѣ M.-

13. Такимъ образомъ легко разрѣшить вопросъ о томъ при какомъ положеніи поршня будетъ самая малая изъ наименьшихъ и самая большая изъ наибольшихъ скоростей и въ то-же время опредѣляется избытки работы двигателя надъ работами сопротивленій при переходѣ отъ мертвой точки къ каждой изъ этихъ скоростей, т.е. опредѣляются величины, обозначенныя нами въ § 9 черезъ:

$$\varphi(S_1) - \psi(S_1) \quad \text{и} \quad \varphi(S_2) - \psi(S_2)$$

Такъ, если въ точкѣ X будетъ самая большая изъ наибольшихъ, а въ точкѣ M самая малая изъ наименьшихъ скоростей то будетъ:

$$\varphi(S_1) - \psi(S_1) = \square\, m'maxa'm'$$
$$\varphi(S_2) - \psi(S_2) = 0$$

и слѣд. ур-іе (1) приведется къ виду:

$$\frac{1}{J} MR^2c^2 = \square\, m'maxa'm'$$

Если въ точкѣ X будетъ самая большая изъ наибольшихъ, а въ точкѣ F самая малая изъ наименьшихъ скоростей, то

$$\varphi(S_1) - \psi(S_1) = \square\, m'maxa'm'$$
$$\varphi(S_2) - \psi(S_2) = \square\, m'maxa'm' - \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx$$

а слѣд. ур-іе (1) приведется къ:

$$\frac{2}{n} MR^2c^2 = \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx$$

Если скорость въ точкѣ Y будетъ самая большая изъ наибольшихъ, а въ точкѣ M самая малая изъ наименьшихъ, то

$$\varphi(S_1) - \psi(S_1) = \square\, m'maxa'm' - \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx + \square\, f'fgyg'f'$$
$$\varphi(S_2) - \psi(S_2) = 0$$

Имѣя это въ виду, а также принимая въ соображеніе, что въ силу періодичности движенія: $\square\, mm'axam' + \square\, f'fgyg'f' = \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx + \square\, yh'j'k'l'n'nlkjhy$ найдемъ, что ур-іе (1) приведется къ виду:

$\frac{1}{J} MR^2C^2 = \square$ yh'jk'e'n'nekjhy

Изъ этого разбора видно, что вообще для нахожденія величины $\frac{1}{J} MR^2C^2$ съ помощію чертежа надобно поступить по слѣдующему правилу: построивъ кривыя изображающія измѣненія движущей силы и сопротивленія, слѣдуетъ замѣтить точки ихъ пересѣченія, и измѣрить площади, заключенныя между кривыми и сказанными точками пересѣченія ограниченныя. Эти площади изображаютъ избытки работы двигателя надъ работою сопротивленія, которые будутъ положительными, если кривая движущихъ силъ лежитъ поверхъ кривой сопротивленій, и отрицательными если наоборотъ, кривая сопротивленій между взятыми точками пересѣченій лежитъ выше кривой движущихъ силъ. — Взявъ алгебраическую сумму опредѣленныхъ такимъ образомъ избытковъ работы двигателя надъ работою сопротивленій, заключенныхъ между первою и каждою изъ четырехъ точекъ пересѣченія обѣихъ кривыхъ, выберемъ наибольшую и наименьшую (т.е. численно наибольшую отрицательную) изъ этихъ суммъ; ихъ разность (т.е. сумма ихъ численныхъ значеній) и будетъ представлять величину $\frac{1}{J} MR^2C^2$.—

14. Въ томъ случаѣ, когда сопротивленіе приложено къ валу машины построеніе разности $\varphi'(S)dS - \psi'(S)dS$ по указанному въ предъидущемъ способу уясняется тѣмъ, что величина сопротивленія обыкновенно выражается въ этомъ случаѣ нѣкоторою простою зависимостью не отъ пути, проходимаго поршнемъ по выходѣ его изъ мертвой точки, а отъ угла, описываемаго валомъ, потому и разбора сопротивленія гораздо удобнѣе выражается въ зависимости отъ означеннаго угла, чѣмъ отъ пути поршня. — Для построенія кривой, изображающей измѣненія сопротивленія въ этомъ случаѣ, представляется на первый разъ много проще задать себѣ много различныхъ положеній вала, опредѣлить величину сопротивленія, соотвѣтствующаго каждому изъ этихъ положеній, и затѣмъ найти, какъ положеніе поршня, соотвѣтствующаго каждому изъ взятыхъ положеній вала, такъ и величины давленія на поршень, которыя-бы вполнѣ замѣняли опредѣленныя сопротивленія къ валу приложенныя. — Эти давленія опредѣляются, какъ извѣстно, тѣмъ условіемъ, что элементарная работа каждаго изъ нихъ, должна равняться соотвѣтствующей элементарной работѣ дѣйствительнаго сопротивленія. — Потому если предположимъ напр., что Q будетъ дѣйствительная величина сопротивленія, соотвѣтствующая тому положенію вала, которое онъ имѣетъ, когда кривошипъ, выходя изъ мертвой точки отсекъ уголъ a, если назначимъ черезъ R плечо этого сопротивленія, а черезъ S путь поршня, соотвѣтствующій углу a, и наконецъ черезъ Q_1, обозначимъ давленіе на поршень, замѣняющее собою сопротивленіе Q, то Q_1 опредѣлится равенствомъ:

$$Q_1 dS = Q.R.da$$

откуда:

$$Q_1 = QR\frac{da}{dS}$$

Но величина $\frac{da}{dS}$ для мертвыхъ точекъ поршня обращается въ безконечность, а потому, если только Q и R не обращаются въ 0, то давленіе Q_1 дѣлается для мертвыхъ точекъ безконечно большимъ, и около нихъ получаетъ весьма значительныя величины, а черезъ то непосредственное измѣненіе частей площади, ограниченной

кривою сопротивлений весьма затрудняется и приложение объясненного способа графическаго рѣшенія вопроса о маховыхъ колесахъ становится неудобнымъ.-

Потому въ разсматриваемомъ случаѣ употребляютъ способъ обратный только что описанному, а именно, вычисливъ для различныхъ положеній вала величины сопротивленія его плеча, замѣняютъ это сопротивленіе другимъ ему равнодѣйствующимъ и притомъ такимъ, котораго плечо было-бы постоянное и равное длинѣ кривошипа.- Затѣмъ давленіе на поршень, соотвѣтствующее каждому положенію вала замѣняютъ усиліемъ ему равнодѣйствующимъ, приложеннымъ къ валу, и имѣющимъ также плечо равное длинѣ кривошипа.- Опредѣляя элементарныя работы сопротивленія и двигателя, отвѣчающія безконечно малому ∠у вращенія вала, очевидно найдемъ, что онѣ будутъ = произведеніямъ изъ пути, описываемаго при этомъ умѣ центромъ кривошипа, на только что найденныя величины усилій, которыя, дѣйствуя на плечѣ равномъ длинѣ кривошипа, вполнѣ замѣняютъ собою двигателя и сопротивленіе.- А потому, если развернемъ окружность, описываемую центромъ кривошипа въ прямую линію, и раздѣливъ ее на извѣстное большое число частей проведемъ черезъ каждую изъ точекъ дѣленія къ прямой перпендикуляры и на нихъ отложимъ величины усилій, которыя, имѣя плечо = длинѣ кривошипа будутъ равнодѣйствующими движущей силы и сопротивленію, для этихъ (....) вычисленныхъ, то черезъ соединеніе концовъ отложенныхъ величинъ получимъ кривыя, изображающія ходъ измѣненій двигателя и сопротивленія при постепенномъ вращеніи вала.- Разсуждая съ этими кривыми точно также, какъ и съ кривыми, построенными для предъидущаго случая очевидно получимъ для опредѣленія размѣровъ маховика по этимъ кривымъ правило, тождественное съ выраженнымъ въ концѣ § 13.-

Справедливость всего этого разсужденія не трудно видѣть.- Пусть для положенія вала соотвѣтствующаго углу a, отсчитанному кривошипомъ по выходѣ изъ мертвой точки, P будетъ давленіе на поршень и Q сопротивленіе, дѣйствующее на плечѣ R; обозначимъ черезъ S путь поршня, соотвѣтствующій углу a, черезъ p длину кривошипа и черезъ dS элементъ пути поршня, соотвѣтствующій безконечно малому вращенію da вала кривошипа.- Если сверхъ того обозначимъ черезъ P' и Q' величины усилій, замѣняющихъ собою движущую силу и сопротивленіе, но приложенныхъ на плечѣ p, то P' и Q' опредѣляется равенствами:

$$P'pda = Pds \qquad Q'pda = QRda;$$

и какъ по предъидущему: $QRda = Q_1 ds$ (гдѣ Q_1 есть усиліе прямо дѣйствующее на поршень и замѣняющее собою сопротивленіе Q) то мы получимъ, что:

$$P'pda - Q'pda = Pds - Q_1 ds$$

а какъ P' и Q' суть ничто иное, какъ величины обозначенныя нами прежде черезъ $\varphi'(S)dS$ и $\psi'(S)dS$, то построенныя посредствомъ только что объясненнаго пріема кривыя дадутъ намъ тѣмъ же способомъ тѣ-же результаты, которые найдены посредствомъ кривыхъ, построеніе которыхъ объяснено въ предъидущемъ § 3, и которыя изображаютъ ходъ измѣненій движущаго давленія и сопротивленія, приложенныхъ прямо къ поршню и имѣютъ своими ординатами движущее

давленіе и сопротивленіе, а абсциссами пути, пройденные поршнями изъ мертвой точки.

При употребленіи этого способа совершенно избѣгается то затрудненіе, которое было указано выше въ случаѣ, если для сравненія элементарныхъ работъ двигателя и сопротивленія всѣ усилія преобразуются въ дѣйствующія на паровой поршень. На самомъ дѣлѣ, если, какъ указано здѣсь, и сопротивленіе и движущее давленіе пара будутъ замѣнены усиліями, дѣйствующими по касательной къ кругу, описываемому центромъ кривошипа, то, согласно найденному выше будетъ:

$$P' = P\frac{ds}{p\,da}\ ;\quad Q' = Q\frac{R}{p}\ ;$$

здѣсь p величина постоянная, отличная отъ нуля, $\frac{ds}{da}$ при соединеніи поршня съ кривошипомъ посредствомъ шатуна дѣлается нулемъ въ мертвыхъ точкахъ кривошипа, но ни при какомъ положеніи кривошипа не обращается въ ∞; равнымъ образомъ R, какъ дѣйствительное плечо, на которое дѣйствуетъ сопротивленіе Q', а также Q и P, какъ дѣйствительныя, приложенныя къ машинѣ силы, безконечностью быть не могутъ, слѣд. не будетъ ни одного положенія кривошипа, при которомъ бы P' или Q' могли сдѣлаться безконечностью.—

§ 15. Отношенія $P' = P\frac{ds}{p\,da}$; $Q' = Q\frac{R}{p}$; показываютъ аналитическій пріемъ, который можетъ быть употребленъ для опредѣленія величинъ P' и Q', но желательно конечно при употребленіи графическаго способа рѣшенія вопроса о маховыхъ колесахъ и ту часть задачи разрѣшить также посредствомъ графическихъ пріемовъ.—

Вопросъ о графическомъ нахожденіи Q' по опредѣленіи дѣйствительныхъ плечъ на которыхъ дѣйствуетъ на валъ при различныхъ положеніяхъ кривошипа сопротивленіе Q, не представляетъ никакого затрудненія, такъ Q' строится затѣмъ, какъ четвертая пропорціональная къ величинамъ Q, R и p; что-же относится до опредѣленія плечъ R, соотвѣтствующихъ различнымъ положеніямъ кривошипа, то этотъ вопросъ общимъ образомъ рѣшенъ быть не можетъ, т.к. пріемы для этого необходимые будутъ въ каждомъ частномъ случаѣ зависѣть отъ способа дѣйствія сопротивленія.— Въ фабричныхъ машинахъ величина R въ большей части случаевъ постоянная, и представляетъ собою радіусъ или зубчатаго колеса или шкива, сидящаго на главномъ валѣ и соединеннаго посредствомъ шестерни или фрірагo шкива и ремня съ осью привода, который передаетъ движеніе фабрикѣ.— Величина сопротивленія, такимъ образомъ дѣйствующаго при нормальныхъ условіяхъ хода машины бываетъ также постоянная и въ такомъ случаѣ:

$$Q' = Q\frac{R}{p}$$

будетъ величиною, не измѣняющею своего значенія, такъ, что кривая, изображающая ходъ измѣненій Q' въ этомъ случаѣ обращается въ прямую линію, параллельную оси абсциссъ.— Что касается до построенія P', то вопросъ этотъ сводится къ нахожденію усилія, которое будучи приложено по касательной къ окружности, описываемой центромъ кривошипа сообщало-бы ему то-же давленіе, которое ему сообщается давленіемъ пара на поршень.— Чтобы найти такую силу графически, перенесемъ мысленно давленіе P, производимое паромъ на поршень въ точку A (Чер. 36) сочлененія стержня съ шатуномъ, и отложимъ AB, изображающее величину и направленіе усилія P; если

это усиліе разложимъ на два $P_1 = AC$, идущее по направленію шатуна и AD направленное перпендикулярно къ стержню, то это послѣднее усиліе помѣстится на направляющею, на которую опирается головка стержня, усиліе же $P_1 = AD$, идущее вдоль шатуна передается по нему на цапфу кривошипа. — Усиліе AD, какъ уничтоженное сопротивленіемъ направляющей, никакого вліянія на движеніе вала и сидящаго на немъ маховика не произведетъ, а слѣд. и усиліе P замѣнится равнодѣйствующимъ ему усиліемъ P_1, идущимъ вдоль шатуна; перенесемъ это усиліе въ точку E сочлененія шатуна съ кривошипомъ и разложимъ его на два $P' = Eg$, идущее по направленію перпендикулярному къ кривошипу и EH — идущее по направленію кривошипа. — Это послѣднее усиліе опять не производитъ никакаго вліянія на движеніе вала, т.к. оно идетъ черезъ неподвижную ось O и слѣд. поглощается сопротивленіемъ частей этой оси поддерживающихъ, а слѣд. въ нашей системѣ $P_1 = EG$ изобразитъ собою усиліе, которое относительно вліянія на движеніе вала и маховика будетъ производить то-же дѣйствіе, какъ и усиліе $P_1 = AC$, а слѣд. также то-же самое дѣйствіе, какъ и усиліе $P = AB$. —

§. 16. Извѣстно, что условіе равнодѣйствія двухъ усилій выражается вообще равенствомъ возможныхъ элементарныхъ работъ этихъ усилій. — Нетрудно видѣть, что это условіе относительно усилій P и P' исполнено въ точности; дѣйствительно, единственно возможное для точки A движеніе идетъ по направленію усилія P, а какъ сила AD къ нему перпендикулярна, то ея возможная работа есть нуль; но въ то же время сила P есть равнодѣйствующая силъ P' и AD, слѣд. ея возможная работа равна суммѣ работъ возможныхъ P_1 и AD, возможная-же работа AD есть нуль, слѣд. возможная элементарная работа силы P равна возможной элементарной работѣ силы P'. — Перенося P' въ E, и откладывая ее въ EF по направленію шатуна мы не измѣняемъ ея возможной работы, но EF есть равнодѣйствующая P_1 и EH; слѣд. возможная работа P_1 по доказанному равна возможной работѣ P будетъ равна возможныхъ работъ P и EH; но возможная работа силы EH есть нуль т.к. эта сила идетъ $\perp$ къ единственному возможному движенію точки E, состоящему во вращеніи около центра O; откуда вытекаетъ, что возможная работа силы P_1, а слѣд. и равная ей возможная работа давленія пара P, равна возможной работѣ силы P_1, которая поэтому въ нашей системѣ есть дѣйствительная равнодѣйствующая силы P. —

§. 17. Изъ всего предъидущаго легко вывести для построенія кривой измѣненія движущей силы, воображаемой направленною $\perp$ къ кривошипу; для этого слѣдуетъ (фиг. 37) провести прямую XO по направленію линіи мертвыхъ точекъ и начертивъ окружность $a, b, c, d, e \ldots p, q, r, o$ описываемую кривошипомъ, раздѣлить ее на довольно большое число равныхъ между собою частей, въ точкахъ $a, b, c, d \ldots p, q, r$; изъ точекъ дѣленія радіусами равными длинѣ кривошипа описать дуги и замѣтить ихъ пересѣченія $A, B, C, D \ldots P, Q, R$ съ линіею мертвыхъ точекъ эти точки представляютъ положенія головки стержня, соотвѣтствующія положеніямъ кривошипа въ $a, b, c \ldots$, отъ точекъ $A, B, C \ldots$ по направленію давленія пара на поршень отложить величины $AA', BB', CC' \ldots$ изображающія въ принятомъ масштабѣ давленіе, производимое на поршень паромъ, соотвѣтственно находится въ точкахъ: $a, b, c \ldots$; изъ кон-

цовъ A', B', C'.... отложенныхъ давленій поставить къ линіи мертвыхъ точекъ ⊥ A'A'', B'B'', C'C''...; эти перпендикуляры отрѣжутъ на направленіяхъ шатуна отъ точекъ a, b, c,...; такимъ образомъ получая прямыя aa', bb', cc'...; изъ концовъ a', b', c'.... опустимъ ⊥: a'a'', b'b'', c'c''... на прямыя, соединяющія точки a, b, c.. съ центромъ O круга, описываемаго цапфою кривошипа; длины этихъ перпендикуляровъ a'a'', b'b'', c'c''... и представляютъ въ избранномъ масштабѣ величины силъ, которыя, будучи приложены по касательной къ окружности, описываемой цапфою кривошипа, производятъ въ движеніи вала тѣ же измѣненія, какъ и приложенныя къ поршню давленія пара; ихъ поэтому и называютъ давленіями пара на поршень, приведенными къ окружности кривошипа.-

Замѣтимъ, что каковы бы ни были дѣйствительныя давленія пара на поршень въ мертвыхъ точкахъ, они, какъ то видно изъ предъидущаго построенія, будучи приведены къ окружности кривошипа обращаются въ нуль, и слѣд. кривая движущей силы въ каждой мертвой точкѣ необходимо пересѣкаетъ ось абсциссъ, по которой откладываются пути, проходимые цапфою кривошипа.-

Когда построены, согласно вышесказанному величины давленій пара на поршень и сопротивленій, приведенныя къ окружности кривошипа, и соотвѣтствующія различнымъ его положеніямъ, то построеніе самихъ кривыхъ, изображающихъ ходъ измѣненій движущей силы и сопротивленія и опредѣляющихъ величины работъ этихъ усилій, не представляетъ никакого затрудненія.- Для этого откладываютъ прямую, равную окружности, описываемой кривошипомъ, и эту прямую дѣлятъ на столько же равныхъ частей, на сколько была раздѣлена окружность кривошипа при рѣшеніи вопроса о приведеніи къ ней и движущей силы и сопротивленія, и въ точкахъ дѣленій ставятъ перпендикуляры = опредѣленнымъ, для соотвѣтствующихъ точекъ окружности кривошипа, величинамъ движущей силы и сопротивленія, приведенныхъ къ окружности кривошипа.- Концы этихъ ⊥овъ и будутъ лежать на искомыхъ кривыхъ.-

§ 18. Приведеніе къ окружности кривошипа давленій пара на поршень нѣсколько измѣняется, если передача движенія кривошипу происходитъ при посредствѣ коромысла.- Здѣсь усиліе, производимое давленіемъ пара на поршень, преобразуется въ напряженіе шатуна, не при посредствѣ давленія направляющей на головку стержня, а при посредствѣ оси коромысла, представляющей неподвижную часть, на которую подшипники и производятъ давленіе, для сказаннаго преобразованія необходимое; поэтому, чтобы опредѣлить напряженіе шатуна при какомъ ни есть данномъ положеніи кривошипа (фиг. 38), нужно нанести на чертежѣ направленіе DX оси стержня парового поршня, положеніе оси вала O и коромысла O'; изъ этихъ точекъ, какъ центровъ, радіусами соотвѣтственно равными длинѣ шатуна и разстоянію отъ оси коромысла до оси, сочленяющей коромысло съ шатуномъ описать дуги и замѣтить ихъ точку пересѣченія A; прямая Aa представитъ направленіе шатуна и прямая O'A, направленіе коромысла въ то время, какъ цапфа кривошипа находится въ точкѣ a; усиліе дѣйствующее вдоль DX должно преобразоваться въ усиліе, дѣйствующее вдоль Aa при помощи

давленія на ось O'; слѣд. всѣ эти три усилія должны встрѣтиться въ одной точкѣ; а потому если продолжимъ BC и Aa до точки ихъ встрѣчи въ D, то прямая DO' представитъ направленіе давленія, производимаго на ось коромысла неподвижными частями, въ которыхъ она укрѣплена; поэтому если отложимъ отъ D до E величину давленія пара на поршень и проведемъ прямую EF параллельно Aa до встрѣчи съ DO'; то эта прямая изобразитъ напряженіе шатуна, а прямая DF давленіе на ось коромысла. — Т. обр. опредѣляется давленіе, испытываемое вдоль шатуна для каждаго положенія кривошипа, а затѣмъ давленіе, испытываемое касательной къ окружности, описываемой кривошипомъ, опредѣлится опредѣлится изъ напряженія шатуна тѣмъ-же способомъ, какъ и прежде. —

Т. к. направленіе шатуна весьма мало разнится отъ направленія стержня парового поршня, то точка пересѣченія этихъ двухъ направленій весьма легко можетъ упасть внѣ чертежа; въ такомъ случаѣ будетъ всего удобнѣе провести черезъ (·) B, пересѣченія коромысла съ направленіемъ парового стержня прямую; пересѣкающую направленіе шатуна въ произвольной точкѣ S, черезъ эту точку провести прямую SH ||-ю и = давленію пара на поршень и черезъ ея конецъ H, прямую HK ||-ю направленію коромысла до пересѣченія въ K съ прямою SB и наконецъ черезъ эту послѣднюю точку пересѣченія провести прямую KL ||-о направленію шатуна. Эта прямая и представитъ искомое напряженіе шатуна. — Дѣйствительно, если черезъ L проведемъ LM параллельно BS и затѣмъ изъ O' опустимъ перпендикуляры: O'S на направленіе давленія пара на поршень O'R на направленіе прямой BS, O'N на направленіе шатуна, то, какъ извѣстно будетъ:

$$DE \times O'S = DS \times O'N = EF \times O'N$$

$$KS \times O'R = SM \times O'N = KL \times O'N$$

Если-же продолжимъ SB, отложимъ BF = KS и затѣмъ по линіи DX отложимъ BU = DE и = SH, то очевидно прямая FU будетъ идти || KH и слѣд. || коромыслу O'B; поэтому △ки BFO' и BUO', какъ имѣющіе общее основаніе O'B и вершины на линіи параллельной основанію будутъ имѣть равныя между собою площади, площадь-же перваго изъ нихъ будетъ очевидно:

$$\frac{1}{2} BF \times O'R = \frac{1}{2} KS \times O'R$$

а площадь втораго:

$$\frac{1}{2} BU \times O'S = \frac{1}{2} DE \times O'S;$$

отсюда видно, что первыя части двухъ предъидущихъ равенствъ тождественны а слѣд. будетъ:

$$EF \times O'N = KL \times O'N \quad \text{или} \quad KL = EF$$

что мы и хотѣли доказать. —

Впрочемъ этотъ же самый результатъ можно получить, выходя изъ чисто механическихъ соображеній слѣдующ. образомъ: если мы приложимъ къ коромыслу въ точкахъ B и O' по двѣ равныя, противоположныя и направленныя вдоль коромысла усилія, то они ничѣмъ не измѣнятъ дѣйствія остальныхъ силъ, т. к. двѣ двѣ взаимно уничтожаются; но какъ сила, приложенная къ O' дѣйствуетъ прямо на неподвижную точку; то она уничтожается ея сопротивленіемъ, а сила, приложенная къ B дастъ, вмѣстѣ съ давленіемъ пара наклонную равнодѣйствующую, которая вслѣдствіе произвольности, приложенной вдоль коромысла

силы можетъ пересѣчь прямую Aa во всякой, напередъ заданной точкѣ G; величина этой равнодѣйствующей опредѣлится тѣмъ, что ея вертикальная слагающая должна равняться давленію пара на поршень, а другая слагающая — быть параллельна коромыслу; такъ и опредѣлено въ объясненномъ построеніи усиліе SH; разлагая его на усиліе, идущее по направленію Aa, и другое, проходящее черезъ неподвижную точку O', получимъ, что первая слагающая будетъ напряженіе шатуна, производимое давленіемъ пара на поршень, а второе, вмѣстѣ съ усиліемъ, приложеннымъ въ O' и идущимъ вдоль коромысла, дастъ равнодѣйствующую изображающую давленіе, производимое подпятникомъ на ось коромысла.—

Изложенныя указанія содержатъ въ себѣ всѣ начала необходимыя для разрѣшенія вопроса о построеніи кривыхъ, нужныхъ для опредѣленія размѣровъ маховика въ каждомъ частномъ случаѣ.— Такъ напр. если бы на валъ маховика дѣйствовали два кривошипа, расположенные подъ прямымъ угломъ и принимающіе усилія каждый отъ отдѣльнаго пароваго поршня, ходящаго въ отдѣльномъ паровомъ цилиндрѣ, какъ это обыкновенно бываетъ въ такъ наз. сопряженныхъ машинахъ, то слѣдовало бы построить кривыя давленій пара, приведенныхъ къ окружности кривошипа, для каждаго изъ кривошиповъ, и затѣмъ, для окончательнаго построенія кривой, опредѣляющей ходъ измѣненій движущей силы построить кривую, которой ординаты были бы равны суммамъ ординатъ обѣихъ кривыхъ, изображающихъ приведенныя къ окружности кривошипа давленія, имѣющіяся мѣсто одновременно для обоихъ кривошиповъ.

Чтобы дать понятіе о видѣ кривыхъ линій, получаемыхъ при построеніяхъ, изложенныхъ въ предъидущемъ, на фиг. 39 и слѣдующихъ изображены кривыя, относящіяся къ различнымъ частнымъ случаямъ въ предположеніи, что сопротивленіе есть величина постоянная и слѣд. во всѣхъ фиг. ходъ его изображается прямою линіей || оси.

§ 19.— Фиг. 39 относится къ тому случаю, когда машина имѣетъ одинъ цилиндръ въ которомъ паръ дѣйствуетъ безъ расширенія и притомъ шатунъ машины имѣетъ безконечно большую длину.— Въ такихъ машинахъ переходъ отъ внутренней мертвой точки къ наружной совершается буквально при тѣхъ же условіяхъ, какъ переходъ отъ наружной мертвой точки къ внутренней, а потому полный періодъ движенія равенъ полуразмаху.— На фиг. 39, AC представляетъ половинную длину окружности, описываемой центромъ кривошипа, A соотвѣтствуетъ одной и C другой мертвой (·); кривая AEBE'C представляетъ ходъ измѣненій приведенныхъ къ окружности кривошипа давленій пара, а прямая FEE'F' изображаетъ ходъ постояннаго сопротивленія.— Какъ видно въ мертвыхъ (··) ч., приведенное къ окружности кривошипа давленіе пара обращается въ 0 (какъ это впрочемъ замѣчено было уже и выше), до средины размаха это давленіе возрастаетъ и остановится наибольшимъ въ самой срединѣ размаха при положеніи поршня изображенномъ точкою D, и затѣмъ во второй половинѣ размаха убываетъ совершенно симметрическимъ тѣмъ, какъ возрастаетъ въ первой половинѣ размаха.— Эта кривая движущихъ силъ пересѣкаетъ прямую сопротивленій два раза въ теченіе періода, а именно въ точкахъ E и E' при положеніяхъ поршня въ e и въ e'.— Въ первой

точкѣ пересѣченія кривая движущихъ силъ снизу прямой сопротивленій переходитъ поверхъ ея, слѣд. разность элементарныхъ работъ движущей силы и сопротивленія изъ отрицательной дѣлается положительною и потому скорость маховика при положеніи поршня въ точкѣ E есть наименьшая. — Она становится наибольшею въ точкѣ E', гдѣ кривая движущей силы съ верху кривой сопротивленій переходитъ въ низъ ея и гдѣ слѣд. разность элементарныхъ работъ движущей силы и сопротивленія изъ положительной дѣлается отрицательною. —

Полная работа сопротивленія во время періода измѣряется площадью прямоугольника AFF'CA, а полная работа движущей силы площадью кривой AEBE'CA и какъ эти полныя работы, а слѣд. и измѣряющія ихъ площади равны между собою, то часть EBEE' площади кривой движущихъ силъ, лежащая поверхъ прямой сопротивленій равна суммѣ площадей AFEA и E'F'CE', принадлежащихъ прямоугольнику ограниченному прямою сопротивленій и лежащихъ поверхъ кривой движущихъ силъ. — Площадь EBEE' представляетъ избытокъ работы движущей силы надъ сопротивленіемъ при переходѣ отъ наименьшей скорости до наибольшей, а равная этой площади сумма площадей EFCE' и AFEA представляетъ избытокъ работы сопротивленія надъ работой движущей силы при переходѣ скорости отъ ея наибольшаго значенія къ наименьшему. — Если измѣрить площадь EBE'E, то окажется, что она составляетъ весьма приблизительно 0,21 всей площади прямоугольника AFF'CA т. е. избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія при переходѣ отъ наименьшей скорости къ наибольшей составляетъ 0,21 всей работы во время полнаго періода поглощаемой сопротивленіемъ (или что то-же; работы доставляемой паромъ въ теченіе періода). — Поэтому если назовемъ черезъ N число лошадиныхъ силъ полезной работы машины и черезъ n число ея оборотовъ въ минуту, то число размаховъ въ секунду составитъ $\frac{n}{30}$, а потому полезная работа одного размаха, выраженная въ килограммметрахъ составитъ:

$$75 \times 30 \frac{N}{n}$$

и на основаніи предъидущаго получимъ; что разность между наибольшею и наименьшею живою силою маховика будетъ:

$$0{,}21 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

и потому въ этихъ машинахъ получимъ для опредѣленія маховика:

$$\frac{1}{i} M R^2 C^2 = 0{,}21 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

или, обозначая черезъ V линейную скорость обода маховика ($V = RC$) и замѣняя массу обода его вѣсомъ (P), раздѣленнымъ на ускореніе тяжести $g = 9{,}81$ mt. помр.

$$P = 0{,}21 \times 75 \times 30 \times 9{,}81 \frac{Ni}{nV^2}$$

или, производя всѣ дѣйствія:

$$P = 4645 \frac{Ni}{nV^2}$$

§20. Фиг. 40 относится къ машинѣ съ однимъ цилиндромъ, въ которой паръ дѣйствуетъ тоже безъ расширенія, но въ которой шатунъ предположенъ не безконечно большимъ, а допущено, что его длина въ пять разъ превосходитъ длину кривошипа. — Въ такой машинѣ переходъ отъ внутренней мертвой точки въ наружной происходитъ при другихъ условіяхъ, нежели переходъ отъ на-

рущей мертвой точки къ внутренней; поэтому періодъ движенія будетъ уже не полъ оборота машины, а цѣлый оборотъ; откладывая поэтому ACA' = цѣлой окружности, описываемой кривошипомъ, и строя давленія пара, приведенныя къ этой окружности послѣдовательно для обоихъ размаховъ поршня, получимъ кривую движущихъ силъ, состоящую изъ двухъ вѣтвей AEBE'C и CE"B'E'"A', изъ которыхъ первая соотвѣтствуетъ переходу кривошипа изъ внутренней мертвой точки къ наружной, а вторая переходу отъ наружной мертвой точки къ внутренней. — Эти двѣ вѣтви, какъ видно симметричны относительно наружной мертвой точки, но каждая изъ нихъ будетъ несимметрична относительно средины размаха, а именно, наивысшія ординаты будутъ расположены ближе къ внутренней мертвой точкѣ, чѣмъ къ наружной. — Эта кривая пересѣкаетъ въ теченіе періода прямую F, F'F" сопротивленій въ четырехъ EE'E"E" точкахъ, и слѣд. во время періода имѣютъ мѣсто въ E' и E"', наибольшія и двѣ наименьшія скорости, причемъ наибольшія имѣютъ мѣсто въ E' и E"', а наименьшія въ E и E". — Чтобы опредѣлить которая изъ наибольшихъ скоростей будетъ самая большая, и которая изъ наименьшихъ самая малая, нужно измѣрить площади, заключенныя между кривою движущихъ силъ и кривою сопротивленій, ограниченныя точками пересѣченія. — Въ нашемъ случаѣ простой взглядъ на чертежъ убѣждаетъ, что площади EBE'E и E"BE'"E" равны между собою, а площадь E'E"CE' больше, чѣмъ каждая изъ площадей EBE'E и E"B'E'"E", а также больше, чѣмъ сумма площадей E'"A'F"E'" и AFEA. — Замѣтивъ это найдемъ, что измѣненіе живой силы маховика будетъ отъ E до E"

$$+\square EBE'E - \square E'E''CE'$$

что будетъ величиною отрицательною, такъ, что наименьшая скорость, имѣющая мѣсто въ точкѣ E" будетъ меньше, чѣмъ въ точкѣ E, затѣмъ мы найдемъ, что измѣненіе живой силы маховика отъ E' до E" будетъ:

$$+\square E'B'E'''E'' - \square E'E''CE'$$

что также будетъ величиною отрицательною, а потому наибольшая скорость въ точкѣ E'" будетъ меньше, чѣмъ наибольшая скорость, соотвѣтствующая точкѣ E'; поэтому самая большая скорость имѣетъ мѣсто въ точкѣ E', а потому наибольшее измѣненіе живой силы маховика имѣетъ мѣсто при переходѣ изъ положенія E' въ E", и это измѣненіе = площади E'E"CE', измѣряя ее находимъ, что она весьма приблизительно составляетъ 0,127 всей площади AFF'F"A, т.е. наибольшая разность живыхъ силъ маховика составляетъ 0,127 всей полезной работы, доставляемой во время періода машиною. — Употребляя тѣ-же обозначенія, что и прежде мы найдемъ, что средняя работа, доставленная во время періода (двойнаго размаха) выразится черезъ:

$$75 \times 60 \times \frac{N}{n}$$

а слѣд. разность между самою большою и самою малою живою силою маховика будетъ:

$$0{,}127 \times 75 \times 60 \times \frac{N}{n} = 0{,}254 \times 75 \times 60 \times 30 \frac{N}{n}$$

и ур-іе, опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика будетъ:

$$\frac{1}{i} M R^2 c^2 = 0{,}254 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

Сравнивая этотъ результатъ съ формулою предыдущаго параграфа, относящуюся къ этому случаю, когда шатунъ можно считать безконечно длиннымъ, можно видѣть,

что въ теперешнемъ случаѣ для полученія того-же регулирующаго дѣйствія и при томъ-же радіусѣ маховика масса его должна быть въ 1,21 разъ больше, чѣмъ въ случаѣ, когда шатунъ можно считать безконечно длиннымъ. — Переходя отъ предъидущаго ур-ія къ опредѣленію вѣса маховика, точно такъ же, какъ и въ предъидущемъ параграфѣ, найдемъ:

$$P = 5630 \frac{Ni}{nv^2}$$

§ 21. Фиг. 41. относится къ сопряженной машинѣ безъ расширенія пара имѣющей два цилиндра, поршни которыхъ дѣйствуютъ на отдѣльные кривошипы, посаженные на одномъ и томъ-же валѣ подъ прямымъ угломъ другъ къ другу, и притомъ она построена въ предположеніи, что шатуны обоихъ кривошиповъ имѣютъ безконечно большую длину. — Въ такой машинѣ очевидно каждая четверть оборота составляетъ полный періодъ, а потому построеніе кривыхъ для цѣлаго оборота становится безполезнымъ. — На фиг. 41 для большей ясности построены кривыя для половины оборота; для этого построена сначала обозначенная пунктиромъ кривая ABC тождественная съ кривою фиг. 39, выражающею для полуоборота между двумя мертвыми точками ходъ приведенныхъ къ окружности кривошипа давленій пара на одинъ изъ поршней; затѣмъ пунктиромъ же начерчены двѣ половины этой-же самой кривой такимъ образомъ, что вершины каждой изъ этихъ половинъ стоятъ прямо надъ пересѣченіями съ осью кривой ABC. Очевидно, что ординаты этихъ двухъ половинъ изображаютъ приведенныя къ окружности кривошипа давленія пара на второй поршень, расположенный такимъ образомъ, что *одновременныя* давленія пара на каждый изъ поршней выражаются отвѣчающими одной и той-же абсциссѣ ординатами для перваго поршня — кривой ABC, а для второго — кривой B'cDc'B''. — Съ помощью этихъ кривыхъ легко построить кривую измѣненій всей движущей силы, передаваемой валу отъ обоихъ поршней, а именно полная движущая сила, приведенная къ окружности кривошипа и отвѣчающая данной абсциссѣ будетъ очевидно равна суммѣ приведенныхъ къ той-же окружности кривошипа и отвѣчающихъ той-же абсциссѣ давленій пара на каждый изъ поршней, т. что ордината искомой кривой, отвѣчающая абсциссѣ Ah будетъ сумма, отвѣчающихъ той-же абсциссѣ ординатъ: he — первой кривой и hi — второй и слѣд., если отложимъ ei = hj, то hi будетъ ордината искомой кривой. — Такимъ обр. построена кривая B'bBb'B'', измѣрена ея площадь и построенъ равномѣрный съ нею прямоугольникъ Adg'CA, ордината котораго и изображаетъ величину постояннаго сопротивленія, которое можетъ преодолѣвать машина съ двумя цилиндрами. — Прямая сопротивленій gg' пересѣкаетъ кривую движущихъ силъ четыре раза, въ точкахъ g'', g''', g^IV, g^V; разсмотрѣніе фиг. показываетъ, что площади g''bg'''g'' и g''b'g^Vg^IV равны между собою, а также площадь g'''bg^IVg''' = суммѣ площадей g^Vg'B''g^V и gB'g''g; а какъ сумма площадей ограниченныхъ кривою движущей силы и прямою сопротивленій, лежащихъ выше этой послѣдней прямой должна быть равна суммѣ такихъ-же площадей, лежащихъ ниже той-же кривой, то получ. что:

$$\square\, g''bg''g'' = \square\, g'''Bg^{IV}g''' = \square\, g^{IV}b'g^Vg^{IV} = \square\, g^VB'g'g^V + \square\, gBg''g$$

Изъ этого можно заключить, что наименьшія скорости, имѣющія мѣсто въ точкахъ g'' и g^{IV} = между собою, и что также равны между собою наибольшія скорости имѣющія мѣсто въ точкахъ g''' и g^{V}. Поэтому $g'bg'''$ и g'' представляютъ своею площадью разность между наибольшею и наименьшею силою машины. Измѣреніе этой площади показываетъ, что она составляетъ приблизительно 0,022 всей площади прямоугольника $Agg'A$, и слѣд. поступая какъ прежде, найдемъ, что ур-іе, опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ этомъ частномъ случаѣ будетъ:

$$\frac{1}{l} M R^2 c^2 = 0{,}022 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

откуда видно, что при прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ, для сопряженной машины съ безконечно длинными шатунами нуженъ маховикъ почти въ 10 разъ болѣе легкій, чѣмъ для машины съ однимъ цилиндромъ, имѣющей ∞ длинный шатунъ.-

Вѣсъ маховика опредѣляется на основаніи послѣдней формулы равенствомъ:

$$P = 487 \frac{Ni}{nV^2}$$

§ 22. Фиг. 42, относится къ тѣй-же машинѣ, какъ предъидущая, но въ которой отношеніе длины шатуновъ къ длинѣ кривошиповъ предположено не безконечно большое, а равное 5.- При этомъ условіи періодомъ движенія будетъ не $\frac{1}{2}$ оборота, а цѣлый оборотъ и потому, чтобы построить кривую, приведенной къ окружности кривошипа движущей силы, построена сначала кривая $A'B'CBA$ изображающая ходъ измѣненій движущей силы, доставляемой однимъ цилиндромъ и тождественная съ кривою (фиг.), а затѣмъ построена та-же кривая передвинутая влѣво по оси абсциссъ на длину $= \frac{1}{4}$ окружности, описываемой кривошипомъ; полученная т. обр. кривая $B'''DB''D'B^{IV}$ представляетъ очевидно измѣненія движущей силы, доставляемой вторымъ цилиндромъ и наконецъ кривая $B'''gg'B'B''g''g'''Bg^{IV}g^{V}B^{IV}$, ордината которой, отвѣчающая данной абсциссѣ = суммѣ отвѣчающихъ той-же абсциссѣ ординатъ кривыхъ $A'B'CBA$ и $B'''DB''D'B^{IV}$ и представляетъ величины движущей силы и ходъ ея измѣненій въ теченіе цѣлаго оборота вала, прямая $fgg'g''g'''g^{IV}g^{V}f'$ проведена такимъ образомъ, что площадь прямоугольника $A'ff'AA'$ = площади кривой, изображающей ходъ измѣненій всей движущей силы.- Эта прямая пересѣкается съ кривою въ шести точкахъ $g, g', g'', g''', g^{IV}, g^{V}$ причемъ g, g'', g^{IV} получаются наименьшія, а въ g', g''', g^{V} наибольшія скорости.- Разсматривая фигуру и способъ ея построенія убѣждаемся, что площади $gbg'g$ и $g''b'g'''g''$ = между собою, и что также площадь $g'''Bg^{V}g'''$ = суммѣ площадей $g^{V}B^{IV}f'g^{V}$ и $fgB'''f$, и что площадь $gbg'g$ больше, чѣмъ $g'''Bg^{V}g'''$.- Изъ этого, принимая въ соображеніе, что сумма всѣхъ площадей лежащихъ выше прямой ff' и ограниченныхъ этою прямою и кривою движущихъ силъ должна быть равна суммѣ всѣхъ площадей, лежащихъ ниже прямой ff' и ограниченныхъ тѣми-же линіями, можно заключить, что площадь $g'B'cB''g''g'$ больше, чѣмъ площадь $g^{IV}b''g^{V}g^{IV}$.-

Принимая все это въ соображеніе, легко, разсужденіями подобными вышеизложеннымъ прійти къ заключенію, что самая большая скорость маховика имѣется въ (•) g', а самая меньшая въ g'', а потому разница между наибольшею и наименьшею живою силою маховика будетъ представляться $g'B'cB''g''g'$; измѣряя ее находимъ,

что она составляетъ 0,035 всей полезной работы, доставленной въ теченіе полнаго оборота, или 0,07 работы, доставленной въ теченіе полуоборота, а потому равенство, опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ данномъ случаѣ будетъ:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = 0,07 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

Сравнивая этотъ результатъ съ полученнымъ въ § 20 относительно машины дѣйствующей безъ расширенія съ однимъ цилиндромъ и съ шатуномъ въ 5 разъ большимъ кривошипа, видимъ, что при той-же степени правильности движенія и при всѣхъ прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ для машины съ двумя цилиндрами нуженъ маховикъ въ 3,36 разъ болѣе легкій, чѣмъ для машины съ однимъ цилиндромъ. - Вѣсъ маховика въ разсматриваемомъ случаѣ будетъ:

$$P = 1545 \frac{Ni}{nv^2}$$

§ 23. Фиг. 43 относится къ сопряженной машинѣ съ тремя цилиндрами, въ которой паръ дѣйствуетъ безъ расширенія, въ которой кривошипы поставлены подъ углами въ 120° другъ къ другу, и въ которой шатуны въ 5 разъ длиннѣе кривошиповъ, не входя въ подробности построенія этой фиг., совершенно лишня изъ чертежа, послѣ всего того, что было сказано, замѣтимъ, что маховикъ имѣетъ шесть наименьшихъ и шести наибольшихъ скоростей, сверхъ того шесть площадокъ, заключенныхъ между прямою сопротивленія и кривою движущей силы и лежащихъ выше прямой сопротивленія, всѣ равны между собою, а изъ шести такихъ площадокъ лежащихъ ниже прямой сопротивленія три = между собою, точно также и три другія равны между собою, но послѣднія значительно меньше первыхъ. - Изъ этого легко усмотрѣть, что самыя малыя равныя между собою скорости маховика будутъ въ q', q'', q^{IV}, а самыя большія также между собою равныя въ q', q''', q^{V}, и что разность между наибольшею и наименьшею живой силой маховика выразится площадью $q'cq''q$, измѣряя которую находимъ, что она составляетъ 0,0108 площади, выражающей полезную работу во время оборота, или 0,0216 полезной работы во время полуоборота. - На этомъ основаніи будетъ для даннаго случая:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = 0,0216 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

откуда видно, что тройная машина требуетъ маховика въ 9,7 раза меньше, чѣмъ машина той-же силы, но имѣющая одинъ цилиндръ. -

Чтобы опредѣлить изъ предъидущей формулы вѣсъ маховика, найдемъ, что онъ будетъ:

$$P = 478 \frac{Ni}{nv^2}$$

§ 24. Фиг. 44 относится къ машинѣ простаго дѣйствія безъ расширенія съ шатуномъ, имѣющимъ длину 5 разъ превосходящую длину кривошипа. Т.к. здѣсь дѣйствіе пара продолжается въ теченіе полуоборота при тѣхъ-же условіяхъ, которыя были разобраны въ § 20, и изобр. на (фиг.), то относящаяся къ этому рабочему полуобороту вала кривая ABC, будетъ тождественна съ одною изъ вѣтвей кривой, изображенной на (фиг.); а т.к. во время второго полуоборота давленіе пара на поршень вовсе нѣтъ, то величина его, приведенная къ окружности кривошипа будетъ нулемъ и слѣд. относящаяся ко второму полуобороту кривая движущей силы совпадетъ съ осью и изобразится частью ея CA'. Наконецъ т.к. сопротивленіе, приведенное къ окружности кривошипа предполагается дѣйствующимъ

съ равнымъ напряженіемъ въ теченіе всего оборота вала, то его кривая подобно, какъ и въ предыдущихъ случаяхъ, обратится въ прямую, параллельную оси; эту прямую FF'F" мы получимъ, если построимъ ее такъ, чтобы площадь прямоугольника AFF" A'A была равна площади кривой ABCA. — Эта прямая и кривая ABC пересекутся въ двухъ точкахъ E и E', изъ которыхъ первая будетъ соотвѣтствовать наименьшей, а вторая наибольшей скорости, и площади E'BE'E и E'E"A'CE' будутъ между собою равны, такъ, что каждая изъ нихъ представитъ собою разность между наибольшею и наименьшею живою силою маховика. — Измѣряя одну изъ этихъ площадей находимъ что она въ 1,105 раза превосходитъ полезную работу, доставленную въ теченіе полуразмаха, и слѣд. ур-е опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ этомъ случаѣ будетъ:

$$\frac{1}{2} MR^2c^2 = 1{,}105 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}$$

Сравнивая это выраженіе съ результатомъ, полученнымъ въ § 20, мы видимъ, что машина безъ расширенія простаго дѣйствія, при одинаковомъ регулированіи съ такою-же машиной двойнаго дѣйствія и при прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ требуетъ маховика въ 4,35 раза больше тяжелаго. —

Вѣсъ маховика опредѣлится здѣсь формулою:

$$P = 24390 \frac{Ni}{nv^2}$$

§ 25. Въ машинахъ съ расширеніемъ паръ въ началѣ каждаго размаха, до отсѣчки дѣйствуетъ безъ расширенія; поэтому кривая, изображающая приведенныя къ окружности кривошипа давленія въ той части ея, которая соотвѣтствуетъ пути, пройденному при полномъ давленіи пара будетъ совпадать съ кривою, опредѣленною для машинъ безъ расширенія, но начиная съ положенія кривошипа, соотвѣтствующаго моменту отсѣчки, кривая уже существеннымъ образомъ измѣняется, причемъ всѣ ея ординаты становятся меньше, чѣмъ ординаты кривой, построенной для машины, дѣйствующей при томъ-же начальномъ давленіи пара безъ расширенія. — Чтобы найти ординаты искомой кривой, всего лучше поступить слѣдующимъ обр., построить сначала діаграмму, изображающую измѣненія давленія пара на поршень, принявъ за ось абсциссъ прямую линію, соотвѣтствующую давленію выпускаемаго пара; эта діаграмма будетъ имѣть своимъ основаніемъ по оси длину размаха поршня и будетъ состоять въ части до отсѣчки изъ параллельной основанію прямой, изображающей постоянное давленіе выпускаемаго пара, а въ части, соотвѣтствующей расширенію изъ адіабатической кривой линіи. — Затѣмъ слѣдуетъ построить кривую, имѣющую своимъ основаніемъ окружность кривошипа и изображающую измѣненія, отнесенныя къ окружности кривошипа движущаго давленія пара, предполагая, что машина дѣйствуетъ безъ расширенія; потомъ надо равно раздѣлить часть оси первой кривой, соотвѣтствующую расширенію пара на довольно большое число равныхъ между собою частей и найти соотвѣтствующія точкамъ дѣленія точки оси второй кривой и наконецъ ординаты второй кривой для этихъ точекъ уменьшить въ отношеніи соотвѣтствующихъ ординатъ первой кривой къ ея ординатѣ, имѣющей мѣсто до отсѣчки. — Концы уменьшенныхъ такимъ образомъ ординатъ

второй кривой будутъ лежать на некоторой кривой, которая затѣмъ легко построится по точкамъ.- На этихъ основаніяхъ построена кривая на фиг. 45.-

Фиг. относится къ машинѣ, имѣющей цилиндръ и дѣйствующей съ расширеніемъ пара въ теченіе $\frac{4}{5}$ размаха поршня, въ предположеніи что шатунъ имѣетъ ∞ большую длину.- Въ такой машинѣ періодъ будетъ полуоборота вала.-

Фиг. 46 относится къ сопряженной машинѣ съ 2-мя цилиндрами, въ коей расширеніе пара происходитъ также на $\frac{4}{5}$ размаха поршня, но здѣсь длина шатуна предполагается въ 5 разъ больше длины кривошипа.- Въ этой машинѣ періодомъ движенія служитъ цѣлый оборотъ.-

Фиг. 47. относится къ сопряженной машинѣ съ 3-мя цилиндрами и 3-мя кривошипами, расположенными другъ къ другу подъ углами въ 120°, съ расширеніемъ въ 1 каждомъ цилиндрѣ, происходящимъ на $\frac{4}{5}$ длины размаха поршня, а съ шатунами имѣющими длину въ 5 разъ превосходящую длину кривошипа.- Въ этой машинѣ періодомъ движенія служитъ также полный оборотъ.-

§ 26. Объясненное въ предъидущихъ параграфахъ графическое разрѣшеніе вопроса о маховикѣ достаточно для всѣхъ приложеній къ машинамъ, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ не переходя изъ одного цилиндра въ другой, для большаго разъясненія этого предмета въ настоящемъ § будетъ изложено аналитическое рѣшеніе того-же вопроса для двухъ простѣйшихъ случаевъ, а именно для машинъ безъ расширенія пара съ ∞ длиннымъ шатуномъ, изъ коихъ одна имѣетъ одинъ цилиндръ и одинъ кривошипъ а другая имѣетъ 2 цилиндра и 2 кривошипа, поставленные подъ прямымъ угломъ другъ къ другу.- Въ первой изъ этихъ машинъ періодомъ движенія служитъ полуоборота, и слѣд. для 1-ой машины работа, доставленная паромъ во время одного размаха = работѣ полученной сопротивленіями; а для 2-ой работа, доставленная паромъ во время $\frac{1}{4}$ размаха = работѣ сопротивленій; предполагая сопротивленія постоянными и направленными по касательной къ окружности кривошипа, найдемъ, что работа сопротивленія будетъ для первой машины $Q\pi\rho$, а для періода второй машины будетъ $Q\frac{\pi\rho}{2}$, гдѣ Q величина постояннаго сопротивленія и ρ длина кривошипа.- Работа же, доставленная паромъ, будетъ для періода обѣихъ машинъ:- $P.2\rho$, гдѣ P представляетъ собою разность между давленіемъ пара на рабочую и нерабочую сторону поршня.- Поэтому получимъ для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$P.2\rho = Q.\pi\rho \quad \text{или} \quad P = Q\frac{\pi}{2} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

и для машины съ двумя цилиндрами

$$P.2\rho = Q\frac{\pi\rho}{2} \quad \text{или} \quad P = Q\frac{\pi}{4} \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

Элементарная работа сопротивленія, отвѣчающая ∞ малому углу $d\alpha$ описываемому кривошипомъ будетъ для обѣихъ машинъ: $Q\rho.d\alpha$, и конечная работа въ то время, какъ кривошипъ проходитъ уголъ α, выходя изъ мертвой точки будетъ: $Q\rho\alpha$.- Путь (S), проходимый паровымъ поршнемъ, соединеннымъ съ тѣмъ кривошипомъ отъ мертвой точки котораго считается уголъ α, какъ извѣстно опредѣляется равенствомъ:

$$S = \rho(1 - \cos\alpha)$$

и слѣд. элементъ этого пути будетъ:

$$dS = \rho \sin\alpha . d\alpha$$

Путь (S.) поршня, соединеннаго съ кривошипомъ, расположеннымъ перпендикулярно къ тому, отъ мертвой точки котораго считается уголъ α, проходимый въ то время, какъ валъ обращается на уголъ α, будетъ:

$$S' = \rho \sin\alpha$$

и слѣд. элементъ этого пути будетъ:

$$dS' = \rho \cos\alpha . d\alpha$$

На этомъ основаніи мы получимъ, что разность конечныхъ работъ, доставленныхъ двигателемъ и сопротивленіемъ въ то время, какъ валъ обращается на уголъ α, считаемый отъ мертвой точки одного изъ кривошиповъ, будетъ, для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$P\rho(1 - \cos\alpha) - Q\rho\alpha \quad \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$P\rho(1 - \cos\alpha + \sin\alpha) - Q\rho\alpha \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Разность-же элементарныхъ работъ, соотвѣтствующая увеличенію угла α на его дифференціалъ будетъ: для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$[P\rho \sin\alpha - Q\rho]\, d\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$[P\rho(\sin\alpha + \cos\alpha) - Q\rho]\, d\alpha \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Полагая эти разности равными 0 и находя лежащіе внутри періода каждой машины корни полученныхъ ур-ій, мы найдемъ углы α, отвѣчающіе наибольшимъ и наименьшимъ скоростямъ маховика. — Ур-ія эти съ помощію равенствъ (1) и (2) приводятся къ слѣдующимъ: для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$\sin\alpha = \frac{2}{\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Для машины съ двумя цилиндрами

$$\sin\alpha + \cos\alpha = \frac{4}{\pi} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Рѣшая эти ур-ія мы находимъ, что каждое изъ нихъ имѣетъ внутри своего періода два корня. — Корни эти будутъ для машины съ однимъ цилиндромъ

$$\alpha_1 = 39^\circ 32' 25'' \quad ; \quad \alpha_2 = 140^\circ 27' 35'' ;$$

Для машины съ двумя цилиндрами:

$$\alpha_1 = 19^\circ 10' 30'' \quad ; \quad \alpha_2 = 70^\circ 49' 30'' ;$$

вставляя въ выраженія (3) и (4) вмѣсто α сначала α_2 потомъ α_1, вычитая 1ое изъ 2аго, а также замѣняя Q его величинами изъ ур-ій (1) и (2) получимъ разность между наибольшею и наименьшею живою силой маховика, или величину $\frac{1}{i} MR^2c^2$ въ такомъ видѣ; для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = \left\{ \cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 - \frac{2}{\pi}(\alpha_2 - \alpha_1) \right\} \frac{Q\pi\rho}{2}$$

для машины съ двумя цилиндрами:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = \left\{ \cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 + \sin\alpha_2 - \frac{4}{\pi}(\alpha_2 - \alpha_1) \right\} \frac{Q.\pi\rho}{4}$$

Но $Q.2\pi\rho$ есть полезная работа, доставленная машиною въ теченіе цѣлаго оборота, выраженная въ килограмметрахъ; слѣд.

$$\frac{Qn.2\pi\rho}{60 \times 75} = N$$

а потому

$$Q\pi\rho = 30 \times 75 \times \frac{N}{n}$$

и мы получимъ, для машины съ однимъ цилиндромъ:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = \frac{30\times 75}{2}\left\{\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 - \frac{2}{\pi}(\alpha_2-\alpha_1)\right\}\frac{N}{n}$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = \frac{30\times 75}{2}\left\{\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 + \ln\alpha_2 - \ln\alpha_1 - \frac{\pi}{4}(\alpha_2-\alpha_1)\right\}\frac{N}{n}$$

Вставляя въ коэфиціенты при $\frac{N}{n}$ во вторыхъ частяхъ этихъ равенствъ, найденныя выше величины α_1 и для α_2 получимъ тѣ-же числа, какія найдены графическимъ построеніемъ.-

§ 27. Величина i, представляющая собою отношеніе средней угловой скорости маховика къ разности между наибольшею и наименьшею скоростью, какъ видно изъ предъидущаго, существеннымъ образомъ входитъ въ выраженіе вѣса маховика; чѣмъ больше i, т.е. чѣмъ болѣе равномѣрный ходъ требуется отъ машины, тѣмъ тяжелѣе долженъ быть маховикъ, при всѣхъ прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ.- Редтенбахеръ въ своихъ Resultate zum Maschinenbau, совѣтовалъ принимать для i слѣд числа:

$i = 20-30$ для машинъ, приводящихъ въ движеніе исполнительные механизмы, допускающіе довольно значительную неравномѣрность движенія;

$i = 30-40$ въ случаѣ, если исполнительные механизмы требуютъ довольно большой равномѣрности.

$i = 40-60$ въ случаѣ, если хорошая работа механизмовъ возможна только подъ условіемъ весьма большой степени равномѣрности.-

Машины, устроенныя Уаттомъ въ большей части случаевъ имѣютъ маховики удовлетворяющіе тому условію, что для нихъ величина i заключается между 30 и 35.- Въ новыхъ машинахъ замѣтна сильная наклонность къ увеличенію степени равномѣрности хода, такъ, что для производствъ, требующихъ особенной равномѣрности весьма нерѣдко принимаютъ $i = 80$, равномѣрность наз, среднею при $i = 60$ и низкою при $i = 40$.- Затѣмъ только для машинъ, допускающихъ безъ вреда для производства значительныя измѣненія угловой скорости (насосы, воздуходувныя машины) устраиваютъ маховики для которыхъ величина i бываетъ около 30.-

§. 28. Линейная скорость V маховика по окружности имѣетъ большое вліяніе на его вѣсъ, который, согласно вышевыведенному обратно пропорціоналенъ квадрату V; поэтому выгодно увеличивать эту скорость, но съ другой стороны, значительная линейная скорость маховика на окружности имѣетъ послѣдствіемъ увеличеніе центробѣжной силы, которая можетъ, если перейдетъ за извѣстный предѣлъ причинить разрывъ маховика.- Дѣйствительно, если вообразимъ себѣ элементъ обода AB (фиг. 48), отвѣчающій безконечно малому углу α при центрѣ и назовемъ поперечное сѣченіе обода черезъ Ω, и плотность черезъ γ, то вѣсъ этого элемента будетъ:-

$$\gamma\Omega R.\alpha$$

и центробѣжная сила элемента выразится черезъ:

$$\frac{\gamma\Omega R\alpha V^2}{gR}$$

Откладывая эту центробѣжную силу по направленію CD мы можемъ разложить ее на двѣ силы перпендикулярныя къ поперечнымъ сѣченіямъ A и B ограничивающимъ разсматриваемый элементъ обода.- Эти слагающія, очевидно будутъ равны:

$$\frac{CD}{2\sin\alpha/2}$$

а вставляя вмѣсто CD найденную его величину и замѣняя $\sin$ безконечно малаго дуга

$\frac{\alpha}{2}$ черезъ самый уголъ мы получимъ выраженія силъ EC и CF въ такомъ видѣ:

$$\frac{\gamma \Omega v^2}{g}$$

Эти силы будутъ стремиться разорвать ободъ по плоскости A и по плоскости B, а потому напряженіе F на единицу площади, которыя въ этихъ плоскостяхъ развивается, опредѣляется ур-мъ:

$$\Omega F = \frac{\gamma \Omega v^2}{g}; \text{ или } F = \frac{\gamma v^2}{g};$$

откуда получается:

$$v = \sqrt{\frac{gF}{\gamma}}$$

Это есть величина скорости, при коей внутри обода развивается сопротивляющееся разрыву напряженіе F; чтобы это напряженіе было вполнѣ безопаснымъ для чугуннаго обода, необходимо, чтобы оно непревосходило 200 кгр. на □ cent; т.к. плотность, т.е. удѣльный вѣсъ куб. cent чугуна составляетъ 0,0073 кгр. и g, выраженное въ cent. = 981, то выраженная въ cent-хъ-же скорость v, при которой развивается напряженіе въ 200 кгр. будетъ:

$$v = \sqrt{\frac{181 \times 200}{0,0073}} = 5128 \text{ cent или } v = 51 \text{ метру.}$$

Такимъ обр. скорость поверхности въ 51 mt. представляется теоретическимъ предѣломъ, далѣе котораго идти не слѣдуетъ, но какъ при колесахъ, составленныхъ изъ отдѣльныхъ частей, соединенію весьма трудно придать прочность, превосходящую прочность $\frac{1}{2}$ прочности цѣльнаго обода, то вслѣдствіе этого предѣльная скорость понижается до 36 mt. Мюренъ не совѣтуетъ дѣлать скорости болѣе 25 – 30 mt.; въ дѣйствительныхъ машинахъ весьма часто встрѣчается скорость въ 10 mt, она рѣдко опускается ниже 7 и рѣдко также превосходитъ 15 mt.

§ 29. Значительная скорость маховика можетъ быть достигнута или черезъ приданіе ему большаго числа оборотовъ, или черезъ увеличеніе его діаметра; большое число оборотовъ придается обыкновенно только машинамъ малой силы, т. какъ при сильныхъ машинахъ короткій цилиндръ представляетъ собою довольно важныя неудобства; поэтому въ большихъ машинахъ обыкновенно дѣлаютъ маховики значительнаго діаметра, опредѣляя скорость ихъ вращенія изъ другихъ соображеній; при этомъ довольно часто для машины съ однимъ цилиндромъ устанавливаютъ отношеніе между радіусомъ маховика и длиною кривошипа 4,5 или 6; чѣмъ меньше будетъ радіусъ маховика, тѣмъ тяжелѣе долженъ быть самый маховикъ; для машинъ съ двумя цилиндрами, для коихъ маховое колесо выходитъ вообще легче, чѣмъ для машинъ съ однимъ цилиндромъ, весьма часто радіусъ маховика дѣлаютъ въ $3\frac{1}{2}$ раза больше длины кривошипа. Опредѣленныхъ правилъ впрочемъ для нахожденія радіуса маховика нѣтъ и быть не можетъ. – Можно только сказать, что если помѣщеніе позволяетъ увеличивать діаметръ маховика, лучше прибѣгать къ этому средству, чѣмъ къ увеличенію вѣса обода, т.к. послѣднее обходится дороже и кромѣ того значительно увеличиваетъ тренія на шейкахъ и работу ими поглощаемую. – Впрочемъ нельзя утверждать, что вообще увеличеніе діаметра колесъ всегда способствуетъ уменьшенію ихъ вѣса, т.к. вмѣстѣ съ увеличеніемъ діаметра маховика увеличивается также число и вѣсъ спицъ, соединяющихъ его со ступицею, – спицы-же весьма мало способствуютъ увеличенію регулирующаго дѣйствія маховаго колеса. –

§. 30. Спицы составляютъ одну изъ существенныхъ частей маховаго колеса, кото-

рая подвергается очень значительным напряженіямъ, вслѣдствіе того, что дѣйствіемъ силы инерціи возбуждаемой въ ободѣ при измѣненіяхъ скорости спицы изгибаются и притомъ, при ускореніи движенія обода въ одну, а при замедленіи въ другую сторону.- Чтобы опредѣлить величину момента, изгибающаго всѣ спицы, замѣтимъ, что онъ будетъ равенъ силѣ инерціи обода, умноженной на радіусъ маховика; сила-же инерціи обода равна его массѣ, помноженной на ускореніе, поэтому если означимъ, какъ прежде, черезъ M массу обода, черезъ W его угловую, а слѣд. черезъ RW его линейную скорость при извѣстномъ положеніи вала, то получимъ, что изгибающій моментъ для всѣхъ спицъ вмѣстѣ будетъ:

$v = \frac{2\pi R n}{60} = \frac{\pi n}{30} \cdot R = W \cdot R$

$v = W \cdot R$

$$MR^2 \frac{dW}{dt} \text{ ....изгиб. момент.}$$

инерція $= M \cdot R \cdot \frac{dW}{dt}$

гдѣ черезъ t обозначено время; но эта величина, какъ извѣстно изъ теоріи вращательнаго движенія равна суммѣ взятыхъ относительно оси вращенія моментовъ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на вѣсъ, слѣд. если назовемъ черезъ P и Q движущую силу и сопротивленіе, приведенныя къ окружности кривошипа, то, обозначая длину его черезъ ρ, получимъ:

$$MR^2 \frac{dW}{dt} = (P - Q)\rho \text{ (*)}$$

Отсюда очевидно, что изгибающій моментъ не зависитъ отъ радіуса маховика, а измѣняясь вмѣстѣ съ измѣненіемъ разности $(P-Q)$ обращается въ нуль для тѣхъ положеній вала, для которыхъ $P-Q=0$, т.е. для которыхъ скорость дѣлается наибольшею или наименьшею, чтобы найти наибольшую величину этого момента надобно опредѣлить наибольшую разность между движущею силою и сопротивленіемъ, приведенными къ окружности кривошипа.- Помощію діаграммъ, построеніе которыхъ подробно объяснено въ предыдущихъ §§, вопросъ этотъ рѣшается безъ малѣйшаго затрудненія простымъ измѣреніемъ ординатъ кривыхъ, представляющихъ ходъ измѣненій движущей силы и сопротивленія.-

§ 31. Согласно объясненному въ предыдущемъ маховыя колеса могутъ служить къ выравниванію только періодическихъ неравномѣрностей въ движеніи машинъ, т.е. только такихъ, при которыхъ соблюдается условіе, что работа, доставленная во время полнаго періода двигателемъ, равна работѣ, поглощенной въ то-же время сопротивленіями.- Въ случаяхъ-же, когда обусловливаемое этимъ равенствомъ равновѣсіе для цѣлаго періода между силою и сопротивленіемъ не существуетъ, маховыя колеса ничего другаго не могутъ сдѣлать, какъ только замедлить измѣненіе скоростиѣ

(*) Это равенство впрочемъ есть прямое слѣдствіе закона живыхъ силъ, дѣйствительно, наз. черезъ α уголъ, описанный отъ мертвой точки кривошипа до его положенія, при которомъ скорость есть W, мы получимъ очевидно, что:

$$\frac{MR^2}{2}(W^2 - W_0^2) = \int_0^{\alpha} (P-Q)\rho\, d\alpha$$

откуда, взявъ производную по α получимъ:

$$MR^2 W \frac{dW}{d\alpha} = (P-Q)\rho$$

а какъ:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{d\alpha} \cdot \frac{d\alpha}{dt} = \frac{dW}{d\alpha} W$$

то будетъ:

$$MR^2 \frac{dW}{dt} = (P-Q)\rho.$$

такихъ причинъ происходящее, и хотя, конечно приносятъ тѣмъ существенную пользу не дозволяя машинѣ весьма быстро ускорить свое движеніе до предѣла при которомъ скорость становится чрезвычайною, но при сказанныхъ условіяхъ скорость машины отъ одного періода до другаго измѣняется: возрастая, когда работа сопротивленія во время періода менѣе, чѣмъ работа двигателя, и убывая въ противномъ случаѣ.-

Такія непріодическія измѣненія скорости постоянно встрѣчаются при дѣйствіи паровыхъ машинъ.- Самый рѣзкій примѣръ ихъ представляется въ винтовыхъ машинахъ морскихъ пароходовъ во время сильнаго волненія, при этомъ иногда корма вмѣстѣ съ винтомъ глубоко зарываетъ въ волну, давленіе воды на винтъ увеличивается весьма значительно и машина начинаетъ двигаться крайне медленно; иногда-же напротивъ, корма совсѣмъ выходитъ изъ воды, винтъ, не встрѣчая сопротивленія начинаетъ вертѣться очень скоро, причемъ конечно соотвѣтственно возрастаетъ и скорость всѣхъ частей машины, и это измѣненіе скоростей, при неимѣніи маховаго колеса совершается очень быстро, и скорость могла бы легко сдѣлаться опасною, если бы машинистъ не держалъ постоянно въ рукахъ колеса, дѣйствующаго на клапанъ въ паропроводной трубѣ, которымъ онъ, то почти совершенно закрываетъ, то вполнѣ открываетъ сообщеніе котла съ цилиндромъ.-

Въ фабричныхъ машинахъ полезное сопротивленіе двигущею машиною измѣняется всякій разъ, какъ только сцѣпляется съ приводомъ и разцѣпляется съ нимъ одна или нѣсколько исполнительныхъ машинъ, если бы не было средства не медленно по наступленіи такихъ обстоятельствъ измѣнить дѣйствіе пара соотвѣтственно происшедшему измѣненію въ дѣйствіи сопротивленія, то очевидно, что машина при увеличеніи сопротивленія стала-бы постоянно замедлять свой ходъ и наконецъ остановилась бы, а при уменьшеніи сопротивленія стала-бы ускорять свое движеніе и легко могла-бы достигнуть опасной скорости.-

Подобные-же результаты могли-бы также получиться и отъ непредвидѣнныхъ случайностей въ измѣненіи самой двигущей силы, какъ то: при случайномъ значительномъ сопротивленіи встрѣчающемся пару при его движеніи изъ котла въ цилиндръ или въ случаѣ незамѣченнаго кочегаромъ измѣненія давленія пара въ котлѣ и т. п.-

Выравниваніе неравномѣрностей, происходящихъ отъ такихъ-же причинъ и возможное сближеніе предѣловъ, внутри которыхъ измѣняется скорость машины вслѣдствіе подобныхъ упомянутыхъ непредвидѣнныхъ случайностей, составляетъ задачу особыхъ приборовъ, которые вводятся въ составъ паровыхъ машинъ и которые именуются регуляторами.-

Основная мысль ихъ устройства состоитъ въ томъ, чтобы автоматическимъ измѣненіемъ способа дѣйствія пара, сообразно съ измѣняющимися условіями движенія машины возстановлять нарушаемое для цѣлаго періода равновѣсіе между двигущею силою и сопротивленіемъ и чрезъ то сближать предѣлы, внутри которыхъ измѣняется скорость машины.-

Вмѣстѣ съ этимъ регуляторы стараются устраивать такимъ образомъ, чтобы посредствомъ ихъ совершенно прекращалась дѣйствіе пара, когда скорость начинаетъ приближаться къ извѣстной величинѣ, признаваемой не вполнѣ безопасной для

машины.-

§ 32. Выше было объяснено, что регуляторы измѣняютъ способъ дѣйствія пара соотвѣтственно измѣняющимся остальными условіями, или черезъ то, что посредствомъ особаго клапана въ паропроводной трубѣ измѣняется ея поперечное сѣченіе и слѣд. давленіе проходящаго черезъ нее въ цилиндръ пара, или черезъ то, что посредствомъ находящихся въ связи съ регуляторомъ распредѣлительныхъ клапановъ и золотниковъ увеличивается или уменьшается періодъ впуска пара въ цилиндръ. На первый разъ представляется, что было бы всего лучше устроить регуляторъ такъ, чтобы приборъ, измѣняющій способъ дѣйствія пара, приходилъ въ движеніе прямо и непосредственно вслѣдствіе тѣхъ измѣненій, которыя происходятъ въ остальныхъ условіяхъ дѣйствія машины. Такъ напр. казалось бы на первый разъ, что регулированіе грабличныхъ машинъ можно устроить такъ, чтобы прямо, вслѣдствіе перекидыванія ремня съ рабочаго шкива на холостой или обратно при каждой исполнительной машинѣ, измѣнялось положеніе задвиженаго клапана въ паропроводной трубѣ или переставлялся распредѣлительный приборъ и такимъ образомъ дѣйствіе измѣнялось бы прямо соотвѣтственно измѣнившейся величинѣ сопротивленія.- Нетрудно однако видѣть, что въ случаѣ большаго количества исполнительныхъ машинъ подобное устройство было бы крайне сложно и могло бы поэтому годиться только подъ условіемъ, что число этихъ машинъ очень незначительно.-

Сверхъ того при подобномъ устройствѣ регулированія, если величина сопротивленій не зависитъ отъ скорости машины, то невозможно достигнуть какой либо опредѣленной нормальной для нея скорости т. к. вмѣстѣ съ измѣненіемъ скорости машины будетъ пропорціонально измѣняться и скорость исполнительныхъ механизмовъ и если потребная для ихъ движенія работа, соотвѣтствующая одному обороту главнаго вала машины будетъ равна движущей работѣ, доставляемой паромъ въ теченіе оборота, то очевидно машина можетъ ходить съ весьма разнообразными скоростями безъ нарушенія равновѣсія между движущею силою и сопротивленіями въ теченіе цѣлаго періода.-

Поэтому другое условіе годности регулирующаго прибора такого рода состоитъ въ томъ, чтобы машины не требовали постоянной нормальной скорости, а чтобы главное назначеніе регулятора состояло въ устраненіи опасныхъ скоростей машины.- Оба эти условія встрѣчаются въ пароходныхъ машинахъ, гдѣ исполнительный механизмъ имѣется только одинъ, и гдѣ нормальная скорость машины не играетъ никакой особенной роли, такъ, что машина можетъ почти одинаково хорошо дѣйствовать, будетъ ли скорость на 20 — 30 процентовъ больше или меньше нормальной.- Поэтому регуляторы, основанные на указанномъ принципѣ преимущественно предлагались на пароходныхъ машинахъ.- Не входя въ подробности ихъ устройства и единственно съ цѣлью дать понятіе о регуляторахъ этого рода, мы упомянемъ о нѣкоторыхъ относящихся сюда устройствахъ.-

Въ одномъ случаѣ задвиженный клапанъ на паропроводной трубѣ соединенъ былъ съ тяжелымъ и длиннымъ маятникомъ, который при измѣненіи положенія судна, измѣнялъ положеніе клапана въ паропроводной трубѣ и усиливалъ притокъ пара, когда судно принято такое положеніе, что сопротивленіе увеличивалось, и наоборотъ стѣснялъ притокъ па-

ра, когда сопротивленіе уменьшалось.-

Такое приспособленіе было сдѣлано, какъ говорятъ съ полнымъ успѣхомъ, на одномъ колесномъ пароходѣ, на которомъ совершенно сломалась одна машина и пароходъ передвигался только посредствомъ другой машины и одного ея колеса, которое какъ то совершенно выходило изъ воды, то погружалось въ нее весьма значительно.-

Ченсенъ въ 1859 г. предложилъ для пароходныхъ машинъ регуляторъ, основанный на томъ же началѣ, а именно, онъ предложилъ вдѣлывать въ стѣнку кормовой части судна открытый цилиндръ съ плотно ходящимъ внутри его поршнемъ, который подвергался-бы такимъ образомъ давленію воды болѣе или менѣе сильному, смотря по тому, какъ глубоко кормовая часть погружается въ воду; съ внутренней стороны судна на поршень предлагалось производить давленіе пружиною, которая соединялась болѣе или менѣе, см. по давленію воды на поршень, должна была уравновѣшивать это давленіе: поэтому поршень, который долженъ былъ быть соединенъ съ задвиженымъ клапаномъ паропроводной трубы, при различныхъ погруженіяхъ кормовой части судна въ воду, долженъ былъ занимать различныя положенія, и слѣд. переставляя соединенный съ нимъ подвижной клапанъ могъ регулировать ходъ машины.-

Къ этому же разряду относится регуляторъ Понселе, основанный на томъ, что соединеніе между движущею машиною и приводомъ производится при посредствѣ стальныхъ пружинъ, которыхъ изгибъ увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ преодолѣваемаго приводомъ сопротивленія, вслѣдствіе чего получается при измѣненіи сопротивленія измѣненіе взаимнаго положенія привода и вала машины; этимъ измѣненіемъ и пользуются для того, чтобы переставлять приборъ, измѣняющій дѣйствіе пара внутри цилиндра.

Регуляторъ Понселе для фабричныхъ машинъ гораздо проще и удобнѣе, чѣмъ соединеніе съ приборомъ измѣняющимъ дѣйствіе пара каждой изъ исполнительныхъ машинъ взятой отдѣльно, но зато вводитъ въ составъ главной передачи движенія привода, пружины, которыя при увеличеніи сопротивленія за извѣстный предѣлъ легко могутъ сломаться и дѣйствіе привода можетъ остановиться, но во всякомъ случаѣ и этотъ регуляторъ подобно вышеозначеннымъ, не опредѣляетъ для машины никакой нормальной скорости.-

Тотъ же недостатокъ очевидно встрѣчается во всѣхъ регуляторахъ, которые начинаютъ дѣйствовать прямо и непосредственно вслѣдствіе нарушенія равновѣсія между движущею силою и сопротивленіемъ для полнаго періода, т.к. равновѣсіе это можетъ устанавливаться при весьма разнообразныхъ скоростяхъ машины.-

§ 33. Въ виду этого регуляторы, назначенные для паровыхъ машинъ устраиваются обыкновенно такимъ образомъ, что прежде, чѣмъ регулирующій приборъ начнетъ измѣнять дѣйствіе пара, скорость машины отклонится отъ нормальной и регулирующій приборъ именно только вслѣдствіе происшедшаго измѣненія скорости и начинаетъ дѣйствовать, усиливая движущую силу пара, когда скорость уменьшается, и ослабляя ее, когда скорость увеличивается.- Конечно при такомъ устройствѣ регулятора нельзя получить вполнѣ равномѣрнаго движенія, т.к. самое дѣйствіе регулятора обусловливается происшедшимъ уже измѣненіемъ скорости, но для достиженія практическихъ хорошихъ результатовъ и нѣтъ нужды добиваться до совершенной равномѣрности, а нужно только заботиться, чтобы скорость всегда была довольно близка

къ нормальной, отклоняясь отъ нея въ предѣлахъ довольно близкихъ между собою, а потому, и въ виду того, что регуляторы основанные на этомъ началѣ могутъ опредѣлять для машинъ нормальную скорость, они почти исключительно и употребляются для паровыхъ машинъ.-

Эти регуляторы могутъ быть раздѣлены на два вида: на регуляторы прямаго и на регуляторы непрямаго дѣйствія, первые непосредственно измѣняютъ положеніе прибора, которымъ регулируется движущая сила пара, во вторыхъ, прибору, измѣняющему движущую силу пара передается движеніе отъ главнаго вала машины; дѣйствіемъ же регулятора производится только сцѣпленіе или расцѣпленіе этого прибора съ главнымъ валомъ.- Сверхъ того регуляторы различаются на *статическіе* и *астатическіе*.- Регуляторы статическіе характеризуются тѣмъ, что условіе ихъ равновѣсія представляется въ видѣ извѣстной зависимости между скоростью машины и положеніемъ частей, составляющихъ регуляторъ, такъ, что каждая скорость обусловливаетъ собою извѣстное, соотвѣтствующее ей равновѣсное положеніе самаго регулятора.- Напротивъ того, для астатическихъ регуляторовъ равновѣсіе обусловливается исключительно величиною скорости, безъ всякой ея зависимости отъ положенія регулятора.-

Очевидно, что въ регуляторахъ статическихъ равновѣсіе можетъ быть при различныхъ скоростяхъ машины, которыми и обусловливаются различныя ихъ положенія; въ астатическихъ регуляторахъ напротивъ равновѣсіе можетъ имѣть мѣсто только при одной, опредѣленной величинѣ скорости машины, но зато оно можетъ имѣть мѣсто при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ регулятора.-

§ 34. При разсмотрѣніи регуляторовъ съ каждой изъ двухъ указанныхъ точекъ зрѣнія отдѣльно, если не обращать вниманія на прочія обстоятельства ихъ дѣйствія, усматриваются на сторонѣ регуляторовъ не прямо дѣйствующихъ, по сравненію съ регуляторами прямаго дѣйствія, какъ бы извѣстныя преимущества, а именно: а) отъ регулятора при непрямомъ его дѣйствіи требуется только сцѣпленіе или расцѣпленіе регулирующаго прибора съ валомъ машины, а самое движеніе регулирующему прибору передается отъ машины независимо отъ регулятора; регуляторъ-же прямаго дѣйствія самъ долженъ сообщать регулирующему прибору всѣ движенія, которые ему нужно передать; поэтому сопротивленіе, преодолѣваемое регуляторомъ при всѣхъ прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ можетъ быть сдѣлано менѣе при регуляторахъ непрямаго дѣйствія, чѣмъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія; б) скорость перемѣщенія регулирующаго прибора при регуляторахъ непрямаго дѣйствія опредѣляется скоростью машины и можетъ быть сдѣлана очень большая; напротивъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія скорость перемѣщенія регулирующаго прибора опредѣляется очевидно отклоненіемъ скорости отъ той величины ея, которая соотвѣтствуетъ равновѣсію регулятора въ занимаемомъ имъ положеніи; очевидно что скорость перемѣщенія регулирующаго прибора при прочихъ условіяхъ одинаковыхъ, будетъ больше въ первомъ случаѣ, чѣмъ во второмъ и слѣдовательно при регуляторахъ непрямаго дѣйствія можно ожидать болѣе быстраго возвращенія нарушенныхъ условій равновѣсія между силою и сопротивленіемъ машины, чѣмъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія.

Точно также на сторонѣ статическихъ регуляторовъ представляются повиди-

мому извѣстныя преимущества по сравненію съ регуляторами статическими, т.к. равновѣсіе астатическихъ регуляторовъ возможно только при одной опредѣленной скорости, которая и будетъ нормальною скоростью машины, слѣд. при отклоненіи машины отъ этой скорости астатическій регуляторъ будетъ измѣнять свое положеніе до тѣхъ поръ, пока нормальная скорость не возвратится; въ статическихъ-же регуляторахъ равновѣсіе можетъ имѣть мѣсто при различныхъ скоростяхъ движенія машины, такъ, что астатическіе регуляторы лучше опредѣляютъ нормальную скорость, чѣмъ статическіе.-

§35. Изъ этихъ замѣчаній было-бы однако весьма опрометчиво вывести заключеніе, что соединеніе въ регуляторѣ астазіи съ непрямымъ дѣйствіемъ будетъ самая лучшая для регулятора комбинація; дѣйствительно, вопервыхъ кромѣ разсмотрѣнныхъ свойствъ, регуляторы необходимо изучить съ другихъ точекъ зрѣнія, и только черезъ совокупное разсмотрѣніе всѣхъ полученныхъ результатовъ можно прійти къ правильнымъ заключеніямъ и во вторыхъ предъидущее заключеніе основывается на разсмотрѣніи регуляторовъ отдѣльно со стороны ихъ прямаго дѣйствія или непрямаго, и отдѣльно со стороны зависимости или независимости ихъ равновѣснаго положенія отъ равновѣсной скорости.- Соединяя пока эти двѣ точки зрѣнія, не трудно убѣдиться, что предъидущее заключеніе будетъ неправильно, на самомъ дѣлѣ вообразимъ себѣ астатическій регуляторъ, соединенный неправильнымъ образомъ съ регулирующимъ приборомъ, и допустимъ, что сопротивленіе уменьшилось такъ, что для поддержанія нормальной скорости нужно нѣсколько измѣненное противъ нормальнаго регулирующее положеніе прибора.-

Вслѣдствіе уменьшенія сопротивленія скорость машины увеличится, регуляторъ выйдетъ изъ своего прежняго положенія, произведетъ сцѣпленіе регулирующаго прибора съ машиною и приборъ этотъ начнетъ переставляться; предположимъ, что въ извѣстный моментъ положеніе прибора будетъ соотвѣтствовать уменьшенному сопротивленію, и допустимъ даже, что въ этотъ моментъ скорость будетъ нормальная; если-бы приборъ могъ въ этотъ моментъ разъединиться съ валомъ машины, то движеніе сдѣлалось-бы равномѣрнымъ и происходило-бы съ нормальною скоростью, — но регуляторъ нашъ астатическій; онъ при объясненныхъ условіяхъ въ новомъ своемъ положеніи (при которомъ регулирующій приборъ сцѣпленъ съ валомъ машины) остается въ равновѣсіи, слѣд. сцѣпленіе не уничтожается.- регулирующій приборъ продолжаетъ переставляться, дѣйствіе пара ослабляется болѣе нежели слѣдуетъ, — скорость становится меньше нормальной — регуляторъ начинаетъ дѣйствовать въ противоположную сторону, — скорость машины снова увеличивается, но опять не можетъ остаться при нормальной своей величинѣ и эти колебанія становятся нормальнымъ ходомъ машины, что очевидно противорѣчитъ самому назначенію регулятора.- Къ статическому регулятору это разсужденіе не примѣняется.- На самомъ дѣлѣ представимъ себѣ регуляторъ астатическій прямаго дѣйствія, вообразимъ, что скорость увеличивается вслѣдствіе уменьшенія сопротивленія, для уравновѣшенія котораго надо представить регулирующій приборъ въ положеніе отличное отъ его нормальнаго положенія.-

Вслѣдствіе увеличенія скорости регуляторъ перейдетъ въ новое положеніе, про-

изведетъ сцѣпленіе регулирующаго прибора съ машиною, приборъ этотъ начнетъ переставляться, и займетъ въ извѣстный моментъ положеніе соотвѣтствующее равновѣсію силы и сопротивленія, если въ этотъ моментъ скорость будетъ нормальная, и регуляторъ будетъ въ положеніи ей соотвѣтствующемъ, то произойдетъ расцѣпленіе регулирующаго прибора съ машиною и этотъ приборъ сохранитъ свое новое положеніе, соотвѣтствующее равновѣсію между измѣненною его дѣйствіемъ силою и измѣнившимся сопротивленіемъ.-

Такимъ образомъ при статическомъ регуляторѣ непрямаго дѣйствія въ случаѣ измѣнившагося сопротивленія возможно установленіе равновѣсія между силою и сопротивленіемъ съ сохраненіемъ нормальной скорости; при астатическомъ же регуляторѣ это невозможно и слѣд. астатическій регуляторъ непрямаго дѣйствія хуже нежели регуляторъ статическій прямаго дѣйствія.-

Если же станемъ подобнымъ образомъ разбирать регуляторы прямаго дѣйствія, то безъ затрудненія придемъ къ заключенію, что статическіе регуляторы этого рода хуже нежели астатическіе.- Дѣйствительно вообразимъ статическій регуляторъ прямаго дѣйствія и допустимъ, что вслѣдствіе измѣненія сопротивленія для возстановленія равновѣсія между нимъ и движущею силою необходимо, чтобы регулирующій приборъ перешелъ въ другое положеніе; т.к. это возможно только подъ условіемъ, чтобы и регуляторъ перешелъ въ новое положеніе и т.к. въ этомъ новомъ положеніи регуляторъ можетъ быть въ равновѣсіи только при скорости машины отличной отъ нормальной, то очевидно, что при измѣнившемся противъ нормальнаго сопротивленіи статическій регуляторъ не иначе можетъ произвести равномѣрное движеніе, какъ при скорости машины, отличающейся отъ нормальной.- Къ астатическому же регулятору это разсужденіе не примѣняется: т.к. и въ новомъ его положеніи равновѣсіе можетъ наступить въ случаѣ, если находясь въ немъ астатическій регуляторъ будетъ имѣть нормальную скорость; отсюда очевидно, что регуляторъ этого рода можетъ при прямомъ дѣйствіи поддерживать нормальную скорость, даже и въ случаѣ измѣнившагося сопротивленія.-

Предшорящій разборъ могъ-бы привести къ заключенію, что статическій регуляторъ преимущественно приспособленъ не къ прямому дѣйствію, регуляторъ же астатическій напротивъ преимущественно къ прямому дѣйствію, но такое заключеніе было-бы вѣрно лишь въ томъ случаѣ, если-бы при измѣненіи дѣйствія регуляторовъ можно было ограничиваться разсмотрѣніемъ исключительно равновѣсныхъ положеній регуляторовъ, но ихъ хорошее дѣйствіе обусловливается въ значительной степени способомъ перехода ихъ отъ одного равновѣснаго положенія въ другое.-

---

ГЛАВА IV.ая

Распредѣленіе пара.

§. 1. Самый употребительный приборъ для распредѣленія пара есть коробчатый золотникъ (фиг. 1), который состоитъ изъ коробки, скользящей по такъ наз. столу, т.е. о особой площадкѣ, обработанной съ наружной части цилиндра. — На этой площадкѣ находится три прямоугольныя отверстія, изъ которыхъ среднее (δ) служитъ для выхода изъ цилиндра отработавшаго (мятаго) пара, а два крайнія α и β вводятъ паръ въ правую и лѣвую части цилиндра. — Самый золотникъ представляетъ собою невысокую коробку, стѣнки которой, идущія перпендикулярно къ оси цилиндра и производятъ распредѣленіе пара; стѣнки эти наз. закраинами; допустимъ сначала, что разстояніе между внутренними краями этихъ закраинъ, равно разстоянію между внутренними краями каналовъ, ведущихъ въ цилиндръ, а разстояніе между наружными краями закраинъ золотника равно разстоянію между наружными краями тѣхъ-же каналовъ. — Положимъ, что движеніе золотника и поршня связаны между собою слѣдующимъ образомъ; когда золотникъ находится въ положеніи (I), и слѣд. оба впускные канала закрыты, то поршень находится въ своей лѣвой мертвой точкѣ (A). — Если начнемъ двигать золотникъ вправо, то паръ идетъ изъ коробки черезъ отверстіе (α) въ лѣвую сторону цилиндра; въ это-же время каналъ (β) сообщается съ холодильникомъ или атмосферою; и слѣд. паръ изъ правой части цилиндра получаетъ свободный выходъ. — Положимъ, что это движеніе золотника продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не дойдетъ до средины своего хода и въ теченіе этого времени золотникъ передвинется, положимъ на ширину окна, т.е. займетъ положеніе (II); въ этотъ моментъ отверстіе (α) будетъ сообщено съ котломъ, (β) съ холодильникомъ; притомъ оба отверстія будутъ вполнѣ открыты; когда поршень изъ средины своего положенія начнетъ двигаться къ своей мертвой правой точкѣ, золотникъ начинаетъ уже двигаться назадъ и постепенно задвигаетъ оба отверстія (α и β), и когда поршень будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ (B), золотникъ займетъ положеніе (III), одинаковое съ (I); въ этомъ положеніи золотникъ не останавливается, а продолжаетъ свое движеніе справа на лѣво; отверстіе (β), т.е. правая часть цилиндра сообщится съ котломъ, а лѣвая съ холодильникомъ; поршень пойдетъ справа на лѣво, пока не займетъ свое среднее положеніе. — Въ это время золотникъ займетъ положеніе (IV), при которомъ оба окна вполнѣ открыты; затѣмъ поршень продолжаетъ двигаться къ своей лѣвой мертвой точкѣ, а золотникъ снова будетъ двигаться въ обратную сторону, т.е. слѣва направо. — Очевидно, что при этомъ получается распредѣленіе пара, дѣйствующаго съ расширеніемъ и съ сжатіемъ, характеризующееся тѣмъ, что паръ впускается и выпускается на всей длинѣ хода поршня. — Такое распредѣленіе можетъ быть произведено, если на главный валъ машины, принимающій движеніе отъ поршня черезъ посредство шатуна и кривошипа, будетъ посаженъ эксцентрикъ, коего эксцентриситетъ равенъ ширинѣ окна и составляетъ съ кривошипомъ уголъ въ 90°, и этотъ эксцент-

рикъ безконечно длиннымъ шатуномъ (или другимъ устройствомъ равносильнымъ съ безконечно длиннымъ шатуномъ) будетъ соединенъ со стержнемъ золотника. На самомъ дѣлѣ, принимая такое устройство мы, очевидно, получимъ, что среднее положеніе золотника будетъ соотвѣтствовать мертвымъ точкамъ главнаго кривошипа, (а слѣд. и поршня) и крайнія положенія золотника будутъ соотвѣтствовать среднимъ положеніямъ главнаго кривошипа, при которыхъ поршень будетъ занимать положеніе весьма мало отличное отъ своего средняго положенія (*). - При этомъ нужно только принять въ соображеніе, что эксцентриситетъ эксцентрика долженъ быть поставленъ относительно кривошипа такимъ образомъ, чтобы при движеніи золотника и поршня въ одну сторону, первый находился непремѣнно впереди послѣдняго, т.е. чтобы при выходѣ кривошипа изъ внутренней мертвой точки эксцентриситетъ эксцентрика прошелъ уже половину пути, отдѣляющаго эту мертвую точку отъ наружной. - Это замѣчаніе имѣетъ важность въ томъ отношеніи, что оно прямо указываетъ, какимъ образомъ можно измѣнить направленіе движенія машины для этого стоитъ только повернуть на 180° эксцентрикъ на главномъ валѣ машины направленіе движенія золотника перемѣнится и вмѣстѣ съ тѣмъ измѣнится и направленіе вращенія вала машины. - *

§. 2. Описанное распредѣленіе пара имѣетъ много недостатковъ; при чемъ: 1) нельзя устроить сжатія пара, которое весьма полезно т.к. оно прибавляетъ способъ дѣйствія пара въ машинѣ къ наивыгоднѣйшему въ теоретическомъ отношеніи циклу Карно. 2) нельзя заставить поршень начать двигаться отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара, т.к. паръ начинаетъ входить напр. въ лѣвую сторону цилиндра въ тотъ-же моментъ, когда поршень выходитъ изъ лѣвой мертвой точки, и притомъ паръ начинаетъ входить весьма узкимъ отверстіемъ, вслѣдствіе чего, поршень долженъ пройти нѣкоторый путь вправо, прежде чѣмъ давленіе въ лѣвой части цилиндра установится и паръ приметъ надлежащее давленіе во всемъ пространствѣ; 3) поршень, выходя изъ мертвой точки, встрѣчаетъ съ той стороны въ которую двигается значительное сопротивленіе, т.к. паръ начинаетъ выходить только въ тотъ моментъ, когда поршень выходитъ изъ мертвой точки, причемъ паръ вначалѣ выходитъ весьма узкимъ отверстіемъ, такъ, что поршень долженъ пройти изъ мертвой точки нѣкоторый путь прежде, чѣмъ съ нерабочей его стороны установится давленіе холодильника или атмосферы, и 4) машина дѣйствуетъ совершенно безъ расширенія, слѣд. вся работа, которая могла бы пройдти отъ такого расширенія, теряется. -

Чтобы устранить эти недостатки очевидно нужно устроить распредѣленіе пара такъ, чтобы: во 1) каналы для впусканія пара въ правую и лѣвую части цилиндра были уже открыты и соединены съ котломъ въ ту пору, какъ поршень находится въ правой и лѣвой мертвой точкѣ, или, какъ говорятъ обыкновенно, въ машинѣ должно быть опе-

---

(*) Поршень занималъ-бы при этомъ точно свое среднее положеніе, если бы его шатунъ былъ безконечно длиненъ; степень отступленія поршня отъ средняго положенія при крайнихъ положеніяхъ золотника будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше длина кривошипа сравнительно съ длиною шатуна. -

Это было бы тогда если бы эксцентриситетъ составлялъ съ кривошипомъ ∠ 90°. а не 90° + б если же онъ составляетъ съ

реженія впуска.-

во 2-ой) каналы для выпуска пара изъ лѣвой и правой части цилиндра должны быть также открыты на нѣкоторую ширину въ ту пору, какъ поршень находится въ правой и лѣвой мертвыхъ точкахъ, т.е. въ машинѣ должно быть сдѣлано опереженіе выпуска.-

въ 3-ій) сообщеніе пароваго канала съ выпускнымъ отверстіемъ должно прекращаться не въ тотъ-же моментъ, какъ устанавливается его сообщеніе съ котломъ, а нѣсколько раньше для того, чтобы могло произойти сжатіе спятаго пара.

въ 4-ый) прекращеніе сообщенія пароваго канала съ котломъ должно произойти не въ тотъ же моментъ, какъ начинается сообщеніе этого канала съ выпускнымъ отверстіемъ, а нѣсколько раньше, для того, чтобы паръ могъ дѣйствовать расширеніемъ.-

Всѣхъ этихъ цѣлей можно достигнуть измѣнивши нѣсколько устройство золотника, эксцентрицитетъ и положеніе на валѣ эксцентрика (*), а именно въ этомъ смыслѣ:

1) Ширина закраинъ золотника дѣлается нѣсколько больше ширины впускнаго окна (фиг. 2) такъ, что разстояніе между внутренними краями закраинъ меньше разстоянія между внутренними краями паровыхъ оконъ, а разстояніе между наружными краями закраинъ больше разстоянія между наружными краями паровыхъ оконъ.- Когда золотникъ устраиваютъ такимъ образомъ, то полуразность разстояній между наружными краями золотниковой доски и между наружными краями паровыхъ оконъ, т.е. длина ab (фиг. 2) наз. *наружною* или *внѣшнею перекрышею* золотника.- А полуразность разстояній между внутренними краями паровыхъ оконъ и внутренними краями золотниковой доски наз. *внутреннею перекрышею золотника*.-

2) Эксцентрицитетъ эксцентрика дѣлаютъ больше ширины окна, именно онъ равенъ ширины окна + наружная перекрыша.-

3) Эксцентрикъ ставятъ такимъ образомъ, чтобы его эксцентрицитетъ не былъ ⊥ къ направленію кривошипа, но такъ, чтобы этотъ эксцентрицитетъ составлялъ съ кривошипомъ тупой уголъ (считая опять такимъ направленію движенія вала машины) т.е. эксцентрикъ закливается не въ положеніи ob (фиг. 3) а въ положеніи oc, тогда кривошипъ направленъ по AO, причемъ уголъ $\beta = boc$ наз. *угломъ опереженія*, *угломъ предвареніе* или *угломъ упрежденія* эксцентрика.-

Чтобы объяснить себѣ дѣйствіе механизма съ этими измѣненіями положимъ сначала, что длина шатуна золотника есть величина безконечно большая.- Очевидно, что золотникъ будетъ въ своемъ среднемъ положеніи тогда, когда эксцентрицитетъ эксцентрика составитъ прямой уголъ съ линіею мертвыхъ точекъ машины, когда кривошипъ будетъ въ мертвой точкѣ, центръ эксцентрика будетъ отстоять отъ нея на уголъ $90° + \beta$ (фиг. 4).- Когда кривошипъ повернется изъ нея на уголъ α, то эксцентрикъ будетъ отстоять отъ мертвой точки на $90° + \alpha + \beta$, а какъ при разстояніи эксцентрика въ 90° отъ мертвой точки золотникъ занимаетъ среднее положеніе, то разстояніе отъ этого средняго положенія до того, которое имѣетъ золотникъ, когда кривошипъ ос

(*) Расширеніе впрочемъ, которое можетъ быть произведено приборамъ, разсматриваемымъ въ этомъ §, очень мало, такъ, что на это его дѣйствіе собственно можно даже не обращать вниманія.

Кривошипъ ∠ 90 + б что его надо перевернуть на ∠ 90 + 2б

тавляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ α — будетъ путь описанный центромъ эксцентрика по направленію линіи мертвыхъ точекъ при вращеніи его эксцентриситета изъ m до n. — Поэтому если r есть эксцентриситетъ эксцентрика и β уголъ его опереженія, то разстояніе на коемъ находится золотникъ отъ его средняго положенія въ ту пору, какъ кривошипъ вышелъ изъ своей мертвой точки на уголъ α — будетъ:

$$l = r\,\sin(\alpha+\beta)$$

Какъ же велики будутъ при разсматриваемомъ положеніи эксцентрика отверстія впускное и выпускное? Прежде чѣмъ открыть впускное отверстіе, золотникъ долженъ пройти длину, равную величинѣ внѣшней перекрыши, а потому, чтобы получить величину впускнаго окна, при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, надо, найденное выше перемѣщеніе золотника изъ его средняго положенія т.е. $r\,\sin(\alpha+\beta)$ уменьшить на величину внѣшней перекрыши (которую назовемъ черезъ a); также, чтобы получить открытіе выпускнаго окна надо изъ количества $r\,\sin(\alpha+\beta)$ вычесть величину внутренней перекрыши, (которую означимъ черезъ b) и такимъ образомъ получимъ, что когда кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ α, то величина впускнаго отверстія равна:

$$r.\,\sin(\alpha+\beta) - a$$

и величина выпускнаго отверстія равна

$$r\,\sin(\alpha+\beta) - b$$

А т.к. величину $r\,\sin(\alpha+\beta)$ мы опредѣляемъ безъ всякаго затрудненія изъ чертежа, зная только r и углы α и β, то слѣд. и степень открытія впускнаго и выпускнаго окошекъ для каждаго положенія кривошипа намъ извѣстны. — Основываясь на этомъ можно составить діаграмму, которая покажетъ законъ, по которому измѣняется степень открытія золотникомъ, какъ впускнаго, такъ и выпускнаго оконъ.

Пусть AB есть линія мертвыхъ точекъ (фиг. 5). — При произвольной точкѣ O, взятой на этой прямой отложимъ уголъ β въ направленіи противоположномъ направленію вращенія вала и къ только что проведенной сторонѣ угла β, изъ той-же точки (O) проведемъ линію $\perp$ OD, на этой послѣдней прямой отъ точки O откладываемъ величину OD = эксцентриситету эксцентрика = r. — На этой линіи r, какъ на діаметрѣ описываемъ кругъ. — Затѣмъ изъ точки O, какъ изъ центра описываемъ радіусами равными наружной и внутренней перекрышамъ двѣ окружности. — Если сдѣлавъ эти всѣ построенія, проведемъ черезъ точку O произвольную прямую OC, то соотвѣтствующая направленію OC кривошипа величина впускнаго окна изобразится отрѣзкомъ BC хорды OC (заключеннымъ между ея пересѣченіями съ окружностью, описанною на діаметрѣ равномъ эксцентриситету и съ окружностью, описанною радіусомъ равнымъ наружной перекрышѣ). — Отрѣзокъ-же A'C, той-же хорды, (заключенный между ея пересѣченіемъ съ окружностью, описанною на діаметрѣ равномъ эксцентриситету, и съ окружностью, описанною радіусомъ, равнымъ внутренней перекрышѣ) представитъ, соотвѣтствующую направленію OC кривошипа, величину выпускнаго окна. — На самомъ дѣлѣ, уголъ OCD, какъ опирающійся на діаметръ и имѣющій вершину на окружности, есть прямой, слѣд. $OC = OD\,\cos(COD)$. — Но уголъ $COD = 90^\circ - \beta - COB$; уголъ-же COB, есть уголъ описанный кривошипомъ при переходѣ изъ мертвой точки въ положеніе OC; этотъ уголъ мы назвали черезъ α; слѣдовательно:

$$COD = 90^\circ - \beta - \alpha$$

$$OC = OD.\sin(\alpha+\beta) = r\sin(\alpha+\beta)$$

И т.к. OB, OA, суть величины внутренней и внешней перекрыш., т.е. a и b, то:

$$B_1C = OC - OB_1 = r\sin(\alpha+\beta) - a$$

также:

$$A_1C = OC - OA_1 = r\sin(\alpha+\beta) - b$$

Но, по вышенайденному $r\sin(\alpha+\beta) - a$ есть величина впускнаго окна, и $r\sin(\alpha+\beta) - b$ величина выпускнаго окна. — Таким обр., если желаем составить себе ясное понятие о положении золотника при каком угодно положении кривошипа и о величине отверстия паровых окон, то нужно только построить по вышеизложенным правилам диаграмму, чтобы иметь возможность на одном и том-же чертеже находить величины паровых окон и при прямом и при обратном ходе поршня, нужно только продолжить линию OD в другую сторону, и, отложив $OE = OD$, на OE, как на диаметре описать окружность. — Обе эти окружности, для краткости, будем впредь называть кругами диаграммы. — Имея этот чертеж можем определить величину впускнаго и выпускнаго отверстий при каждом положении кривошипа, и след. можем определить также положение кривошипа: 1) Соответствующее началу впуска (величина впускнаго окна есть 0 и возрастает), 2) Соответствующее началу расширения (величина впускнаго окна есть 0 и убывает); 3) Соответствующее началу выпуска (величина выпускнаго окна есть 0 и возрастает); 4) Соответствующее началу сжатия (величина выпускнаго окна есть нуль и убывает). — На (фиг. 6) изображены все подробности такой диаграммы; из нея видим:

Конца кривошипа находится в правой мертвой точке R величина впускнаго окна в правую часть цилиндра есть V_1P_1, а величина выпускнаго окна из левой части цилиндра есть W_1P_1. — С движением кривошипа по направлению стрелки обе величины возрастают до тех пор, пока кривошип не займет положения OL; затем оба эти канала начинают убывать. — При положении кривошипа OR_4 величина впускнаго канала обращается в нуль, а величина выпускнаго окна $= OW_4$ и след. этому положению кривошипа соответствует начало расширения в правой части цилиндра; а выпуск из левой части, при положении кривошипа OR_4, все еще продолжается. Этот выпуск прекращается при направлении OR_6, проведенном через центр O и пересечение W_6 круга диаграммы (построенного на эксцентриситет, как на диаметр) с окружностью внутренней перекрыш. — С этого момента начинается сжатие в левой части цилиндра, а расширение в правой продолжается, пока не откроется выпуск, что случится тогда, когда кривошип займет положение OR_7, проходящее через точку пересечения W_7, другаго круга диаграммы с окружностью внутренней перекрыши. — При этом положении сжатие в левой части цилиндра продолжается до тех пор, пока кривошип не достигнет положения OR_8, проходящаго через точку V_8, пересечения второго круга диаграммы с окружностью наружной перекрыш. — С этого момента начинается впуск пара в левую часть цилиндра, выпуск же из правой части будет продолжаться. — Затем в левой части цилиндра начинается расширение, когда кривошип займет положение OR_9, проходящее через точку V_9 пересечения второго круга диаграммы с окружностью наружной

перекрышки; при этомъ положеніи кривошипа выпускъ изъ правой части цилиндра будетъ все еще продолжаться, пока кривошипъ не приметъ положенія OR_{10}, проходящаго черезъ (·) W_{10} пересѣченія второго круга діаграммы съ окружностью внутренней перекрышки. — Съ этого момента начинается сжатіе пара въ правой части цилиндра, расширеніе же въ лѣвой еще не прекращается и будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не займетъ положенія OR_5, проходящаго черезъ пересѣченіе W_5 перваго круга діаграммы съ окружностью внутренней перекрышки. — Съ этого момента лѣвая часть цилиндра сообщена съ выпускомъ пара, а въ правой продолжается сжатіе. — Оно оканчивается и въ правую часть начинается впускъ пара тогда, когда кривошипъ принимаетъ направленіе OR_3, проходящее черезъ пересѣченіе V_3 перваго круга діаграммы съ окружностью, описанною радіусомъ, равнымъ наружной перекрышкѣ.

Такимъ образомъ эта замѣчательная діаграмма, изобрѣтенная Цейнеромъ, даетъ весьма удобное средство опредѣлить всѣ положенія кривошипа, при которыхъ происходитъ перемѣна въ распредѣленіи пара. — Чтобы найти соотвѣтствующія этимъ положеніямъ кривошипа положенія поршня, стоитъ только изъ точекъ R, R_3, R_4, R_6, R_7 и R_8 опустить перпендикуляры на начерченныя вверху діаграммы прямыя параллельныя линіи мертвыхъ точекъ кривошипа и изъ точекъ R_1, R_9, R_{10}, R_5 и R_3 опустить подобные же перпендикуляры на такія же прямыя, начерченныя внизу діаграммы. — При этомъ увидимъ слѣдующее, когда поршень находится въ своей мертвой точкѣ H впускъ въ правую часть цилиндра и выпускъ изъ лѣвой части цилиндра открыты. — Затѣмъ поршень начинаетъ двигаться къ другой своей мертвой точкѣ, причемъ впускъ пара въ правую часть цилиндра и выпускъ его изъ лѣвой части остаются открытыми. — Когда поршень придетъ въ точку H_4 впускъ пара въ правую часть прекращается и въ ней начинается расширеніе пара, выпускъ же изъ лѣвой части цилиндра продолжается. — Послѣ того, когда поршень придетъ въ (·) H_6 выпускъ пара изъ лѣвой части цилиндра прекращается и въ ней начинается сжатіе пара, расширеніе же въ правой части продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не придетъ въ (·) H_7. — Въ этотъ послѣдній моментъ начинается выпускъ пара изъ правой части цилиндра и сжатіе въ лѣвой части продолжается. — Далѣе, когда поршень достигнетъ положенія H_8, сжатіе въ лѣвой части оканчивается и начинается впускъ въ нее изъ котла свѣжаго пара и выпускъ изъ правой части цилиндра продолжается. — Это продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не придетъ во свой мертвой точки H и изъ нея снова до H_9. Въ точкѣ H_9 впускъ въ лѣвую часть цилиндра оканчивается и начинается въ ней расширеніе, а выпускъ изъ правой части продолжается, пока поршень не дойдетъ до положенія H_{10}. — При этомъ выпускъ изъ правой части цилиндра прекращается и начинается въ ней сжатіе пара, а расширенія въ лѣвой части продолжается, пока поршень не достигнетъ положенія H_3. — Въ этой точкѣ расширеніе въ лѣвой части оканчивается и начинается выпускъ изъ нея пара. — Сжатіе же въ правой части продолжается, пока поршень не достигнетъ положенія H_3. — Въ этой точкѣ сжатіе въ правой части цилиндра оканчивается и начинается впускъ въ нее изъ котла пара, а выпускъ пара изъ лѣвой части еще продолжается. — Все это происходитъ въ продолженіе всего того времени, которое нужно поршню, чтобы изъ точки H_3 дойти

до мертвой точки H, и затѣмъ отъ точки H снова до точки H_4.- Наша діаграмма относится къ тому случаю, когда длина шатуна, соединяющаго кривошипъ со стержнемъ поршня равна безконечно большой величинѣ.- Но т.к. это условіе на практикѣ не бываетъ соблюдено, то чертежъ не совершенно вѣренъ, и его слѣдуетъ измѣнить, а именно при опредѣленіи положеній поршня, соотвѣтствующихъ даннымъ положеніямъ кривошипа, придется переносить различныя точки окружности, описываемой кривошипомъ, на линію мертвыхъ точекъ не перпендикулярами къ сей послѣдней, а другими, имѣющими радіусъ, равный длинѣ шатуна, и центръ на линіи мертвыхъ точекъ.- Такъ, чтобы найти дѣйствительное разстояніе поршня отъ мертвыхъ точекъ A и D (фиг. 7) въ тотъ моментъ, когда кривошипъ находится въ положеніи N, должно взять въ циркуль длину NB шатуна и, дѣлая этою длиною на линіи мертвыхъ точекъ центръ B, а затѣмъ изъ B, какъ изъ центра, описавъ радіусомъ NB дугу NE до линіи мертвыхъ точекъ; длины EA и ED и будутъ разстоянія поршня отъ мертвыхъ точекъ при положеніи N кривошипа.-

§ 3. На основаніи предыдущаго видно, что діаграмма Цейнера приложима не только къ машинамъ съ шатунами поршней очень большой длины, но и къ такимъ, шатуны поршней коихъ не очень велики, и единственное условіе, которое требуется для правильности нашего построенія есть то, что длина шатуна эксцентрика должна имѣть безконечную длину.- Выходя изъ этого предположенія, мы прямо примемъ, что среднее положеніе золотника, положеніе при которомъ оба отверстія одинаково перекрыты, соотвѣтствуетъ тому положенію эксцентрика, при которомъ его эксцентрицитетъ съ линіею мертвыхъ точекъ составляетъ прямой уголъ.- Такое предположеніе доставило намъ основную формулу для разстоянія золотника отъ его средняго положенія.- По этой формулѣ путь, пройденный золотникомъ отъ его средняго положенія, выражается такъ:

$$r \sin(\alpha + \beta)$$

Разсмотримъ теперь, какъ велики ошибки, вводимыя такимъ предположеніемъ въ случаѣ, когда длина шатуна эксцентрика будетъ конечная.- Для этого замѣтимъ сначала, что когда поршень машины находится въ правой мертвой точкѣ, то золотникъ долженъ находиться относительно оконъ праваго и лѣваго въ точно такомъ-же положеніи, въ какомъ онъ находится относительно оконъ лѣваго и праваго, когда поршень находится въ другой мертвой точкѣ; такъ въ дѣйствительности и выбираютъ положеніе золотника (*), тогда очевидно среднее положеніе золотника т.е. то, при которомъ оба отверстія, ведущія въ цилиндръ одинаково перекрыты

(*) Чтобы произвести такую выѣрку съ самаго начала временно закрѣпляютъ эксцентрикъ на валѣ подъ угломъ приблизительно вѣрнымъ, и установивъ кривошипъ въ одну изъ мертвыхъ точекъ (напр. въ лѣвую), посредствомъ измѣненія длины стержня золотника, приводятъ сей послѣдній въ такое положеніе, чтобы лѣвое впускное окно было открыто на заданную величину, напр. на два миллиметра, затѣмъ переводятъ кривошипъ въ противоположную мертвую точку, и смотрятъ насколько при этомъ открыто правое впускное окно; если оно открыто также на 2 миллиметра

будетъ въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ положеній золотника при мертвыхъ точкахъ кривошипа, а потому разстояніе отъ вала машины до средняго положенія золотника т.е. до того положенія, при которомъ оба паровые канала перекрыты одинаково снаружи и одинаково изнутри, будетъ средняя ариѳметическая между разстояніями золотника отъ вала при мертвыхъ точкахъ кривошипа, поэтому-же насколько разстояніе отъ оси вала до средняго положенія золотника разнится отъ того, которое слѣдуетъ изъ предположенія о безконечной длинѣ шатуна эксцентрика. Чтобы опредѣлить положеніе золотника, соотвѣтствующія двумъ крайнимъ положеніямъ поршня въ его мертвыхъ точкахъ, поступимъ слѣдующимъ образомъ: пусть кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ α (фиг. 8); въ это время эксцентриситетъ эксцентрика составляетъ съ тѣмъ своимъ положеніемъ, которое соотвѣтствуетъ его мертвой точкѣ уголъ $90^\circ + \alpha + \beta$, (гдѣ β есть уголъ опереженія); пусть это положеніе эксцентриситета изображается линіею OJ.- Вычислимъ при этомъ положеніи эксцентрика разстояніе центра вала отъ средины золотника.- Длину шатуна DJ означимъ черезъ l, а длину идущаго до какой ни есть опредѣленной точки (въ нашемъ случаѣ до средины золотника) стержня DB, соединяющаго шатунъ съ золотникомъ черезъ l_1.- Очевидно:

$$OB = OC + CD + DB = OC + CD + l_1$$

Но OC есть проэкція эксцентриситета r на линію мертвыхъ точекъ, слѣд:

$$OC = r\sin(\alpha+\beta)$$

Изъ чертежа тотчасъ находимъ также:

$$CD = \sqrt{l^2 + r^2\cos^2(\alpha+\beta)}$$

слѣдовательно:

$$OB = r\sin(\alpha+\beta) + l_1 + \sqrt{l^2 - r^2\cos^2(\alpha+\beta)}$$

Эта величина OB соотвѣтствуетъ произвольному положенію кривошипа, опредѣляющему уголъ α, который онъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ.- Чтобы получить величину OB при крайнихъ положеніяхъ кривошипа, надо въ послѣдней формулѣ положить сперва $\alpha = 0$ и потомъ $\alpha = 180^\circ$.- Полагая $\alpha = 0$, получимъ разстояніе точки B отъ центра вала при одной мертвой точкѣ кривошипа:

$$OB = l_1 + r\sin\beta + \sqrt{l^2 - r^2\cos^2\beta}$$

Вставляя-же $\alpha = 180^\circ$ получимъ разстояніе точки B отъ центра вала при другой мертвой точкѣ кривошипа:

$$OB = l_1 - r\sin\beta + \sqrt{l^2 - r^2\cos^2\beta}$$

Средняя ариѳметическая этихъ двухъ разстояній, которая согласно предъидущему изображаетъ разстояніе центра вала отъ средины золотника въ среднемъ его

то золотникъ поставленъ вѣрно; если-же нѣтъ, если напр. правое окно при правой мертвой точкѣ окажется открытымъ на пять мм. вмѣсто 2½, то приводятъ это открытіе въ двумъ миллиметрамъ, передвигая золотникъ на 1½ мм. черезъ измѣненіе положенія эксцентрика; затѣмъ опять приводятъ кривошипъ въ лѣвую мертвую точку, и оказавшуюся невѣрность снова исправляютъ тѣмъ-же способомъ.- При аккуратности двѣ-три операціи такого рода достаточны для вывѣрки золотника.-

положеніи будетъ: $l_1 + \sqrt{l^2 - r^2 Cs^2 \beta}$

Посему дѣйствительное разстояніе золотника при произвольномъ положеніи кривошипа отъ средняго положенія золотника будетъ:

$$r.Sn(\alpha+\beta) + \left\{\sqrt{l^2 - r^2 Cs^2(\alpha+\beta)} - \sqrt{l^2 - r^2 Cs^2 \beta}\right\}$$

А какъ при предъидущемъ построеніи посредствомъ діаграммы было принято, что это разстояніе $r Sn(\alpha+\beta)$, то ошибка въ оцѣнкѣ разстоянія между дѣйствительнымъ и среднимъ положеніемъ золотника будетъ:

$$\sqrt{l^2 - r^2 Cs^2(\alpha+\beta)} - \sqrt{l^2 - r^2 Cs^2 \beta}$$

Это выраженіе очевидно представляетъ ошибку, которую мы сдѣлали и въ величинѣ открытія паровыхъ оконъ; разберемъ какое вліяніе она имѣетъ на опредѣленіе діаграммою величины открытія паровыхъ оконъ при разныхъ положеніяхъ поршня. При $\alpha = 0$ и при $\alpha = 180°$ ошибка $= 0$, т.е. въ мертвыхъ точкахъ кривошипа разстояніе золотника отъ средняго положенія, а слѣд. и величины открытія оконъ опредѣлены діаграммою Цейнера вполнѣ правильно. Ошибка обращается еще въ нуль при $\alpha = 180° - 2\beta$ и при $\alpha = 360° - 2\beta$, такъ, что вообще будутъ четыре точки въ которыхъ степень открытія опредѣляется діаграммою вполнѣ точно, чтобы получить точки, въ которыхъ ошибка достигаетъ наибольшей величины, приравниваемъ нулю ея производную по α; получимъ

$$2Cs(\alpha+\beta).Sn(\alpha+\beta) = 0$$

или

$$Sn\,2(\alpha+\beta) = 0$$

Это равенство будетъ исполнено, когда:

$$2(\alpha+\beta) = 180°;\quad 360°;\quad 540°;\quad 720°;\quad (\pi\kappa);$$

т.е. когда: $\alpha = 90° - \beta;\quad 180° - \beta;\quad 270° - \beta;\quad 360° - \beta;\quad \left(\frac{\pi\kappa}{2} - \beta\right);$

Такимъ обр. имѣемъ четыре точки въ которыхъ величина ξ достигаетъ наибольшаго своего значенія. — Первая и третья изъ этихъ точекъ соотвѣтствуютъ тому положенію золотника, въ которомъ, по діаграммѣ, оба паровыя отверстія вполнѣ открыты, тогда-же, вторая и четвертая соотвѣтствуютъ положеніямъ кривошипа OA и Ob (ф. 9) когда оба отверстія совершенно закрыты, и ошибка состоитъ въ томъ, что по діаграммѣ при направленіяхъ OA и Ob, имѣетъ мѣсто среднее положеніе золотника, т.е. оба канала перекрыты одинаково извнутри и снаружи тоже, между тѣмъ, какъ въ дѣйствительности при этихъ положеніяхъ кривошипа, золотникъ нѣсколько выдвинутъ изъ средняго своего положенія, т.е. одно окно при этомъ перекрыто нѣсколько больше другаго, но въ сущности результатъ получается тотъ-же, что и при діаграммѣ, т.е. оба окна закрыты. — Для насъ всего важнѣе съ совершенною точностью опредѣлить положеніе золотника въ мертвыхъ точкахъ поршня т.к. по самой цѣли, для которой введены перекрышки и уголъ опереженія эксцентрика необходимо, чтобы внутреннія и внѣшнія отверстія были до извѣстной степени открыты, когда поршень находится въ мертвыхъ точкахъ и діаграмма даетъ намъ положеніе золотника въ этихъ точкахъ совершенно правильно, въ другихъ точкахъ есть нѣкоторая ошибка въ положеніи золотника, но ошибка эта достигаетъ своей наибольшей величины при такихъ положеніяхъ золотника, когда оба канала или совершенно открыты или совершенно закрыты, т.е. когда она никакого существеннаго вліянія оказать не можетъ. — Но въ этихъ точкахъ величины ошибки, достигающей своихъ наибольшихъ значеній совершенно ничтожны.

Если выраженіе ошибки развернемъ въ строку и ограничимъ членами пропорціональными $\left(\frac{r^2}{l}\right)$, то наибольшія значенія ошибки будутъ:

при $\alpha = 90° - \beta$ ошибка $= + \frac{r^2}{2l} Cs^2\beta$

" $\alpha = 180° - \beta$ " $= - \frac{r^2}{2l} Cs^2(90° - \beta)$

" $\alpha = 270° - \beta$ " $= + \frac{r^2}{2l} Cs^2\beta$

" $\alpha = 360° - \beta$ " $= - \frac{r^2}{2l} Sn^2\beta$.

Если положимъ $r = 8^{cm}$; $l = 160^{cm}$ и $\beta = 30°$, то ошибки эти будутъ:

при $\alpha = 90° - \beta$ и $\alpha = 270° - \beta$

$$f = \frac{8.8}{2.160} \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{20} = 0{,}15 \text{ Cent.}$$

а при $\alpha = 180° - \beta$ и $\alpha = 360° - \beta$:

$$f = \frac{8.8}{2.160} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{20} = 0{,}05 \text{ Cent.}$$

Ошибки эти, собственно вторая, которая можетъ имѣть нѣкоторое значеніе, совершенно ничтожны. Первая, сравнительно хотя и не очень мала, но, какъ она относится къ такому положенію золотника, при которомъ она никакого вліянія на распредѣленіе пара не оказываетъ, то мы и можемъ заключить, что діаграмма Цейнера даетъ ходъ измѣненій въ величинахъ отверстій паровыхъ оконъ съ приближеніемъ, вполнѣ достаточнымъ для практики.

Такимъ образомъ вполнѣ рѣшается вопросъ: какъ по даннымъ элементамъ распредѣлительнаго прибора найти самое распредѣленіе пара.-

§ 4. Приступимъ къ рѣшенію обратнаго вопроса, т.е. посмотримъ какимъ обр. по данному распредѣленію пара опредѣлить всѣ элементы распредѣлительнаго прибора.- Для этого прежде всего замѣтимъ, что на основаніи діаграммы направленія кривошипа, при которыхъ происходитъ начало и конецъ впуска и начало и конецъ выпуска, составляютъ равные углы съ тѣмъ положеніемъ кривошипа при которомъ впускное и выпускное отверстія имѣютъ наибольшія величины.- Слѣд. если изъ четырехъ главныхъ моментовъ въ распредѣленіи пара: начало впуска, конецъ впуска (или начало расширенія), начало выпуска, конецъ выпуска (или начало сжатія) то четвертый моментъ заданъ быть быть не можетъ, а опредѣляется самъ собою, съ помощію діаграммы.- Сверхъ того если дано будетъ распредѣленіе въ правой части цилиндра, то оно этимъ самымъ опредѣлено и для лѣвой части.- Поэтому вообще, относительно распредѣленія пара можетъ быть назначено не болѣе трехъ опредѣленныхъ условій, и по нимъ вполнѣ опредѣляются, какъ остальныя условія распредѣленія пара, такъ и всѣ элементы распредѣлительнаго прибора.- Это обстоятельство находится въ прямой связи съ тѣмъ, что въ конструкціи распредѣлительнаго прибора мы можемъ распоряжаться только тремя элементами, а именно 1) эксцентрицитетомъ эксцентрика, 2) угломъ его опереженія 3) величиною внутренней перекрыши.- Что-же касается до наружной перекрыши, то она очевидно находится въ прямой зависимости отъ эксцентрицитета и ширины паровго окна.- Дѣйствительно: очевидно совершенно безполезно выдвигать золотникъ изъ его средняго положенія дальше, чѣмъ это нужно для полнаго открытія паровпускнаго окна, перемѣщеніе-же золотника на эту величину необходимо т.к. въ противномъ случаѣ паровое окно никогда не будетъ вполнѣ открыто.- Поэтому очевидно наибольшее перемѣщеніе золотника изъ средняго положенія или равно эксцентрицитету эксцен-

трика, то, назвав ширину окна через h, и удерживая всѣ прежнія обозначенія, получимъ зависимость:

$$r = a + h$$

Положимъ, что намъ дано:

1) Положеніе поршня, при которомъ начинается впускъ въ правую часть цилиндра.-
2) Положеніе поршня, при которомъ начинается выпускъ изъ лѣвой части его, и
3) Положеніе поршня, при которомъ начинается сжатіе въ лѣвой части цилиндра.-

Чтобы рѣшить вопросъ, отложимъ на линіи мертвыхъ точекъ отъ точки A длины: AB, AC и AD (Черт. 10), представляющія разстоянія отъ правой мертвой точки до положенія поршня, соотвѣтствующихъ началу впуска B, въ правую часть, началу выпуска C изъ лѣвой части и началу сжатія D въ лѣвой части.- Беремъ въ циркуль длину шатуна поршня, и поставивъ одну изъ его ножекъ послѣдовательно въ точки B, C и D, а другую на линію мертвыхъ точекъ, описываемъ длиною шатуна дуги BB', CC' и DD' до пересѣченія съ окружностью, представляющею путь цапфы кривошипа.- Точки B', C' и D' представятъ положенія этой цапфы, соотвѣтствующія прежнимъ положеніямъ поршня.- Положеніе f цапфы кривошипа, при которомъ начинается расширеніе, опредѣлится, если проведемъ Of подъ угломъ къ OD' равнымъ углу COB'.- Затѣмъ соединяемъ точки B', C' и D' съ O, дѣлимъ уголъ C'OD' пополамъ прямою Og; уголъ этой прямой съ линіею мертвыхъ точекъ представитъ собою дополненіе до угла опереженія эксцентрика.- Чтобы опредѣлить затѣмъ эксцентриситетъ эксцентрика и объ перекрышѣ золотника, вообразимъ на минутку, что вопросъ уже рѣшенъ, и пусть OF' величина нарѣзной перекрыши.- Изъ точки F проведемъ касательную къ кругу, описываемому кривошипомъ до пересѣченія съ Og въ точкѣ g, и черезъ точку F' прямую F'g'; линіи Fg и F'g' будутъ параллельны и треугольники OFg и OF'g' подобны, слѣд:

$$Og' : Og = OF' : OF$$

Но $OF = R$ = длинѣ кривошипа.- $OF' = a$ = нарѣзной перекрышѣ золотника.- $Og' = OH + Hg' = a + h$ (гдѣ h есть высота пароваго окна) и $Og = OE + Eg = R + Eg$. Слѣд. предъидущая пропорція даетъ:

$$a + h : R + Eg = a : R$$

или

$$Ra + Rh = Ra + a.Eg.$$

откуда:

$$Rh = a.Eg.$$

и

$$a = Rh/Eg.$$

М. к. R и h даны напередъ, а Eg можетъ быть прямо взято изъ чертежа, то величина a опредѣлится этимъ равенствомъ, а эксцентриситетъ r найдется изъ ур-ія $r = a + h$. Внутренняя перекрыша получится, если, описавъ на только что полученномъ эксцентриситетѣ, какъ на діаметрѣ окружность, замѣтимъ, что точки пересѣченія C'' и D'' съ направленіемъ кривошипа, соотвѣтствующимъ началу и концу выпуска изъ лѣвой части цилиндра.- Тогда $b = OC'' = OD''$.-

Замѣтимъ, что довольно часто встрѣчаются въ паровыхъ машинахъ слѣдующія отношенія: $AB = \frac{1}{100}$ всего хода поршня; AD = отъ $\frac{92}{100}$ до $\frac{95}{100}$ того-же и $AE = \frac{3}{100}$ всего хода поршня.-

Такимъ образомъ вопросъ объ устройствѣ распредѣлительнаго прибора по даннымъ

разрѣшенъ и остается только найти: a) начало выпуска изъ правой части цилиндра b) начало сжатія въ правой c) начало расширенія въ лѣвой и d) начало впуска въ лѣвую часть цилиндра. — Для опредѣленія этихъ четырехъ точекъ дѣлаемъ по другую сторону линіи мертвыхъ точекъ такое-же построеніе, какъ и прежде, направленія кривошипа, при которыхъ получаются разсматриваемыя нами четыре точки (a, b, c, d) будутъ совершенно симметричны съ найденными уже четырьмя точками. — Но, не смотря на это, впускъ, выпускъ, сжатіе и расширеніе въ одной части цилиндра будутъ начинаться не въ тѣхъ-же разстояніяхъ отъ соотвѣтствующей мертвой точки, какъ въ другой части цилиндра, т.к. разстоянія поршня отъ его мертвыхъ точекъ, отвѣчающія симметричнымъ положеніямъ кривошипа не будутъ одинаковы и разница будетъ тѣмъ больше, чѣмъ короче шатунъ. — Это можно отчасти исправить, сдѣлавъ закраину правой части золотника неодинаковою съ закраиной его лѣвой части. — Тогда наружная и внутренняя перекрыши для лѣваго парового канала будутъ другія, чѣмъ для праваго и мы можемъ задать себѣ кромѣ прежде упомянутыхъ направленій кривошипа еще два направленія (т.к. прибавились два неизвѣстныхъ); которые можно выбрать напр. такъ, чтобы начало впуска и выпуска при обратномъ движеніи поршня, происходило на такомъ-же разстояніи отъ лѣвой мертвой точки, на какомъ при прямомъ движеніи оно происходило относительно правой мертвой точки.

Въ практикѣ, при рѣшеніи вопроса объ устройствѣ распредѣлительнаго прибора, обыкновенно обращаютъ вниманіе на то обстоятельство, чтобы т. наз. линейныя опереженія (т.е. величины открытія окна въ то время, когда поршень находится въ своей мертвой точкѣ) со стороны впуска и выпуска были извѣстныя опредѣленныя величины. — Такимъ образомъ задаются два элемента распредѣлительнаго прибора, остается задать себѣ еще одну величину, для чего можно выбрать или положеніе поршня при началѣ сжатія, или положеніе его при началѣ выпуска, или наконецъ положеніе его при началѣ расширенія. — Зададимъ себѣ, напр. положеніе поршня при началѣ впуска и линейное опереженіе со стороны впуска и найдемъ величину эксцентриситета и угла опереженія. —

Дѣлаемъ опять нашъ чертежъ (фиг. 11) и положимъ, что заданному положенію поршня при началѣ впуска, соотвѣтствуетъ положеніе кривошипа въ точкѣ a, а заданная величина линейнаго опереженія со стороны впуска есть e; тогда $BE = e$. — Разсматривая чертежъ и вспоминая, что діаметръ круга діаграммы есть $a+h$, получимъ:

$$(a+h)\sin\beta = a+e$$
$$(a+h)\sin(\beta-\delta) = a$$

а изъ этихъ двухъ ур-ій получаемъ a и β а именно:

$$a(1-\sin\beta) = h\sin\beta - e;$$
$$a\{1-\sin(\beta-\delta)\} = h\sin(\beta-\delta);$$

или:

$$\frac{1-\sin\beta}{1-\sin(\beta-\delta)} = \frac{h.\sin\beta - e}{h\sin(\beta-\delta)}$$

откуда: $h\sin(\beta-\delta) - h\sin\beta.\sin(\beta-\delta) = h\sin\beta - e - h\sin\beta\sin(\beta-\delta) + e\sin(\beta-\delta)$

или

$$h(\sin(\beta-\delta)) = h\sin\beta - e + e\sin(\beta-\delta)$$

Здѣсь только одна неизвѣстная: уголъ β, которая отсюда и можетъ быть найдена. — За-

мѣтимъ кстати, что величину этого угла можно найти помощію чертежа.- Для того преобразуемъ наше ур-іе и напишемъ его въ такомъ видѣ:

$$h\sin\beta.\cos\delta - h\cos\beta\sin\delta = h\sin\beta - e + e\sin\beta\cos\delta - e\cos\beta\sin\delta$$

или

$$\sin\beta\{h-(h-e)\cos\delta\} + (h-e)\sin\delta\cos\beta = e$$

или полагая: $h-(h-e)\cos\delta = A$ и $(h-e)\sin\delta = B$, получимъ:

$$e = A\sin\beta + B\cos\beta$$

Найдемъ теперь уголъ β, опредѣленный этимъ ур-мъ.- Для этого на произвольной прямой отложимъ линію $ab = A$ (фиг. 12), изъ крайней точки b линіи ab вдетавимъ перпендикуляръ $bc = B$.- Соединимъ точки a и c прямою ac, и на ней, какъ на діаметрѣ, опишемъ окружность.- Затѣмъ отъ точки a отложимъ хорду $ad = e$.- Четырехугольникъ $abcda$ будетъ замкнутый, слѣд. его сторона ad будетъ равна суммѣ проекцій прочихъ сторонъ его на какое нб. направленіе; и какъ cd перпендикулярно къ ad, то и получимъ, что:

$$ad = A\sin\delta + B\cos\delta \text{ или}$$

$$e = A\sin\delta + B\cos\delta$$

Но мы имѣли:

$$e = A\sin\beta + B\cos\beta$$

Отсюда видимъ, что уголъ $\beta = \delta$ и слѣд. β находится графическимъ построеніемъ безъ всякаго вычисленія.- По опредѣленіи β уже нетрудно найти величину a и эксцентриситетъ $a+h$; что касается до внутренней перекрыши, то она должна быть опредѣлена изъ другихъ данныхъ.

§ 5. Обыкновенный (простой) коробчатый золотникъ, нами разсмотрѣнный, если онъ приводится въ движеніе кривымъ эксцентрикомъ, хотя можетъ допускать значительное расширеніе, и черезъ перестановку эксцентрика это расширеніе можетъ измѣняться, но вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняются необходимо и другіе элементы распредѣленія пара, элементы, которые необходимо сохранять постоянными.- Имѣя это въ виду обыкновенно въ машинахъ, имѣющихъ значительное расширеніе пара, оно производится другимъ способомъ.- Одно изъ простѣйшихъ устройствъ этого рода есть кулачный эксцентрикъ, соединенный съ коробчатымъ золотникомъ.-

Этотъ механизмъ состоитъ въ томъ, что на главномъ валѣ машины, или на другой оси, дѣлающей равное число оборотовъ съ главнымъ валомъ, садится кулачный эксцентрикъ, на который прижимаемый или грузомъ надѣвается, соединенный нѣкоторымъ образомъ со стержнемъ золотника, капокъ, могущій катиться по сказанному кулачному эксцентрику, который вычерчивается на основаніи слѣдующихъ соображеній: т.к. впускъ и расширеніе въ правой части цилиндра сопровождается выпускомъ изъ лѣвой части и наоборотъ, то очевидно во время впуска въ правую часть золотникъ долженъ занимать положеніе (1) во время расширенія въ правой части положеніе (2), во время впуска въ лѣвую часть положеніе (3), и во время расширенія въ лѣвой части положеніе (4) (фиг. 13).-

При этомъ очевидно, что закраины золотника должны быть чуть чуть шире впускныхъ оконъ для того, чтобы быть вполнѣ увѣренными въ томъ, что когда впускное окно закрыто закраиною, то ни впуска ни выпуска пара не происходитъ.- Положимъ, для простоты, что ширина закраины = 1,25 ширины b впускного окна, и что впускное окно имѣетъ тутже самую ширину, какъ закраина; промежутки между внутренними ребрами впускныхъ оконъ и смѣженными ребрами выпускного окна очевидно должны быть равны так-

на 1,25 l, предполагая затѣмъ, что во время расширенія впускное окно перекрывается одинаково и спереди и сзади, получимъ, что полная длина золотника будетъ между наружными ребрами закраинъ 7,125 l, а между внутренними изъ ребра 4,625 l.-

Видно изъ фигуръ, что:

перемѣщеніе золотника изъ	(1)	въ	(2)	равно		1,125 l
" " "	(2)	"	(3)	"		2,25 l
" " "	(3)	"	(4)	"	—	1,125 l
" " "	(4)	"	(1)	"	—	2,25 l

Если на валъ насадимъ дискъ концентрическій съ осью и описанный произвольнымъ радіусомъ Oa (фиг. 14) и въ то-же время стержень золотника сдѣлаемъ такой длины, что-бы золотникъ находился въ положеніи (1), когда катокъ рамки опирается на дискъ, то ясно, что золотникъ перемѣщаться вовсе не будетъ и будетъ постоянно сохранять положеніе (1).- Но если мы возьмемъ неполный дискъ радіуса Oa, а только дугу, отвѣчающую дугѣ, которой описываетъ кривошипъ во время впуска въ правую часть цилиндра и затѣмъ съ этою дугою соединимъ посредствомъ переходной кривой дугу, описанную радіусомъ $Ob = Oa + 1,125\,l$, то катокъ, переходя на эту дугу увлечетъ золотникъ въ положеніе (2); если дугу, описанную радіусомъ Ob возьмемъ такой длины, чтобы она соотвѣтствовала дугѣ, описываемому кривошипомъ во время расширенія въ правой части и затѣмъ соединимъ ее посредствомъ переходной кривой съ третьею, которая будетъ описана радіусомъ:

$$Oc = Ob + 2,25\,l = Oa + 3,375\,l$$

то катокъ, переходя на эту послѣднюю дугу увлечетъ за собою золотникъ въ положеніе (3) въ которомъ онъ и будетъ оставаться, пока катокъ будетъ проходить дугу этого радіуса; если эта дуга будетъ сдѣлана такой длины, что она будетъ соотвѣтствовать дугѣ, описываемому кривошипомъ во время впуска въ лѣвую часть цилиндра и переходною кривою, соединится съ дугою, описанною радіусомъ:

$$Od = Oc - 1,125\,l = Ob + 1,125\,l = Oa + 2,5\,l$$

то, переходя на эту дугу, катокъ увлечетъ золотникъ, въ положеніе (4), при которомъ и будетъ происходить расширеніе въ лѣвой части цилиндра.- Переходная кривая къ дугѣ, описанной радіусомъ Oa, переведетъ затѣмъ золотникъ въ положеніе (1).-

§. 6. Описанный механизмъ можетъ быть устроенъ для произвольной степени расширенія но эта степень расширенія измѣняема быть не можетъ; въ машинахъ-же работающихъ съ расширеніемъ пара, измѣняемость расширенія представляетъ весьма важное удобство, а потому съ цѣлью собственно расширенія лишь весьма рѣдко употребляется описанный золотникъ, а всего чаще въ машинахъ со значительнымъ расширеніемъ устраивается сложный золотникъ, состоящій изъ отдѣльныхъ двухъ золотниковъ, которые оба приводятся въ движеніе круглыми эксцентриками и изъ коихъ одинъ назначенъ для распредѣленія пара безъ расширенія его, а другой собственно производитъ расширеніе; этотъ послѣдній обыкновенно устроенъ такъ, что его можно переставлять и получать такимъ образомъ различныя степени расширенія.- Системъ подобныхъ сложныхъ золотниковъ очень много.- Изъ нихъ очень часто употребляется въ практикѣ *двойной золотникъ Мейера* (изобрѣтенный въ 1842 г). Онъ удобенъ въ томъ отношеніи, что легко переставлять съ помощію небольшой рукоятки и получать такимъ образомъ

то или другое расширеніе, начиная отъ мертвой точки поршня до полнаго его хода; послѣдняго, впрочемъ, можно достигнуть еще въ томъ случаѣ, если окажется изъ опереженія пара, т.е. если устроимъ первый обыкновенный золотникъ такъ, чтобы паръ начиналъ входить и выходить прямо въ мертвыхъ точкахъ поршня. - Машина, снабженная Мейеровскимъ золотникомъ, смотря по надобности, можетъ работать и съ очень большимъ и съ очень малымъ расширеніемъ, даже безъ всякаго расширенія, если только собственно распредѣлительный золотникъ сдѣланъ безъ перекрышъ и эксцентрикъ безъ угла опереженія, что впрочемъ обыкновенно не дѣлается. -

Устройство золотника Мейра (фиг. 15) слѣдующее: онъ состоитъ изъ коробчатаго золотника AA, который скользитъ по столику BB, содержащему паровыя окна, ведущія паръ въ правую и лѣвую часть цилиндра и выводящія отработавшій паръ. - Золотникъ этотъ отличается отъ обыкновеннаго только тѣмъ, что при немъ паръ идетъ въ цилиндръ не около нарѣзныхъ его реберъ, а черезъ каналы, въ немъ сдѣланные. - Сверху этого золотника лежатъ пластинки CC, въ коихъ нарѣзаны гайки — правая и лѣвая. - Черезъ эти гайки проходитъ стержень, на коемъ также нарѣзаны правый и лѣвый винты. - Этотъ стержень черезъ сальникъ выходитъ съ обѣихъ сторонъ изъ распредѣлительной коробки; по выходѣ оттуда, онъ соединяется съ шатуномъ, идущимъ отъ эксцентрика, коимъ и приводится въ поступательное движеніе. - Вращательное движеніе онъ можетъ получать (отъ руки или регулятора) независимо отъ шатуна. - Нижній золотникъ приводится въ движеніе другимъ эксцентрикомъ и двигается совершенно независимо отъ пластинокъ CC. - Поворачивая винтъ D, можемъ удалять или приближать пластинки C и C одну къ другой и тѣмъ самымъ измѣнять степень расширенія пара. - Разсматривая внимательно устройство этого золотника, мы видимъ, что верхнія пластинки по временамъ станутъ закрывать пластинки a и b, слѣд. не позволятъ пару входить въ цилиндръ, несмотря на то, что каналы c и d будутъ находиться въ сообщеніи съ каналами a и b; на сообщеніе же каналовъ c и d съ выпускною трубою e, слѣд. на сжатіе пара въ цилиндрѣ и на выпускъ пара изъ цилиндра верхнія пластинки никакаго вліянія не имѣютъ; ихъ вліяніе такимъ обр. ограничивается исключительно тѣмъ, что закрывая въ извѣстные моменты каналы a и b, они не дозволяютъ пару входить въ внутрь цилиндра и тѣмъ производятъ его расширеніе. -

§ 7. Разберемъ же подробно какимъ образомъ происходитъ распредѣленіе пара въ машинѣ, снабженной Мейровскимъ золотникомъ, причемъ можемъ ограничиться исключительно разсмотрѣніемъ впуска и расширенія пара, т.к. выпускъ и сжатіе будутъ здѣсь происходить точно также, какъ и при обыкновенномъ золотникѣ. - Поэтому мы можемъ разсматривать только сообщеніе каналовъ a и b съ паровою коробкою, и задача наша будетъ состоять въ томъ, чтобы опредѣлить для каждаго положенія кривошипа на сколько эти каналы будутъ открыты и въ теченіе какой части оборота будутъ оставаться закрытыми. -

Представимъ себѣ нижній золотникъ A (ф. 16) и положимъ, что пластинки B, B находятся въ положеніи, представленномъ на чертежѣ; причемъ одна пластинка закрываетъ отчасти прорѣзной каналъ a нижняго золотника. - Спрашивается при какомъ положеніи кривошипа отверстіе a совершенно будетъ закрыта? Пусть L по-

ловина разстоянія между нарѣзными ребрами пропускныхъ каналовъ a и b нижняго золотника, l длина пластинки верхняго золотника, x — половина разстоянія между внутренними краями верхнихъ пластинокъ; про предънорящему мы сдѣлаемъ самую ничтожную ошибку при чтеніи распредѣленія пара, если примемъ, что среднее положеніе золотника соотвѣтствуетъ направленію эксцентрицитета эксцентрика, перпендикулярному къ линіи мертвыхъ точекъ, и слѣд. предположимъ, что оно независитъ отъ величины эксцентрицитета, ни отъ угла опереженія эксцентрика; на основаніи можемъ принять, что не смотря на различіе эксцентрицитетовъ и угловъ опереженія эксцентриковъ для обоихъ золотниковъ средніе положенія ихъ срединъ представляются одною и тою-же точкою C. - Пусть разстояніе теперь нашего положенія срединъ золотниковъ отъ C будутъ: ξ для нижняго и ξ' для верхняго золотника. - Очевидно, что разстояніе нарѣзнаго ребра пропускнаго канала отъ точки C будетъ $L-\xi$, а разстояніе нарѣзнаго ребра верхней пластинки отъ той-же точки C будетъ $l+x-\xi'$; слѣдов. разстояніе нарѣзныхъ реберъ канала a и пластинки B будетъ:

$$L-\xi-(l+x-\xi') = L-l-x-(\xi-\xi')$$

Если эта величина будетъ отрицательная, то каналъ a закрытъ совершенно (*); если же найденное положеніе будетъ положительное, то каналъ открытъ на величину этого выраженія; само собою понимается однако, что если положительное значеніе найденнаго выраженія больше d, то каналъ открытъ все таки не болѣе, какъ на d; для положеній кривошипа при коихъ:

$$L-l-x-(\xi-\xi') = 0$$

каналъ или открывается или закрывается, смотря по тому возрастаетъ или убываетъ величина $L-l-x-(\xi-\xi')$ при переходѣ черезъ нуль.

Если распредѣлительный приборъ установленъ, то L, l и x суть извѣстныя постоянныя величины, а ξ и ξ' суть величины перемѣнныя, измѣняющіяся вмѣстѣ съ положеніемъ кривошипа, величина x измѣняется вмѣстѣ съ вращеніемъ винта, соединяющаго пластинки, но отъ положенія кривошипа не зависитъ, такъ что, желая изучить распредѣленіе пара въ теченіе оборота машины и предполагая, что въ теченіе этого времени не трогаемъ винтъ, соединяющій пластинки, можемъ сказать, что степень открытія пропускнаго канала измѣняется только съ измѣненіемъ величинъ ξ' и ξ. Но величины ξ и ξ' представляютъ разстояніе между общимъ среднимъ положеніемъ C и ихъ положеніями, соотвѣтствующими произвольному углу α кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ; слѣд. ξ и ξ' суть ничто иное, какъ хорды кривыхъ діаграммы, со-

(*) Предполагая, конечно, что внутренній край пластинки B никогда не достигаетъ внутренняго ребра канала a, и на это при разсчетѣ длины пластинокъ слѣдуетъ обратить вниманіе. Предположеніе это будетъ выполнено, если при всѣхъ положеніяхъ обоихъ золотниковъ разстояніе внутренняго ребра канала отъ оси C будетъ больше, чѣмъ разстояніе отъ той-же точки внутренняго края верхней пластинки, а какъ 1-е разстояніе есть $L-d-\xi$ и второе $x-\xi'$, то разсматриваемое условіе приведется къ неравенству:

$$L-d-\xi > x-\xi' \quad \text{или} \quad L-d-x-(\xi-\xi') > 0$$

которое должно быть исполнено при всѣхъ положеніяхъ распредѣлительнаго прибора. -

отвѣтствующихъ эксцентрикамъ верхняго и нижняго золотниковъ, проведенныя черезъ центръ круга кривошипа подъ угломъ α къ линіи мертвыхъ точекъ. Потомъ, если проведемъ линію AA (ф. 17) мертвыхъ точекъ поршня, возставимъ къ ней перпендикуляръ DD и къ нему, подъ углами β и β' соотвѣтственно равными угламъ опереженія обоихъ эксцентриковъ проведемъ прямыя OK и OB, отложимъ на нихъ эксцентриситеты обоихъ эксцентриковъ и на нихъ, какъ на діаметрахъ, опишемъ окружности: Oabcdef, Oa'b'c'd'f'g'; если затѣмъ проведемъ направленіе OC подъ угломъ α, къ линіи мертвыхъ точекъ, то будетъ:

$$OC' = \xi' ; \quad OC = \xi ; \quad CC' = \xi - \xi' ;$$

Такимъ образомъ будемъ въ состояніи для каждаго положенія кривошипа опредѣлить ξ, ξ' и $\xi - \xi'$, а слѣд. будемъ знать величину открытія пропускного канала.-

Такимъ образомъ начерченные два круга діаграммы даютъ представленіе о томъ, какъ измѣняется открытая часть канала нижняго золотника вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія кривошипа.- Чтобы дать себѣ ясный отчетъ въ этомъ, прослѣдимъ значеніе величинъ ξ, ξ' и $\xi - \xi'$ черезъ всю окружность описываемую кривошипомъ.- Замѣчая, что значенія ξ и ξ' будутъ положительныя, когда хорды круговъ діаграммы, представляющія ихъ численныя значенія, лежатъ по ту-же сторону центра по которой находится соотвѣтствующее имъ положеніе цапфы кривошипа, и что значенія ξ и ξ' будутъ отрицательныя, когда хорды, представляющія собою ихъ численныя значенія лежатъ по другую сторону центра, нанесемъ соотвѣтствующее имъ положеніе цапфы кривошипа, мы получимъ слѣдующую таблицу значеній ξ, ξ' и $\xi - \xi'$.-

Направленіе кривошипа	Величина ξ	Величина ξ'	Величина $\xi - \xi'$
OA	+Oa	+Oa'	−aa'
OB	+Ob	+Ob	0
OC	+Oc	+Oc'	+cc'
OD	+Od	+Od'	+dd'
OE	+Oe	0	+Oe
OF	+Of	−Of'	+ff'
OG	0	−Og'	+Og'
OA'	−Oa	−Oa'	+aa'
OB'	−Ob	−Ob	0
OC'	−Oc	−Oc'	−cc'
OD'	−Od	−Od'	−dd'
OE'	−Oe	0	−Oe
OF'	−Of	+Of'	−ff.
OG'	0	+Og'	−Og'

Такимъ обр. величина $\xi - \xi'$, при движеніи цапфы кривошипа по полуокружности отъ B къ B' будетъ положительною, а при движеніи по полуокружности отъ B' до B' она будетъ отрицательною; отнимая найденныя величины $\xi - \xi'$ отъ суммы $L - l - x$, мы найдемъ величины открытія пропускного канала при каждомъ положеніи кривошипа, и слѣд. можемъ составить себѣ совершенно ясное понятіе, на какой части хода поршня происходитъ впускъ пара и съ какой части этого хода начинается расширеніе пара.-

§ 8. Вопросъ этотъ можно рѣшить еще нагляднѣе; можно составить чертежъ, изъ котораго не только легко опредѣляется величина открытія окна для каждаго положенія кривошипа, но прямо видны всѣ измѣненія, происходящія въ этомъ открытіи вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія кривошипа.- Для этого предв. докажемъ теорему:

Если два круга пересекаются и через общую их точку проведем прямую и замѣтимъ ей вторичные пересѣченія съ каждымъ изъ двухъ круговъ, то разность между полученными такимъ образомъ хордами, идущими по одному направленію, равна хордѣ, идущей по тому-же направленію и проходящей через общую точку двухъ круговъ, хордѣ третьяго круга, котораго діаметръ, имѣя одинъ конецъ въ точкѣ пересѣченія данныхъ круговъ, параллеленъ и равенъ замыкающей сторонѣ треугольника, построеннаго на проходящихъ через общую точку діаметрахъ данныхъ круговъ.- Пусть OAA', OBB' (фиг. 18) данныя окружности OA', OB', ихъ діаметры, проходящіе через общую ихъ точку O; соединяемъ A' съ B' и проводимъ прямую C'D' через точку O параллельно A'B'; на этой прямой откладываемъ OC' и OD' равныя A'B' и на каждой изъ отложенныхъ прямыхъ строимъ, какъ на діаметрѣ, окружности OCC' и ODD'; проводимъ через O произвольную хорду DOCAB; требуется доказать, что:

$$OD = OC = OB - OA$$

Для доказательства соединимъ пересѣченія этой хорды и всѣхъ окружностей съ концами ихъ діаметровъ, противоположными O.- Полученные при A', B, C, D углы суть прямые, какъ опирающіеся на діаметры и вершинами лежащіе на окружностяхъ; поэтому AB есть проекція на BD линіи A'B'; OC и OD суть проекціи на BD діаметровъ OC' и OD', а какъ діаметры эти равны и параллельны A'B' на тѣ-же прямыя DB; слѣдовательно:

$$OC = OD = AB = OB - OA$$

что и требовалось доказать.-

Замѣтимъ при этомъ, что OC' идетъ по направленію параллельному прямой, идущей отъ конца A' діаметра окружности, которой принадлежитъ вычитаемая хорда, къ концу діаметра B' окружности, которой принадлежитъ уменьшаемая хорда, и что OC, равная разности хордъ данныхъ круговъ идетъ по тому-же направленію, какъ и обѣ данныя хорды; напротивъ того OD' идетъ по направленію параллельному прямой, идущей отъ конца діаметра B' окружности, которой принадлежитъ хорда уменьшаемая, къ концу діаметра A' окружности, которой принадлежитъ вычитаемая хорда, и равная разности этихъ хордъ хорда OD идетъ по направленію противоположному взятымъ хордамъ данныхъ окружностей.- Изъ этого замѣчанія слѣдуетъ дополненіе нашей теоремы состоящее въ томъ, что: если мы условимся откладывать діаметръ вспомогательнаго круга по направленію, параллельному прямой, идущей отъ конца діаметра окружности, заключающей вычитаемую хорду, къ концу діаметра окружности, заключающей уменьшаемую хорду, то идущая по одинаковому направленію съ данными хордами, хорда вспомогательнаго круга изобразитъ по величинѣ искомую разность данныхъ хордъ, а направленіемъ своимъ опредѣлитъ знакъ искомой разности, именно знакъ этотъ положительный; если хорда вспомогательнаго круга идетъ по тому-же направленію, какъ и хорды данныя, и отрицательный, если хорда вспомогательнаго круга идетъ по направленію противоположному хордамъ данныхъ круговъ.

Въ этомъ впрочемъ легко убѣдиться и не прибѣгая къ построенію круга на OD', а построивши только кругъ на OC', и проведши через оба данные круга секирую OB'' та-

кую, что вычитаемая хорда OA'' больше уменьшаемой хорды OB''.-

§ 9. Основываясь на только что доказанной теореме легко построить чертёжъ, изображающій ходъ измѣненій въ открытіи пропускнаго канала.- Величина этого открытія, какъ уже прежде было найдено составляетъ:

$$L - l - x - (\xi_0 - \xi_0')$$

Для построенія $(\xi_0 - \xi_0')$, отвѣчающаго произвольному положенію кривошипа, нужно на основаніи только что доказаннаго поступить слѣд. обр. проводимъ линію мертвыхъ точекъ Ax (ф. 19) и къ ней перпендикуляръ Oy.- Отъ этого перпендикуляра откладываемъ въ сторону противоположную направленію вращенія вала углы YOZ и YOU, равные угламъ β и β' опереженія эксцентриковъ, приводящихъ въ движеніе нижній и верхній золотники и откладываемъ длины OZ и OU, соотвѣтственно равныя эксцентриситетамъ обоихъ эксцентриковъ; соединимъ концы этихъ эксцентриситетовъ прямою линіею ZU; затѣмъ черезъ центръ O чертежа проводимъ OK', равную и параллельную ZU, и на ней, какъ на діаметрѣ описываемъ окружность.- Хорды этой окружности, идущія по направленіямъ кривошипа изображаютъ собою, соотвѣтствующія этимъ направленіямъ величины $(\xi_0 - \xi_0')$, которыя будутъ положительными, если хорды идутъ по направленію кривошипа, и отрицательными, если эти хорды идутъ по направленію противоположному кривошипу.- Поэтому, напр., при направленіи кривошипа OB величина $(\xi_0 - \xi_0')$ будетъ отрицательная, по величинѣ равная od', а при направленіи OD кривошипа, величина $(\xi_0 - \xi_0')$ будетъ положительная и величина ей равна OC''.- Построивши такимъ образомъ окружность, для изображенія измѣненій въ величинѣ $(\xi_0 - \xi_0')$, легко уже перейти къ чертежу, изображающему измѣненія въ открытіи пропускнаго канала.- Для этого стоитъ только изъ центра O, радіусомъ равнымъ $L - l - x$ описать окружность.- Тогда, чтобы получить величину открытія пропускнаго канала при какомъ угодно положеніи кривошипа, нужно поступать такимъ образомъ: проведемъ черезъ O разсматриваемое направленіе кривошипа и затѣмъ точку его пересѣченія съ окружностью, имѣющею радіусъ $L - l - x$, и отличную отъ O точки пересѣченія того-же направленія съ окружностью, изображающею ходъ измѣненія $(\xi_0 - \xi_0')$; разстояніе этихъ точекъ пересѣченія и представитъ соотвѣтствующую разсматриваемому положенію кривошипа величину открытія пропускнаго канала, которая будетъ положительная, если $(\xi_0 - \xi_0') < (L - l - x)$, и отрицательная, если $\xi_0 - \xi_0' > L - l - x$; отрицательная величина открытія показаетъ только, что каналъ закрытъ.- Въ помощь этихъ замѣчаній легко разобрать ходъ измѣненій въ открытіи пропускнаго канала; пусть окружность $CC_1C_2C_3$ описана радіусомъ $L - l - x$; на основаніи предъидущаго получимъ величину пропускнаго окна:

При мертвой точкѣ A	cd
При направленіи кривошипа OB.	c'd'
При направленіи OC	c''d''
" " OD	0
Отъ OD до OS	0

При направленіи кривошипа OS пропускное окно снова отворяется и остается открытымъ въ теченіе всей остальной части оборота кривошипа.- Слѣд. въ данномъ случаѣ дѣйствіемъ втораго золотника впускъ пара въ цилиндръ закрытъ въ то время, какъ

кривошипъ вращается отъ OD до OG.- Поэтому если впускной каналъ въ цилиндръ не закроется нижнимъ золотникомъ прежде чѣмъ кривошипъ займетъ положеніе OG, то паръ снова начнетъ входить въ цилиндръ при этомъ положеніи кривошипа, что уничтожитъ всѣ выгоды, доставляемыя расширеніемъ пара.- Поэтому необходимо соображать нижній золотникъ такъ, чтобы въ моментъ вторичнаго открытія верхнимъ золотникомъ пропускнаго канала нижняго золотника, сей послѣдній закрывалъ собою впускной каналъ въ цилиндръ.- Чтобы опредѣлить на какой части окружности, описываемой кривошипомъ, впускъ пара закрыть дѣйствіемъ нижняго золотника, описываемъ кругъ $ob\,b'\,b''\,b'''$, изображающій движеніе нижняго золотника и кругъ $a\,a'\,a''\,a'''$, имѣющій радіусъ равный наружной перекрышѣ.- Пересѣченія этихъ окружностей дадутъ направленія OP и ON кривошипа, при которомъ впускъ пара закрывается и открывается.- Такимъ образомъ впускъ пара въ правую часть цилиндра не закрытъ нижнимъ золотникомъ, когда кривошипъ описываетъ дугу NABCDP и закрытъ, когда онъ описываетъ остальную часть окружности.- Поэтому въ нашемъ случаѣ вторичнаго впуска въ правую часть цилиндра не произойдетъ. Онъ можетъ быть, какъ тотчасъ увидимъ, при другомъ значеніи величины β, и мы прибѣгнемъ на средство избѣгнуть этого недостатка; но предварительно мы должны заняться разборомъ того, какое вліяніе оказываетъ на расширеніе разстояніе x между пластинками верхняго золотника Мейера.-

§ 10. Если мы уменьшимъ разстояніе x между пластинками, то радіусъ $L-l-x$ круга $cc'c''c'''$ увеличится на столько-же, на сколько уменьшится величина x; если напр. мы радіусъ этого круга сдѣлаемъ равнымъ Oc_1, то слѣдствіемъ этого будетъ то, что длина дуги на которой паръ впускается увеличивается и паръ будетъ входить въ то время, какъ кривошипъ описываетъ дугу NABCD.- Если напротивъ, увеличимъ разстояніе x между пластинками верхняго золотника, то радіусъ $L-l-x$ круга $cc'c''c'''$ уменьшится на столько-же на сколько увеличилось разстояніе x.- Вслѣдствіе этого длина дуги, описываемой кривошипомъ въ то время, какъ впускается паръ уменьшится (расширеніе увеличится).- Если, напр. увеличеніе разстоянія x будетъ равно cc_2, то впускъ пара окончится, когда кривошипъ имѣетъ направленіе OD_2, такъ, что впускъ пара будетъ продолжаться только то время въ теченіе котораго кривошипъ описываетъ дугу $NABCD_2$ и впуска нѣтъ, когда кривошипъ описываетъ остальную часть окружности.- Если бы мы имѣли въ виду опредѣлить величину пропускнаго окна, для различныхъ положеній кривошипа, то принимая въ соображеніе, что какъ бы ни было велико открытіе окна, оно ни въ какомъ случаѣ больше ширины самаго окна быть не можетъ,- мы могли бы поступить для нахожденія величины пропускнаго окна слѣдующимъ образомъ: взявъ $Oc = L-l-x$ отложимъ отъ точки c по направленію радіуса Oc длину ce, равную ширинѣ окна; радіусомъ Oe опишемъ окружность, и заштрихуемъ всю площадь, лежащую между окружностями $cc'c''c'''\ldots$ и $ee'e''e'''\ldots$ и притомъ находящуюся внѣ окружности $dd'd''d'''\ldots$ тогда та часть направленія кривошипа, которая пирсетъ на заштрихованную площадь, представляетъ соотвѣтствующую этому положенію кривошипа величину пропускнаго канала.- Изъ предыдущаго видно, что если, повертывая винтъ, станемъ раздвигать верхнія пластинки Мейеровскаго золотника, то разстояніе x будетъ увеличиваться и степень расширенія возрастать; или-же наоборотъ, повертывая винтъ въ обратную сторону, станемъ сдви-

гать пластинки B, то расширеніе будетъ уменьшаться. — Интересно знать, до какой степени можно увеличить или уменьшить расширеніе пара. — Относительно уменьшенія расширенія или увеличенія части размаха, которой впускается паръ), должно замѣтить, что онъ имѣетъ свой предѣлъ, вслѣдствіе того, что нижній золотникъ, устроенный съ опереженіемъ и перекрышами, производитъ расширеніе, и независимо отъ верхняго золотника; очевидно, слѣд. что Мейеровскимъ золотникомъ нельзя произвести расширенія меньше того, которое производится нижнимъ золотникомъ. — Но всегда можно сдѣлать какое угодно малое расширеніе, наблюдая только, чтобы было не меньше только что приведеннаго предѣла? Чтобы это было возможно, необходимо и достаточно, чтобы послѣ совершившейся уже нѣсколько отсѣчки пара чрезъ закрытіе пропускнаго канала верхнимъ золотникомъ, открытіе того-же канала совершилось непремѣнно уже послѣ того, какъ паровое окно цилиндра закрылось нижнимъ золотникомъ. — Нетрудно видѣть, что при устройствѣ, къ которому относится черт. 19, это условіе выполнено вслѣдствіе того, что направленіе OK' діаметра вспомогательнаго круга лежитъ впереди, (по направленію вращенія) того положенія OP кривошипа, при которомъ производится отсѣчка пара нижнимъ золотникомъ. — Вслѣдствіе этого, въ какой бы точкѣ ни послѣдовало начало расширенія дѣйствіемъ верхняго золотника, т.е. при какомъ бы положеніи кривошипа, лежащемъ ранѣе OP ни послѣдовало закрытіе пропускнаго канала верхнимъ золотникомъ, вторичное открытіе этого канала послѣдуетъ при направленіи, которое принимаетъ кривошипъ послѣ положенія OP, (т.к. два пересѣченія всякаго круга, описаннаго изъ центра, съ окружностью dd'd''.... лежатъ по разныя стороны діаметра OK' сей послѣдній, и потому всякая окружность, описанная изъ центра и пересѣкающая кругъ dd'd''.... раньше OP, пересѣчетъ во второй разъ эту окружность послѣ OK', а слѣд. также позже, чѣмъ OP). — Другое дѣло было-бы, если-бы начало отсѣчки, производимой нижнимъ золотникомъ, наступало послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ направленіе OR' (фиг. 20); въ этомъ случаѣ открытіе пропускнаго канала, закрытаго при направленіи OS' послѣдуетъ при OP' прежде, чѣмъ впускъ пара будетъ закрытъ нижнимъ золотникомъ: въ этомъ случаѣ послѣднее положеніе кривошипа, при которомъ можетъ еще закрываться пропускной каналъ, будетъ OS, лежащее впереди OP на двойной уголъ его послѣдняго съ діаметромъ OK'. — Чтобы избѣгнуть этого неудобства, т.е. чтобы предѣломъ для уменьшенія расширенія пара служило расширеніе производимое нижнимъ золотникомъ, необходимо, согласно вышеизложенному, чтобы вторичное открытіе пропускнаго канала происходило всегда послѣ того, какъ впускное окно закрыто нижнимъ золотникомъ. — Очевидно, если соединимъ элементы всего прибора такимъ образомъ, чтобы діаметръ вспомогательной окружности совпадалъ-бы съ тѣмъ направленіемъ кривошипа, при которомъ нижній золотникъ закрываетъ впускное окно, то предѣломъ уменьшенія расширенія будетъ то, которое производится нижнимъ золотникомъ. — Такимъ образомъ и должно всегда устраивать золотникъ Мейера и въ дальнѣйшемъ изслѣдованіи мы всегда и будемъ предполагать такое устройство.

§ 11. Чтобы разобрать, существуетъ-ли предѣлъ увеличенію расширенія въ золотникѣ Мейера, замѣтимъ, что увеличеніе расширенія производится черезъ увеличеніе x и соотвѣтственное уменьшеніе $L - l - x$. — Наибольшее значеніе этой величины будетъ очевидно,

при $x=0$, и какъ нѣтъ никакой нужды, чтобы это наибольшее значеніе было больше, чѣмъ діаметръ OB (фиг. 21) вспомогательнаго круга (*) то мы можемъ выбрать L и l такъ, чтобы $L-l$ равное OA было въ то-же время равно OB.- Тогда при $x=0$ разширеніе будетъ начинаться въ то время, когда впускное окно закроется нижнимъ золотникомъ.- Если затѣмъ станемъ увеличивать x, полагая его послѣдовательно равнымъ: AE", D'A, AE', AJ', AO, то разширеніе будетъ увеличиваться, начинаясь соотвѣтственно при положеніяхъ кривошипа OC, OD, OE, OF, OG.- Если затѣмъ сдѣлаемъ x больше AO или $x > L-l$, то величина $L-l-x$ сдѣлается отрицательною.- Но для всѣхъ положеній кривошипа между A и G разность $\xi-\xi'$ есть также величина отрицательная, т.к. OH', OF', изображающія численныя значенія разстоянія $\xi-\xi'$ при направленіяхъ OH и OJ', кривошипа прямо противоположны этимъ направленіямъ; поэтому если напр. $x=$AH", то $L-l-x=-$OH", а какъ при положеніи OH кривошипа $\xi-\xi'=-$OH', то при этомъ положеніи кривошипа:

$$L-l-x-(\xi-\xi')=OH'-OH''=0$$

т.е. впускной каналъ закроется при положеніи OH кривошипа, которое найдемъ описавши радіусомъ OH" окружность до пересѣченія со вспомогательнымъ кругомъ, и полученную точку пересѣченія соединимъ съ O.- Точно также найдемъ, что при $x=$AJ', разширеніе начнется при направленіи кривошипа OJ, наконецъ при $x=$AA', разширеніе начнется въ ту пору, какъ кривошипъ находится въ мертвой точкѣ.- Отсюда видно, что предѣла увеличенію разширенія нѣтъ, только при устройствѣ золотника нужно заботиться, чтобы можно было раздвинуть пластинки на разстояніе AA', не открывая впускнаго канала около внутренняго его ребра, т.е. соображривши всѣ элементы распредѣлительнаго прибора такъ, чтобы, при наибольшемъ разстояніи пластинокъ верхняго золотника и наибольшемъ его надвиганіи на правую сторону нижняго золотника не могло выйти положенія изображеннаго на (фиг. 22). Мы уже выше видѣли, что для этого должно быть исполнено равенство:

$$L-d-x-(\xi-\xi')>0$$

Это неравенство мы и будемъ имѣть въ виду при опредѣленіи размѣровъ золотника, хотя же замѣтимъ, что на основаніи предъидущаго въ Мейеровскомъ золотникѣ увеличивать разширеніе пара можно безпредѣльно, какъ это дозволяетъ нижній золотникъ, нельзя, во всякомъ случаѣ, разширеніе, доставляемое Мейеровскимъ золотникомъ, можетъ измѣняться въ весьма обширныхъ размѣрахъ.-

§ 12. Перейдемъ теперь къ нахожденію размѣровъ Мейеровскаго прибора.- Сначала слѣдуетъ выбрать надлежащее опереженіе со стороны впуска пара, потомъ наименьшую

(*) Дѣйствительно если сдѣлаемъ $L-l$ равнымъ діаметру OB вспомогательнаго круга, то при $x=0$ пластинка закроетъ сверху каналъ нижняго золотника, въ то-же время, какъ каналъ цилиндра задвинется нижнимъ золотникомъ; если $L-l<$OB, то при $x=0$ пластинка верхняго золотника закроетъ каналъ нижняго прежде, чѣмъ нижній золотникъ задвинетъ каналъ цилиндра, т.е. мы не будемъ въ состояніи пускать паръ въ цилиндръ на всей той части размаха, которая допускается нижнимъ золотникомъ.- Если же $L-l>$OB, то этого не произойдетъ нельзя, такъ все таки пускать паръ въ цилиндръ нельзя будетъ на одинъ размахъ большей того, что допускается нижнимъ золотникомъ.-

степень расширенія, какую хотимъ получать, и наконецъ положеніе поршня, которому соотвѣтствуетъ начало сжатія пара въ нерабочей части цилиндра. — Имѣя эти три данныя, можемъ опредѣлить всѣ размѣры Мейеровскаго нижняго золотника и эксцентрика, приводящаго его въ движеніе; когда же эти размѣры опредѣлены, то останется найти элементы верхняго золотника и его эксцентрика, для этого можно поступить слѣдующимъ образомъ: чертимъ кругъ, изображающій движеніе нижняго золотника и окружность, радіусъ коей равенъ наружной перекрышѣ того-же нижняго золотника. — Черезъ ихъ пересѣченіе C (фиг. 23) пройдетъ то направленіе OB кривошипа, при которомъ начинается расширеніе дѣйствіемъ нижняго золотника. — На это направленіе OB, какъ увѣзнаемъ долженъ упасть діаметръ вспомогательнаго круга. — Но какъ этотъ діаметръ параллеленъ прямой, идущей черезъ концы діаметровъ круговъ діаграммы, относящихся отдѣльно къ нижнему и верхнему золотникамъ, то, проводя черезъ конецъ A круга нижняго золотника прямую Ax параллельную OB, найдемъ, что конецъ діаметра круга, относящагося къ движенію верхняго золотника, лежитъ на прямой Ax; длину этого діаметра (равнаго эксцентрицитету эксцентрика верхняго золотника) можемъ выбрать по произволу; онъ только не можетъ быть меньше перпендикуляра OD, опущеннаго изъ точки O на прямую Ax. — Если эксцентрицитетъ эксцентрика будетъ послѣдовательно принимать значенія OE, OF, OG, OX, то діаметръ будетъ послѣдовательно принимать величины AE, AF, AG, AX, т. что съ увеличеніемъ эксцентрицитета второго эксцентрика возрастаетъ и діаметръ вспомогательнаго круга; это обстоятельство полезно потому, что чѣмъ больше кругъ этотъ, тѣмъ быстрѣе отворяются и затворяются пропускные каналы и вредно потому, что влечетъ за собою увеличеніе эксцентрицитета второго эксцентрика, но очевидно нѣтъ причины стремиться, чтобы окна пропускныхъ каналовъ открывались и закрывались быстрѣе, чѣмъ окна впускныхъ каналовъ, и потому рационально всего рѣшиться на равную скорость открытія и закрытія оконъ пропускнаго и впускнаго каналовъ; чтобы достигнуть этой одинаковой скорости, мы должны будемъ діаметръ вспомогательнаго круга сдѣлать равнымъ эксцентрицитету перваго эксцентрика. — Въ такомъ случаѣ величина эксцентрицитета второго эксцентрика опредѣлится очень легко, черезъ отложеніе на прямой Ax части AH, равной OA и черезъ соединеніе O съ H. — Эксцентрицитетъ второго эксцентрика будетъ OH, а его уголъ опереженія равенъ HOY. — Нерѣдко, впрочемъ, для простоты устройства дѣлаетъ эксцентрицитетъ второго эксцентрика равнымъ эксцентрицитету перваго; противъ этого нельзя сдѣлать никакого серьезнаго возраженія, но, согласно предъидущему, выбравъ для второго эксцентрика длину, равную OA, одинаковую съ эксцентрицитетомъ перваго эксцентрика, слѣдуетъ описать радіусомъ OA окружность до пересѣченія съ Ax въ A' и принявъ уголъ опереженія второго эксцентрика равнымъ A'OY съ цѣлью направить діаметръ вспомогательнаго круга по OB, этого часто не дѣлаютъ, а располагаютъ эксцентрицитетъ второго эксцентрика прямо противъ кривошипа, принимая его уголъ опереженія равнымъ 90°. — Но черезъ такое устройство золотникъ Мейера теряетъ часть своихъ достоинствъ, именно возможность уменьшать расширеніе до той степени, которая производится нижнимъ золотникомъ. — Опредѣливши такимъ или другимъ образомъ эксцентрицитетъ и уголъ

отверстія второго эксцентрика, нужно найти элементы самого золотника, т.е. величины L и l и наибольшее значеніе x (коего наименьшее значеніе имѣть, очевидно, нуль). - Мы получили уже одно ур-іе для опредѣленія этихъ величинъ изъ того условія, что при совершенномъ сдвиганіи пластинокъ, расширеніе начинается съ той точки, гдѣ уже оно производится нижнимъ золотникомъ; для этого $L-l$ должно равняться діаметру вспомогательнаго круга, который опредѣленъ предъидущими построеніями; наз. его черезъ D, получимъ первое условіе для опредѣленія L и l въ видѣ:

$$L-l=D$$

Далѣе L и l должны еще удовлетворять тому условію, чтобы ни при какомъ положеніи прибора пропускной каналъ не могъ имѣть открытія около внутренняго ребра, подобно тому, какъ это изображено на (фиг. 22), а для этого, согласно вышенайденному, необходимо, чтобы:

$$\xi-\xi'+x<L-d$$

Это условіе должно быть выполнено при наибольшемъ значеніи $\xi-\xi'$ и x; но наибольшее значеніе $\xi-\xi'$ равно діаметру D вспомогательнаго круга, а величина x достигнетъ наибольшаго своего значенія x_0 при наибольшемъ расширеніи, которое можемъ допустить. Эта наибольшая величина легко опредѣляется чертежемъ слѣдующимъ образомъ (ф. 24): отмѣчаемъ кругъ $ABDG$, радіусомъ равнымъ $L-l$ и чертимъ вспомогательный кругъ OEG, радіусомъ $\frac{L-l}{2}$; проводимъ направленіе OB кривошипа, отвѣчающее началу наибольшаго расширенія, которое желаемъ имѣть, и продолжаемъ до пересѣченія его въ точкѣ E со вспомогательнымъ кругомъ; радіусомъ EO описываемъ дугу до пересѣченія съ линіею мертвыхъ точекъ. - Тогда линія $AC=BE$ и будетъ x_0. - Вставляя эту величину въ предъидущее равенство, а также замѣняя $\xi-\xi'$ его наибольшимъ значеніемъ D, получимъ условіе:

$$D+x_0<L-d$$

или, такъ какъ

$$D=L-l$$

то

$$L-l+x_0<L-d$$

или

$$l>x_0+d$$

а т.к. величину l желательно сдѣлать по возможности малою, чтобы уменьшить давленіе и пропорціональное ему треніе верхняго золотника, то и слѣдуетъ взять:

$$l=x_0+d+2\text{ мм.}$$

Тогда

$$L=L-l+l=D+x_0+d+2\text{ мм.}$$

гдѣ 2 мм. прибавлено на запасъ прикрытія пропускнаго канала съ внутренней стороны. Такимъ образомъ весьма легко опредѣляется всѣ элементы прибора Мейера.

§ 13. Кромѣ подробно разобраннаго въ предъидущемъ золотника Мейера для расширенія пара часто употребляется золотникъ Фарко (ф. 25). - Золотникъ этотъ состоитъ изъ такой коробки, какъ и золотникъ Мейера, съ двумя каналами, каждый изъ которыхъ въ верхней части раздѣленъ перегородкою на двѣ; затѣмъ изъ двухъ пластинокъ k, k съ отверстіями b и розетками l, l; пластинки эти могутъ двигаться по золотнику AA. - Затѣмъ въ правой коробкѣ находятся два небольшіе выступа b, b (по одному съ каждой стороны), въ которые упираются верхнія пластинки k, k, уносимыя нижнимъ золотникомъ. Между розетками ll находится еще неподвижная пластинка, которой длина можетъ измѣняться. Предположимъ, что нижній золотникъ находится въ среднемъ своемъ положеніи, что пластинки занимаютъ изображенныя на чертежѣ мѣста и допустимъ сначала,

что внутреннее разстояніе между роясками l и концами внутренней пластинки, равно, какъ разстояніе пластинокъ k, до выступовъ b, равны эксцентриситету эксцентрика, приводящаго въ движеніе нижній золотникъ. При этомъ, когда нижній золотникъ начинаетъ двигаться въ какую нибудь сторону, то пластинка k дойдетъ только до выступа b (въ самомъ концѣ размаха золотника) и роясекъ l (также только въ концѣ размаха золотника) прикоснется только къ пластинкѣ a, но не ударится объ нее и слѣд. приборъ въ такомъ видѣ производитъ распредѣленіе пара точно такъ, какъ оно производилось бы однимъ нижнимъ золотникомъ. — Но если сдѣлаемъ пластинку a нѣсколько длиннѣе, напр. дадимъ ей длину a_1, т. что, при изображенномъ на чертежѣ расположеніи прибора, роясекъ l, l будутъ отстоять отъ концовъ пластинки на длину $r-x$, то, когда нижній золотникъ будетъ двигаться изъ своего средняго положенія напр. вправо, роясекъ l лѣвой накладки ударится о пластинку a_1, когда нижній золотникъ пройдетъ путь $r-x$, при этомъ остановится лѣвая накладка K, а золотникъ AA будетъ продолжать двигаться, слѣд. каналы $б$, $б'$ лѣвой стороны золотника будутъ закрываться (сверху) накладкою K, конецъ которой при концѣ размаха золотника сдвинется съ него больше чѣмъ прежде, такъ, что величина свѣса изъ l обратится въ $l+x$. — Затѣмъ нижній золотникъ начнетъ возвращаться къ своему среднему положенію, причемъ накладки будутъ сдвигаться вмѣстѣ съ нимъ. — Тогда золотникъ будетъ находиться въ среднемъ положеніи, разстояніе края накладки отъ выступа будетъ:

$$r+l-(l+x)=r-x$$

Но т. к. $r-x<r$, то при дальнѣйшемъ движеніи золотника влѣво, наступитъ такое положеніе, что край накладки k упрется въ выступъ b, это случится, какъ только путь, пройденный нижнимъ золотникомъ влѣво, сдѣлается равенъ $r-x$. — При дальнѣйшемъ движеніи x нижняго золотника влѣво, накладка упираясь въ выступъ b, начнетъ на золотникъ надвигаться, и когда онъ достигнетъ крайняго лѣваго положенія, она надвинется на величину x, такъ, что снова край золотника будетъ свѣшиваться на величину l, т. е. придетъ относительно золотника въ прежнее положеніе, открывъ собою сверху лѣвые каналы этого золотника; не трудно видѣть, что буквально то-же самое происходитъ съ правою накладкой. — Обѣ накладки, двигаясь по золотнику вслѣдствіе упора въ пластинку a', закрываютъ впускные каналы тогда, когда они нижнимъ золотникомъ еще не закрыты, и вслѣдствіе упора въ выступы b, приводятся въ свое первоначальное положеніе. — Дѣйствіе описаннаго механизма очень просто, такъ какъ требуется приводить въ движеніе съ помощью эксцентрика лишь одинъ только золотникъ AA, а перемѣщеніе накладокъ K по золотнику производится упорами ихъ въ выступы b и пластинку a. — Но при этомъ, чтобы имѣть возможность измѣнять степень расширенія пара, слѣдуетъ пластинку a сдѣлать перемѣнной длины, и это достигается слѣдующимъ образомъ: пластинка a дѣлается не круглая (ф. 26) и надѣвается на вертикальную ось, проходящую черезъ сальникъ, устроенный въ крышкѣ распредѣлительной коробки. — Вращая ось мы ставимъ пластинку въ то или другое положеніе, и вслѣдствіе этого получаемъ

ту или другую степень расширенія пара. — Съ перваго взгляда на это приспособленіе кажется, что какъ будто увеличеніе или уменьшеніе въ немъ степени расширенія произвольно; на самомъ дѣлѣ: положимъ, что наименьшій діаметръ пластинки сдѣланъ равнымъ полному разстоянію между выступами b, уменьшенному на длину обѣихъ накладокъ и на учетверенный эксцентриситетъ эксцентрика, двигающаго нижній золотникъ, а большій сдѣланъ равнымъ наименьшему увеличенному на удвоенный эксцентриситетъ эксцентрика. — Тогда, если на направленіи рожковъ поставимъ большой діаметръ пластинки, то лишь только золотникъ начнетъ двигаться изъ своего средняго положенія вправо, лѣвая накладка сдѣлается уже неподвижною, а слѣд., если пропускной каналъ нижняго золотника раздѣлимъ нѣсколькими перегородками на части, изъ которыхъ ширина каждой равна величинѣ нарѣзной перекрышки нижняго золотника, то всѣ эти отверстія будутъ задвинуты вершею накладкою въ тотъ моментъ, какъ откроется нижнимъ золотникомъ проходъ пара въ цилиндръ. — Слѣдовательно расширеніе начнется прямо съ мертвой точки поршня. —

Если же по направленію линіи рожковъ, поставимъ малый діаметръ пластинки, то, согласно вышеобъясненному, паръ будетъ впускаться подъ вліяніемъ только нижняго золотника все время длины хода поршня. — Но изъ этого еще не слѣдуетъ, чтобы можно было начинать расширеніе на какой угодно части хода поршня, т.к. для возможности начала расширенія, при данномъ положеніи поршня не достаточно только задвинуть впускное отверстіе при этомъ положеніи поршня; для того необходимо еще, чтобы впускное отверстіе оставалось открытымъ во все время, которое поршень употребляетъ для движенія отъ мертвой точки до разсматриваемаго положенія. — Условіе это въ механизмѣ Фарко выполнено не для всѣхъ положеній поршня. — На самомъ дѣлѣ опишемъ кругъ, хорды котораго представляютъ пути, пройденные золотникомъ изъ средняго его положенія и проведемъ его діаметръ OB (фиг. 27), если по обѣ стороны этого діаметра проведемъ прямыя OC и OC' подъ равными къ OB углами, то эти прямыя будутъ равны т.е. положенія, занимаемыя нижнимъ золотникомъ при углахъ кривошипа AOC и AOC', будутъ одинаковы, а слѣд. если мы установимъ нашу пластинку a, такъ, чтобы рожекъ l упирался въ нее при углѣ AOC', то онъ упрется въ нее еще и ранѣе при углѣ AOC, т.к. при направленіи кривошипа OC положеніе нижняго золотника, а слѣд. и увлекаемой имъ пластинки тоже, что и при OC'; поэтому задвиганіе пропускного канала нижняго золотника, вмѣсто того, чтобы начаться при OC', начнется при OC, и расширеніе начнется (т.е. пропускной каналъ будетъ совсѣмъ задвинутъ) при направленіи кривошипа OD, которое получимъ, проведши хорду OD, равную OC + ширина пропускнаго канала. — Эта хорда OD будетъ непремѣнно лежать между OA и OB, такъ, что OB будетъ представлять собою предѣльное положеніе кривошипа, при которомъ еще можетъ начинаться расширеніе. — Поэтому при употребленіи золотника Фарко, можно начинать расширеніе при произвольномъ положеніи кривошипа между OA и OB, но между OB и OE начинать это расширенье нельзя (OE здѣсь представляетъ то направленіе кривошипа, при коемъ начинается расширеніе, производимое дѣйствіемъ

одного нижняго золотника, а слѣд. измѣняемость расширенія золотника Фарко будетъ прерываться при положеніи OB кривошипа, очевидно она будетъ наибольшая, когда OB будетъ составлять наибольшій уголъ съ OA, а это случится тогда, когда уничтоженъ совершенно уголъ опереженія золотника, т.е. когда эксцентриситетъ эксцентрика поставленъ совершенно перпендикулярно къ направленію кривошипа. - Въ этомъ случаѣ, при безконечной длинѣ шатуна поршня, можно будетъ измѣнять длину хода поршня, на которой впускается паръ, отъ нуля до половины его размаха, а впуска пара на длинѣ хода поршня большей, чѣмъ половина размаха и меньшей той части хода, на которой производится расширеніе нижнимъ золотникомъ, помощію прибора Фарко - положительно произвести нельзя, тогда, какъ приборъ Мейера, какъ видѣли выше, позволяетъ измѣнять расширеніе произвольнымъ образомъ. -

14. Разсматривая оба предъидущія распредѣленія для расширенія пара, можно замѣтить одинъ общій имъ обоимъ недостатокъ, заключающійся въ большой медленности движенія, закрывающаго впускныя окна въ моментъ начала расширенія. Недостатокъ этотъ имѣетъ существенную важность, т.к. въ теченіе долгаго времени, проходящаго на то, чтобы впускное отверстіе изъ маленькой величины, которую оно имѣетъ, обратилось въ нуль, паръ изъ распредѣлительной коробки проходитъ въ цилиндръ, но какъ при этомъ встрѣчается значительное сопротивленіе, то паръ понижаетъ свое давленіе внутри цилиндра, и отъ этого происходитъ ударъ, т.е. необходимое явленіе, уменьшающее достоинство машины. - Съ цѣлью избѣжать этого недостатка Американецъ Кормиеъ устроилъ особый механизмъ для распредѣленія пара, въ которомъ открытіе впускныхъ оконъ производится дѣйствіемъ эксцентрика, закрытіе-же ихъ производится посторонною силою - именно посредствомъ противовѣса, который поднимается во время открытія крана или пружиною, которая сжимается въ то-же время; эта посторонняя сила очень быстро, даже съ нѣкоторымъ ударомъ закрываетъ впускной золотникъ; дабы устроить на этомъ началѣ распредѣленіе пара, Кормиеъ построилъ свой механизмъ такъ, что во время открытія впускнаго золотника движеніе его находится въ зависимости отъ эксцентрика; въ тотъ-же моментъ, когда должно начаться расширеніе впускное, золотникъ разъединяется съ эксцентрикомъ и можетъ получить независимое отъ него движеніе, тутъ-то и начинаетъ дѣйствовать противовѣсъ или сжатая предварительно пружина, которые въ теченіе совершенно незамѣтнаго времени закрываютъ золотникъ. -

Но какъ связь впускныхъ золотниковъ съ пружиною крайне затруднила-бы употребленіе ихъ въ качествѣ выпускныхъ крановъ, то Кормиеъ употребилъ для своего распредѣленія четыре крана, изъ которыхъ два служатъ для впуска пара и устроены на вышеобъясненномъ началѣ, а два служатъ для выпуска пара и находятся въ постоянной связи съ эксцентрикомъ. - Это раздѣленіе впускныхъ и выпускныхъ крановъ доставило Кормиеу возможность достигнуть еще другаго важнаго результата: онъ расположилъ впускные краны наверхнемъ а выпускные на нижней производящей цилиндра вмѣстѣ самыхъ крышекъ его, черезъ что значительно умень-

Расширеніе

вредныя пространства, и въ то-же время вода, образующаяся въ цилиндръ отъ сгущенія пара, получила возможность свободнаго выхода.- Наконецъ Кормисъ привелъ механизмъ разъединяющій эксцентрикъ съ впускными клапанами въ связь съ регуляторомъ, такъ, что при высокомъ стояніи регулятора т.е. при большой скорости машины разъединеніе впускнаго клапана съ регуляторомъ происходитъ раньше, (и слѣд. расширеніе бываетъ больше), а при меньшей скорости машины т.е. при низкомъ стояніи регулятора это разъединеніе происходитъ позднѣе, т.е. расширеніе получается меньше.-

Оригинальное распредѣленіе Кормиса въ томъ видѣ, какъ оно было на Лондонской выставкѣ 1862 г. въ сущности имѣло слѣдующее устройство: (ф. 28, 29 и 30) эксцентрикъ совершенно обыкновенный сидитъ на главномъ валѣ машины и приводитъ въ движеніе дискъ mm посредствомъ цапфы l, разстояніе которой отъ центра опредѣлено такъ, что дискъ можетъ вращаться на 90°, къ этому диску укрѣплены 4 цапфы, на которыя подвѣшены 4 шатуна: два изъ нихъ направленные къ нижней части цилиндра, вращаютъ выпускные, а два направленные къ верхней части, вращаютъ впускные клапаны; расположеніе тѣхъ и другихъ видно въ разрѣзѣ цилиндра (фиг. 29); соединеніе выпускныхъ кранов съ шатунами не имѣетъ ничего особеннаго; впускные же соединены съ шатунами посредствомъ кулаковъ (ф. 28), въ которые упираются выступы пружинъ X, укрѣпленныхъ на концахъ шатуновъ; этимъ пружинамъ придана такая форма, что кулакъ принимается къ шатуну дѣйствіемъ той-же пружины X; такимъ обр. давленіемъ выступа пружины на кулакъ производится движеніе, открывающее впускное отверстіе крана, обратное-же движеніе, запирающее впускное отверстіе производится противовѣсомъ Б, подвѣшеннымъ къ другому плечу впускнаго рычага.- Противовѣсъ сдѣланъ въ видѣ поршня и ходитъ въ особомъ цилиндрѣ, который его направляетъ, причемъ дѣйствіемъ клапана внизу цилиндра при подъемѣ противовѣса воздухъ можетъ входить въ цилиндръ, а при опусканіи выходить не можетъ и слѣдовательно составляетъ упругую подушку, ослабляющую ударъ противовѣса.-

Если-бы шатунъ, управляющій движеніемъ впускнаго крана всегда оставался съ нимъ въ сцѣпленіи, то это распредѣленіе не устранило-бы того недостатка, который состоитъ въ медленномъ закрываніи впускныхъ оконъ при началѣ расширенія, т.к. при этомъ, хотя клапанъ закрывался-бы дѣйствіемъ противовѣса, но это дѣйствіе было-бы крайне медленное, ибо останавливалось бы давленіемъ выступа шатуна на кулакъ рычага.- Чтобы получить быстрое закрываніе, необходимо разъединить шатунъ съ кулакомъ, и это дѣлается посредствомъ стержня W, расположеннаго въ той-же вертикальной плоскости въ которой вращается шатунъ, приводимый въ движеніе эксцентрикомъ поднимается до того, что упрется въ стержень W, то давленіемъ его послѣдняго при дальнѣйшемъ движеніи шатуна выступъ его пружины опустится и будетъ снятъ съ кулака; противовѣсъ получитъ полное свое дѣйствіе, быстро закроетъ отверстіе, причемъ начнется расширение пара; при этомъ кулакъ рычага останется внутри петли, образуе-

мой пружиною X; при обратномъ движеніи шатуна вѣстеръ пружины будетъ болѣе и болѣе приближаться къ кулаку рычага и захватитъ его, когда достигнетъ мертвой точки; тогда начнется открывающее кранъ движеніе, сопряженное съ подъемомъ груза.-

Изъ этого описанія видно, что начало расширенія опредѣляется здѣсь моментомъ, въ который упрется стержень W въ шатунъ, сочлененный съ рычагомъ впускнаго крана.- Чтобы измѣнять этотъ моментъ надъ стержнемъ помѣщенъ небольшой клинъ (V) къ которому онъ прижатъ согнутою пружиною, имѣющей одинъ конецъ неподвижный, а другимъ концомъ укрѣпленною къ стержню; перемѣщая этотъ клинъ можемъ поднимать или опускать стержень и слѣд. увеличивать или уменьшать ту часть размаха на которой паръ впускается въ цилиндръ.- Оба клина (VV, какъ видно изъ ф. 25, посажены на горизонтальный стержень III который посредствомъ кольчатаго рычага соединенъ съ регуляторомъ такимъ образомъ, что вмѣстѣ съ увеличиваніемъ скорости машины, стержни WW опускаются, а съ уменьшеніемъ скорости поднимаются.-

15. Быстрота закрытія впускныхъ оконъ и удобства, представляемыя идеею Кормика относительно измѣненія расширенія посредствомъ регулятора такъ значительны, что вслѣдъ за появленіемъ машины Кормика, явилось множество различныхъ способовъ распредѣленія, основанныхъ на той-же идеѣ, въ сущности не отличающихся отъ устройства Кормика, но представляющихъ нѣкоторыя усовершенствованія его идеи.- Сюда относится между прочимъ патентъ Инглиса и Спенсера (ф. 31, 32, 33, 34) при которомъ машина устроена слѣдующимъ образомъ.- Въ ней имѣются тѣ-же 4 крана, что и въ оригинальной машинѣ Кормика, тотъ-же дискъ, приводимый въ движеніе шатуномъ эксцентрика, сидящаго на главномъ валѣ машины, и тѣ-же привѣшенные къ диску 4 шатуна, изъ которыхъ два постоянно соединены съ рычагами выпускныхъ крановъ а два другіе къ выпускнымъ кранамъ могутъ съ ними разцѣпляться.- До сихъ поръ, слѣд. никакого существеннаго различія отъ Кормика здѣсь не имѣется.- Отличіе состоитъ въ устройствѣ шатуновъ, сцѣпленныхъ съ впускными кранами, и въ томъ, что вмѣсто противовѣсовъ, для закрыванія впускныхъ крановъ употреблены пружины, а также въ способѣ измѣненія расширенія посредствомъ регулятора.-

Въ патентѣ Инглиса и Спенсера идущій къ впускному клапану шатунъ P (ф. 32, 33) состоитъ изъ двухъ частей P, P_1, P_2 и P_3; первая часть съ одной стороны оканчивается головкою P, надѣвающуюся на цапфу диска E, а съ другой параллелопипедомъ P_3; головка и параллелопипедъ соединены между собою винтомъ P', утвержденнымъ въ параллелопипедѣ P_3 и могущимъ болѣе или менѣе ввинчиваться въ головку P въ которой онъ закрѣпляется контръ-гайкой.- Это устройство служитъ для очень точнаго регулированія длины шатуна во время сборки машины; другая часть шатуна содержитъ головку, надѣвающуюся на цапфу рычага крана.- Эта головка оканчивается двумя пластинками, образующими вилку въ коихъ привинчивается обработанная снаружи въ видѣ параллелопипеда трубка BB'; бока этого параллелопипеда нѣсколько спилены, и къ нимъ привинчены пластинки

ее изъ закаленной стали; во внутрь трубки bb накрѣпко вставлена другая трубка въ которую входитъ стержень a, укрѣпленный въ параллелопипедѣ P_2; къ этому-же параллелопипеду привинчены сверху и снизу двѣ пластинки r.r, которыя своими крючками dd зацѣпляютъ за стальныя пластинки ее и, дѣйствуя на нихъ передаютъ головкѣ P_3 движеніе, сообщаемое дискомъ головкѣ P. Между лапками вилки, коими оканчивается головка P_3 утверждена ось маленькаго рычага c, другое колѣно котораго l сочленено съ шатуномъ J, конецъ коего противоположный сочлененному съ l, мы на минуту представимъ себѣ неподвижнымъ.- Когда дискъ E вращается, то онъ посредствомъ шатуна P передаетъ сначала вращеніе рычагу L_1 и открываетъ впускъ пара въ цилиндръ, но двигаясь, шатунъ перемѣщаетъ ось рычага l, и какъ колѣно l этого рычага соединено съ шатуномъ, имѣющимъ неподвижный конецъ, то положеніе рычага O измѣняется и онъ въ скоромъ времени приходитъ въ положеніе, изображенное на (ф. 33), причемъ раскрываетъ пружины, и головка P_3 освобождается отъ связи съ головкой P.- Эта послѣдняя продолжаетъ двигаться, увлекаемая дискомъ, головка-же P получаетъ полную возможность принять какое угодно движеніе отъ рычага L_1; этому рычагу и сообщается теперь быстрое движеніе, закрывающее впускной каналъ посредствомъ слѣдующаго устройства: на одной оси съ рычагомъ L_1 и краномъ сидитъ рычагъ L_2, коего конецъ соединенъ шатуномъ b со стержнемъ t, на которомъ сидятъ (ф. 31, 32) два поршня F и F', изъ которыхъ первый двигается съ зазоромъ внутри цилиндра M, а второй плотно входитъ въ цилиндръ, отлитый вмѣстѣ съ крышкою цилиндра M.- Въ то время, какъ шатунъ P увлекалъ головку P_3, поршень F сжималъ пружину R, а поршень F'-выдувъ; какъ-же только головка P_3 освободилась отъ вліянія диска, тотчасъ пружина R и сжатый выдувъ сообщаютъ рычагу L_1 вращательное движеніе по направленію противоположному съ предъидущимъ движеніемъ; кранъ закроется и начнется расширеніе пара, а головка P будетъ продолжать двигаться, но не имѣя никакого вліянія на кранъ до тѣхъ поръ, пока пружины снова не упадутъ на пластинки ее и снова не начнутъ увлекать головку P_3, причемъ кранъ снова откроется и пружина R опять сожмется.-

Такимъ образомъ можно-было-бы производить постоянное расширеніе пара. Чтобы его измѣнять - очевидно нужно только измѣнять положеніе того конца шатуна F, который мы предполагали неподвижнымъ; этотъ конецъ и соединенъ съ однимъ колѣномъ рычага K, другое колѣно котораго перестанавливается дѣйствіемъ регулятора.- Рычагъ K имѣетъ на себѣ небольшой зубчатый секторъ, сцѣпляющійся съ другимъ такимъ-же секторомъ, который производитъ передвиженіе конца шатуна J, идущаго къ другому концу цилиндра, и производящаго тамъ то-же дѣйствіе, которое производится здѣсь.- Краны употребляются здѣсь неполные, т. е. не закрывающіе собою всей округлости коробки, въ которой двигаются; для того, чтобы ихъ не приходилось часто перемѣнять вслѣдствіе вытиранія и происходящей отъ того неплотности, они соединены съ осью слѣд. образомъ: на ось надѣта призма, боковыми своими гранями плотно прилегающая къ боковымъ гранямъ на-

за, вдѣланнаго въ кранъ, и приводящая его въ обращеніе, основаніями же своими паръ, будучи длинные упомянутыя призмы къ ней не прилегаетъ, что и дозволяетъ той поверхности крана, которая скользитъ по поверхности коробки, удаляться отъ оси въ случаѣ вытиранія коробки стѣнокъ и самого крана.—

16. Кромѣ механизма Инглиса и Спенсера въ большомъ употребленіи находится еще распредѣленіе Кортиса по его старому патенту, изображенное на фиг. 35, 36 и 37.— Въ этомъ устройствѣ, подобно, какъ и въ двухъ предъидущихъ, эксцентрикомъ главнаго вала приводится въ движеніе дискъ, (имѣющій здѣсь для уменьшенія вѣса форму треугольника съ округленными углами), къ которому подвѣшены два шатуна, идущіе къ выпускнымъ кранамъ, и сцѣпляющіеся съ ними постоянно, двѣ другія тяги идутъ не прямо къ впускнымъ кранамъ, какъ въ предъидущихъ системахъ, а къ двумъ длиннымъ рычагамъ, могущимъ вращаться около общей, расположенной внизу оси.— Вдоль каждаго изъ рычаговъ идетъ пружина, наверху посредствомъ тяги сочленяющаяся со стержнемъ, который приводитъ въ движеніе впускной кранъ; на этомъ стержнѣ имѣется поршень, проходящій черезъ сальникъ и двигающійся внутри цилиндра, представляющаго собою воздушный буферъ.— Въ точкѣ сочлененія стержня съ пружиною находится стальная пластинка за которую можетъ задѣвать лапка, укрѣпленная на самомъ концѣ рычага и представляющая собою промежуточный членъ, соединяющій эксцентрикъ главнаго вала съ впускнымъ краномъ.— Пока это соединеніе существуетъ, распредѣленіе Кортиса ничѣмъ не отличается отъ обыкновеннаго, но, снимая лапку съ пластинки стержня впускнаго клапана, можемъ дѣйствіемъ пружины, укрѣпленной къ рычагу закрыть клапанъ, причемъ воздушный буферъ поглотитъ ударъ, производимый пружиною.— Раздѣленіе лапки со стержнемъ производится особою вертикальною пластинкою, находящеюся посредствомъ рычага въ связи съ мертвою регулятора, т. что при увеличеніи скорости машины вертикальная пластинка приближается къ лапкѣ и разширеніе начинается раньше, а при уменьшеніи скорости вертикальная пластинка удаляется отъ лапки и разширеніе начинается позднѣе.—

17. Разсматривая вмѣстѣ описанную систему распредѣленія, мы замѣчаемъ, что въ мертвыхъ точкахъ кривошипа одинъ изъ выпускныхъ кранов непремѣнно долженъ быть открытъ, а другой закрытъ; а какъ оба выпускные крана вообще сразу открыты быть не могутъ, то изъ этого легко заключаемъ, что непремѣнно будетъ извѣстный уголъ, описываемый кривошипомъ, въ теченіе котораго оба выпускные крана будутъ закрыты; при одномъ изъ положеній внутри этого угла очевидно будетъ среднее положеніе всего вышесказаннаго прибора, т. е. такое, при которомъ оба выпускныя отверстія будутъ равно перекрыты; это среднее положеніе выпускного прибора будетъ соотвѣтствовать такое среднему положенію эксцентрика, которое будетъ имѣть мѣсто, когда эксцентриситетъ стоитъ подъ прямымъ угломъ къ линіи мертвыхъ точекъ — и какъ при чемъ паръ очевидно будетъ сжиматься въ одной части цилиндра, напр. въ правой, и не будетъ еще выходить изъ другой, напр. лѣвой, то изъ этого слѣдуетъ, что разсматриваемое среднее положеніе эксцентрика будетъ предшествовать мертвой точкѣ кривошипа на сумму угловъ: не-

обходимаго для того, чтобы перекрыша лѣваго выпускнаго крана сошла съ отверстіями и угла опереженія со стороны выпуска. —

Изъ этого видно, что во всякомъ случаѣ, если имѣется одинъ эксцентрикъ, приводящій въ движеніе сразу оба выпускные крана, то этотъ эксцентрикъ долженъ идти впереди кривошипа на уголъ превосходящій прямой, на сумму угла, соотвѣтствующаго перекрышѣ выпускнаго крана и угла опереженія со стороны выпуска. Подъ этомъ отношеніи собственное распредѣленіе Корлиса подчинено тѣмъ-же самымъ условіямъ, какъ и распредѣленіе посредствомъ обыкновеннаго золотника, а изъ этого слѣдуетъ весьма важное свойство этого распредѣленія относительно предѣловъ, внутри которыхъ можетъ быть измѣняемо расширеніе посредствомъ машины Корлиса.

Чтобы разобрать этотъ вопросъ замѣтимъ прежде всего, что весь механизмъ долженъ быть расположенъ такъ, чтобы сцѣпленіе шатуна съ рычагомъ впускнаго крана происходило въ тотъ моментъ, когда движеніе шатуна обращается: это необходимо для того, чтобы избѣжать ударовъ весьма вредно дѣйствующихъ на прочность приходящихъ въ сцѣпленіе частей; такимъ обр. слѣд. сцѣпленіе шатуна съ рычагомъ, опредѣляющее собою начало открывающаго движенія напр. лѣваго клапана, должно послѣдовать въ то время, когда эксцентрикъ находится въ лѣвой мертвой точкѣ (a) (ф. 38) и слѣд. кривошипъ удаленъ отъ лѣвой мертвой точки на тупой уголъ aCA равный 90° + полный уголъ опереженія эксцентрика. — Но дѣйствительно открытіе лѣваго клапана должно послѣдовать въ то время, когда кривошипъ занимаетъ положеніе CB', очень близкое къ своей мертвой точкѣ, такъ, что это открытіе произойдетъ при положеніи эксцентрика CЬ', очень близкомъ къ CЬ (причемъ уголъ bCB = aCA). Потому въ теченіе всего угла ACB' = aCЬ', хотя и будетъ происходить движеніе лѣваго впускнаго клапана, но впускной каналъ еще не откроется и слѣд. все это движеніе должно быть употреблено единственно на снятіе перекрышѣ клапана съ лѣваго впускнаго канала; засимъ каналъ долженъ оставаться во всякомъ случаѣ открытымъ, пока поршень придетъ въ свою лѣвую мертвую точку и начнетъ двигаться слѣва направо, а потому расцѣпленіе шатуна съ рычагомъ лѣваго впускнаго канала можетъ послѣдовать только послѣ того, какъ кривошипъ прошелъ точку B (ф. 39) а эксцентриситетъ соотвѣтствующую ей точку Ь. — Послѣ того можетъ начаться только расширеніе. — Но какъ каждому положенію распредѣляющаго механизма, соотвѣтствующему положенію эксцентриситета внутри угла dCz = bCz отвѣчаетъ совершенно одинаковое съ нимъ расположеніе внутри угла bCz, то отсюда слѣдуетъ, что если расцѣпленіе не произойдетъ въ то время, когда эксцентриситетъ находится внутри угла bCz, то оно не произойдетъ также и тогда, когда оно находится внутри угла dCz и лѣвый впускной каналъ закроется безъ расцѣпленія тогда, когда эксцентриситетъ займетъ положеніе d', соотвѣтствующее b', при которомъ поршень будетъ проходить подъ полнымъ давленіемъ наибольшій путь, немного разнящійся отъ полнаго размаха поршня. —

Если построимъ положеніе кривошипа Z, соотвѣтствующее положенію z эксцентрика, то получимъ уголъ BCz, который описывается кривошипомъ пароваго поршня въ то время, когда расцѣпленіе возможно, и слѣд. на пути поршня, соотвѣтствую-

щемъ этому углу будетъ дѣйствительно возможно разъединеніе, и начало расширенія, и если разъединеніе, при какомъ либо размахѣ поршня внутри этого угла не произойдетъ, то оно вообще не произойдетъ въ теченіе разсматриваемаго размаха, и слѣд. паръ въ теченіе этого размаха будетъ дѣйствовать почти безъ расширенія. –

Если-бы совершенно уничтожить перекрышу выпускныхъ крановъ, и всякое опереженіе со стороны выпуска, то эксцентриситетъ эксцентрика расположится прямо подъ прямымъ угломъ къ кривошипу машины, и путь поршня, на которомъ могло-бы начинаться расширеніе привелъ-бы ровно къ первой половинѣ размаха, т. е. расширеніе могло-бы начинаться въ произвольной части между началомъ и серединою размаха поршня. – Но какъ въ дѣйствительности ни перекрыши выпускныхъ крановъ ни опереженіе со стороны выпуска уничтожены быть не могутъ, то расширеніе при разсматриваемомъ устройствѣ можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ начала размаха до 0,375 или такъ тамъ до 0,4 размаха. –

18. Ограниченность предѣловъ, внутри которыхъ можно измѣнять расширеніе въ оригинальной системѣ Кормика, есть важное неудобство, для избѣжанія котораго существуетъ много вариантовъ распредѣленія Кормика. – Изъ вышеизложеннаго разбора обстоятельствъ этого парораспредѣленія видно, что сказанною причиною неудобствъ является соединеніе въ одномъ эксцентрикѣ механизма и для впуска и для выпуска пара. – Если механизмы эти приводить въ движеніе отдѣльными эксцентриками, то неудобства этого можно еще избѣгать; одинъ изъ удачнѣйшихъ опытовъ такого устройства распредѣлительного механизма съ сохраненіемъ всѣхъ преимуществъ распредѣленія Кормика представляетъ машина Зульцера. – Въ этой машинѣ (фиг. 40, 41, 42, 43) вдоль станины идетъ валъ, дѣлающій одинаковое число оборотовъ съ валомъ главнымъ, и на этотъ валъ посажено по два круглыхъ эксцентрика, дѣйствіемъ которыхъ отпираются впускные клапаны и по два кулачныхъ эксцентрика, служащихъ къ открыванію выпускныхъ клапановъ; запираніе тѣхъ и другихъ производится посредствомъ спиральныхъ пружинъ, верхніе концы которыхъ укреплены неподвижно. – Передача движенія выпускнымъ клапанамъ отъ кулачныхъ эксцентриковъ производится слѣд. образомъ: стержень клапана выходитъ наружу черезъ сальникъ, и проходитъ черезъ направляющія, сочленяясь посредствомъ небольшой тяги съ однимъ концомъ рычага, другой конецъ котораго сочленено со стержнемъ; верхнею своею частью подвѣшеннымъ посредствомъ небольшаго рычага къ устою машины, на верхнемъ концѣ этого стержня находится катокъ, который вслѣдствіе давленія, передаваемаго пружиною черезъ нижній рычагъ стержню, постоянно прижатъ къ кулачному эксцентрику; выступъ-же сего послѣдняго соображенъ такимъ образомъ, чтобы лѣвый клапанъ открывался незадолго до мгновенія, когда поршень машины достигнетъ лѣвой мертвой точки (т. е. чтобы получалось опереженіе выпуска), и чтобы онъ запирался незадолго до того времени, когда въ лѣвую сторону цилиндра начинается впускъ пара (т. е. чтобы получилось нѣкоторое сжатіе пара). – Что касается до впускнаго механизма, то онъ состоитъ подобно выпускному изъ клапана, который насаживается пружиною къ своему сѣдлу, и который можетъ откры-

Мелькиоръ Зульцеръ

Выпускные клапаны

тыя посредствомъ сочлененнаго со стержнемъ клапана рычага, другой конецъ этого рычага соединенъ со стержнемъ, помѣщеннымъ между двумя пластинками составляющими шатунъ эксцентрика, концы этихъ пластинокъ соединены между собою поперечиною, могущею вращаться около горизонтальной оси, и имѣющею въ срединѣ круглую дыру, черезъ эту дыру проходитъ вышеупомянутый стержень, оканчивающійся рамкою, помѣщенною внутри пластинокъ эксцентрикового шатуна, нижній конецъ этой рамки соединенъ посредствомъ небольшой тяги съ однимъ кольцомъ рычага, на другое кольцо котораго дѣйствуетъ тяга, приводимая въ движеніе мудрёною регулятора. — Близъ шарнира, соединяющаго тягу съ рамкою стержня, помѣщеннаго внутри шатуна, укрѣплена стальная закаленная пластинка. — Такая же стальная пластинка соединяетъ между собою обѣ половинки шатуна эксцентрика. — Эта послѣдняя пластинка при движеніи эксцентрика описываетъ сомкнутую кривую, имѣющую удлиненную яйцевидную форму, и до тѣхъ поръ, пока она не встрѣтитъ пластинку внутренняго стержня шатуна, впускной клапанъ остается закрытымъ, т. к. шатунъ эксцентрика только скользитъ по стержню, сочлененному съ рычагомъ, передающимъ движеніе впускному клапану, самый же стержень, рычагъ и клапанъ остаются неподвижными. —

Когда же пластинка шатуна эксцентрика встрѣтитъ пластинку стержня, то, производя на нее давленіе, она откроетъ клапанъ, и клапанъ этотъ остается открытымъ, пока прикосновеніе между обѣими пластинками продолжается; но какъ движеніе обѣихъ пластинокъ неодинаково, то пластинка шатуна, скользя нѣкоторое время по пластинкѣ стержня оставляетъ ее и тогда впускной клапанъ запирается пружиною. — Продолжительность прикосновенія между пластинками, разумѣется, существеннымъ образомъ зависитъ отъ того, какъ расположена пластинка стержня относительно пластинки шатуна, которая, какъ видно изъ чертежа, укрѣплена такъ, что на средней линіи шатуна приходится ея конецъ; положеніе же пластинки стержня зависитъ отъ регулятора: если регуляторъ стоитъ низко, т. е. если машина ходитъ тихо, то пластинка стержня располагается ближе къ пластинкѣ шатуна, и вслѣдствіе того прикосновеніе пластинокъ, а потому и впускъ пара продолжается дольше; если же регуляторъ стоитъ высоко, т. е. машина ходитъ скоро, то пластинка стержня удаляется отъ пластинки шатуна, время прикосновенія между ними уменьшается и впускъ пара сокращается. —

Въ машинѣ Зульцера бывшей на Филадельфійской выставкѣ элементы были опредѣлены такъ, что часть размаха, соотвѣтствующая впуску могла измѣняться отъ 0 до 0,7 всего размаха поршня, что составляетъ предѣлы уже довольно значительные; не представилось бы затрудненія опредѣлить всѣ размѣры такъ, чтобы впускъ пара могъ происходить даже на $\frac{8}{10}$ размаха поршня, какъ это имѣетъ мѣсто въ машинѣ Бэда. —

19. <u>Для изслѣдованія дѣйствія механизма Зульцера и опредѣленія его размѣровъ по заданному распредѣленію пара возьмемъ его изображеніе на (ф. 44).</u> —

Пусть на ней O представляетъ центръ вала, на которомъ сидитъ эксцентрикъ,

и OA пусть будетъ его эксцентриситетъ въ томъ положеніи, когда выступъ L шатуна только что начинаетъ дѣйствовать на площадку HG, соединенную со среднимъ стержнемъ BD, и слѣд. впускной клапанъ только что начинаетъ открываться. - Назовемъ черезъ l всю длину шатуна AB, черезъ l_1 и l_2 длину частей, на которыя онъ дѣлится выступомъ L, т. что: $AL = l_1$ и $BL = l_2$. - Пусть въ этомъ положеніи механизма C будетъ точка соединенія средняго стержня съ рычагомъ впускнаго клапана, и D точка его соединенія съ тягою, подвѣшивающую стержень къ рычагу регулятора; проведемъ прямую OC и вообразимъ къ ней перпендикуляръ YO; допустимъ, что разстоянія отъ C и D до точекъ вращенія E и F будутъ между собою равны и параллельны; тогда стержень BD, увлекаемый въ движеніе выступомъ L шатуна, хотя и будетъ принимать послѣдовательно различныя положенія, но всѣ эти положенія будутъ между собою параллельны; и слѣд. уголъ γ, составляемый между OC и направленіемъ стержня BD въ различныхъ его положеніяхъ будетъ оставаться постоянною величиною. - Вообразимъ, что при дальнѣйшемъ вращеніи эксцентрика выдѣленіе давленія выступа L на площадку GH рычагъ впускнаго клапана повернулся на извѣстный уголъ δ; на такой же уголъ повернулась и тяга, поддерживающая нижній конецъ стержня, новое положеніе котораго B'D' опредѣлится если центры E и F опишемъ радіусами $EC = DF$ дуги CC' и DD', имѣющія центральный уголъ δ, - и черезъ точки C' и D' проведемъ прямую B'C'D', которая по построенію будетъ параллельна BD. - Средняя точка K площадки GH, соединенной со стержнемъ опишетъ дугу KK', одинаковую съ CC' и DD'; слѣд. новое положеніе K этой средней точки площадки опредѣлится весьма легко; проведши перпендикуляръ H'K'G' къ B'D' черезъ K' и отложивъ $H'K' = G'K' = HK = GK$ найдемъ новое положеніе площадки; чтобы затѣмъ найти соотвѣтствующее ему положеніе шатуна и эксцентрика, достаточно замѣтить, что одинъ конецъ A' шатуна долженъ находиться на окружности, описываемой эксцентриситетомъ, другой B' на прямой B'D', а третья точка L', удаленная отъ A' на длину l_1, должна лежать на прямой H'G'. - Построивъ такимъ образомъ новое положеніе всего механизма, наз. соотвѣтствующій ему уголъ главнаго кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ черезъ α, а уголъ опереженія эксцентрика(x) черезъ β; обозначимъ также черезъ: a — постоянную длину OC; b — разстояніе $CK = C'K'$; x — длину $K'K'' = D'D''$, изображающую перемѣщеніе площадки GH вдоль стержня, при передвиженіи эксцентрика изъ A въ A'; y — длину $KK'' = DD''$, изображающую перемѣщеніе площадки GH перпендикулярно къ стержню; z — разстояніе L'K' точки прикосновенія выступа съ пластинкою отъ ея средины при положеніи эксцентриситета въ A'; e — половину длины пластинки $GH = G'H'$; ξ — уголъ между измѣняющимся направленіемъ шатуна и постояннымъ направленіемъ стержня. -

Возьмемъ затѣмъ замкнутый многоугольникъ OCKK''L'A'O, и положимъ нулемъ сумму проэкцій всѣхъ его сторонъ на направленіе B'O, и на направленіе къ нему пер-

(x) т. е. уголъ, составляемый эксцентриситетомъ съ YO въ тотъ моментъ, когда главный кривошипъ находится въ мертвой точкѣ. -

пендикулярные.— Получимъ два ур-ія:

$$a\cos\gamma + r\sin(\alpha+\beta+\gamma) = x + b + l_1\cos\zeta$$
$$a\sin\gamma - r\cos(\alpha+\beta+\gamma) = y + z + l_1\sin\zeta$$

Но какъ изъ треугольника $B'K'L'$ имѣемъ:

$$\sin\zeta = \frac{z}{l_2}$$

то предъидущія два равенства приведутся къ виду:

$$r\sin(\alpha+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + x + b + l_1\sqrt{1-\left(\frac{z}{l_2}\right)^2}$$
$$r\cos(\alpha+\beta+\gamma) = a\sin\gamma - y - z\frac{l}{l_2}$$

Разлагая въ строку корень квадратный, входящій въ 1ое ур-іе, получимъ это равенство въ такомъ видѣ.—

$$r\sin(\alpha+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + x + b + l_1 - \frac{l_1}{2l_2}\cdot\frac{z}{l_2}$$

Если отбросимъ здѣсь послѣдній членъ, то сдѣлаемъ ошибку, которая выразится въ долѣ z черезъ $\frac{l_1}{2l_2}\cdot\frac{z}{l_2}$; то въ машинѣ Зульцера $\frac{l_1}{2l_2}$ значительно меньше единицы, а $\frac{z}{l_2}$ всегда есть очень малая дробь, т.к. $z < e$, а напр. въ машинѣ, бывшей на Всемірной выставкѣ $\frac{e}{l_2} = \frac{1}{20}$ и $\frac{l_1}{2l_2} = \frac{1}{6}$.— Такимъ образомъ для этой машины ошибка, которая получится отъ пренебреженія послѣднимъ членомъ составитъ меньше, чѣмъ $\frac{1}{120}$ долю длины z; пренебрегая такою ошибкою, мы приведемъ предъидущія ур-ія къ виду:

$$r\sin(\alpha+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + x + b + l_1 \quad \ldots\ldots (1)$$
$$r\cos(\alpha+\beta+\gamma) = -a\sin\gamma - y - z\frac{l}{l_2} \quad \ldots\ldots (2)$$

Входящія въ это выраженіе величины x и y не независимы между собою т.к. x изображаетъ перпендикуляръ изъ окружности на діаметръ, а y одинъ изъ его отрѣзковъ.— Вслѣдствіе сего, если назовемъ черезъ R длину рычаговъ CE и DF, поддерживающихъ стержень, то будетъ:

$$y : x = x : 2R - y$$

откуда:

$$y = \frac{x^2}{2R-y}$$

или, пренебрегая величиною y сравнительно съ $2R$

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Написанныя ур-ія справедливы только для періода сцѣпленія выступа шатуна съ пластинкою стержня, а потому необходимо должно быть еще:

$$z > -e \quad ; \quad z < +e \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

Написанными ур-ми (1), (2) и (3) вмѣстѣ съ неравенствами (4) вполнѣ опредѣляется движеніе всего механизма во время сцѣпленія выступа съ пластинкою, и это движеніе весьма легко найти, если размѣры механизма даны.— Дѣйствительно, положимъ, что прежде всего нужно найти уголъ (α') составляемый кривошипомъ съ линіею мертвыхъ точекъ въ тотъ моментъ, когда происходитъ сцѣпленіе между выступомъ шатуна и пластинкою стержня; для этого положенія очевидно $x = 0$, $y = 0$ и величина z будетъ имѣть нѣкоторое опредѣленное значеніе, которое обозначимъ черезъ z' и которое должно заключаться въ предѣлахъ $+e$ и $-e$.— Поэтому начало сцѣпленія и слѣд. начало открытія впускного клапана опредѣлится равенствами:

$$r\sin(\alpha'+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + b + l_1$$
$$r\cos(\alpha'+\beta+\gamma) = -a\sin\gamma - z'\frac{l}{l_2}$$

причемъ:

$$z' > -e \quad \text{и} \quad z' < +e$$

Первые ур. только-что написанных ур-ій послужат къ тому, чтобы по даннымъ $a, b, r, l', l, \gamma, \beta$ найти уголъ α', изъ котораго найдется z'; а посредствомъ неравенствъ, указывающихъ предѣлы для z' будетъ произведена повѣрка, возможно ли дѣйствительно сцѣпленіе при тѣхъ размѣрахъ, которые приданы механизму.-

Подобнымъ образомъ легко найти тотъ уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ происходитъ расцѣпленіе; обозначивъ искомый уголъ черезъ α'' а величины x и y для момента разцѣпленія черезъ x'' и y'', и замѣтивъ, что для момента разцѣпленія $z = +e$, получимъ на основаніи ур-ій (1), (2) и (3)

$$r\sin(\alpha''+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + x'' + b + l,$$

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) = a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2} - y''$$

$$y'' = \frac{x''^2}{2R}$$

съ помощію этихъ трехъ ур-ій легко опредѣляются всѣ три неизвѣстныя α'', x'', y''.-

Такимъ образомъ по даннымъ элементамъ распредѣлительнаго прибора можно найти, какъ моментъ сцѣпленія, такъ и моментъ разцѣпленія.- Нетрудно также видѣть, что для каждаго положенія кривошипа, заключеннаго между его положеніями, соотвѣтствующими началу сцѣпленія и концу его, можно посредствомъ ур-ій (1), (2) и (3) найти величину открытія клапана, которая очевидно пропорціональна длины x; дѣйствительно въ этомъ случаѣ будутъ даны: всѣ элементы распредѣлительнаго прибора и уголъ α, а затѣмъ ур-ія (1), (2) и (3) будутъ заключать только три неизвѣстныя: x, y, z.-

Легко найти также и движеніе клапана посредствомъ чертежа, подобнаго діаграммѣ Цейнера.- Дѣйствительно ур-ія (1) и (2) даютъ

$$x = r\sin(\alpha+\beta+\gamma) - (b + l_1 - a\cos\gamma)$$

$$z\frac{l}{l_2} = -r\cos(\alpha+\beta+\gamma) + a\sin\gamma - y.$$

Для построенія перваго ур-ія проведемъ линію мертвыхъ точекъ AB (ф. 45) и построивъ на ней окружность, описываемую кривошипомъ, проведемъ подъ угломъ $\beta+\gamma$ къ линіи AB прямую COD и касательно къ этой прямой построимъ окружность имѣющую діаметръ равный r; хорда Oc этой окружности, проведенная подъ угломъ α къ линіи мертвыхъ точекъ, какъ извѣстно, представляетъ величину:

$$r\sin(\alpha+\beta+\gamma),$$

а потому если радіусомъ $Oc' = b + L - a\cos\gamma$ изъ O, какъ изъ центра опишемъ окружность, то длина bc будетъ представлять собою величину x (которая опредѣляетъ собою степень открытія клапана); соотвѣтствующую уголъ α кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ.- Изъ чертежа получимъ и направленіе OF кривошипа, при которомъ клапанъ открывается, и степень открытія aa' въ мертвой точкѣ кривошипа, и величину dd', наибольшаго открытія клапана, равно, какъ и направленіе OG кривошипа, при которомъ это наибольшее открытіе имѣетъ мѣсто, и наконецъ направленіе OH кривошипа, при которомъ клапанъ непремѣнно закроется, даже и въ томъ случаѣ, когда длина $2e$ пластинки столь велика, что разцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою произойдетъ ранѣе послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ положеніе OH.-

Изъ сего построенія видно, что пока существуетъ сцѣпленіе выступа шатуна

съ пластинкою стержня, открытие клапана въ системѣ Зульцера происходитъ по тому-же закону, какъ и открытіе пароваго окна въ обыкновенномъ золотникѣ съ нарушенною перекрышею $b+l_1-a\sin\gamma$, управляемымъ крупнымъ эксцентрикомъ того-же эксцентриситета, имѣющимъ уголъ опережения равнымъ $\beta+\gamma$.-

Чтобы опредѣлить положеніе кривошипа, при которомъ происходитъ расцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою и слѣд. начинается расширение пара, вслѣдствіе закрытія впускного клапана дѣйствіемъ пружины, воспользуемся ур-мъ:

$$z\frac{l}{l_2} = a\sin\gamma - y - r\cos(\alpha+\beta+\gamma)$$

въ которомъ вмѣсто z поставимъ $+e$; для большаго удобства графическаго построенія замѣтимъ, что величина y будетъ вообще весьма мала, т.к. она выражается черезъ:

$$\frac{x^2}{2R} = \frac{x}{2R}x,$$

слѣд. будетъ сравнительно съ x высшаго порядка, замѣтивъ это и отбрасывая величину y получимъ α'', т.е. уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ начинается расширение пара, онъ опредѣлится ур-мъ:

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) = a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2}$$

Если вторая часть будетъ положительная то и $\cos(\alpha''+\beta+\gamma)$ будетъ тоже положительный, т.е. $\alpha''<SOA$ и слѣд. разцѣпленіе послѣдуетъ между мертвою точкою и направленіемъ OS кривошипа, если-же вторая часть отрицательная, то $\alpha''>SOA$ т.е. разцѣпленіе послѣдуетъ послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ направленіе OS.- Имѣя это въ виду для построенія того положенія кривошипа при которомъ соотвѣтствуетъ начало расширенія пара, достаточно изъ точки S, какъ изъ центра, радіусомъ равнымъ численной величинѣ $a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2}$ описать окружность до ея пересѣченія съ окружностью $Ofaegh$; изъ двухъ найденныхъ пересѣченій слѣдуетъ соединить съ центромъ O то, которое лежитъ на полуокружности faO если $a\sin\gamma > e\frac{l}{l_2}$ и то, которое лежитъ на полуокружности ghO, если $a\sin\gamma < e\frac{l}{l_2}$; такимъ образомъ получатся въ каждомъ изъ этихъ двухъ случаевъ два направленія кривошипа при которыхъ произойдетъ разцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою и слѣд. начнется расширение пара.-

Въ этомъ послѣднемъ построеніи, конечно есть небольшая ошибка, происходящая отъ того, что пренебрегаемъ величиною y; но если R достаточно велико, то эта ошибка ничтожна, при малыхъ-же величинахъ R ее необходимо исправить, и во всякомъ случаѣ получится достаточное приближеніе, если мы, построивъ предъидущимъ способомъ направленіе кривошипа при началѣ расширенія, возьмемъ изъ чертежа соотвѣтствующую этому направленію величину x (т.е. лежащую на этомъ направленіи хорду круга діаграммы) и затѣмъ найдемъ y удовлетв. равенству

$$y = \frac{x^2}{2R}$$

которое и отнимемъ отъ разности $a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2}$, когда она положительная, или прибавимъ къ ней, когда она отрицательная, и наконецъ радіусомъ равнымъ полученной разности или суммѣ изъ точки S, какъ центра, засѣчемъ окружность $Ofaegh$, и выбравъ одну или другую изъ точекъ пересѣченія, смотря по знаку выраженія: $a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2} - y$, соединимъ ее съ центромъ O.- Полученное такимъ образомъ направле-

ніе кривошипа будетъ всегда мало отличаться отъ того, при которомъ начинается расширеніе.—

Такимъ образомъ распредѣленіе пара посредствомъ Механизма Зульцера находится безъ затрудненія, какъ только даны элементы распредѣлительнаго прибора.— Чтобы рѣшить обратную задачу, прежде всего для простоты предположимъ, что плечи рычага, соединяющаго клапанъ со стержнемъ, равны между собою; если бы это не было исполнено, то входящія въ формулы ур-ія величины открытія клапана будутъ собственно представлять перемѣщеніе стержня по его направленію, и чтобы получить дѣйствительную величину открытія клапана нужно, названное въ послѣдующемъ этимъ именемъ количество умножить на отношеніе того плеча рычага, которое соединено съ клапаномъ, къ тому плечу того-же рычага, которое соединено со стержнемъ.— Условившись въ этомъ, замѣтимъ, что на основаніи ур-ія (1), наибольшее открытіе клапана будетъ тогда, когда $\alpha+\beta+\gamma=\frac{\pi}{2}$ и величина этого наибольшаго открытія (H), какъ видно изъ ур-ія (1) опредѣлится равенствомъ:

$$H = r-(b+l_1-a\cos\gamma) \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

На основаніи того-же ур-ія (1) линейное опереженіе (h) со стороны впуска опред. ур-мъ:

$$h = r\sin(\beta+\gamma)-(b+l_1-a\cos\gamma) \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

Притомъ, чтобы клапанъ дѣйствительно имѣлъ линейное опереженіе, опредѣляемое этимъ ур-мъ, необходимо, чтобы соотвѣтствующаго ему величина z заключалась между $+e$ и $-e$, что на основаніи ур-ія (2) даетъ неравенства:

$$\left.\begin{aligned} -e\frac{l}{l_2} &< a\sin\gamma - r\cos(\beta+\gamma) - \frac{h^2}{2R} \\ +e\frac{l}{l_2} &> a\sin\gamma - r\cos(\beta+\gamma) - \frac{h^2}{2R} \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

Уголъ α' кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, соотвѣтствующій началу открытія клапана будетъ удовлетворять условію:

$$0 = r\sin(\alpha'+\beta+\gamma)-(b+l_1-a\cos\gamma) \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

Причемъ кромѣ того будутъ выполнены неравенства

$$\left.\begin{aligned} -e\frac{l}{l_2} &< a\sin\gamma - r\cos(\alpha'+\beta+\gamma) \\ +e\frac{l}{l_2} &> a\sin\gamma - r\cos(\alpha'+\beta+\gamma) \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots \quad (9)$$

Наконецъ уголъ α'' кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ начинается расширеніе удовлетворяетъ равенству:

$$e\frac{l}{l_2} = a\sin\gamma - r\cos\{\alpha''+\beta+\gamma\} - \frac{x''^2}{2R} \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

гдѣ

$$x'' = r\sin(\alpha''+\beta+\gamma)-(b+l_1-a\cos\gamma) \quad \ldots\ldots \quad (11)$$

Независимо отъ этихъ условій въ томъ случаѣ, когда требуется, чтобы наибольшее открытіе H клапана, наступало въ теченіе періода впуска пара, должны быть еще два условія:

$$\left.\begin{aligned} -e\frac{l}{l_2} &< a\sin\gamma - \frac{H^2}{2R} \\ +e\frac{l}{l_2} &> a\sin\gamma - \frac{H^2}{2R} \end{aligned}\right| \quad \ldots\ldots \quad (12)$$

Къ этимъ условіямъ полезно присоединить еще одно, состоящее въ томъ, чтобы скорость клапана въ моментъ его открытія была наивозможно большою, т.е. чтобы $\frac{dx}{d\alpha}$ при $\alpha=\alpha'$ имѣло свою наибольшую величину, а для этого должно быть исполнено условіе:

$$\sin(\alpha'+\beta+\gamma)=0$$

или

$$b+l_1-a\cos\gamma=0 \quad \ldots\ldots \quad (13)$$

Разсматривая всю совокупность этихъ условій мы видимъ, ур-ія (5), (6), (8), (10), (11)

и (13) должны быть удовлетворены посредствомъ величины $x_{,,}$ и элементовъ распредѣлительнаго прибора; эти послѣдніе должны однако удовлетворять только пяти ур-мъ (5), (6), (8), (10) и (13) т.к. (10) можетъ быть удовлетворено величиною x'', и кромѣ того извѣстной системѣ неравенствъ.-

Принимая въ соображеніе ур-іе (13) мы можемъ привести остальные четыре ур-ія къ слѣдующему виду:

$$H = r\,;\quad H = r\,\mathrm{Sn}(\beta+\gamma)\,;\quad \mathrm{Sn}(\alpha'+\beta+\gamma) = 0$$
$$b + l_1 = a\,\mathrm{Cs}\gamma\,;\quad e\,l_2 = a\,\mathrm{Sn}\gamma - r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) - \frac{x''^2}{2R} \quad \Big|\ (A)$$
$$x'' = r\,\mathrm{Sn}(\alpha''+\beta+\gamma)$$

Первое ур-іе опредѣлитъ эксцентриситетъ r эксцентрика; второе — сумму $(\beta+\gamma)$, третье никѣмъ не можетъ быть удовлетворено кромѣ α', такъ, что въ этомъ случаѣ мы не можемъ назначить уголъ α' по произволу, а должны его принять равнымъ: $-(\beta+\gamma)$; (4) и (5) ур-ія удовлетворяются съ помощью величины x'' и разности $a\,\mathrm{Sn}\gamma - e\,l_2$ такъ, что оставивъ еще значительное число элементовъ распредѣлительнаго прибора въ нашемъ произволѣ, и предоставивъ себѣ распоряженіе ими на основаніи другихъ соображеній, мы можемъ удовлетворить всѣмъ ур-мъ, выведеннымъ изъ условій распредѣленія пара, и затѣмъ еще остается удовлетворить шести неравенствамъ, которыя, очевидно, можно написать слѣд. образомъ:

$$\left.\begin{array}{ll} a\,\mathrm{Sn}\gamma + e\,l_2 > r\,\mathrm{Cs}(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R}\,; & a\,\mathrm{Sn}\gamma - e\,l_2 < r\,\mathrm{Cs}(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R}\,; \\ a\,\mathrm{Sn}\gamma + e\,l_2 > r\,\mathrm{Cs}(\alpha'+\beta+\gamma)\,; & a\,\mathrm{Sn}\gamma - e\,l_2 < r\,\mathrm{Cs}(\alpha'+\beta+\gamma)\,; \\ a\,\mathrm{Sn}\gamma + e\,l_2 > \frac{H^2}{2R}\,; & a\,\mathrm{Sn}\gamma - e\,l_2 < \frac{H^2}{2R} \end{array}\right\} (B).$$

Относительно этихъ неравенствъ замѣтимъ: 1) что два неравенства послѣдней строки изображаютъ условіе того, что расширеніе пара начинается позже того направленія кривошипа, при которомъ клапанъ получаетъ свое наибольшее открытіе и слѣд. если по заданію расширеніе начинается раньше того положенія, но два неравенства послѣдней строки не должны быть принимаемы въ соображеніе. Такимъ образомъ неравенства эти имѣютъ значеніе лишь въ томъ случаѣ, если $\alpha''+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$; если-же $\alpha''+\beta+\gamma < \frac{\pi}{2}$, то неравенствъ этихъ вовсе не слѣдуетъ разсматривать.-

2) Общая тремъ неравенствамъ второго столбца первая часть на основаніи перваго и шестаго изъ числа ур-ій (A) приводится къ выраженію:

$$r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\,\mathrm{Sn}^2(\alpha''+\beta+\gamma)$$

и слѣд. уже опредѣлена и измѣнять ея не можетъ; замѣчая это и принимая въ соображеніе, что на основаніи третьяго изъ ур-ій (A): $\mathrm{Cs}(\alpha'+\beta+\gamma) = 1$, очевидно можемъ условія, изображаемыя тремя неравенствами второго столбца привести къ виду:

$$r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\,\mathrm{Sn}^2(\alpha''+\beta+\gamma) < r\,\mathrm{Cs}(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R}$$
$$r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\,\mathrm{Sn}^2(\alpha''+\beta+\gamma) < r$$
$$r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\,\mathrm{Sn}^2(\alpha''+\beta+\gamma) < \frac{H^2}{2R}$$

Изъ коихъ послѣднее, какъ уже замѣчено выше, имѣетъ мѣсто только въ томъ случаѣ, когда $\alpha''+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$; т.к. въ этомъ случаѣ $\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) < 0$, да и при томъ-же $r = H$, то совершенно ясно, что это послѣднее равенство будетъ исполнено всегда, когда оно будетъ имѣть значеніе; что касается двухъ первыхъ неравенствъ, то прежде всего

видно, что если R достаточно велико для того, чтобы можно было пренебрегать членами пропорціональными $\frac{1}{2R}$ то и первыя два неравенства тоже удовлетворяются приводя къ условіямъ:

$$Cs(\alpha''+\beta+\gamma) < Cs(\beta+\gamma) \; ; \; Cs(\alpha''+\beta+\gamma) < 1 \; ;$$

что очевидно будетъ исполнено, каковъ бы ни былъ уголъ α''; потому, какъ видно исполненіе перваго и втораго неравенства можетъ послѣдовать лишь въ случаѣ малаго R, отъ вліянія членовъ, обратнопропорціональныхъ R, и тогда самый простой способъ удовлетворить этимъ двумъ неравенствамъ состоитъ въ томъ, чтобы увеличить длину R, до того, чтобы члены ему обратнопропорціональные потеряли сказанное выше вліяніе. — Такимъ образомъ второй столбецъ неравенствъ (B) будетъ исполненъ, что же касается до неравенствъ перваго столбца, то замѣняя въ немъ $a\sin\gamma$ его величиною, получимъ:

$$\left.\begin{array}{l} e\frac{l}{l_2} + rCs(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma) \\ 2e\frac{l}{l_2} > rCs(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R} - \left\{rCs(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\} \\ 2e\frac{l}{l_2} > rCs(\beta+\gamma) \ldots \frac{h^2}{2R} - \left\{rCs(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\} \\ 2e\frac{l}{l_2} > \frac{H^2}{2R} \ldots\ldots\ldots - \left\{rCs(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\} \end{array}\right\} (C)$$

Вторыя части первыхъ двухъ изъ только что написанныхъ неравенствъ, какъ видно изъ предыдущаго будутъ всегда положительныя, равно, какъ и вторая часть третьяго неравенства, если $\alpha''+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$ а потому они представляютъ собою дѣйствительныя условія, которыя должны быть удовлетворяемы и которыя необходимо принимать въ соображеніе при выборѣ e, l, l_2; если эти величины будутъ избраны, соображаясь съ удобствами конструкціи, такъ, чтобы только разнообразныя неравенства удовлетворялись, то затѣмъ останется выбрать только величины α и γ, такъ, чтобы было удовлетворено ур-іе:

$$a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2} = rCs(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)$$

При этомъ α опредѣлится удобствомъ всего расположенія, и γ найдется изъ только что написаннаго ур-ія. —

Такимъ образомъ будетъ разрѣшенъ вопросъ о нахожденіи элементовъ распредѣлительнаго прибора Зульцера для одного, напередъ заданнаго разширенія, т.е. для даннаго угла α''; но задача при построеніи механизма Зульцера гораздо обширнѣе; она заключается въ томъ, чтобы имѣть возможность измѣнять разширеніе въ заданныхъ, далеко другъ отъ друга отстоящихъ предѣлахъ. — Чтобы рѣшить эту задачу, представимъ себѣ, что съ самаго начала мы изложеннымъ способомъ нашли всѣ элементы распредѣлительнаго прибора, соотвѣтствующіе нормальному разширенію т.е. тому, съ которымъ машина обыкновенно должна работать. —

По самому устройству механизма Зульцера, изъ всѣхъ элементовъ распредѣлительнаго прибора съ удобствомъ можетъ быть измѣненъ только одинъ, а именно уголъ γ, составляемый между стержнемъ, сцѣпленнымъ съ рычагомъ впускнаго клапана и прямою, соединяющею ось вала эксцентрика съ точкою сочиненія между рычагомъ впускнаго клапана и стержнемъ. — Но какъ только мы начнемъ измѣнять уголъ γ, то очевидно условіе: $b + l_1 - aCs\gamma = 0$ перестаетъ исполняться, т.е. мы при измѣненіи разширенія теряемъ то преимущество, которое состоитъ въ томъ

чтобы клапанъ въ моментъ своего открытія имѣлъ наибольшую скорость. Но очевидно, что чѣмъ меньше при переходѣ отъ нормальной степени расширенія къ другимъ будетъ измѣняться $Cs\gamma$, тѣмъ будетъ менѣе отличаться отъ 0 сумма: $b+l_1-a Cs\gamma$, и слѣд. тѣмъ менѣе будетъ нарушаться сказанное преимущество. Изъ всего очевидно для сохраненія возможно большей скорости, что уголъ γ при нормальномъ расширеніи долженъ быть выбираемъ по возможности малымъ, т.к. при малой величинѣ γ измѣненія его отражаются весьма мало на $Cs\gamma$, который остается очень близкимъ къ единицѣ.—

Къ тому-же заключенію приходимъ, разсматривая выраженіе наибольшаго открытія клапана:

$$H = r - (b - l - a Cs\gamma)$$

Эта величина вмѣстѣ съ измѣненіемъ расширенія будетъ измѣняться тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе къ нулю уголъ γ при нормальномъ расширеніи.

Разсматривая затѣмъ выраженіе линейнаго опереженія

$$h = r Sn(\beta+\gamma) - (b + l_1 - a Cs\gamma)$$

и представляя его въ видѣ:

$$h = (a + r Sn\beta) Cs\gamma + r Cs\beta\, Sn\gamma - (b + l_1)$$

мы можемъ замѣтить слѣдующее: изъ соображенія о величинѣ линейнаго опереженія при нормальномъ расширеніи пара опредѣляется сумма угловъ $\beta+\gamma$, и слѣд. чѣмъ менѣе будетъ при нормальномъ расширеніи величина γ, тѣмъ больше будетъ β и слѣд. тѣмъ значительнѣе будетъ коэфиціентъ $a + r Sn\beta$ при $Cs\gamma$, входящей въ только что написанное выраженіе линейнаго опереженія при произвольной степени расширенія и тѣмъ менѣе будетъ коэфиціентъ $r Cs\beta$ при $Sn\gamma$ въ томъ-же выраженіи; такъ, что чѣмъ менѣе есть возможно γ при нормальномъ расширеніи, тѣмъ больше будутъ въ выраженіи линейнаго опереженія члены, которые мало измѣняются съ измѣненіемъ расширенія, и тѣмъ менѣе будутъ члены сильно съ нимъ измѣняющіеся, такъ, что и съ этой точки зрѣнія, выборъ маленькой величины для γ при нормальномъ расширеніи представляется полезнымъ.—

Разсматривая наконецъ ур-е

$$r Sn(\alpha' + \beta + \gamma) = b + l_1 - a Cs\gamma$$

опредѣляющее уголъ α' при которомъ начинается впускъ пара, замѣчаемъ при малыхъ нормальномъ значеніи γ, вмѣстѣ съ увеличеніемъ γ вторая часть возрастаетъ но очень медленно, а какъ первая часть при томъ-же условіи возрастала бы быстрѣе, если-бы уголъ α' не уменьшался; то очевидно уголъ α' будетъ убывать, а какъ вообще онъ будетъ отрицательный, то численная величина его будетъ увеличиваться, но во всякомъ случаѣ въ меньшей пропорціи чѣмъ γ.— Такая измѣняемость угла α' не имѣетъ сколько нибудь замѣтнаго вліянія на дѣйствіе машины т.к. вслѣдствіе этого измѣняется лишь разстояніе поршня отъ мертвой точки въ моментъ начала впуска, а измѣненія этого разстоянія около мертвой точки, какъ извѣстно чрезвычайно малы, даже и при значительныхъ измѣненіяхъ въ углѣ кривошипа съ мнѣнію мертвыхъ точекъ.—

Такимъ образомъ изъ соображеній относящихся къ измѣняемости расширенія

посредствомъ механизма Зульцера слѣдуетъ, что для нормальнаго расширенія уголъ γ долженъ быть взятъ по возможности малымъ, а слѣд. и $a\sin\gamma$ должно быть невелико, а т.к. $a\sin\gamma$ удовлетворяетъ условію, по которому:

$$a\sin\gamma = e\frac{l_2}{l_1} + r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha'' + \beta + \gamma)$$

то оказывается, что если a довольно велико, то и величину $e\frac{l_2}{l_1}$ можно брать не очень малою, чтобы съ нѣкоторымъ закономъ удовлетворить условіямъ (C); если-же величина a мала (что вообще удобно) то съ цѣлью уменьшенія γ должно брать $e\frac{l_2}{l_1}$ сколь можно меньшимъ, только чтобы удовлетворить неравенствамъ (C). - Во всякомъ случаѣ однако, какъ показываетъ предъидущее ур-іе уголъ γ не можетъ быть нулемъ и подавно не можетъ быть меньше нуля $\alpha'' + \beta + \gamma$ меньше чѣмъ $\frac{\pi}{2}$, а это обыкновенно и будетъ, такъ какъ машины съ такимъ сложнымъ и дорогимъ механизмомъ, какъ Зульцера, устраиваются съ цѣлью работать нормальнымъ образомъ при очень значительномъ расширеніи. -

Сдѣлавъ эти замѣчанія относительно выбора γ, наз. черезъ α_0'' и α'', наименьшій и наибольшій изъ угловъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которыхъ дѣлаемъ, чтобы начиналось расширеніе, если соотвѣтствующія имъ величины γ обозначимъ черезъ γ_0 и γ_1, то найдемъ для опредѣленія этихъ угловъ равенства: -

$$a\sin\gamma_0 = \frac{el}{l_2} + r\cos(\alpha_0'' + \beta + \gamma) + \frac{\{r\sin(\alpha_0'' + \beta + \gamma_0) - (b + l_1 - a\cos\gamma_0)\}^2}{2R}$$

$$a\sin\gamma_1 = \frac{el}{l_2} + r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) + \frac{\{r\sin(\alpha'' + \beta + \gamma_1) - (b - l_1 - a\cos\gamma_1)\}^2}{2R}$$

которая съ помощью равенства, относящагося къ распредѣленію пара, весьма легко приводится къ слѣдующему виду:

$$\sin\gamma_0 = \sin\gamma + \frac{r}{a}(\cos(\alpha_0'' + \beta + \gamma_0) - \cos(\alpha'' + \beta + \gamma)) + \frac{1}{2Ra}\left[\{r\sin(\alpha_0'' + \beta + \gamma_0) - (b + l_1 - a\cos\gamma_0)\}^2 - r^2\sin^2(\alpha'' + \beta + \gamma)\right]$$

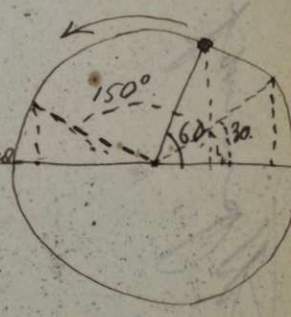
$$\sin\gamma_1 = \sin\gamma + \frac{r}{a}\{\cos(\alpha_1'' + \beta + \gamma_1) - \cos(\alpha'' + \beta + \gamma)\} + \frac{1}{2Ra}\left[\{r\sin(\alpha_1'' + \beta + \gamma_1) - (b + l_1 - a\cos\gamma_1)\}^2 - r^2\sin^2(\alpha'' + \beta + \gamma)\right]$$

Такъ $\frac{r}{a}$ есть малая величина, а точно также $b + l_1 - a\cos\gamma_1$ и $b + l_1 - a\cos\gamma_0$ немного отличается отъ нуля, то очевидно, что $\sin\gamma_1$ и $\sin\gamma_0$ не будутъ много отличаться отъ $\sin\gamma$. -

Съ помощью послѣднихъ ур-ій величины γ_0 и γ_1 найдутся весьма легко съ помощью послѣдовательныхъ приближеній, если сначала пренебречь членами обратно пропорціональными $\frac{1}{2Ra}$. -

Предположимъ, что намъ даны слѣдующія условія распредѣленія пара: Наибольшее поднятіе клапана $H = 30\frac{м}{м}$. - Линейное опереженіе со стороны впуска при нормальномъ расширеніи $h = 1{,}5$ mm; Уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которыхъ начинается нормальное расширеніе $\alpha'' = 60°$. - Наименьшій уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ можетъ начинаться расширеніе $\alpha_0'' = 30°$; Наибольшій уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ можетъ начинаться расширеніе $\alpha_1'' = 150°$. - x)

Пример на Клапанное Распредѣленіе



Положимъ сверхъ того, что на основаніи конструктивныхъ разсчетовъ оказалось удобнымъ сдѣлать:

Разстояніе отъ оси вала эксцентрика до точки соединенія центральнаго стержня

x) т. е. даны наименьшее нормальное и наибольшее возможное расширенія цилиндра

съ рычагомъ впускнаго клапана: $a = 640$; длину шатуна эксцентрика: $l = 670$; разстояніе выступа шатуна отъ центра хомута, надѣтаго на эксцентрикъ $l_1 = 450$; и далѣе разстояніе выступа до конца шатуна $l_2 = 220$. - Плечо рычага впускнаго клапана $R = 100$. -

На основаніи изложенной теоремы тотчасъ получимъ эксцентриситетъ эксцентрика: $r = H = 30$. - Сумма угла (β) опереженія эксцентика и угла (γ) между центральнымъ стержнемъ и прямою, идущею отъ оси вала эксцентрика, къ точкѣ соединенія этого стержня съ рычагомъ впускнаго клапана опредѣлится условіемъ:

$$r\,\mathrm{tn}(\beta+\gamma) = h; \text{ или } 30\,\mathrm{tn}(\beta+\gamma) = 7{,}5$$

откуда:

$$\mathrm{tn}(\beta+\gamma) = 0{,}25 \text{ и } \beta+\gamma = 14^\circ 30'.$$

На основаніи сего:

$$\alpha''+\beta+\gamma = 74^\circ 30'; \quad \mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) = 0{,}26724; \quad \mathrm{tn}(\alpha''+\beta+\gamma) = 0{,}96363;$$

$$a\,\mathrm{tn}\gamma - e\,l/l_2 = r\,\mathrm{Cs}(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\mathrm{tn}^2(\alpha''+\beta+\gamma) = 30\times 0{,}26724 + \frac{900}{200}\times 0{,}929 =$$

$$= 10{,}0172 + \tfrac{9}{2}\times 0{,}9286 = 10{,}0172 + 4{,}1787 = 14{,}196 \text{ м.}$$

Наименьшій предѣлъ для дроби $e\,l/l_2$ опредѣлится неравенствами (C) изъ коихъ первое даетъ:

$$\frac{2el}{l_2} > 30\times 0{,}96815 + \frac{(7{,}5)^2}{200} - 14{,}196 = 15{,}130$$

$$\frac{2el}{l_2} > 30 - 14{,}196 \qquad = 15{,}804$$

Отсюда видно, что неравенствамъ (C) можно удовлетворить принявъ $\frac{2el}{l_2} =$ далѣе 16. - Но какъ величина e выходитъ при этомъ чрезъ очень малою и т.к. a довольно велико, то мы примемъ $\frac{2el}{l_2}$ значительно большимъ, чтобы не сомнѣваться въ возможности удовлетворить всѣмъ условіямъ при измѣненіи степени расширенія; пусть: $\frac{2el}{l_2} = 80$; тогда $\frac{el}{l_2} = 40$, и

$$a\,\mathrm{tn}\gamma = 54{,}196; \quad \mathrm{tn}\gamma = 0{,}0847; \quad \gamma = 4^\circ 50';$$

$$\beta = 14^\circ 30' - \gamma = 14^\circ 30' - 4^\circ 50'; \quad \beta = 9^\circ 40';$$

$$\mathrm{Cs}\gamma = 0{,}996; \quad a\,\mathrm{Cs}\gamma = 637{,}44; \quad b + l_1 = 637{,}44 - 450; \quad b = 187{,}44;$$

Чтобы найти γ_0 пренебрегаемъ сначала членомъ обратно пропорціональнымъ $2Ra$, тогда:

$$\mathrm{tn}\gamma_0 = \mathrm{tn}\gamma - \frac{30}{640}\mathrm{Cs}(30^\circ + 9^\circ 40' - \gamma_0) - \frac{30}{640}\times \mathrm{Cs}\,74^\circ 30' = 0{,}0847 - 0{,}0157 + \frac{3}{64}\mathrm{Cs}(39^\circ 41' + \gamma_0).$$

Отсюда легко видѣть посредствомъ попытокъ, что γ° очень близко къ 6°, для повѣрки и большаго приближенія вычисляя съ помощію сей величины вторую часть выраженія для $\mathrm{tn}\gamma_0$ и замѣчая, что $b + l_1 - a\,\mathrm{Cs}\gamma_0 = 637{,}44 - 640\times 0{,}9945 = 0{,}96$, получимъ:

$$\mathrm{tn}\gamma_0 = 0{,}0690 + 0{,}0328 + \frac{1}{200\times 640}\left\{(30\,\mathrm{tn}(45^\circ 40') - 0{,}96)^2 - 900\,\mathrm{tn}^2\,14^\circ 30'\right\} = 0{,}0986.$$

а какъ по таблицамъ 0,0986 есть синусъ $5^\circ 40'$, то величина для γ_0 принята слишкомъ большая.

Вычисляя вторую часть предъидущаго равенства, въ предположеніи, что $\gamma = 5^\circ 40'$ находимъ: $\mathrm{tn}\gamma_0 = 0{,}0986 + 0{,}0330 + \frac{1}{200\times 640}\left\{\left[30\,\mathrm{tn}(45^\circ 20') - 0{,}77\right]^2 - 835{,}74\right\} = 0{,}0988.$

И какъ это число очень близко къ $5^\circ 40'$, то можно принять, что $\gamma_0 = 5^\circ 40'$.

Вычисляя подобнымъ-же образомъ γ найдемъ:

$$\mathrm{tn}\gamma_1 = 0{,}0847 + \frac{3}{64}\mathrm{Cs}(150 + 9^\circ 40' + \gamma_1) - \frac{3}{64}\mathrm{Cs}(14^\circ 30') = 0{,}0690 - \frac{3}{64}\mathrm{Cs}(30^\circ - 9^\circ 40' - \gamma_1)$$

Вычисляя вторую часть въ предположеніи $\gamma_1 = 1^\circ 20'$ находимъ, что она составляетъ 0,0247; что немного разнится отъ $\mathrm{tn}\,1^\circ 20'$; поэтому, принимая $\gamma_1 = 1^\circ 20'$ для повѣрки вставляемъ еще эту величину въ члены обратно пропорціональные $\frac{1}{2Ra}$ и находимъ,

что они будутъ:

$$\frac{1}{200\times 640}\left[(30\sin(19^\circ+2{,}43))^2-835{,}74\right]=0{,}0054 \quad \text{и}$$

$$\sin\gamma_1=0{,}0247-0{,}0054=0{,}0193.$$

Сравнивая это число съ таблицами легко видимъ, что $\gamma_1=1^\circ 10'$. - Такимъ образомъ, чтобы получить начало расширенія, могущее измѣняться въ предѣлахъ отъ $\alpha''=30^\circ$ до $\alpha''=150^\circ$ нужно измѣнять γ отъ $1^\circ 10'$ до $5^\circ 40'$. -

При этомъ наибольшее открытіе клапана будетъ измѣняться отъ:

$$r-(b+l_1-a\sin\gamma_0) \text{ до } r-(b+l_1-a\sin\gamma_1) \text{ т.е. отъ}$$

$$30-0{,}96=29{,}04 \quad \text{до} \quad 30+2{,}43=32{,}43.$$

Должно впрочемъ имѣть въ виду, что первый предѣлъ будетъ еще меньше, т.к. разъединеніе стержня съ шатуномъ при $\alpha_0=30^\circ$ произойдетъ прежде, чѣмъ клапанъ достигнетъ наибольшаго открытія, а именно онъ закроется, когда достигнетъ высоты наименьшей равной:

$$30\cos(30^\circ+9^\circ 40'+5^\circ 41')-0{,}96=20{,}38 \text{ м/м}.$$

Линейное опереженіе будетъ измѣняться отъ:

$$30\sin(15^\circ 20')-0{,}96 \text{ до } 30\sin(10^\circ 50')+2{,}43$$

или отъ $\quad 6{,}97 \quad$ до $\quad 8{,}07$

Уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ начинается впускъ пара будетъ опредѣляться при $\gamma_0=5^\circ 40'$ ур-мъ:

$$30\sin(\alpha_0'+9^\circ 40'+5^\circ 41')=0{,}96; \quad \alpha_0'=-16^\circ 10';$$

а при $\gamma_1=1^\circ 10'$ ур-мъ:

$$30\sin(\alpha_1'+9^\circ 40'+1^\circ 10')=-2{,}43; \quad \alpha_1'=-15^\circ 50';$$

Такимъ образомъ, какъ видно и линейное опереженіе и положеніе кривошипа, при коемъ начинается впускъ пара, измѣняется весьма мало, и затѣмъ, чтобы вопросъ можно было считать разрѣшеннымъ удовлетворительно, нужно только повѣрить дѣйствительно ли сѣчѣніе имѣетъ мѣсто при крайнихъ величинахъ γ, какъ въ моментъ, когда происходитъ впускъ, такъ и въ мертвой точкѣ кривошипа и наконецъ при наибольшемъ открытіи клапана. Эта послѣдняя повѣрка, впрочемъ, нужно только для наименьшаго γ, т.к. при наибольшемъ γ, какъ уже выше замѣчено, сѣчѣніе прекратится раньше, чѣмъ клапанъ достигнетъ наибольшей высоты.

Съ цѣлью произвести означенную повѣрку всего удобнѣе воспользоваться неравенствами (7), (9) и (12); въ нихъ $e_{l_2}^{b}=40$ и затѣмъ:

$$a\sin\gamma_0=640\times 0{,}0988=63{,}232$$

$$a\sin\gamma_1=640\times 0{,}0193=12{,}352$$

$$r\cos(\beta+\gamma_0)=30\times 0{,}9644=29{,}932$$

$$r\cos(\beta+\gamma_1)=30\times 0{,}9822=29{,}466$$

$$r\cos(\alpha_0'+\beta+\gamma_0)=30\times 0{,}9999=29{,}997$$

$$h_0=6{,}97; \quad h_1=8{,}07; \quad H_1=32{,}43$$

Подставляя эти величины въ упомянутыя неравенства получимъ:

$$-40<63{,}232-29{,}932-\frac{48{,}58}{200}<40$$

$$-40<12{,}352-29{,}466-\frac{65{,}12}{200}<40$$

$$-40 < 63,232 - 29,997 < 40$$
$$-40 < 12,352 - 29,886 < 40$$
$$-40 < 12,352 - \frac{104,97}{200} < 40$$

Что очевидно справедливо и слѣд. элементы распредѣлительнаго прибора найдены правильно.-

На основаніи предъидущаго легко разрѣшить графическимъ способомъ задачу о нахожденіи элементовъ распредѣлительнаго прибора.- Для этой цѣли проводимъ линію мертвыхъ точекъ (фиг. 45 d) AOB; изъ центра O откладываемъ по ней линію $Oa = h$, равную линейному перекрытію со стороны впуска и въ точкѣ a возставляемъ перпендикуляръ, который засѣкаемъ изъ центра O радіусомъ равнымъ $H = r$, и соединивъ полученную точку q съ центромъ O, на прямой Oq, какъ на діаметрѣ строимъ окружность; касательная COD къ этой окружности проведенная черезъ центръ O, составитъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $\beta + \gamma$.- Затѣмъ проводимъ то направленіе Oe кривошипа, при которомъ должно начинаться расширеніе, когда машина идетъ своимъ нормальнымъ ходомъ.; это направленіе можетъ упасть или между Oq и OA или между Oq и OB.-

Въ первомъ случаѣ (фиг. 45 a) eq представитъ собою величину $r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma)$, продолжая eq въ сторону отъ e къ q и засѣкая на продолженіи линіи точку K изъ O, какъ изъ центра радіусомъ OK, равнымъ R, и засѣкая описывая радіусомъ OK, изъ K какъ изъ центра дугу Oe', мы получимъ, что:

$$e'q = r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) + \frac{x^2}{2R}$$

а такъ какъ эта величина на основаніи ур-ія (9) должна равняться

$$a\sin\gamma - e\frac{l}{l_2}$$

то, чтобы найти e остается только назначить величины a, γ, l и l_2.-

Въ случаѣ если точка e упадетъ между C и B (фиг. 45 b), то построеніе измѣняется только въ томъ отношеніи, что длина

$$eq = -r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma)$$

и вслѣдствіе того для построенія линіи ee', которая равна былабы $r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) - \frac{x^2}{2R}$ мы продолжаемъ прямую qe, не въ сторону e къ q, а напротивъ отъ q къ e, и засѣкаемъ радіусомъ $OK = R$, описываемъ дугу Oe'; тогда

$$e'q = -r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) - \frac{x^2}{2R}$$

а какъ эта величина на основаніи ур-ія (9) должна равняться $e\frac{l}{l_2} - a\sin\gamma$, то опять выбравъ a, γ, l, l_2, можетъ изъ равенства

$$e\frac{l}{l_2} - a\sin\gamma = e'q$$

опредѣлить величину e.-

Послѣ этого построенія надобно удостовѣриться въ томъ, исполняются ли неравенства, которымъ долженъ удовлетворять распредѣлительный приборъ, и затѣмъ отмѣчать крайнія величины для γ, отвѣчающія наибольшему и наименьшему расширенію, повѣрить и для нихъ справедливость тѣхъ же неравенствъ.- Вопросъ этотъ послѣ всего вышеобъясненнаго не представляетъ никакихъ затрудненій и мы на немъ останавливаться не будемъ.-

20. Въ тѣхъ случаяхъ, когда машина должна измѣнять направленіе своего

Графическій способъ опредѣленія элементовъ распредѣлительнаго прибора

движения, необходимо имѣть средства быстро и удобно переставлять золотники, производящій распредѣленіе пара. - Для этого обыкновенно на главномъ валѣ машины закливаютъ два эксцентрика, штанги которыхъ сочленяются концами особой полосы, по которой можетъ скользить головка стержня золотника; полоса эта, приводимая въ движеніе эксцентриками, черезъ посредство шатуновъ, съ своей стороны сообщаетъ движеніе золотнику; она наз. обыкновенно кулисою. - Различныхъ системъ кулисъ очень много. Весьма употребительна кулиса Стефенсона, изображенная на фиг. 46. Она состоитъ изъ двухъ эксцентриковъ, закливенныхъ на оси O; концы шатуновъ B и B, этихъ эксцентриковъ соединены посредствомъ шарнировъ съ особой дугой C, C₁, внутри которой помѣщенъ ползунъ A, представляющій собою головку стержня золотника F. - Кулиса, посредствомъ тяги, направленной почти вертикально (C, E) и хватающей или за конецъ дуги (какъ на чертежѣ), или за средину ея, подвѣшена къ рычагу XE, сидящему на особой неподвижной оси, и уравновѣшена противовѣсомъ X. Рычагъ XE къ которому подвѣшена кулиса, приводится въ движеніе посредствомъ тяги FG, хватающей за конецъ кольца F, рычага XE. Другой конецъ тяги G, соединенъ съ рычагомъ LM, находящимся въ рукахъ машиниста. - Дѣйствуя на этотъ рычагъ машинистъ можетъ установить кулису такъ, что ползунъ будетъ близь одной или другой оконечности ея, или-же въ произвольной промежуточной точкѣ. - Если поставить механизмъ такимъ образомъ, чтобы центры обоихъ эксцентриковъ лежали по ту-же сторону вала, по которую лежитъ золотникъ, то штанги эксцентриковъ или могутъ оставаться открытыми или перекрещиваются. Въ первомъ случаѣ получается кулиса съ открытыми, во второмъ съ перекрещенными штангами. - Кромѣ того если поставить кривошипъ кривошипъ машины въ мертвую точку и если при этомъ углы, составленные эксцентриситетами съ перпендикуляромъ къ направленію движенія золотника, равны между собою, то кулиса получаетъ названіе кулисы съ равными углами опереженія; если-же углы неравны, то получается кулиса съ неравными углами опереженія. -

Разберемъ сначала кулису съ открытыми штангами и равными углами опереженія. - Изъ самого устройства вышеописаннаго механизма видно, что преимущественное вліяніе на движеніе золотника оказываетъ одинъ или другой эксцентрикъ, смотря по тому, какой конецъ кулисы лежитъ ближе къ направленію движенія золотника; тотъ, который сочлененъ съ первымъ, или тотъ, который сочлененъ со вторымъ эксцентрикомъ. - Обозначимъ, (фиг. 47) черезъ l, длину стержня золотника, (считаемую отъ головки стержня до средины золотника), черезъ l — длину шатуновъ эксцентриковъ, черезъ r ихъ эксцентриситетъ, черезъ β общій уголъ опереженія и черезъ $2c$ — длину кулисы; вообразимъ, что кривошипъ повернулся изъ мертвой точки N на уголъ α; при этомъ центры обоихъ эксцентриковъ повернулись на тотъ-же уголъ и составляютъ съ перпендикуляромъ къ линіи мертвыхъ точекъ углы $\alpha+\beta$ и $\alpha-\beta$. - Пусть при этомъ разстояніе точки, въ которой находится головка стержня отъ средины кулисы, равно u. - Сдѣлаемъ допущеніе, что когда, вслѣдствіе вращенія вала, кулиса колеблется, головка стержня, перемѣ-

Кулиса

щаясь по направленію движенія золотника, прикасается къ кулисѣ постоянно въ одной и той-же точкѣ ея, т.е. находится отъ средины кулисы постоянно въ одномъ разстояніи U.- Проводимъ хорду AB кулисы, и т.к. увидимъ впослѣдствіи, что кулиса должна быть описана радіусомъ, равнымъ длинѣ шатуновъ эксцентриковъ, слѣд. будетъ имѣть весьма большой радіусъ кривизны, то можно принять, что длина хорды AB равна длинѣ дуги AB или равна 2C.- Постараемся опредѣлить при этомъ произвольномъ положеніи кулисы и вала, соотвѣтствующее положеніе средины золотника.- Для этого сначала въ зависимости отъ угла α, описаннаго валомъ, и разстоянія U полуна (головки стержня) отъ средины кулисы, опредѣлимъ уголъ, составляемый хордою кулисы съ направленіемъ движенія золотника, а также и нѣкоторыя другія величины, которыя при дальнѣйшихъ вычисленіяхъ будутъ встрѣчаться. Изъ концовъ кулисы опускаемъ перпендикуляры BC и AD на направленіе движенія золотника.- Тогда очевидно получимъ:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{CE}{BE} = \frac{ED}{AE} = \frac{CE+ED}{BE+AE} = \frac{CD}{2C} = \frac{OD-OC}{2C}$$

но:

$$OD = MO + MD = r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{AJ^2 - AN^2} = r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{l^2 - (AD - JM)^2}$$

А изъ чертежа видно, что:

$$AD = AE.\cos\delta = (C-U)\cos\delta$$

$$JM = r\cos(\alpha+\beta)$$

потому:

$$OD = r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{l^2 - \{(C-U)\cos\delta - r\cos(\alpha+\beta)\}^2}$$

Такъ какъ уголъ δ весьма невеликъ, то $\cos\delta$ можно принять $=1$; т.к. величины r и C очень невелики сравнительно с. l, то можно пренебречь частями C−U и r, пропорціональными дробямъ:

$$\left(\frac{C-U}{l}\right)^2 \text{ и } \left(\frac{r}{l}\right)^2$$

Въ такомъ случаѣ будетъ:

$$OD = r\sin(\alpha+\beta) + l\left\{1 - \left[\frac{(C-U) - r\cos(\alpha+\beta)}{l}\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}} = r\sin(\alpha+\beta) + l - \frac{1}{2}\frac{(C-U)^2}{l} +$$

$$+ \frac{(C-U)r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\alpha+\beta)}{l} = \frac{C^2}{2l} - \frac{U^2}{2l} + \frac{CU}{l} + r\sin(\alpha+\beta) + \frac{(C-U)r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\alpha+\beta)}{l}$$

Точно такимъ-же образомъ можно найти OC; но длина этой линіи получается изъ выраженія для OD, если перемѣнимъ (U) на (−U) и (α) на (−α); тогда будетъ:-

$$OC = l - \frac{C^2}{2l} - \frac{U^2}{2l} - \frac{CU}{l} + r\sin(\beta-\alpha) + \frac{(C+U)r\cos(\beta-\alpha)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\beta-\alpha)}{l}$$

отсюда:

$$CD = OD - OC = \frac{2CU}{l} + r\left[\sin(\alpha+\beta) + \sin(\alpha-\beta)\right] + \frac{rC}{l}\left[\cos(\alpha+\beta) - \cos(\alpha-\beta)\right] -$$

$$- \frac{rU}{l}\left[\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)\right] - \frac{r^2}{2l}\left[\cos^2(\alpha+\beta) - \cos^2(\alpha-\beta)\right]$$

или $CD = \frac{2CU}{l} + 2r\sin\alpha\cos\beta - \frac{2rC}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{2rU}{l}\cos\alpha\cos\beta + \frac{r^2}{2l}\left[\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right]$

а потому:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{CD}{2C} = \frac{U}{l} + \frac{r}{C}\sin\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{rU}{Cl}\cos\alpha\cos\beta + \frac{r^2}{4Cl}\left[\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right]$$

Такимъ обр. опредѣленъ уголъ, составляемый хордою кулисы съ направленіемъ движенія стержня. Теперь опредѣлимъ разстояніе OK центра вала отъ средины золотника при произвольномъ положеніи кривошипа. Разстояніе:

$$OK = OC + EC + EL + LK$$

LK есть длина стержня золотника (отъ головки стержня до средины золотника), и равна по принятому обозначенію l_1.-

EL_1 есть весьма малая величина, равная разстоянію между дугою кулисы, описанной большимъ радіусомъ (который обозначимъ черезъ ρ) и хордой этой дуги. Для вычисленія EL_1 возставимъ къ хордѣ въ ея срединѣ перпендикуляръ PQ, и изъ L_1 проведемъ до пересѣченія съ нимъ въ S прямую, параллельную хордѣ. — Очевидно PS будетъ проэкція EL_1 на PQ и какъ уголъ между L_1 и PQ, очевидно $=\delta$, то принимая согласно предъидущему $\cos\delta = 1$, получимъ: $EL_1 = PQ - QS$; но $PQ = \frac{c^2}{2\rho - PQ}$ и $QS = \frac{u^2}{2\rho - QS}$. Или, т.к. PQ и QS очень малы, сравнительно съ 2ρ, то можно принять:

$$PQ = \frac{c^2}{2\rho} \quad \text{и} \quad QS = \frac{u^2}{2\rho}$$

Слѣдовательно:

$$EL_1 = \frac{c^2 - u^2}{2\rho}$$

Очевидно также, что $\quad EC = (c+u)\sin\eta$

Замѣняя въ этомъ выраженіи $\sin\eta$ его величиною, найдемъ:

$$CE = \frac{(c+u)u}{l} + \frac{(c+u)r}{c}\sin\alpha\cos\beta - \frac{(c+u)r}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{(c+u)ur}{cl}\cos\alpha\cos\beta +$$
$$+ \frac{(c+u)r^2}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}$$

Вставляя затѣмъ въ выраженіе OK полученныя значенія OC, CE, EL_1 и L_1K найдемъ:

$$OK = l_1 + l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} - \frac{cu}{l} + \frac{c^2-u^2}{2\rho} + (c+u)\frac{u}{l} + (c+u)r\left\{\frac{\sin\alpha\cos\beta}{c} - \frac{\sin\alpha\sin\beta}{l}\right\} -$$
$$-(c+u)r\left[\frac{u}{cl}\cos\alpha\cos\beta - \frac{r}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}\right] - r\sin(\alpha-\beta) + \frac{(c+u)r\cos(\alpha-\beta)}{l} -$$
$$-\frac{r^2}{2l}\cos^2(\alpha-\beta) = l_1 + l + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) + r\sin\beta\cos\alpha + \frac{ur}{c}\sin\alpha\cos\beta + r\frac{c^2-u^2}{cl}\cos\alpha\cos\beta +$$
$$+\frac{r^2}{4cl}\left\{(u-c)\cos^2(\alpha-\beta) - (u+c)\cos^2(\alpha+\beta)\right\} = l_1 + l + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2c} - \frac{1}{2l}\right) + \frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha +$$
$$+\left\{r\sin\beta + \frac{r(c^2-u^2)}{cl}\cos\beta\right\}\cos\alpha - \frac{r^2}{4cl}\left\{(c-u)\cos^2(\alpha-\beta) + (c+u)\cos^2(\alpha+\beta)\right\}.$$

Съ помощью этой формулы, предполагая въ ней сперва $\alpha = 0$, потомъ $\alpha = 180°$, опредѣлимъ положеніе золотника сперва при одной, потомъ при другой мертвой точкѣ кривошипа. — Вычисляя OK для угла $\alpha = 0°$, получимъ:

$$OK' = l + l_1 + (c^2+u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) + r\sin\beta + \frac{(c^2+u^2)}{cl}r\cos\beta - \frac{r^2}{4cl}(2c\cos^2\beta)$$

а подставляя $\alpha = 180°$, получимъ:

$$OK'' = l + l_1 + (c^2+u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) - r\sin\beta - \frac{(c^2-u^2)}{cl}r\cos\beta - \frac{r^2}{4cl}(2c\cos^2\beta)$$

Средняя ариѳметическая этихъ двухъ разстояній будетъ:

$$OK = l + l_1 + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) - \frac{r^2}{2l}\cos^2\beta$$

Эта величина зависитъ отъ u_1 т.е. отъ того, въ какой точкѣ кулисы стержень золотника на нее опирается; изъ этого слѣдуетъ, что если золотникъ при одномъ положеніи кулисы одинаково перекрываетъ паровыя окна въ мертвыхъ точкахъ кривошипа, то при другихъ положеніяхъ кулисы этого вообще не будетъ. — Между тѣмъ, вышесказанное условіе весьма важно, и чтобы ему удовлетворить, нужно — или устроить стержень золотника такимъ образомъ, чтобы онъ, вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія кулисы могъ сокращаться или удлиняться, или же выбрать элементы всего прибора такъ, чтобы OK независѣло отъ u_1. — Но и входитъ только членъ $(c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right)$ и слѣд. полагая $\rho = l$, мы достигнемъ до того, что во всѣхъ положеніяхъ кулисы перекрыша праваго окна въ правой мертвой точкѣ будетъ одинакова съ перекрышею лѣваго окна въ лѣвой мертвой точкѣ; поэтому радіусъ закругленія кулисы долженъ равняться длинѣ шатуна эксцентрика. — Принимая это и вычитая изъ OK, соотвѣтствующаго произвольному углу α, величину разстоянія средняго положенія золотника отъ центра вала, мы получимъ перемѣщеніе золотника изъ средняго

его положенія, которое выразится черезъ:

$$\frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha + r\left\{\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right\}\cos\alpha - \frac{r^2}{4cl}\left\{(c-u)\cos^2(\beta-\alpha) + (u+c)\cos^2(\beta-\alpha) - 2c\cos^2\beta\right\}$$

Послѣдній членъ этого равенства при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ обращается въ нуль, слѣд. въ самыхъ важныхъ для распредѣленія точкахъ этотъ послѣдній членъ не имѣетъ никакого вліянія, а въ остальныхъ точкахъ имѣетъ весьма малое значеніе, и слѣд. при вычисленіи величины искомаго перемѣщенія золотника, членъ этотъ можетъ быть отброшенъ. - Назовемъ перемѣщеніе золотника изъ средняго положенія черезъ x; значеніе выраженія $r\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right)$ черезъ A, и величину $\frac{ur}{c}\cos\beta$ черезъ B. - Тогда получимъ, отбрасывая послѣдній членъ:

$$x = A\cos\alpha + B\sin\alpha.$$

Гдѣ A и B зависятъ отъ угла опереженія β, длины l шатуна эксцентрика, эксцентрицитета r, длины c кулисы и такъ наз. градуса расширенія u. - Если распредѣлительный приборъ уже устроенъ, то β, l, r и c суть стны, а какъ, установивъ кулису на нѣкоторую опредѣленную точку, будемъ также знать и градусъ расширенія u, то слѣд. для всякаго градуса расширенія намъ будутъ извѣстны вполнѣ оба коэффиціента A и B. Зная же эти величины, можно построить величину x, соотвѣтствующую какому угодно значенію α, слѣдующимъ образомъ: черезъ центръ вала (фиг. 48) проведемъ прямую линію, соотвѣтствующую линіи мертвыхъ точекъ кривошипа. - На этой линіи отъ центра отложимъ длину $OZ = A$, и изъ конца ея возставимъ перпендикуляръ, на которомъ отложимъ длину $ZY = B$. Соединимъ Y съ O и на полученной прямой OY, какъ на діаметрѣ, опишемъ окружность. - Затѣмъ проведемъ подъ угломъ α произвольное направленіе кривошипа OX; длина этой прямой до пересѣченія съ описанною окружностью будетъ:

$$A\cos\alpha + B\sin\alpha$$

какъ въ этомъ легко убѣдиться на основаніи теоремы о суммѣ проэкцій сторонъ замкнутаго многоугольника, а слѣд. эта длина представитъ перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія, соотвѣтствующее углу α вращенія кривошипа. -

Такимъ образомъ перемѣщеніе золотника, управляемаго кулисою, находится очень простымъ построеніемъ, одинаковымъ съ тѣмъ, которое было найдено для простаго эксцентрика. - Если затѣмъ опишемъ изъ того же центра O двѣ окружности радіусами равными наружной и внутренней перекрышамъ, то точно также, какъ прежде, найдемъ величины впускнаго и выпускнаго оконъ, соотвѣтствующія какому угодно положенію кривошипа. -

Замѣтимъ, что діаграмма, опредѣляющая собою распредѣленіе пара посредствомъ кулисы Стефенсона, совпадаетъ съ діаграммою, опредѣляющею распредѣленіе пара, производимое простымъ эксцентрисомъ, коего эксцентрицитетъ:

$$r = \sqrt{A^2 + B^2}$$

а уголъ опереженія есть $\operatorname{arctg}\frac{A}{B}$. - Слѣд. распредѣленіе пара кулисою совершается точно также, какъ и помощію простаго эксцентрика. Разница состоитъ только тѣмъ, что при обыкновенномъ эксцентрикѣ мы не имѣемъ возможности измѣнять ни эксцентрицитетъ, ни уголъ опереженія эксцентрика; кулиса же представляетъ для этого весьма удобное средство, т.к. она замѣняетъ эксцентрикъ, коего

эксцентрицитетъ ($r = \sqrt{A^2+B^2}$) и уголъ опереженія ($\operatorname{arctg}\frac{A}{B}$) зависитъ отъ разстоянія U, которое машинистъ можетъ измѣнять по произволу.-

21. Весьма замѣчательное распредѣленіе пара получается въ томъ случаѣ, когда кулиса поставлена въ мертвую точку, т.е. когда $U=0$; тогда $B=0$ и слѣдов. центръ круга діаграммы лежитъ на линіи мертвыхъ точекъ кривошипа. Въ этомъ случаѣ распредѣленіе пара совершается такъ, какъ это показываетъ чертежъ (фиг. 49) изъ котораго видно, что какъ въ правой, такъ и въ лѣвой части цилиндра поршень идетъ на встрѣчу входящему пару такое же пространство, какое онъ проходитъ подъ полнымъ давленіемъ, что паръ расширяется на весьма маломъ пространствѣ ($\angle BOC$) и сжимается на точно такомъ-же пространствѣ, поэтому работа доставляемая паромъ, дѣйствующимъ при полномъ давленіи, есть нуль, и слѣд. въ продолженіе всего оборота въ правой части цилиндра производится лишь весьма малая работа, соотвѣтствующая избытку работы пара, расширяющагося въ то время, когда кривошипъ описываетъ уголъ BOC при начальномъ давленіи, равномъ давленію въ котлѣ, — надъ работою пара, сжимающагося въ то время, когда кривошипъ описываетъ уголъ $C'OB'$ при начальномъ давленіи, равномъ давленію атмосферы.- Этотъ избытокъ работы весьма незначителенъ и совершенно недостаточенъ для того, чтобы сообщить машинѣ движеніе. Поэтому машина, въ которой кулиса поставлена на мертвую точку начинаетъ быстро замедлять движеніе, не смотря на то, что во время этого замедленнаго движенія распредѣленіе пара продолжается; слѣд. мертвая точка кулисы можетъ быть употреблена для остановки машины, снабженной распредѣленіемъ помощію кулисы.-

Также весьма замѣчательное распредѣленіе пара получается въ томъ случаѣ, когда крайнія точки A и B кулисы, приходятъ на линію стержня золотника т.е. когда $U = \pm C$. Тогда:

$$A = r\sin\beta; \text{ и } B = \pm r\cos\beta;$$

Очевидно, что распредѣленіе пара будетъ таково, какъ будто-бы одного изъ эксцентриковъ вовсе не существовало, а распредѣленіе пара производилось прямо тѣмъ эксцентрикомъ, къ шатуну котораго подвинута головка стержня золотника.

22. Мы нашли, что при кулисѣ Стефенсона съ двумя эксцентриками:

$$x = r\left\{\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{ca}\cos\beta\right\}\cos\alpha + \frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha \;.\;.\;.\;.\;.\; (1)$$

(гдѣ u есть по прежнему, разстояніе средней точки кулисы до того мѣста ея, гдѣ въ настоящее время находится головка стержня золотника). - Мы показали также графическій способъ построенія величины x и нахожденіе распредѣленія пара въ данномъ положеніи кулисы. -

Линейное опереженіе со стороны впуска или величина впускныхъ оконъ въ то время, когда поршень находится въ мертвой точкѣ, получится изъ найденной величины x, полагая въ ней уголъ $\alpha = 0°$, и отнимая отъ полученнаго значенія x величину нарѣзной перекрыши. Поэтому линейное опереженіе будетъ равно:

$$r\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{ca}\cos\beta\right) - a$$

Это линейное опереженіе зависитъ отъ u, т.е. отъ того, какая точка кулисы находится въ соприкосновеніи съ головкой стержня золотника. - Если u уменьшается,

то опережение увеличивается и при $u=0$ опережение будетъ maximum, а при $u=c$ опережение будетъ minimum. - Наибольшая величина опережения есть:

$$r(\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta) - a;$$

а наименьшая величина равна $r\sin\beta - a$. - Разность между ними равна $\frac{rc}{l}\cos\beta$ показываетъ намъ степень измѣняемости линейнаго опережения. - Эта измѣняемость считается въ практикѣ недостаткомъ Кримптона Стефенсона. Для уменьшения ея есть простое средство, состоящее въ томъ, чтобы сдѣлать углы опережения эксцентриковъ неравными. - Разсмотримъ же теперь дѣйствіе машины съ неравными углами опережения, изъ коихъ одинъ большій назовемъ черезъ δ, а другой меньшій черезъ ε; назовемъ полусумму этихъ двухъ угловъ черезъ β и полуразность черезъ γ; въ такомъ случаѣ очевидно будетъ:

$$\delta = \beta + \gamma; \qquad \varepsilon = \beta - \gamma;$$

Представивъ подъ этимъ видомъ углы опережения, легко замѣчаемъ, что углы составленные эксцентриками съ перпендикуляромъ къ направленію движенія золотника будутъ между собою равны, не при мертвой точкѣ поршня, а тогда, когда кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $=-\gamma$, а потому и выйдетъ, что опредѣленное найденное перемѣщеніе золотника x будетъ соотвѣтствовать углу кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ поршня, равному не α, но $\alpha-\gamma$, такъ, что въ ту пору, какъ кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $\alpha-\gamma$, золотникъ находится отъ своего средняго положенія въ разстояніи:

$$x = A\cos\alpha + B\sin\alpha.$$

и когда кривошипъ составляетъ съ направленіемъ мертвыхъ точекъ уголъ α, то разстояніе золотника отъ средняго положенія будетъ:

$$A\cos(\alpha+\gamma) + B\sin(\alpha+\gamma)$$

гдѣ γ есть полуразность угловъ опережения обоихъ эксцентриковъ. -

Только что найденное выраженіе перемѣщенія даетъ, при $\alpha=0$

$$x = A\cos\gamma + B\sin\gamma - a$$

а потому величина линейнаго опережения будетъ:

$$A\cos\gamma + B\sin\gamma - a$$

Вставляя сюда вмѣсто A и B ихъ значенія, найдемъ, что наше линейное опережение будетъ:

$$r\left\{\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right)\cos\gamma + \frac{u}{c}\cos\beta\sin\gamma\right\} - a = r\left\{\left(\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right)\cos\gamma + \frac{u}{c}\left(\cos\beta\sin\gamma - \frac{u}{l}\cos\beta\cos\gamma\right)\right\} - a$$

Перемѣнный членъ этого выраженія есть:

$$\frac{ru}{c}\cos\beta\left\{\sin\gamma - \frac{u}{l}\cos\gamma\right\}$$

и слѣд. чтобы линейное опережение измѣнялось по возможности мало, нужно для γ выбрать такое значеніе, чтобы величины этого перемѣннаго члена, отвѣчающія различнымъ значеніямъ u, были по возможности близки между собою, но какъ при $u=0$ весь разсматриваемый членъ обращается въ нуль, то значитъ, что нужно выбрать такое γ, чтобы и при другихъ значеніяхъ u, членъ этотъ возможно меньше разнился отъ нуля. - Чтобы достигнуть этого, возьмемъ такое γ, чтобы при наибольшемъ значеніи u, членъ этотъ былъ нуль. Называя черезъ C наибольшее значеніе для u, получимъ, на основаніи этого, что уголъ γ долженъ удовлетворять условію:

$$\operatorname{Sn}\gamma - \frac{c_1}{l}\operatorname{Cs}\gamma = 0$$

или

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{c_1}{l}$$

Если $c_1 = c$, т.е. если кулиса устроена такъ, что головка стержня можетъ стать прямо противъ шатуна эксцентрика, то $\operatorname{tg}\frac{c}{l}$ и слѣд.

$$\operatorname{Sn}\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}} \quad \text{и} \quad \operatorname{Cs}\gamma = \frac{l}{\sqrt{c^2+l^2}}$$

Принимая это значение для γ, мы получимъ перемѣнный членъ въ такомъ видѣ:

$$\frac{ru\operatorname{Cs}\beta}{c}\cdot\frac{c-u}{\sqrt{c^2+l^2}}$$

Вычисляя значения его для 0, 1, 2, 3, 4, градуса, т.е. для $y = 0, \frac{c}{4}, \frac{2c}{4}, \frac{3c}{4}, \frac{4c}{4}$ мы найдемъ соотвѣтствующія значенія этого перемѣннаго, которыя будутъ: (табл. I).

Значенія u	Значенія перемѣннаго члена линейнаго опереженія	
0	0	I
$\frac{c}{4}$	$\frac{3}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{2c}{4}$	$\frac{4}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{3c}{4}$	$\frac{3}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{4c}{4}$	0	
0	0	II
$\frac{c}{4}$	$\frac{1}{16}\cdot\frac{rc}{l}\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{2c}{4}$	$\frac{4}{16}\frac{rc}{l}\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{3c}{4}$	$\frac{9}{16}\frac{rc}{l}\operatorname{Cs}\beta$	
c	$\frac{16}{16}\cdot\frac{rc}{l}\operatorname{Cs}\beta$	
0	0	III
$\frac{c}{4}$	$\frac{5}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{2c}{4}$	$\frac{12}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{3c}{4}$	$\frac{21}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$	
$\frac{4c}{4}$	$\frac{32}{16}\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$.	

Между тѣмъ при $\gamma = 0$ перемѣнный членъ есть $\frac{ru^2}{c}\operatorname{Cs}\beta$ и его значеніе при тѣхъ же градусахъ кулисы будетъ: (Таб. II).

Наибольшая величина перемѣннаго члена при неравныхъ углахъ опереженія равна: $\frac{4}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta$ и при равныхъ углахъ равна $\frac{16}{16}\cdot\frac{c}{l}\cdot r\operatorname{Cs}\beta$ т.е. измѣняемость перемѣннаго члена въ первомъ случаѣ вчетверо меньше, чѣмъ во второмъ. Все это справедливо для 1°, 2°, 3° и 4° кулисы; но посмотримъ, что будетъ дѣлаться съ линейнымъ опереженіемъ при заднемъ ходѣ т.е. при −1°, −2°, −3° и −4°; тамъ мы увидимъ, что измѣняемость опереженія при неравныхъ углахъ опереженія гораздо больше, чѣмъ при равныхъ, а именно т.к. при переходѣ къ заднему ходу u измѣняетъ свой знакъ, то, подставляя $-u$, вмѣсто u, получимъ перемѣнный членъ для задняго хода въ такомъ видѣ:

$$= \frac{-ur}{c}\operatorname{Cs}\beta\left(\operatorname{Sn}\gamma + \frac{u}{l}\operatorname{Cs}\gamma\right)$$

что, при $\operatorname{tg}\gamma = \frac{c}{l}$ будетъ:

$$= -\frac{ur}{r}\operatorname{Cs}\beta\left(\frac{c+u}{\sqrt{c^2+l^2}}\right)$$

Вставляя здѣсь послѣдовательно 0, $\frac{c}{4}$, $\frac{2c}{4}$, $\frac{3c}{4}$, $\frac{4c}{4}$ на мѣсто u найдемъ значеніе этого члена для задняго хода при неравныхъ углахъ опереженія. Они будутъ: (Таб. III)

Здѣсь степень измѣняемости линейнаго опереженія выражается черезъ:

$$\frac{32}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}r\operatorname{Cs}\beta;$$

т.е. она при заднемъ ходѣ въ 8 разъ больше, чѣмъ при переднемъ, и почти вдвое больше, чѣмъ при равныхъ углахъ опереженія. Это невыгодное для задняго хода въ машинѣ обстоятельство не особенно важно для тѣхъ машинъ, въ которыхъ задній ходъ употребляется въ исключительныхъ случаяхъ, а потому, если отъ неправильности распредѣленія при заднемъ ходѣ въ нихъ не

тративается нѣсколько больше топлива, то это не составляетъ большой потери; лишь-бы при переднемъ ходѣ величина линейнаго опереженія была постоянна. Поэтому обыкновенно въ такихъ машинахъ углы опереженія дѣлаются неравными и уголъ опереженія эксцентрика передняго хода дѣлается больше на величину 2γ, гдѣ γ опредѣляется условіемъ, что его tg равенъ половинной длинѣ кулисы, дѣленной на длину шатуна эксцентрика. Другой способъ уменьшить измѣняемость перемѣннаго члена состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать кулису по возможности короткою, а длину шатуна по возможности большою. Въ самомъ дѣлѣ, мы можемъ представить перемѣнный членъ для кулисы съ равными углами въ такомъ видѣ:

$$rCs\beta\frac{u}{c}\left(\frac{u}{l}\right) = rCs\beta\left(\frac{u}{c}\right)^2\left(\frac{c}{l}\right)$$

здѣсь членъ $\frac{u}{c}$ измѣняется отъ 0 до 1 и уменьшить его мы не можемъ, слѣд. чтобы уменьшить вліяніе всего этого члена, нужно стараться увеличивать l и уменьшать c.

23. Станемъ разсматривать распредѣленіе пара въ различныхъ положеніяхъ кулисы; мы увидимъ, что:

$$x = r\left(Sn\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}Cs\beta\right)Cs\alpha + \frac{ur}{c}Cs\beta\, Sn\alpha = ACs\alpha + BSn\alpha$$

Поставимъ кулису въ мертвую точку, т. е. положимъ, что $u=0$; тогда $B=0$. На чертежѣ это выразится такимъ образомъ (т. к. $B=0$), что окружность діаграммы имѣетъ свой центръ на линіи мертвыхъ точекъ кривошипа и распредѣленіе пара происходитъ совершенно такимъ-же образомъ, какъ будто эксцентриситетъ эксцентрика по направленію совпадаетъ съ кривошипомъ поршня.

Вмѣстѣ съ измѣненіемъ величины u, измѣняются также и величины A и B; а какъ координаты центра круга діаграммы суть $\frac{A}{2}$ и $\frac{B}{2}$, то значитъ вмѣстѣ съ измѣненіемъ u измѣняется и положеніе центра этого круга, чтобы ясно представить себѣ законъ этого измѣненія, вспомнимъ, что при $u=0$ координаты центра круга суть:

$$x' = \frac{r}{2}\left(Sn\beta + \frac{c}{l}Cs\beta\right); \quad y' = 0;$$

Перенесемъ въ эту точку начало координатъ и обозначимъ черезъ ξ, η координаты центра круга діаграммы, отнесенныя къ новому началу и соотвѣтствующія произвольной величинѣ u; тогда:

$$\xi = \frac{A}{2} - x' \quad ; \quad \eta = \frac{B}{2};$$

Вставляя сюда вмѣсто A, B, x' ихъ найденныя значенія, получимъ:

$$\xi = -\frac{ru^2}{2lc}Cs\beta; \qquad \eta = \frac{ur}{2c}Cs\beta;$$

Исключая сюда u, находимъ ур-іе кривой, которая представляетъ геометрическое мѣсто, занимаемое центрами круговъ діаграммы при различныхъ значеніяхъ u въ такомъ видѣ:

$$\eta^2 = \frac{rl.Cs\beta}{2c}.\xi;$$

и отсюда видимъ, что величина ξ можетъ быть только отрицательною, и кривая, изображающая послѣдовательныя положенія центра вспомогательнаго круга, есть парабола, обращенная вогнутостью къ центру круга, изображающаго движеніе кривошипа.

24. Теперь остается рѣшить еще одинъ вопросъ, относящійся къ кулисѣ Стефенсона и состоящій въ томъ, какимъ образомъ нужно подвѣсить эту кулису, что-

бы по крайней мѣрѣ весьма приблизительно исполнилось предположеніе, служащее основаніемъ ея теоріи, и состоящее въ томъ, что величина U отъ α вовсе независитъ, т. е. что если мы поставим кулису такъ, что она при одномъ положеніи кривошипа прикасается къ головкѣ стержня золотника на разстояніи U отъ средины кулисы, то эта головка остается на томъ же разстояніи U, отъ этой средины во все время вращенія вала. — Чтобы это было исполнено, очевидно необходимо, чтобы точка кулисы, въ которой прикасается къ ней головка стержня, двигалась по направленію стержня, съ цѣлью приблизиться по возможности къ выполненію этого условія, нужно подвѣсить кулису такъ, чтобы по крайней мѣрѣ точка, за которую она подвѣшена, двигалась какъ можно ближе къ прямой, изображающей направленіе стержня. — Но кулису можно подвѣсить только такимъ образомъ, чтобы она висѣла на одномъ концѣ рычага, другой конецъ которого соединяется съ рычагомъ, находящимся подъ рукою машиниста; слѣд. кулиса при каждомъ изъ различныхъ градусовъ расширенія будетъ подвѣшена къ неподвижной точкѣ. — Поэтому точка подвѣса ни въ какомъ случаѣ не будетъ двигаться по прямой, а станетъ описывать дугу круга и слѣд. остается подвѣсить кулису такъ, чтобы хорды, проведенныя черезъ концы дугъ, описываемыхъ точкою привѣса кулисы при различныхъ ея градусахъ, были всѣ параллельны между собою и параллельны направленію стержня золотника. Поэтому: центръ вращенія тѣла, подвѣшивающей кулису, долженъ быть расположенъ на перпендикулярѣ къ стержню золотника, проходящемъ черезъ положеніе, занимаемое точкою привѣса кулисы въ среднемъ ея положеніи. — Сверхъ того, чтобы дуга, описываемая кулисою, какъ можно менѣе разнилась отъ прямой, параллельной направленію движенія стержня необходимо, чтобы подвѣшивающая тяга была по возможности длинная. — Чтобы выполнить эти условія, нужно сначала отыскать положенія a и b (фиг. 52) занимаемыя точкою, за которую подвѣшена кулиса при одной и при другой мертвой точкѣ кривошипа, прямую ab сдѣлать параллельною стержню золотника, изъ средины m возставить перпендикуляръ и центръ вращенія тяги расположить на этомъ перпендикулярѣ въ возможно большемъ разстояніи отъ стержня золотника. — Чтобы отыскать положенія точки привѣса кулисы при мертвыхъ точкахъ поршня, положимъ, что кулиса подвѣшена за свою средину и найдемъ абсциссу точки подвѣса, т. е. ея разстояніе отъ центра вала (линія OK) (ф. 53) при произвольномъ направленіи кривошипа.

$$OK = OD - DK$$

гдѣ, по вышенайденному:

$$OD = r\sin(\alpha+\beta) + l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} + \frac{cu}{l} + \frac{(c-u)r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{r^2}{2l}\cos^2(\alpha+\beta)$$

а

$$DK = ED + EK = AE\sin\delta + EJ\sin\delta = AJ\sin\delta = c\sin\delta$$

Но

$$\sin\delta = \frac{u}{l} + \frac{r}{c}\sin\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\sin\beta\cos\alpha - \frac{ur}{cl}\cos\beta\cos\alpha + \frac{r^2}{4cl}\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\}$$

Подставляя этотъ выраженіе для DK, получимъ, (сокративши и пренебрегши членами пропорціональными $\frac{r^2}{2l}$).

$$OK = r\sin\beta\cos\alpha + \frac{rc}{l}\cos\beta\cos\alpha + \frac{ur}{l}\sin\beta\sin\alpha + l - \frac{c^2+u^2}{2l}$$

Это есть величина абсциссы точки привѣса, при какомъ угодно углѣ α. Чтобы найти абсциссы точки привѣса при одной и другой мертвой точкѣ кривошипа,

подставимъ сюда вмѣсто α значенія $0°$ и $180°$. Полагая $\alpha = 0°$, получимъ

$$OK' = r\sin\beta + \frac{cr}{l}\cos\beta + l - \frac{c^2+u^2}{2l}$$

А подставляя вмѣсто α — $180°$, получимъ:

$$OK'' = r\sin\beta - \frac{cr}{l}\cos\beta + l - \frac{c^2+u^2}{2l}$$

Средняя ариѳметическая этихъ значеній представитъ собою абсциссу точки привѣса кулисы въ срединѣ ея размаха. Эта абсцисса будетъ:

$$x' = l - \frac{c^2+u^2}{2l}$$

Если мы расположимъ центръ вращенія тяги на перпендикулярѣ, проходящемъ черезъ точку, имѣющую эту абсциссу, то точка привѣса кулисы будетъ качаться по дугѣ, которой хорда параллельна направленію стержня; если притомъ эту тягу сдѣлаемъ столь длинною, какъ только это возможно, то условіе правильной подвѣски кулисы будетъ исполнено для того градуса расширенія, коему соотвѣтствуетъ величина u. - Если назовемъ черезъ l' длину тяги, подвѣшивающей кулису, то высота точки вращенія надъ стержнемъ золотника будетъ очевидно $l' - u\cos\varepsilon$, гдѣ ε есть уголъ кулисы съ перпендикуляромъ къ направленію стержня золотника при среднемъ положеніи кулисы; принимая, какъ прежде $\cos\varepsilon = 1$, получимъ, что ординатою центра вращенія есть $l' - u$; абсцисса этого центра по предъидущему равна:

$$l - \frac{c^2+u^2}{2l}$$

Такимъ образомъ опредѣлится центръ вращенія тяги, подвѣшивающей кулису, для каждаго значенія u; вмѣстѣ съ измѣненіемъ u должны измѣняться и координаты центра вращенія. - При $u = 0$, эти координаты будутъ:

$$x_0' = l - \frac{c^2}{2l}; \quad y_0' = l';$$

Обозначая черезъ x' и y' координаты того-же центра при какомъ другомъ значеніи u, перенося начало координатъ въ точку $x_0'\ y_0'$ и называя координаты центра вращенія, отнесенныя къ новому началу черезъ ξ и η получимъ:

$$\xi = x' - x_0' = -\frac{u^2}{2l}; \quad \eta = y' - y_0' = -u$$

откуда:

$$\frac{\eta}{2l} = \frac{u^2}{2l} = -\xi$$

$$\eta^2 = -2l\xi$$

Т.е. центръ вращенія тяги, подвѣшивающей кулису при измѣненіи u долженъ описывать параболу, коей параметръ равенъ удвоенной длинѣ шатуна. -

Но мы подвѣшиваемъ нашу кулису такимъ образомъ, что подвѣшивающая точка описываетъ не параболу, а окружность, поэтому желательно, чтобы эта окружность имѣла радіусъ, по возможности близкій къ радіусу кривизны нашей параболы въ ея вершинѣ. А т.к. радіусъ кривизны нашей параболы равняется l, то плечо рычага, къ коему подвѣшена кулиса должно по длинѣ равняться шатуну эксцентрика. - Это условіе рѣдко можно исполнить, т.к. рычагъ выходитъ уже слишкомъ длиненъ. - Въ такомъ случаѣ дѣлаютъ плечо рычага для подвѣса кулисы гораздо короче, не смотря на то, что это влечетъ за собою нѣкоторую неправильность въ распредѣленіи пара и слѣд. увеличеніе расхода топлива. -

Въ подобныхъ случаяхъ надо рычагъ, къ коему подвѣшивается кулиса сдѣлать возможно близкимъ къ длинѣ шатуна и для этого можно поступать слѣд. образомъ: выбравъ длину подвѣшивающей тяги сообразно съ мѣстными условіями, найдемъ правильное

положение центра вращения этой тяги для мертвой точки кулисы и ея двух послѣднихъ градусовъ. — Пусть эти точки будутъ A, B, C; если черезъ эти точки нельзя провести окружность, центръ которой удобно было укрѣпить, то передвигаемъ B и C параллельно направленію стержня въ B' и C' до тѣхъ поръ, пока не получимъ возможности провести черезъ A, B' и C' окружность, которой центръ укрѣпляется безъ затрудненія. Тогда B' и C' представятъ крайнія положенія того конца рычага къ коему подвѣшивается. — Въ этимъ положеніямъ и нужно сдѣлать зубья на дугѣ, находящейся при рычагѣ, коимъ дѣйствуетъ машинистъ. Замѣтимъ, что ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ для удобства установки измѣнять положенія точки A, соотвѣтствующей мертвой точкѣ кулисы; иначе можетъ случиться, что при мертвой своей точкѣ, кулиса будетъ распредѣлять паръ такъ, что онъ будетъ продолжать работать, и машину нельзя будетъ остановить, черезъ постановку кулисы въ мертвую точку. —

Буквально то-же самое разсужденіе прилагается и къ тому случаю, когда кулиса подвѣшена къ нижней точкѣ а не къ срединѣ. —

25. Чтобы перейти къ кулисѣ съ перекрещивающимися шатунами, нужно употребить слѣд. правило: возьмемъ двѣ кулисы изъ коихъ одна съ перекрещивающимися шатунами (ф. 54) A, а другая съ неперекрещивающимися B. — Первое положеніе кулисы т.е. A можно получить изъ втораго т.е. B, перевернувъ кулису (B) на 180° около линіи мертвыхъ точекъ, и т.к. при этомъ C сдѣлается равнымъ —C, то подставивъ это значеніе въ преждевыведенныя нами формулы, мы можемъ примѣнить ихъ къ этому новому случаю, такъ, что особыхъ какихъ либо выводовъ при этомъ не встрѣтится. —

26. Кулиса Гуча образована выпуклостью къ центру вала и привѣшена къ неподвижной точкѣ (ф. 56). — Стержень золотника оканчивается шатуномъ, головка котораго скользитъ внутри кулисы, и шатунъ этотъ подвѣшенъ такою A къ рычагу могущему вращаться около неподвижной точки m. — Такимъ образомъ, чтобы перевести золотникъ изъ одного положенія въ другое, мы передвигаемъ уже не самую кулису (которая въ настоящемъ случаѣ подвѣшена къ неподвижной точкѣ и перемѣщаться не можетъ), а шатунъ стержня, который у насъ подвѣшенъ, такъ, что приводя головку этого шатуна въ прикосновеніе съ различными точками кулисы, мы можемъ сообщить нашему золотнику то или другое движеніе. — Чтобы сдѣлать нужное вычисленіе, допустимъ (какъ это приблизительно и бываетъ), что кулиса подвѣшена за среднюю точку своей хорды и воспользуемся тѣми данными, которыя мы имѣли уже раньше. — Сначала опредѣлимъ уголъ δ. Чтобы этотъ мы опредѣляли прежде въ томъ предположеніи, что на направленіи движенія стержня лежитъ произвольная точка кулисы; а т.к. въ настоящемъ случаѣ на направленіи движенія стержня золотника постоянно находится средняя точка кулисы, то выраженіе для δ здѣсь будетъ проще и для опредѣленія его слѣдуетъ только въ прежде выведенномъ нами выраженіи для δ положить $u=0$. — Такимъ образомъ получимъ, отбрасывая членъ, пропорціональный $\frac{r^2}{2l}$:

$$\operatorname{tg}\delta = \frac{r}{c}\operatorname{tg}\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\operatorname{tg}\beta\operatorname{tg}\alpha.$$

Главный вопросъ и здѣсь точно такой же, какъ и въ кулисѣ Стефенсона состоитъ въ томъ, чтобы опредѣлить разстояніе между положеніемъ золотника, соотвѣтствующимъ какому угодно положенію кривошипа и среднемъ положеніемъ золотника. — Видя перемѣ-

кулары dD, fF и CE, получимъ, что длина

$$OB = OG + GD - DE - EF + FC + CB.$$

Выражая въ входящія сюда величины посредствомъ угла вращенія кривошипа и элементовъ распредѣлительнаго прибора, найдемъ:

$$OG = r\,Sn(\alpha+\beta)$$

гдѣ r есть эксцентриситетъ эксцентрика

$$GD = \sqrt{l^2 - \{c\,Cs\delta - r\,Cs(\beta+\alpha)\}^2}$$

Полагая здѣсь $Cs\delta = 1$, и сохраняя только два первые члена развертыванія квадратнаго корня получимъ:

$$GD = l - \frac{1}{2}\left\{\frac{c - r\,Cs(\alpha+\beta)}{l}\right\}^2$$

или преобразовывая и отбрасывая членъ пропорціональный $\frac{r^2}{l}$ получимъ:

$$GD = l - \frac{c^2}{2l} + \frac{cr\,Cs(\beta+\alpha)}{l} = l - \frac{c^2}{2l} + \frac{cr}{l}Cs\beta\,Cs\alpha - \frac{cr}{l}Sn\beta\,Sn\alpha$$

$$DE = (c-u)Sn\delta = r\,Sn\alpha\,Cs\beta - \frac{ur}{c}Sn\alpha\,Cs\beta - \frac{cr}{l}Sn\alpha\,Sn\beta + \frac{ru}{l}Sn\alpha\,Sn\beta$$

Далѣе, если только радіусъ дуги, которымъ описана кулиса, достаточно великъ, то EF можно считать равнымъ ef, а ef (какъ и въ кулисѣ Стефенсона) $= \frac{c^2-u^2}{2\rho}$ (гдѣ ρ есть радіусъ кулисы). И такъ:

$$EF = \frac{c^2-u^2}{2\rho}$$

(5) нарѣвая fc черезъ l'; получимъ:

$$Fc = \sqrt{l'^2 - (fF)^2}$$

Но fF можно принять равнымъ разстоянію между головкою шатуна, подъемлющаго золотникъ и срединою кулисы, т.е. положить $Fj = u$. Тогда будетъ:

$$Fc = \sqrt{l'^2 - u^2} = l' - \frac{u^2}{2l'}.$$

Если далѣе длину стержня золотника CB означимъ черезъ l'', то вставляя всѣ найденныя величины въ выраженіе для OB (послѣ сокращенія) будемъ имѣть:

$$OB = r\,Sn\beta\,Cs\alpha + \frac{cr}{l}Cs\beta\,Cs\alpha + \frac{ur}{c}Sn\alpha\left(Cs\beta - \frac{c}{l}Sn\beta\right) + l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'} - \frac{c^2}{2\rho}$$

Полагая, что $\alpha = 0$, получимъ для одной изъ мертвыхъ точекъ:

$$OB' = r\left\{Sn\beta + \frac{c}{l}Cs\beta\right\} + l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}$$

А полагая $\alpha = 180°$, получимъ для другой мертвой точки:

$$OB'' = -r\left\{Sn\beta + \frac{c}{l}Cs\beta\right\} + l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}$$

Средняя ариѳметическая этихъ двухъ разстояній будетъ:

$$OB''' = l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}$$

Изъ этого выраженія, зависящаго отъ u видимъ, что если не примемъ особыхъ мѣръ, то вообще положеніе золотника при лѣвой мертвой точкѣ поршня, относительно лѣваго окна не будетъ одинаково съ его положеніемъ относительно праваго окна при правой мертвой точкѣ поршня, что этого, какъ увидимъ, допустить нельзя и слѣд. нужно выбрать размѣры распредѣлительнаго механизма такъ, чтобы OB''' отъ u независѣло; для этого достаточно положить $l' = \rho$, т.е. взять радіусъ кулисы равнымъ не длинѣ шатуна эксцентрика (какъ это въ Стефенсоновой кулисѣ), а длинѣ шатуна, идущаго къ стержню золотника. — Чтобы опредѣлить разстояніе x отъ средняго положенія золотника до того, которое онъ занимаетъ при углѣ α вращенія вала, нужно изъ OB вычесть OB''' и мы получимъ (полагая $l' = \rho$)

$$x = r\left\{Sn\beta + \frac{c}{l}Cs\beta\right\}Cs\alpha + \frac{ur}{c}\left(Cs\beta - \frac{c}{l}Sn\beta\right)Sn\alpha.$$

Если означимъ черезъ A и B коэфиціенты при Cos α и Sin α въ послѣднемъ равенствѣ, то получимъ опять, что:

$$x = A\,\mathrm{Cos}\,\alpha + B\,\mathrm{Sin}\,\alpha$$

гдѣ A и B отъ α независятъ. — Чтобы начертить діаграмму, опредѣляющую распредѣленіе пара съ помощію этой кулисы, надо сдѣлать такое-же построеніе, какъ выше сдѣлано для кулисы Стефенсона. — Коэфиціентъ A въ этомъ выраженіи независитъ отъ U, т.е. отъ такъ наз. градуса расширенія, и вслѣдствіе того, абсцисса центровъ круговъ діаграммы, изображающихъ распредѣленіе пара при различныхъ градусахъ расширенія, всѣ равны, а самые центры лежатъ всѣ на одной прямой, перпендикулярной къ линіи мертвыхъ точекъ, и круги эти пересѣкаютъ линію мертвыхъ точекъ въ одной и той же точкѣ. — Отсюда слѣдуетъ, что линейное опереженіе со стороны впуска будетъ, при кулисѣ Гука независимо отъ градуса расширенія. — Это обстоятельство и составляетъ достоинство кулисы Гука; но она состоитъ изъ бо́льшаго числа отдѣльныхъ частей, чѣмъ кулиса Стефенсона, а потому сложнѣе этой послѣдней. —

Кромѣ разсмотрѣнныхъ двухъ кулисъ существуетъ еще много другихъ. Изъ нихъ кулиса Аллана отличается тѣмъ, что въ ней и кулиса и стержень подвижны и подвѣшены на 2-хъ плечахъ одного и того-же рычага ab (ф. 57). — Цѣнность линейнаго опереженія со стороны впуска въ этой кулисѣ меньше, чѣмъ въ Стефенсоновской, но все таки существуетъ. — Поэтому она хуже, чѣмъ кулиса Гука, и будучи сложнѣе ея едва ли можетъ быть рекомендована къ употребленію

27. Чтобы опредѣлить размѣры частей кулисы, замѣтимъ, что когда головка стержня золотника придвинута къ концу кулисы, то нашъ механизмъ дѣйствуетъ, какъ простой эксцентрикъ, къ шатуну котораго придвинута головка золотника. — Слѣд. эксцентрицитетъ и уголъ опереженія эксцентриковъ опредѣляется безъ затрудненій, когда зададимъ себѣ условія распредѣленія пара при крайнихъ градусахъ кулисы. — Длина шатуновъ эксцентриковъ будетъ взята наибольшая, какую только допускаютъ мѣстныя обстоятельства, а длина кулисы по возможности дѣлается малою. — Довольно часто въ этомъ случаѣ встрѣчаются слѣдующія отношенія:

$$\frac{\text{длина кулисы}}{\text{эксцентрицитетъ}} = 5-9\,;\quad \frac{\text{длина шатуна}}{\text{эксцентрицитетъ}} = 20-30$$

Радіусъ кулисы согласно найденному выше, должно сдѣлать равнымъ длинѣ шатуна золотника. — Затѣмъ, по вышесказанному найдемъ центръ вращенія и длину рычага къ которому подвѣшена кулиса. — Тогда геометрическое расположеніе частей кулисы опредѣлено и остается только придать частямъ надлежащіе размѣры. — Усиліе дѣйствующее на кулису, есть сопротивленіе движенію золотника, представляющее собою то треніе, которое золотникъ испытываетъ во время своего движенія. — Это треніе происходитъ подъ давленіемъ, равнымъ давленію пара въ котлѣ на всю поверхность золотника безъ давленія атмосферы на ту часть поверхности, которая сообщается съ выпускною трубою. — Полагая, что усиліе, равное этому тренію дѣйствуетъ на средину кулисы, очевидно можемъ себѣ представить кулису въ видѣ балки, поддерживаемой по концамъ и подвергнутой изгибающему усилію посрединѣ; ширину кулисы нужно взять такъ, чтобы площадь прикосновенія головки стержня съ кулисою была, по возможности, большая, причемъ давленіе, допускаемое на единицу площади кулисы, не должно

превышать двадцати kgr на □ cent.-

28. Разсмотримъ теперь размѣры распредѣлительнаго прибора.-

Самая существенная часть этихъ размѣровъ есть безъ сомнѣнія паровые пролеты, служащіе для прохода пара въ цилиндръ. Они должны быть достаточно велики, для того, чтобы паръ могъ свободно проходить въ цилиндръ, не теряя замѣтно свое давленіе на этомъ переходѣ, теоретическое опредѣленіе этихъ размѣровъ было-бы до крайности сложно и трудно, а потому мы обращаемся къ разсмотрѣнію существующихъ машинъ, чтобы найти тѣ размѣры, которые выработаны для этого практикою.-

Разсматривая различныя существующія постоянныя паровыя машины, мы находимъ въ этомъ отношеніи большое разнообразіе; а именно, есть машины, въ которыхъ отношеніе между площадью поршня и впускного окна составляетъ 40, 30, 20 и 10. Но нетрудно замѣтить, что лишь въ весьма небольшомъ числѣ машинъ встрѣчаются числа близкія къ 40 и къ 10; въ наибольшемъ числѣ это отношеніе весьма близко къ 20, а при разсмотрѣніи таблицы, заключающей въ себѣ до 30 существующихъ машинъ можно убѣдиться, что мы не отступимъ сколько нибудь замѣтно отъ встрѣчающихся размѣровъ, если для скоростей поршня не большихъ чѣмъ одинъ метръ, примемъ отношеніе между площадью впускного пролета и площадью поршня $\frac{1}{25}$, а при скоростяхъ отъ 1 m. до 1,25 met возьмемъ это отношеніе равнымъ $\frac{1}{20}$ и наконецъ при скоростяхъ около 1,52 met. примемъ это отношеніе $= \frac{1}{15}$. Что касается до выпускного пролета, то онъ дѣлается болѣе впускного и только въ рѣдкихъ случаяхъ дѣлается ему равнымъ, а также рѣдко превосходитъ его болѣе, чѣмъ въ два раза; обыкновенно-же отношеніе между площадями выпускного и впускного отверстія бываетъ отъ 1,25 до 1,5.- Отношеніе между шириною и высотою пролета также встрѣчается довольно разнообразное.- Есть машины, въ которыхъ это отношеніе составляетъ 12, и есть машины, гдѣ оно $=3$; всего чаще встрѣчаются числа близкія къ 6, причемъ высота окна имѣетъ величину очень близкую къ $\frac{1}{10}$ части діаметра поршня.-

Въ пароходныхъ машинахъ, размѣры котлъ собраны въ сочиненіи Фремеховымъ, для пароходовъ съ лопатками, ходящихъ обыкновенно медленнѣе, чѣмъ винтовые встрѣчаются слѣдующія величины отношенія между площадью поршня и площадью парового пролета:

31,25 ; 25,64 ; 26,31 ; 22,73 ; 20 ; 22,22 ; 40 ; 16,95 ; 15,38 ; 25 ; 35,71 ;

Какъ видно и здѣсь встрѣчаются значительныя колебанія разсматриваемаго отношенія.- Принимая во вниманіе, что слишкомъ большое отверстіе менѣе вредно, чѣмъ слишкомъ малое, изъ предъидущихъ чиселъ можно заключить, что для пароходныхъ машинъ съ лопатками, отношеніе площади поршня, къ площади впускного отверстія можетъ быть принято $=20$. Въ тѣхъ-же машинахъ отношеніе между площадями впускного и выпускного отверстій имѣетъ слѣд. величины:-

1,44 ; 1,91 ; 1,27 ; 1,70 ; 1,67 ; 1,56 ; 1,35 ; 2,44 ; 2,18 ;

Изъ этихъ чиселъ видно, что принимая разсматриваемое отношеніе равнымъ 1,5 мы получимъ числа весьма близко подходящія къ обыкновенно употребляемымъ.-

Для этихъ-же машинъ, отношеніе между шириною и высотою впускного окна имѣетъ величины:-

5,5; 8,5 ; 7,6 ; 7,3 ; 6,5 ; 18 ; 22 ; 8 ; 13,3 , 9,4 ; -

Какъ видно наиболѣе часто встрѣчающіяся значенія этого отношенія заключены между 7 и 9. — Для пароходныхъ винтовыхъ машинъ имѣемъ по наблюденіямъ это отношенія слѣдующія числа для отношенія между площадью поршня и поперечнымъ сѣченіемъ парового впускного окна:

20; 16; 13; 14,10; 14,28; 13,16; 16,19; 13,51; 11,49; 10,99; 9; 13,16; 12,82; 16,39;

Изъ этихъ чиселъ видно, что наиболѣе часто встрѣчаются числа отъ 13 до 16; такъ, что принимая отношеніе это = 14, мы можемъ быть увѣрены, что пароходные размѣры не много будутъ отличаться отъ дѣйствительно употребляемыхъ. — Отношеніе между поперечными сѣченіями выпускного и впускного отверстій имѣетъ въ тѣхъ же машинахъ слѣдующія значенія:

1,67; 2,14; 1,65; 1,80; 1,82; 1,34; 1,2; 2,07; 1,95; 2,22; 1,71; 1,45; 1,50;

Среднее число этихъ отношеній очень близко къ 1,75 и можетъ быть принято къ руководству. — Отношеніе между шириною и высотою отверстія въ тѣхъ же машинахъ имѣетъ слѣд. величину:

8,3; 13,1; 9,3; 17; 8,6; 10; 11,2; 12; 17,4; 20; 8,8; 8,1. —

Среднее изъ этихъ чиселъ недалеко отъ 12, и могло бы служить для опредѣленія разсматриваемаго отношенія для всѣхъ строющихся машинъ. —

Въ локомотивахъ, которыхъ размѣры имѣются въ сочиненіи Лемаше, отношеніе площади поршня къ площади парового пролета имѣетъ слѣдующія величины:

11,98; 10,11; 8,81; 8,82; 7,96; 7,96; 7,22; 7,96; 7,22; 8,82;
7,96; 8,82; 7,22; 7,22; 6,29; 7,96; 5,26; 7,22; 7,22; 5,52.

Изъ этихъ чиселъ видно, что въ локомотивахъ, гдѣ поршень имѣетъ значительную скорость, паровые пролеты дѣлаются сравнительно больше, чѣмъ фабричныхъ и пароходныхъ машинахъ; какъ среднее изъ предыдущихъ чиселъ можно принять, что площадь парового пролета въ локомотивахъ составляетъ $\frac{1}{8}$ часть площади поршня. —

Отношеніе площади выпускного отверстія къ площади впускного, въ тѣхъ же локомотивахъ составляетъ:

1,6; 1,7; 1,9; 2; 1,9; 1,8; 1,9; 1,8; 1,9; 1,9; 1,9; 1,9; 2; 1,8; 1,8; 1,8; 2,2; 2,7; 2,1;

Эти числа какъ видно очень близки къ 2, такъ, что можно принять, что площадь выпускного отверстія въ локомотивахъ вдвое больше площади впускного. —

Отношеніе ширины къ высотѣ впускного отверстія для тѣхъ же локомотивовъ имѣетъ слѣдующія величины:

4,37; 9,53; 6,25; 7,5; 7,5; 8; 7,5; 6; 7,5; 6,25; 6,13; 8; 7,38; 8; 8,5; 7,15; 7; 7,78; 11,6; 7. —

Эти числа показываютъ, что хотя и существуютъ значительныя отступленія отъ средняго числа, но, 7,5 можетъ быть принято за нормальную величину отношенія между шириною и высотою впускного отверстія. —

Перегородки, отдѣляющія впускное и выпускное отверстія, должно дѣлать такой величины, чтобы закраина золотника съ обѣими своими перекрышами (наружною и внутреннею) могла на нихъ помѣщаться. —

Нерѣдко встрѣчаются отступленія отъ этого правила; не едва ли эти отступленія не должно признать конструктивною ошибкою; для возможно-безпрепятствен

наго движенія пара черезъ пролетъ, ширину перегородки не слѣдуетъ дѣлать меньше, чѣмъ длина закраины, а для возможнаго уменьшенія площади, на которую производится давленіе, не слѣдуетъ ширину перегородки дѣлать больше, чѣмъ длина закраины.-

Каналъ, служащій для провода пара въ цилиндръ иногда дѣлаютъ съ высотою чуть чуть большею, чѣмъ высота пролета съ цѣлью имѣть возможность безъ затрудненія обработать края отверстій, которые должны быть совершенно прямые и не имѣть никакихъ задѣрин. Для объясненія этого прилагается чертежъ (фр. 58).

Высота коробки, составляющей золотникъ, должна быть дѣлаться не меньше, чѣмъ высота выпускнаго отверстія, для выстриганія пара, выходящаго изъ выпускнаго отверстія подъ золотникъ, находящагося въ свободномъ помѣщеніи, но иногда при недостаткѣ мѣста высоту коробки золотника дѣлаютъ и меньше, во всякомъ случаѣ она не должна быть меньше, чѣмъ высота выпускнаго окна.-

29. Стѣнки золотниковъ дѣлаются обыкновенно отъ 1,5 до 3 cent толщиною; самая обыкновенная ихъ толщина составляетъ 2 cent: стержень, приводящій золотникъ въ движеніе имѣетъ обыкновенно такое устройство, что его можно удлинять или укорачивать безъ затрудненія, что необходимо для надлежащей выверки золотника при сборкѣ машины. Для этого стержень снабжается винтомъ, который и служитъ для измѣненія его длины. Иногда, впрочемъ довольно рѣдко, винтъ этотъ располагается при соединеніи золотника со стержнемъ.- Большею частью онъ находится на другомъ концѣ стержня при соединеніи его съ шатуномъ эксцентрика, какъ изображено на (фр. 59).- Въ этомъ случаѣ A есть ось, соединяющая стержень золотника съ шатуномъ эксцентрика; B есть вилка, надѣтая на стержень C и закрѣпленная посредствомъ двухъ гаекъ.- Соединеніе золотника со стержнемъ должно быть сдѣлано такимъ образомъ, чтобы золотникъ могъ безпрепятственно подаваться по направленію перпендикулярному къ плоскости его прикосновенія съ цилиндромъ.- Это совершенно необходимо, т.к. въ противномъ случаѣ истираніе закраинъ золотника и стѣнки цилиндра можетъ имѣть своимъ послѣдствіемъ неплотное между ними прикосновеніе.- Имѣя это въ виду поступаютъ слѣдующимъ образомъ: или отливаютъ вмѣстѣ съ золотникомъ лапки, между коими помѣщается гайка, служащая для скрѣпленія золотника со стержнемъ, согласно изображенному на (фр. 60) или на золотникъ надѣвается коробка, съ которою (фр. 61) стержень соединяется неизмѣннымъ образомъ, а между коробкою и золотникомъ устраивается пружина, наседающая золотникъ къ поверхности цилиндра, или и то дѣлается всего чаще (фр. 62) на золотникъ накладывается дѣльная рамка съ приваренными или привинченными къ обоимъ противоположнымъ сторонамъ стержнями.- Одинъ изъ нихъ служитъ для сообщенія золотнику движенія, а другой, проходя черезъ сальникъ и выходя наружу, служитъ только для направленія движенія.-

Иногда высоты пролетовъ для впуска пара выходятъ черезъ чуръ велики; въ этомъ случаѣ, для уменьшенія эксцентриситета эксцентрика раздѣляютъ эти пролеты по высотѣ на нѣсколько равныхъ частей, устраивая въ золотникѣ также нѣсколько закраинъ (изъ которыхъ каждая, конечно, должна быть снабжена пол-

ною наружною и полною внутреннею перекрышею), и дѣлая надлежащія сообщенія посредствомъ каналовъ между средней частью золотника и тѣми полостями, въ которыя входитъ паръ изъ отверстій не прилегающихъ къ выпускному каналу. Примѣромъ этому можетъ служить золотникъ, изображенный на (фр. 63) и состоящій собственно изъ трехъ золотниковъ, соединенныхъ между собою каналами a, a изъ нихъ средній служитъ для закрытія и открытія двухъ среднихъ отверстій и сообщенія ихъ попеременно съ котломъ и съ выпускною трубою, а два крайнихъ служатъ для закрыванія и открыванія крайнихъ отверстій и для попеременнаго сообщенія ихъ то съ котломъ, то съ каналами a, a и черезъ ихъ посредство съ выпускною трубою D. — Иногда золотники эти устраиваются нѣсколько иначе, а именно, какъ изображено на фр. 64 гдѣ заштрихованныя вертикальныя полости сообщаются съ котломъ, и вся остальная внутренность коробки съ выводящею паръ трубою D. —

30. Усиліе нужное для движенія золотника опредѣляется главнымъ образомъ треніемъ его о поверхность прикосновенія со стѣнкою цилиндра. — Это треніе происходитъ подъ давленіемъ, оказываемымъ на обѣ стороны золотника паромъ, приходящимъ изъ котла въ распредѣлительную коробку и паромъ, уходящимъ изъ цилиндра въ выводную трубу, причемъ давленіе, производимое на коробку золотника въ мѣстахъ ея прикосновенія со стѣнкою цилиндра, уравновѣшиваетъ оба давленія. — Если наз. черезъ h (фр. 64) высоту впускного окна, черезъ b его ширину, черезъ a наружную и черезъ e внутреннюю перекрышу, черезъ $(1+\delta)h$ высоту выпускнаго окна и черезъ ε толщину боковыхъ стѣнокъ коробки, соприкасающихся со стѣнками цилиндра, то подвергающаяся сверху давленію пара, приходящаго изъ котла, поверхность золотника будетъ:

$$\{(1+\delta)h+2(h+a+e)+2(h+a)\}(b+2\varepsilon)$$

Подвергающаяся же снизу давленію выходящаго пара поверхность золотника будетъ:

$$\{(1+\delta)h+2(h+a)\}b$$

эти двѣ поверхности измѣняются во все время движенія золотника и измѣняетъ тѣмъ также давленіе, производимое на нихъ паромъ. — Поверхности, стоящія противъ оконъ паровыхъ каналовъ, какъ и подвергающееся давленіе на нихъ производимое, при разныхъ положеніяхъ золотника, будутъ различны; если для большей простоты вычисленій принять, что эти давленія равны нулю, то усиліе, прижимающее золотникъ къ цилиндру будетъ:

$$P\{(1+\delta)h+2(h+a+e)+2(h+a)\}(b+2\varepsilon)-P'\{(1+\delta)h+2(h+a)\}b$$

гдѣ P есть давленіе пара, притекающаго въ цилиндръ, и P' давленіе пара, выходящаго изъ цилиндра; это усиліе будетъ очевидно болѣе, чѣмъ дѣйствительное, а потому, принимая это выраженіе за величину усилія, прижимающаго золотникъ и разсчитывая прочность всѣхъ частей сообразно съ нимъ, мы можемъ быть увѣрены, что эти части не будутъ слабы, а нѣсколько излишняя прочность въ нихъ не вредитъ, т. к. неизмѣнность всѣхъ частей, передающихъ движеніе распредѣлительному прибору, есть одно изъ важнѣйшихъ условій правильности его дѣйствія, и правильнаго хода машины. — Величина усилія, которое нужно для передвиганія золотника, составляетъ приблизительно 0,08 величины давленія. — Вычислимъ это

усилія для машины, для которой имѣются слѣдующія числа:

$$b = 2,5;\quad h = 3,8;\quad a = 1;\quad c = 0,2;\quad \varepsilon = 2,5;\quad \delta = 1;\quad P = 8;\quad P' = 1,$$

тогда будетъ:

$$P\{(1+\delta)h + 2(h+a+c) + 2(h+a)\}(b+2\varepsilon) = 8.30.27,2 = 6528.$$

$$P'\{(1+\delta)h + 2(h+a)\}b = 1,25 \times 17,2 = 430$$

Слѣд. усилія, преодолѣвающее золотникъ въ поверхности скольженія, будетъ 6098 кгр. принимая, какъ это сказано выше, что коэфиціентъ тренія = 0,08 мы получимъ, что усилія для движенія молотка необходимое составляетъ:

$$0,08 \times 6098 = 488 \text{ кгр.}$$

Предполагая, что наши числа относятся къ локомотиву, что колесо его имѣетъ въ окружности 4 mt, что эксцентриситетъ эксцентрика составляетъ 6 cent., а длина кривошипа 30 cm. и что локомотивъ идетъ со скоростью 40 километровъ въ часъ, мы получимъ слѣдующія числа для опредѣленія работы, затрачиваемой на движеніе золотника.

Число оборотовъ колесъ въ теченіе часа:

$$\frac{40,000}{4} = 10,000$$

Число оборотовъ колесъ въ секунду:

$$\frac{10,000}{3600} = 2,78.$$

Путь, проходимый золотникомъ въ 1"

$$2 \times 12 \times 2,78 = 66,72 \text{ cent} = 0,6672 \text{ mt}$$

Работа, затрачиваемая для движенія золотника въ секунду:

$$488 \times 0,6672 = 326 \text{ кгмет., или } 4\tfrac{2}{5} \text{ лош. силы.}$$

Къ этому надо присоединить еще работу тренія на эксцентрикѣ; и какъ діаметръ его при обыкновенномъ діаметрѣ осей въ 17 cent нельзя сдѣлать меньше 36 cent., то путь, проходимый точкою приложенія давленія давленія на эксцентрикѣ будетъ въ секунду:

$$2,78 \times 1,13 = 3,14 \text{ mt.}$$

а потому работа тренія будетъ:

$$0,08 \times 488 \times 3,14 = 122 \text{ килограммметра}$$

всего получается 450 килограммметровъ въ секунду, или иначе 6 лош. силъ.—

При большихъ золотникахъ, какіе напр. встрѣчаются въ пароходныхъ машинахъ, эта потеря становится еще больше.—

31. Значительная потеря, происходящая отъ тренія золотника съ поверхностью его прикосновенія съ цилиндромъ, давно уже привела къ мысли, по возможности разгружать золотникъ т.е. устраивать его такимъ образомъ, чтобы онъ былъ совсѣмъ ненадолго паромъ, на поверхность прикосновенія, или былъ прижимаемъ къ этой поверхности весьма слабо.—

Первый уравновѣшенный золотникъ былъ устроенъ Уаттомъ, слѣдующимъ образомъ: (фф. 65, 66, 67, 68), къ паровому цилиндру, съ той стороны, гдѣ находится впускное отверстіе (2,2) привинченъ своею плоскою стороною полуцилиндръ (C, C, C, C), въ которомъ находятся два расширенія или коробки, служащія для помѣщенія набивки.— Внутри этого полуцилиндра можетъ двигаться другой полу-

цилиндръ (dd), снабженный закраинами (bb). — Къ этому полуцилиндру нажимаются набивки (gg) при помощи наклонныхъ плоскостей E' (ф. 67, 68), образующихъ боковыя стѣнки коробки, клиньевъ (10, 10) и нажимательныхъ винтовъ (14, 14). —

Полуцилиндръ dd внутри пустой, съ обоихъ концовъ открытый, онъ соединенъ со стержнемъ (a), дѣйствіемъ котораго и приводится въ движеніе. — Низъ полуцилиндра (cc) сообщается съ холодильникомъ F. — Понятно изъ чертежа, какимъ образомъ производится распредѣленіе пара, притекающаго изъ котла трубою E'' (ф. 65) и вытекающаго изъ цилиндра по пустотѣ золотника въ холодильникъ F. — Т. к. паръ изъ котла окружаетъ золотникъ со всѣхъ сторонъ между набивками, то его давленія на золотникъ уравновѣшиваютъ другъ друга; точно также уравновѣшиваются и давленія пара холодильника, имѣющіяся лишь только внутри трубы золотника. —

Такимъ образомъ этотъ золотникъ нисколько не нажатъ паромъ на стѣнку цилиндра и его движеніе происходитъ чрезвычайно легко. — Неудобства этого золотника состоятъ въ томъ во первыхъ, что паръ, притекающій изъ котла, находилъ въ постоянномъ прикосновеніи съ длинною трубкою, сообщающуюся съ холодильникомъ, значительно охлаждается; во 2-хъ въ трудности поддерживать набивку въ исправномъ состояніи особенно при сколько нибудь высокомъ давленіи; первое неудобство можетъ быть устранено, если раздѣлить золотникъ на двѣ части и устроить его отдѣльно отъ верхняго и отдѣльно отъ нижняго отверстія; но второе неудобство остается въ полной силѣ, и было причиною того, что этотъ золотникъ въ настоящее время совершенно оставленъ и замѣняется коробчатымъ золотникомъ. —

Попытокъ уравновѣсить коробчатый золотникъ было сдѣлано чрезвычайно много. Самое простое средство къ этому представляется въ уничтоженіи верхней стѣнки золотника, отдѣляющей сообщенное съ холодильникомъ пространство отъ распредѣлительной коробки (ф. 69). — Это средство представляется на первый взглядъ вполнѣ достигающимъ цѣли, но жаль, что такое устройство весьма ненадежно, ибо малѣйшее вытираніе достаточно для того, чтобы золотникъ не прилегалъ плотно къ крышкѣ распредѣлительной коробки, а слѣдствіемъ этого будетъ прямой токъ пара изъ котла въ холодильникъ. —

Для устраненія этого недостатка были придуманы различныя средства:

1. Гиръ предложилъ сдѣлать стѣнку, къ которой прилегаетъ верхняя часть золотника, подвижною, и положеніе ея регулировать посредствомъ двухъ винтовъ (ф. 70). —
2. Стуръ предложилъ сдѣлать крышку въ видѣ наклонной плоскости (ф. 71) и регулировать надлежащее прикосновеніе золотника къ этой наклонной плоскости посредствомъ двухъ боковыхъ винтовъ. —
3. Якобсъ предложилъ сдѣлать золотникъ въ видѣ треугольной призмы (ф. 72, 73) и нажимать на нее другую треугольную призму посредствомъ винтовъ, проходящихъ черезъ крышку распредѣлительной коробки. —

Всѣ эти три способа, въ сущности представляющіе различныя примѣненія одного и того-же принципа, оказались непрактичными, вслѣдствіе крайней затруднительности регулировать прикосновеніе золотника съ плоскостью, нажимаемою къ нему посредствомъ винтовъ. —

Совершенно своеобразное уравновѣшение золотника сдѣлано Ковелье (ф. 74). Онъ сдѣлалъ распредѣлительную коробку подвижною и соединилъ съ нею золотникъ, приведши паръ въ коробку черезъ отверстіе въ стѣнкѣ цилиндра. Но, какъ въ этомъ случаѣ давленіе пара поднимаетъ всю распредѣлительную коробку, то для уравновѣшиванія ея на верхнюю плоскость коробки положена пара катковъ, надѣваемыхъ на коробку доскою, которая посредствомъ четырехъ винтовъ, пристянута къ цилиндру. Это устройство могло бы быть примѣнено къ небольшимъ машинамъ, и на парижской выставкѣ 1867 г. была машина Бурдона, снабженная такимъ приспособленіемъ. — Какъ видно этотъ способъ уравновѣшиванія имѣетъ ту общую сторону съ вышевычисленными, что положеніе опорной поверхности золотника регулируется посредствомъ винтовъ, и выгодно въ примѣненіи онъ встрѣтилъ бы то же затрудненіе, что и при предыдущемъ способѣ.

Не гораздо совершеннѣйшее устройство представляетъ собою уравновѣшенный золотникъ съ самодѣйствующимъ регулированіемъ. Типъ такого устройства представляетъ золотникъ Филиппа Мейера, въ которомъ доска, прилегающая къ верхней поверхности золотника, представляетъ (ф.) снабженное отверстіемъ дно цилиндра, соединяющагося посредствомъ сальника съ крышкою распредѣлительной коробки; доска, закрывающая этотъ сальникъ надавливается сверху избыткомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ холодильника, съ коимъ сообщена полость вышеупомянутаго цилиндра; этимъ способомъ дно цилиндра довольно плотно прижато къ золотнику; описанное устройство можетъ быть употребляемо для машинъ, съ охлажденіемъ пара; но на его исправность не всегда можно положиться.

Кромѣ вышеупомянутыхъ есть еще особые способы уравновѣшиванія золотниковъ, состоящіе въ томъ, чтобы часть ихъ поверхности подвергалась весьма низкому давленію, имѣющемуся въ холодильникѣ, причемъ, конечно, приходится отдѣлять эту часть поверхности отъ остальной, посредствомъ набивокъ.

Фф. изображаютъ золотникъ, въ которомъ набивка, отдѣляющая поверхность, подвергающуюся низкому давленію, надѣвается посредствомъ пара. — Какъ видно къ золотнику привинченъ кругъ CD, тщательно обработанный по наружной окружности; на этотъ кругъ надѣто кольцо GH и промежутокъ между ними наполненъ набивкою изъ пеньки или каучука. — Своими закраинами кольцо GH плотно прилегаетъ къ крышкѣ коробки, въ которой сдѣлано отверстіе, сообщающееся съ холодильникомъ. — Давленіе пара на кольцеобразную нижнюю часть кольца GH, плотно прижимаетъ его къ крышкѣ и не позволяетъ пару производить давленіе сверху на поверхность CD, которая такимъ образомъ вмѣсто давленія паромъ, приходящимъ изъ котла, подвергается давленію пара, уходящаго въ холодильникъ. — Въ этомъ случаѣ діаметръ круга CD можетъ быть выбранъ такъ, чтобы разность давленій на нижнюю и верхнюю его стороны совершенно уравновѣшивала давленіе, прижимающее золотникъ къ его опорной плоскости тогда сопротивленіе движенію золотника будетъ состоять въ треніи кольца GH, производимаго давленіемъ пара на его поверхность.

Весьма часто встрѣчается подобное же устройство, въ которомъ надѣвается золотникъ посредствомъ кружекъ (ф.). Обыкновенно въ верхней доскѣ золотника уст-

раливается кривой желобъ, внутри котораго помѣщается набивочное кольцо, которое спиральными или плоскими пружинами, лежащими на днѣ желоба, надавливается къ крышкѣ распредѣлительной коробки, въ которой оканчивается маленькая трубочка, соединенная съ холодильникомъ. - Ясно, что этотъ золотникъ отличается отъ предъидущаго лишь тѣмъ, что набивочное кольцо надавливается къ крышкѣ распредѣлительной коробки не давленіемъ пара а пружинами. -

Весьма оригинальный способъ уравновѣшиванія золотника представляетъ еще соединеніе золотника посредствомъ небольшой тяги съ поршнемъ, могущимъ ходить въ сальникѣ, вдѣланномъ въ крышкѣ распредѣлительной коробки (фиг.); оно могло бы считаться рѣшительнымъ отвѣтомъ на вопросъ объ уравновѣшеніи золотника, если-бы не было соединено съ важнымъ практическимъ неудобствомъ, состоящимъ въ томъ, что тяга по необходимости употребляется весьма короткая, вслѣд. чего, разрѣшается, она во время движенія золотника, принимаетъ положеніе значительно уклоняющееся отъ горизонта, который самъ перекашивается портитъ набивку и скоро приходитъ въ негодность.

Кажется наилучшій способъ уравновѣшенія золотника состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать часть его поверхности подвижною по направленію перпендикулярному къ торцовой плоскости и эту часть поверхности подпереть независимо отъ плоскости скольженія золотника посредствомъ подставки, движеніе которой, получаемое по вліянію перемѣщенія золотника, должно-быть связано съ возможно меньшимъ числомъ сопротивленій. - На этой идеѣ основанъ золотникъ, устроенный Це (Zeh) и изображенный на (фиг). - Съ золотникомъ вмѣстѣ отлитъ короткій цилиндръ открытый съ обѣихъ сторонъ, отверстія этого цилиндра закрыто поршнемъ, прилегающимъ плотно къ стѣнкамъ, а снизу этотъ поршень подпертъ подставкою, могущею вращаться около точки своей опоры. - Понятно, что во время движенія золотника, подставка наклоняется то вправо, то влѣво, и поршень постоянно находится въ движеніи. - Противъ этаго устройства можно сдѣлать только то возраженіе, что и здѣсь встрѣчается косвенное давленіе подставки на поршень, которое должно портить набивку и приводить золотникъ въ негодность, а также и то, что при этомъ устройствѣ все таки возникаетъ треніе между стѣнками цилиндра и поршнемъ, которое увеличиваетъ сопротивленіе, встрѣчаемое золотникомъ при движеніи. -

Оба эти возраженія устранены въ золотникѣ Линдера, который (фиг.) отличается отъ вышеописаннаго золотника только тѣмъ, что подставка внизу не имѣетъ неподвижной точки, а снабжена дугою, которая можетъ катиться по тщательно отдѣланной поверхности, служащей ей опорою; эта дуга, описанная изъ центра, лежащаго въ точкѣ соединенія подставки съ поршнемъ и разумѣется, что при такомъ устройствѣ получается, что:

1) Поршень не имѣетъ вертикальнаго движенія внутри цилиндра. -

2) Направленіе прямой, соединяющей опорную точку подставки съ точкою ея соединенія съ поршнемъ, всегда идетъ по оси поршня. -

Единственное треніе, которое здѣсь встрѣчается, вслѣдствіе самаго уравновѣшивающаго устройства, есть треніе въ точкѣ соединенія подставки съ поршнемъ, но при ничтожномъ плечѣ, на которомъ дѣйствуетъ здѣсь треніе, это обстоятельство

не имѣетъ никакого практическаго значенія.-

Въ видѣ этихъ вышеуказанныхъ достоинствъ уравновѣшеннаго золотника Линдера прилагаются, (фр) детальные чертежи этого золотника для машинъ безъ расширенія пара, и соединеніе этого золотника съ Мейеровскими пластинками для машинъ съ расширеніемъ пара.- Чертежи довольно ясны, а потому здѣсь не помѣщается подробное ихъ описаніе, но присовокупляется только нѣсколько замѣчаній.-

Изображенныя на этихъ чертежахъ пружины служатъ къ тому, чтобы золотникъ не отжимывался кверху при перемѣнѣ хода и въ случаѣ сильнаго сжатія пара внутри цилиндра.

Для плотнаго прилеганія набивки поршня къ цилиндру золотника, въ задъ набивочнаго кольца проведенъ паръ изъ распредѣлительной коробки посредствомъ нѣсколькихъ отверстій.- Подставка, пластинка по которой она катится и упорный центръ выпорчиваются изъ закаленной стали.-

Замѣтимъ, что въ обоихъ представленныхъ чертежахъ золотникъ не вполнѣ уравновѣшенъ, а съ него снята только часть давленія; нетрудно измѣнить конструкцію такимъ образомъ, чтобы уравновѣшеніе было болѣе полное, но вполнѣ уравновѣшивать золотникъ и нежелательно, дабы онъ нѣсколько прижимался къ стѣнкѣ, содержащей паровые проломы не пропускалъ пара.-

32. Въ большихъ паровыхъ машинахъ устройство распредѣленія посредствомъ золотниковъ встрѣчаетъ весьма большія неудобства, какъ по трудности устраивать эти золотники уравновѣшенными, такъ и потому, что устройство ихъ бываетъ сопряжено съ необходимостью сдѣлать значительныя вредныя пространства. Вслѣдствіе этого, для большихъ паровыхъ машинъ преимущественно употребляются клапаны съ двойнымъ сѣдломъ, приводимые въ движеніе кулачными эксцентриками.- Эти уравновѣшенные клапаны представляютъ весьма большія преимущества сравнительно съ золотниками, а именно:

1) Движеніе ихъ требуетъ сравнительно весьма небольшой силы, т.к. давленіе пара на нихъ можно почти вполнѣ уравновѣсить

2) они очень быстро закрываютъ и открываютъ паровыя окна и слѣд. при ихъ употребленіи избѣгается въ паровыхъ машинахъ необратимое явленіе, состоящее въ переводѣ пара при маломъ отверстіи изъ коробки, имѣющей большое давленіе въ цилиндръ, имѣющій меньшее давленіе

3) при ихъ употребленіи значительно уменьшается вредное пространство, т.к. клапаны могутъ быть расположены возлѣ самыхъ впускныхъ и выпускныхъ отверстій.

Эти преимущества столь значительны, что съ избыткомъ вознаграждаютъ нѣсколько большую сложность устройства и нѣсколько большую дороговизну такихъ машинъ, сравнительно съ тѣми, которыя дѣйствуютъ золотникомъ.- Описанная выше и изображенная на (фр) машина Зульцера представляетъ одинъ изъ наилучшихъ примѣровъ употребленія клапановъ въ качествѣ распредѣлительныхъ приборовъ.-

Правила для проэктированія паровыхъ машинъ

Въ цѣлью вывести практически удобныя правила для руководства при составленіи проэктовъ паровыхъ машинъ, прежде всего постараемся вывести выраженіе для ея работы въ возможно простомъ видѣ. — При этомъ назовемъ черезъ:

P_0 — давленіе пара въ цилиндрѣ до начала расширенія

p — перемѣнное давленіе пара во время расширенія или сжатія

P_1 — давленіе пара на нерабочую сторону поршня во время выпуска.

Обозначимъ сверхъ того черезъ:

V — объемъ, описываемый поршнемъ машины во время полнаго размаха

εV — объемъ, имъ описываемый во время впуска пара.

$\varepsilon' V$ — объемъ вреднаго пространства

$\varepsilon'' V$ — объемъ, описываемый поршнемъ во время сжатія

yV — перемѣнный объемъ расширяющагося или сжимающагося пара

Въ такомъ случаѣ очевидно работа, доставляемая паромъ, дѣйствующимъ въ рабочей части цилиндра можетъ быть представлена состоящею изъ двухъ частей:

а) Работы во время впуска, причемъ паръ сохраняетъ свое полное давленіе. Величина этой работы будетъ: $P_0 \varepsilon_0 V$

б) Работы во время расширенія, при чемъ паръ, по мѣрѣ того, какъ занимаетъ постепенно все большій и большій объемъ, вмѣстѣ съ тѣмъ понижаетъ свое давленіе. Если принять, что стѣнки цилиндра вовсе не имѣютъ на дѣйствіе пара никакого вліянія, то расширеніе пара будетъ совершаться по адіабатической линіи, и его давленіе p въ то мгновеніе, когда онъ занимаетъ объемъ yV очевидно опредѣлится приблизительно упрощеннымъ ур-мъ адіабатическои линіи, которое (если примемъ въ соображеніе что то-же самое количество пара занимало въ началѣ расширенія объемъ $(\varepsilon + \varepsilon')V$ и имѣло давленіе P_0, можетъ быть написано такимъ ур-мъ:

$$p(yV)^{\mu} = p_0\{(\varepsilon + \varepsilon')V\}^{\mu}$$

или

$$py^{\mu} = p_0(\varepsilon + \varepsilon')^{\mu}$$

Гдѣ μ есть извѣстный изъ теоріи паровъ показатель, зависящій отъ первоначальной пропорціи x пара въ смѣси и выражающійся суммою

$$1{,}035 + 0{,}1x$$

Принимая эту зависимость между объемомъ расширяющагося пара и давленіемъ, найдемъ его работу во время расширенія слѣд. образомъ:

$$\int_{y=\varepsilon+\varepsilon'}^{y=1+\varepsilon'} pd(yV) = P_0(\varepsilon + \varepsilon')^{\mu} V \int_{y=\varepsilon+\varepsilon'}^{y=1+\varepsilon'} \frac{dy}{y^{\mu}} = \frac{P_0 V}{\mu - 1}\left\{1 - \left(\frac{\varepsilon + \varepsilon'}{1 + \varepsilon'}\right)^{\mu-1}\right\}$$

Такимъ образомъ полная работа пара въ рабочей части цилиндра будетъ:

$$P_0 V\left\{\varepsilon + \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{\mu - 1}\left[1 - \left(\frac{\varepsilon + \varepsilon'}{1 + \varepsilon'}\right)^{\mu-1}\right]\right\}$$

Работа пара въ нерабочей части цилиндра будетъ состоять тоже изъ двухъ частей: изъ работы во время выпуска и работы во время сжатія. — Объ этои работы будутъ отрицательныя и первая изъ нихъ будетъ очевидно: $-p_1 V(1 - \varepsilon'')$. —

Работа-же во время сжатія найдется подобно тому, какъ и работа расширяющагося

пара, а именно допуская здѣсь измѣненіе по адіабатической линіи, и называя черезъ μ' сумму: $1{,}035 + 0{,}1x'$ гдѣ x' есть пропорція пара въ смѣси при началѣ сжатія, мы получимъ, что давленіе p сжимаемого пара въ тотъ моментъ, когда объемъ его есть yV будетъ опредѣляться ур-мъ:

$$p\,(yV)^{\mu'} = p_1\{(\varepsilon' + \varepsilon'')V\}$$

или

$$py^{\mu'} = p_1(\varepsilon' + \varepsilon'')^{\mu'}$$

и работа пара во время его сжатія будетъ:

$$\int_{y=\varepsilon'+\varepsilon''}^{y=\varepsilon'} p\,.\,d(yV) = p_1V(\varepsilon'+\varepsilon'')^{\mu'}\int_{y=\varepsilon'+\varepsilon''}^{y=\varepsilon'} \frac{dy}{y^{\mu'}} = -\frac{p_1V(\varepsilon'+\varepsilon'')}{\mu'-1}\left\{\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-1} - 1\right\}$$

и слѣд. работа пара во время размаха поршня отъ одной мертвой точки до другой выразится черезъ:

$$V\left[p_0\left\{\varepsilon + \frac{\varepsilon-\varepsilon'}{\mu-1}\left(1-\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon''}{1+\varepsilon'}\right)^{\mu-1}\right)\right\} - p_1\left\{1-\varepsilon''+\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\mu'-1}\left(\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-1}-1\right)\right\}\right]$$

Эта работа расходуется на преодолѣніе полезныхъ и вредныхъ сопротивленій, дѣйствующихъ на машину въ теченіе ея размаха; называя черезъ:

a ... величину полезныхъ сопротивленій, отнесенную къ единицѣ площади поршня

f ... величину вредныхъ сопротивленій, преодолѣваемыхъ машиною, когда она ходитъ порожняя.

$\delta\omega$ ... величину тѣхъ вредныхъ сопротивленій, которыя являются вслѣдствіе того, что машина ходитъ не порожняя, а преодолѣваетъ полезныя сопротивленія; (ω) — которыя происходятъ отъ усиленія давленій на всѣхъ поверхностяхъ тренія и т. п.

При этихъ обозначеніяхъ, работа полезныхъ и вредныхъ сопротивленій составитъ во время размаха:

$$[\omega(1+\delta) - f]V$$

Приравнивая эту работу выше-найденной работѣ, доставленной паромъ, и полагая для краткости:

$$\varepsilon + \frac{\varepsilon+\varepsilon'}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'}\right)^{\mu-1}\right\} = \alpha\,; \quad 1-\varepsilon''+\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\mu'-1}\left\{\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-1}-1\right\} = \beta\,;$$

найдемъ:

$$\{\omega(1+\delta)+f\}V = V(\alpha p_0 - \beta p_1)$$

отсюда:

$$\omega = \frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{1+\delta} \quad \text{и} \quad \omega V = \frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{1+\delta}\,V \;\ldots\ldots (a)$$

Первые изъ двухъ выраженій послѣдней строки изображаетъ полезное сопротивленіе, преодолѣваемое каждой единицей площади поршня машины, а второе даетъ полезную работу, доставляемую машиною въ теченіе одного оборота.

Если хотимъ получить работу, доставляемую машиною въ единицу времени, то объемъ V, описываемый поршнемъ въ одинъ размахъ, въ выраженіи (a) должны замѣнить объемомъ, описываемымъ поршнемъ въ единицу времени, т. е. выраженіемъ CF, гдѣ C есть скорость поршня и F его площадь, такъ, что принимая за единицу времени секунду, и наз. черезъ N число лошадиныхъ силъ, представляющихъ полезную работу машины, и выражая F въ квадратныхъ метрахъ, C въ линейныхъ метрахъ, а p_0, f и p_1 въ килогр. на □ mt, найдемъ:

$$75N = \frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{1+\delta}\,CF \;\ldots\ldots (1)$$

Къ этому равенству слѣдуетъ присоединить еще ур-е, выражающее зависимость между числомъ n оборотовъ машины въ минуту, скоростью поршня C и длиною l

его паровика. Тогда ур-іе будетъ:

$$2nl = 60c \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Выраженіе вѣса пара, расходуемаго въ теченіе каждаго размаха, вычисленное съ совершенною точностью будетъ весьма сложно, т. к. съ одной стороны часть пара, приходящаго въ цилиндръ осаждается на его стѣнкахъ и затѣмъ, во время выпуска испаряется, а другая часть его расходуется на наполненіе вреднаго пространства, которое заключаетъ въ себѣ нѣкоторое количество пара, зависящее отъ степени сжатія его въ нерабочей части цилиндра; послѣднее количество впрочемъ всегда невелико и для простоты можно вычислять соотвѣтствующую ему потребность пара для машины, предполагая, что машина на каждый размахъ тратитъ количество пара, необходимое для наполненія, какъ всего объема, описываемаго поршнемъ до начала расширенія, такъ и всего вреднаго пространства. — Поэтому, если оставимъ въ сторонѣ бытіе стѣнокъ, то наз. черезъ $x_0 u_0$ пропорцію пара въ цилиндрѣ въ концѣ впуска, а черезъ U его цѣлый объемъ, найдемъ, что вѣсъ M пара, истрачиваемаго въ одинъ размахъ выразится черезъ:

$$M = \frac{(\varepsilon + \varepsilon')U}{x_0 u_0 + \sigma}$$

и количество пара, которое тратится въ 1 секунду будетъ:

$$S = \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{x_0 u_0 + \sigma}\, c.F \quad \ldots\ldots \quad (3)$$

Если отмѣтимъ черезъ q_0 и Q теплоты жидкости питательной воды и смѣси, выходящей изъ котла, а черезъ X пропорцію пара въ этой смѣси, и черезъ R скрытую теплоту заключенного въ ней пара, то количество теплоты, расходуемой изъ котла въ одну секунду будетъ:

$$S[Q - q_0 + XR] = cF(\varepsilon + \varepsilon')\frac{Q + q_0 + XR}{x_0 u_0 + \sigma} \quad \ldots\ldots (4)$$

Эти четыре равенства даютъ намъ зависимости, существующіе между элементами, входящими въ рѣшеніе вопроса о проэктированіи машины.

Когда требуется проэктировать паровую машину, то обыкновенно даются: 1) число лошадиныхъ силъ, для котораго должна быть устроена машина. 2) Наибольшее давленіе, которое допускается въ котлѣ машины; оно въ настоящее время дѣлается довольно высокое: обыкновенно встрѣчается давленіе въ 6 атмосферъ, особенно для машинъ безъ охлажденія; для машинъ съ охлажденіемъ пара довольно часто употребляется давленіе около 3-хъ атмосферъ, нерѣдко впрочемъ оно также доходитъ до 6 атм.; для паровозовъ давленіе давно уже допущено до 9-ти атм. и въ настоящее время все чаще и чаще встрѣчаются постоянныя машины, работающія такимъ давленіемъ, причемъ для приготовленія пара преимущественно употребляютъ котелъ Говарда. 3) Давленіе выпускаемаго пара бываетъ атмосферное, въ случаѣ машинъ безъ охлажденія, около 1,3 атм. для машинъ въ котлахъ паръ употребляется на производство искусственной тяги (какъ въ паровозахъ) и отъ 0,1 до 0,2 въ машинахъ съ охлажденіемъ пара. — 4) Число оборотовъ машины въ минуту задается прямо только для такихъ машинъ, въ которыхъ главный валъ несетъ на себѣ прямо исполнительный механизмъ (какъ въ паровозахъ, машинахъ для пароходовъ съ лопастными колесами и др.). Если же между исполнительнымъ механизмомъ и главнымъ валомъ находится передача, то число оборотовъ машины находится во власти конструктора;

число оборотовъ встрѣчается весьма разнообразное; огромныя воздуходувныя машины часто дѣлаютъ около 10 оборотовъ въ 1', а на выставку 186 г. Витвортъ доставилъ машину, долженствующую дѣлать 1000 оборотовъ.-

Другихъ данныхъ, относящихся собственно къ работѣ машины, обыкновенно не даётся, а требуется опредѣлить всѣ ея элементы по этимъ даннымъ.-

Для этого нужно нѣкоторые элементы выбрать, а другіе опредѣлить съ помощью ур-ій, выведенныхъ.- Этотъ выборъ и опредѣленіе конечно нужно сдѣлать такимъ образомъ, чтобы машина была по возможности выгодна; причемъ конечно, необходимо обратить вниманіе главнымъ образомъ на расходъ топлива, приходящагося на 1 работы.-

Мы уже видѣли, что работа машины въ секунду, выражается на основаніи ур-ія (1) черезъ:

$$CF\frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{1+\delta}$$

а количество испаряемаго въ секунду пара, представляется на основаніи ур-ія (3) въ такомъ видѣ: $CF\frac{(\varepsilon+\varepsilon')}{x_0u_0+\delta}$.- Количество же теплоты, истрачиваемой въ секунду есть $CF(\varepsilon+\varepsilon')\frac{Q-q_0+XR}{x_0u_0+\delta}$.- Поэтому работа, доставленная каждою калоріею, изобразится черезъ:

$$\frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{(1+\delta)(\varepsilon+\varepsilon')}\cdot\frac{x_0u_0+\delta}{Q-q_0+XR} \quad \ldots\ldots \quad (A)$$

Всѣ элементы машины, должны быть избраны, очевидно такимъ образомъ, чтобы эта работа была по возможности большею; какъ видимъ она зависитъ отъ весьма многихъ величинъ, а именно отъ давленія рабочаго пара внутри цилиндра p_0; отъ давленія выпускаемаго пара p_1; отъ степени влажности пара, приходящаго въ цилиндръ x_0 и, выходящаго изъ котла X; отъ вредныхъ сопротивленій f и δ, и наконецъ отъ величинъ $\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon''$, которыя входятъ въ α и β.- Величины f и δ разумѣется должно стараться уменьшить по возможности, равно, какъ и величину p_1; величину p_0 должно стараться довести до давленія въ котлѣ; что касается до влажности пара, то представляется ясно самъ собою, что нужно по возможности употреблять паръ сухой, что же касается до вліянія величинъ $\varepsilon, \varepsilon', \varepsilon''$, то тутъ нужно объяснить, что вредное пространство EV всегда служитъ причиною потери, если только сжатіемъ паръ не доводится до давленія, равнаго давленію въ котлѣ, поэтому ε' нужно стараться уменьшить по возможности; а ε'' должно выбрать такъ, чтобы давленіе въ концѣ сжатія равнялось давленію въ котлѣ (*); но при такомъ сильномъ сжатіи значительно возрастаетъ объемъ

(*) Замѣтимъ, что разсматриваемое выраженіе работы, доставляемой каждой единицею теплоты, какъ будто показываетъ, что наивыгоднѣйшая величина ε'' есть 0; на самомъ дѣлѣ ε'' входитъ только въ β и т.к. β стоитъ въ (A) съ отрицательнымъ знакомъ, то очевидно, чѣмъ меньше будетъ β, тѣмъ выгоднѣе будетъ дѣйствовать машина, если же возьмемъ производную отъ β по ε'' то получимъ:

$$\frac{d\beta}{d\varepsilon''} = -1 + \frac{1}{\mu'-1}\left\{\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-1} - 1\right\} + \left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-2} = -1 + \frac{1}{\mu'-1}\left\{\mu'\left(\frac{\varepsilon'+\varepsilon''}{\varepsilon'}\right)^{\mu'-1} - 1\right\}$$

что очевидно обращается въ 0 при $\varepsilon''=0$. Но это обстоятельство происходитъ отъ допущенной у насъ въ выраженіи (A) неправильности, по которой расходъ пара считается одинаковымъ, каково бы ни было сжатіе пара въ нерабочей части цилиндра. Если-бы вліяніе сжатія пара на его расходъ было принято во вниманіе, то результатъ получился бы тотъ самый, который упомянутъ въ текстѣ.-

машинъ, поэтому обыкновенно ε'' дѣлаютъ гораздо длиннѣе чѣмъ-бы это слѣдовало, на основаніи указаннаго правила. — Обыкновенная его величина составляетъ 0,04 до 0,1; а въ такомъ случаѣ почти безъ погрѣшности можно принять $\beta = 1$. —

Что касается до найвыгоднѣйшаго значенія ε, то взявъ для опредѣленія его производную отъ (A) по ε, и приравнявъ ее нулю, получимъ ур-іе, тождественное со слѣдующимъ:

$$\frac{d\left\{\frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{\varepsilon + \varepsilon'}\right\}}{d\varepsilon} = 0$$

т.к. β независитъ отъ ε, то это ур-іе приводится къ виду:

$$(\varepsilon + \varepsilon')\, p_0 \frac{d\alpha}{d\varepsilon} - (\alpha p_0 - f - \beta p_1) = 0 \quad \text{или} \quad p_0\left[(\varepsilon + \varepsilon')\frac{d\alpha}{d\varepsilon} - \alpha\right] + f + \beta p_1 = 0$$

Вставляя сюда на мѣсто α его значеніе, находимъ изъ него послѣ нѣсколькихъ преобразованій:

$$p_0\left(\frac{\varepsilon + \varepsilon'}{1 + \varepsilon'}\right)^n = p_0 \frac{\varepsilon_1}{1 + \varepsilon_1} + \frac{f + \beta p_1}{1 + \varepsilon_1}$$

Это ур-іе можно представить въ другомъ видѣ; такъ какъ:

$$p_0 (\varepsilon + \varepsilon')^n = p_1' (1 + \varepsilon')^n$$

гдѣ p_1' есть давленіе въ рабочей части цилиндра въ концѣ расширенія, то предъидущее равенство приведется къ слѣдующему:

$$p_1' = \frac{\varepsilon'}{1 + \varepsilon'} p_0 + \frac{f + \beta p_1}{1 + \varepsilon'}$$

Если-бы было $\varepsilon' = 0$ и $\varepsilon'' = 0$ т.е. если-бы не было вреднаго пространства и не происходило сжатія передъ началомъ впуска пара, то для p_1' получилось-бы выраженіе очень простое, а именно было-бы:

$$p_1' = f + p_1;$$

т.е. посредствомъ расширенія въ рабочей части должно-бы доводить давленіе пара до того, что оно равнялось-бы давленію выпускаемаго пара, сложенному съ вреднымъ противленіемъ, приходящимся на 1 площади поршня, когда машина ходитъ безъ нагрузки. —

Величину ε' въ большей части случаевъ можно принять равною $\frac{1}{20}$; величина f по опытамъ Помбура въ машинахъ высокаго давленія безъ охлажденія можетъ быть принята около 1,5 анг. фунт. на □ дюймъ или около $\frac{1}{10}$ атм. (1000 кг. на □ mt) равно, какъ и въ машинахъ низкаго давленія около 10 см.; а въ машинахъ низкаго давленія съ охлажденіемъ, около 100 мм. см., величина f составляетъ около 0,5 на □" или $\frac{1}{30}$ атм. (350 кг. на □ mt). — Въ машинахъ высокаго давленія безъ расширенія и съ охлажденіемъ (около 4 атм. и выше) Помбуръ считаетъ давленіе, производимое вреднымъ сопротивленіемъ въ 4 раза большимъ, чѣмъ въ машинахъ низкаго давленія; основаніе его разсчета заключается единственно въ томъ, что при одинаковой силѣ двухъ машинъ безъ расширенія и съ охлажденіемъ, изъ коихъ одна работаетъ съ давленіемъ около 4 атм. а другая съ давленіемъ въ 1 атм., поршень первой машины имѣетъ площадь вчетверо меньшую, чѣмъ поршень второй, а т.к. вредныя сопротивленія въ нихъ приблизительно одинаковы, то часть ихъ, приходящаяся на единицу площади въ первой машинѣ будетъ вчетверо меньше, чѣмъ въ второй, но если этотъ разсчетъ и можетъ быть допущенъ для паровыхъ машинъ безъ расширенія пара, то для машинъ съ расширеніемъ онъ будетъ положительно невѣренъ, т.к. вслѣдствіе болѣе значительнаго расширенія, употребляемаго при высокомъ давленіи, сравнительно съ низкимъ, площади поршней цилиндровъ вовсе не находятся въ обратномъ отношеніи давленій. —

Вообще этотъ вопросъ изслѣдованъ не въ достаточной степени; сравнительные опыты при

помощи индикатора и тормаза. Кроме были бы крайне необходимы, тѣмъ болѣе, что вліяніе скорости поршня и числа оборотовъ машины на величину f вовсе не изслѣдованы; т.к. этихъ опытовъ нѣтъ еще то окажется можно-бы было, прибѣгнувъ къ даннымъ Ком. бура, принимать при обыкновенныхъ, употребляемыхъ размѣрахъ машины средняя сопротивленія f, приходящіяся на каждую единицу площади поршня отъ 700 до 1400 кгр. такъ, что средняя величина f можетъ быть принята равною 1000 кгр или 0,1 атм.- Принимая это значеніе для f и, согласно вышесказанному, полагая $\varepsilon' = 0{,}05$ и $\beta = 1$ примемъ, что наивыгоднѣйшее давленіе пара въ концѣ расширенія, выраженное въ атмосферахъ, будетъ:

$$p_1' = 0{,}0476\, p_0 + 0{,}3524\, p_1 + 0{,}0952$$

поэтому получимъ: a) для машинъ безъ охлажденія ($p_1 = 1$ атм.)

при $p_0 =$ 2; 3; 4; 5; 6; 7; 8; 9;

$p_1' =$ 1,1428; 1,1904; 1,2380; 1,2856; 1,3332; 1,3808; 1,4284; 1,4760;

b) для машинъ съ охлажденіемъ пара ($p_1 = 0{,}1$ атм.)

при $p_0 =$ 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; 4,5; 5;

$p_1' =$ 0,2518; 0,2756; 0,2994; 0,3232; 0,3470; 0,3708; 0,3946; 0,4184;

сообразуясь съ этими числами и можно выбрать величину ε, т.е. ту часть размаха поршня, въ теченіе которой паръ дѣйствуетъ безъ расширенія.-

Разсмотримъ теперь какія значенія могутъ быть приписаны остальнымъ величинамъ, входящимъ въ (A).- Какъ упомянутая выше ε' измѣняется отъ 0,04 до 0,1; ε' обыкновенно бываетъ равнымъ 0,05, но есть нѣкоторыя машины, въ которыхъ эта величина достигаетъ 0,02, какъ въ Кормисовой машинѣ, гдѣ паровыхъ каналовъ почти нѣтъ.- Для f мы уже приняли среднюю величину въ 1000 кгр. на □ mt.; величина δ весьма приблизительно $= 0{,}14$; p_1 есть давленіе выпускаемаго пара, которое въ машинахъ съ охлажденіемъ составляетъ около 0,1 атм. въ машинахъ безъ охлажденія можетъ быть принято $= 1$ атм. и наконецъ въ паровозахъ и др. машинахъ, гдѣ выпускаемый паръ производитъ тягу можно принять $p_1 = 1{,}3$ атм.- Величина p_0 въ тѣхъ машинахъ, въ которыхъ регулированіе устроено посредствомъ измѣненія отсѣчки, можетъ быть принята равною давленію P въ котлѣ.- Но при проэктированіи машины, имѣя въ виду, что въ трубахъ могутъ встрѣтиться сопротивленія, а также и то, что слѣдуетъ принять въ соображеніе различныя недостатки въ исполненіи машины, должно изъ благоразумія принять p_0 нѣсколько менѣе P; во всякомъ случаѣ однако нѣтъ нужды относить на упомянутыя потери болѣе 20% и слѣд. полагать можно $p_0 = 0{,}9P$.- Въ машинахъ съ клапаномъ должно полагать $p_0 = 0{,}75P$. Съ помощью этихъ данныхъ легко вычислить величину

$$\frac{\alpha p_0 - f - \beta p_1}{1 + \delta}$$

которая представляетъ полезное сопротивленіе, приходящееся на единицу площади поршня.-

Затѣмъ должно выбрать скорость поршня, которую мы обозначимъ буквою c и длину размаха поршня l, а также и число оборотовъ n, которое дѣлаетъ машина въ минуту, если оно недано напередъ.- При этихъ величинахъ, какъ извѣстно связаны между собою ур-іемъ:

$$c = \frac{nl}{30}; \text{ или } 30c = nl;$$

изъ этого ур-ія видно, что увеличеніемъ n и при той-же скорости c поршня уменьшается l т.е. длина хода; цилиндръ дѣлается короче, кривошипъ и шатунъ, а так-

же и діаметръ вала становится меньше; по всѣмъ этимъ причинамъ цѣна машины уменьшается, и конечно, увеличивается работа вредныхъ сопротивленій, увеличивается отношеніе вреднаго пространства къ объему, описываемому поршнемъ, и требуется отъ машины чрезвычайно тщательная отдѣлка и выверка всѣхъ частей, принимающихъ какое либо участіе во вращеніи вала, т. к. въ противномъ случаѣ давленіе, оказываемое валомъ на опоры, будутъ подвергнуто весьма сильно измѣненіямъ и по величинѣ и по направленію, причиняетъ то, что валъ будетъ скоро раздиваться.—

Поэтому уменьшеніе стоимости машины, происходящее отъ чрезмѣрнаго увеличенія числа оборотовъ ея, не представляетъ собою выгоды и, хотя встрѣчается машина, дѣлающая чрезвычайно большое число оборотовъ, но они или составляютъ большую конструктивную ошибку, или вынуждаются необходимостью, или наконецъ, дѣлаются какъ образецъ тщательной отдѣлки.— Къ послѣднему разряду должно отнести паровую машину, выставленную Витвортомъ въ 1867 г. въ Парижѣ, и которая долженствовала дѣлать 1000 оборотовъ въ минуту.— Ко второму разряду должно отнести пассажирскіе паровозы, гдѣ весь выигрышъ вращенія главнаго вала (число оборотовъ котораго доходитъ до 300 и 400 въ минуту) невозможно достигнуть надлежащей скорости, къ этому же разряду относятся локомобили, въ которыхъ валъ дѣлаетъ часто до 200 оборотовъ и гдѣ эта быстрота вращенія необходима, чтобы машина была легка, безъ чего перевозка ея была бы затруднительна.— Сюда-же должно отнести нѣкоторые быстро-ходящіе механизмы.—

Для фабричныхъ машинъ можно принять, очевидно, что число оборотовъ, въ случаѣ легкихъ машинъ, больше, а въ случаѣ тяжелыхъ меньше, такъ, что это число будетъ зависѣть, какъ отъ системы, такъ и отъ силы машины.— Въ прежнее время, когда машины строились преимущественно съ коромысломъ, и отдѣлка была гораздо менѣе тщательная, вслѣдствіе несовершенства механическихъ средствъ для обработки металловъ довольно обыкновенно употреблялись слѣдующія правила:

a) Для машинъ съ охлажд. парами при числѣ лошадиныхъ силъ около:

	10;	20;	30;	40;	60;	100;	150;
число оборотовъ въ минуту:	30;	24;	22;	21;	20;	18;	16;

b) Для машинъ безъ охлажденія пара при числѣ лош. силъ около:

	10;	20;	30;	40;	60;	100;	150;
число оборотовъ въ минуту:	52;	45;	42;	40;	36;	33;	30;

Въ настоящее время числа эти стали приблизительно вдвое больше.—

Скорость поршня имѣетъ существенное вліяніе, какъ на число оборотовъ, такъ и на полезную работу, производимую машиною; въ эту послѣднюю она входитъ множителемъ вмѣстѣ съ площадью поршня, такъ, что при одной и той-же площади поршня, работа, доставляемая машиною, возрастаетъ пропорціонально скорости поршня, и при данной работѣ, площадь поршня можетъ быть сдѣлана тѣмъ меньше, чѣмъ больше его скорость.— При данной длинѣ размаха число оборотовъ машины пропорціонально скорости поршня и при данномъ числѣ оборотовъ, длина размаха пропорціональна скорости поршня.—

Разсматривая внимательно эти отношенія и принимая въ соображеніе, что:

1) Сборка машины должна быть тем тщательны, чем больше скорость поршня. –
2) Замѣтное уменьшеніе площади поршня при малыхъ машинахъ не представляетъ замѣтнаго уменьшенія въ ихъ цѣнности. –
3) Маленькія машины выходятся необходимо менѣе правильно, чѣмъ большія, въ которыхъ имѣются далѣе другъ отъ друга стоящія точки, служащія для опредѣленія направленія каждой прямой, играющей роль въ составѣ машины; вообще для малыхъ фабричныхъ машинъ, принимаютъ меньшую скорость поршня, чѣмъ для машинъ большой значительной силы. – Въ старину обыкновенно дѣлали:

при числѣ лош. силъ около	10;	30;	50;	80;	110;	150;
скорость поршня въ секунду	1;	1,2;	1,25;	1,33;	1,4;	1,5;

Нынѣ весьма рѣдко употребляется скорость поршня меньшая 1,3 mt въ секунду, а для большихъ машинъ 2 mt въ сек. представляетъ обыкновенную величину, которую рѣдко переходятъ, но которую весьма часто достигаютъ въ большихъ фабричныхъ машинахъ. – Сообразясь со всѣми обстоятельствами, и принимая опредѣленную скорость поршня и число оборотовъ легко уже опредѣлить затѣмъ площадь поршня F на основаніи ур-ія (1) изъ котораго находимъ:

$$F = \frac{75 N n}{c} \cdot \frac{1+\delta}{\alpha p_0 - \xi - \beta p}$$

Такимъ образомъ будутъ опредѣлены существенные размѣры машинъ по тѣмъ цѣлямъ, для которыхъ напередъ поставлены при ихъ проэктированіи. –

Для опредѣленія размѣровъ котла, необходимо исчислить количество производимаго въ единицу времени пара; если бы стѣнки котла вовсе не дѣйствовали и не осаждали прилодящаго въ цилиндръ пара, то, согласно предъидущему вѣсъ пара, расходуемаго въ одинъ часъ составлялъ бы:

$$3600 \frac{\varepsilon + \varepsilon'}{x_0 + u_0 + \sigma}$$

Но необходимо принять въ соображеніе что:
1) По существующимъ опытамъ весьма большое количество пара во время впуска осаждается на стѣнкахъ цилиндра во всѣхъ машинахъ, и затѣмъ это испаряется во время выпуска; количество этого осаждаемаго пара сравнительно въ машинахъ, снабженныхъ рубашкою и самое большое въ машинахъ съ неприкрѣпленнымъ цилиндромъ. –
2) Въ теоріи котловъ мы видѣли, что всякій данный котелъ производитъ ед-ть пара съ расходомъ топлива тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе предъ котла количество пара, и слѣд. не можетъ быть никакого вреда отъ того, что котелъ будетъ нѣсколько великъ. –
3) При устройствѣ котла должно имѣть въ виду, что потребность пара можетъ значительно увеличиться, какъ напр. въ томъ случаѣ, когда отъ машины временно потребуется работа большая обыкновенной и для этого расширеніе будетъ уменьшено и даже совсѣмъ уничтожено. –

Соединяя всѣ эти замѣчанія видимъ, что вообще весьма полезно и даже необходимо увеличивать котлы до возможно большей степени, и для этой цѣли можно слѣдовать правилу: пусть $\frac{K}{U}$ будетъ пропорція пара въ смѣси и цѣлый объемъ пара, приготовляемаго въ котлѣ, K – наибольшая часть размѣла, на которой при предвидѣнномъ работѣ паровъ можетъ производить впускъ его въ цилиндръ и ε' вредное пространство. –

Тогда для машинъ съ двойнымъ расширеніемъ цилиндровъ, надо дѣлать котлы такой силы, чтобы они могли доставлять въ часъ количество пара равное:

$$3 \times 3600 \frac{(\kappa+\varepsilon')cS}{X\mu+\delta}$$

Для машинъ съ цилиндрами, которые защищены посредствомъ хорошихъ проводниковъ:

$$2{,}5 \times 3600 \frac{(\kappa+\varepsilon')cS}{X\mu+\delta}$$

Для машинъ, снабженныхъ паровою рубашкою:

$$2 \times 3600 \frac{\kappa+\varepsilon'}{X\mu+\delta} cS$$

Судя по нижеприведеннымъ опытамъ, котлы, построенные на основаніи этого правила будутъ имѣть порядочный запасъ силы, который вредя въ какомъ случаѣ не принесетъ, и только нѣсколько возвыситъ цѣну котла. — Это возвышеніе впрочемъ, относительно стоимости всего устройства, будетъ несущественное, и удешевитъ издержки, вызванныя нѣсколько большимъ котломъ, съ избыткомъ вознаграждается большею дешевизною приготовляемаго пара. —

Что касается до величины X, входящей въ предъидущее выраженіе, то при составленіи проектовъ можно полагать:

$X = 1$ для котловъ, снабженныхъ сушильными приборами.

$X = 0{,}9$ для котловъ обыкновенныхъ цилиндрическихъ, не требующихъ всѣхъ сушильнаго аппарата.

$X = 0{,}8$ для требующихъ котловъ.

Замѣтимъ еще, что практики нерѣдко при разсчетѣ котла вовсе не принимаютъ въ соображеніе условій дѣйствія машины, и котлы разсчитываютъ въ этомъ случаѣ, предполагая, что каждая лошадиная сила машины, требуетъ отъ одного до $1\frac{1}{2}$ □м. метра площади нагрѣва. —

Нерѣдко для опредѣленія работы, производимой паровыми машинами, употребляютъ формулы, отличныя отъ изложенныхъ выше, но въ сущности представляющія собою ничто иное, какъ тѣ же выраженія, съ пропускомъ нѣкоторыхъ членовъ. — Такъ напр. если примемъ $\beta = 1$ и назвавъ черезъ e основаніе Неперовыхъ логариѳмовъ, представимъ величину α въ видѣ:

$$\varepsilon + \frac{\varepsilon+\varepsilon'}{\mu-1}\left\{1 - e^{(\mu-1)\log nat\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'}\right)}\right\}$$

то показанное выраженіе

$$e^{(\mu-1)\lg.nat\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'}\right)}$$

можемъ развернуть въ строку по степенямъ показателя и получ. слѣд. величину:

$$1 + (\mu-1)\lg.nat.\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'} + \frac{1}{1.2}(\mu-1)^2\left(\lg.nat.\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'}\right)^2 + \ldots\ldots$$

Вставляя это выраженіе въ α и отбрасывая члены пропорціональные $(\mu-1)^2$ найдемъ:

$$\alpha = \varepsilon - (\varepsilon+\varepsilon')\lg.nat.\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'} - \varepsilon + (\varepsilon-\varepsilon')\lg.nat.\frac{1+\varepsilon'}{\varepsilon+\varepsilon'}$$

Въ такомъ случаѣ формула (1) приведется къ слѣдующей:

$$75 N n = \frac{P\left\{\varepsilon + (\varepsilon+\varepsilon')\lg.nat.\left(\frac{1+\varepsilon'}{\varepsilon+\varepsilon'}\right)\right\} - f - p_0}{1+\delta} c.S.$$

Если пренебрегаемъ вредными сопротивленіями f, соотвѣтствующими случаю, когда машина находится безъ нагрузки; если пренебрегаемъ также величиною δ и вредными пространствами ε' и наконецъ положимъ $p_0 = P$, то получимъ:

$$75 N n = P\varepsilon . c . S\left(1 + \lg.nat.\frac{1}{\varepsilon} - \frac{P_1}{P\varepsilon}\right)$$

Эта формула, нерѣдко употребляемая для опредѣленія работы паровой машины, однако весьма несовершенна, а потому Понсле и Морен предложили исправить ее, умножая вторую ея часть на нѣкоторые практическіе коэфиціенты, найденные отчасти опытами, отчасти по соображенію съ существующими машинами. Мы приглашаемъ здѣсь таблицу этихъ коэфиціентовъ, довольно близко подходящую къ употребляемымъ въ практикѣ величинамъ:

поправочный коэфиціентъ — при числѣ Hp =	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100	121	144
a, для машинъ безъ расширенія и охлажденія	0,42	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,60	0,62	0,63	0,64	0,65	0,65
b, для машинъ безъ расширенія но съ охлажденіемъ. . . .	0,38	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,57	0,59	0,60	0,61	0,62	0,62
c, для машинъ съ расширеніемъ безъ охлажденія	0,30	0,33	0,36	0,40	0,43	0,47	0,51	0,54	0,57	0,58	0,58	0,58
d, для машинъ съ расширеніемъ и охлажденіемъ	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,44	0,47	0,49	0,51	0,52	0,52	0,52

Величины этихъ коэфиціентовъ довольно значительно ниже дѣйствительно получаемыхъ изъ опыта, вслѣдствіе чего обыкновенно и бываетъ, что опредѣленная съ помощію этихъ коэфиціентовъ сила машины, гораздо меньше дѣйствительной силы, а потому нерѣдко, при особенно тщательномъ выполненіи машины, величину коэфиціентовъ, содержащихся въ предъидущей таблицѣ увеличиваютъ на 20%.

Въ заключеніе не излишнимъ считаемъ упомянуть объ употребляющемся еще до сихъ поръ способѣ измѣренія работы машинъ посредствомъ такъ наз. номинальной силы. Уаттъ прямыми опытами надъ своими водоотливными машинами простаго дѣйствія нашелъ:

1) Что разность давленій на рабочую и нерабочую стороны поршня составляетъ въ этихъ машинахъ приблизительно 9 анг. фунтовъ на □ дюймъ площади поршня. 2) Что полная величина всѣхъ вредныхъ сопротивленій измѣняется отъ 1,5 до 2,5 фунтовъ на каждый □" площади поршня, при чемъ первое число относится къ большимъ машинамъ, и притомъ такимъ, за коими имѣется тщательный уходъ, а второе къ малымъ машинамъ при плохомъ ихъ содержаніи. На этомъ основаніи Уаттъ принялъ 7 анг. фунт. за полезное давленіе на каждый □" площади поршня для всѣхъ водоотливныхъ машинъ своей системы.

Распространяя то-же число на машины двойнаго дѣйствія, въ которыхъ вредныя сопротивленія существенно не отличаются отъ встрѣчающихся въ водоотливныхъ машинахъ, Уаттъ опредѣлялъ силу своихъ машинъ въ паровыхъ лошадяхъ, посредствомъ формулы:

$$N = \frac{7Fc}{33000}$$

гдѣ F площадь поршня, c путь, пробѣгаемый имъ въ одну минуту, выраженный въ анг. футахъ, а 33000 анг. фунто-футовъ, представляютъ работу въ теченіе минуты,

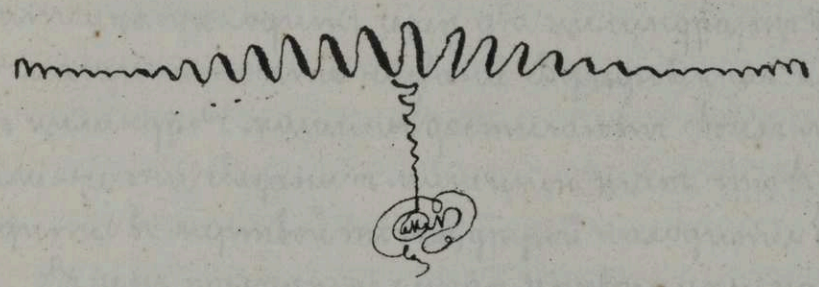
принятую Уаттомъ за одну паровую лошадь.- При этомъ величина С скорости поршня опредѣлялась Уаттомъ на основаніи слѣдующей таблицы.

Размахъ поршня:	4;	4,5;	5;	5,5;	6;	6,5;	7;	7,5;	8ф
Скорость поршня въ 1":	196;	204;	210;	216;	221;	226;	231;	236;	240ф.

Это правило Уатта, представляющее для машинъ, имъ устроенныхъ дѣйствительную полезную работу, сохранено англійскимъ адмиралтействомъ для опредѣленія номинальной силы морскихъ машинъ, не смотря на то, что въ нынѣшнихъ машинахъ дѣйствительное полезное давленіе (въ силу употребленія пара болѣе высокаго давленія и расширенія) значительно отличается отъ Уаттовскихъ семи фунтовъ; а также и скорость поршня въ большей части случаевъ, значительно превосходитъ, употреблявшуюся Уаттомъ.- Отъ этого происходитъ, что между номинальною и дѣйствительною силою машины имѣется огромная разница, а потому въ Англіи, независимо отъ номинальной силы находится въ употребленіи еще такъ наз. *индикаторская* сила опредѣленная по формулѣ:

$$N_u = \frac{(\text{сѣченіе цилиндра}) \times (\text{давленіе на } \square \text{ дюймъ}) \times (\text{скорость поршня въ минуту})}{33000}$$

куда вставляютъ на мѣсто давленія на □", выраженную въ англійскихъ фунтахъ разность между давленіемъ въ котлѣ и въ холодильникѣ и на мѣсто скорости поршня въ минуту, дѣйствительную его скорость.- Понятно, что это правило такъ-же неверно, т.к. не принимаемъ въ соображеніе вредныхъ сопротивленій, расширенія пара и потери давленія при переходѣ изъ котла въ цилиндръ, такъ, что если номинальная сила значительно меньше дѣйствительной, то индикаторская превосходитъ дѣйствительную силу.- Поэтому неудивительно, что во многихъ машинахъ индикаторская сила оказывается въ 3, 4, 5, 6 и болѣе разъ больше дѣйствительной.-



Прибавленіе къ курсу паровыхъ машинъ.

(Машины Вульфа и Компаунд)

Для достиженія возможно большей экономіи топлива при употребленіи паровыхъ машинъ, весьма полезно, какъ извѣстно, заставлять паръ дѣйствовать расширеніемъ въ возможно обширномъ размѣрѣ, предѣлъ для котораго, найденный въ общей теоріи паровыхъ машинъ, зависитъ отъ начальнаго движенія пара въ цилиндрѣ, отъ давленія въ средѣ, куда паръ выпускается, и отъ вредныхъ сопротивленій, сопровождающихъ дѣйствіе машины, такъ, что расширеніе, которое съ пользою легко употреблять и происходящая отъ него экономія топлива будутъ тѣмъ больше, чѣмъ сильнѣе первоначальное давленіе пара, чѣмъ слабѣе давленіе среды, куда паръ выпускается, и чѣмъ меньше вредныя сопротивленія, соотвѣтствующія порожнему ходу машины. Но значительное расширеніе пара, принося существенную пользу относительно экономіи топлива, приводитъ къ весьма невыгодному результату въ томъ отношеніи, что величина давленія пара на поршень подвергается значительнымъ измѣненіямъ, вслѣдствіе чего, для полученія надлежащей равномѣрности движенія оказывается необходимымъ снабжать паровыя машины, дѣйствующія съ большимъ расширеніемъ маховиками значительнаго вѣса, которые, представляя большую стоимость имѣютъ еще то неудобство, что возбуждая сильное треніе въ подшипникахъ, на которыхъ покоится валъ машины, отчасти поглощаютъ на это треніе работу, доставляемую расширяющимся паромъ и такимъ образомъ уменьшаютъ пользу, происходящую отъ большаго расширенія.-

Въ цѣлью устраненія такого неудобства и введены машины сложныя, т.е. такія въ которыхъ паръ послѣдовательно дѣйствуетъ въ нѣсколькихъ цилиндрахъ.- Хотя существуютъ машины, въ которыхъ паръ переходитъ черезъ три цилиндра, но сложность ихъ устройства была причиною того, что онѣ до сихъ поръ еще не вошли въ общее употребленіе, и нынѣ изъ сложныхъ машинъ употребляются почти исключительно машины въ которыхъ паръ послѣдовательно проходитъ черезъ два цилиндра, изъ коихъ одинъ больше другаго по объему.- Эти машины носятъ названіе Вульфовскихъ и бываютъ двухъ родовъ, или поршни обоихъ цилиндровъ машины достигаютъ своихъ мертвыхъ точекъ въ одно и то-же время, или-же они связаны съ машиною такъ, что въ то время, какъ одинъ изъ поршней находится въ мертвой точкѣ, другой находится близъ средины своего размаха и наоборотъ.- Въ сихъ послѣднемъ случаѣ кривошипы, на которые дѣйствуютъ поршни машины бываютъ расположены подъ прямымъ угломъ.-

Мы сначала будемъ имѣть въ видѣ исключительно машины перваго рода и для того, чтобы яснѣе представить себѣ способъ ихъ дѣйствія вообразимъ сначала, что стержни обоихъ цилиндровъ соединены между собою поперечиною, на которую надѣты шатуны, передающій движеніе кривошипу, такъ, что размахи обоихъ поршней равны; положимъ, что рабочая сторона малаго цилиндра постоянно соединена съ котломъ въ теченіе всего размаха поршня, а нерабочая его сторона соединена съ рабочею стороною большаго цилиндра, нерабочая-же сторона сего послѣдняго соединена съ холодильникомъ; въ этомъ случаѣ паръ въ маломъ цилиндрѣ вовсе не расширяется, а окончивъ въ немъ свое дѣйствіе переходитъ въ большій цилиндръ, гдѣ и получаетъ расширеніе, а затѣмъ расширившись

до объема большаго цилиндра, изъ коего выходитъ и выпускается въ холодильникъ; очевидно, что въ этомъ случаѣ давленіе на рабочую сторону малаго поршня будетъ постоянное, точно также, какъ и давленіе на нерабочую сторону малаго поршня и рабочую сторону большаго будетъ перемѣнное и натуру будетъ передаваться равнодѣйствующая всѣхъ этихъ постоянныхъ и перемѣнныхъ давленій. -

Если назовемъ черезъ:

S — путь, пройденный отъ мертвой точки до даннаго мгновенія поршнемъ малаго цилиндра подъ давленіемъ рабочаго пара. -

P_s — общее давленіе на нерабочую сторону малаго поршня и на рабочую сторону большаго, когда малый поршень подъ давленіемъ рабочаго пара прошелъ путь S. -

P и P' — постоянное давленіе на рабочую сторону малаго и нерабочую сторону большаго поршня. -

a — площадь малаго поршня. -

A — площадь большаго поршня. -

то величина всего давленія, передаваемаго поперечинѣ при разсматриваемомъ положеніи поршней будетъ:

$$a(P-P_s)+A(P_s-P')$$

Очевидно, что при началѣ разгона $P_s=P$, а если допустимъ, что расширеніе соображено такимъ образомъ, что въ концѣ его давленіе, имѣющееся между большимъ и малымъ поршнемъ будетъ равно P', т.е. если допустимъ, что употребляется самое большее расширеніе, какое только можно себѣ представить, то при концѣ разгона будетъ $P_s=P'$, и потому равнодѣйствующая всѣхъ давленій пара на поршни, передаваемая въ машинѣ Вульфа поперечинѣ будетъ:

для начала разгона $A(P-P')$

для конца разгона $a(P-P')$

т.е. въ концѣ разгона это давленіе будетъ меньше чѣмъ въ началѣ, но отношеніе между сими давленіями будетъ равно отношенію площадей поршней, или, что все равно будетъ равно отношенію между объемами пара расширеннаго и нерасширеннаго. Чтобы сравнить эту измѣняемость движущаго давленія съ тою, которая имѣетъ мѣсто въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ, вообразимъ себѣ такую машину съ такимъ же разгономъ и скоростью поршня, какъ машина Вульфа, издерживающая то-же количество пара, при томъ-же давленіи въ котлѣ и въ холодильникѣ и съ тѣмъ-же расширеніемъ, а слѣд. дѣйствующею съ того-же экономіею топлива, и дающую ту-же работу, какъ машина Вульфа. - Очевидно, что для нея начальное и окончательное давленія расширеннаго пара будутъ тѣ-же величины P и P', какъ въ машинѣ Вульфа, и объемъ цилиндра а потому и площадь поршня будутъ тѣ-же, какъ объемъ и площадь поршня большаго цилиндра машины Вульфа; слѣд. въ этой машинѣ съ однимъ цилиндромъ полная величина движущаго давленія будетъ:

для начала разгона $A(P-P')$

для конца разгона $A(P-P')=0$

изъ этого легко видимъ, что измѣняемость движущаго давленія въ машинѣ Вульфа гораздо меньше, чѣмъ въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ и потому маховыя колеса

въ машинахъ Вульфа будутъ гораздо меньше, чѣмъ въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ той-же силы, дѣйствующихъ при прочихъ условіяхъ одинаковыхъ. — Въ этомъ и состоитъ существенное преимущество машинъ Вульфа.

Если машина Вульфа устроена согласно вышеизложенному и если дѣйствительно мы имѣемъ право пренебречь вреднымъ пространствомъ, представляющимъ собою объемъ канала между малымъ и большимъ цилиндромъ, то размѣры этой машины опредѣляются безъ всякаго затрудненія, а именно площадь поршня большаго цилиндра найдена будетъ согласно вышеобъясненному, одинаковая съ площадью поршня простой машины той-же силы, ходящей съ тою-же скоростью, дѣлающей тотъ-же самый размахъ и работающей съ тѣмъ-же расширеніемъ при томъ-же начальномъ и томъ-же окончательномъ давленіи пара, а площадь малаго поршня найдена будетъ черезъ умноженіе площади большаго поршня на отношеніе объемовъ пара при началѣ расширенія и при концѣ его. —

Но вредное пространство въ машинѣ Вульфа того устройства, которое мы разсматриваемъ представляетъ весьма замѣтную часть объема малаго цилиндра, и потому вообще говоря пренебречь нельзя; присутствіе этого вреднаго пространства имѣетъ своимъ послѣдствіемъ, что паръ, при переходѣ изъ малаго цилиндра въ большой сразу увеличиваетъ свой объемъ на всю величину вреднаго пространства, при этомъ расширеніи пріобрѣтаетъ живую силу, которая однако всѣ уничтожается вслѣдствіе различныхъ сопротивленій, которыя при этомъ встрѣчаются и обращается въ теплоту (употребляется на испареніе воды). — Очевидно, что это расширеніе мы можемъ сравнить съ тѣмъ, которое происходитъ, когда два сосуда (въ нашемъ случаѣ однимъ изъ сосудовъ этихъ будетъ малый цилиндръ, а другимъ вредное пространство при соединеніи его съ большимъ цилиндромъ), наполненные смѣсью насыщеннаго пара и воды при различныхъ давленіяхъ, сообщаются между собою, причемъ теплоты не прибавляется и не отнимается, называя объемъ перваго черезъ V_1, а объемъ втораго черезъ V_2, вѣсъ заключенной въ нихъ смѣси соотвѣтственно черезъ G_1 и G_2, и обозначая величины характеризующія состояніе смѣси въ каждомъ изъ сосудовъ до ихъ сообщенія значками 1 и 2, поставленными внизу буквъ, изображающихъ эти величины, а также величины относящіяся къ конечному состоянію смѣси послѣ сообщенія сосудовъ, изображая тѣми-же буквами безъ всякаго значка, мы получимъ, какъ выведено изъ механической теоріи теплоты, для опредѣленія конечнаго состоянія смѣси слѣдующія ур-ія:

$$0 = \{G_1 + G_2\}\left(q + x\left[r - \frac{1}{A}pu\right]\right) - G_1\left(q_1 + x_1\left(r_1 - \frac{1}{A}p_1u_1\right)\right) - G_2\left\{q_2 + x_2\left(r_2 - \frac{1}{A}p_2u_2\right)\right\}$$

$$V_1 + V_2 = (G_1 + G_2)(xu + \sigma)\ ; \quad V_1 = G_1(x_1u_1 + \sigma)\ ; \quad V_2 = G_2(x_2u_2 + \sigma);$$

Отсюда по даннымъ V_1, V_2, x_1, x_2 и температурамъ смѣси каждаго сосуда можемъ опредѣлить G_1, G_2, пропорцію x пара въ смѣси и ея температуру t, послѣ сообщенія сосудовъ. — Изъ этихъ ур-ій не трудно усмотрѣть, что если-бы посредствомъ сжатія въ большомъ цилиндрѣ содержаніе вреднаго пространства къ моменту начала перехода пара изъ малаго цилиндра въ большой было доведено до того-же самаго состоянія, въ которомъ находится смѣсь малаго цилиндра, то окончательное состояніе смѣси послѣ сообщенія сосудовъ было-бы то-же самое, что и до ихъ сообщенія; въ этомъ случаѣ для машинъ расширяющихъ паръ до давленія равнаго давленію въ холодильникѣ, вредное пространство о кор-

ромъ идетъ рѣчь не имѣло-бы никакого вліянія и смѣсь въ немъ заключенная представляла бы собою тѣло, которое постоянно остается внутри машины, постепенно расширяясь и доставляя работу въ то время, какъ работающій паръ переходитъ изъ малаго цилиндра въ большой; и затѣмъ оставаясь въ большомъ цилиндрѣ послѣ разобщенія его съ холодильникомъ и посредствомъ сжатія и помощенія при этомъ работы, будучи доведено до первоначальнаго своего состоянія.— Но если такого сжатія нѣтъ, или посредствомъ него содержаніе вреднаго пространства передъ моментомъ сообщенія большаго цилиндра съ малымъ не доводя до того-же состоянія въ какомъ находится паръ малаго цилиндра въ этотъ моментъ, то необходимымъ образомъ является расширеніе пара безъ производства соотвѣтствующей работы.— Чтобы имѣть понятіе о потерѣ въ полезномъ дѣйствіи отъ того происходящей, допустимъ, что вредное пространство представляетъ совершенную пустоту; въ такомъ случаѣ S_2 въ предыдущихъ формулахъ обращается въ нуль, и мы получимъ два ур-ія:

$$q + x\left(r - \frac{1}{A} p.u\right) = q_1 + x_1\left(r_1 - \frac{1}{A} p_1 u_1\right)$$

$$\frac{V_1 + V_2}{V_1} = \frac{xu + \sigma}{x_1 u + \sigma}$$

изъ которыхъ и можемъ найти величины x и t т.е. окончательное состояніе смѣси, расширяющейся вслѣдствіе сообщенія сосудовъ.— Въ томъ же ур-іи для частнаго случая, когда давленіе въ маломъ цилиндрѣ равно 3 атм. и пропорція пара въ смѣси составляетъ 0,9, находимъ, что:

при отношеніи объемовъ	$\frac{V_2}{V_1}$ =	0,2;	0,1;	0,05;
давл. послѣ расшир. будетъ	p =	2,485;	2,738;	2,852 атм.

пропорція же пара въ смѣси послѣ расширенія увеличивается но весьма незначительно; если-бы мы предположили, что расширеніе о которомъ идетъ рѣчь происходитъ по приблизительному закону адіабатической линіи, выраженному равенствомъ:

$$p(V_1 + V_2)^{\mu} = p_1 V_1^{\mu}$$

гдѣ μ для нашего случая будетъ: $1{,}035 + 0{,}9\,x_1 = 1{,}125$, то имѣли-бы:

$$p = p_1\left(\frac{V_1}{V_1 + V_2}\right)^{\mu}$$

Откуда нашли-бы: при

$\frac{V_2}{V_1}$ =	0,2;	0,1;	0,05;
p =	2,445;	2,605;	2,841;

Если-бы предположили, что расширеніе происходитъ просто обратно пропорціонально объемамъ, то нашли-бы

при $\frac{V_2}{V_1}$ =	0,2;	0,1;	0,05;
p =	2,500;	2,727;	2,857;

Эти числа показываютъ, что для нахожденія давленія при расширеніи пара во вредномъ пространствѣ, соединяющемъ большой цилиндръ съ малымъ, можно съ весьма малою погрѣшностью полагать, что давленіе пара понижается обратно пропорціонально объему имъ занимаемому; погрѣшность предположенія адіабатическаго закона расширенія будетъ больше, но результатомъ этой погрѣшности будетъ то, что мы въ теоріи будемъ считать нѣсколько большую потерю, чѣмъ она есть въ дѣйствительности и это ни къ какимъ вреднымъ послѣдствіямъ не поведетъ, тѣмъ больше, что такимъ образомъ можетъ быть до извѣстной степени принята во вниманіе потеря,

происходящая отъ того, что паръ малаго цилиндра, расширяясь въ вредная пространства соприкасается съ болѣе холодными стѣнками его ограничивающими и отдаетъ имъ часть своей теплоты, что въ теоретическихъ формулахъ не принято въ соображеніе. Во всякомъ случаѣ, такъ или иначе, вліяніе этого вреднаго пространства можно принять въ соображеніе. — Уменьшить это вліяніе, всегда составляющее извѣстную потерю въ полезномъ дѣйствіи, можно двумя способами, или посредствомъ сосатія пара, или-же посредствомъ уменьшенія вреднаго пространства, послѣднее въ предложенномъ нами устройствѣ машины всегда будетъ имѣть очень замѣтную величину, т.к. паръ, оканчивающій свое дѣйствіе въ правой части цилиндра, заѣдетъ въ лѣвую его часть, и слѣд. должен пройти каналомъ, имѣющимъ длину равную длинѣ цилиндра, и вся часть этого канала отъ распредѣлительнаго золотника до большаго цилиндра очевидно принадлежитъ къ разсматриваемому вредному пространству, такъ, что какъ бы ни былъ расположенъ золотникъ, все таки въ среднемъ выводѣ, для обѣихъ половинъ большаго цилиндра вредное пространство независимо отъ зазора между поршнемъ и крышкою и объемъ плоскости золотника, будетъ равняться поперечному сѣченію паропроводнаго въ большой цилиндръ канала, умноженному на половину размаха поршня. — Въ видѣ сего нерѣдко машину Вульфа располагаютъ иначе, а именно не соединяютъ стержни обоихъ поршней въ общей поперечинѣ, а стержень каждаго поршня посредствомъ отдѣльнаго шатуна соединяютъ съ особымъ кривошипомъ, и кривошипы располагаютъ прямо-противоположно другъ другу; при этомъ правая мертвая точка малаго поршня будетъ соотвѣтствовать лѣвой мертвой точкѣ большаго поршня, и лѣвая мертвая точка малаго поршня — правой мертвой точкѣ большаго: такимъ образомъ, паръ, окончившій свое дѣйствіе въ правой части малаго цилиндра, направляется въ правую-же часть большаго, вслѣдствіе чего каналы, составляющіе вредное пространство могутъ быть въ значительной степени уменьшены. — Размѣры машины Вульфа, разсматриваемаго нами расположенія въ случаѣ очень большаго расширенія, выходятъ неудобные въ томъ отношеніи, что поршень малаго цилиндра вообще будетъ очень маленькій, а поршень большаго цилиндра имѣетъ значительный діаметръ. — Такъ напр. при расширеніи въ 16 раз діаметръ большаго поршня, получится вчетверо больше противъ діаметра малаго поршня. — Сверхъ того машина разсматриваемаго устройства заключаетъ въ себѣ еще то неудобство, что въ ней измѣнять расширеніе нельзя, т.к. расширеніе отчасти опредѣляется отношеніемъ между объемами двухъ цилиндровъ; въ виду обоихъ этихъ обстоятельствъ машины Вульфа устраиваютъ обыкновенно такимъ образомъ, что расширеніе пара начинается прежде, чѣмъ онъ окончитъ свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ, и слѣд. паръ отчасти расширяется уже въ этомъ цилиндрѣ а затѣмъ, расширенный до извѣстной степени переходитъ въ большой цилиндръ. — Въ этомъ случаѣ отношеніе между объемами обоихъ цилиндровъ выходитъ менѣе, чѣмъ было, выражающее степень расширенія, и въ то-же время посредствомъ перестановки расширительнаго золотника помѣщается возможность измѣнять самую величину расширенія. —

Неудобство слишкомъ значительнаго діаметра большаго цилиндра и слишкомъ

малого діаметра малаго цилиндра избѣгается отчасти еще посредствомъ того, что размахи поршней обоихъ цилиндровъ дѣлаются неравными между собою; при этомъ, конечно, соединеніе стержней обоихъ цилиндровъ въ одной и той же поперечинѣ становится невозможнымъ, и тогда при прямомъ дѣйствіи (т.е. безъ коромысла) кривошипы дѣлаются неравными, а именно кривошипъ для большаго поршня дѣлается больше, чѣмъ кривошипъ для малаго, а въ случаѣ машинъ съ коромысломъ, параллелограмъ на концѣ коромысла, противоположномъ концу его, соединенному съ шатуномъ, дѣлается не двойной а тройной, и всего дальше отъ оси коромысла привѣшивается стержень большаго цилиндра, вслѣдъ за нимъ стержень малаго цилиндра, и наконецъ всего ближе къ оси стержень поршня воздушнаго насоса.-

Распредѣленіе пара въ машинѣ Вульфа съ совпадающими мертвыми точками обоихъ поршней и безъ расширенія въ маломъ цилиндрѣ можетъ быть произведено посредствомъ одного простаго золотника, приводимаго въ движеніе однимъ эксцентрикомъ; если-же въ маломъ цилиндрѣ производится расширеніе пара, то къ этому распредѣлительному прибору достаточно присоединить еще спеціальный приборъ для расширенія пара, имѣющій одно изъ обыкновенныхъ устройствъ (Фарко, Мейера и др).-

Распредѣлительный золотникъ можетъ имѣть весьма разнообразное устройство — чаще всего онъ дѣлается такимъ образомъ, какъ это изображено на фиг. 1, гдѣ распредѣлительный золотникъ изображенъ въ планѣ, въ двухъ продольныхъ и двухъ поперечныхъ разрѣзахъ.- Какъ видно изъ чертежа, золотникъ имѣетъ три продольныя стѣнки, изъ которыхъ двѣ крайнія сплошныя отдѣляютъ полость золотника отъ паровой коробки, а средняя раздѣляетъ эту полость на двѣ части, одну для большаго цилиндра, а другую для малаго; полость для большаго цилиндра, раздѣлена стѣнкой на двѣ части, наружную и внутреннюю, наружная часть посредствомъ отверстія въ продольной прорезной стѣнкѣ, соединяется съ полостью той части золотника въ которую выпускается паръ, окончившій свое дѣйствіе въ маломъ цилиндрѣ, внутренняя-же часть соединена постоянно съ холодильникомъ.- Этотъ золотникъ, повинуясь эксцентрику, приводящему его въ движеніе, можетъ скользить по плоской стѣнкѣ паровой коробки въ которой сдѣланы пять отверстій: два, ведущія въ правую и лѣвую часть малаго цилиндра, имѣющія ту-же самую ширину, какъ и полость золотника, для этого цилиндра предназначенная, и три, имѣющія ширину, одинаковую съ полостью золотника для большаго цилиндра; изъ этихъ трехъ отверстій, два ведутъ въ правую и лѣвую часть большаго цилиндра и одно ведетъ въ холодильникъ.-

Въ этомъ золотникѣ, какъ онъ представленъ на чертежѣ должно еще замѣтить, что паръ, входя внутрь малаго цилиндра, протекаетъ по особымъ, сдѣланнымъ въ золотникѣ каналамъ, въ которыхъ, собственно, нужды не имѣется; если расширеніе не происходитъ въ маломъ цилиндрѣ; если-же расширеніе въ маломъ цилиндрѣ производится, то каналы эти необходимы, т.к. задвигая ихъ пластинками Мейера или расширительнымъ золотникомъ Фарко весьма легко начать расширеніе въ маломъ цилиндрѣ при продольномъ положеніи поршня.-

Описанный распредѣлительный приборъ устраивается обыкновенно такимъ образомъ, что отверстія, ведущія въ большой и малый цилиндры имѣютъ одинаковую высо-

ту и различаются лишь по ширинѣ; перекрыши для обоихъ цилиндровъ дѣлаются также одинаковыми. - Въ этомъ случаѣ, посредствомъ построенія діаграммы Цейнера (фиг. 2) убѣдимся, что начало естественнаго расширенія въ рабочихъ частяхъ большаго и малаго цилиндра будетъ происходить при одномъ и томъ-же положеніи кривошипа (Ob для одной части цилиндра и Ob' для другой); точно также начало сжатія въ нерабочихъ частяхъ будетъ происходить также при одномъ и томъ-же положеніи кривошипа (Od для одной части цилиндра и Od' для другой), выпускъ изъ рабочей части обоихъ цилиндровъ будетъ также происходить при одномъ и томъ-же положеніи кривошипа (Oc и Oc'), наконецъ впускъ пара въ нерабочую часть цилиндровъ будетъ происходить то-же при одномъ и томъ-же положеніи кривошипа (Od и Od'). -

Разсматривая затѣмъ движеніе поршня отъ одной мертвой точки до другой и совокупно съ тѣмъ, опредѣляя движеніе золотника мы находимъ на (фиг. 9) для семи послѣдовательныхъ положеній поршней, обозначенныхъ римскими цифрами I, II, III, IV, V, VI и VII соотвѣтствующія положенія золотника, изображенныя на (фиг. 3) арабскими цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6 и 7. - При построеніи этихъ фигуръ предположено, что наружная перекрыша золотника равна половинѣ высоты паровыхъ оконъ, внутренняя перекрыша равна $\frac{1}{4}$ той-же высоты, и что линейное опереженіе со стороны впуска равно также $\frac{1}{4}$ высоты пароваго окна. - Тогда очевидно получимъ слѣдующее: въ мертвой точкѣ (I, 1) впускъ въ нижнія части обоихъ цилиндровъ открытъ (на величину линейнаго опереженія) а равно открытъ выпускъ изъ верхнихъ частей обоихъ цилиндровъ. - Паръ идетъ изъ котла въ нижнюю часть малаго цилиндра, изъ верхней части большаго цилиндра переходитъ въ холодильникъ, а изъ верхней части малаго, сообщенной съ полостью золотника переходитъ въ нижнюю часть большаго, которая съ этой полостью находится также въ сообщеніи. - Это продолжается до положенія (II, 2), при которомъ предположено начало расширенія въ нижней части малаго цилиндра, производимое тѣмъ, что паровой каналъ распредѣлительнаго золотника, какимъ либо способомъ задвигается, такъ, что хотя распредѣлительный золотникъ, какъ видно изъ фигуры и закрываетъ нижнюю паровую окна, но паръ вслѣдствіе отсѣчки, произведенной расширительнымъ золотникомъ не идетъ въ нижнюю часть малаго цилиндра. - Въ этомъ положеніи вслѣдствіе сообщенія полости золотника съ правымъ верхнимъ окномъ малаго цилиндра и паровымъ нижнимъ окномъ большаго, паръ безпрепятственно переходитъ изъ верхней части малаго цилиндра въ нижнюю часть большаго; паръ-же верхней части большаго идетъ въ холодильникъ. -

Это продолжается до положенія (III, 3), отвѣчающаго началу естественнаго расширенія въ обоихъ цилиндрахъ. - Этотъ моментъ собственно для нижней части малаго цилиндра выдающагося значенія не имѣетъ, т.к. расширеніе тамъ началось еще прежде, при положеніи (II, 2) дѣйствіемъ расширительнаго прибора, но для верхней части малаго цилиндра и нижней части большаго этотъ моментъ имѣетъ большую важность т.к. при этомъ между ними прекращается сообщеніе, паръ не находитъ больше выхода изъ верхней части малаго цилиндра въ нижнюю часть большаго и потому начинаетъ сжиматься въ верхней части малаго, а въ нижней части большаго паръ, успѣвшій тѣмъ до перейти до разсматриваемаго момента продолжаетъ расширяться но уже по-

другому закону. — Изъ верхней части большаго цилиндра паръ продолжаетъ идти въ холодильникъ. —

При положеніи (IV, 4) верхніе паровыя окна обоихъ цилиндровъ задвигаются, а нижніе остаются задвинутыми; въ нижней части малаго цилиндра продолжается расширеніе, точно такъ же, какъ въ нижней части большаго цилиндра; сжатіе, которое началось въ верхней части малаго цилиндра при положеніи (III, 3), продолжается, но по другому закону, чѣмъ прежде, т.к. полость золотника теперь уже разобщена съ верхнею частью малаго цилиндра, въ верхней части большаго цилиндра начинается сжатіе. —

При положеніи (V, 5) начинается сообщеніе нижней части малаго цилиндра съ полостью золотника и паръ можетъ начинать свой выходъ оттуда, но какъ полость золотника остается разобщенною съ верхнею частью большаго цилиндра, то туда теперь входить паръ еще не можетъ; поэтому происходитъ необратимое расширеніе пара нижней части малаго цилиндра, только вслѣдствіе внезапнаго увеличенія его объема на всю полость золотника, которая заключаетъ въ себѣ паръ гораздо болѣе низкаго давленія, чѣмъ нижняя часть цилиндра; въ верхней части малаго цилиндра продолжается сжатіе, точно такое же, какъ и въ верхней части большаго цилиндра, а изъ нижней части большаго цилиндра паръ начинаетъ выходить въ холодильникъ. —

Затѣмъ при положеніи (VI, 6) открываются верхніе паровые пролеты обоихъ цилиндровъ и паръ начинаетъ входить изъ котла въ верхнюю часть малаго цилиндра, а паръ, расширявшійся до сихъ поръ въ нижней части малаго цилиндра и въ сообщенной съ нею полостью золотника, приходитъ въ сообщеніе съ верхнею частью большаго цилиндра, устремляется туда, получаетъ новое необратимое расширеніе, и затѣмъ, т.к. объемъ его увеличивался вслѣдствіе движенія малаго поршня, въ то же время уменьшается въ гораздо болѣе значительномъ размѣрѣ вслѣдствіе движенія большаго поршня, то онъ сжимается до тѣхъ поръ, пока поршень не достигнетъ мертвой точки. — Изъ нижней части большаго цилиндра паръ входитъ въ холодильникъ. —

Наконецъ при положеніи (VII, 7) наступаетъ верхняя мертвая точка и начинается направленный внизъ размахъ поршня, при которомъ верхняя и нижняя части цилиндровъ меняютъ свои роли сравнительно съ тѣмъ, что было при только что разсмотрѣнномъ размахѣ снизу вверхъ. — Разсматривая всѣ обстоятельства этого размаха находимъ, что присутствіе большаго цилиндра и золотника его ни въ чемъ не измѣняетъ распредѣленія въ маломъ цилиндрѣ, кромѣ того, что сжатіе въ нерабочей части малаго цилиндра начинается въ то же самый моментъ, какъ расширеніе въ рабочей части малаго и большаго цилиндровъ, слѣд. ранѣе, чѣмъ въ моментъ съ однимъ цилиндромъ. — Это обстоятельство вообще не представляетъ собою ничего дурного, т.к. паръ, расширенный въ значительной степени вслѣдствіе сообщенія нерабочей части малаго цилиндра съ рабочею частью большаго долженъ подвергаться довольно значительному сжатію для того, чтобы пріобрѣсти давленіе равное давленію пара, приходящаго изъ котла, черезъ что только, какъ извѣстно можетъ быть уничтожено вредное дѣйствіе вреднаго пространства. Но это обстоятельство необходимо имѣть въ виду при прежтированіи распредѣленія пара. Если бы его хотѣли уничтожить, то это можно сдѣлать, уменьшивъ нарушенія перекрышки золотника, распредѣляющаго паръ въ большомъ цилиндрѣ и сдѣлавъ

равными внутренними перекрышами обоих золотников. – Тогда, как это видно из фиг. (1', 2', 3', 4', 5', 6', 7',) распредѣленіе въ сущности остается то-же, но сообщеніе между нерабочею частью малаго цилиндра и рабочею частью большаго цилиндра прекращается не при расположеніи поршней (III), а при ихъ расположеніи (IV), такъ, что сжатіе въ нерабочей части малаго цилиндра начинается позже и бывшаго при предыдущемъ устройствѣ сжатія пара внутри нерабочей части малаго цилиндра и полости золотника не происходитъ вовсе. – Затѣмъ не происходитъ также отдѣльнаго внезапнаго расширенія пара въ рабочей части малаго цилиндра и полости золотника при положеніи поршней (V), а это расширеніе происходитъ сразу и въ нерабочей части малаго цилиндра и въ полости золотника и въ нерабочей части большаго цилиндра, которая помрачаетъ сообщеніе съ полостью золотника въ то-же самое мгновеніе, как и рабочая часть малаго цилиндра. – Это обстоятельство нельзя считать выгоднымъ, т.к. очевидно необратимое расширеніе пара, окончившаго свое дѣйствіе въ большомъ цилиндрѣ здѣсь гораздо значительнѣе, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ; необратимое расширеніе повторяется еще одинъ разъ, а именно при положеніи поршней (VI), но результатъ обоихъ расширеній очевидно гораздо меньше вреденъ въ случаѣ прежде разсмотрѣнномъ, чѣмъ въ томъ, который мы теперь разсматриваемъ, и притомъ по двумъ причинамъ: 1) общій объемъ пара, послѣ обоихъ необратимыхъ расширеній меньше 2) давленіе во вредномъ пространствѣ большаго цилиндра, вслѣдствіе большаго сжатія, больше, – въ случаѣ, когда нарѣзныя перекрыши золотниковъ равны, чѣмъ въ случаѣ, когда нарѣзная перекрыша большаго золотника уменьшена. – Поэтому очевидно потеря, происходящая при сообщеніи обоихъ цилиндровъ вслѣдствіе вредного пространства будетъ меньше въ первомъ случаѣ, чѣмъ во второмъ, а потому въ большей части случаевъ перекрыши золотника дѣлаются совершенно одинаковыми и для большаго и для малаго цилиндра, только при чемъ опредѣленіи должно имѣть въ виду, что сжатіе въ нерабочей части малаго цилиндра начинается тогда-же, какъ естественное расширеніе въ рабочей части обоихъ цилиндровъ. – Разсмотрѣнное распредѣленіе пара примѣняется вполнѣ удобно также къ машинамъ Вульфа съ противоположными кривошипами съ того лишь разнится, что въ сихъ послѣднихъ машинахъ паровыя окна дѣлаются на самомъ концѣ обоихъ цилиндровъ и золотникъ раздѣляется на двѣ части, съ цѣлью возможнаго уменьшенія вреднаго пространства. – Распредѣленіе не измѣняется также и тогда, когда размѣры поршней обоихъ цилиндровъ неравны между собою. Сущность распредѣленія остается неизмѣнною и въ томъ случаѣ, если по расположенію цилиндровъ представляется неудобнымъ сдѣлать для нихъ одинъ общій золотникъ; въ такомъ случаѣ центрамвуютъ два золотника, управляемые или однимъ и тѣмъ-же, или двумя эксцентриками одинаковымъ образомъ закрѣпленными, и тогда паровая коробка большаго цилиндра находится въ постоянномъ сообщеніи съ внутреннею полостью золотника малаго цилиндра, но въ этомъ случаѣ вредное пространство при соединеніи малаго цилиндра съ большимъ становится очень значительнымъ, а потому сія система должна быть признана очень невыгодною. –

Чтобы вычислить работу, доставляемую паромъ въ машинахъ Вульфа мы пред-

положимъ 1) что распредѣленіе въ сихъ машинахъ дѣлается посредствомъ золотниковъ равными закраинами для большаго и малаго цилиндра 2) что при внезапномъ расширеніи пара, заключающагося въ извѣстномъ объемѣ, вслѣдствіе сообщенія его съ другимъ объемомъ, въ коемъ находится паръ меньшаго давленія, — расширеніе это происходитъ точно такъ, какъ если-бы въ этомъ послѣднемъ объемѣ была совершенная пустота 3) что при этомъ расширеніи окончательное давленіе можетъ быть исчислено по приблизительной формулѣ адіабатической линіи сухихъ насыщенныхъ паровъ и воды 4) что не смотря на различную начальную степень влажности пара, подвергающагося сжатіямъ и расширеніямъ въ машинѣ Вульфа показатель ( ) степени объема, произведеніе котораго на давленіе есть постоянная величина адіабатической линіи, есть число нецѣлое.

Назовемъ: P и P' давленіе пара, приходящаго изъ котла и давленіе въ холодильникѣ; a и b площадь и радіусъ малаго поршня; A и B площадь и радіусъ большаго поршня; nal объемъ вреднаго пространства въ маломъ цилиндрѣ; NAL — объемъ вреднаго пространства въ большомъ цилиндрѣ: n'al — объемъ полости золотника, черезъ которую проходитъ паръ, переходящій изъ малаго цилиндра въ большой. — Сверхъ того обозначимъ части радіуса малаго поршня отъ начальной мертвой точки до различныхъ моментовъ, въ которые измѣняется способъ дѣйствія пара слѣдующимъ образомъ: ml — до начала расширенія въ маломъ цилиндрѣ; kl — до прекращенія сообщенія полости золотника съ рабочею частью большаго цилиндра; il — до прекращенія сообщенія полости золотника съ нерабочею частью малаго цилиндра; hl — до начала выпуска изъ рабочей части малаго цилиндра въ полость золотника и изъ большаго цилиндра въ холодильникъ; gl — до начала выпуска пара въ нерабочей части малаго цилиндра изъ котла и въ нерабочей части большаго цилиндра изъ малаго. —

Разсматривая состояніе пара въ рабочей части малаго цилиндра при различныхъ положеніяхъ поршня, и называя путь, пройденный имъ отъ мертвой точки до разсматриваемаго положенія черезъ x, мы очевидно находимъ слѣдующее:

1) От $x=0$ до $x=ml$

Давленіе пара на единицу площади $=P$; элементарная работа его $aPdx$ и полная работа $aPml$. —

2) От $x=ml$ до $x=hl$.

Давленіе пара послѣ отсѣчки убываетъ, а т.к. паръ расширяется по адіабатической кривой, имѣя начальное давленіе P и начальный объемъ $(m+n)al$, то давленіе его при произвольномъ значеніи x между ml и hl будетъ:

$$P\left[\frac{(m+n)l}{x+nl}\right]^{\mu}$$

Откуда элементарная работа этого давленія будетъ:

$$\frac{aP\{(m+n)l\}^{\mu}}{\mu-1}\left\{\frac{1}{\{(m+n)l\}^{\mu-1}}-\frac{1}{\{(n+h)l\}^{\mu-1}}\right\}=\frac{aP(m+n)l}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{m+n}{n+h}\right)^{\mu-1}\right\}$$

3) От $x=hl$ до $x=gl$;

Давленіе пара при $x=hl$ т.е. при соединеніи рабочей части малаго цилиндра съ полостью золотника вслѣдствіе необратимаго расширенія сразу убываетъ, а какъ начальное давленіе (имѣющееся мѣсто при $x=hl$) есть $P\left(\frac{m+n}{\lambda+h}\right)^{\mu}$, а начальный объемъ есть $(\lambda+n)al$, конечный же объемъ есть $(n+n'+\lambda)al$, то давленіе пара въ началѣ разсматриваемаго періода будетъ очевидно: $P\left(\frac{m+n}{n+n'+\lambda}\right)^{\mu}$ Давленіе это при произвольномъ поло-

ленія поршня между разсматриваемыми предѣлами получаемъ величину:

$$P\left(\frac{m+n}{n+n'+\lambda}\right)^{\mu}\left\{\frac{(n+n'+\lambda)l}{(n+n')l+x}\right\}^{\mu}=P\left\{\frac{(m+n)l}{(n+n')l+x}\right\}^{\mu}$$

Его элементарная работа будетъ:

$$aP\{(m+n)l\}^{\mu}\frac{dx}{\{(n+n')l+x\}^{\mu}}$$

Конечная-же работа въ тѣ-же предѣлахъ будетъ:

$$aP\left\{\frac{(m+n)}{\mu-1}\right\}^{\mu}\left\{\frac{1}{[(n+n'+\lambda)l]^{\mu-1}}-\frac{1}{[(n+n'+q)l]^{\mu-1}}\right\}=aP\frac{(m+n)l}{\mu-1}\left\{\left(\frac{m+n}{n+n'+\lambda}\right)^{\mu-1}-\left(\frac{m+n}{n+n'+q}\right)^{\mu-1}\right\}$$

4) *Отъ $x=ql$ до $x=l$;*

Съ начала этого періода золотника и при посредствѣ его рабочая часть малаго цилиндра приходитъ въ сообщеніе съ рабочею частью большаго цилиндра, и прежде всего происходитъ новое необратимое расширеніе пара, который наполняетъ вредное пространство большаго цилиндра по ту часть его объема, которую осталось поршню описать, до мертвой своей точки.- Поэтому окончательный объемъ пара, при этомъ необратимомъ расширеніи будетъ:

$$(n+n'+q)al+\{N+(1+q)\}AL.$$

первоначальный-же его объемъ есть $(n+n'+q)al$, а какъ давленіе при этомъ первоначальномъ объемѣ, согласно предъидущему будетъ: $P\left(\frac{m+n}{n+n'+q}\right)^{\mu}$, то тотчасъ по окончаніи необратимаго расширенія это давленіе будетъ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+q+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu}$$

Чтобы найти величину давленія при первоначальномъ положеніи поршня между разсматриваемыми предѣлами, замѣтимъ, что если x будетъ разстояніе малаго поршня отъ начальной мертвой точки, то разстояніе большаго поршня отъ той-же мертвой точки будетъ $\frac{L}{l}x$, и слѣд. объемъ пара, заключенный между поршнями, составитъ:

$$[(n+n')l+x]a+\left\{(N+1)L-\frac{xL}{l}\right\}A=al\left\{n+n'+\frac{x}{l}\right\}+AL\left\{N+1-\frac{x}{l}\right\}=al\left[n+n'+\frac{AL}{al}(N+1)+\right.$$
$$\left.+\frac{x}{l}\left(1-\frac{AL}{al}\right)\right]$$

а какъ первоначальный объемъ пара есть:

$$ab\left(n+n'+q+(N+1-q)\frac{AL}{al}\right)$$

то принимая въ соображеніе слѣдующую изъ предъидущаго давленія пара при этомъ объемѣ, найдемъ искомое давленіе пара при произвольномъ положеніи поршня, между разсматриваемыми предѣлами въ такомъ видѣ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+(N+1)\frac{AL}{al}+\frac{q}{l}\left(1-\frac{AL}{al}\right)}\right\}^{\mu}$$

Такъ какъ этотъ паръ производитъ сразу давленіе и на малый поршень, доставляя положительную работу и на большій поршень, доставляя отрицательную работу, то всего удобнѣе будетъ вычислить совокупно всю работу, производимую разсматриваемымъ давленіемъ пара на оба поршня, т.к. очевидно измѣненіе объема пара при безконечно маломъ перемѣщеніи dx малаго поршня будетъ:

$$al\frac{dx}{l}-AL\frac{dx}{l}=al\frac{dx}{l}\left(1-\frac{AL}{al}\right)$$

то элементарная работа пара въ обоихъ цилиндрахъ будетъ:

$$aP\frac{(m+n)l}{\mu-1}\left[\left\{\frac{m+n}{n+n'+q+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}-\left\{\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}\right].$$

Сумма всѣхъ найденныхъ работъ будетъ очевидно:

$$aPml\left\{1+\frac{m+n}{m}\cdot\frac{1}{\mu-1}\left[1-\left(\frac{m+n}{\lambda+n}\right)^{\mu-1}+\left(\frac{m+n}{\lambda+n+n'}\right)^{\mu-1}-\left(\frac{m+n}{q+n+n'}\right)^{\mu-1}+\left\{\frac{m+n}{q+n'+n+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}-\right.\right.$$

$$-\left\{\frac{m+n}{1+n+n'+N\frac{A_1}{al}}\right\}^{\mu-1}\Bigg]\Bigg\}$$

Разсматривая далѣе состояніе пара въ нерабочей части малаго цилиндра и въ рабочей части большаго цилиндра находимъ слѣдующее: 1) *Отъ* $x=0$ *до* $x=kl$.-

Первоначальный объемъ пара, заключенного въ рабочей части большаго цилиндра и въ нерабочей части малаго, въ тотъ моментъ, когда поршни находятся въ мертвой точкѣ есть очевидно:

$$(n+n'+1)al+N.A_1=al\left\{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}\right\}$$

Когда-же поршень пройдетъ путь x, то этотъ объемъ обратится въ:

$$(n+n'+1)al-ax+N.A_1+\frac{A_1}{al}x=al\left\{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}+\frac{a}{l}\left(\frac{A_1}{al}-1\right)\right\}$$

А какъ начальное давленіе пара между поршнями обоихъ цилиндровъ согласно вышесказанному будетъ: $P\left(\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}}\right)^{\mu}$, то давленіе на единицу площади каждаго поршня при произвольномъ значеніи x, заключенномъ между 0 и kl будетъ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}+\frac{a}{l}\left(\frac{A_1}{al}-1\right)}\right\}^{\mu}$$

Измѣненіе-же объема пара между поршнями заключеннаго будетъ: $al\left(\frac{A_1}{al}-1\right)\frac{dx}{l}$ а потому элементарная работа давленій пара, заключеннаго между обѣими поршнями во все время въ теченіе котораго нерабочая часть малаго и рабочая часть большаго цилиндра остаются въ сообщеніи, выразится такъ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}+\frac{a}{l}\left(\frac{A_1}{al}-1\right)}\right\}^{\mu}al\,\frac{dx}{l}\left(\frac{A_1}{al}-1\right)$$

Конечная-же работа между взятыми предѣлами получится въ такомъ видѣ:

$$aP\frac{(m+n)l}{\mu-1}\left[\left\{\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{A_1}{al}}\right\}^{\mu-1}-\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{A_1}{al}}\right\}^{\mu-1}\right].$$

2) *Отъ* $x=kl$ *до* $x=il$; въ нерабочей части малаго цилиндра.- При $x=kl$ прекращается входъ пара въ рабочую часть большаго цилиндра изъ полости золотника, съ которою сообщена рабочая часть цилиндра, поэтому, начиная съ этого положенія въ нерабочей части малаго цилиндра и сообщенной съ нею полости золотника начинается сжатіе, а въ большомъ цилиндрѣ продолжается расширеніе, въ виду сего дѣйствія пара, заключеннаго между поршнями необходимо разсматривать отдѣльно для каждаго цилиндра.-

Начальное давленіе пара между поршнями, какъ въ большомъ, такъ и въ маломъ цилиндрѣ въ моментъ разобщенія между ними будетъ одно и то-же, а именно:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{A_1}{al}}\right\}^{\mu}$$

Начальный объемъ пара въ маломъ цилиндрѣ и полости съ нимъ сообщенной есть: $al(n+n'+1-K)$ а при произвольномъ значеніи x, заключенномъ между $x=kl$ и $x=il$ этотъ объемъ будетъ: $al\left(n+n'+1-\frac{x}{l}\right)$.- Посему давленіе на малый поршень при его разстояніи x отъ мертвой точки выразится черезъ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{A_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-\frac{x}{l}}\right\}^{\mu}$$

Измѣненіе объема пара въ маломъ цилиндрѣ, соотвѣтствующее безконечно малому перемѣщенію dx малаго поршня будетъ очевидно $-adx$, а потому элементарная

работа давленія, производимаго паромъ на малый поршень будетъ:

$$-P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-\frac{x}{l}}\right\}^{\mu} al\,\frac{dx}{l}$$

и конечная работа этого пара отъ $x = kl$ до $x = il$ будетъ:

$$aP\frac{(n+n'+1-k)l}{\mu-1}\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{1-\left(\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-l}\right)^{\mu-1}\right\}$$

3) *Отъ* $x = kl$ *до* $x = Ml$. - Въ рабочей части цилиндра большаго первоначальный объемъ пара есть $(N+k)Al$ и его объемъ при разстояніи x малаго поршня отъ мертвой точки и слѣд. при разстояніи отъ мертвой точки большаго поршня равномъ $x\frac{L_1}{l}$ будетъ $\left(N+\frac{x}{l}\right)Al$. Потому давленіе пара при разсматриваемомъ положеніи большаго поршня будетъ:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{N+k}{N+\frac{x}{l}}\right\}^{\mu}$$

Приращеніе объема пара заключеннаго въ большомъ цилиндрѣ при бесконечно маломъ перемѣщеніи dx малаго поршня, и соотвѣтствующемъ ему перемѣщеніи $\frac{dxL_1}{l}$ большаго поршня будетъ очевидно $A\frac{dxL_1}{l}$, а слѣд. элементарная работа разсматриваемаго давленія составитъ:

$$APL_1\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{N+k}{N+\frac{x}{l}}\right\}^{\mu}\frac{dx}{l}$$

4) *Отъ* $x = il$ *до* $x = gl$ въ нерабочей части малаго цилиндра паръ, отдѣленный отъ полости золотника сжимается, причемъ его первоначальный объемъ очевидно будетъ: $al(n+1-i)$, а какъ начальное давленіе этому объему соотвѣтствующее будетъ очевидно конечное давленіе предъидущаго періода въ маломъ цилиндрѣ, т.е.

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-l}\right\}^{\mu}$$

но при произвольномъ разстояніи поршня отъ начальной мертвой точки, заключенномъ между il и gl давленіе будетъ въ нерабочей части малаго цилиндра:

$$P\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-l}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+1-i}{n+1-\frac{x}{l}}\right\}^{\mu}$$

элементарная работа этого давленія будетъ:

$$-aPl\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-l}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+1-i}{n+1-\frac{x}{l}}\right\}^{\mu}\frac{dx}{l}$$

А потому конечная работа отъ $x = il$ до $x = gl$ будетъ:

$$aPl\left\{\frac{m+1-i}{\mu-1}\right\}\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-k+(N+k)\frac{AT_1}{al}}\right\}^{\mu}\left\{\frac{n+n'+1-k}{n+n'+1-l}\right\}^{\mu}\left\{1-\left(\frac{n+1-i}{n+1-g}\right)^{\mu-1}\right\}$$

5) *Отъ* $x = gl$ *до* $x = l$ паръ входитъ изъ котла въ рабочую часть малаго цилиндра; поэтому давленіе пара будетъ P; элементарная работа имъ доставляемая будетъ $aPdx$, и конечная работа въ разсматриваемый періодъ: $-aP(1-g)l$.-

6) *Отъ* $x = hl$ *до* $x = l$ рабочая часть большаго цилиндра сообщается съ холодильникомъ, слѣд. въ ней имѣется давленіе P'; элементарная его работа есть $+AP'L_1\frac{dx}{l}$, и полная работа имъ доставляемая будетъ: $AP'L_1(1-h)$.

Обращаемъ наконецъ къ нерабочей части большаго цилиндра и имѣемъ, что въ ней:

1) *Отъ* $x = 0$ *до* $x = il$ имѣется давленіе равное давленію P' въ холодильникѣ; элементарная работа этого давленія есть $-AP'L_1\frac{da}{l}$, а слѣд. конечная работа между

взятыми предѣлами будетъ: $-APL\,i$

2) Отъ $x = il$ до $x = ql$ паръ сжимается въ нерабочей части большаго цилиндра; его первоначальное давленіе есть P', и первоначальный объемъ есть $A(N+1-i)L$; поэтому при произвольномъ положеніи поршня, при которомъ x заключенъ между il и ql давленіе будетъ въ нерабочей части большаго цилиндра:

$$P'\left\{\frac{N+1-i}{N+1-\frac{x}{L}}\right\}^{\mu}$$

Элементарная работа этого давленія будетъ:

$$-APL\left\{\frac{N+1-i}{N+1-\frac{x}{L}}\right\}^{\mu}\frac{dx}{L}$$

а конечная работа отъ $x = il$ до $x = ql$ составитъ:

$$AP'\frac{(N+1-i)L}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{N+1-i}{N+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}$$

При $x = ql$ происходитъ сообщеніе между нерабочею частью большаго цилиндра и рабочею частью малаго; работа при этомъ получаемая вплоть до мертвой точки уже вычислена прежде. Такимъ образомъ получены всѣ отдѣльныя работы, соединяя которыя находимъ, что при полномъ расширеніи поршней отъ одной мертвой точки до другой паръ доставляетъ работу, которая въ совокупности составляетъ:

$$aP.ml\Bigg\langle 1+\frac{m+n}{m}\frac{1}{\mu-1}\Bigg[1-\left(\frac{m+n}{\lambda+n}\right)^{\mu-1}+\left(\frac{m+n}{\lambda+n+n'}\right)^{\mu-1}-\left(\frac{m+n}{q+n+n'}\right)^{\mu-1}+\left\{\frac{m+n}{q+n+n'+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}-$$

$$-\left\{\frac{m+n}{1+n+n'+\frac{N\,AL}{al}}\right\}^{\mu-1}+\left\{\frac{m+n}{n+n'+1+N\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}-\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}+\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}\cdot$$

$$\cdot\frac{(N+K)\frac{AL}{al}}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\cdot\left\{1-\left(\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-i}\right)^{\mu-1}\right\}+\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K(N+K)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}\frac{(N+K)\frac{AL}{al}}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\cdot$$

$$\left\{1-\left(\frac{N+K}{N+i}\right)^{\mu-1}\right\}+\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}\cdot\frac{n+1-i}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\left(\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-i}\right)^{\mu}\cdot$$

$$\cdot\left\{1-\left(\frac{n+1-i}{n+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}\Bigg]\Bigg\rangle+aP(1-q)l+AP'(1-\lambda)L-AP'Li+APL\frac{N+1-i}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{N+1-i}{N+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}$$

Посредствомъ нѣкоторыхъ сокращеній это выраженіе приводится къ виду:

$$aPml\Bigg\langle 1-\frac{m+n}{m}\cdot\frac{1}{\mu-1}\Bigg[1-\left(\frac{m+n}{\lambda+n}\right)^{\mu-1}+\left(\frac{m+n}{\lambda+n+m'}\right)^{\mu-1}+\left\{\frac{m+n}{q+n+n'+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}-$$

$$-\left\{\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\right\}^{\mu-1}\frac{1}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\left\{n'\left(\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-i}\right)^{\mu}+(N+1)\frac{AL}{al}\left(\frac{N+K}{N+i}\right)^{\mu}+\right.$$

$$\left.+(n+1-i)\left(\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-i}\right)^{\mu}\left(\frac{n+1-i}{n+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}\Bigg]\Bigg\rangle-aP(1+q)l+AP'(1+\lambda)L-AP'Li-APL\frac{N+1-i}{\mu-1}\Bigg\{$$

$$\left\{1-\left(\frac{N+1-i}{N+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}=aPl\Bigg\langle m-(1-q)+\frac{m+n}{\mu-1}\Bigg[1-\left(\frac{m+n}{\lambda+n}\right)^{\mu-1}+\left(\frac{m+n}{\lambda+n+n'}\right)^{\mu-1}-\left(\frac{m+n}{q+n+n'}\right)^{\mu-1}+$$

$$+\left(\frac{m+n}{q+n+n'+(N+1-q)\frac{AL}{al}}\right)^{\mu-1}\Bigg]-\frac{1}{\mu-1}\left(\frac{m+n}{n+n'+1-K+(N+K)\frac{AL}{al}}\right)^{\mu}\Bigg[\left\{n'+(n+1-i)\left(\frac{n+1-i}{n+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}\Big($$

$$\left(\frac{n+n'+1-K}{n+n'+1-i}\right)^{\mu}+(N+1)\frac{AL}{al}\left(\frac{N+K}{N+i}\right)^{\mu}\Bigg]-\frac{AL}{al}\cdot\frac{P'}{P}\Bigg[i+\lambda-1-\frac{N+1-i}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{N+1-i}{N+1-q}\right)^{\mu-1}\right\}\Bigg]\Bigg\rangle.$$

Если для упрощенія допустимъ, что $n=0$, $n'=0$, $N=0$, т.е. пренебрежемъ вліяніемъ всякихъ вредныхъ пространствъ, а равно и объема полости золотника, и, кромѣ того, допустимъ, что:

$$k=i=\lambda=q=1$$

т.е. предположимъ, что золотникъ не имѣетъ перекрышъ и эксцентрикъ поставленъ безъ опереженія, то предъидущее выраженіе приведется къ:

$$aPlm\left[1+\frac{1}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{alm}{AL}\right)^{\mu-1}\right\}-\frac{AL}{mal}\cdot\frac{P'}{P}\right]$$

Сравнивая это выраженіе съ тѣмъ, которое найдено въ подобныхъ же предположеніяхъ для машинъ съ однимъ цилиндромъ, и замѣчая, что въ настоящемъ случаѣ $\frac{mal}{AL}$ есть ничто иное, какъ отношеніе объема занятаго паромъ до отсѣчки къ окончательному объему, т.е. величина которая въ теоріи машинъ съ однимъ цилиндромъ названа была черезъ ζ, мы безъ труда усматриваемъ, что полное количество работы, доставленною этою машиною будетъ одинаково съ машиною объ одномъ цилиндрѣ, потребляющею то-же количество пара, дѣйствующею съ тѣмъ-же самымъ расширеніемъ при томъ-же начальномъ давленіи пара, при томъ-же давленіи въ холодильникѣ. — Этотъ результатъ легко было предвидѣть заранѣе, т.к. очевидно при вышеуказанныхъ условіяхъ паръ отъ одинаковаго въ обѣихъ машинахъ начальнаго состоянія, доводится до одинаковаго же въ обѣихъ машинахъ конечнаго состоянія и выпускается въ одинаковую среду. — Чтобы сравнить съ вычисленнымъ результатомъ при этихъ предположеніяхъ получаемымъ, результатъ, который получится, если примемъ въ соображеніе вредное пространство и распредѣленіе пара золотникомъ съ перекрышами и эксцентрикомъ съ опереженіями, вычислимъ работу машины Вульфа съ помощію и съ помощію сокращенной формулы, предполагая: $n=0{,}05$; $n'=0{,}05$; $N=0{,}05$; $q=0{,}976$; $\lambda=0{,}963$; $i=0{,}921$; $k=0{,}700$, причемъ такое распредѣленіе будетъ соотвѣтствовать углу опереженія эксцентрика въ 28°40' наружной перекрышѣ $=\frac{1}{4}$ и внутренней перекрышѣ $=\frac{1}{8}$ высоты окна. — Предполагаемъ далѣе $m=0{,}25$; $\frac{AL}{al}=4$; $\frac{P'}{P}=0{,}025$ и производя вычисленіе по полной и по сокращенной формуламъ, найдемъ, что работа, доставляемая паромъ будетъ:

по сокращенной формулѣ . . . . $aPl.\,0{,}853$

по полной формулѣ . . . . . $aPl.\,0{,}837$

Эти числа показываютъ весьма значительную разницу, и хотя полная формула выведена при положеніяхъ весьма невыгодныхъ, тѣмъ не менѣе едва-ли будетъ благоразумно отъ нея отступать и потому, если желаемъ съ цѣлью упрощенія первоначальнаго опредѣленія діаметровъ цилиндровъ въ машинѣ Вульфа принять сокращенную формулу, то это можно сдѣлать не иначе, какъ принявъ численный результатъ сокращенной формулы на нѣкоторый произвольный коэфиціентъ. — Согласный примѣръ, относящійся къ условіямъ наиболѣе часто встрѣчающимся показываетъ, что этотъ коэфиціентъ долженъ составить весьма приблизительно 0,6%. —

При опредѣленіи дѣйствительной работы машины Вульфа необходимо имѣть въ виду вредныя сопротивленія, какъ соотвѣтствующія машинѣ содѣйствующей порознь, т.е. и получаемыя отъ вліянія полезной нагрузки. — При этомъ всего проще разсматривать машину Вульфа, какъ состоящую изъ двухъ машинъ, одной съ малымъ и другой съ большимъ цилиндромъ, преодолѣвающихъ одинаковое полезное и одинаковыя вредныя сопротивленія, каждою единицею площади поршней; называя величину этого полезнаго сопротивленія,

отнесенную къ единицѣ площади каждаго поршня черезъ a, мы получимъ, что работа полезныхъ сопротивленій будетъ во время одного размаха поршня: $\omega al + \omega AL$. Работа вредныхъ сопротивленій при порожнемъ ходѣ машины, если назовемъ величину ея отнесенную къ каждой единицѣ площади черезъ f, будетъ также: $fal + fAL$. И наконецъ работа вредныхъ сопротивленій, соотвѣтствующихъ полезной нагрузкѣ будетъ: $\omega\delta al + \omega\delta AL$, такимъ образомъ работа полезныхъ и вредныхъ сопротивленій изобразится вообще черезъ $[\omega(1+\delta)+f](al+AL)$. — Приравнивая эту сумму работы, доставленной паромъ въ теченіе размаха обоихъ поршней, получимъ для опредѣленія полной полезной работы, пріобрѣтаемой при одномъ размахѣ поршня

$$\omega(al+AL) = \frac{\alpha alP - \beta ALP' - f(al+AL)}{1+\delta}$$

Гдѣ α есть коэфиціентъ при P; и β коэфиціентъ при P'; въ выведенныхъ выше формулахъ для опредѣленія работы пара: для сокращенной формулы:

$$d = m\left(1+\frac{1}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu-1}\right\}\right); \quad \beta = 1;$$

Объемъ пара, поддерживаемаго при каждомъ размахѣ поршня, если пренебречь вредномъ пространствомъ выразится черезъ mal, и какъ вѣсъ пара при одинаковомъ давленіи пропорціоналенъ его объему, то отношеніе между полезною работою, доставленною въ теченіе размаха и вѣсомъ израсходованнаго пара будетъ пропорціонально:

$$\frac{\omega(al+AL)}{mal} = \frac{\left[1+\frac{1}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu-1}\right\}\right]P - \frac{AL}{mal}P' - f\left(\frac{1}{m}+\frac{AL}{mal}\right)}{1+\delta}$$

Какъ видно это отношеніе зависитъ отъ количества $\frac{1}{m}$ и $\frac{AL}{mal}$, которыя представляютъ собою степени расширенія въ маломъ цилиндрѣ и величину полнаго расширенія. Если возьмемъ производныя отъ найденнаго выраженія, по каждому изъ количествъ $\frac{1}{m}$ и $\frac{AL}{mal}$ какъ по перемѣннымъ независимымъ, то первая будетъ $\frac{f}{1+\delta}$, а вторая будетъ имѣть видъ:

$$\frac{1}{1+\delta}\left\{-\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu-2}P+\left(\frac{AL}{mal}\right)^2(P'-f)\right\} = \left(\frac{AL}{mal}\right)^2\frac{1}{1+\delta}\left\{P'+f-\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu}P\right\}$$

Разсматривая каждую изъ этихъ производныхъ отдѣльно, легко убѣдиться, что производная по $\frac{1}{m}$ никогда не обращается въ 0, а остается постоянно отрицательною величиною, такъ, что отношеніе между доставленною работою и вѣсомъ истраченнаго пара съ увеличеніемъ $\frac{1}{m}$ убываетъ, такъ, что оказывается всего выгоднѣе уменьшать $\frac{1}{m}$ или увеличивать m по возможности. Изъ сего слѣдуетъ, что выгоднѣе всего положить $m=1$, т. е. вовсе не расширять паръ въ маломъ цилиндрѣ. — Это слѣдствіе однако есть прямой выводъ изъ предположенія о томъ, что работа вредныхъ сопротивленій машины ходящей порожнемъ есть величина пропорціональная суммѣ объемовъ, описываемыхъ поршнями машины.(*) Если-бы предположено было, что работа этихъ вредныхъ сопро-

(*) Дѣйствительно, если предположить согласно сдѣланному при выводѣ формулы допущенію, что работа вредныхъ сопротивленій пропорціональна суммѣ объемовъ описываемыхъ поршнями обоихъ цилиндровъ, то очевидно, что вліяніе вредныхъ сопротивленій будетъ тѣмъ менѣе и степень выгодности дѣйствія машины, по этой самой причинѣ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ при прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ будетъ меньше сумма объемовъ, описываемыхъ обоими поршнями машины; но объемъ описываемый большимъ поршнемъ совершенно независимъ отъ степени расширенія въ маломъ

тивленій пропорціональна только объему, описываемому поршнемъ большаго цилиндра, то очевидно отношеніе полезной работы пара къ его вѣсу вовсе-бы не зависѣло отъ m; а поэтому результатъ, который теперь полученъ не можетъ считаться совершенно правильнымъ, и величину m лучше опредѣлить изъ другаго условія. — Что-же касается до производной отъ разсматриваемаго отношенія полезной работы пара къ его вѣсу, взятой по $\frac{mal}{AL}$, то она обращается въ нуль, когда:

$$P\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu} = P + f$$

т.е. когда полное разширеніе пара таково, что паръ въ концѣ разширенія пріобрѣтаетъ давленіе, равное давленію холодильника, сложенному съ давленіемъ, выражающимъ отнесенную къ единицѣ площади поршня величину вредныхъ сопротивленій. — Такимъ образомъ наивыгоднѣйшая степень полнаго разширенія опредѣляется въ этихъ машинахъ тѣмъ же самымъ условіемъ, какъ и въ машинахъ съ однимъ цилиндромъ. —

Что-же касается до отношенія между величиною полнаго разширенія и разширеніемъ въ маломъ цилиндрѣ, то при опредѣленіи его, всего полезнѣе имѣть въ виду главную цѣль, для которой устраивается машина Вульфа, а именно возможную равномѣрность движенія не смотря на значительное разширеніе. — Дабы достигнуть этой цѣли нужно очевидно стараться, чтобы сумма элементарныхъ работъ пара измѣнялась по возможности мало, или чтобы отношеніе между наибольшею и наименьшею работами (элементарными), вычисленными для одинаковыхъ безконечно малыхъ перемѣщеній малаго поршня было наименьшее. — Но очевидно, что наибольшая элементарная работа, отвѣчающая данному безконечно малому перемѣщенію поршня, будетъ при началѣ размаха, а наименьшая при концѣ размаха; поэтому задача сводится къ тому, чтобы отыскать при какой степени разширенія въ маломъ цилиндрѣ отношеніе между элементарными работами пара въ началѣ и въ концѣ размаха будетъ наименьшее; если сохранимъ всѣ прежнія наименованія, и предположимъ для простоты машину съ эксцентрикомъ безъ опереженія, съ золотникомъ безъ перекрышъ и безъ вредныхъ пространствъ, то давленіе на рабочую и нерабочую сторону малаго поршня въ началѣ размаха будетъ: aP и aPm^{μ}. — Давленіе-же на рабочую и нерабочую сторону большаго поршня будетъ APm^{μ} и AP. — Въ концѣ размаха давленія на рабочую и нерабочую стороны малаго поршня будетъ: aPm^{μ} и $aP\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu}$, а давленіе на рабочую и нерабочую сторону большаго поршня изобразится черезъ:

$$aP\left(\frac{mal}{AL}\right)^{\mu} \quad \text{и} \quad AP.$$

цилиндръ, т.к. этотъ объемъ равенъ окончательному объему разширеннаго пара, независимо отъ того, разширяется ли этотъ паръ въ маломъ цилиндрѣ или нѣтъ. — Посему объемъ большаго цилиндра невозможно уменьшить не уменьшая степени полнаго разширенія, и слѣд. при данномъ полномъ разширеніи остается одно средство уменьшить работу вредныхъ сопротивленій, и это средство состоитъ въ уменьшеніи объема малаго цилиндра, что можно сдѣлать черезъ выпускъ пара по возможности въ теченіе всего размаха поршня, черезъ что нисколько не измѣнится ни общая работа, доставленная паромъ, ни степень окончательнаго разширенія.

смѣси въ цилиндрѣ сообщаться съ промежуточнымъ резервуаромъ части малаго цилиндра съ паромъ промежуточнаго резервуара въ обоихъ этихъ сосудахъ — смѣсь внезапно измѣнитъ свое состояніе; назовемъ черезъ c_0' T_0' p_0' величину пропорціи пара въ смѣси, абсолютную температуру и давленіе послѣ смѣшенія: элементы эти послѣдовательно измѣнялись въ теченіе цѣлаго размаха малаго поршня очевидно при установившемся движеніи машины должны въ концѣ размаха, т.е. передъ сообщеніемъ съ промежуточнымъ резервуаромъ другой части малаго цилиндра сдѣлаться равными x_1 T_1 p_1. — Должно замѣтить, что въ теченіе первой половины размаха малаго поршня (пока промежуточный резервуаръ не сообщенъ съ большимъ цилиндромъ); паръ въ неравочей части малаго цилиндра сжимается, и только со второй половины размаха малаго поршня начинается его расширеніе, обозначимъ черезъ x_1' T_1' p_1' пропорцію пара въ смѣси, абсолютную температуру и давленіе въ концѣ сжатія, и наконецъ черезъ x, T и p элементы характеризующіе смѣсь, приходящую изъ котла въ цилиндръ; пусть также G и G' будутъ вѣса пара, находящагося въ цилиндрѣ и резервуарѣ въ моментъ смѣшенія. — Всѣ поименованныя количества находятся между собою въ извѣстной связи, которая выражается слѣдующими ур. ми

1) Вѣсъ G пара поступаго въ цилиндръ изъ котла, умноженный на его объемъ, равенъ объему занятому паромъ въ маломъ цилиндрѣ до начала расширенія въ немъ:

$$G(xu + \sigma) = mal \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

2) Тотъ-же вѣсъ пара занимаетъ въ концѣ размаха малаго поршня весь объемъ описанный этимъ поршнемъ, слѣд:

$$G(x_0 u_0 + \sigma) = al \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

3) Вѣсъ G' пара, находящагося въ резервуарѣ въ моментъ смѣшенія имѣетъ удѣльный объемъ, изображаемый $x_1 u_1 + \sigma$; слѣд:

$$sal = G'(x_1 u_1 + \sigma) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

4) Вѣсъ $G + G'$ пара, непосредственно послѣ смѣшенія, имѣя удѣльный объемъ, выражаемый черезъ $x_0' u_0' + \sigma$, наполняетъ и малый цилиндръ и промежуточный резервуаръ, слѣдовательно:

$$(1 + s)\, al = (G + G')(x_0' u_0' + \sigma) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

5) Вѣсъ $G + G'$ пара, сжатый въ промежуточномъ резервуарѣ въ теченіе первой половины размаха малаго поршня имѣетъ удѣльный объемъ $x_1' u_1' + \sigma$ и наполняетъ пространство $(\frac{1}{2} + s)\, al$; слѣд:

$$\left\{\tfrac{1}{2} + s\right\} al = (G + G')(x_1' u_1' + \sigma) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

6) Вѣсъ $G + G'$ пара послѣ того, какъ малый поршень достигнулъ мертвой точки наполняетъ собою половину объема большаго цилиндра и промежуточный резервуаръ, и какъ при этомъ паръ, вслѣдствіе установившагося движенія машины дошелъ прійти въ состояніе, характеризуемое величинами x_1 T_1 p_1; то:

$$\left(s + \tfrac{1}{2}\tfrac{m}{q}\right) al = (G + G')(x u' + \sigma) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

7) Смѣшеніе паровъ, наполняющихъ объемъ малаго цилиндра и объемъ резервуара происходитъ безъ измѣненія внутренней энергіи, слѣд:

$$(7) \quad (G + G')\left\{\int_0^{t_0'} c\,dt + x_0'\left(r_0 - \frac{1}{A} p_0' u_0'\right)\right\} = G\left(\int_0^{t_0'} c\,dt + x_0\left(r_0 - \frac{1}{A} p_0 u_0\right)\right) + G'\left(\int_0^{t_0'} c\,dt + x_1\left(r_1 - \frac{1}{A} p_1 u_1\right)\right)$$

8) Расширеніе пара въ рабочей части малаго цилиндра происходитъ безъ принятія и безъ отдачи теплоты, слѣд:

$$\tau + \frac{xr}{T} = \tau_0 + \frac{x_0 r_0}{T_0} \quad \ldots\ldots (8)$$

9) Сжатіе пара въ нерабочей части малаго цилиндра и въ резервуарѣ, происходящее во время первой половины размаха малаго поршня совершается безъ принятія и безъ отдачи теплоты, слѣд:

$$\tau_0 + \frac{x_0 r_0}{T_0} = \tau_1' + \frac{x_1' r_1'}{T_1'} \quad \ldots\ldots (9)$$

10) Расширеніе пара въ нерабочей части малаго цилиндра, въ промежуточномъ резервуарѣ, и въ рабочей части большаго цилиндра, совершаемое во вторую половину размаха малаго поршня происходитъ безъ принятія и безъ отдачи теплоты, а какъ въ концѣ этого расширенія состояніе пара характеризуется величинами x_1, T_1 и p_1 то будетъ:

$$\tau_1' + \frac{x_1' r_1'}{T_1'} = \tau_1 + \frac{x_1 r_1}{T_1} \quad \ldots\ldots (10).$$

Такимъ образомъ получается десять ур-ій, въ которыя входятъ слѣдующія величины:

$$m, s, a, q, l, x, \tau \; ; \quad S, S', x_0 \tau_0, x_1, \tau_1, x_0', \tau_0', x_1', \tau_1' \; ;$$

такъ, что если даны 7 первыхъ величинъ, то остальныя 10 могутъ быть найдены.- Прежде, чѣмъ разрѣшить эти ур-ія замѣтимъ, что если $\frac{m}{q} = 2$ т.е. если большой цилиндръ вдвое превосходитъ малый, то черезъ сличеніе (4) и (6) находимъ:

$$x_0' u_0' + б = x_1 u_1 + б$$

и черезъ сличеніе (9) и (10)

$$\tau_0' + \frac{x_0' r_0'}{T_0'} = \tau_1 + \frac{x_1 r_1}{T_1}$$

И какъ этими двумя ур-ми вполнѣ опредѣляются x_0' и T_0' въ зависимости отъ x_1 и T_1 то изъ нихъ заключаемъ, что:

$$x_1 = x_0' \quad ; \quad T_1 = T_0' \; ;$$

Вслѣдствіе сего ур-іе (7) принимаетъ видъ:

$$\int_0^{t_0'} c\,dt + x_0'(\tau_0' - \tfrac{1}{A} p_0' u_0') = \int_0^{t_1} c\,dt + x_1(\tau_1 - \tfrac{1}{A} p_1 u_1) = \int_0^{t_1} c\,dt + x_0(\tau_0 - \tfrac{1}{A} p_0 u_0)$$

а совокупность ур-ій (2), (3) и (4) даетъ:

$$x_0' u_0' + б = u_1 x_1 + б = x_0 u_0 + б$$

Разсматривая эти равенства видимъ изъ нихъ, что не только будетъ, какъ уже нашли выше:

$$x_0' = x_1 \quad ; \quad T_0' = T_1 \; ;$$

но также:

$$x_0' = x_0 \quad ; \quad T_0' = T_0 \; ;$$

т.е. окончательное состояніе смѣси послѣ сообщенія малаго цилиндра съ резервуаромъ не измѣняется вовсе; так. обр. находимъ условіе того, чтобы вслѣдствіе введенія промежуточнаго резервуара небыло никакой потери въ давленіи пара; условіе это состоитъ въ томъ, чтобы большой цилиндръ ровно вдвое превосходилъ по объему малый цилиндръ.- Это условіе впрочемъ понятно и само собою безъ всякаго вычисленія; дѣйствительно тотчасъ послѣ смѣшенія паръ, заключенный въ резервуарѣ и въ маломъ цилиндрѣ занимаетъ объемъ равный сумѣ объемовъ резервуара и малаго цилиндра, - а передъ началомъ смѣшенія онъ-же занималъ объемъ равный объ-

расширенный въ рабочей части малаго цилиндра затѣмъ сжимается, когда этажъ становится нерабочею и затѣмъ, по сообщеніи ея съ рабочею частью большаго цилиндра снова расширяется, не доставляя при этомъ никакой полезной работы, между тѣмъ, какъ вредныя сопротивленія во всякомъ случаѣ дѣйствуютъ и во время сжатія и во время расширенія пара. — Очевидно, что чѣмъ меньше будетъ то окончательное давленіе до котораго будетъ доводиться паръ, черезъ разсматриваемое сжатіе въ нерабочей части малаго цилиндра в время первой половины размаха малаго поршня, тѣмъ меньше будетъ отрицательная работа сжатія и тѣмъ меньше слѣдовательно будетъ невыгодное его вліяніе на дѣйствіе машины. — Чтобы достигнуть этого устраиваютъ между большимъ и малымъ цилиндромъ промежуточный довольно большой резервуаръ пара, который въ теченіе первой половины размаха малаго поршня сообщенъ съ нерабочей частью малаго цилиндра, который около средины размаха малаго поршня, т.е. около мертвой точки большаго приходитъ въ сообщеніе съ рабочею частью большаго цилиндра, и остается съ нею, а также и съ нерабочею частью малаго цилиндра въ сообщеніе въ теченіе второй половины размаха малаго поршня при чемъ большой поршень проходитъ первую половину своего размаха; затѣмъ нерабочая часть малаго цилиндра обращается въ рабочую, въ нее входитъ паръ изъ котла и она конечно должна быть отдѣлена отъ резервуара съ которымъ приходитъ въ сообщеніе противоположная обращающаяся теперь въ нерабочую часть малаго цилиндра, между тѣмъ, какъ рабочая часть большаго цилиндра отдѣляется отъ резервуара и расширеніе въ ней происходитъ прежде отдѣленія отъ резервуара только отъ той части пара, которая при среднемъ положеніи большаго поршня находилась въ большомъ цилиндрѣ. — Такимъ образомъ дѣйствіе пара въ этихъ машинахъ можетъ быть характеризовано слѣд. образомъ:

а) въ рабочей части малаго цилиндра: паръ входитъ въ теченіе извѣстной доли размаха поршня изъ котла, и затѣмъ тѣснится и дѣйствуетъ расширеніемъ вплоть до конца размаха малаго поршня, причемъ въ теченіе всей длины размаха рабочая часть не сообщена съ промежуточнымъ резервуаромъ, и слѣд. паръ не выходитъ изъ рабочей части малаго цилиндра. —

б) Нерабочая часть малаго цилиндра въ теченіе всего размаха малаго поршня сообщена съ промежуточнымъ резервуаромъ, который со своей стороны сообщенъ съ рабочею частью большаго цилиндра только въ теченіе второй половины размаха малаго поршня или первой половины размаха большаго поршня; вслѣдствіе этого въ теченіе первой половины размаха малаго поршня паръ въ нерабочей части малаго цилиндра содержащійся вытѣсняется далѣе въ резервуаръ, но не находя изъ него выхода сжимается, и давленіе его постепенно возрастаетъ; въ теченіе же второй половины размаха онъ расширяется т.к. вытѣсняя изъ малаго цилиндра находитъ себѣ помѣщеніе въ рабочей части большаго цилиндра. —(*)

(*) Должно впрочемъ замѣтить, что расширеніе пара, заключеннаго въ промежуточномъ резервуарѣ и нерабочей части малаго цилиндра начинается не тотчасъ послѣ сообщенія резервуара съ большимъ цилиндромъ (предполагая, что сообщеніе это происходитъ при мертвой точкѣ поршня); дѣйствительно, предполагая

в) Рабочая часть большаго цилиндра в теченіе первой половины размаха большаго поршня (второй половины размаха малаго поршня) сообщена съ промежуточнымъ резервуаромъ, и паръ въ ней расширяется, причемъ въ этомъ расширеніи принимаетъ участіе, какъ паръ промежуточнаго резервуара, такъ и паръ еще невышедшій изъ нерабочей части малаго цилиндра. - Въ теченіе второй половины размаха большаго поршня расширеніе въ большомъ цилиндрѣ продолжается, но въ этомъ расширеніи принимаетъ участіе только паръ, успѣвшій въ теченіе первой половины размаха большаго поршня войти въ большой цилиндръ. -

г) Нерабочая часть большаго цилиндра въ теченіе всего размаха большаго поршня остается въ сообщеніи съ холодильникомъ, и потому давленіе пара на нерабочую сторону цилиндра будетъ постоянное. -

Нетрудно усмотрѣть какимъ образомъ измѣнится этотъ очеркъ дѣйствія пара внутри обоихъ сопряженныхъ цилиндровъ въ томъ случаѣ, если эксцентрики будутъ заклинены съ опереженіями и золотники будутъ сдѣланы съ перекрышами. - Не останавливаясь здѣсь на этомъ обстоятельствѣ, какъ уже выше мы имѣли примѣръ полнаго выясненія къ этимъ обстоятельствамъ относящагося, мы будемъ, согласно предыдущему, разсматривать исключительно случай, когда шатуны безконечно длинны, вредныя пространства нѣтъ, эксцентрики безъ опереженій и золотники безъ перекрышъ. - Удержавъ всѣ прежнія обозначенія для различныхъ элементовъ машины назовемъ черезъ ωl объемъ промежуточнаго резервуара, черезъ x; T, p — пропорцію пара въ смѣси, абсолютную температуру и давленіе, которыя въ ней имѣются передъ самымъ мгновеніемъ сообщенія его съ малымъ цилиндромъ; если эти элементы будутъ разнимы отъ элементовъ x. T. p., характеризующихъ въ этотъ моментъ состояніе

шатунъ безконечно длиннымъ, называя черезъ γ уголъ между кривошипами большаго и малаго цилиндровъ, черезъ φ, уголъ какого нибудь положенія кривошипа большаго цилиндра съ его положеніемъ, соотвѣтствующимъ внутренней мертвой точкѣ, безъ труда найдемъ, что разстояніе поршней будетъ: большаго отъ внутренней мертвой точки $\frac{L_1}{2}(1-\cos\varphi)$ и малаго отъ наружной мертвой точки $\frac{L}{2}(1+\cos(\gamma+\varphi))$ и слѣд. при безконечно маломъ вращеніи оси на уголъ $d\varphi$ эти разстоянія измѣняются соотвѣтственно на $\frac{L_1}{2}\sin\varphi\, d\varphi$ и на $-\frac{L}{2}\sin(\gamma+\varphi)\, d\varphi$ а объемъ между поршнями заключенный увеличивая на:

$$\frac{\omega L_1}{2}\, d\varphi\left\{\sin\varphi - \frac{\omega l}{\omega L_1}\sin(\gamma+\varphi)\right\}$$

Это выраженіе показываетъ, что каковъ бы ни былъ уголъ γ если только онъ менѣе 180° то во всякомъ случаѣ объемъ, между поршнями заключенный при $\varphi=0$ дальнѣйшимъ увеличеніемъ угла φ уменьшается, обращаясь въ 0 при φ удовлетворяющемъ условію $\frac{\sin(\gamma+\varphi)}{\sin\varphi} = \frac{\omega L_1}{\omega l}$. - Если $\gamma = 90°$, то это ур-іе приводится къ слѣд. $\cot g\varphi = \frac{\omega L_1}{\omega l}$ или $tg\varphi = \frac{\omega l}{\omega L_1}$. - Если положимъ

$\frac{\omega l}{\omega L_1} = \frac{1}{3}$ то φ опредѣляемое этимъ ур-іемъ будетъ 18°30′ т.е. расширеніе начнется только послѣ того, какъ кривошипъ большаго поршня удалится отъ своей мертвой точки на 18°30′, или большой поршень будетъ отстоять отъ мертвой точки на 0,026 своего размаха. -

Принимая въ соображеніе эти величины давленій, и замѣчая, что если перемѣщеніе малаго поршня есть dx, то перемѣщеніе большаго поршня, согласно принятымъ обозначеніямъ изобразится черезъ $\frac{A_1}{a_1}dx$, получимъ элементарную работу въ началѣ размаха подъ такимъ видомъ:

$$aPdx\left\{m^{\mu}+\left(\frac{ma_1}{A_1}\right)^{\mu}\left(\frac{A_1}{a_1}-1\right)-\frac{A_1}{a_1}\cdot\frac{P'}{P}\right\}$$

и элементарную работу въ концѣ размаха подъ такимъ видомъ:

$$aPdx\left\{m^{\mu}+\left(\frac{ma_1}{A_1}\right)^{\mu}\left(\frac{A_1}{a_1}-1\right)-\frac{A_1}{a_1}\cdot\frac{P'}{P}\right\}$$

Если обозначимъ отношеніе начальнаго объема пара къ окончательному, т. е. дробь $\frac{ma_1}{A_1}$ черезъ q, то отношеніе разсматриваемыхъ элементарныхъ работъ можно будетъ написать такимъ образомъ:

$$\frac{1+m^{\mu}\left(\frac{m}{q}-1\right)-\frac{m}{q}\cdot\frac{P'}{P}}{m^{\mu}+q^{\mu}\left(\frac{m}{q}-1\right)-\frac{m}{q}\cdot\frac{P'}{P}}$$

принимая для простоты $\mu=1$, и дифференцируя это выраженіе по m, получимъ, что производная отъ него будетъ:

$$\frac{\left(\frac{2m}{q}-1-\frac{1}{q}\cdot\frac{P'}{P}\right)\left(2m-q-\frac{m}{q}\cdot\frac{P'}{P}\right)-\left(2-\frac{1}{q}\frac{P'}{P}\right)\left(1+\frac{m^2}{q}-m-\frac{m}{q}\cdot\frac{P'}{P}\right)}{\left(2m-q-\frac{m}{q}\cdot\frac{P'}{P}\right)^2}$$

Полагая эту производную нулемъ для труда найдемъ, что разсматриваемое отношеніе элементарныхъ работъ достигаетъ своей наибольшей величины при:

$$\frac{m}{q}=\frac{q+\sqrt{(4-q)q-3q\,P'/P-\left(1+\frac{1}{q}\right)\left(P'/P\right)^2}}{2q-P'/P}$$

а какъ $\frac{m}{q}=\frac{A_1}{a_1}$, то найденное выраженіе и представляетъ собою наивыгоднѣйшее отношеніе объема большаго цилиндра къ малому; если предположимъ $q=\frac{1}{16}$; $\frac{P'}{P}=\frac{1}{20}$ то получимъ: $\frac{m}{q}=\frac{A_1}{a_1}=7,57$, такъ, что при разсматриваемыхъ условіяхъ отношеніе объемовъ двухъ цилиндровъ составляетъ почти 7,5, а впускъ пара въ малый цилиндръ продолжается нѣсколько менѣе, чѣмъ на половинѣ размаха поршня, и отношеніе между элементарными работами пара въ началѣ и въ концѣ размаха будетъ 7,37, между тѣмъ, какъ въ машинѣ съ однимъ цилиндромъ то-же самое отношеніе составляетъ 76, т. е. слишкомъ въ 10 разъ больше. — Понятно поэтому, что маховое колесо машины Вульфа, работающей съ того-же степенью равномѣрности, какъ и машина съ однимъ цилиндромъ, получается значительно меньшихъ размѣровъ; построеніе кривыхъ линій, нужныя для этой цѣли, не представляетъ ни малѣйшаго затрудненія, и мы на немъ останавливаться не будемъ; здѣсь замѣтимъ только, что даже при не очень значительномъ расширеніи, когда преимущество машины Вульфа менѣе ясно, въ маховомъ колесѣ получается очень значительное сбереженіе; такъ при $q=0,15$, при $\frac{A_1}{a_1}=3$ при $\frac{P'}{P}=0,05$ и при одинъ шатунѣ въ пять разъ превосходящей длину кривошипа получается, что маховое колесо машины Вульфа составляетъ только 0,82 маховаго колеса машины той-же силы, ходящей съ тѣмъ-же расширеніемъ, но имѣющей одинъ цилиндръ; это преимущество становится еще яснѣе въ случаѣ если направленія движенія поршней не совпадаютъ, какъ предположено, а противоположны другъ другу; а именно при этомъ оказывается, что маховое колесо машины Вульфа составляетъ всего 0,70 — машины съ однимъ цилиндромъ. — Причина этой болѣе значительной выгоды при употребленіи машины Вульфа съ противоположными другъ другу направленіями движенія поршней такова-

частя въ томъ, что, какъ извѣстно, въ случаѣ конечнаго отношенія между шатуномъ и кривошипомъ переходъ отъ внутренней мертвой точки къ наружной происходитъ при другихъ условіяхъ, нежели переходъ отъ наружной мертвой точки къ внутренней и это производитъ значительное усиленіе неравномѣрности движенія; въ машинахъ съ одинаково направленными движеніями обоихъ поршней, они вмѣстѣ идутъ отъ наружной мертвой точки до внутренней, и вмѣстѣ-же отъ внутренней мертвой точки къ наружной, между тѣмъ, какъ при противоположныхъ направленіяхъ движенія обоихъ поршней въ то время, какъ одинъ поршень идетъ отъ внутренней мертвой точки къ наружной, другой переходитъ отъ наружной мертвой точки къ внутренней, и такимъ образомъ прочитекающія изъ разности условій при этихъ переходахъ неравномѣрности складываются для обоихъ цилиндровъ при одинаковомъ направленіи движенія поршней, и вычитаются при направленіяхъ противоположныхъ. Дѣйствіе этой причины особенно сильно выказываются при сопряженныхъ машинахъ Вульфа съ четырьмя цилиндрами. — Если поршни каждой изъ сопряженныхъ машинъ двигаются въ одну и ту-же сторону, то вѣсъ маховаго колеса такой сопряженной машины составляетъ, при вышеобъясненныхъ отношеніяхъ 0,24 вѣса маховаго колеса обыкновенной машины той-же силы съ однимъ цилиндромъ, а въ случаѣ противоположныхъ направленій движенія поршней каждой изъ машинъ вѣсъ маховаго колеса составляетъ 0,09 вѣса маховика машины съ однимъ цилиндромъ. —

Съ цѣлью еще болѣе воспользоваться выгодными относительно равномѣрности движенія условіями дѣйствія пара въ машинахъ, въ которыхъ онъ дѣйствуетъ послѣдовательно въ 2^хъ цилиндрахъ, въ настоящее время часто употребляется особое устройство машины Вульфа, состоящее въ томъ, что кривошипы, на которые дѣйствуютъ давленія пара, передаваемыя большому и малому поршню становятся подъ прямымъ угломъ другъ къ другу. — При этомъ поршень одного цилиндра очевидно находится въ мертвой точкѣ, когда другой находится около средины своего размаха, и этимъ обусловливается совершенно особый способъ дѣйствія пара въ этихъ машинахъ. — Для составленія объ этомъ болѣе яснаго понятія допустимъ сначала, что шатуны имѣютъ безконечную длину, что распредѣлительные золотники не имѣютъ перекрышъ, а эксцентрики опереженій, и будемъ пренебрегать вредными пространствами обоихъ цилиндровъ. — Условившись въ этомъ замѣтимъ, что сообщеніе и разобщеніе рабочей части большаго цилиндра съ нерабочей частью малаго очевидно во всякомъ случаѣ должно происходить тогда, когда большой поршень находится въ своихъ мертвыхъ точкахъ и когда слѣд. малый поршень находится въ срединѣ своего размаха. — Такимъ образомъ сообщеніе нерабочей части малаго цилиндра съ рабочею частью большаго происходитъ не тогда, когда малый поршень находится въ мертвой точкѣ, а когда онъ около средины размаха, такъ, что въ теченіе первой половины размаха паръ не выходитъ изъ нерабочей части малаго цилиндра, слѣд. подвергается сжатію, въ силу чего получается значительная отрицательная работа, которая не пропадаетъ правда даромъ, т. к. сжатый въ нерабочей части малаго цилиндра паръ затѣмъ, расширяясь по сообщенію малаго цилиндра съ большимъ даетъ положительную работу, но это сжатіе во всякомъ случаѣ вредно, такъ какъ дѣйствіе его приводитъ къ тому, что паръ, сначала

ему резервуара и половины большаго цилиндра; такъ какъ мы желаемъ, чтобы состояніе пара передъ началомъ смѣшенія и тотчасъ послѣ него было одно и то-же, то очевидно и объемы его должны быть въ эти моменты одинаковы, т. е. объемъ малаго цилиндра долженъ равняться половинѣ объема большаго цилиндра.—

Это условіе впрочемъ рѣдко соблюдается въ случаяхъ очень значительнаго расширенія, т. к. для исполненія его пришлось-бы допускать весьма значительное расширеніе въ маломъ цилиндрѣ, а черезъ это потерялось-бы главнѣйшее преимущество, которое имѣютъ въ виду при устройствѣ машинъ Вульфа.

Для разрѣшенія вышенаписанныхъ ур-ій, коими опредѣляются измѣненія въ состояніи пара, заключеннаго въ рабочей части малаго цилиндра, а также и между обоими поршнями, можно поступить слѣд. образомъ: Ур-іе (1) и (2) даетъ:

$$x_0 = \frac{xu + (1-m)б}{mu_0} \quad \ldots\ldots\ldots (1')$$

Съ помощію этого равенство (8) приметъ видъ:

$$\tau_0 + \frac{xu + (1-m)б}{m} \cdot \frac{\tau_0}{u_0 T_0} = \tau + \frac{x\tau}{T} \quad \ldots (2')$$

Это послѣднее ур-іе заключаетъ въ себѣ лишь одну неизвѣстную, а именно температуру T_0 расширеннаго пара, которая изъ этого ур-ія окончательно опредѣлится, а вслѣдъ за тѣмъ изъ (1') найдена будетъ величина x_0, т. е. пропорція пара въ смѣси.— Такъ. образомъ будутъ найдены двѣ изъ числа неизвѣстныхъ, входящихъ въ наши 10 ур-ій. Затѣмъ изъ ур-ій (3) и (6) найдемъ:

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{m}{q}\, al = S(x_1u_1 + б) \quad \ldots\ldots\ldots (3')$$

Сличая-же это равенство съ (1) получимъ:

$$\frac{1}{2q} = \frac{x_1u_1 + б}{xu + б}$$

Сличая (4) и (6) найдемъ:

$$\frac{1+s}{m+2qs} = \frac{x_0'u_0' + б}{x_0u_0 + б} \quad \ldots\ldots\ldots (4')$$

Умножая затѣмъ (7) на $x_1u_1 + б$ и замѣняя произведенія $(S+S')(x_1u_1+б)$; $S(x_1u_1+б)$ и $S'(x_1u_1+б)$ ихъ величинами изъ ур-ія (3) и (6) получимъ:

$$\left(s + \frac{1}{2}\frac{m}{q}\right)\left[\int_0^{t_0} c\,dt - x_0'\left(\tau_0' - \frac{1}{A}p_0'u_0'\right)\right] = \frac{1}{2}\frac{m}{q}\left[\int_0^{t_0} c\,dt + x_0\left(\tau_0 - \frac{1}{A}p_0u_0\right)\right] +$$

$$+ s\left[\int_0^{t_0} c\,dt + x_1\left(\tau_1 - \frac{1}{A}p_1u_1\right)\right] \quad \ldots\ldots (5')$$

Если въ это ур-іе вставимъ на мѣсто x_0' и x_1 ихъ величины, слѣдующія изъ (3') и (4') то въ этомъ ур-іи останутся двѣ неизвѣстныя величины T_0 и T_1, которыя могутъ быть опредѣлены изъ сего ур-ія совокупно съ равенствомъ:

$$\tau_0 + \frac{x_0'\tau_0'}{T_0} = \tau_1 + \frac{x_1\tau_1}{T_1} \quad \ldots\ldots (6)$$

Въ которомъ также величины x_0' и x могутъ быть замѣнены ихъ величинами изъ (3') и (4'), а также изъ (5') и (6') могутъ быть найдены T_1 и T_0, т. е. температура

смѣси передъ сообщеніемъ малаго цилиндра съ резервуаромъ и немедленно послѣ его сообщенія.- Когда эти температуры будутъ извѣстны, то обратно изъ (3') и (4') найдены будутъ x_1 и x'_1 т.е. соотвѣтственныя пропорціи пара въ смѣси, а затѣмъ изъ (6) и (10) опредѣляется x'_1 и T'_1 т.е. пропорція пара въ смѣси и температура въ концѣ сжатія, и наконецъ изъ ур-ій (1) и (3) найдутся (9) и (9'):- Так. обр. задача будетъ вполнѣ рѣшена.- Какъ видно обсужденіе того, что дѣлается съ паромъ, заключеннымъ между поршнями въ машинахъ этого типа не представляетъ собою никакой большаго затрудненія.- А потому не останавливаясь на нихъ далѣе прибавимъ ко всему предъидущему то замѣчаніе, что нецѣлесообразное охлажденіе стѣнокъ самого резервуара могло-бы въ значительной степени уменьшить полезное дѣйствіе машины, устроенной вышеописаннымъ способомъ, а потому для устраненія означеннаго вреднаго вліянія паръ, находящійся въ промежуточномъ резервуарѣ подогрѣваютъ и для этой цѣли все устройство дѣлается такъ, какъ это изображаютъ приложенные чертежи, изъ которыхъ видно, что паровые цилиндры окружены обо особыми кожухами или рубашками, которые непосредственно сообщены съ котломъ, и промежуточный резервуаръ лежитъ снаружи этихъ рубашекъ.- Паръ, имѣющій ту-же температуру, какъ и содержаніе котла наполняетъ такимъ образомъ пространство, заключающееся между паровыми цилиндрами и промежуточнымъ резервуаромъ, и съ одной стороны поддерживаетъ температуру стѣнокъ цилиндра, а съ другой стороны вознаграждаетъ нецѣлесообразность вслѣдствіе лучеиспусканія потери теплоты промежуточнаго резервуара.-

Подобнаго рода машины старались устраивать также и безъ промежуточнаго резервуара; наиболѣе извѣстною попыткою въ этомъ родѣ представляетъ машина Стюарда и Никольсона, примѣненная между прочимъ на англійскомъ пароходѣ „Briton".- Въ ней имѣются два цилиндра (фиг. 4) стержни которыхъ сочленены съ кривошипами, расположенными подъ прямымъ угломъ.- Въ стѣнкахъ цилиндра, сообщающагося съ котломъ продѣланы два отверстія, которыя находятся въ постоянномъ сообщеніи съ коробкою большаго цилиндра, въ которой имѣется свой распредѣлительный золотникъ; отверстія эти расположены такимъ образомъ, что при движеніи поршня внутри цилиндра, рабочая часть его сообщается съ сими отверстіями и при посредствѣ ихъ съ полостью золотника большаго цилиндра тогда, когда кривошипъ малаго цилиндра находится въ положеніи перпендикулярномъ къ линіи мертвыхъ точекъ, и слѣд. когда большой поршень находится въ мертвой точкѣ: сей золотникъ, распредѣляющій паръ въ большомъ цилиндрѣ поставленъ такимъ образомъ, что при этомъ паръ можетъ свободно идти въ рабочую часть большаго цилиндра, то очевидно, что въ теченіе первой половины размаха большаго поршня и одновременно съ нею совершаемой второй половины размаха малаго поршня паръ будетъ частью переходить изъ малаго цилиндра въ большой и при этомъ станетъ расширяться вслѣдствіе увеличенія объема, занимаемаго имъ, какъ въ маломъ, такъ и въ большомъ цилиндрѣ.- Вообразимъ себѣ затѣмъ, что сообщеніе рабочей части большаго цилиндра съ полостью золотника прекращается, когда малый поршень дошелъ до своей мертвой точки и слѣдовательно большой поршень достигъ почти средины размаха; положимъ сверхъ того, что золот-

никъ малаго цилиндра установить при этомъ сообщеніе между холодильникомъ и бывшею рабочею, а нынѣ становящеюся нерабочею частью малаго цилиндра; очевидно, что паръ, успѣвшій перейти въ большой цилиндръ начинаетъ въ немъ расширяться независимо отъ малаго цилиндра, паръ-же, оставшійся въ маломъ цилиндрѣ выходитъ въ холодильникъ; это расположеніе продолжается до тѣхъ поръ, пока кривошипъ большаго поршня дойдетъ до другой мертвой точки; малый поршень откроетъ тогда сообщеніе другой рабочей части малаго цилиндра съ полостью золотника большаго цилиндра, и какъ этотъ золотникъ откроетъ сообщеніе новой рабочей части большаго цилиндра со своею полостью, то паръ изъ рабочей части малаго цилиндра начнетъ переходить въ рабочую часть большаго цилиндра и станетъ тамъ расширяться. — Соединяя все вышесказанное мы получаемъ слѣдующій порядокъ дѣйствія пара въ разсматриваемой машинѣ:

1) Малый поршень находится въ нижней мертвой точкѣ, большой около средины размаха снизу вверхъ. Паръ входитъ изъ котла въ нижнюю часть малаго цилиндра, а изъ верхней его части выходитъ въ холодильникъ; паръ, заключенный въ нижней части большаго цилиндра отдѣленъ отъ малаго цилиндра и отъ холодильника, а потому при дальнѣйшемъ движеніи большаго поршня расширяется въ нижней части большаго цилиндра, верхняя-же часть большаго цилиндра сообщена съ холодильникомъ. — Это состояніе продолжается до тѣхъ поръ, пока достигъ пара въ малый цилиндръ не будетъ прекращенъ дѣйствіемъ расширительнаго золотника, что должно случиться во всякомъ случаѣ раньше, чѣмъ большій поршень достигнетъ верхней мертвой точки; за послѣдовавшею отсѣчкою въ маломъ цилиндрѣ паръ въ немъ начинаетъ расширяться, во всѣхъ-же прочихъ отношеніяхъ дѣйствіе пара остается то-же самое, пока кривошипъ большаго цилиндра не дойдетъ до своей мертвой точки, причемъ:

2) малый поршень находится въ томъ положеніи, при которомъ нижняя его часть соединяется съ помощію золотника, а большой поршень находится въ верхней мертвой точкѣ. — Начиная съ этого мгновенія паръ, расширявшійся до сихъ поръ въ одной нижней части малаго цилиндра начинаетъ переходить въ верхнюю часть большаго цилиндра, поршень котораго опускается, верхняя часть малаго цилиндра остается въ сообщеніи съ холодильникомъ, а нижняя часть большаго при этомъ положеніи приходитъ съ холодильникомъ въ сообщеніе. — Это продолжается до тѣхъ поръ, пока машина не придетъ въ положеніе, при которомъ:

3) малый поршень находится въ верхней мертвой точкѣ а большой около средины своего нисходящаго размаха. — Затѣмъ въ верхнихъ частяхъ цилиндровъ начинаетъ происходить то-же самое, что было до сихъ поръ въ нижнемъ и наоборотъ. —

Понятно, какія измѣненія произойдутъ въ дѣйствіи пара, если золотники будутъ съ перекрышами и эксцентрики съ опереженіями.

Разсматривая дѣйствіе этой машины нетрудно убѣдиться, что теоретическое ея основаніе едва-ли выдерживаетъ строгую критику; паръ, вошедшій напр. въ нижнюю часть малаго цилиндра изъ котла при верхней мертвой точкѣ малаго поршня, наполняетъ собою весь объемъ малаго цилиндра и верхнюю половину

объема большаго цилиндра; затемъ та часть, которая находится въ большомъ цилиндрѣ продолжаетъ расширяться, увеличивая свой объемъ вдвое, та же часть, которая заключена въ маломъ цилиндрѣ, не подвергаясь подобному-же расширенію выходитъ въ холодильникъ: — такимъ образомъ теряется вся та работа, которую эта часть пара могла бы доставить своимъ расширеніемъ, и только въ случаѣ если малый цилиндръ будетъ очень малъ сравнительно съ большимъ, это потеря будетъ мала. —

Представляется болѣе раціональною слѣдующая комбинація машины Вульфа съ взаимно перпендикулярными кривошипами и безъ промежуточнаго резервуара. —

Вообразимъ себѣ малый цилиндръ съ вреднымъ пространствомъ съ каждой стороны, объемъ котораго опредѣленъ такимъ образомъ, чтобы паръ, достигшій наибольшаго расширенія, которое желаемъ произвести въ машинѣ и наполняющій собою сумму объемовъ вреднаго пространства и половину малаго цилиндра будучи посредствомъ сжатія доведенъ до объема одного только вреднаго пространства, получалъ давленіе равное давленію пара въ котлѣ. — Условившись въ этомъ вообразимъ, что паръ приходитъ изъ котла въ малый цилиндръ, начиная съ нижней мертвой точки до тѣхъ поръ пока малый поршень не пройдетъ отъ низу нѣкоторую часть размаха, меньшую половины, что затѣмъ паръ отсѣкается и начинаетъ расширяться въ маломъ цилиндрѣ, до тѣхъ поръ, пока онъ не дойдетъ до средины восходящаго размаха, что въ этотъ моментъ (въ который большой поршень находится въ нижней мертвой точкѣ открывается сообщеніе нижней части малаго цилиндра съ нижнею-же частью большаго, что это сообщеніе продолжается въ теченіе всего того времени, пока поршень большаго цилиндра дѣлаетъ свой восходящій размахъ, причемъ малый поршень доходитъ до своей верхней мертвой точки и дѣлаетъ половину нисходящаго размаха, что затѣмъ соединеніе между нижними частями цилиндровъ прекращается и нижняя часть большаго цилиндра сообщается съ холодильникомъ, а нижняя часть малаго цилиндра остается въ разобщеніи, какъ съ котломъ, такъ и съ большимъ цилиндромъ, такъ, что паръ въ ней сжимается. — Точно то-же самое происходитъ и въ верхнихъ частяхъ обоихъ цилиндровъ, такъ, что мы получаемъ слѣдующій обзоръ всего дѣйствія нашей машины, изображенный на фиг. 5. —

1) Отъ нижней мертвой точки малаго поршня до средины размаха поршня (отъ средины нисходящаго размаха большаго поршня до нижней мертвой точки).

Нижняя часть малаго цилиндра сначала сообщена съ котломъ, потомъ дѣйствіемъ расширителнаго золотника съ нимъ разобщена, съ большимъ цилиндромъ она не сообщена. — Паръ въ ней дѣйствуетъ сначала полнымъ давленіемъ и затѣмъ расширяется до извѣстной степени. — Верхняя часть малаго цилиндра сообщена съ верхнею частью большаго, причемъ большой поршень, находясь около средины размаха движется сверху внизъ: паръ расширяется, какъ въ верхней части малаго цилиндра, такъ и въ верхней части большаго. —

Нижняя часть большаго цилиндра сообщена съ холодильникомъ, куда и выходитъ

паръ, окончившій свое дѣйствіе.-

2) Отъ средины восходящаго размаха малаго поршня до верхней мертвой его точки (отъ нижней мертвой точки большаго поршня до средины размаха восходящаго).-

Въ началѣ этого періода нижняя часть малаго цилиндра приходитъ въ сообщеніе съ нижнею-же частью большаго и остается съ нею въ сообщеніи въ теченіе всего разсматриваемаго періода, такъ, что паръ расширяется и въ нижней части малаго и въ нижней части большаго цилиндра.-

Верхняя часть малаго цилиндра въ началѣ этого періода разобщается съ верхнею частью большаго и въ ней начинается сжатіе, которое продолжается до самаго конца разсматриваемаго періода, причемъ паръ, получившій свое наибольшее расширеніе до конца предыдущаго періода и остающійся въ маломъ цилиндрѣ (наполняя половину его объема и объема вреднаго пространства) сжимается и доводится до объема вреднаго пространства малаго цилиндра, причемъ, согласно первоначальному условію, положенному въ основаніе для опредѣленія сего пространства, сжатый моментально паръ принимаетъ давленіе, равное давленію въ котлѣ.-

Верхняя часть большаго цилиндра приходитъ въ началѣ этого періода въ сообщеніе съ холодильникомъ и остается въ этомъ сообщеніи въ теченіе всего періода.-

3) Отъ верхней мертвой точки малаго поршня до средины нисходящаго размаха его (отъ средины восходящаго размаха большаго поршня до верхней мертвой его точки).

Нижняя часть малаго цилиндра, пришедшая въ сообщеніе съ большимъ въ началѣ предыдущаго періода остается съ нимъ въ сообщеніи и въ теченіе этого періода, такъ, что паръ, уменьшая свой объемъ въ нижней части малаго цилиндра увеличиваетъ его въ нижней части большаго и продолжаетъ расширяться, достигая въ концѣ періода наибольшаго расширенія(*) причемъ наполняетъ собою полный объемъ большаго цилиндра и половину объема малаго цилиндра; слѣдовательно здѣсь происходитъ въ нижнихъ частяхъ обоихъ цилиндровъ то-же самое, что въ теченіе перваго періода происходило въ верхнихъ частяхъ.-

Въ верхней части малаго цилиндра, сообщающейся въ началѣ этого періода съ котломъ паръ сначала дѣйствуетъ полнымъ давленіемъ, затѣмъ расширяется, оставаясь въ сообщеніи, какъ съ котломъ такъ и съ большимъ цилиндромъ, совершенно подобно тому, какъ онъ дѣйствуетъ въ нижней части малаго цилиндра въ теченіе перваго періода. Верхняя часть большаго цилиндра находится въ сообщеніи съ холодильникомъ въ теченіе всего этого періода совершенно подобно тому, какъ находилась съ холодильникомъ въ сообщеніи нижняя часть большаго цилиндра въ теченіе періода.-

4) Отъ средины нисходящаго размаха малаго поршня до нижней его мертвой точки (отъ верхней мертвой точки большаго поршня до средины его нисходящаго размаха).

Сообщеніе нижней части малаго цилиндра съ большимъ прекращается, и паръ сжа-

---

(*) Собственно говоря въ концѣ разсматриваемаго періода начинается уже сжатіе вслѣдствіе того, что малый поршень въ своей наибольшей скорости, а большой подходитъ къ мертвой точкѣ. Это обстоятельство уже разобрано выше и мы на немъ не останавливаемся.-

тиссій наибольшаго расширенія и занимающій сумму объемовъ половины малаго цилиндра и его вреднаго пространства доходитъ посредствомъ сжатія до давленія равнаго давленію въ котлѣ, подобно тому, какъ это дѣлается въ верхней части малаго цилиндра въ теченіе второго періода.-

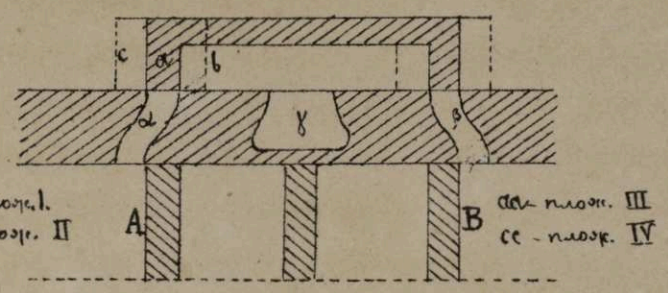
Верхняя часть малаго цилиндра сообщается съ верхнею частью большаго и паръ въ объемахъ сообщенныхъ между собою частяхъ расширяется точно также, какъ это происходитъ въ нижнихъ частяхъ обоихъ цилиндровъ во второй періодъ.- Нижняя часть большаго цилиндра приходитъ въ сообщеніе съ холодильникомъ и остается съ нимъ въ сообщеніи подобно тому, какъ это имѣетъ мѣсто относительно верхней части большаго цилиндра во второй періодъ.- Дѣйствующій въ машинѣ описаннаго устройства паръ раздѣляется вышеуказаннымъ образомъ на двѣ части: 1) паръ, имѣющійся во вредномъ пространствѣ малаго цилиндра въ моментъ сообщенія его съ котломъ, и доведенный посредствомъ предварительнаго сжатія до того-же состоянія въ которомъ находится паръ, приходящій изъ котла.- 2) паръ, - свѣжій, доставляемый изъ котла.- По прекращеніи доступа этого послѣдняго обѣ количества пара вмѣстѣ расширяются до тѣхъ поръ, пока общее ихъ давленіе не достигнетъ наименьшей величины, которую мы допускаемъ объемъ наибольшаго своего значенія, составляющаго сумму: 1) Вреднаго пространства малаго цилиндра 2) половины объема, описаннаго малымъ поршнемъ 3) Полнаго объема, описаннаго большимъ поршнемъ 4) Вреднаго пространства большаго цилиндра.- Затѣмъ паръ раздѣляется на двѣ части;- паръ наполняющій объемы 1 и 2 начинаетъ сжиматься и по предположенію, будучи доведенъ до объема вреднаго пространства, пріобрѣтаетъ то-же состояніе, какое имѣлъ вначалѣ паръ, заключенный въ этомъ вреднымъ пространствѣ, и слѣд. имѣетъ тотъ-же вѣсъ, что и этотъ паръ.- Поэтому паръ, наполняющій собою объемы 4 и 3, представляетъ собою вѣсъ пара вышедшаго изъ котла, который, расширенный до наибольшей возможной степени, и окончившій такимъ образомъ свое дѣйствіе направляется въ холодильникъ.-

Эта система очевидно исполняетъ одно изъ выясненныхъ условій цикла Карно, вслѣдствіе котораго вредное пространство малаго цилиндра не оказываетъ никакаго вреднаго дѣйствія.- Если угодно, это эта система машины весьма подобна машинѣ съ промежуточнымъ резервуаромъ, только этотъ послѣдній раздѣленъ на двѣ части, изъ коихъ одна присоединена къ вредному пространству малаго цилиндра, а другая къ вредному пространству большаго цилиндра, и затѣмъ сжатіе пара, вмѣсто того, чтобы производиться въ теченіе первой половины размаха малаго поршня, производится въ теченіе второй половины этого размаха, что представляется болѣе соотвѣтственнымъ съ теоретически правильнымъ дѣйствіемъ пара.-

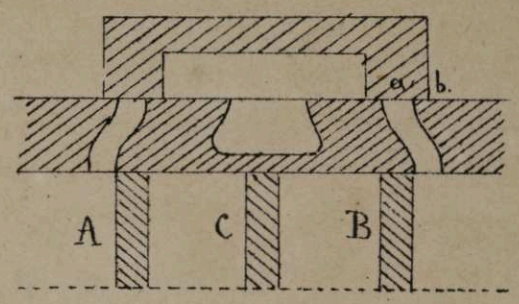
—

Конецъ.-

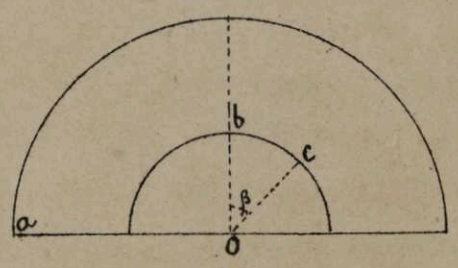
фиг. 1.



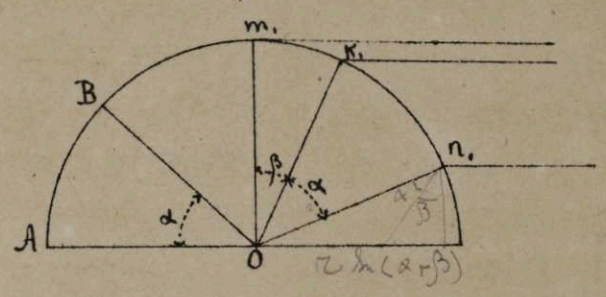
фиг. 2.



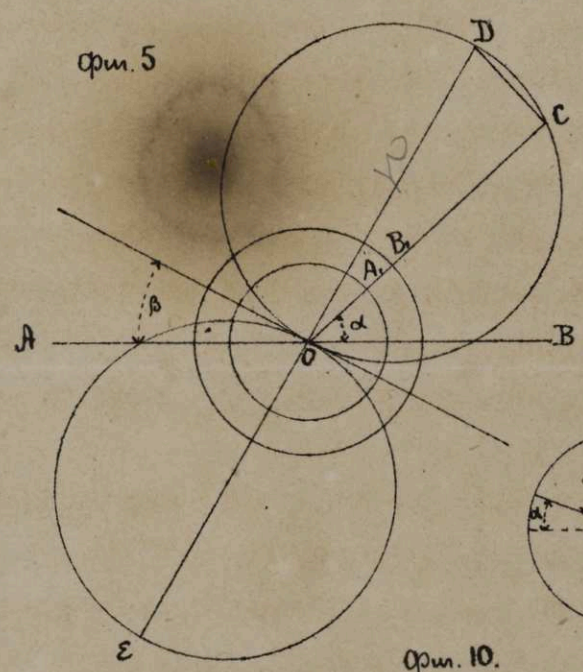
фиг. 3



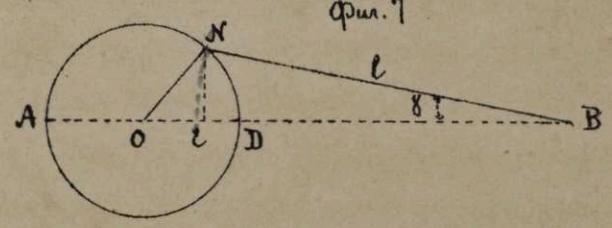
фиг. 4



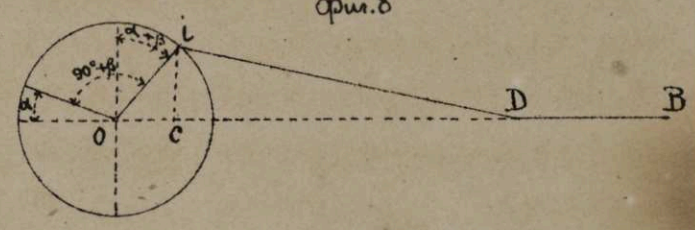
фиг. 5



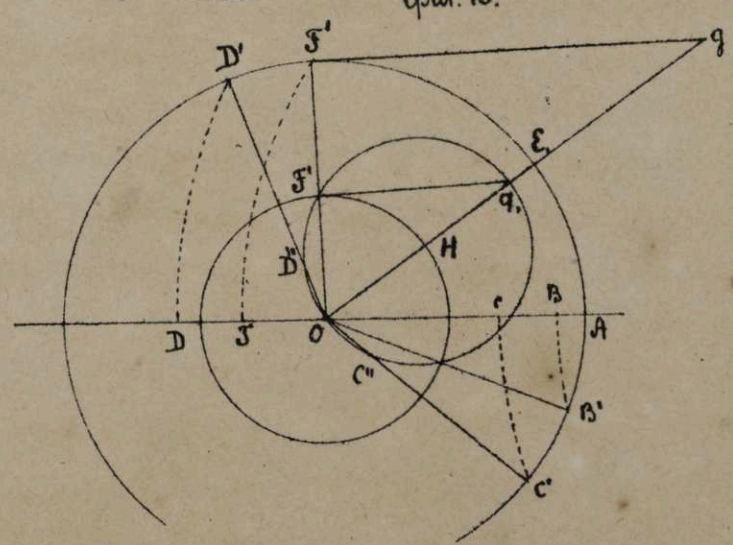
фиг. 7



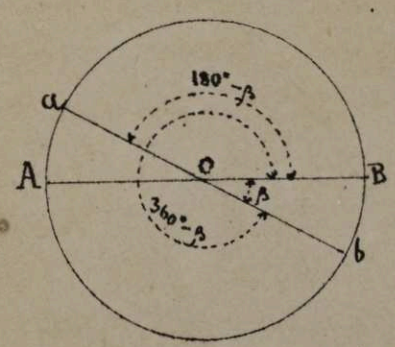
фиг. 8



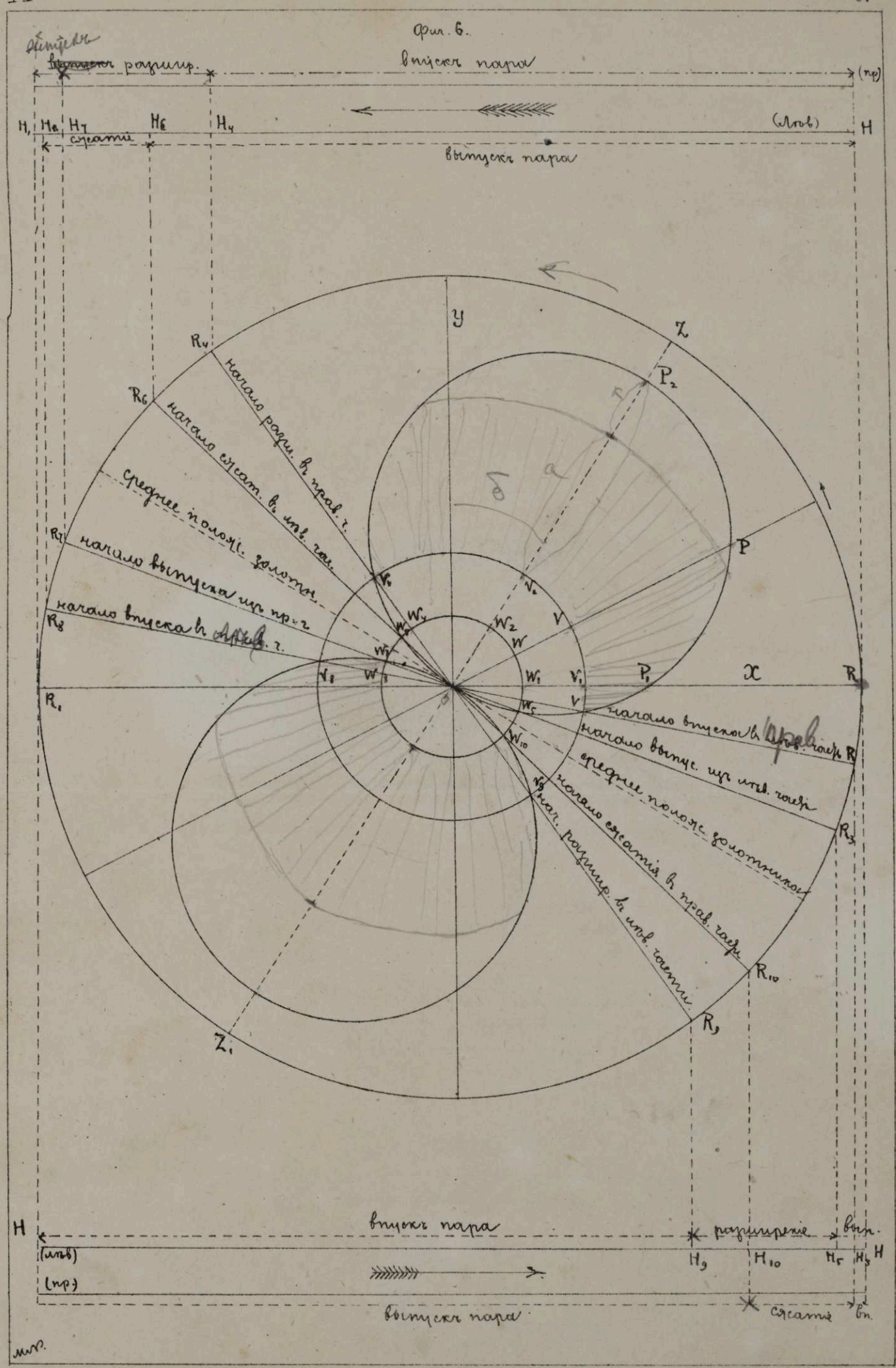
фиг. 10.



фиг. 9.

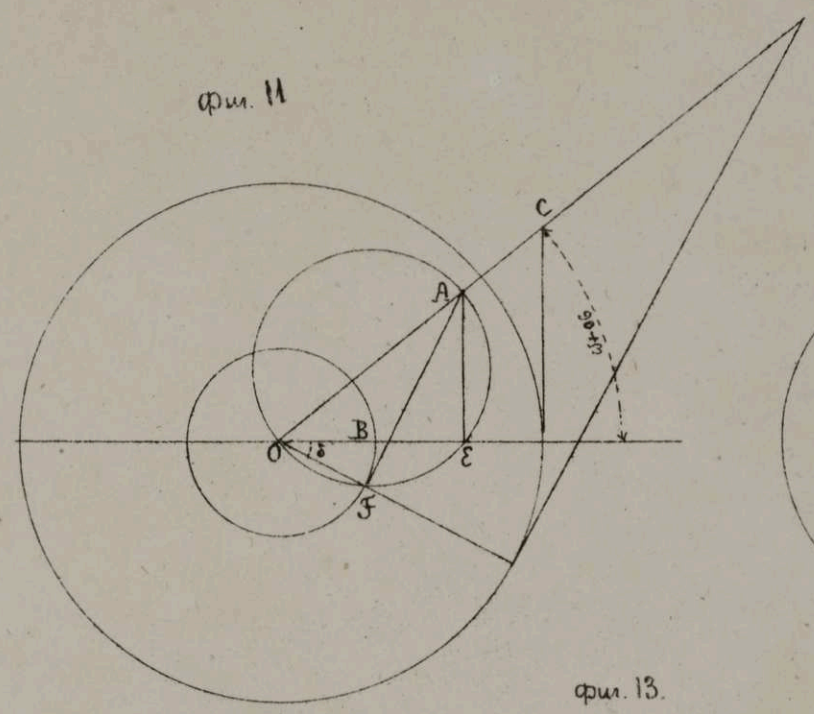


Фиг. 6.

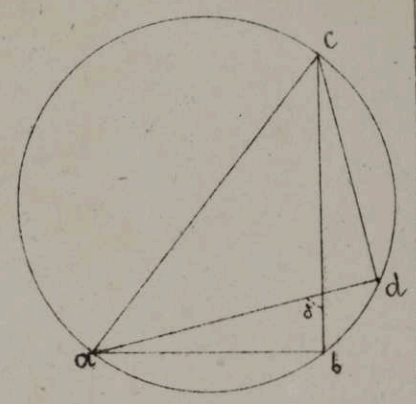


< б откладывается
вѣ́тораго
противупо
вращенію
Кривошипа

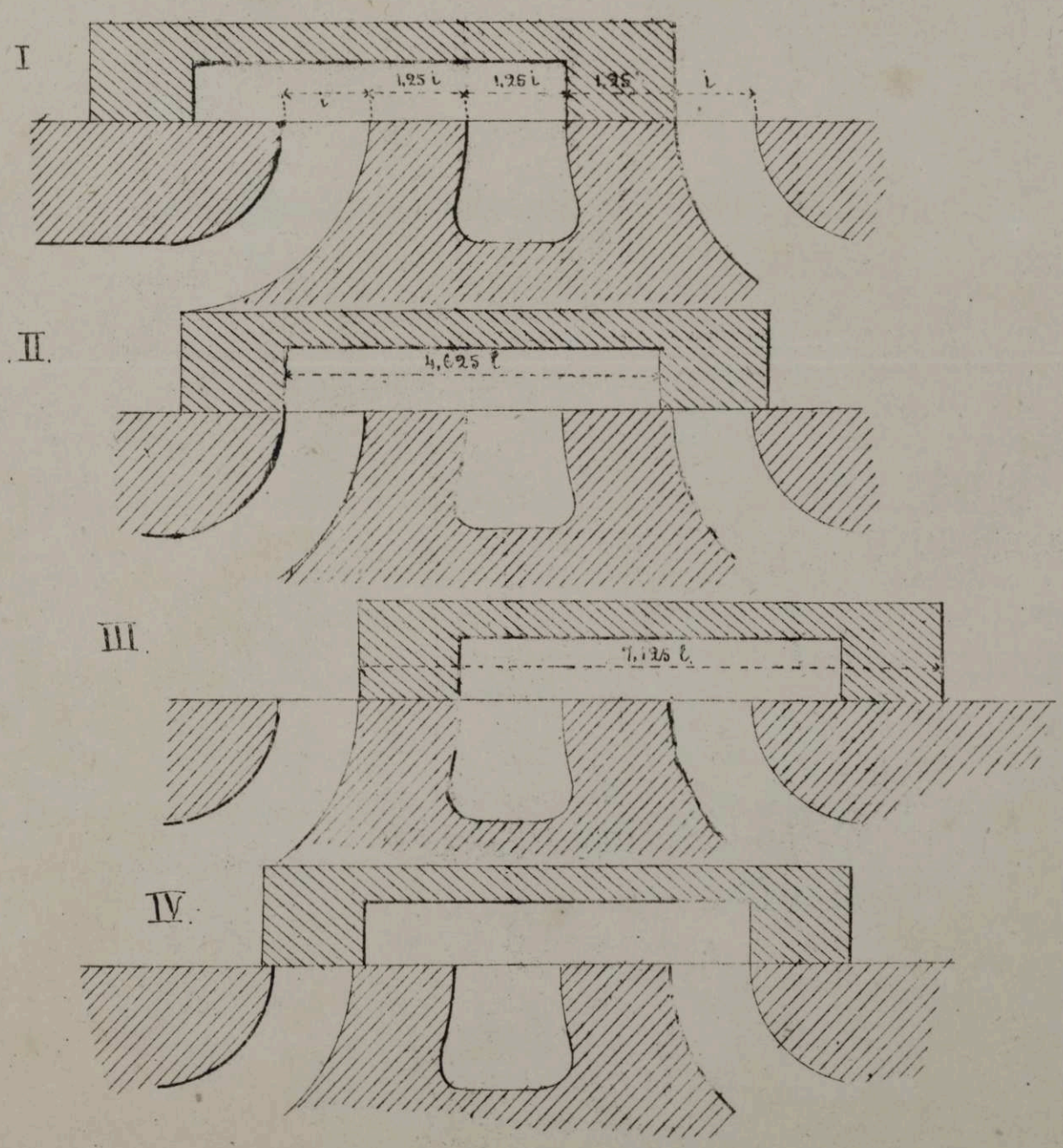
фиг. 11



фиг. 12



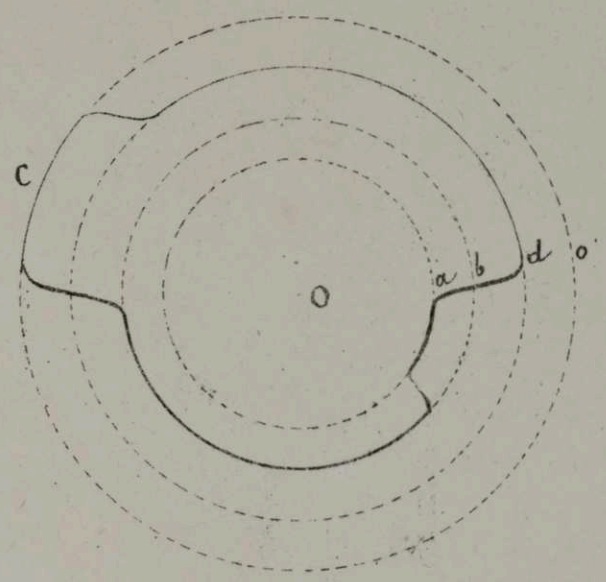
фиг. 13.



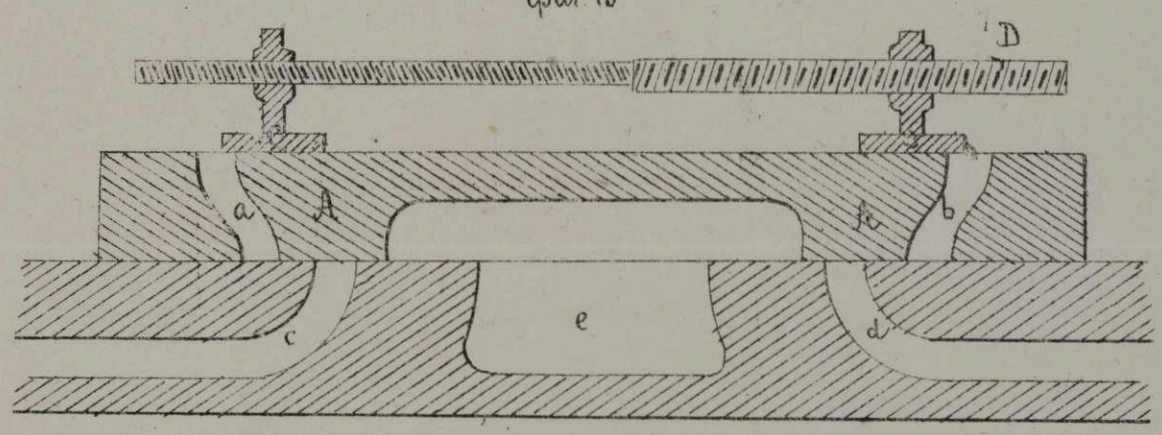
A

Tab. 4.

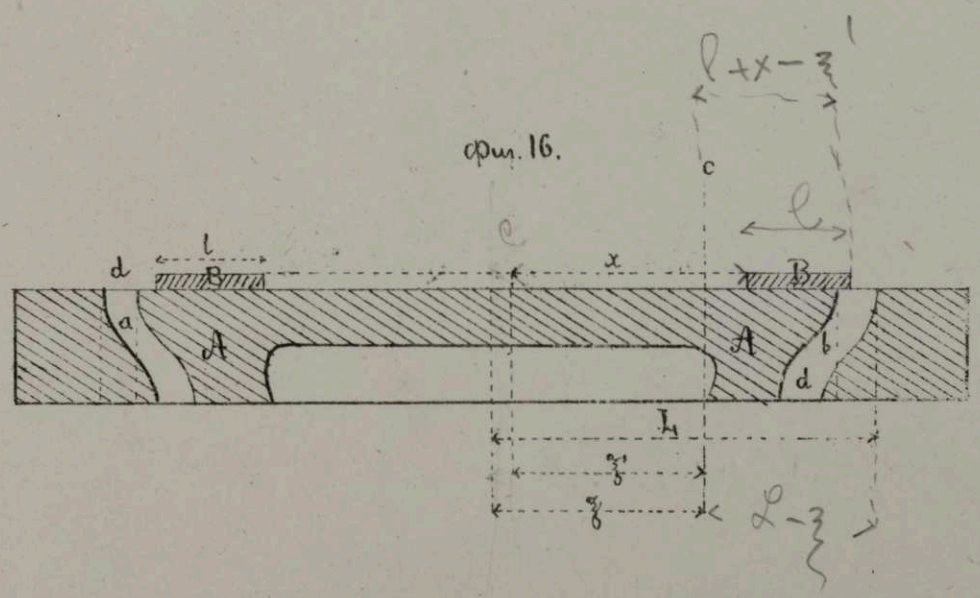
фиг. 14.



фиг. 15



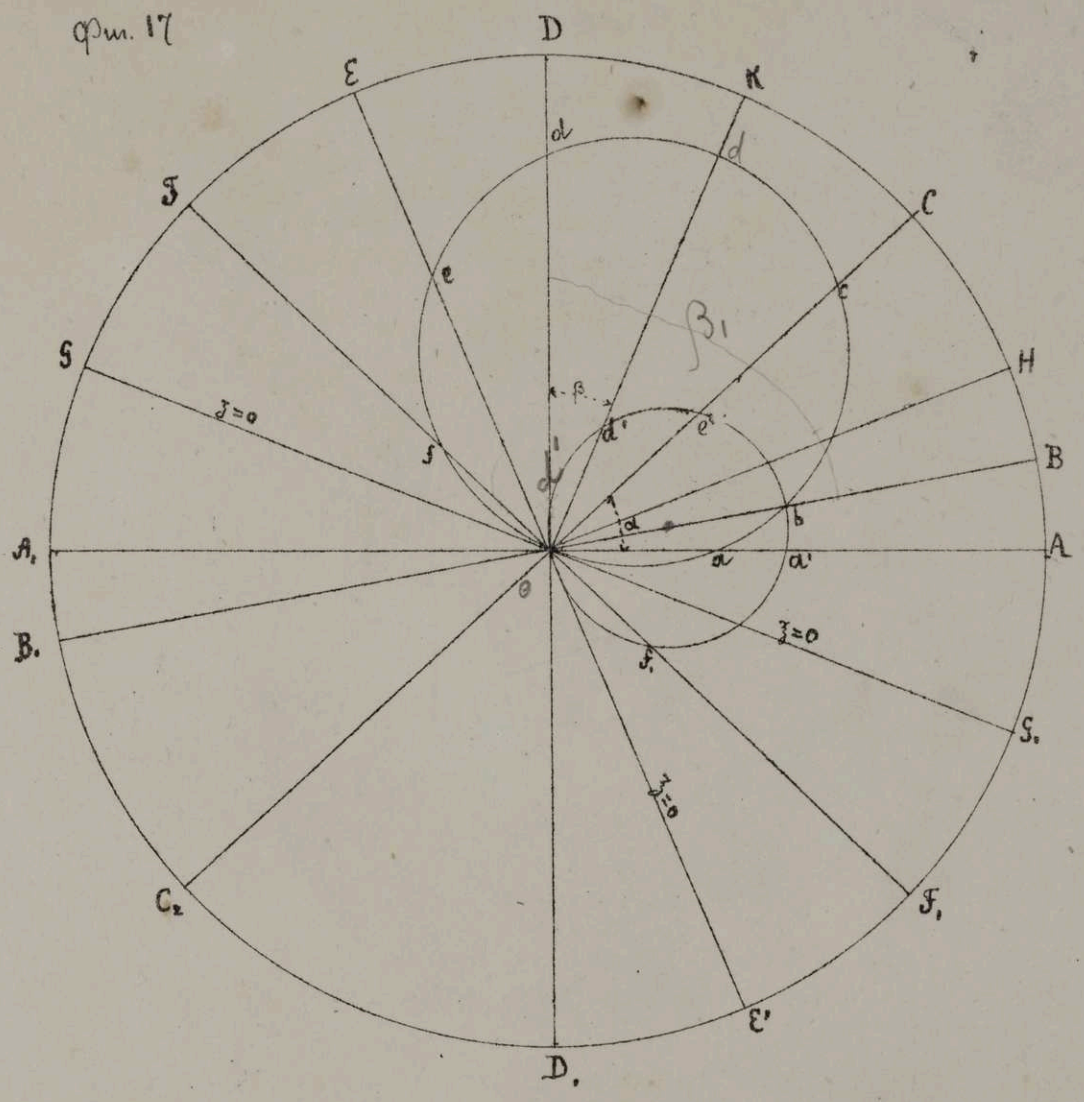
фиг. 16.



A

Tab. 5.

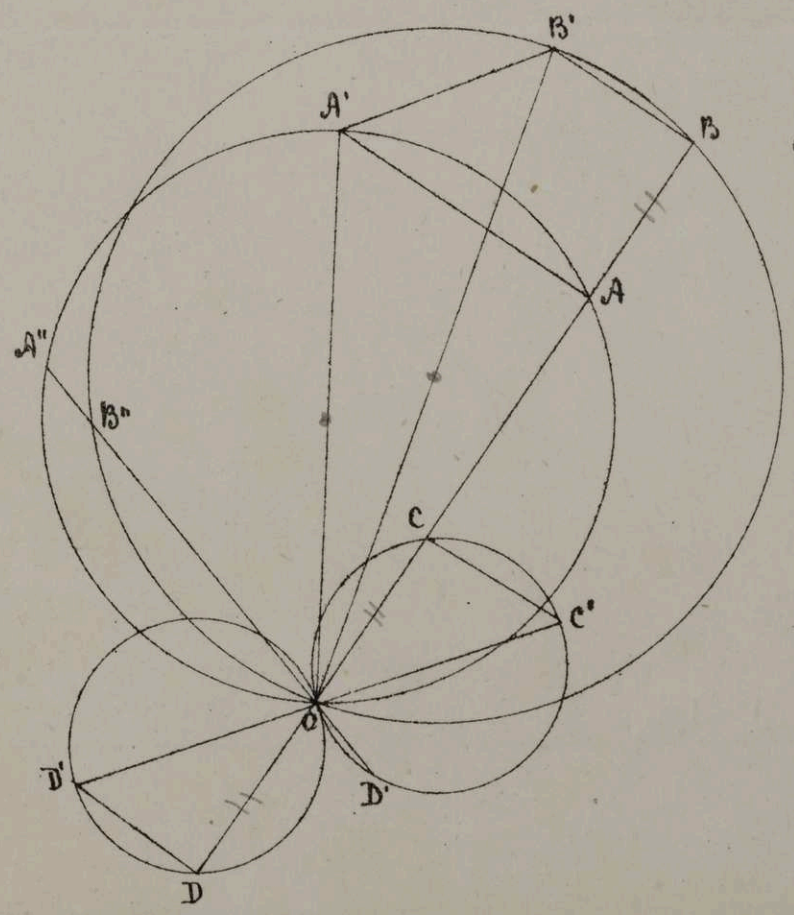
Фиг. 17



$\theta c' = \zeta'$

$\theta c = \zeta$

$c c' = \zeta - \zeta'$

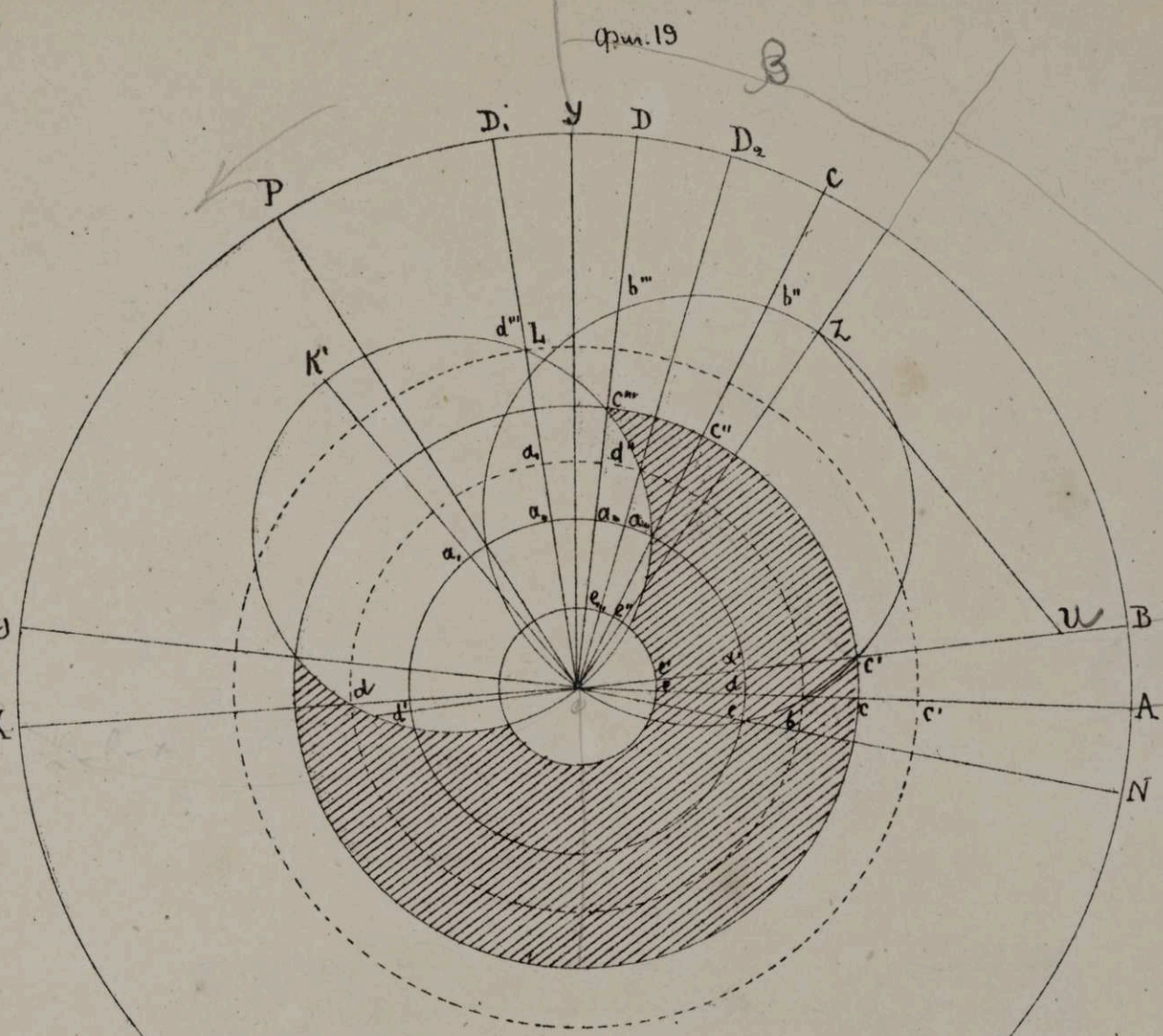


Фиг. 18

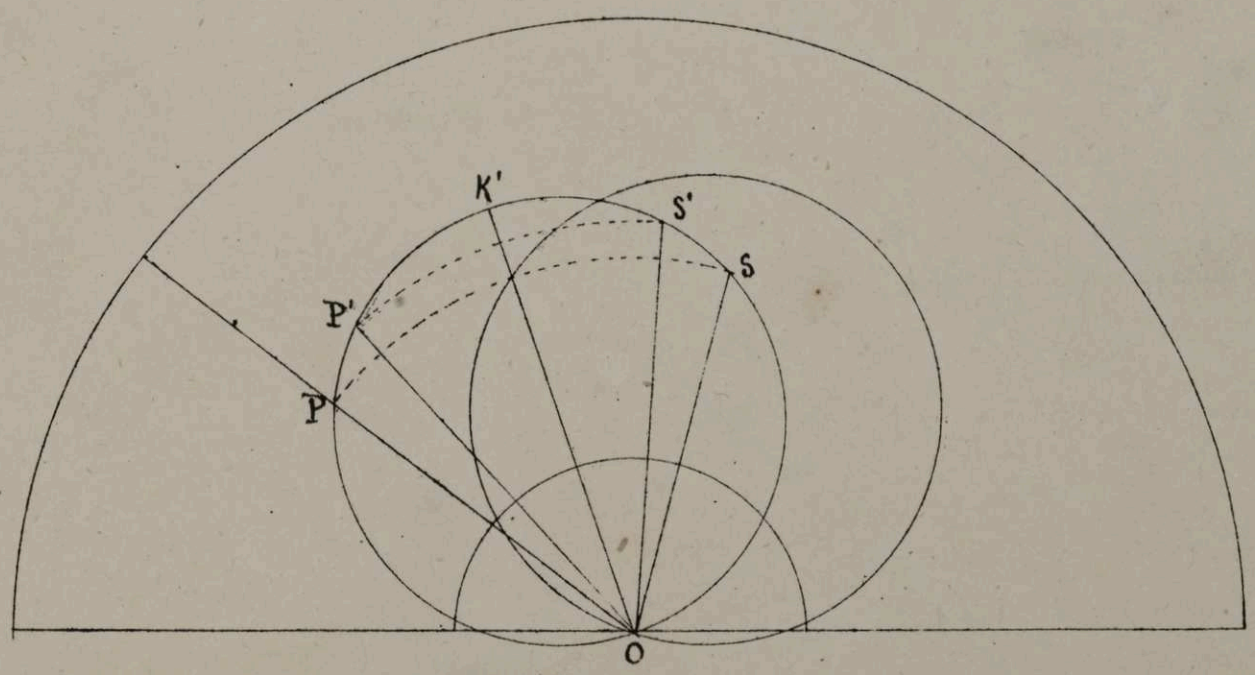
A

Tab. 6.

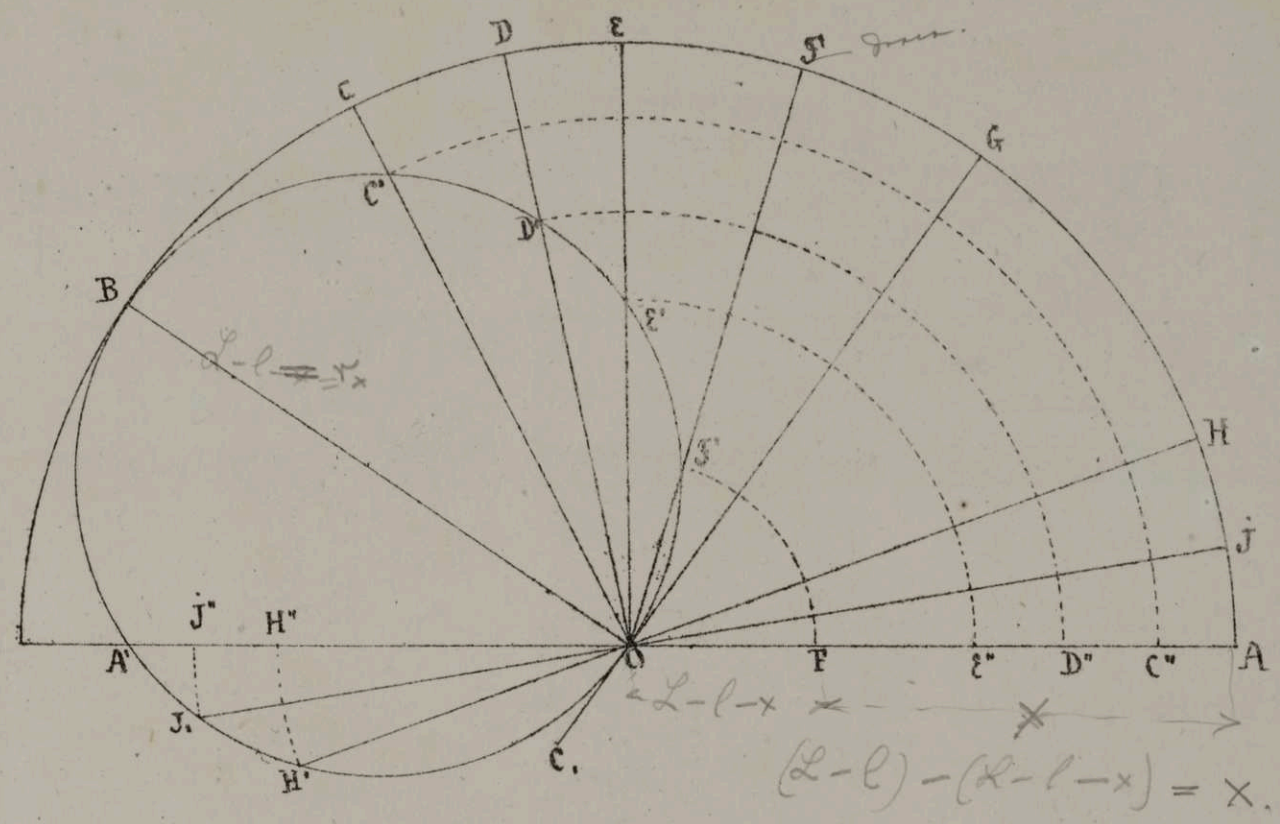
фиг. 19



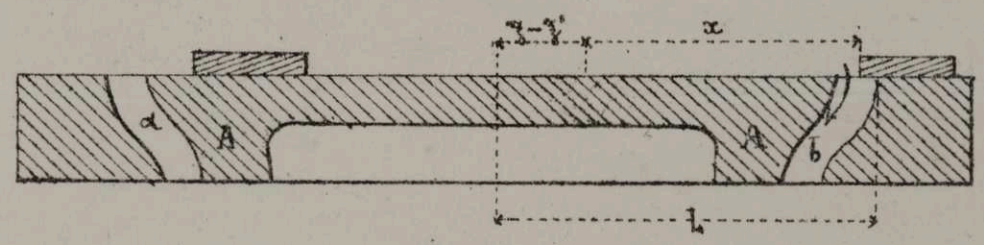
фиг. 20



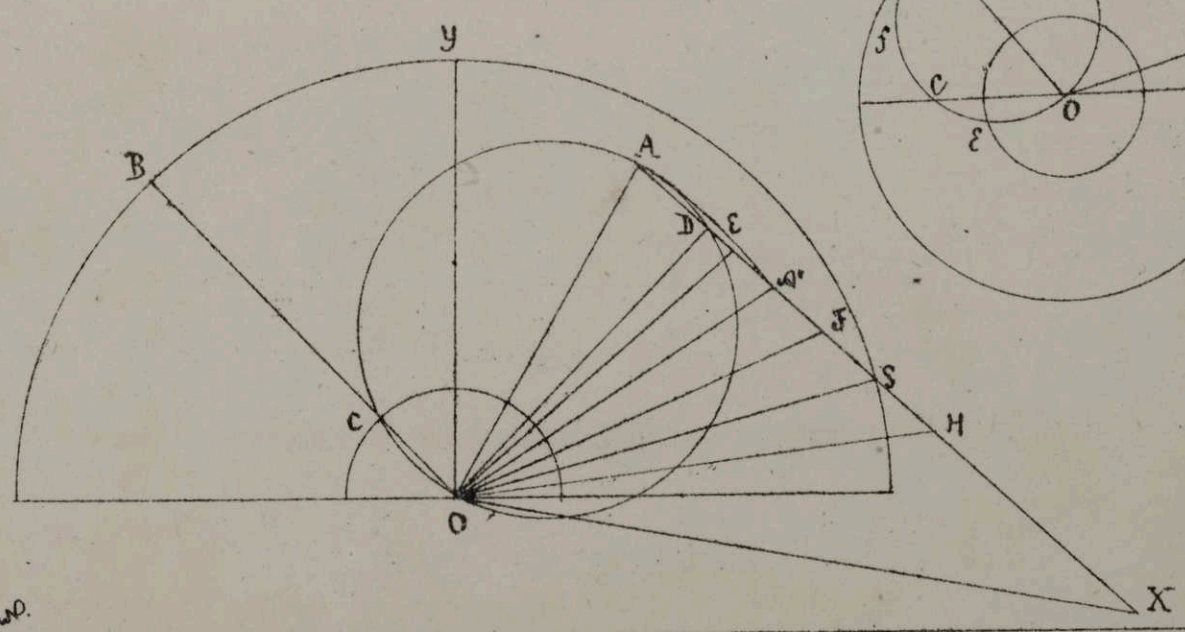
Фиг. 21.



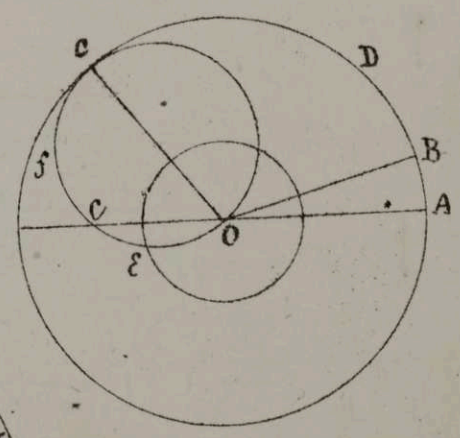
Фиг. 22

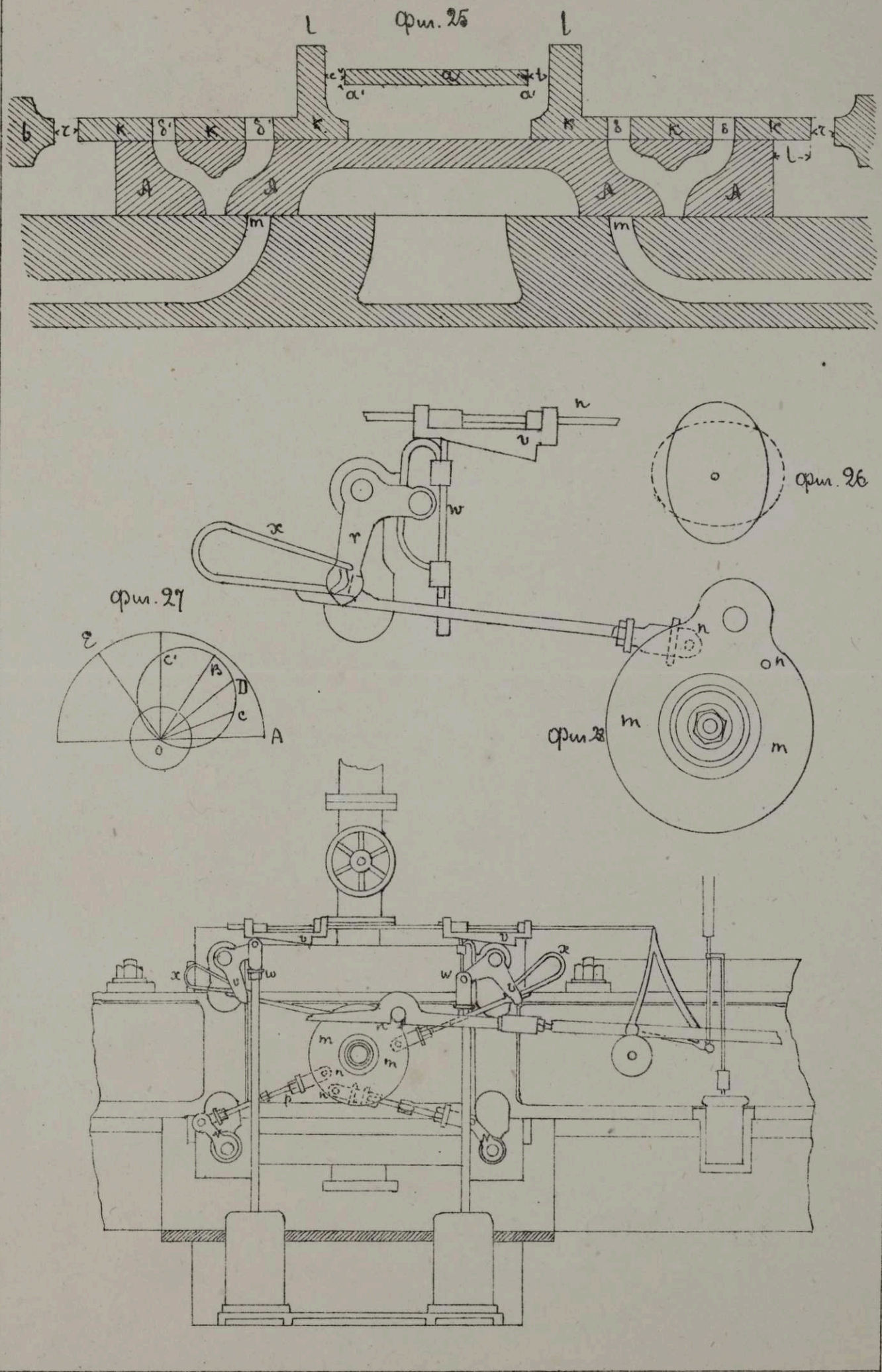


Фиг. 23

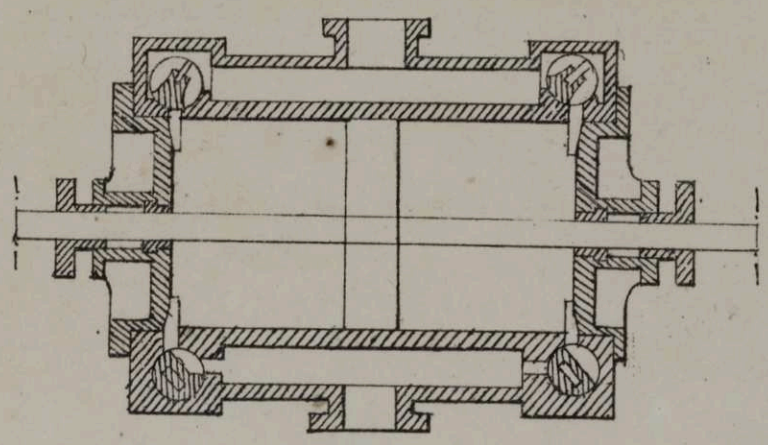


Фиг. 24

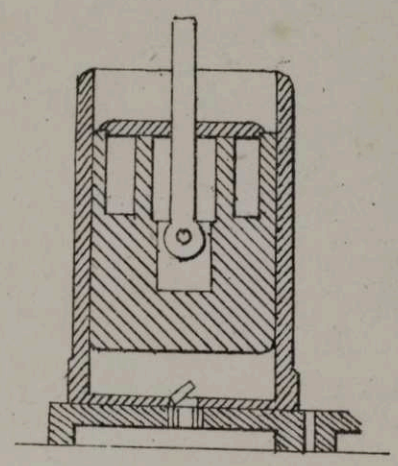



Фиг. 25
Фиг. 26
Фиг. 27
Фиг. 28

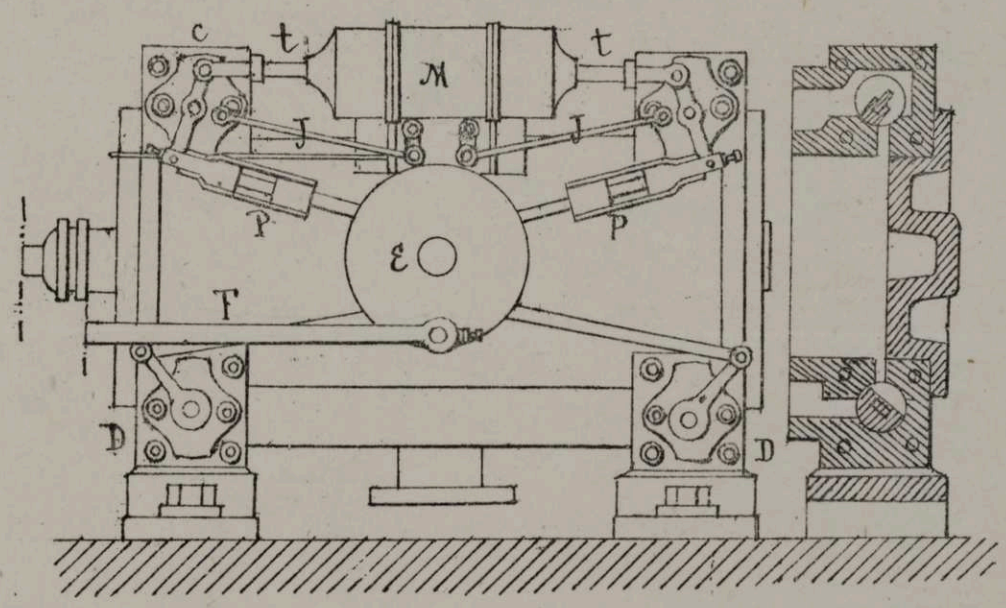
фиг. 29.



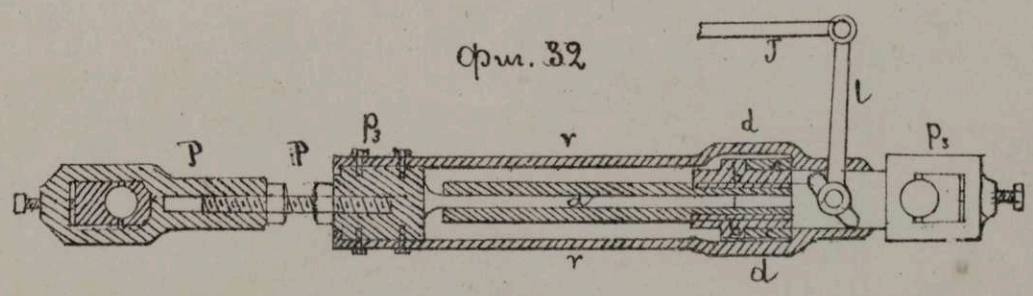
ф. 30



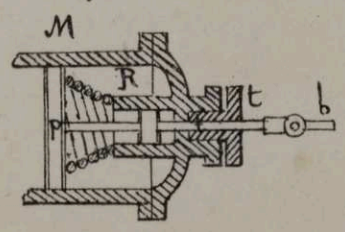
ф. 31.



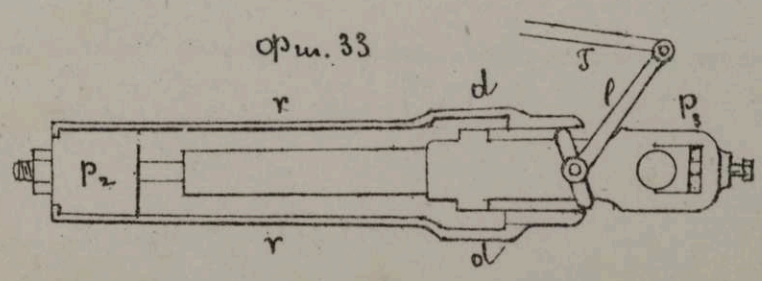
фиг. 32



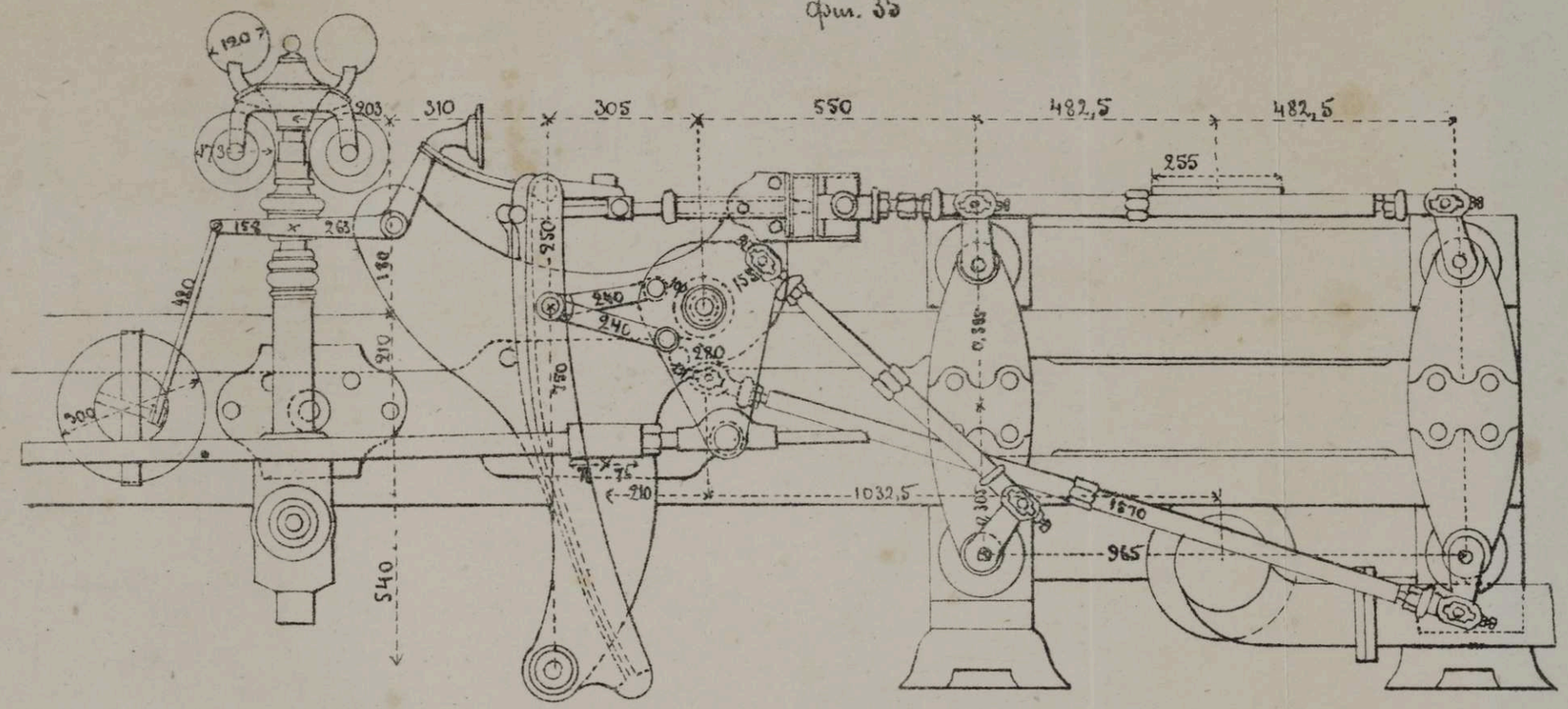
ф. 34



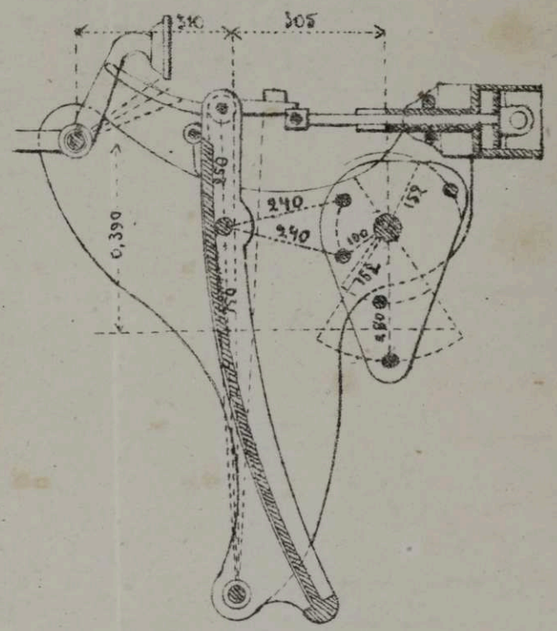
фиг. 33



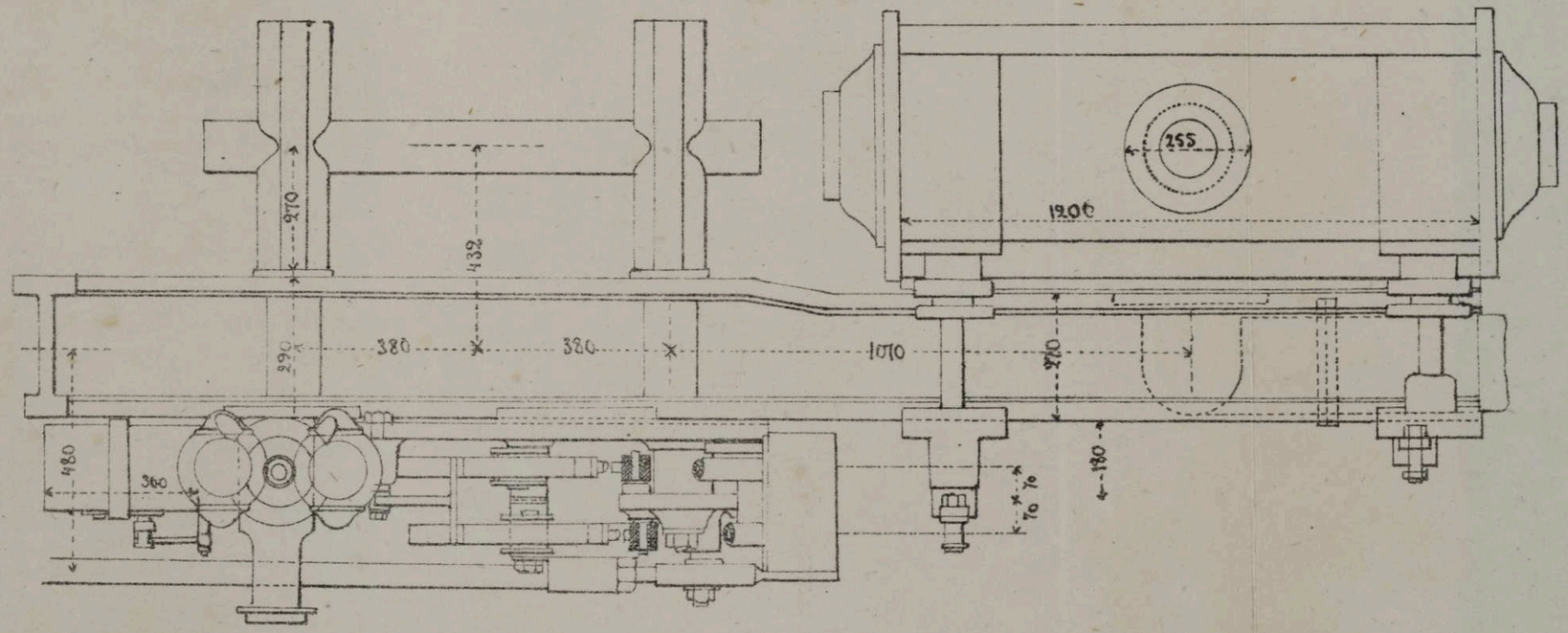
фиг. 35



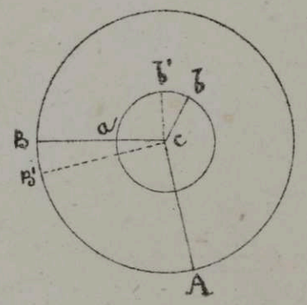
фиг. 36.



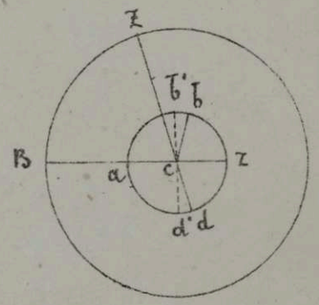
фиг. 37



фиг. 38



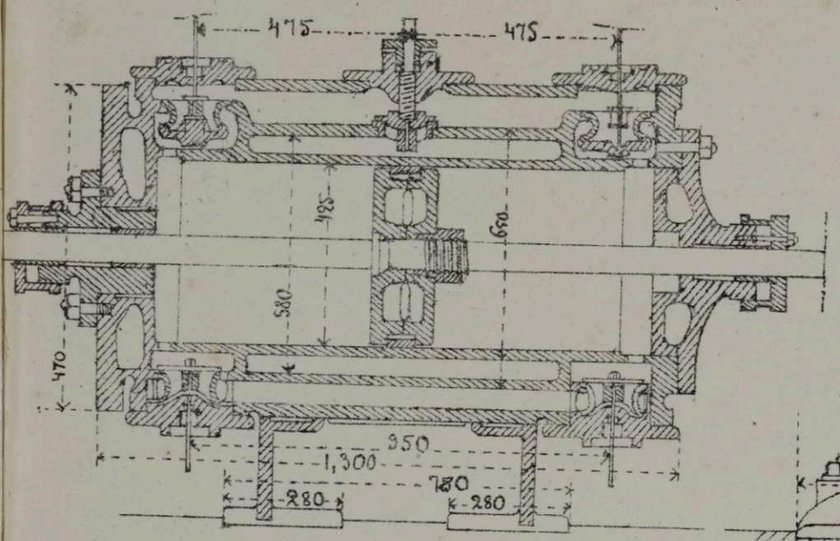
фиг. 39

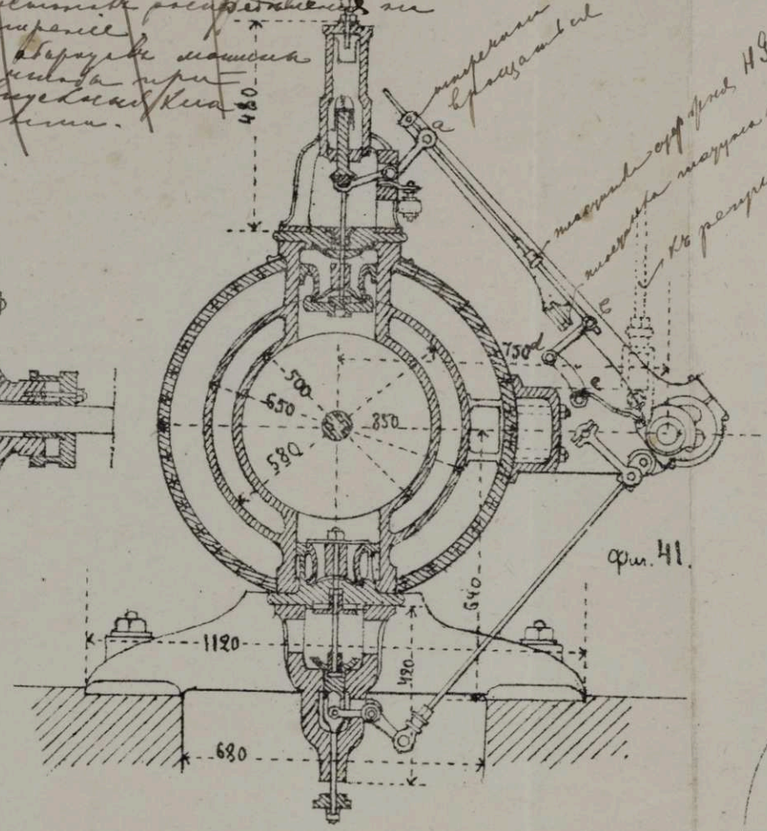


При помощи (средней) пары рычагов суппорта abed производит четыре расширения на одно расширение

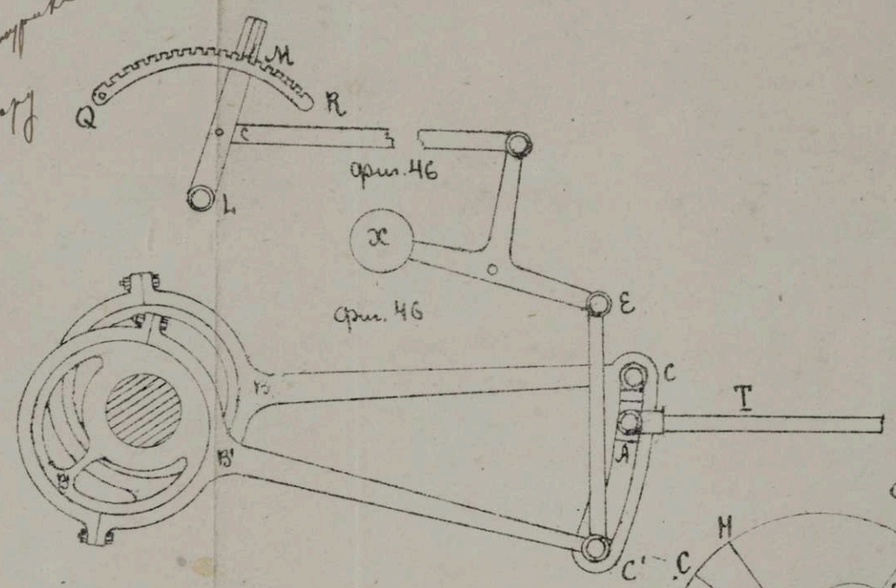
Запрещ. четыре расширения мало обращает машина высечения паровых цилиндров тоже нужно при помощи остановки клапана выпускного задержания.

фиг. 40





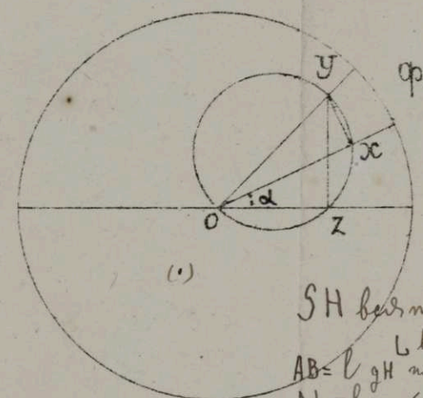
фиг. 41.



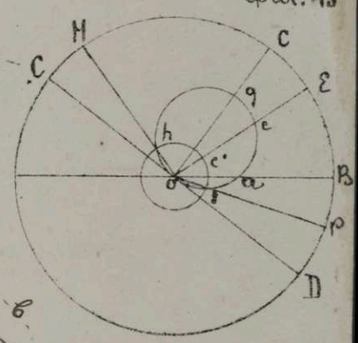
фиг. 46

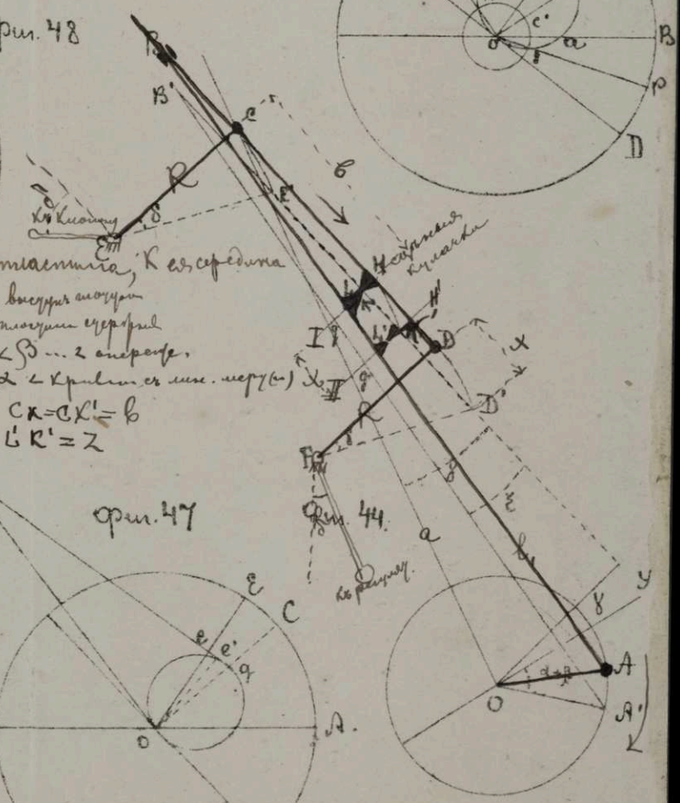
фиг. 46

фиг. 45



фиг. 48





фиг. 44.

SH вел. шатуна, K его середина

L внутрь суппорта

AB = l дн шатуна суппорта

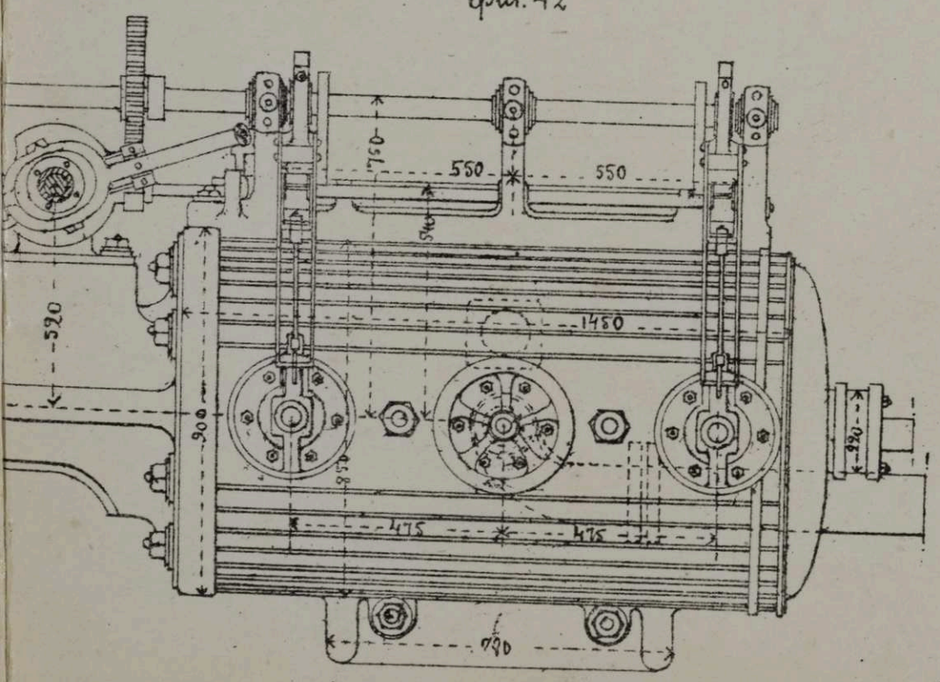
AL = l₁ ∠β ... 2 оперед.

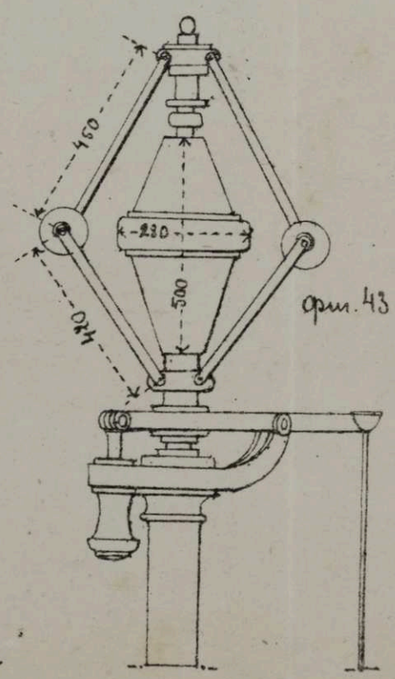
BL = l₂ 2α ∠ кривошипа мин. мертв.

R = EC = FD CK = CK' = b

OC = a ∠K' = z

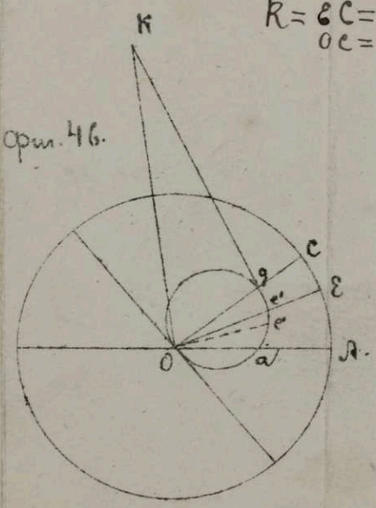
фиг. 42



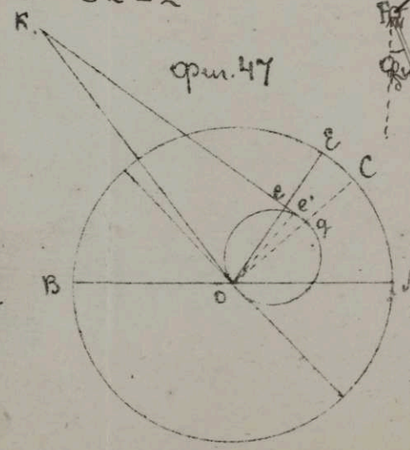


фиг. 43

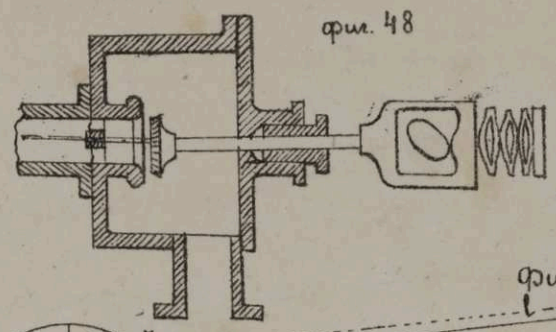
фиг. 46.



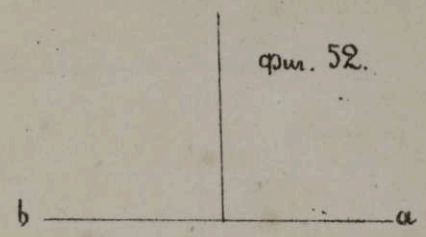
фиг. 47



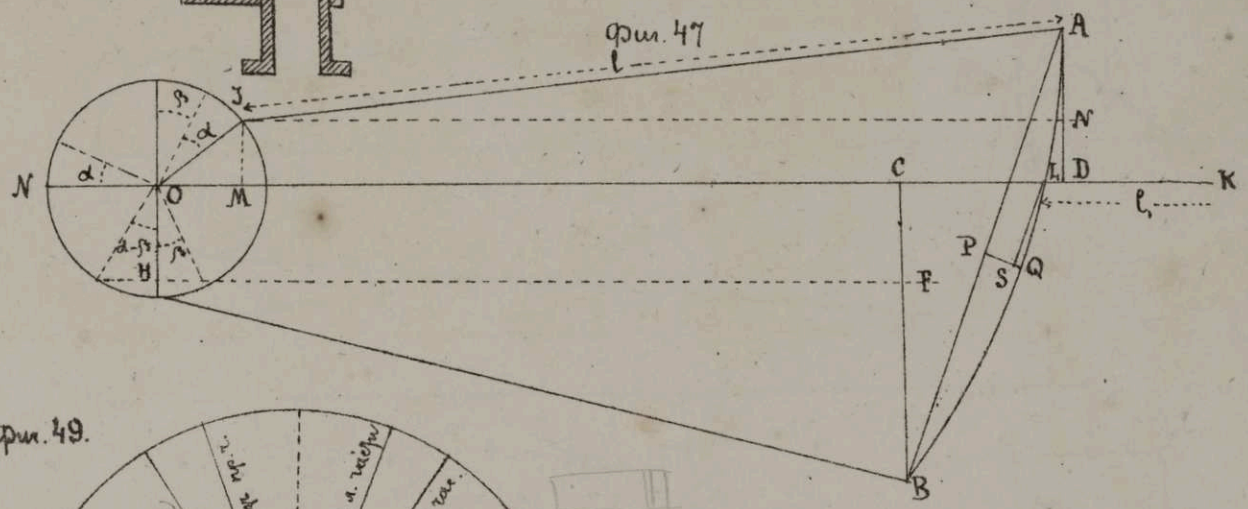
фиг. 48



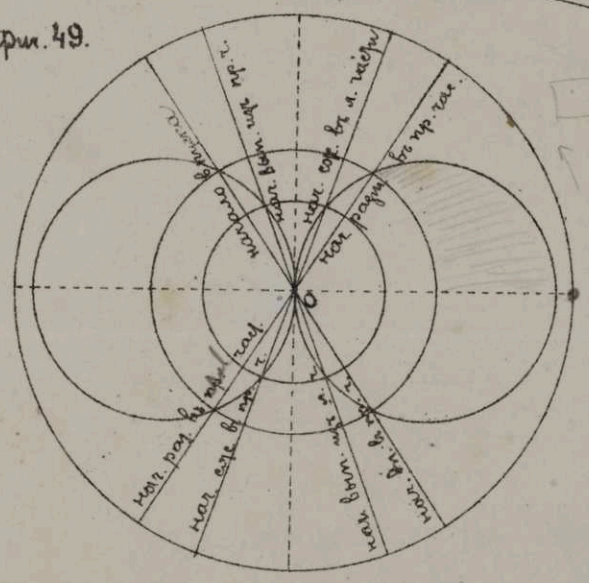
фиг. 52.



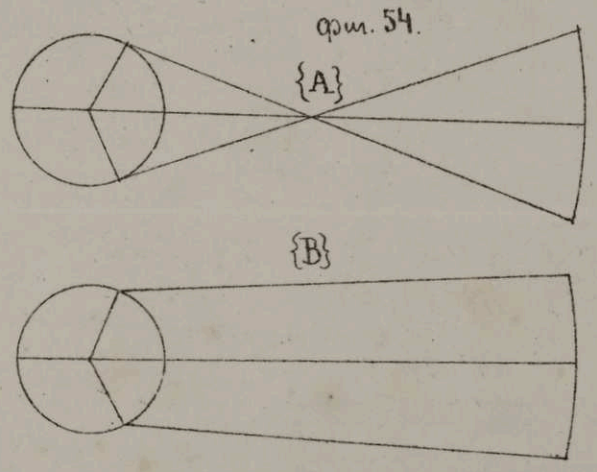
фиг. 47



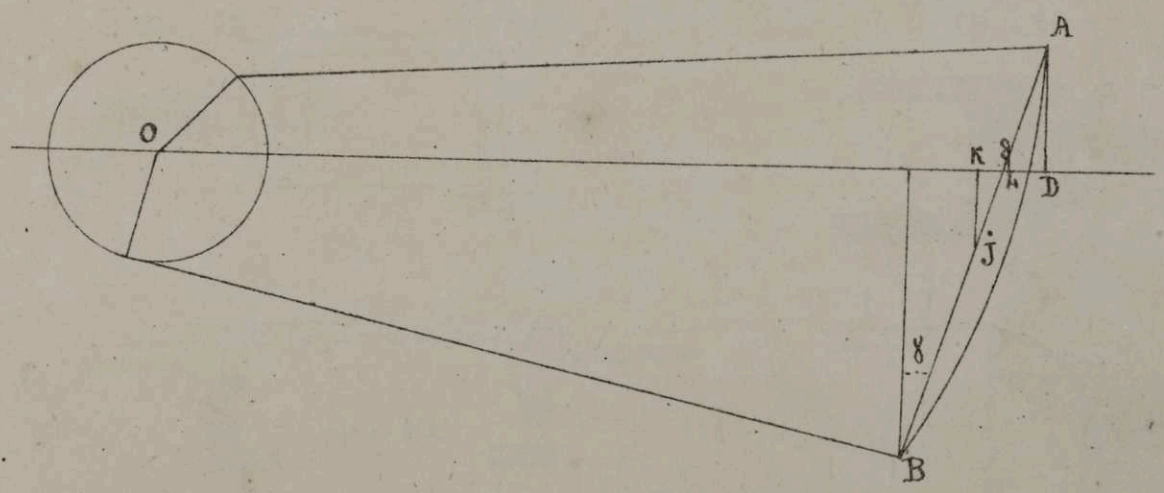
фиг. 49.



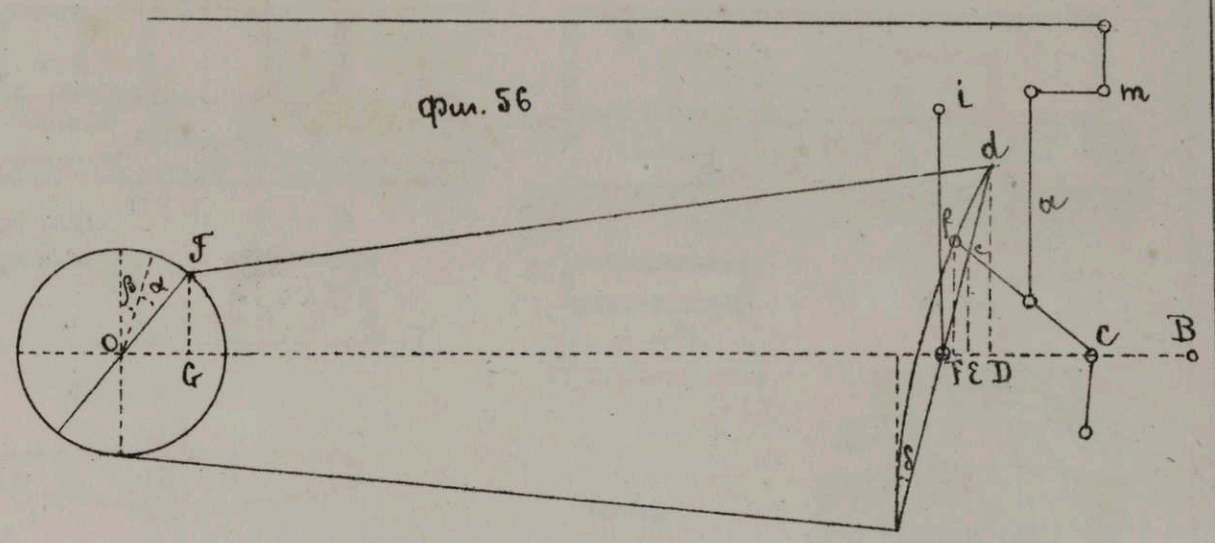
фиг. 54.



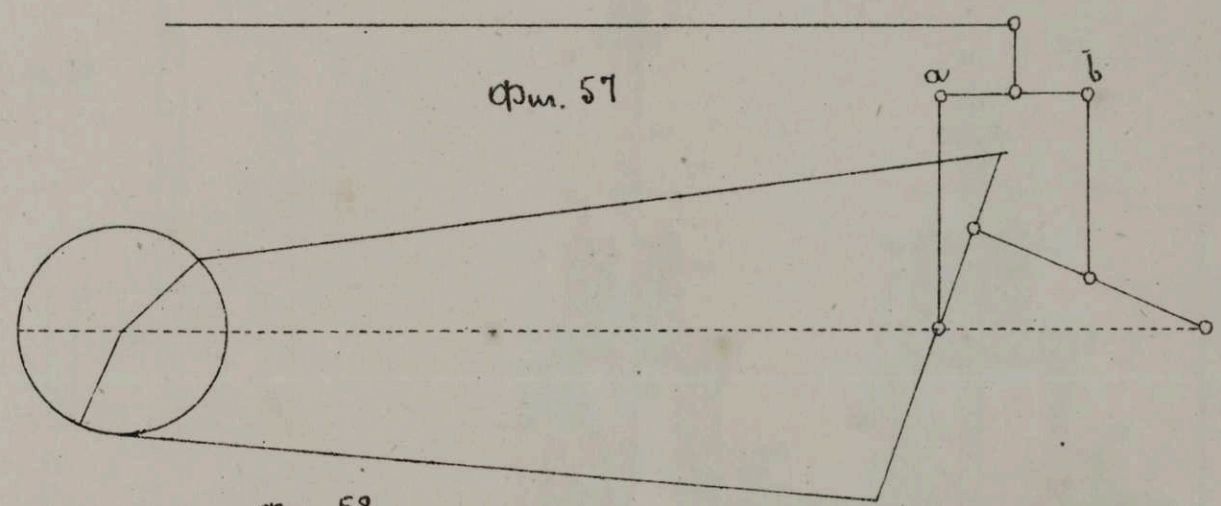
фиг. 53.



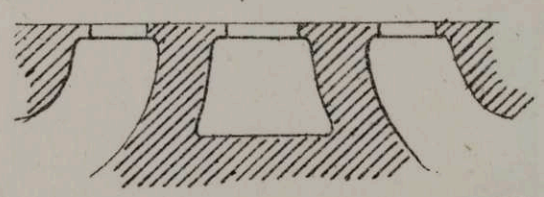
фиг. 56



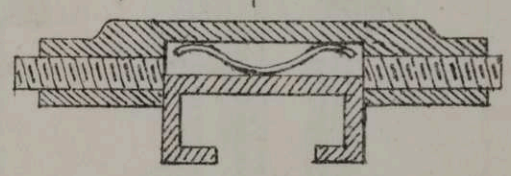
фиг. 57



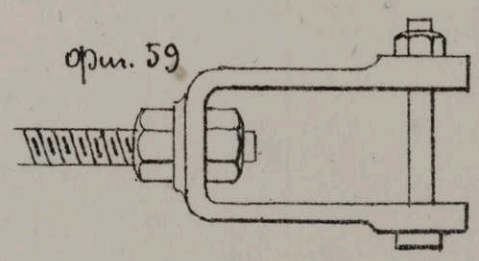
фиг. 58



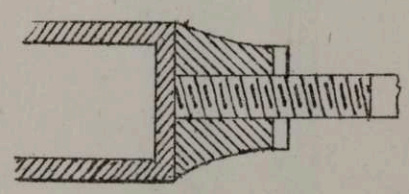
фиг. 61

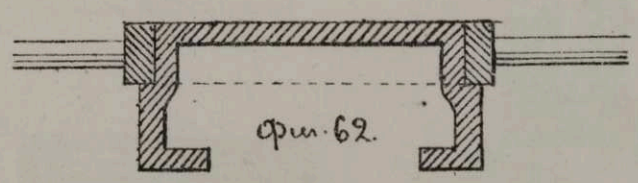


фиг. 59

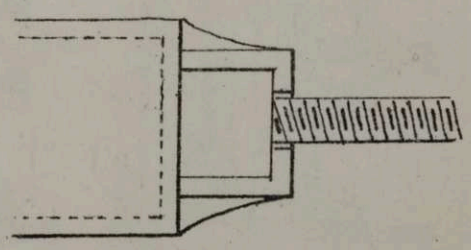


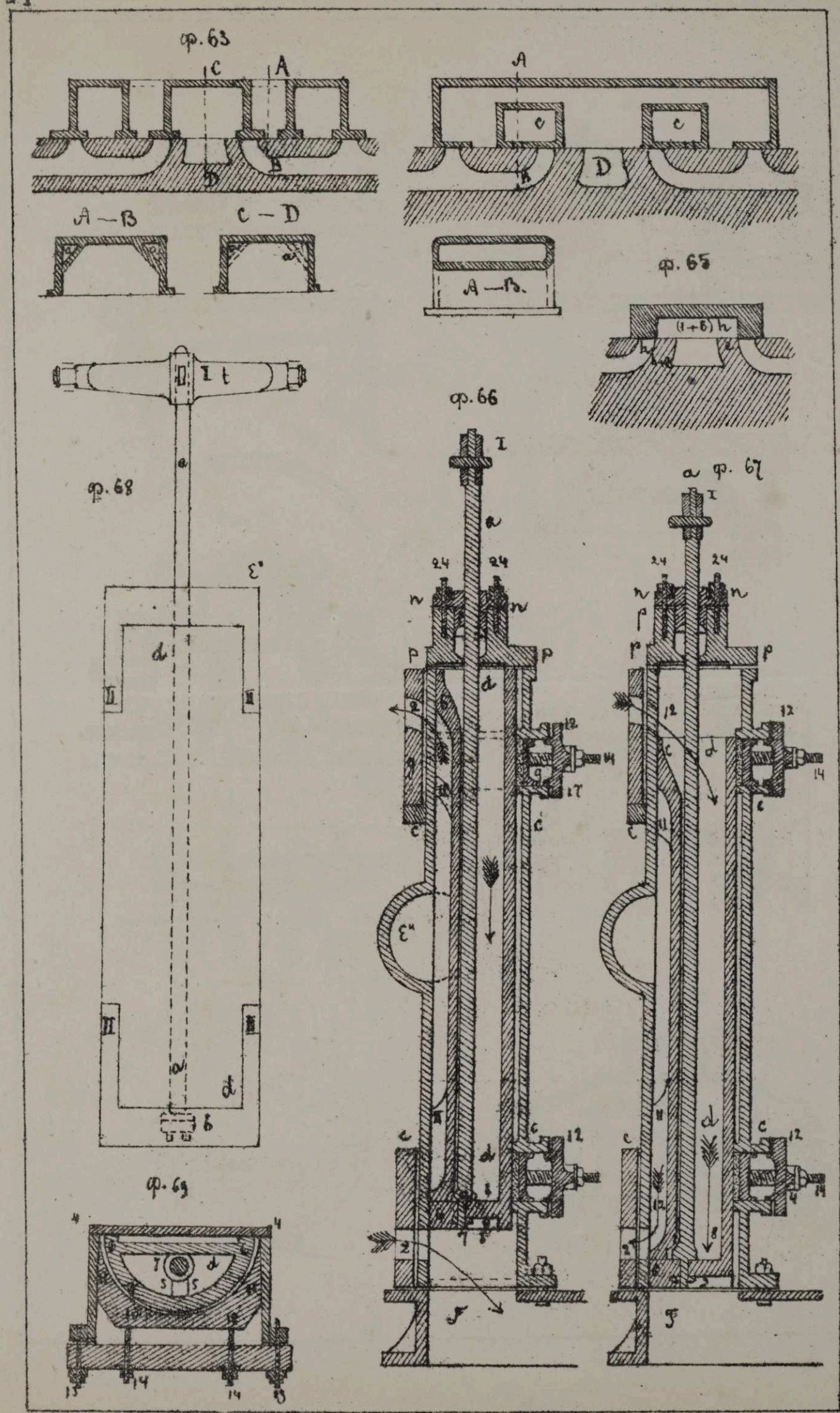
фиг. 60



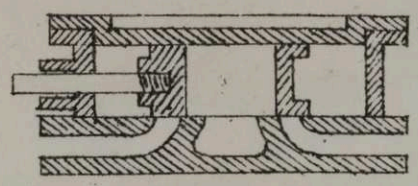


фиг. 62.

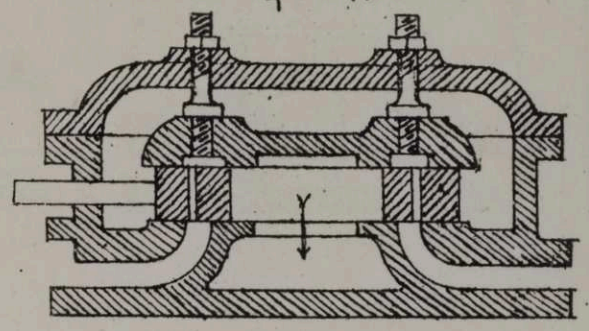



фр. 63
A — B
C — D
фр. 65
фр. 66
фр. 68
фр. 69
a фр. 67

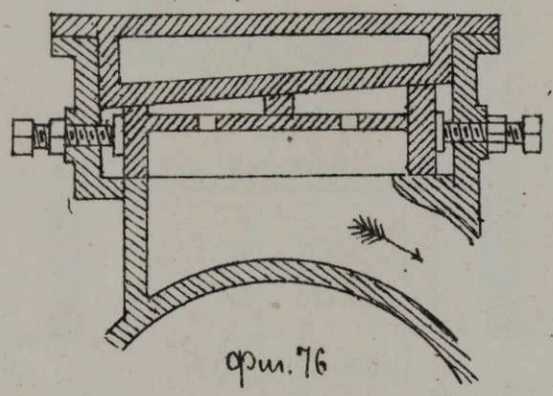
фиг. 70



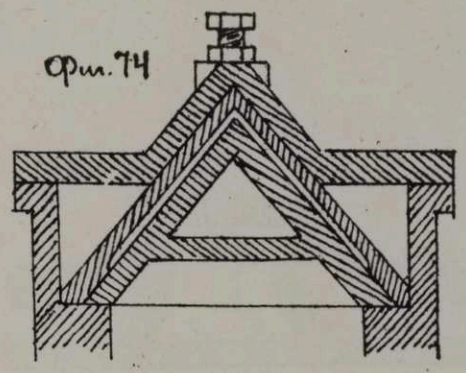
фиг. 71



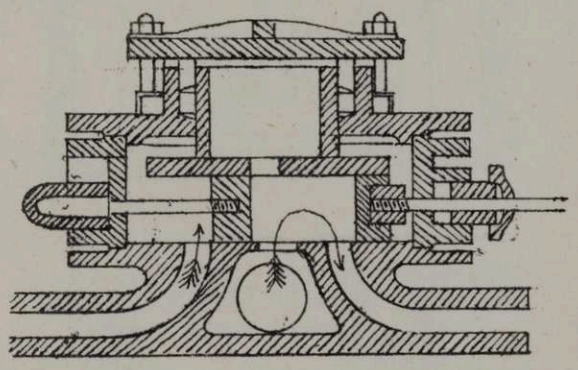
фиг. 72



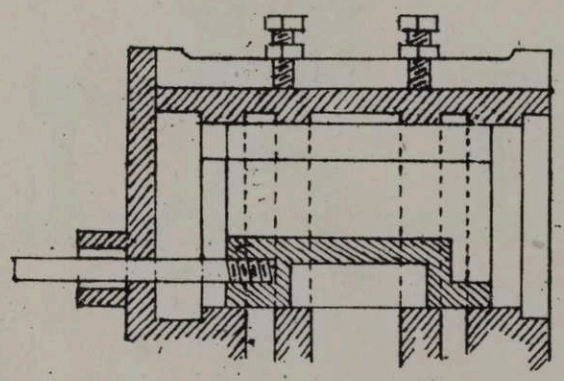
фиг. 74



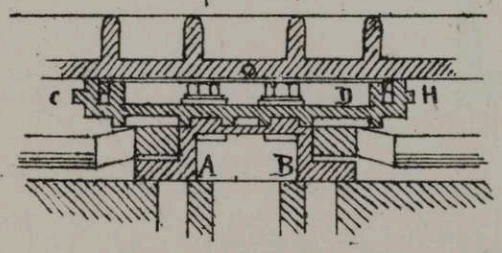
фиг. 76



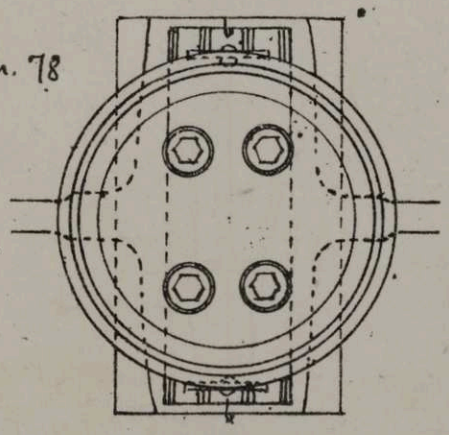
фиг. 73



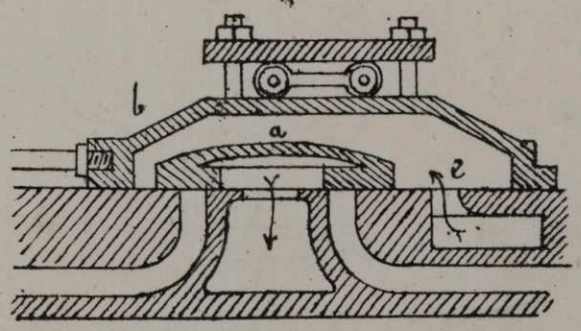
фиг. 77



фиг. 78



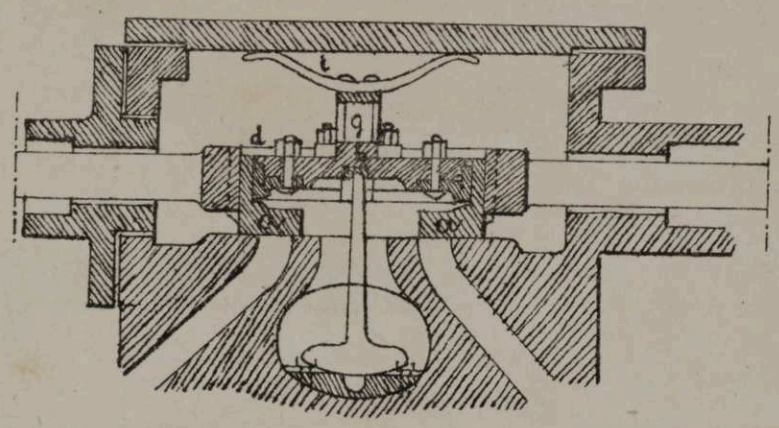
фиг. 75



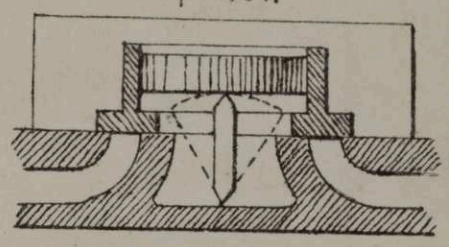
A

Tab. 18

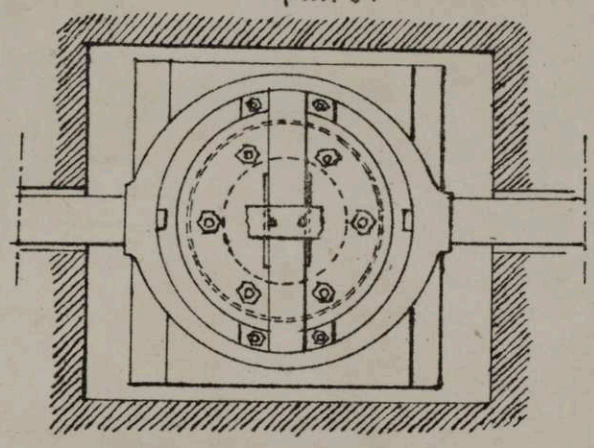
фиг. 83



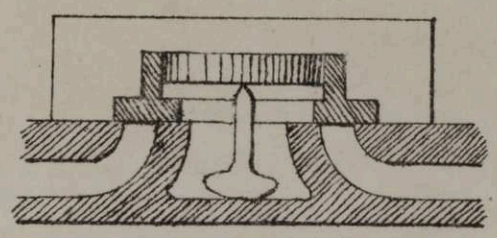
фиг. 81.



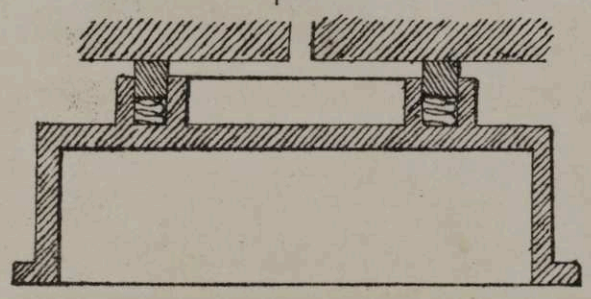
фиг. 84



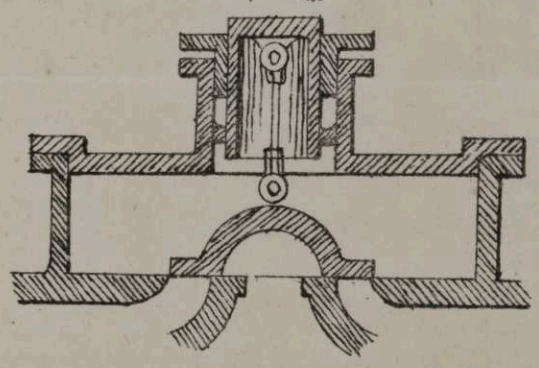
фиг. 82



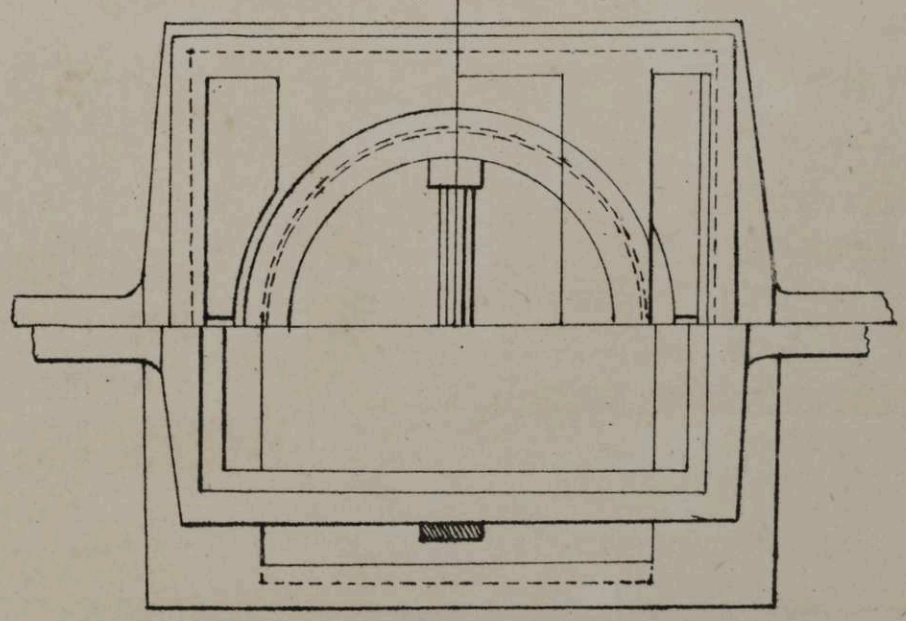
фиг. 79



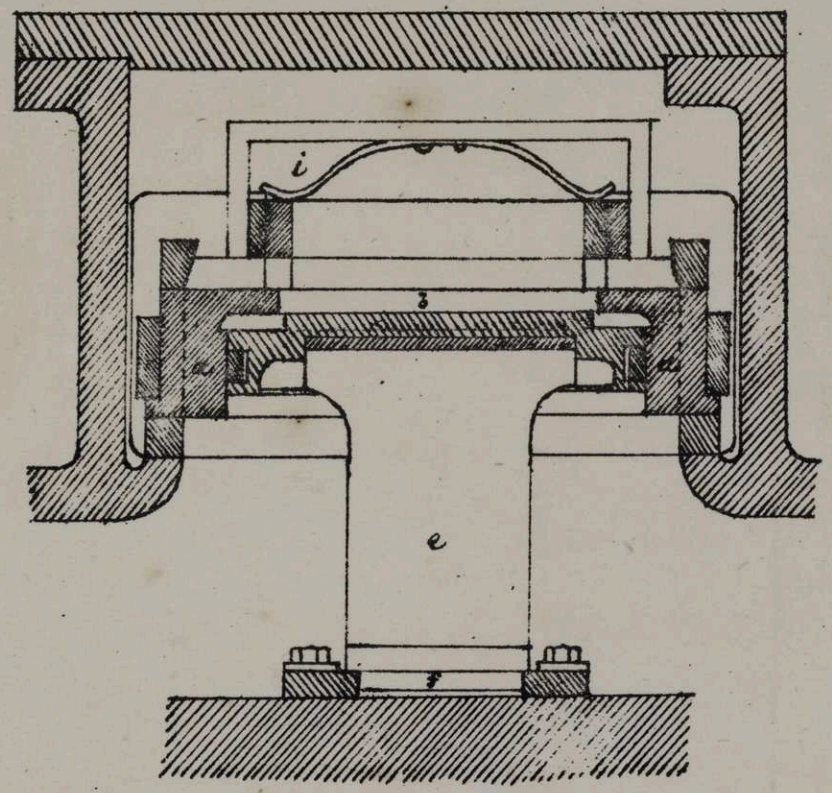
фиг. 80



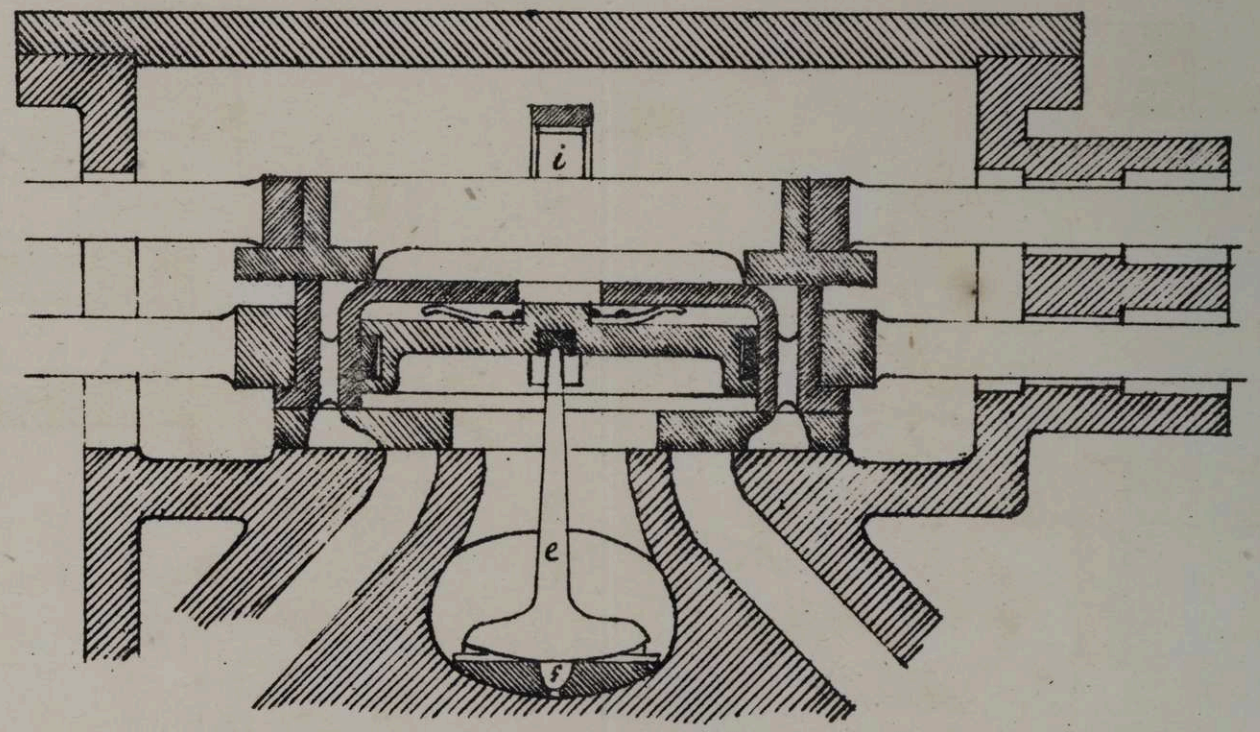
фиг 85.



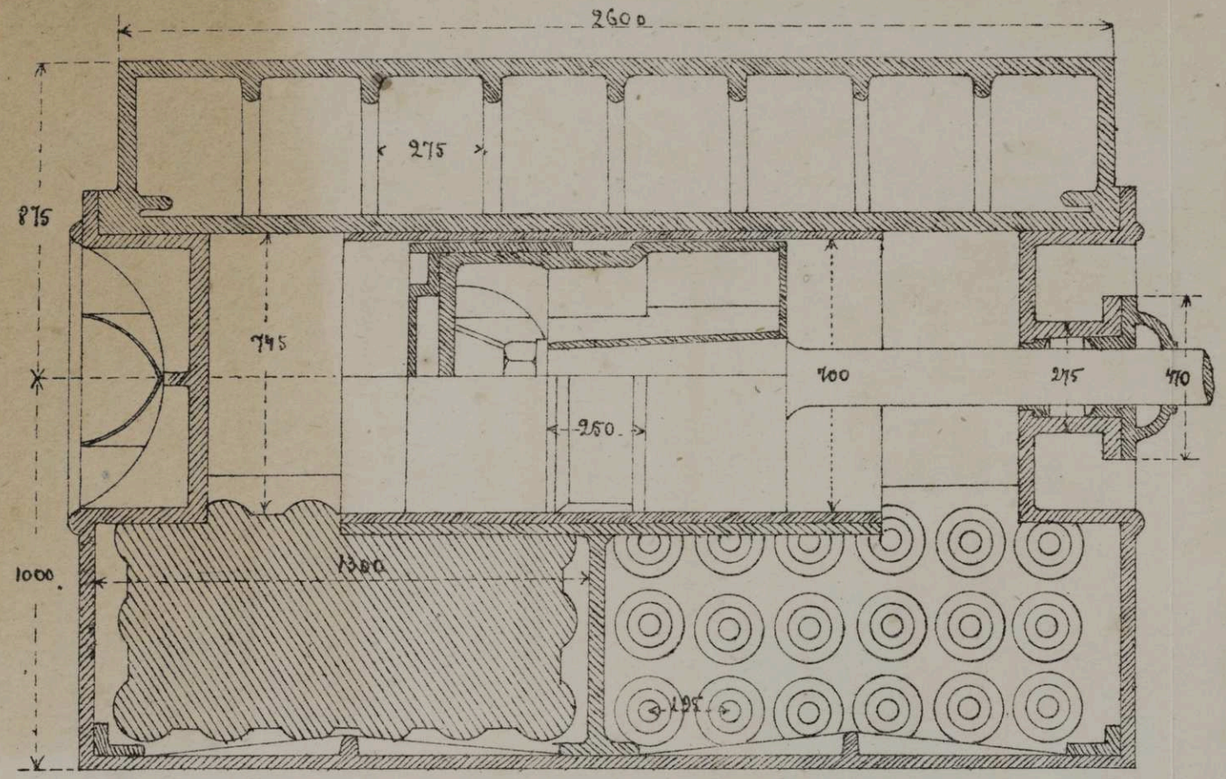
фиг. 86.



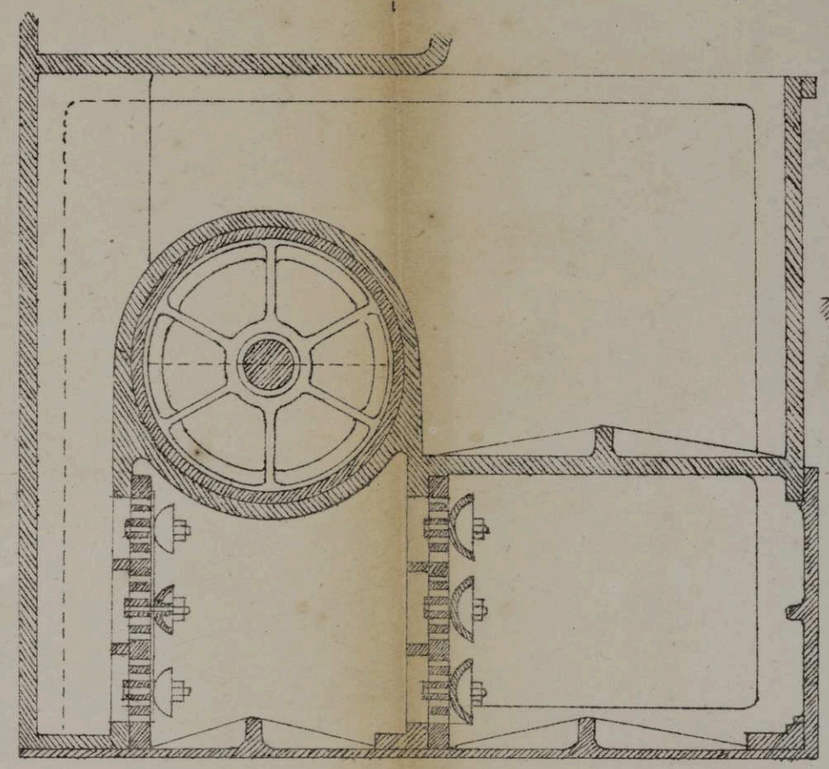
фиг. 87.



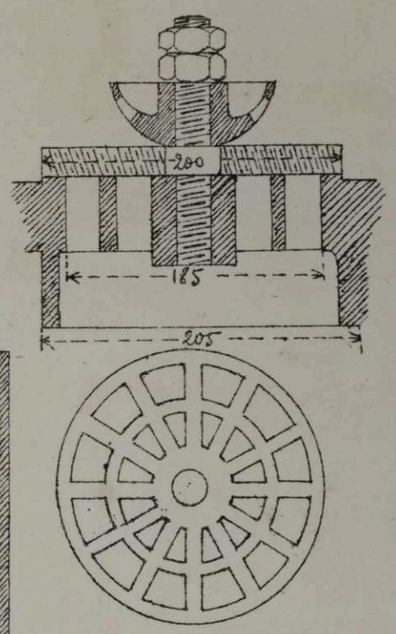
фиг. 11



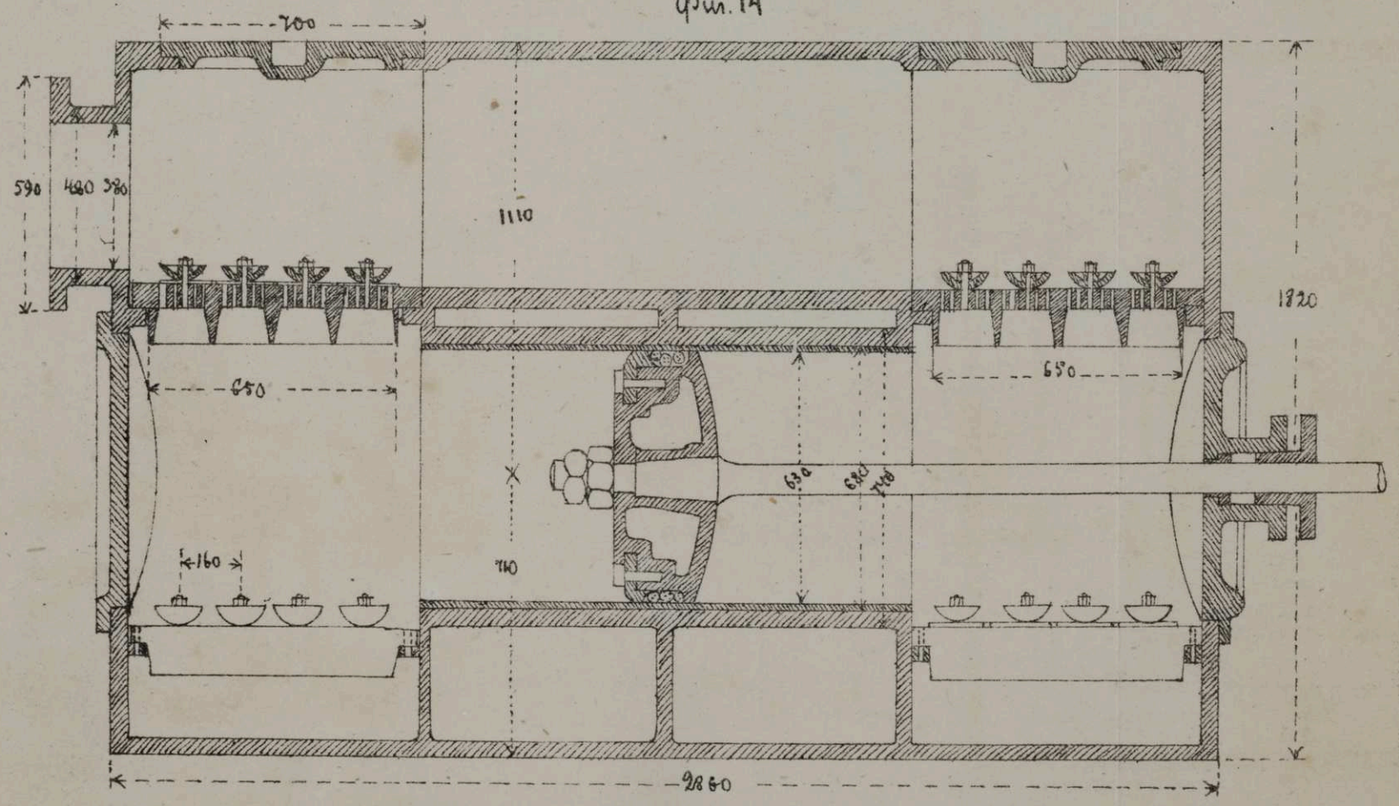
фиг. 12



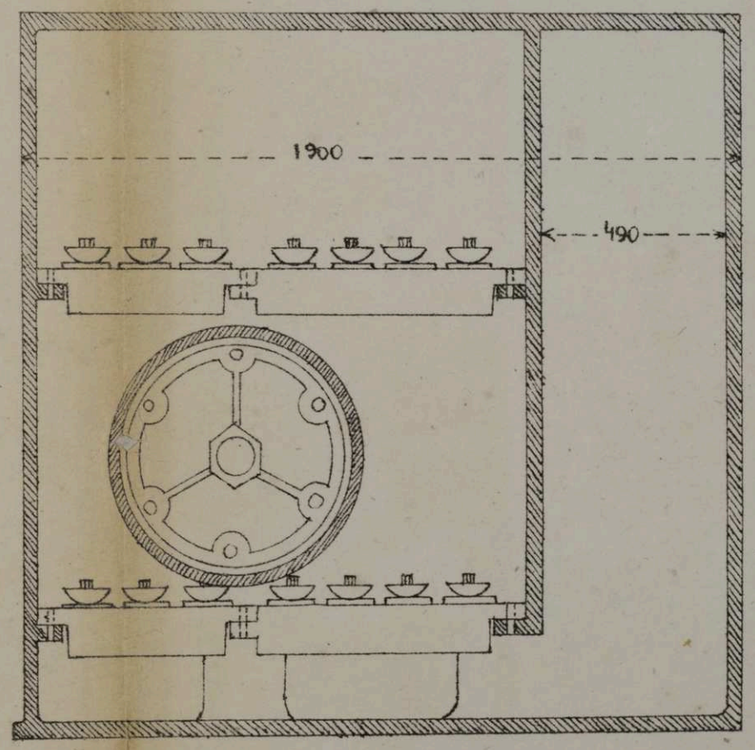
фиг. 13



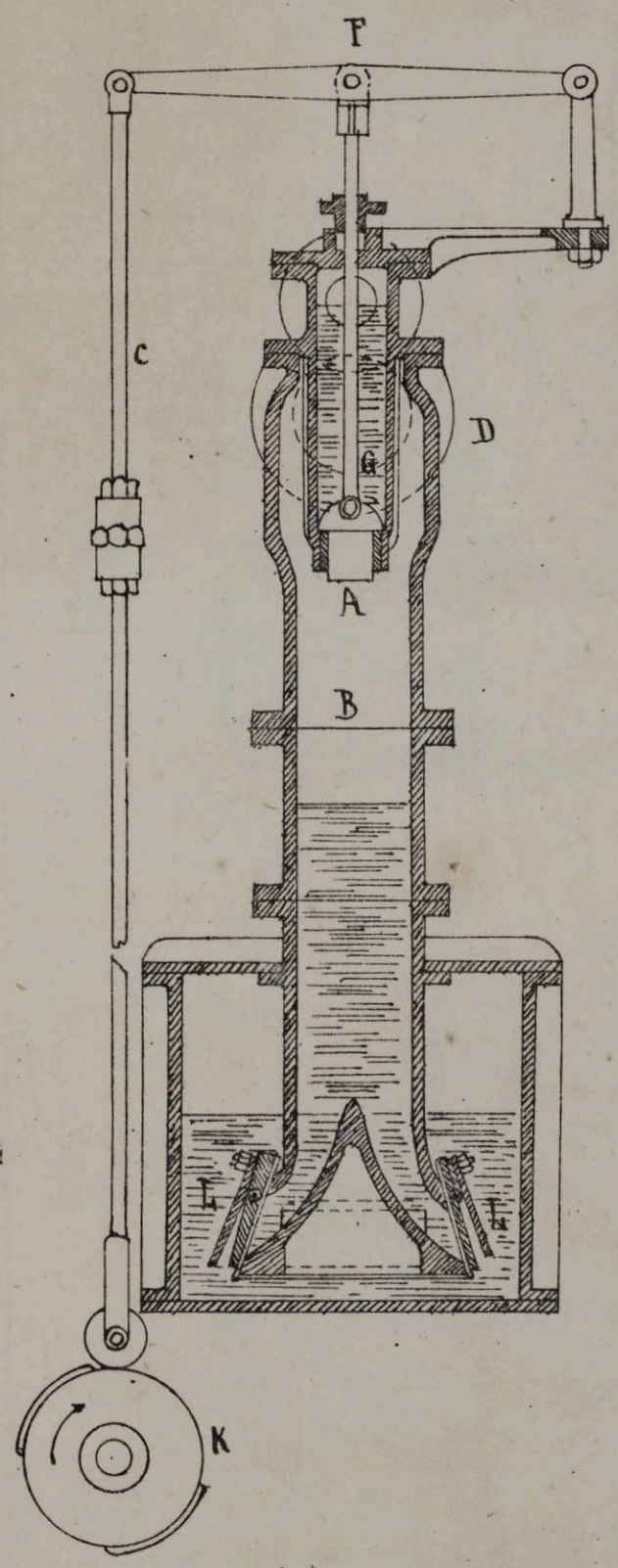
фиг. 14



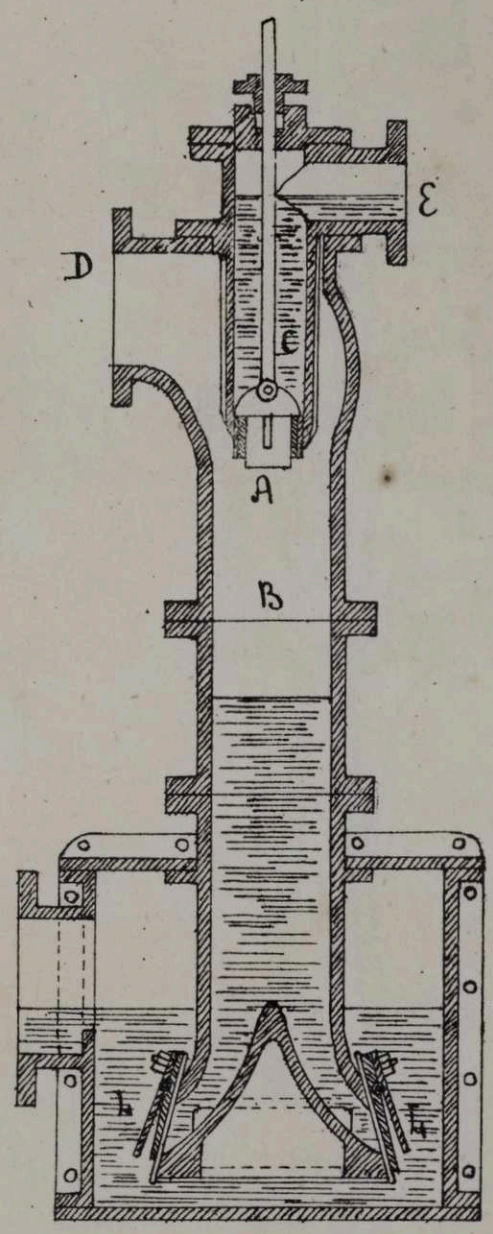
фиг. 15



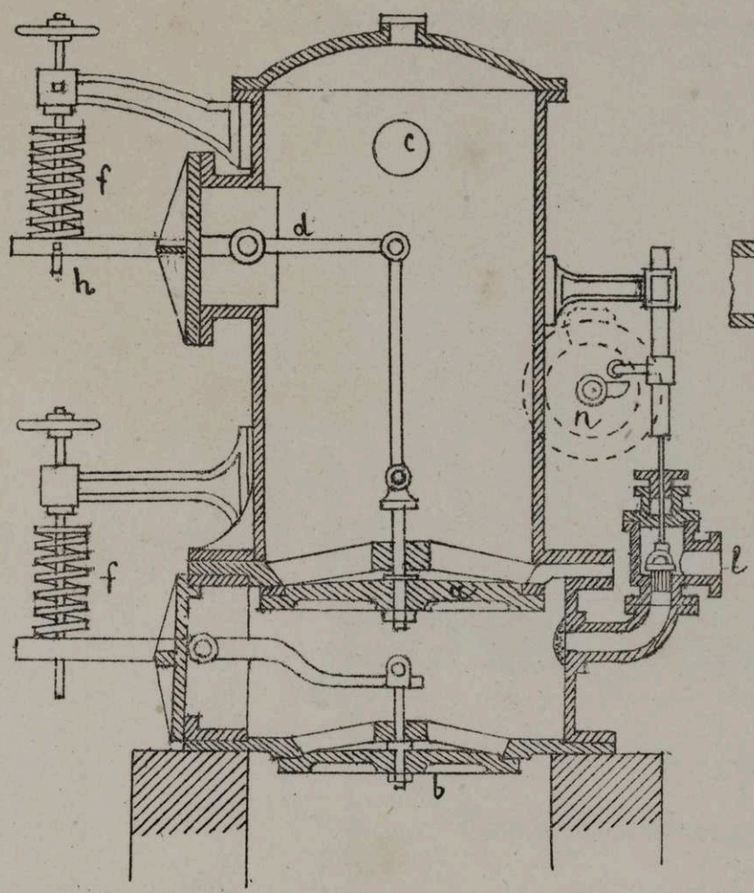
Фиг. 16.



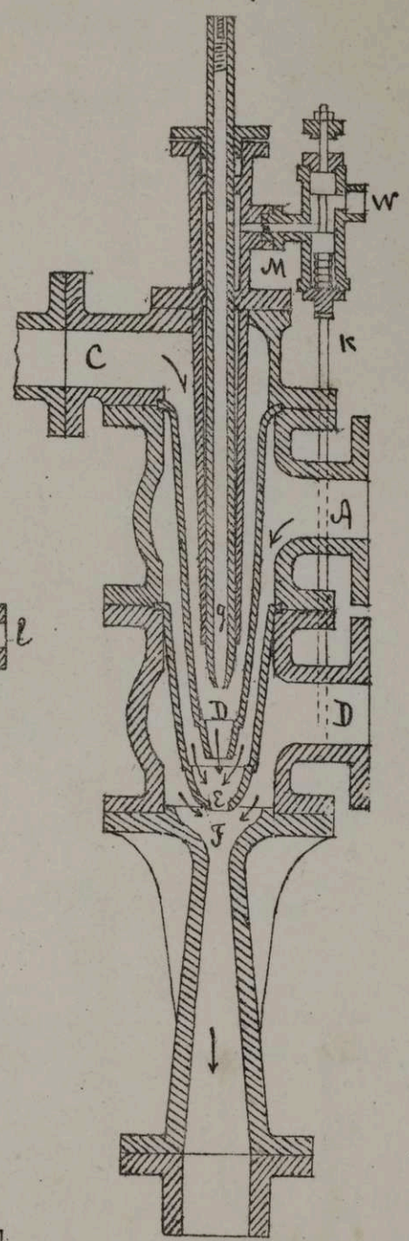
Фиг. 17.



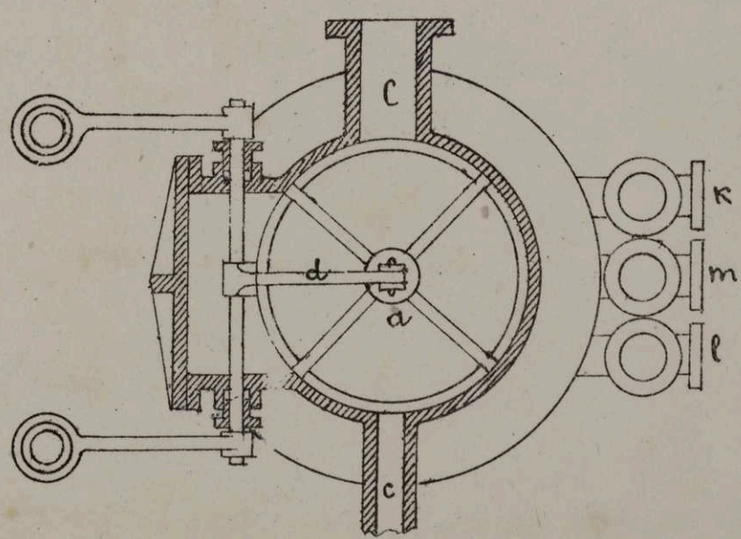
Фиг. 18



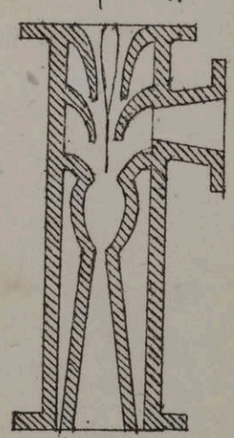
Фиг. 20



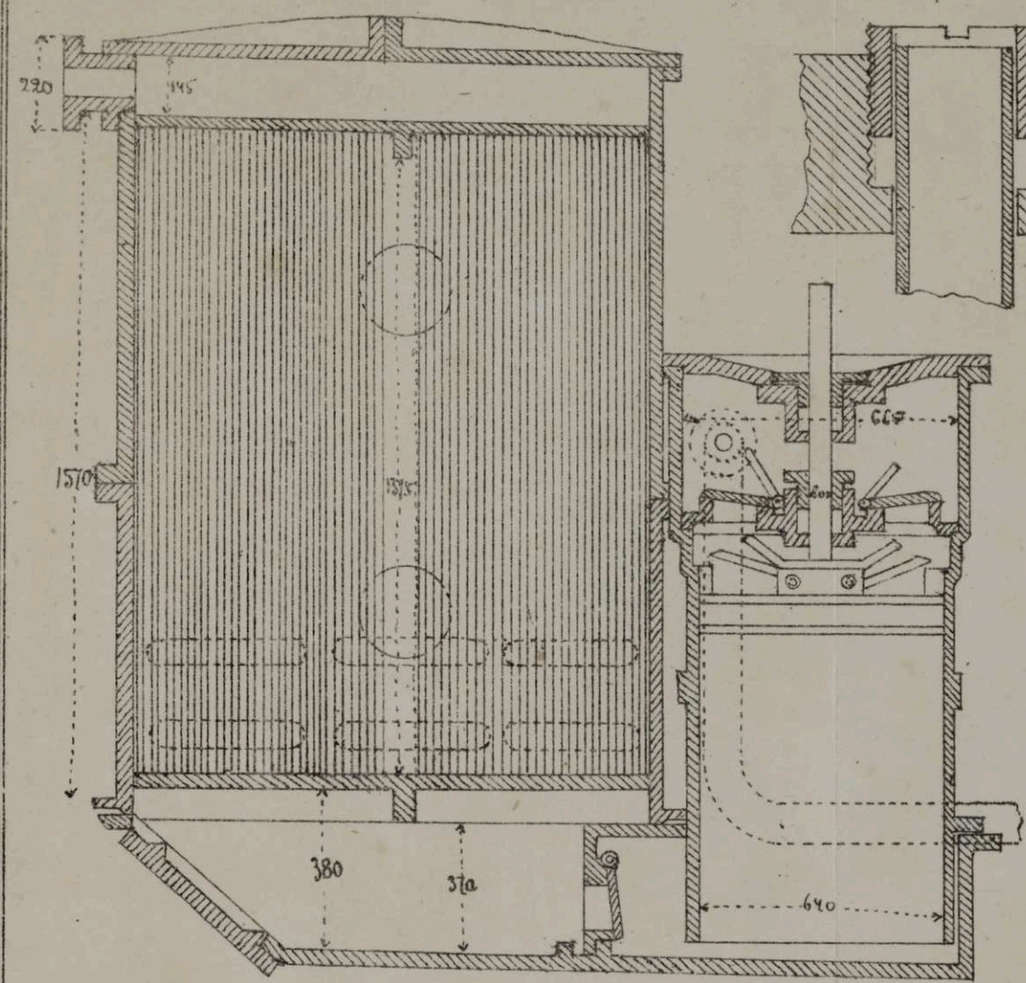
Фиг. 19



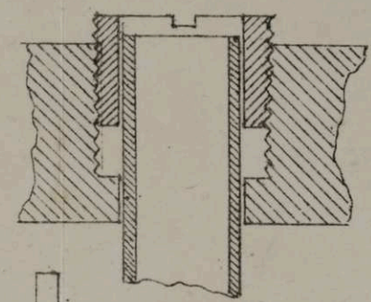
Фиг. 21



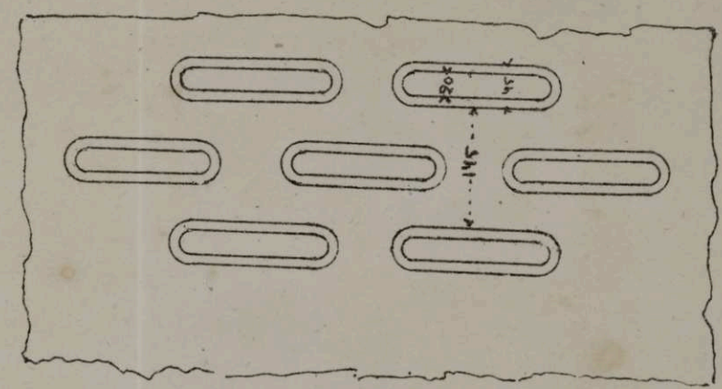
Фиг. 22



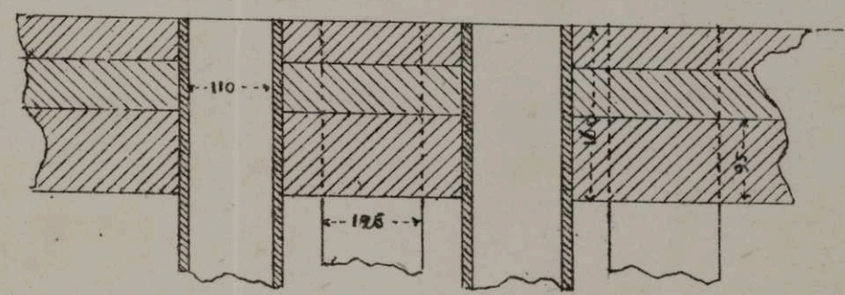
Фиг. 22 (a)

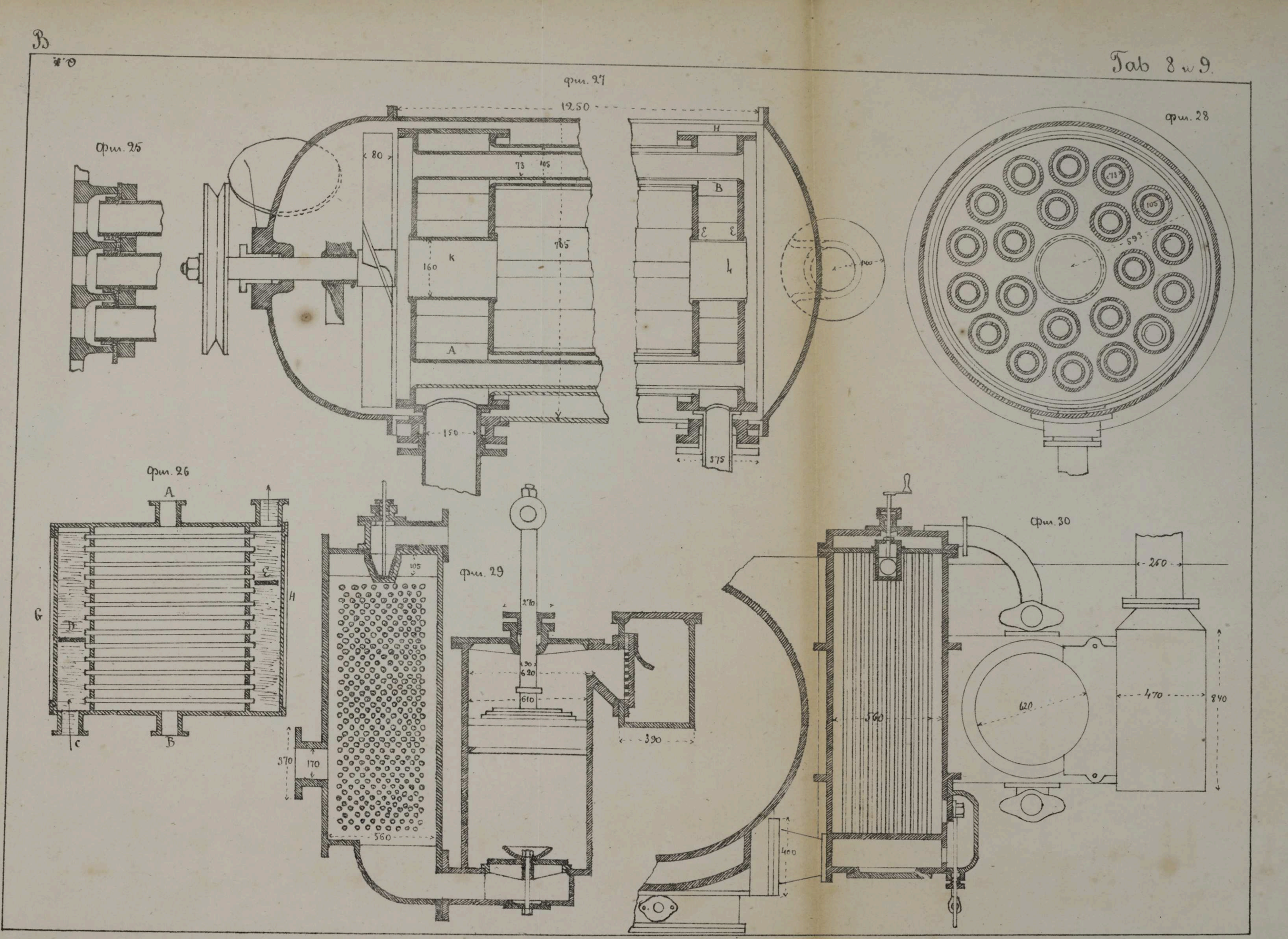


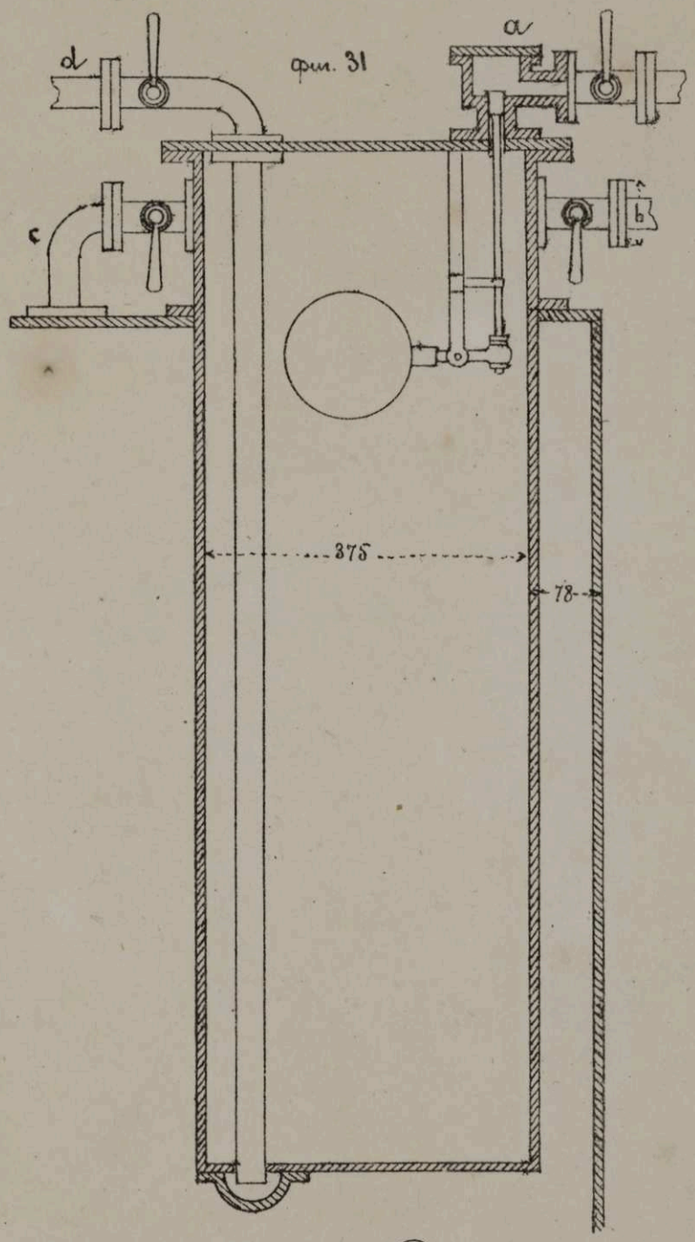
Фиг. 23

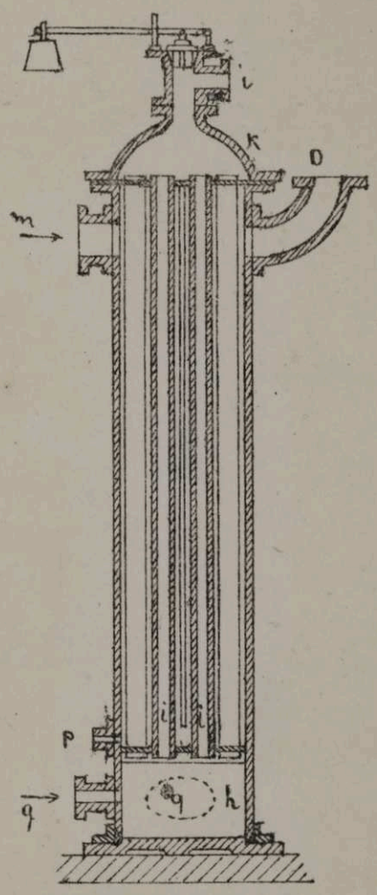


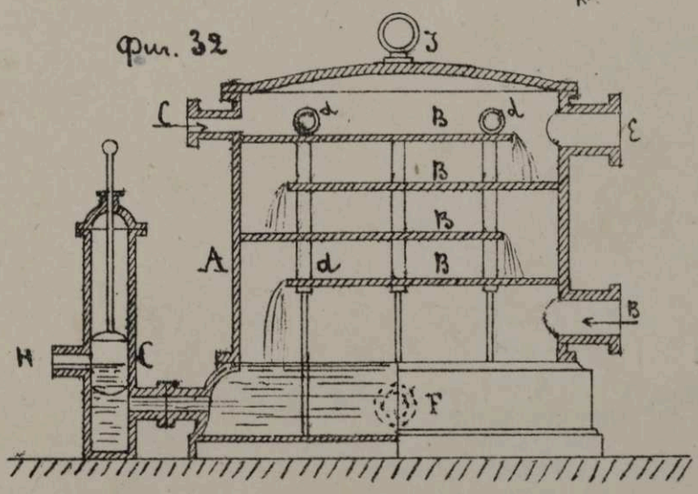
Фиг. 24.

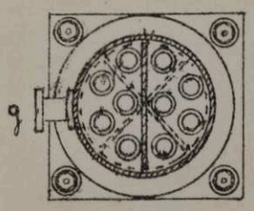



фиг. 27
фиг. 25
фиг. 28
фиг. 26
фиг. 29
фиг. 30
1250
80
73
105
785
160
K
A
150
H
B
E
E
L
140
375
A
G
D
E
H
C
B
105
370
170
560
270
30
620
610
390
400
560
620
470
840
260
593

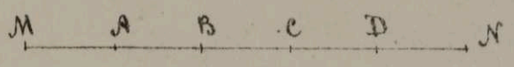

фиг. 31
a
d
c
b
375
78


фиг. 33.
i
K
D
m
P
q
h
1/25

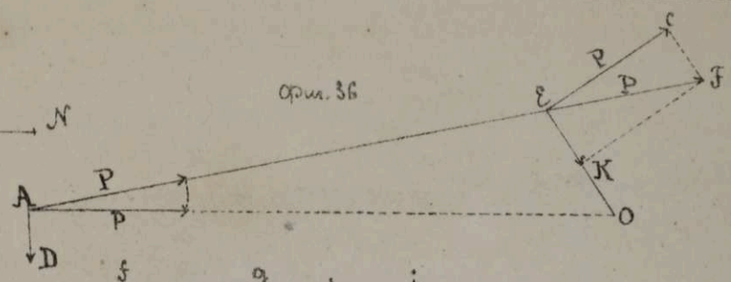

фиг. 32
J
C
d
B
E
A
H
F


q

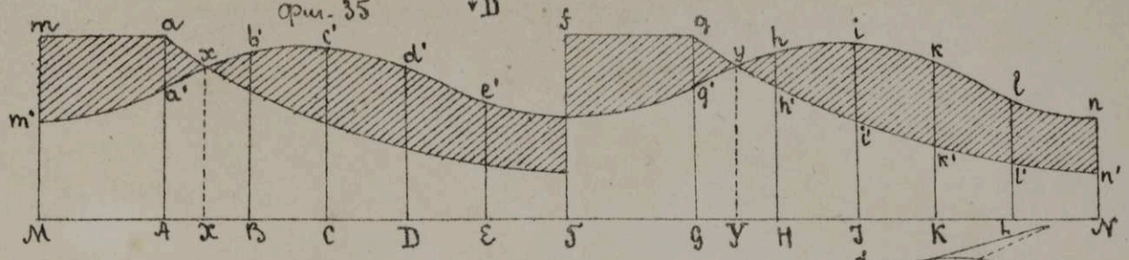
фиг. 34



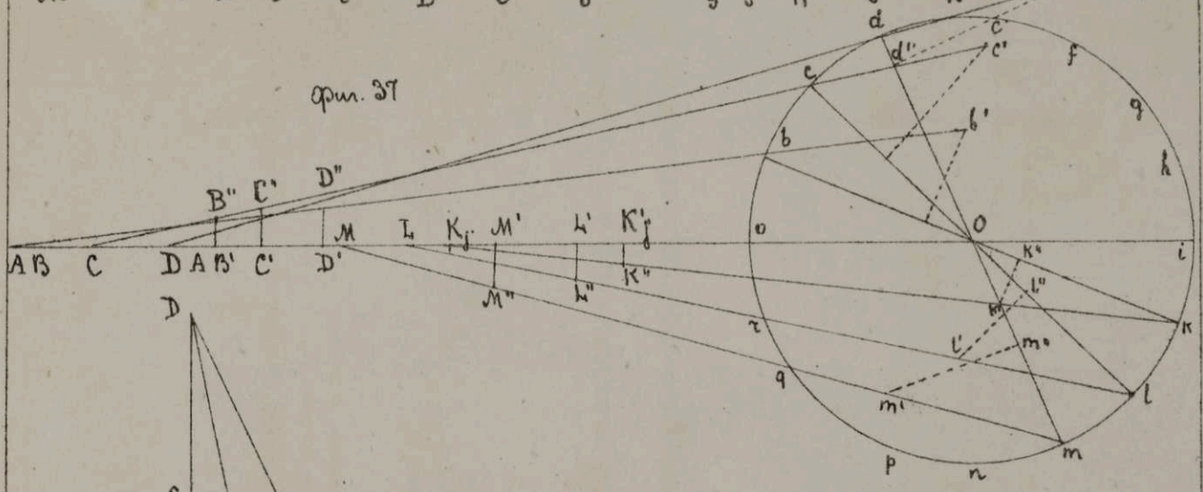
фиг. 36



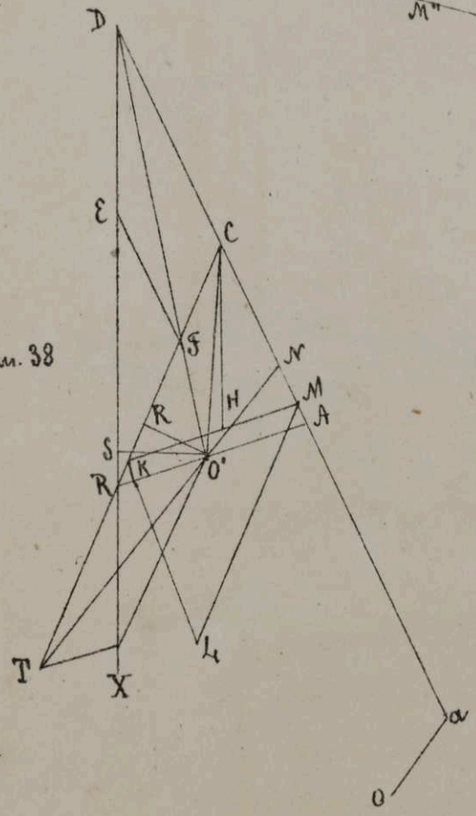
фиг. 35



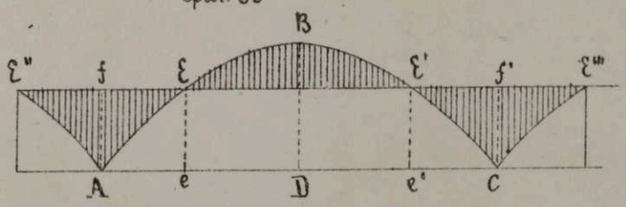
фиг. 37



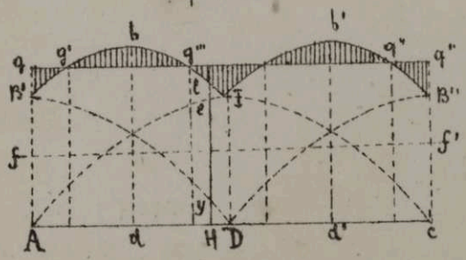
фиг. 38



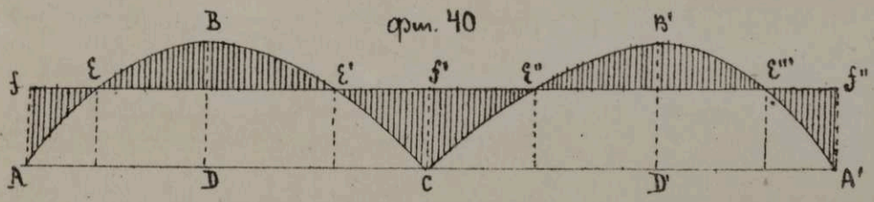
фиг. 39



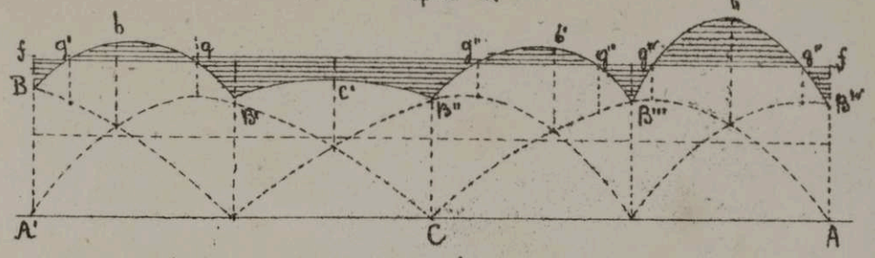
фиг. 41



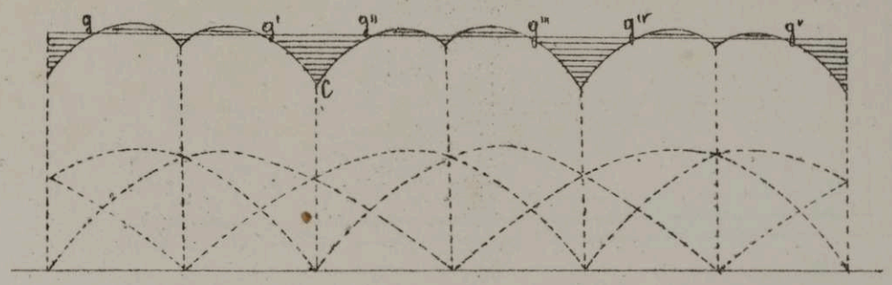
фиг. 40



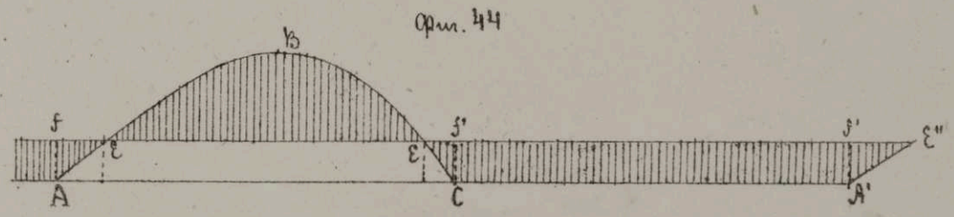
фиг. 42



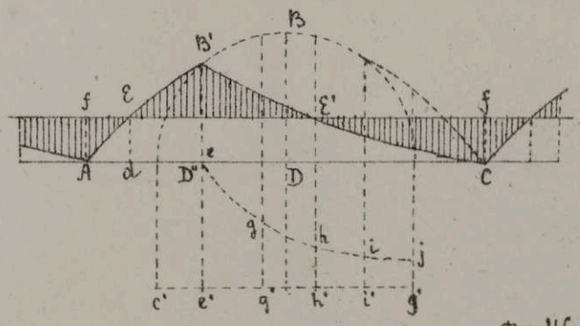
фиг. 43



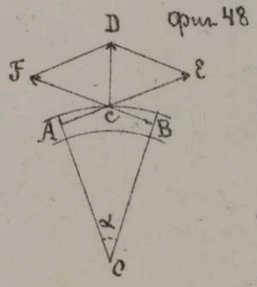
фиг. 44



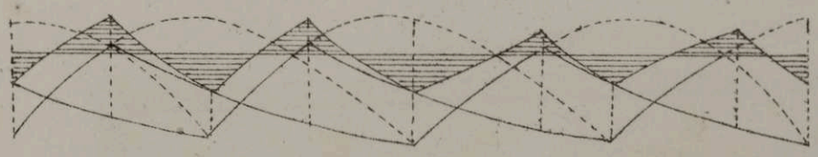
фиг. 45



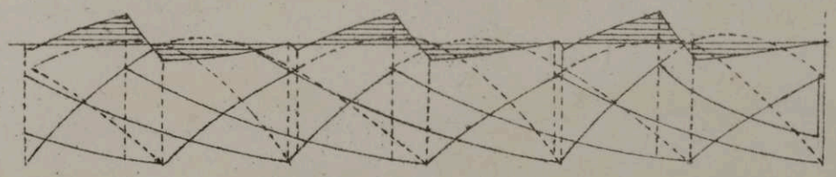
фиг. 48



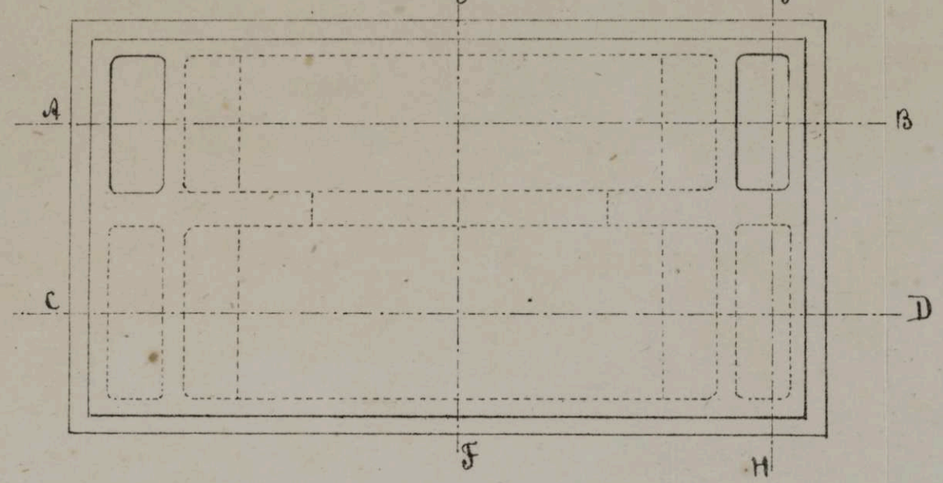
фиг 46



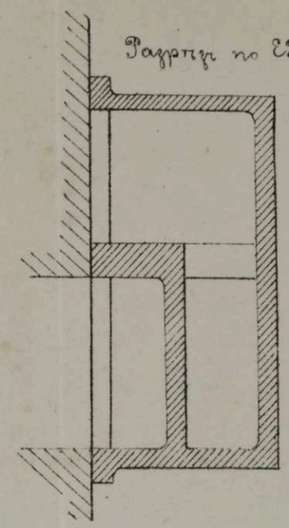
Фиг. 47



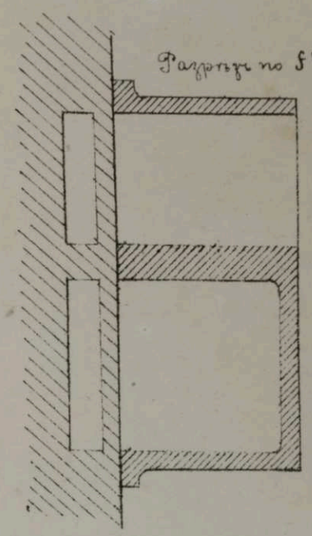
Фиг. 1



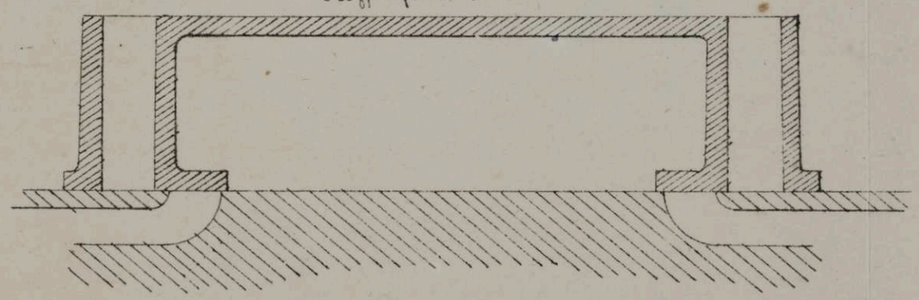
Разрѣзъ по EF



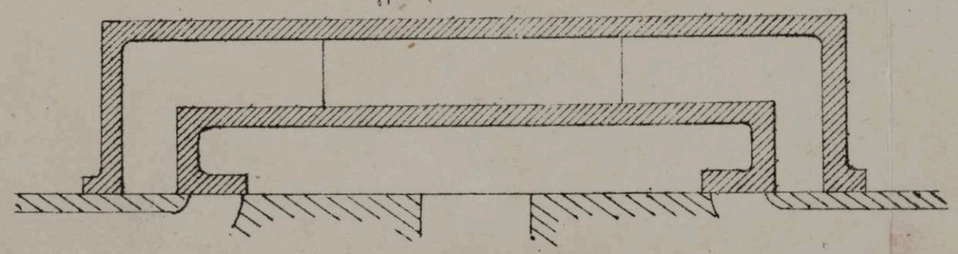
Разрѣзъ по JH



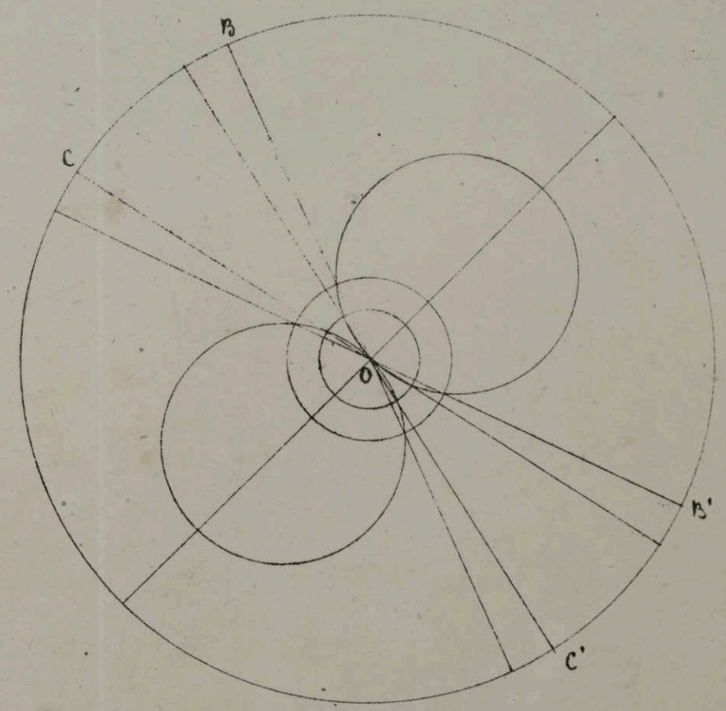
Разрѣзъ по AB



Разрѣзъ по CD



Фиг. 2.



МР.

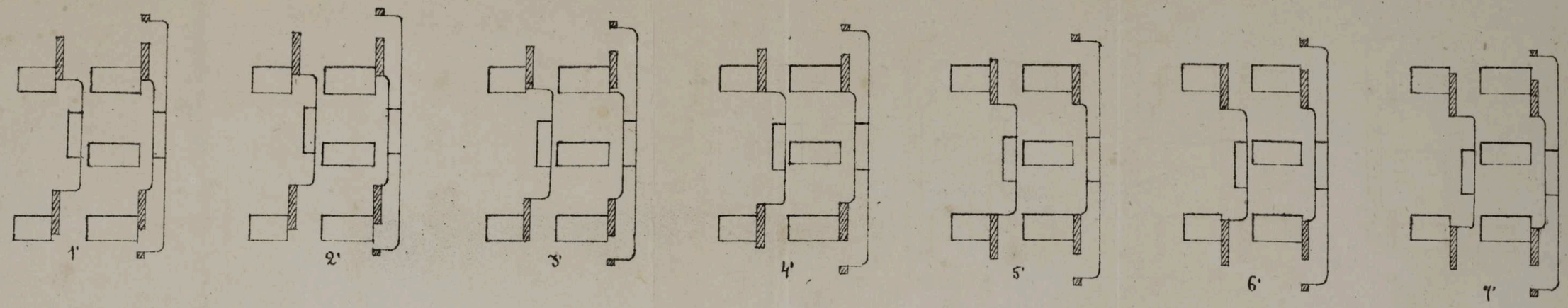
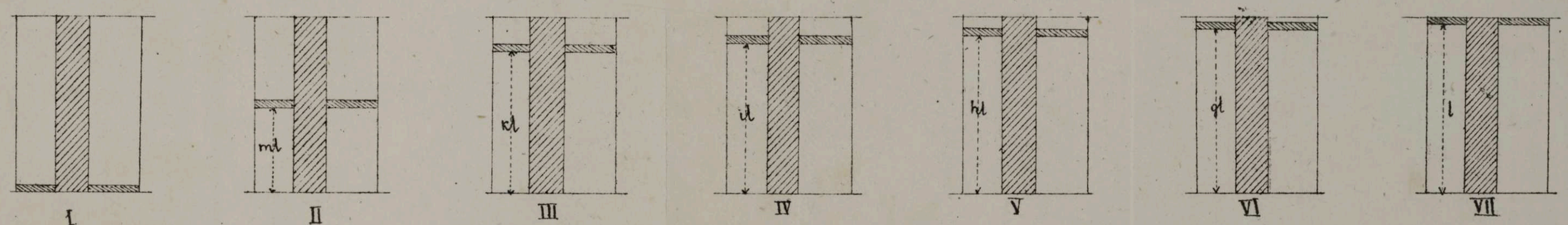
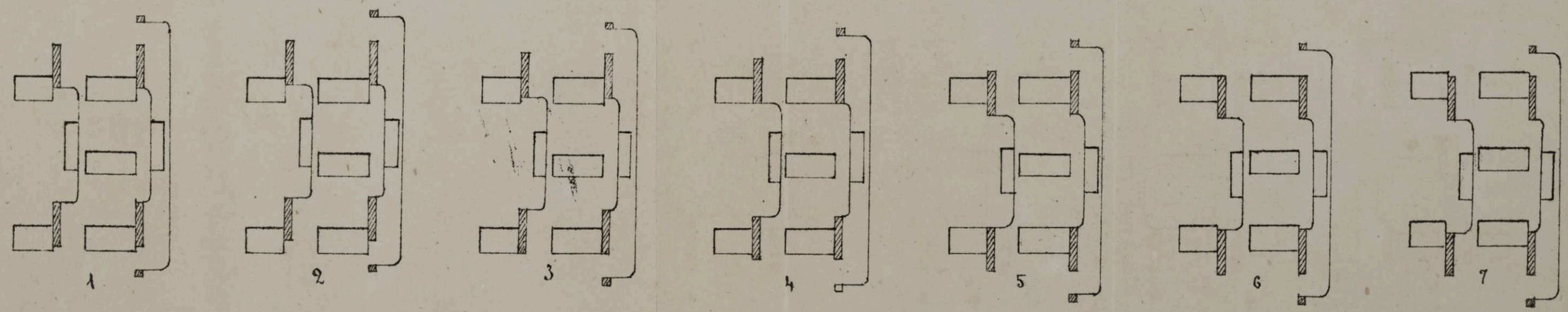
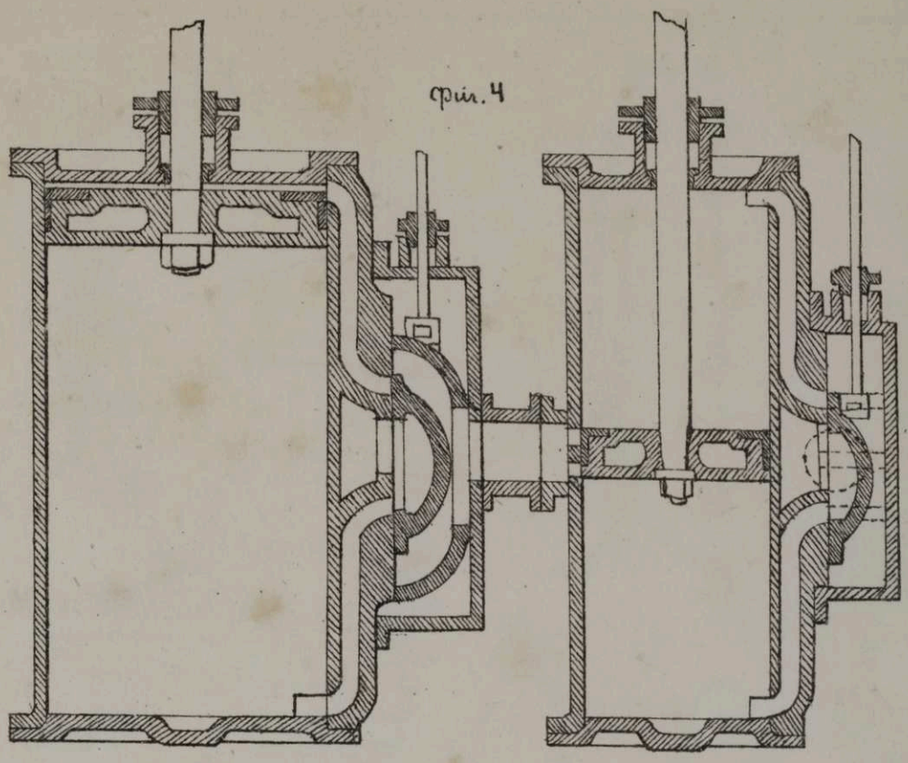


Fig. 3

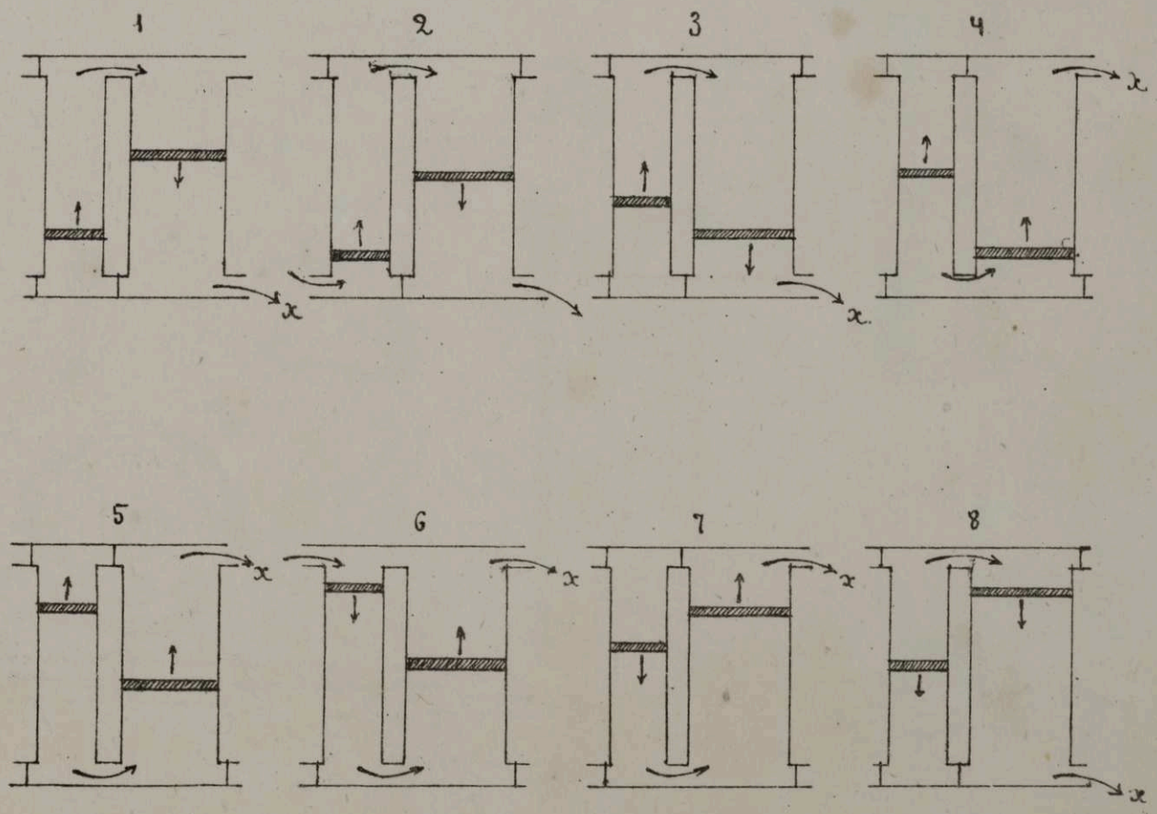


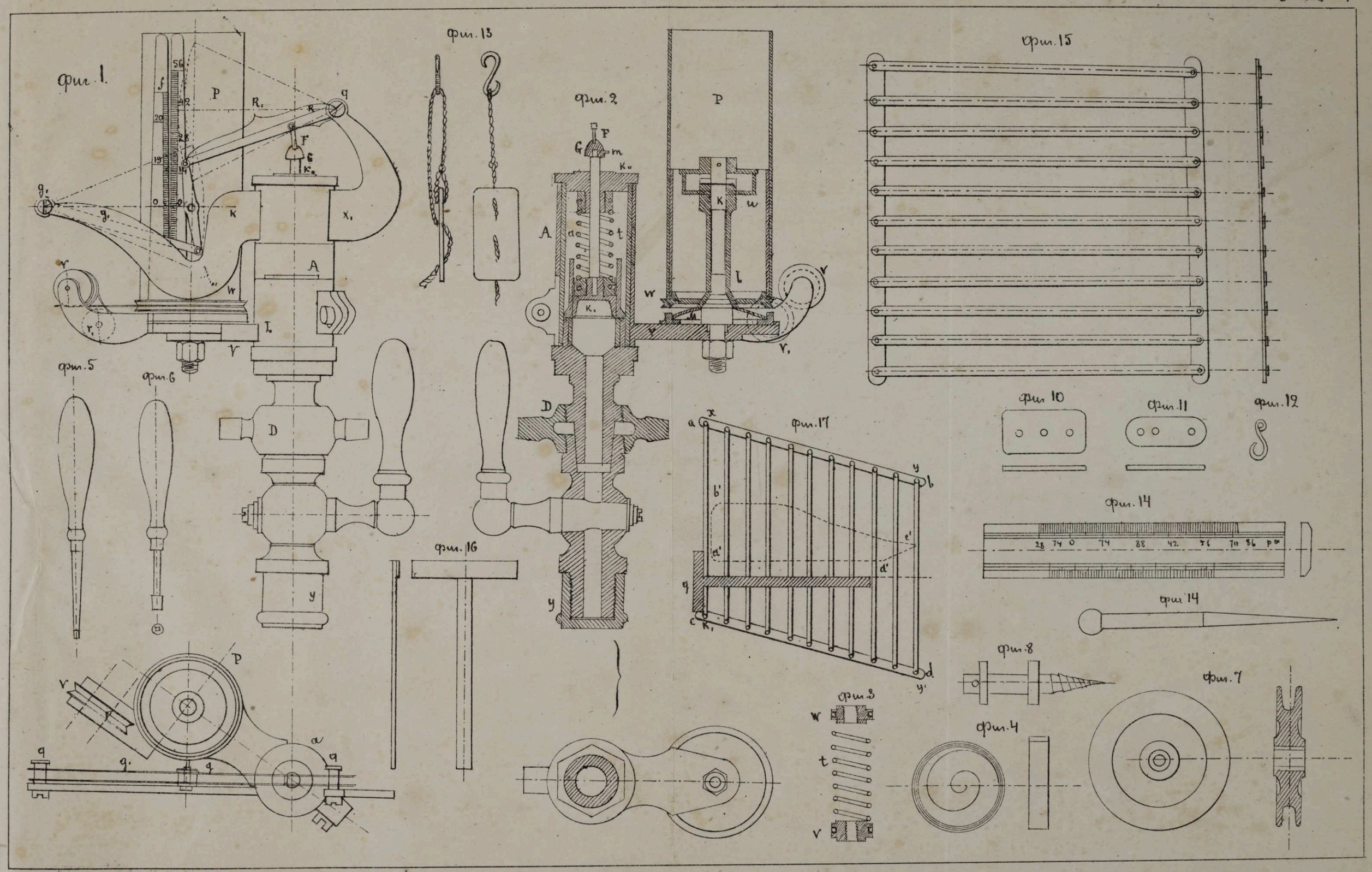


фиг. 4



фиг. 5




фиг. 1.
фиг. 2
фиг. 3
фиг. 4
фиг. 5
фиг. 6
фиг. 7
фиг. 8
фиг. 10
фиг. 11
фиг. 12
фиг. 13
фиг. 14
фиг. 14
фиг. 15
фиг. 16
фиг. 17