

*А. И. Сидоровъ,*

Профессоръ Императорскаго Техническаго Училища.

---



# КОНСПЕКТЪ КУРСА

ПОСТРОЕНИЯ

# ПАРОВЫХЪ МАШИНЪ.



МОСКВА.

Типо-лит. Товарищества И. Н. Кушнеревъ и К<sup>о</sup>, Пименов. ул., соб. д.

1000.

**Доволено цензурою. Москва, 22 апрѣля 1900 г.**

## Парораспредѣленіе.

### Теоретическая индикаторная діаграмма и отступленія отъ нея дѣйствительной діаграммы.

Курсъ построенія паровыхъ машинъ начнемъ съ разсмотрѣнія главнѣйшаго органа паровой машины—парораспредѣлительнаго аппарата. Парораспредѣленіе представляетъ изъ себя приборъ, который служитъ для того, чтобы впускать паръ въ цилиндръ и выпускать его изъ цилиндра надлежащимъ образомъ.

О процессахъ, происходящихъ въ паровомъ цилиндрѣ, можно судить, какъ извѣстно, по индикаторной діаграммѣ, которая теоретически представляется въ слѣдующемъ видѣ. Предполагается (чер. 1), что по *ab* происходитъ впускъ пара при постоянномъ давленіи; въ точкѣ *b* сообщеніе цилиндра съ котломъ моментально прекращается и паръ расширяется въ цилиндрѣ по закону кривой *bc*, въ *c* начинается выпускъ пара, т.-е. сообщеніе цилиндра съ пространствомъ, имѣющимъ меньшее давленіе (атмосфера, холодильникъ); давленіе моментально падаетъ до нѣкоторой точки *d* и, при постоянномъ уже давленіи, паръ выталкивается изъ цилиндра (линія *de* на діаграммѣ); въ точкѣ *e*, опять-таки моментально, выходъ пара изъ цилиндра прекращается и паръ сжимается по кривой *ef*, причемъ точка *f* можетъ получиться или ниже *a*, или совпадать съ ней, или даже (хотя этого избѣгаютъ) быть выше ея; наконецъ, въ точкѣ *f* цилиндръ опять сообщается съ котломъ и давленіе повышается до давленія въ золотниковой или клапанной коробкѣ.

Относительно положенія точки *f* можно замѣтить слѣдующее: если она лежитъ выше точки *a*, то, въ первый моментъ соединенія цилиндра съ паропроводомъ, паръ изъ цилиндра устремится въ паропроводъ, произойдетъ столкновение двухъ теченій пара и ударъ, который вредно отзовется на трубѣ, приводящей паръ; если же точка *f* лежитъ ниже *a*, то въ моментъ впуска ударъ произойдетъ въ самомъ цилиндрѣ, что можетъ вредно отзываться на плавности хода машины, затѣмъ, отъ положенія точки *f* зависитъ экономичность машины въ смыслѣ расхода пара; теоретически вопросы эти еще мало выяснены и поэтому относительно положенія точки *f* нельзя дать никакихъ опредѣленныхъ указаній и положеніе ея устанавливается практикой. Обыкновенно сжатіе доводятъ до давленія не меньшаго половинны давленія впуска, и часто—еще выше.

Теоретическая индикаторная диаграмма есть только первое приближение къ процессамъ, происходящимъ въ цилиндрѣ. Диаграммы, получаемыя съ существующихъ машинъ, значительно отступаютъ отъ теоретической, вслѣдствіе того, что открытіе и закрытіе оконъ происходитъ не моментально, а требуетъ болѣе или менѣе значительнаго времени, вслѣдствіе сопротивленій и потерь въ каналахъ и вслѣдствіе еще нѣкоторыхъ другихъ причинъ. Нѣкоторые конструкторы, стремясь приблизиться къ теоретической диаграммѣ, старались получить моментальную отвѣчку (парораспределение Корлисса и др.), но, какъ потомъ увидимъ, это стремленіе не имѣетъ значенія (въ смыслѣ расхода пара) для экономичности машины.

Всѣ отступленія, происходящія въ дѣйствительной диаграммѣ вслѣдствіе постепеннаго, а не моментальнаго закрытія оконъ и др. причинъ, не имѣютъ существеннаго значенія, а въ быстроходныхъ машинахъ оказываютъ даже пользу, такъ какъ, благодаря медленному открытію оконъ, ослабляется ударъ пара въ цилиндрѣ.

Отступленія отъ теоретической диаграммы елѣдующія: 1) Такъ какъ для того, чтобы паръ изъ паропровода проникъ въ цилиндръ, требуется *нѣкоторое время*, то давленіе въ цилиндрѣ не сразу повышается до давленія въ паропроводѣ; кривая измѣненія будетъ не  $fa$ , а нѣкоторая  $fa'$ , т.-е. поршень успѣетъ уже передвинуться въ  $a'$ ; это обстоятельство вредно отзывается на плавности хода машины и, кромѣ того, теряется работа. Чтобы избѣжать этого, нужно впускать паръ въ цилиндръ нѣсколько ранѣе, въ какой-нибудь точкѣ  $f'$ , т.-е. устроить *предвареніе впуска* на части хода  $= s'$ . 2) Въ виду того, что окно открывается и закрывается не сразу, а постепенно, т. ч. величина площади, впускающей паръ, все время мѣняется, будетъ происходить, такъ называемое *мятіе пара*, давленіе понижается и, вмѣсто горизонтальной прямой  $ab$ , получится нѣкоторая наклонная  $ab'$ , что, какъ видно, ведетъ опять къ уменьшенію работы. Эта потеря отъ мятія пара покрывается отчасти тѣмъ, что паръ, проходя чрезъ узкую щель, *перегрѣвается*, а это, какъ извѣстно, уменьшаетъ начальную конденсацію и ведетъ къ меньшему расходу пара. Явленіе происходитъ такъ же, какъ въ машинахъ съ дроссельнымъ клапаномъ, управляемымъ регуляторомъ, гдѣ, несмотря на потерю давленія (черт. 3) при проходѣ чрезъ дроссельный клапанъ, экономичность почти не уменьшается, благодаря перегрѣву и уменьшенію начальной конденсаціи. 3) Отъ точки  $b'$  до  $c'$  (черт. 2) происходитъ расширеніе пара (въ  $b'$  получается закругленіе, вслѣдствіе постепеннаго закрытія оконъ). Если бы паръ расширился по кривой  $b'c'$  до точки  $c_0$ , то, при обратномъ ходѣ поршня, давленіе не успѣло бы понизиться сразу до давленія выпуска и понижалось бы по кривой  $c_0d_1$ , причемъ опять получилась бы потеря работы и уменьшеніе плавности хода машины. Чтобы избѣжать этого, паръ начинаютъ выпускать въ нѣкоторой точкѣ  $c'$ , т.-е. устраиваютъ *предвареніе выпуска* (давленіе понижается по кривой  $c'c_2$ ).

Далѣе будетъ происходить выпускъ пара по кривой  $de$ , причемъ

въ точкѣ *в* опять получится закругленіе, благодаря постепенному закрытію выпускного окна.

Сравнивая дѣйствительную діаграмму съ теоретическою, мы замѣчаемъ, что площадь первой меньше площади второй, а, стало быть, и среднее индикаторное давленіе  $p'_i$ , вычисленное по этой діаграммѣ, получится меньше теоретическаго  $p_i$ . Теперь невольно является вопросъ: какъ же пользоваться теоретическою діаграммою при проектированіи паровой машины? На практикѣ поступаютъ такъ: при расчетѣ машины чертятъ теоретическую діаграмму, по ней находятъ среднее индикаторное давленіе  $p_i$ , а чтобы приблизиться къ дѣйствительному среднему давленію  $p'_i$ , вводятъ поправку въ видѣ нѣкотораго коэффициента  $a$ , такъ что  $p'_i = ap_i$ , причемъ  $a$  находится опытнымъ путемъ изъ разсмотрѣнія уже построенныхъ и испытанныхъ машинъ.

Величина  $a$  называется *степенью* (или коэффициентомъ) *полноты* индикаторной діаграммы и у большинства исполненныхъ хорошихъ машинъ величины  $a$  встрѣчаются такія:

Одноцилиндровыя машины съ рубашкой и специальнымъ парораспределеніемъ . . . . .	$a = 0,94-1,00$
Одноцилиндровыя машины съ обыкновенными золотниками . . . . .	$a = 0,80-0,90$
Машины двойного расширенія при лучшихъ условіяхъ . . . . .	$a = 0,80-0,90$
„ „ „ „ обыкновенныхъ условіяхъ . . . . .	$a = 0,70-0,80$
„ тройного расширенія . . . . .	$a = 0,65-0,70$
„ быстроходныя съ тройнымъ расширеніемъ . . . . .	$a = 0,60-0,70$

Въ практикѣ, для надежности, при расчетѣ машинъ двойного и тройного расширенія, берутъ иногда величины  $a$  еще меньше, наприм., процентовъ на 15—20.

Для осуществленія процесса, даваемого описанной выше истинной діаграммою паровой машины, служатъ устройства, называемыя парораспределительными приборами или попросту парораспределеніями (Steuerung, Distribution, Gear).

Каждое парораспределительное приспособленіе можно раздѣлить на двѣ части: внутреннюю и внѣшнюю.

Внутренняя, невидимая часть всегда омывается паромъ и она-то и служитъ для распределенія пара.

Внѣшняя часть парораспределенія служитъ для передачи движенія внутреннимъ органамъ отъ какой-нибудь движущейся части машины (вала, ползуна и т. под.).

Конструкціи *внутреннихъ парораспределительныхъ органовъ* можно раздѣлить на два типа: 1) золотники и краны и 2) клапаны, причемъ различіе этихъ типовъ обуславливается способомъ движенія ихъ органовъ.

Золотникомъ называется парораспределительный органъ, который движется *все время* прикасаясь къ определенной поверхности. Простейшій изъ золотниковъ—это *плоскій* золотникъ (черт. 4); онъ движется по плоской поверхности, прижимаемый къ ней паромъ.

Представимъ себѣ, что вмѣсто плоской поверхности у насъ имѣется цилиндрическая, съ образующей, параллельной движенію золотника:

тогда получился бы золотник, который двигался бы въ цилиндрическомъ жолобѣ; идя еще дальше и дополняя эту цилиндрическую поверхность до полного цилиндра, получимъ *цилиндрический* золотникъ съ поступательнымъ движеніемъ (черт. 5).

Если же мы представимъ себѣ цилиндрическую поверхность съ образующей, перпендикулярной къ направленію движенія золотника, то получимъ *качающийся* золотникъ (черт. 6) съ опредѣленнымъ размахомъ (Корлиссовские краны). А если этотъ размахъ сдѣлаемъ въ  $360^\circ$ , то получимъ *вращающийся* золотникъ или крань.

Совсѣмъ иной принципъ движенія *клапана*. Для открытія клапана необходимо, чтобы онъ *оставилъ* ту поверхность, на которую онъ опирается, и, въ опредѣленное время, опять соприкоснулся съ этою поверхностью, т.-е. закрывалъ каналъ (черт. 7).

Самымъ удобнымъ изъ всѣхъ внутреннихъ органовъ парораспределенія является золотникъ съ поступательнымъ движеніемъ, что обуславливается простотой движенія и устройства, а также надежностью работы. Единственное неудобство золотника состоитъ въ томъ, что при большихъ машинахъ высокаго давленія на его движеніе тратится много работы, благодаря большому тренію. Въ виду этого въ большихъ машинахъ парораспределеніе устраивается чаще всего кранами и клапанами, за исключеніемъ пароходныхъ машинъ.

## Наружные органы парораспределенія.

Существуетъ масса конструкторскихъ наружныхъ органовъ парораспределенія. Онѣ обуславливаются типомъ машины, а также отчасти фантазіей конструктора или желаніемъ обойти чужой патентъ.

Раземотримъ сначала устройство наружныхъ органовъ *золотниковаго* парораспределенія. Устройство зависитъ отъ самаго типа машинъ: если поступательное движеніе поршня превращается во вращательное движеніе вала, то движеніе золотнику передается отъ коренного вала, по большей части при помощи кривошипа и шатуна (эксцентрика и тяги), иногда же оно берется отъ главнаго шатуна; если же поступательное движеніе поршня не превращается во вращательное, то конструкции бываютъ весьма разнообразны.

Примѣромъ послѣдняго типа машинъ служитъ насосъ Вортингтона, гдѣ имѣются два цилиндра, въ которыхъ поршни движутся такимъ образомъ, что когда одинъ находится въ мертвой точкѣ, другой еще движется и переставляетъ золотникъ 1-го цилиндра.

Къ тому же типу принадлежитъ и Корнуэльская машина для откачиванія воды изъ шахтъ, изобрѣтенная сто лѣтъ тому назадъ. Это машина (черт. 8) простаго дѣйствія: поршень вверхъ поднимается паромъ, а опускается тяжестью поршневого штока, который своею тяжестью и перегоняетъ воду. Такъ какъ число качаній зависитъ отъ количества выкачиваемой воды, которое непостоянно, а потому число качаній иногда получается очень малое, то движеніе парораспределительному прибору

сообщается извнѣ, отъ особаго двигателя (грузъ), а число ходовъ регулируется механизмомъ, называемымъ *катарактомъ*; въ общемъ получается очень сложное устройство, съ которымъ можно познакомиться въ курсѣ горнозаводской механики, наприм., проф. И. А. Тиме. Эти насосы употребляются еще и до сихъ поръ, въ виду того, что здѣсь расходъ пара очень малъ. Это обстоятельство зависитъ, во-первыхъ, отъ ранней отсѣчки, а во-вторыхъ, главнымъ образомъ, отъ того, что паръ изъ нижней части цилиндра не выпускается сразу въ холодильникъ, а перегоняется сначала въ верхнюю часть цилиндра (Корнуэльскій циклъ); такимъ образомъ машина эта приближается къ типу компаундъ, ибо паденіе температуры происходитъ въ 2-хъ цилиндрахъ.

При клапанномъ парораспределеніи наружные органы выходятъ гораздо сложнѣе, чѣмъ при золотниковомъ; въ золотниковомъ парораспределеніи золотникъ обыкновенно имѣетъ простое поступательное движеніе, а здѣсь приходится клапанъ поднимать, держать его нѣкоторое время въ поднятомъ положеніи, а затѣмъ опять опускать. Такъ какъ клапанъ долженъ быть нажатъ къ сѣдлу съ постоянной и умѣренной силой, чего достигнуть механизмомъ изъ однихъ твердыхъ, мало сжимаемыхъ, тѣлъ—невозможно, такъ какъ малѣйшее разстройство послѣдняго можетъ вызвать или слишкомъ сильное нажатіе клапана (что можетъ повлечь за собой поломку механизма, порчу сѣдла или клапана), или слишкомъ слабое нажатіе, при которомъ будетъ пропускъ пара чрезъ клапанъ, то поступаютъ такъ:

Въ старыхъ системахъ распределеній клапанами (строющихся, однако, съ успѣхомъ и теперь) механизмъ производитъ подъемъ клапана, держитъ его нѣкоторое время открытымъ, а затѣмъ клапанъ отцѣпляется отъ механизма и свободно опускается подъ дѣйствіемъ собственнаго своего вѣса и вѣса груза или силы пружины; но такъ какъ скорость къ концу движенія можетъ получиться довольно большая, что повлечетъ за собою быстрое изнашиваніе сѣдла и клапана, то вводятъ къ концу движенія противодѣйствующую силу (пружину или воздушный буферъ); когда же клапанъ сѣлъ, то нажатіе его на сѣдло зависитъ лишь отъ вѣса и пружины, механизмъ же идетъ на свободѣ дальше и лишь къ началу новаго подъема захватываетъ опять клапанъ. При такомъ устройствѣ *скорость* паденія клапана *зависитъ отъ вѣса* клапана, *уирности* пружины, *тренья* въ сальникѣ и *сопротивленія* воздушнаго буфера; въ виду этого регулировать движеніе и выбрать пружину довольно трудно.

Это неудобство устранено въ новѣйшихъ конструкціяхъ, первая изъ которыхъ предложена австрійскимъ инженеромъ Кольманомъ въ 80-хъ гг.; здѣсь клапанъ имѣетъ принужденное (*zwangläufige*) движеніе и сила пружины не вліяетъ на скорость опусканія клапана. Сущность всякаго такого устройства состоитъ въ слѣдующемъ: клапанъ *A* (черт. 9) приподнимается помощью рычага *B*, скорость котораго зависитъ отъ конструкціи механизма, передающаго движеніе; опусканіе же клапана производится пружиной, но такъ, что тарелка *C*, посаженная на стержнѣ клапана, все время прижимается пружиной *Q* къ рычагу, который и

регулируетъ скорость опусканія клапана. После того, какъ клапанъ съѣлъ, механизмъ идетъ ниже, затѣмъ опять подымается и въ нужный моментъ захватываетъ клапанъ. Здѣсь никакія силы не вліяютъ на законъ измѣненія скорости клапана, который зависитъ только отъ механизма и устанавливается разъ навсегда конструкторомъ, такъ что клапанъ опускается сперва быстро, а немного не доходя до сѣдла—медленно и не разбиваетъ, поэтому, сѣдла. Танія машины могутъ выдерживать до 200 оборотовъ въ минуту, тогда какъ машины съ расщепленіемъ рѣдко работаютъ хорошо и при 90 оборотокъ.

### Золотниковое парораспределение.

Разсмотримъ золотниковое парораспределение, не обращая пока вниманія на то, приводится ли золотникъ въ движеніе отъ эксцентрика, или отъ какого-либо другого механизма, такъ какъ отъ *наружныхъ органовъ* парораспределения зависитъ только *скорость* движенія золотника и время открытія оконъ, *характерные же моменты* парораспределения (безъ отношенія къ движенію поршня) опредѣляются размѣрами самаго *золотника и зеркала*, по которому онъ ходитъ.

Представимъ себѣ золотникъ въ *среднемъ* положеніи (черт. 10). Изъ чертежа видно, что ширина рамки больше ширины окна; размѣръ  $e$  называется *наружнымъ перекрытіемъ*, а размѣръ  $i$ —*внутреннимъ перекрытіемъ* окна; размѣры эти будемъ считать одинаковыми для лѣвой и правой половины золотника, т. е. золотникъ симметричнымъ, хотя иногда ихъ дѣлаютъ различной величины. Замѣтимъ еще, что внутреннее перекрытіе ( $i$ ) можетъ быть и отрицательнымъ, наружное же ( $e$ ) *всегда* бываетъ положительнымъ.

Положимъ, что золотникъ движется изъ средняго положенія вправо, какъ показываетъ стрѣлка на чертежѣ, и будемъ разстоянія золотника отъ средняго положенія обозначать черезъ  $\xi$ . Разсмотримъ, что происходитъ въ лѣвой сторонѣ цилиндра.

Когда золотникъ передвинется вправо на разстояніе  $e$ , то онъ начнетъ открывать лѣвое окно: это есть *начало впуска* пара въ цилиндръ. Продвинувшись въ ту же сторону еще на разстояніе  $a$ , такъ что  $\xi = e + a$ , золотникъ откроетъ окно вполне. Затѣмъ золотникъ продвинется еще на разстояніе  $k$  ( $k$  можетъ быть  $= 0$  и быть  $< 0$ ), остановится на мгновеніе и начнетъ двигаться въ обратную сторону, справа налево. Когда золотникъ отъ крайняго положенія продвинется влѣво на величину  $k$ —начнется закрытіе окна, а продвинувшись еще на величину  $a$ , золотникъ совсѣмъ закроетъ окно и произведетъ отсѣчку пара, причемъ до средняго положенія онъ не дойдетъ еще на величину  $e$ . Затѣмъ онъ приходитъ въ среднее положеніе и продолжаетъ двигаться влѣво (разстоянія влѣво отъ средняго положенія золотника будемъ считать отрицательными). Пройдя разстояніе  $i$ , онъ начнетъ открывать лѣвое окно для выпуска пара изъ цилиндра (начало выпуска); затѣмъ, пройдя еще разстояніе  $a$ , такъ что  $\xi = -(i + a)$ , откроетъ окно совсѣмъ и, продвинув-



нись еще на величину  $k_1$ , остановится и начнет двигаться въ обратную сторону (слѣва направо). При  $\xi = -(i + a)$  окно начнет закрываться, а при  $\xi = -i$  закроется совсѣмъ (начало сжатія пара въ цилиндрѣ). Затѣмъ золотникъ придетъ въ среднее положеніе и будетъ продолжать двигаться вправо—начнется тотъ же циклъ.

Такъ какъ золотникъ въ обѣ стороны продвигается на одинаковыя разстоянія, то

$$e + a + k = i + a + k_1.$$

Когда поршень находится въ мертвомъ положеніи, то окно для выпуска пара открыто на нѣкоторую величину  $v$  (*линейное предвареніе туска*); когда же поршень находится въ другомъ мертвомъ положеніи, то окно открыто для выпуска на величину  $w$  (*линейное предвареніе выпуска*).

Все вышесказанное видно наглядно изъ слѣдующей таблицы:

$\xi$			Лѣвая сторона цилиндра
o	→		Впускъ свѣжаго пара въ цилиндрѣ.
e	→	начало впуска.	
$e + v$	→	мертвая точка поршня.	
$e + a$	→	полное открытіе окна.	
$e + a + k$	↔	поворотъ золотника.	
$e + a$	←	начало закрытія.	
e	←	отсѣчка.	Расширеніе пара въ цилиндрѣ.
o	←		
-i	←	начало выпуска.	
$-(i + w)$	←	мертвая точка поршня.	Выпускъ пара.
$-(i + a)$	←	полное открытіе окна.	
$-(i + a + k)$	↔	поворотъ золотника.	
$-(i + a)$	→	начало закрытія.	
-i	→	начало сжатія.	Сжатіе пара.
o	→		
e	→	начало впуска.	

Скажемъ еще нѣсколько словъ о размѣрахъ самаго золотника и простѣнковъ зеркала. Размѣры эти не вліяютъ на парораспредѣленіе, но обусловливаются конструктивными соображеніями, а также условіемъ, чтобы при выпускѣ не было мятія пара подъ золотникомъ, т.е.

чтобы площади стѣнъ, черезъ которыя проходитъ паръ, были приблизительно одинаковыми. Слѣдовательно, если обозначить длину крайнихъ оконъ чрезъ  $b$ , а средняго—чрезъ  $y$ , то должны приблизительно соблюдаться равенства:  $ab = z^2 = ty$  (черт. 11).

Итакъ, мы видимъ, что золотникъ можетъ дать всѣ періоды парораспределенія; но, чтобы онъ давалъ ихъ въ *известные моменты*, нужно приспособить надлежащимъ образомъ наружный механизмъ, т.-е. *согласовать* движеніе золотника съ движеніемъ поршня надлежащимъ образомъ.

Наиболѣе распространенный механизмъ для приведенія въ движеніе золотника, есть механизмъ шатуна и кривошипа. Разсмотримъ этотъ механизмъ.

При поворотѣ кривошипа на уголъ  $\alpha$  отъ правой мертвой точки (черт. 12), ползунъ, а вмѣстѣ съ нимъ и поршень, пройдутъ нѣкоторое расстояние  $x$  отъ крайняго праваго положенія.

Изъ треугольника  $OKM$  напишемъ отношеніе:

$$\frac{R}{L} = \frac{\sin^2 \alpha}{\sin \alpha}$$

Проектируя  $R$ ,  $L$  и  $x$  на линію мертвыхъ точекъ, получимъ равенство:

$$\begin{aligned} R \cos \alpha + L \sin^2 \alpha + x &= R + L, & \text{откуда} \\ x &= R(1 - \cos \alpha) + L(1 - \sin^2 \alpha) \dots \dots \dots (1). \end{aligned}$$

Но  $\sin^2 \alpha = \frac{R}{L} \sin \alpha$ , откуда  $\cos \alpha = \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \alpha}$ .

Подставляя эту величину въ уравненіе (1), получимъ:

$$x = R(1 - \cos \alpha) + L \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \alpha} \right) \dots \dots (2).$$

Но этимъ уравненіемъ пользоваться неудобно, почему на практикѣ пользуются приближенными формулами, получаемыми изъ уравненія (2), или разлагая подкоренное количество въ рядъ и отбрасывая члены высшихъ степеней, или отбрасывая всю величину  $L \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \alpha} \right)$ , т.-е. предполагая шатунъ безконечной длины  $\left( \frac{R}{L} = 0 \right)$ .

Въ первомъ случаѣ получаемъ:

$$x = R(1 - \cos \alpha) + \frac{1}{2} \frac{R^2}{L} \sin^2 \alpha \dots \dots (3),$$

а во второмъ:

$$x = R(1 - \cos \alpha) \dots \dots (4).$$

Для поворота кривошипа отъ лѣвой мертвой точки имѣемъ:

$$x' = R(1 - \cos \alpha) - L(1 - \sin^2 \alpha) \text{ или приблизительно:}$$

$$x' = R(1 - \cos \alpha) - \frac{1}{2} \frac{R^2}{L} \sin^2 \alpha.$$

Изъ этого видно, что движеніе ползуна различно для обоихъ ходовъ. Но не во всѣхъ случаяхъ практики можно пользоваться этими

приближенными формулами, такъ какъ отношеніе  $\frac{R}{L}$  иногда бываетъ такъ велико, что, полагая его = 0, мы сдѣлаемъ значительную погрѣшность. Такъ, въ нѣкоторыхъ морскихъ паровыхъ машинахъ  $\frac{R}{L} = \frac{1}{3}$ ; обыкновенно же въ одноцилиндровыхъ паровыхъ машинахъ отношеніе это бываетъ  $\frac{1}{4.5}$  до  $\frac{1}{5}$ ; въ 4-хъ-кодесныхъ же паровозахъ  $\frac{R}{L} = \frac{1}{7}$  и даже меньше.

Но вполне примѣнимы эти формулы къ кривошипному механизму (эксцентрику), служащему для передвиженія золотника, такъ какъ здѣсь отношеніе  $\frac{r}{l}$  значительно меньше, потому что, при почти той же длинѣ шатуна, кривошипъ здѣсь гораздо меньше. Здѣсь-то и пользуются преимущественно формулой  $\xi' = r(1 - \cos \theta)$ .

Разсмотримъ теперь *совмѣстное движеніе* кривошипа машины и золотниковаго эксцентрика.

Эксцентрикъ сажается такъ, что идетъ впереди кривошипа на уголъ  $90^\circ + \delta$  (черт. 14), такъ что при поворотѣ кривошипа отъ лѣвой мертвой точки на уголъ  $\alpha$ , эксцентриситетъ (т.-е. кривошипъ золотника) повернуть отъ лѣвой мертвой точки на уголъ  $\alpha + 90^\circ + \delta = \theta$ . Для положенія поршня имѣетъ формулу:

$$x = R(1 - \cos \alpha) + L \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} \sin^2 \alpha} \right)$$

или приблизительно:

$$x = R(1 - \cos \alpha).$$

Для положенія золотника:

$$\xi' = r(1 - \cos \theta) = r[1 - \cos(90^\circ + \alpha + \delta)] = r[1 - \sin(\alpha + \delta)],$$

или, считая положеніе золотника отъ середины зеркала, (черт. 15).

$$\xi = r[1 - \sin(\alpha + \delta)] - r = r \sin(\alpha + \delta).$$

Уголъ  $\delta$  называется *угломъ опереженія* эксцентрика. Онъ бываетъ весьма различенъ въ зависимости отъ потребностей парораспределенія и способа передачи движенія къ золотнику.

## Золотниковыя діаграммы.

### 1. Синусоидальная діаграмма движенія золотника.

Законъ движенія золотника представляется формулой:  $\xi = r \sin(\alpha + \delta)$ , гдѣ  $\xi$  — перемѣщеніе золотника отъ средняго положенія,  $r$  — эксцентриситетъ,  $\delta$  — уголъ опереженія (заклиниванія) (черт. 14) эксцентрика и  $\alpha$  — уголъ поворота кривошипа отъ мертваго положенія.

Для удобства изслѣдованія движенія золотника этотъ законъ представляютъ графически въ Декартовыхъ или полярныхъ координатахъ.

Если по оси абсциссъ будемъ откладывать въ какомъ-нибудь масштабѣ углы поворота  $\alpha$  кривошипа отъ мертваго положенія, а по оси ординатъ перемѣщенія золотника отъ средняго положенія, то получимъ

кривую (чер. 16), которая, как видно по уравнению  $\xi = rsn(\alpha + \delta)$ , есть синусоида. Разсмотримъ подробнѣе эту діаграмму, считая вращеніе отъ лѣвой (внѣшней) мертвой точки и разматывая лѣвую сторону цилиндра.

Когда  $\alpha = 0$ , т.-е. кривошипъ находится на линіи мертвыхъ точекъ, то перемѣщеніе золотника вправо  $\xi_0 = rsn\delta = e + v$ , гдѣ  $e$ —внѣшнее перекрытіе, а  $v$ —линейное предвареніе впуска; на діаграммѣ получаемъ точку  $A$ . Если въ уравненіи  $\xi = rsn(\alpha + \delta)$  положимъ  $\xi = 0$ , то  $\alpha + \delta = 0$  и  $\alpha = -\delta$  (точка  $B$  на діаграммѣ), изъ чего мы заключаемъ, что среднее положеніе золотника не совпадаетъ съ мертвымъ положеніемъ поршня.

Крайнее правое положеніе золотника соотвѣтствуетъ  $\xi = rsn(\alpha + \delta) = r$ , откуда  $sn(\alpha + \delta) = 1$ ;  $\alpha + \delta = 90^\circ$  и  $\alpha = 90^\circ - \delta$  — на діаграммѣ получается точка  $C$ . Затѣмъ золотникъ пойдетъ обратно и при  $\alpha = 180 - \delta$  опять придетъ въ среднее положеніе (точка  $D$  на діаграммѣ); при углѣ  $\alpha = 270^\circ - \delta$  золотникъ дойдетъ до крайняго лѣваго положенія — точка  $E$  на діаграммѣ, и, наконецъ, при  $\alpha = 360^\circ - \delta$  опять придетъ въ среднее положеніе (точка  $F$ ) и т. д.

Изъ этого разеужденія мы видимъ, что по этой діаграммѣ можно для каждаго положенія кривошипа найти соотвѣтствующее положеніе золотника.

Не трудно убѣдиться, что по этой же діаграммѣ мы легко найдемъ и характерные моменты парораспределенія. Проведемъ прямую линію  $ee$ , параллельную оси  $xx$ , на разстояніи  $e$  отъ нея, равномъ внѣшнему перекрытію золотника съ лѣвой стороны; въ пересѣченіи ея съ синусоидой получаемъ двѣ точки  $a$  и  $b$ , соотвѣтствующія угламъ  $\alpha = \alpha_0$  и  $\alpha = \alpha_1$ . Точка  $a$  соотвѣтствуетъ тому моменту, когда золотникъ изъ средняго положенія передвинулся на величину внѣшняго перекрытія  $\xi = e$  (черт. 17) (пунктиромъ показано среднее положеніе золотника) и начинаетъ открывать впускное окно (моментъ начала впуска) въ лѣвую часть цилиндра; такъ какъ при мертвомъ положеніи поршня (точка  $A$ ;  $\xi_0 = rsn\delta = e + v$ ) окно уже должно быть открыто на величину  $e + v$ , то очевидно  $e < rsn\delta$ , гдѣ  $rsn\delta = e + v$  и  $v$ , т.-е. предвареніе впуска, не можетъ быть отрицательнымъ.

Точка  $b$  соотвѣтствуетъ тому моменту, когда золотникъ, двигаясь уже обратно, опять принялъ положеніе, показанное на черт. 17, т.-е. только что закрылъ лѣвое окно (моментъ отсѣчки пара).

Проведемъ прямую  $ii$ , параллельную  $xx$ , на разстояніи отъ нея—правому внутреннему перекрытію  $i$ , получимъ на діаграммѣ точки  $c$  и  $d$ , соотвѣтствующія угламъ  $\alpha = \alpha_2$  и  $\alpha = \alpha_3$ . Точка  $c$  соотвѣтствуетъ началу выпуска пара изъ правой части цилиндра (черт. 18), а точка  $d$ — началу сжатія въ правой же части цилиндра (положеніе золотника такое же, какъ на черт. 18).

Чтобы получить моменты  $c$  и  $d$  для лѣвой части цилиндра, нужно было бы провести линію  $ii$  внизъ отъ оси  $xx$ .

Замѣтимъ, что въ большинствѣ случаевъ внутреннее перекрытіе

$i < e$ ; оно может  $= 0$  или даже быть отрицательной величиной; въ этомъ послѣднемъ случаѣ для правой части цилиндра  $i$  пришлось бы откладывать внизъ отъ оси  $xx$ , а для лѣвой вверхъ.

Если  $i$  отрицательно, то обѣ стороны цилиндра сообщены на нѣкоторое время, какъ видно на черт. 19, но благодаря узкости щелей, такъ какъ величина  $i$  обыкновенно мала, на снятой индикаторомъ диаграммѣ обыкновенно не видно никакихъ слѣдовъ сообщенія обѣихъ сторонъ цилиндра.

## 2. Полярная діаграмма Цейнера.

Кромѣ синусоидальной діаграммы существуютъ еще и другія діаграммы. Наибольшею извѣстностью пользуется полярная діаграмма профессора Цейнера, основанная на построении величинъ  $sn(\alpha + \delta)$  въ полярныхъ координатахъ.

Діаграмма Цейнера строится слѣдующимъ образомъ. Отъ перпендикуляра, построеннаго въ какой-нибудь точкѣ  $O$  горизонтальной линіи, откладывается уголь заклиниванія эксцентрика  $\delta$ ; на радиусѣ  $OA$  откладывается величина эксцентриситета  $r$  въ извѣстномъ масштабѣ, и на ней, какъ на діаметрѣ, строится окружность, наз. золотниковою окружностью.

Окружность эта обладаетъ тѣмъ свойствомъ, что хорда, проведенная подъ угломъ  $\alpha$  (уголь поворота кривошипа отъ мертваго положенія) къ линіи мертвыхъ точекъ, даетъ въ томъ же масштабѣ, въ какомъ отложена величина  $r$ , разстояніе золотника отъ средняго его положенія, т.-е. величину  $\xi = rsn(\alpha + \delta)$ , что видно изъ треугольника  $OAC$ . Такихъ окружностей строимъ двѣ, для лѣвой и правой части цилиндра. Если изъ центра  $O$  радиусомъ  $B$  (длина кривошипа) въ произвольномъ масштабѣ проведемъ окружность  $B_0 B B_0'$ , то на томъ же чертежѣ будемъ получать разстоянія поршня отъ мертваго положенія. Такъ, для угла  $\alpha$  величина  $x = R(1 - c\alpha)$  выразится отрѣзкомъ  $B_0'D$ .

Чтобы получить на этой діаграммѣ характерные моменты парораспределенія, проводимъ изъ точки  $O$  окружности радиусами  $e$  (величина вѣшняго перекрытія) и  $i$  (величина внутренняго перекрытія), тогда точки пересѣченія этихъ окружностей съ золотниковыми окружностями и дадутъ эти моменты.

Такъ, для правой стороны цилиндра, точка  $e_1$  соотвѣтствуетъ началу впуска; въ это время кривошипъ еще не дошелъ до праваго мертваго положенія на уголь  $\alpha_0$ , называемый иногда угломъ предваренія впуска, золотникъ же прошелъ отъ средняго положенія разстояніе  $e$ . Когда кривошипъ придетъ въ мертвое положеніе, то золотникъ прошелъ уже разстояніе  $e + v$ , т.-е. окно будетъ открыто на величину  $v$  (линейное предвареніе впуска).

Наибольшему отклоненію золотника отъ средняго положенія, т.-е.  $\xi_{max} = r$ , соотвѣтствуетъ положеніе кривошипа въ  $B_m$  при углѣ поворота  $\alpha_m = 90 - \delta$ :

$$\xi_{max} = rsn(\alpha + \delta) = rsn(90 - \delta + \delta) = r.$$

Затѣмъ золотникъ пойдетъ обратно и при  $\xi = e$  закроетъ окно, моментъ отсѣчки пара; этому моменту соответствуетъ положеніе кривошипа въ  $B_2$ , при углу поворота  $\alpha_1$ .

Когда кривошипъ придетъ въ положеніе  $B_3$ , соответствующее точкѣ пересѣченія окружности  $i$  съ нижней золотниковой окружностью, то золотникъ начнетъ открывать окно для выпуска пара изъ цилиндра (начало выпуска); затѣмъ, дойдя до лѣваго крайняго положенія при положеніи кривошипа въ  $B'm$ , золотникъ пойдетъ обратно и, при положеніи кривошипа въ  $B_1$ , закроетъ окно и въ цилиндрѣ начнется сжатіе пара.

Точно такія же точки получаются и для лѣвой части цилиндра; на чертежѣ онѣ помѣчены знакомъ «примъ».

Слѣдуетъ замѣтить, что для одного и того же окна моменты начала впуска и отсѣчки пара опредѣляются точками пересѣченія окружности  $e$  съ одной, а моменты начала выпуска и начала сжатія—точками пересѣченія окружности  $i$  съ другой изъ золотниковыхъ окружностей. Такъ, въ нашемъ случаѣ, для правой части цилиндра первые два момента получаются на верхней, а два послѣднихъ на—нижней. Наоборотъ, когда  $i$  отрицательно, то всѣ 4 момента получаются на одной окружности.

Чтобы машина работала правильно, необходимо, чтобы отсѣчка имѣла вполнѣ опредѣленную величину (наивыгоднѣйшую); въ одноцилиндровыхъ машинахъ безъ охлажденія отсѣчка производится, въ среднемъ, на 0,3—0,33 хода поршня; въ машинахъ съ охлажденіемъ—на 0,1—0,15 хода.

Вполнѣ опредѣленными величинами должны быть и предваренія впуска и выпуска. Такъ, въ обыкновенныхъ машинахъ предвареніе впуска  $v =$  отъ  $\frac{1}{9}$  до  $\frac{1}{7} a$ , гдѣ  $a$ —ширина окна; но  $v$  возрастаетъ съ возрастаніемъ скорости хода машины до  $v = 0,4a - 0,5a$  и даже  $v = a$ . При построеніи машины наилучшая величина  $v$  устанавливается съ помощью индикатора.

На черт. 20 отсѣчка получается очень поздно, на второй половинѣ хода поршня; чтобы ускорить моментъ отсѣчки, нужно было бы увеличить радиусъ окружности  $e$ , т.е. увеличить внѣшнее перекрытіе, но, какъ видно изъ чертежа 21, съ увеличеніемъ  $e$  уменьшается  $v$  (линейное предвареніе впуска) и при извѣстной величинѣ  $e$ ,  $v$  можетъ получиться  $= 0$  и даже отрицательнымъ. Этого можно избѣжать, увеличивая уголъ заклиниванія эксцентрика  $\delta$ , какъ видно изъ чертежа 22, и увеличивая эксцентриситетъ  $r$ , что и дѣлается въ практикѣ.

Количество пара, впускаемаго въ цилиндръ, обусловливается размѣрами окна, т.е. высотой его  $b$  и шириной  $a$  (черт. 23). Что касается размѣра  $b$ , то онъ обыкновенно не бываетъ больше внутренняго діаметра цилиндра  $D$  (черт. 23); увеличеніе же размѣра  $a$  ведетъ за собой увеличеніе эксцентриситета, такъ какъ  $r \geq a + e$ , или вообще  $r = f(a)$ .

Чтобы уменьшить  $r$ , дѣлаютъ въ большихъ машинахъ вмѣсто одного канала—два, шириною  $\frac{a}{2}$  (схема—черт. 24); тогда золотникъ полу-

чается двойной. При такомъ устройствѣ эксцентриситетъ получается меньше, ибо каждое окно вдвое уже одного прежняго. Такіе золотники употребляются въ пароходныхъ машинахъ, причемъ дѣлають часто не два, а гораздо больше каналовъ, такъ что золотникъ принимаетъ видъ рѣшетки, почему и называется рѣшетчатымъ золотникомъ.

Болѣе детально двойной золотникъ изображенъ на черт. 25 въ томъ видѣ, какъ его строить англійскій конструкторъ Ренш. Свѣжій паръ омываетъ золотникъ снаружи и (по стрѣлкѣ) можетъ попадать во внутренній поперечный каналъ, ко второму окну. Выпускъ пара тоже сквозь оба окна.

Для той же цѣли дѣлають въ самомъ золотникѣ каналъ (черт. 26), такъ что паръ поступаетъ въ окно не только чрезъ открытую часть, но и черезъ каналъ въ золотникѣ (золотникъ Трика или Аллена). Зеркало при этомъ имѣетъ уступъ и размѣръ  $m$  таковъ, что одновременно съ открытіемъ окна внѣшнній край золотника и край канала  $p$  начинается сходить съ уступа.

Эксцентриситетъ при золотникѣ Трика опредѣляется изъ слѣдующихъ соображеній:

Если внѣшнее перекрытіе золотника будетъ  $e$ , то, при передвиженіи на величину  $e + z$  отъ своего средняго положенія, золотникъ откроетъ окно непосредственно на величину  $z$  своимъ внѣшнимъ краемъ, и кромѣ того каналъ сойдетъ съ уступа зеркала тоже на величину  $z$ , такъ что полное открытіе будетъ  $2z$ . Если ширина канала Трика будетъ  $t$ , то, когда каналъ только что сойдетъ весь съ уступа, полная величина открытія будетъ  $2t$ . Если окно въ зеркалѣ очень широко, такъ что при далыѣйшемъ движеніи каналъ Трика еще не начнетъ заходить на простѣнокъ, то открытіе окна будетъ продолжать еще возрастать. Но чтобы по возможности уменьшить эксцентриситетъ, обыкновенно дѣлають такъ, чтобы, какъ только каналъ сошелъ весь съ уступа, окно было бы уже открыто на величину, достаточную для прохода пара, т.-е. на величину впускного окна  $a_r$ , которое получили бы при простомъ золотникѣ, такъ что необходимо

$$2t = a_r \text{ и } t = \frac{a_r}{2}.$$

Эксцентриситетъ будетъ тогда

$$r_r = t + e,$$

гдѣ  $e$  выбирается сообразно отсѣчкѣ. Это и будетъ наименьшій возможный эксцентриситетъ. Иногда дѣлають  $t < \frac{a_r}{2}$ , но при этомъ  $r$  будетъ больше.

Величина предваренія впуска выбирается здѣсь какъ для окна съ шириной  $t$ , ибо открытіе здѣсь двойное.

Слѣдуетъ еще замѣтить, что каналъ Трика работаетъ тѣмъ лучше, тѣмъ онъ шире; въ узкомъ же каналѣ паръ сильно мнется и пользы отъ канала тогда очень мало. Поэтому лучше брать  $t$  побольше (именно  $t = 0,5 a_r$ ) и слѣдить за тѣмъ, чтобы поелѣ отливки изъ канала хоро-

шенько удалили весь стержень и каркасъ, иначе каналъ будетъ работать очень плохо.

Рекомендуется величину  $r$ , найденную какъ сейчасъ объяснено, поѣрить, будетъ ли она давать достаточной величины отверстие для выхода. Если  $a_a$  есть величина выпускного окна, найденная по скорости выпуска, то для выпуска необходимъ эксцентриситетъ

$$r_a = a_a + i,$$

гдѣ  $i$  — внутр. перекрытіе.

Вычисливъ  $r_c$  и  $r_a$ , надо для построения золотника принять большую изъ нихъ и сообразно этому уже назначить окно въ зеркалѣ.

Золотникъ Трика весьма распространенъ.

### 3. Диаграмма Мюллера.

Кромѣ синусоидальной диаграммы и диаграммы Цейнера, существуютъ еще и другія: Мюллера, Брикса и др. Изъ нихъ мы рассмотримъ очень распространенную въ Германіи диаграмму Мюллера (или Рело) и диаграмму Брикса.

Диаграмма Мюллера строится слѣдующимъ образомъ. Берется на плоскости точка  $A$  (черт. 27), чрезъ которую проводится вертикаль  $aa$ , отъ которой ведется отечеть угловъ; линіей мертвыхъ точекъ кривошипа будетъ линія  $bb$ , проведенная къ линіи  $aa$  подъ угломъ  $\delta$ . Изъ той же точки  $A$  описываемъ окружность радиуса  $r =$  эксцентриситету. Положимъ, что кривошипъ повернулся отъ линіи мертвыхъ точекъ на уголъ  $\alpha$ . Тогда, если опустимъ изъ точки  $e$  перпендикуляръ на линію  $aa$ , то онъ и будетъ представлять собой  $\xi$  — разстояніе золотника отъ среднего положенія, такъ какъ онъ равенъ  $r \sin(\alpha + \delta)$ .

Чтобы найти главнѣйшія положенія золотника, проводимъ линіи  $ee$  и  $ee'$  на разстояніи внѣшняго перекрытія  $e$ , параллельно линіи  $aa$ . Тогда точки пересѣченія этихъ линій съ окружностью и опредѣляютъ начало и конецъ впуска. Чтобы опредѣлить точки начала и конца выпуска, проводимъ параллельно  $aa$  линіи  $ii$  и  $ii'$  на разстояніи внутренняго перекрытія  $i$  отъ нея. Когда поршень будетъ въ мертвомъ положеніи, то окно, какъ видно изъ диаграммы, будетъ открыто для впуска на величину  $v$  (предваренія впуска).

Эта диаграмма удобна тѣмъ, что при ней легко можно получить индикаторную диаграмму; для этого проводимъ параллельно линіи мертвыхъ точекъ линію  $cc$ , отъ которой будемъ отсчитывать давленія пара, и, перенеся перпендикулярами къ ней соотвѣтственныя точки, получимъ индикаторную диаграмму.

### 4. Диаграмма Брикса.

Диаграмма Брикса строится какъ и диаграмма Мюллера, и отличіе ея отъ послѣдней заключается въ томъ, что здѣсь отечеть ведется не отъ центра  $A$ , а отъ нѣкоторой другой точки, которая находится аналитически.



Эта диаграмма принадлежит русскому инженеръ-механику Ф. А. Бриксу. Она даетъ движеніе золотника съ такою точностью, которая превосходить все, что требуется въ практикѣ; въ ней принимается въ расчетъ и длина шатуна и длина золотниковой тяги.

Диаграмма Брикса есть не что иное, какъ измѣненная диаграмма Рело, въ которой векторы проводятся не изъ центра круга, а изъ нѣкоторой другой точки, лежащей внутри его. Диаграмма Брикса основана на слѣдующемъ (предположенномъ имъ же) построеніи пути, проходящаго концомъ шатуна или эксцентриксовой тяги.

*Построеніе Брикса* (черт. 28). Если  $L$ —есть длина шатуна (или эксцентриксовой тяги),  $R$ —радіусъ кривошипа (или эксцентриситетъ), то описавъ кругъ радіусомъ  $OK = R$ , отложимъ по линіи мертвыхъ точекъ  $KK_1$  величину  $OC = R^2 : 2L$  отъ центра въ сторону мертвой точки, наиболее удаленной отъ цилиндра (внѣшней); проведемъ изъ точки  $C^*$  векторъ  $CA$  подъ угломъ  $\alpha$  къ  $KK_1$  и опустимъ изъ  $A$  перпендикуляръ  $AB$  на  $KK_1$ . Тогда отрѣзокъ  $KB$  представитъ весьма точно путь, пройденный ползуномъ, когда кривошипъ составляетъ уголъ  $\alpha$  съ линіей мертвыхъ точекъ, т.-е. занимаетъ положеніе  $OA_0$ .

Чтобы видѣть, какъ велика можетъ быть ошибка, въ предположеніи безконечныхъ шатуновъ, и чтобы ясно оцѣнить степень точности построенія Брикса, я войду въ нѣкоторыя математическія подробности.

Пусть кривошипъ  $OA$  (черт. 29) повернулся на уголъ  $\alpha$  отъ внутренней мертвой точки  $K$ . Путь, пройденный ползуномъ  $D$ , будетъ очевидно

$$x = DE = R(1 - \cos \alpha) + L(1 - \cos \beta).$$

Изъ  $\triangle AOD$  имѣемъ:

$$\frac{R}{L} = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$$

слѣдовательно

$$x = R(1 - \cos \alpha) + L \left\{ 1 - \sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \alpha\right)^2} \right\}.$$

Почти во всѣхъ случаяхъ практики  $\frac{R}{L} < 1$ , а потому можно выраженіе

$$\sqrt{1 - \left(\frac{R}{L} \sin \alpha\right)^2} = \left[ 1 - \left(\frac{R}{L} \sin \alpha\right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

разложить рядъ по биному:

$$x = R(1 - \cos \alpha) + L \left\{ 1 - \left( 1 - \frac{R^2}{2L^2} \sin^2 \alpha - \frac{1}{8} \frac{R^4}{L^4} \sin^4 \alpha \dots \right) \right\}$$

или

$$x = R(1 - \cos \alpha) + \frac{R^2}{2L} \sin^2 \alpha + \frac{1}{8} \frac{R^4}{L^3} \sin^4 \alpha + \dots$$

Если принять  $L = \infty$ , то получается

$$x = R(1 - \cos \alpha),$$

\*) Для удобства назову ее, согласно съ Бриксомъ, *полусомъ*.

и построение подобнаго упрощеннаго выраженія для пути золотника вѣдетъ къ диаграммамъ Цейнера, Рело и др. Чтобы наглядно показать вліяніе конечной длины шатуна, возьмемъ примѣръ.

Пусть  $R=400$  мм.;  $L=2000$  мм.;  $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$ .

Вычленимъ члены ряда для  $\alpha=90^\circ$ , когда они имѣютъ наибольшую величину, ибо  $\sin \alpha = 1$ .

$$R(1 - \cos 90^\circ) = R = 400 \text{ мм.}$$

$$\frac{R^2}{2L} = \frac{R}{10} = 40 \text{ »}$$

$$\frac{R^4}{8L^3} = \frac{R}{1000} = 0,4 \text{ »}$$

. . . . .

При  $L = \infty$  получили бы, для  $\alpha = 90^\circ$ , величину  $x = 400$  мм.; истинная величина  $x = 440,4$  мм. (вліяніе четвертаго члена ряда совершенно ничтожно). Ошибка 40,4 мм. весьма замѣтна. При  $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$ , она будетъ еще больше.

Для золотника положимъ:

эксцентриситетъ  $r = 50$  мм.;

длина тяги  $l = 1000$  мм.;  $\frac{r}{l} = \frac{1}{20}$ .

При  $\alpha = 90^\circ$  находимъ:

$$r(1 - \cos \alpha) = r = 50 \text{ мм.}$$

$$\frac{r^2}{2l} = \frac{7}{40} = 1,25 \text{ »}$$

$$\frac{r^4}{8l^3} = \frac{7}{64000} = \frac{1}{1280} \text{ »}$$

. . . . .

Изъ этихъ примѣровъ видно, что вліяніе второго члена ряда довольно значительно, такъ что, пренебрегая имъ, мы при короткихъ тягахъ можемъ сдѣлать очень замѣтныя ошибки; вліяніе же третьяго и прочихъ членовъ уже почти незамѣтно и въ практикѣ не можетъ оказать вліянія на работу машины. Поэтому-то Бриксъ и стремился дать возможно точное построение величины

$$x_1 = R(1 - \cos \alpha) + \frac{R^2}{2L} \cdot \sin \alpha.$$

Опредѣлимъ теперь, чему равняется въ точности величина  $BK$  въ построении Брикса (черт. 28).

Для этого соединимъ  $O$  съ  $A$  (черт. 30), тогда очевидно, что

$$OK + OC - BK = CB = CA \times \cos \alpha$$

или

$$R + \frac{R^2}{2L} - BK = CA \times \cos \alpha.$$

Опустимъ изъ  $O$  перпендикуляръ  $OF$  на  $CA$ . Тогда

$$CA - CF = FA = \sqrt{OA^2 - OF^2}$$

или

$$CA - CO \times \cos \alpha = \sqrt{OA^2 - (CO \times \sin \alpha)^2};$$

отсюда

$$CA = \frac{R^2}{2L} \cos \alpha + \sqrt{R^2 - \left(\frac{R^2}{2L} \sin \alpha\right)^2}.$$

Вставляя эту величину  $CA$  въ выраженіе для  $R$ , находимъ изъ него

$$BK = R + \frac{R^2}{2L} - \cos \alpha \left\{ \frac{R^2}{2L} \cos \alpha + \sqrt{R^2 - \left(\frac{R^2}{2L} \sin \alpha\right)^2} \right\},$$

а развертывая корень въ рядъ и раскрывая скобки:

$$BK = R(1 - \cos \alpha) + \frac{R^2}{2L} \sin^2 \alpha + \frac{1}{8} \frac{R^3}{L^2} \cos \alpha \sin^2 \alpha + \dots$$

Наибольшая величина члена

$$\frac{1}{8} \frac{R^3}{L^2} \cos \alpha \sin^2 \alpha$$

будетъ, какъ легко видѣть

$$\text{при } \alpha = \arctg \sqrt{2},$$

$$\text{причемъ } \cos \alpha \sin^2 \alpha = \frac{2}{3\sqrt{3}}.$$

Если принять, какъ крайность,  $\frac{R}{L} = \frac{1}{3}$ , то и тогда величина третьяго члена будетъ лишь

$$\frac{R}{108\sqrt{3}}, \text{ или около } \frac{R}{186}.$$

Слѣдов., даже въ такомъ невыгодномъ случаѣ, какъ  $L = 3R$ , величина 3-го члена не превзойдетъ  $\frac{1}{300}$  хода поршня или золотника. Разность же между величиной  $RK$  и истинной величиной  $x$  будетъ еще меньше, ибо она равна разности двухъ рядовъ:

$$\Delta = \left(\frac{1}{8} \frac{R^4}{L^3} \sin^4 \alpha + \dots\right) - \left(\frac{1}{8} \frac{R^3}{L^2} \cos \alpha \sin^2 \alpha + \dots\right)$$

Отношеніе  $\frac{\Delta}{R}$  есть мѣра точности построения Брикса.

Мах.  $\Delta$  будетъ при  $\alpha = 90^\circ$  и тогда

$$\frac{\Delta}{R} = \frac{1}{8} \frac{R^3}{L^3} + \dots$$

При  $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$  найдемъ  $\frac{\Delta}{R} = \frac{1}{1000}$ ,

при  $\frac{R}{L} = \frac{1}{3}$  найдемъ  $\frac{\Delta}{R} = \frac{1}{216}$ .

Слѣдоват. въ крайнемъ даже елучаѣ наибольшая ошибка меньше  $\frac{1}{100}$  хода. Этого вполне достаточно для всѣхъ случаевъ практики.

Выяснивъ степень точности построения Брикса, перейдемъ къ применению его для изслѣдованія парораспределения круглымъ эксцентриккомъ.

Назовемъ чрезъ

$\xi_0$  — путь пройденный концомъ эксцентрикковой тяги (или золотникомъ) отъ крайняго положенія (наиболѣе удаленнаго отъ вала машины),

$r$  — эксцентриситетъ эксцентрика,  
 $\phi$  — уголъ, на который повернулся эксцентрикъ отъ своей мертвой тонки, ближайшей къ цилиндру,  
 $l$  — длину эксцентриковой тяги,  
 $\delta$  — уголъ предваренія эксцентрика.  
 Очевидно

$$\phi = 90 + \delta + \alpha$$

и иугъ, пройденный золотникомъ, выразится

$$\xi_0 = r(1 - \text{Cos}\phi) + \frac{r^2}{2l} \text{Sin}^2\phi$$

или

$$\xi_0 = r \left\{ 1 - \text{Cos}(90 + \delta + \alpha) \right\} + \frac{r^2}{2l} \cdot \text{Sin}^2(90 + \delta + \alpha).$$

При помощи построения Брикса можно построить эту величину  $\xi_0$ .

Чтобы не строить отдѣльно путь поршня и путь золотника и чтобы на *одномъ* чертежѣ наглядно видѣть вліяніе на фазисы парораспределения какъ уклоновъ шатуна, такъ и уклоновъ эксцентриковъ тяги, Бриксъ совмѣщаетъ оба построения такъ, что помощію *одного и того же* вектора получается и путь поршня и *соотвѣтствующій* ему путь золотника. Для этого надо поступить слѣд. образомъ (черт. 31):

Опишемъ въ произвольномъ масштабѣ кругъ съ центромъ въ точкѣ  $O$ , примемъ діаметръ  $KK_1$  за лінію мертвыхъ точекъ кривошипа, при чемъ  $K$  — внутренняя, а  $K_1$  — внѣшняя мертвая точка; отложивъ по діаметру  $KK_1$  отъ точки  $O$  влѣво длину  $OC = \frac{R^2}{2L}$ , получимъ полюсъ  $C$  для круга кривошипа. При точкѣ  $C$  отложимъ отъ лініи  $CK$  въ сторону обратную вращенію машины уголъ  $90 + \delta$  и примемъ его другую сторону  $CM$  за лінію мертвыхъ точекъ эксцентрика. При положеніи кривошипа  $CM$  золотникъ будетъ въ мертвой точкѣ наиболѣе удаленной отъ вала (ибо въ этотъ моментъ эксцентриситетъ будетъ направленъ къ шатуну). Если отъ точки  $C$  отложимъ на лівии  $CM$  длину  $ci = \frac{r^2}{2l}$  въ какомъ-нибудь масштабѣ  $i$ , принявъ  $i$  за центръ эксцентриковаго круга, опишемъ оный въ томъ же масштабѣ, такъ что  $Cd = Cd_1 = r$ , тогда точка  $C$  будетъ служить полюсомъ и для эксцентриковой или золотниковой діаграммы, при чемъ  $d$  будетъ соотвѣтствовать наибольшему удаленію золотника отъ вала машины. Когда кривошипъ повернется на уголъ  $\alpha$  отъ внутренней мертвой точки, то путь поршня найдемъ, проведя векторъ  $CA$  и опустивъ изъ  $A$  перпендикуляръ на  $K$ , путь поршня будетъ  $= KB$ ; соотвѣтствующій путь золотника, считаемый отъ его наибольшаго удаленія отъ вала, найдемъ, опустивъ изъ  $a$ , точки пересѣченія того же вектора  $CA$  съ золотниковымъ крутомъ, перпендикуляръ на  $dd_1$ ; путь золотника будетъ  $= db$ . Слѣдов. если совмѣстить 2 построения Брикса, сдѣланные для поршня и золотника въ произвольныхъ масштабахъ, такъ, чтобы полюсы совпали, а лініи мертвыхъ точекъ составили такой же уголъ, какъ дѣйствительные кривошипъ и эксцентриситетъ, но лишь съ тѣмъ, что діаг-

рамный эксцентриситетъ идетъ позади кривошипа, то съ помощію одного радіуса вектора получается и *путь поршня* и *соотвѣтствующій ему путь золотника*.

Обыкновенно путь золотника считаютъ не отъ крайняго его положенія, а отъ средняго; путь  $\xi$ , пройденный отъ средняго положенія, очевидно будетъ

$$\xi = \xi_0 - r.$$

На діаграммѣ вычестъ  $r$  изъ  $\xi_0$  значить считать путь золотника отъ точки  $i$ , такъ что

$$\xi = ib = -r \cos(90 + \delta + \alpha) + \frac{r^2}{2l} \cdot \sin(90 + \delta + \alpha).$$

Проведя чрезъ  $i$  діаметръ  $ZZ_1 \perp dd_1$  и опустивъ на него изъ  $a$  перпендикуляръ, видимъ, что

$$\xi = ib = am$$

Слѣдов., окончателно — *путь золотника отъ средняго положенія выражается длиной перпендикуляра изъ конца радіуса вектора, представляющаго направленіе кривошипа, на діаметръ  $ZZ_1$ , перпендикулярный къ діаметральной линіи мертвыхъ точекъ золотника.*

Съ помощію этого «правила» легко «читать» діаграмму. Проведя по обѣ стороны діаметра  $ZZ_1$  параллельныя ему прямыя на разстояніяхъ отъ  $ZZ_1$  равныхъ  $e$  и  $i$  — наружному и внутреннему прекрытіямъ, мы получимъ для золотниковаго круга какъ бы прежнюю діаграмму Рело, но съ той разницей, что центръ ея  $i$  не совпадаетъ, какъ тамъ, съ центромъ круга кривошипа, а сдвинутъ отъ него на величину  $Oi$ ; этимъ и принимается въ расчетъ вліяніе конечной длины тягъ.

Для ясности возьмемъ примѣръ:

Примемъ  $R = 300$  мм.;  $L = 1200$  мм.;  $r = 60$  мм.;  $l = 600$  мм.;  
 $e = 30$  мм.;  $i = 10$  мм.;  $\delta = 40^\circ$ .

Находимъ

$$\frac{R^2}{2L} = 37,5 \text{ мм.}; \quad \frac{r^2}{2l} = 3 \text{ мм.}$$

Изъ центра  $O$  (черт. 32) радіусомъ  $= 300$  мм. (масштабъ принять здѣсь  $1/1$ ) описываемъ кругъ кривошипа и принимаемъ діаметръ  $KK_1$  за линію мертвыхъ точекъ, причемъ  $K$  — внутренняя,  $K_1$  — внѣшняя м. т. Откладываемъ отъ  $O$  въ сторону  $K_1$  длину  $CO = \frac{R^2}{2L} = 37,5$  мм. и проводимъ черезъ  $C$  прямую  $EE_1$  подъ угломъ  $\beta = 90 + \delta = 130^\circ$  къ линіи  $KK_1$ . Отъ  $C$  откладываемъ внизъ  $CI = \frac{r^2}{2l} = 3$  мм. (масштабъ  $1/1$ ); изъ точки  $I$  радіусомъ  $= 60$  мм. описываемъ золотниковый кругъ и проводимъ черезъ  $I$  діаметръ  $ZZ_1 \perp EE_1$ . Проводимъ по обѣ стороны  $ZZ_1$  на разстояніяхъ  $e = 30$  и  $i = 10$  прямыя 12, 56 и 38, 47. Прослѣдимъ теперь ходъ парораспределенія (вращеніе по стрѣлкѣ).

Впускъ пара въ правую часть цилиндра начнется при положеніи кривошипа  $CI$ , когда золотникъ пронелъ путь равный  $e = 30$  мм. Прослѣдимъ теперь ходъ парораспределенія (вращеніе по стрѣлкѣ).

Впускъ пара въ правую часть цилиндра начнется при положеніи кривошипа *CI*, когда золотникъ прошелъ путь равный  $e = 30$  мм. Произойдетъ это на части хода поршня  $K_1(1) = 0,985$ .

При внутренней мертвой точкѣ окно открыто на величину

$$v = ab - 30 \text{ мм.} = 10 \text{ мм.}$$

Отсѣчка справа произойдетъ при положеніи *CII*, на части хода  $K(2) = 0,75$ .

При положеніи кривошипа *CIII* начнется сжатіе пара въ лѣвой части цилиндра на части хода  $K(3) = 0,875$ .

При положеніи *CIV* начнется выходъ пара изъ правой части цилиндра на части хода  $K(4) = 0,955$ .

При положеніи *CV* начнется впускъ пара въ лѣвую часть цилиндра на части хода  $K(5) = 0,997$ . Линейное предвареніе впуска будетъ для лѣвой части  $v_1 = 7$  мм., а линейное предвареніе выпуска для правой части  $w = 27$  мм.

При положеніи кривошипа *CVI* произойдетъ отсѣчка слѣва на части хода  $K_1(6) = 0,592$ .

При положеніи *CVII* начнется сжатіе пара въ правой части цилиндра на части хода  $K_1(7) = 0,766$ .

При положеніи *CVIII* начнется выходъ пара изъ лѣвой части цилиндра на части хода  $K_1(8) = 0,9$ ; линейное предвареніе выпуска для лѣвой части  $= ab - i = 30$  мм.

Для наглядности сравнимъ распределеніе справа и слѣва:

	На части хода	
	Справа	Слѣва
Начало впуска . . . . .	0,985	0,997
Отсѣчка . . . . .	0,750	0,592
Начало сжатія . . . . .	0,766	0,875
Начало выпуска . . . . .	0,955	0,900
Линейн. предвар. впуска	10 мм.	7 мм.
„ „ выпуска	27 „	30 „

Какъ видимъ, разница получается весьма значительная, хотя взятыя нами отношенія  $\frac{R}{L} = \frac{1}{4}$  и  $\frac{r}{l} = \frac{1}{10}$  вовсе еще не крайность. Пренебрегать такой разницей никакъ нельзя и разницу отсѣчекъ и сжатій слѣдовало бы принимать въ разчетъ при графическомъ опредѣленіи вѣса маховика, ибо такая разница какъ 0,75 и 0,59 не можетъ не оказать замѣтнаго вліянія на равномерность хода машины, особенно быстройходной, гдѣ какъ разъ и встрѣчаются короткіе патуны и тяги.

Мы изложили построеніе диаграммы для обычнаго установка экс-

центрика съ опережешемъ, идущаго *впереди* кривошипа на уголь  $90 + \delta$ , при чемъ золотниковая тяга соединяется съ эксцентриковой непосредственно. Не трудно, однако, сообразить, какъ построить діаграмму и въ томъ случаѣ, когда эксцентрикъ идетъ *позади* кривошипа. Такой установъ встрѣтится, если движеніе отъ эксцентриковой тяги передается золотниковой при посредствѣ рычага перваго рода по схемѣ, изображенной на черт.

Такая передача встрѣчается, напр., у большинства американскихъ паровозовъ, гдѣ она позволяетъ помѣстить золотникъ не сбоку цилиндра, а надъ нимъ, что весьма облегчаетъ осмотръ и установку.

При такой передачѣ эксцентрикъ, очевидно, долженъ стоять прямо противоположно съ обычнымъ установомъ, т.е. идти *позади* кривошипа на уголь  $90 - \delta$ . Въ этомъ случаѣ уголь поворота эксцентрика  $\psi$  будетъ:

$$\psi = \alpha - (90 - \delta)$$

и величину  $\frac{r^2}{2l}$  придется отложить въ сторону обратную той, куда откладывали раньше, ибо наиболѣе удаленной отъ вала мертвой точкѣ золотника теперь соотвѣтствуетъ ближайшая мертвая точка конца эксцентриковой тяги.

При разсмотрѣніи діаграммы оказывается, что, при прочихъ равныхъ условіяхъ, разница между распредѣленіемъ справа и слѣва здѣсь меньше и, слѣдов., такой установъ выгоденъ. Онъ встрѣчается еще при впускѣ пара изъ ередины золотника, напр., при цилиндрическихъ золотникахъ. Подробности для этого случая см. у Брикса, Морской Сборникъ, 1893 года \*).

Мы разобрали въ видѣ примѣра діаграмму для золотника, у котораго соотвѣтствующія перекрытія справа и слѣва одинаковы—и всѣ фазы парораспредѣленія получились разные для правой и лѣвой стороны. Это зависитъ отъ того, что при проектированіи такого золотника мы имѣемъ двѣ произвольныхъ величины— $e$  и  $i$ , наружное и внутреннее перекрытіе, слѣдов., можемъ установить по желанію изъ 8 моментовъ парораспредѣленія лишь только два—обыкновенно: отсѣчку и сжатіе, положимъ, справа.

Этимъ опредѣляются величины  $e$  и  $i$  для правой стороны, а также и предваренія входа и выхода; а такъ какъ слѣва дѣлаются тѣ же перекрытія, то уже вполне опредѣлены и всѣ 4 момента для лѣвой стороны, которые и получаются не одинаковыми съ правыми.

Чтобы, по возможности, достигнуть одинаковаго парораспредѣленія по обѣ стороны, въ практикѣ часто дѣлаютъ разные перекрытія у лѣвой и правой половины золотника. Въ виду отсутствія діаграммъ для точнаго представленія пути золотника (или лучше сказать малой извѣ-

\* Замѣтимъ лишь, что такъ какъ точка  $Z$ , на черт. 33, описываетъ дугу круга, а золотникъ движется по прямой, то въ золотниковой тягѣ между точкой  $Z$  и сальникомъ долженъ быть шарниръ, такъ что и золотниковая тяга будетъ имѣть уклоны, но они будутъ такъ малы (стрѣлка пути точки  $Z$ ), что ихъ, дѣйствительно, можно не принимать въ расчетъ.

стности таковыхъ, напр., діаграмма Шорха) или сложности ихъ построения, не рѣдко даже техники, знакомые съ діаграммой Цейнера, не вполне ясно представляютъ, что *можно* и чего *нельзя* получить устройствомъ неравныхъ перекрытій. Съ помощью діаграммы Брикса это видно вполне наглядно и потому считаю не бесполезнымъ остановится немного на этомъ важномъ вопросѣ, аналитическое разъясненіе котораго было бы весьма скучно, если бы не было діаграммы Брикса.

Въ самомъ общемъ случаѣ, у золотника съ неравными наружными и неравными внутренними перекрытіями, мы можемъ выбрать произвольно *четыре* элемента, именно:

- 1) внѣшнее перекрытіе справа  $e_p$
- 2) » » слѣва  $e_\lambda$
- 3) внутреннее » справа  $i_p$
- 4) » » слѣва  $i_\lambda$ ;

а, слѣдов., можемъ на діаграммѣ (черт. 32) провести *четыре* прямыя || диаметру  $ZZ_1$ , на разстояніяхъ  $e_p, i_p, -e_\lambda, -i_\lambda$ ; каждая прямая можетъ быть проведена черезъ одну произвольно выбранную точку круга, выбирая надлежащимъ образомъ перекрытіе. Иначе говоря, мы можемъ задаться произвольно *четырьмя* моментами парораспределенія и при томъ *лишь такими*, чтобы въ каждой изъ упомянутыхъ прямыхъ была выбрана лишь одинъ моментъ, такъ чтобы никакія 2 изъ 4-хъ выбранныхъ точекъ на окружности кривошипа не лежали, будучи перенесены векторами на окружность золотниковаго круга, на одной изъ упомянутыхъ прямыхъ. Выбравъ 4 момента парораспределенія и проведя прямыя перекрытій, мы уже *найдемъ* изъ діаграммы остальные 4 момента.

Не трудно, при помощи теоріи соединеній, или непосредственно, убѣдиться, что изъ восьми элементовъ — моментовъ парораспределенія, которые для краткости означимъ, сообразно діагр. на черт. 32 черезъ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, можно при сказанномъ ограниченіи составить 16 группъ; условіе состоитъ въ томъ, чтобы въ группѣ не встрѣчались элементы: съ 1 съ 2, 3 съ 8, 4 съ 7 и 5 съ 6.

Вотъ эти группы:

1-я . . . . .	1345	9-я . . . . .	2345
2-я . . . . .	1346	10-я . . . . .	2346
3-я . . . . .	1357	11-я . . . . .	2337
4-я . . . . .	1367	12-я . . . . .	2367
5-я . . . . .	1458	13-я . . . . .	2458
6-я . . . . .	1468	14-я . . . . .	2468
7-я . . . . .	1578	15-я . . . . .	2578
8-я . . . . .	1678	16-я . . . . .	2678

Въ практикѣ обыкновенно наиболѣе часто выбираются слѣдующія три группы:

А) Группа 12-я—2367. Это значитъ, что мы задаемся отсѣчками и сжатіями по обѣ стороны поршня. Сжатія дѣлаются обыкновенно равными, отсѣчки же дѣлаются или равными, или неравными; послѣднее имѣетъ цѣлью уменьшить вліяніе вѣса поршня и пр., качающихся взадъ



и впередъ, частей на равномерность хода при вертикальныхъ манинахъ, или уравновѣситъ разницу въ площадяхъ поршня справа и слѣва, если нѣтъ не проходить сквозь обѣ крышки (при вертикальныхъ и при горизонтальныхъ манинахъ); при этомъ получатся неравными линейныя предваренія входа и выхода по обѣ стороны, такъ какъ моменты начала впуска и выпуска пара будутъ не одинаковы по обѣ стороны.

В) Группа 5-я—1458. Это значитъ, что мы задаемся линейными предвареніями впуска и выпуска, дѣлая соответствующія предваренія по обѣ стороны равными. Получатся неодинаковыя сжатія и отсѣчки.

С) Группа 14-я—2468. Выбираются отсѣчки и предваренія выпуска. Получаются изъ діаграммы сжатія и предваренія впуска.

Нельзя же, напр., пробовать устроить золотникъ такъ, чтобы отсѣчки и предваренія впуска были равны по обѣ стороны поршня.

Для поясненія сказаннаго найдемъ для золотника, діаграмма коего построена на черт. 32 величины  $e_\lambda$  и  $i_\lambda$ , если желаемъ, удержавъ справа отсѣчку 0,75 и сжатіе 0,766, получить тѣ же величины и слѣва. Произведемъ построеніе находимъ

$$e_\lambda = 12,5 \text{ мм.}; i_\lambda = 27 \text{ мм.}$$

Всего изложеннаго достаточно, чтобы показать простоту и точность діаграммы Брикса и ея важность для изслѣдованія парораепредѣленія, получающаго движенія отъ эксцентрика. Появленіе діаграммы Брикса весьма своевременно въ виду громаднаго развитія быстроходныхъ машинъ для вращенія динамо-манинъ; золотники этихъ машинъ въ большинствѣ системъ приводятся въ движеніе простымъ круглымъ эксцентрикомъ, имѣющимъ переменный эксцентриситетъ и уголъ предваренія, при чемъ переменна ихъ производится плоскимъ пружиннымъ регуляторомъ, сидящимъ на главномъ валу манины (Axep-Regulator, Flach-Regulator). Въ этихъ машинахъ часто встрѣчаются короткіе шатуны и тяги и діаграмма Брикса можетъ быть здѣсь весьма полезна.

Въ заключеніе замѣтимъ, что въ практикѣ вообще сильно укоренилось ложное понятіе, что длиною шатуна и тягъ можно пренебрегать, чему способствуютъ отчасти нѣкоторыя руководства, гдѣ до сихъ поръ повторяютъ безъ оговорокъ, что шатуны и тяги можно считать безконечно длинными. Къ весьма печальнымъ результатамъ подобное мнѣніе можетъ привести въ особенности при изслѣдованіи механизмовъ, сообщающихъ движеніе внутреннему парораспределительному органу не отъ эксцентрика, а отъ шатуна (системы Броуна, Джоя, Саксенберга и др.), гдѣ весь механизмъ состоитъ изъ однихъ тягъ или рычаговъ. Поэтому, при конструированіи незнакомаго парораепредѣленія, если не удалось примѣнить къ нему діаграмму Брикса, слѣдуетъ или вычерчивать его въ натуру и строить различныя положенія его, или сдѣлать модель.

До сихъ поръ мы предполагали, что средняя линія движенія золотника лежитъ въ плоскости, проходящей чрезъ ось цилиндра и ось коренного вала, но въ практикѣ часто бываетъ, что линія движенія золотника или параллельна линіи движенія ползуна или наклонена къ ней подъ нѣкоторымъ угломъ.

Въ Америкѣ кромѣ того часто золотникъ не еоединяютъ непосредственно съ эксцентриковой тягой, а между тягой и направляющей золотника (скалкой) вводятъ промежуточный рычагъ (rocker).

Обыкновенно золотникъ устанавливается на одинаковыя предваренія впуска, но, благодаря несимметричному движенію золотника (длины тягъ не равны безконечности) относительно середины, будетъ получаться различная степень наполненія въ обѣихъ сторонахъ цилиндра; вводя же промежуточный рычагъ мы можемъ достигъ одинаковой отсѣчки при одномъ и томъ же предвареніи. Схемы такого устройства видны на черт. 34, подъ № 1, 2, 3.

При всѣхъ такихъ отступленіяхъ измѣняется нѣсколько установка эксцентрика.

Разсмотримъ здѣсь лишь одинъ частный случай, когда линія движенія золотника наклонена къ линіи движенія ползуна подъ угломъ  $\beta$  (черт. 35).

Изъ треугольниковъ  $abc$  и  $abd$  видимъ, что путь золотника

$$\dot{s} = r \sin(\alpha + \beta + \delta') = r \sin[\alpha + (\beta + \delta')].$$

Сравнивъ его съ уравненіемъ:

$$\dot{s} = r \sin(\alpha + \delta)$$

видимъ, что

$$\delta = \beta + \delta'$$

или

$$\delta' = \delta - \beta,$$

т.-е. уголъ заклиненія эксцентрика надо уменьшить противъ обычнаго на уголъ  $\beta$ .

Кромѣ того, золотникъ иногда получаетъ движеніе отъ кулисъ, которыя служатъ для измѣненія отсѣчки (измѣняютъ величину хода золотника), а главнымъ образомъ для перемѣны хода машины. Законъ движенія золотника при этихъ условіяхъ мы увидимъ въ послѣдствіи, а теперь перейдемъ къ измѣненнымъ конструкціямъ золотника.

Обыкновенный плоскій золотникъ прижимается къ зеркалу силой  $Q = p \times F$ , гдѣ  $p$ —давленіе пара, а  $F$ —площадь золотника, подверженная давленію (черт. 36). Хотя эта сила и встрѣчаетъ нѣкоторое противодѣйствіе со стороны пара, заключеннаго въ цилиндръ и холодильникъ, но такъ какъ сами давленія и площади, подверженныя этимъ давленіямъ, здѣсь не велики, то мы пренебрегаемъ этимъ противодѣйствіемъ.

Напряженіе изнаиванія золотника будетъ  $k = \frac{F \times p}{f}$ , гдѣ  $f$ —опорная площадь золотника, всегда  $< F$ .

Если давленіе пара около 2—3 атмосферъ, то  $k$  бываетъ около 0,04 kg/qmm. При большихъ давленіяхъ (8 атм.) величина  $k$  достигаетъ 0,1—0,12, а иногда и больше.

При такихъ напряженіяхъ, какъ 0,1 kg/qmm, выдавливается отчасти смазка, а потому увеличивается сильно коэффициентъ тренія, такъ

что требуется большая сила для движенья золотника и происходить сильное изнашивание золотника.

Поэтому въ большихъ машинахъ простого расширенія распределеіе плоскимъ золотникомъ не употребляется, а замѣняется клапанами и кранами; что же касается машинъ многократнаго расширенія, то здѣсь простые золотники (плоскіе) употребляются только въ послѣдующихъ цилиндрахъ; въ первомъ же (высокаго давленія) обыкновенно устраивается какое нибудь другое парораспределеіе, но только не простымъ плоскимъ золотникомъ, а *цилиндрическимъ* золотникомъ или кранами или клапанами.

Можно сказать, что въ обыкновенныхъ условіяхъ золотникъ употребляется, если діаметръ цилиндра не больше 600 мм.; при большемъ же діаметрѣ лучше устраивать распределеіе кранами или клапанами.

Какъ видно изъ уравненія, напряженіе  $k$  можно уменьшить, уменьшая площадь  $F$ , подвергающуюся давленію пара. Стремленіе уменьшить эту площадь создало такъ называемые *уравновѣшенные* золотники.

Идея устройства уравновѣшиванія понятна изъ черт. 37. Здѣсь  $A$ —крышка золотниковой коробки;  $B$ —золотникъ. Между крышкой и золотникомъ введены особыя прокладки (кольца), прижимаемыя къ крышкѣ пружинами. Пространство между кольцами соединено съ атмосферой или, что еще лучше, съ холодильникомъ, чтобы въ случаѣ прохода пара чрезъ прокладки онъ тотчасъ же конденсировался бы въ холодильникъ. Благодаря такому устройству, площадь, подвергающаяся давленію пара, уменьшается.

Хотя имѣется масса конструкцій подобныхъ золотниковъ, однако всѣ онѣ болѣе или менѣе неудовлетворительны, такъ какъ ни одна изъ нихъ не обезпечиваетъ отъ пропуска пара, а при неисполненіи этого условія теряется и самый смыслъ устройства.

Второй способъ избѣгать сальнаго нажатія золотника—это измѣненіе его формы. Самой удобной формой для такого золотника является цилиндръ. Золотникъ и зеркало получаютъ слѣдующее (черт. 38) устройство:  $a$ ,  $a$ —рядъ отверстій, ведущихъ въ общіе паропроводы (окна); отверстія эти служатъ для впуска и выпуска пара въ зависимости отъ того, проводится ли паръ изнутри или снаружи золотника, такъ какъ здѣсь можно пускать паръ и изнутри, для чего надо только переклинить эксцентрикъ на  $180^\circ$ .

При этомъ надо замѣтить, что подобная конструкція требуетъ болѣе тщательной пригонки золотника къ зеркалу, чѣмъ въ плоскомъ золотникѣ, такъ какъ тамъ герметичность достигается нажатіемъ отъ давленія пара; здѣсь же все основано на плотной пригонкѣ.

Кромѣ того надо, чтобы коэффициентъ расширенія отъ теплоты былъ одинъ и тотъ же для обоихъ тѣлъ, золотника и оболочки, такъ какъ пригонка ихъ производится при низкой комнатной температурѣ, а потому при работѣ такого золотника можетъ быть вызвано чрезмѣрное нажатіе, если коэффициентъ расширенія золотника больше коэффициента расширенія зеркала; или наоборотъ, соединеніе будетъ сильно

пропускать парь, если коэффициентъ расширения зеркала больше коэффициента расширения золотника. Поэтому, какъ золотникъ, такъ и зеркало дѣлають изъ одного и того же матеріала и отливають изъ одного ковша.

Подобная конструкція золотника употребляется только въ томъ случаѣ, когда диаметръ золотника не больше 150 мм. Если же диаметръ больше 150 мм., то тогда герметичность достигается набивочными кольцами, на подобіе поршневыхъ. Кольцо можетъ быть—или по одному широкому кольцу (черт. 39) съ каждой стороны, или по нѣсколько узкихъ (черт. 40). При употребленіи кольца надо обращать вниманіе на то, чтобы выпускныя отверстія не были елишкомъ широки, такъ какъ въ противномъ случаѣ туда могутъ заскакивать кольца, что поведетъ къ ихъ поломкѣ.

Обыкновенно является неудобнымъ дѣлать такія широкія кольца, а вмѣстѣ съ тѣмъ трудно устроить и кольцевой каналъ безъ простѣнковъ, ибо тогда зеркала придется составлять изъ отдѣльныхъ цилиндровъ. Поэтому обыкновенно дѣлають каналъ не сплошь вокругъ всего золотника, а оставляють *простѣнки*. Въ развернутомъ видѣ такой каналъ изображенъ на черт. 40bis; отношеніе ширины простѣнка  $t$  къ длинѣ каждаго окна  $\lambda$  берутъ обыкновенно отъ 0,5 до 0,4, вообще

$$t = \beta \lambda$$

и тогда, если диаметръ золотника  $= \Delta$ , а ширина окна  $= a$ , будутъ имѣть мѣсто уравненія:

$$\pi \Delta = i(t + \lambda) \quad ; \quad i a = f,$$

гдѣ  $i$  — число простѣнковъ, а  $f$  — потребная площадь окна.

Изъ этихъ ур., замѣняя  $t$  черезъ  $\beta \lambda$ , находимъ

$$\Delta = \frac{f}{a} (1 + \beta),$$

такъ что, выбравъ  $a$ , можемъ вычислить  $\Delta$  и наоборотъ.

Вредное пространство въ такихъ золотникахъ больше, чѣмъ въ плоскихъ, примѣрно вдвое и бываютъ въ ереднемъ около 12—50%.

### Парораспределенія Гонзенбаха и Мейера.

При золотникѣ обыкновенной конструкціи отсѣчка получается елишкомъ поздно, на 0,7—0,8 хода поршня. Уменьшить отсѣчку можно, какъ мы видѣли, увеличивая уголъ  $\delta$  или наружное перекрытіе  $e$ ; но это ведетъ за собой другое неудобство—съ уменьшеніемъ отсѣчки увеличивается ежатіе пара, а потому такое раепредѣленіе встрѣчается только въ быстроходныхъ машинахъ, въ обыкновенныхъ же оно неудобно.

Ввиду этого уже съ давнихъ поръ стремились къ тому, чтобы приспособить золотникъ къ малой отсѣчкѣ, не измѣняя другихъ моментовъ парораспределенія.

Первой удачной попыткой въ этомъ направленіи была конструкція Гонзенбаха. Онъ раздѣлилъ золотниковую коробку на двѣ части,

изъ которыхъ верхняя сообщалась съ котломъ (черт. 41). Такимъ образомъ онъ получилъ два зеркала; по нижнему ходитъ простой золотникъ, а по верхнему, имѣющему одно отверстіе, движутся двѣ пластинки, которыя и производятъ отсѣчку.

Дѣло происходитъ такимъ образомъ: въ то время, какъ коренной золотникъ еще не закрылъ своего окна, лѣвая изъ верхнихъ пластинокъ разобщаетъ нижнюю коробку отъ верхней, т.-е. прекращаетъ доступъ свѣжему пару. Паръ, заключенный въ нижней части коробки и въ лѣвой части цилиндра, расширяется до тѣхъ поръ, пока коренной золотникъ не закроетъ окна, послѣ чего расширение продолжается только въ цилиндрѣ. Ко времени открытія праваго окна, отсѣчная пластинка откроетъ верхнее отверстіе и впуститъ паръ въ нижнюю коробку и въ правую часть цилиндра.

Когда же коренной золотникъ только что начинаетъ закрывать правое окно, правая пластинка уже отсѣчетъ паръ и въ нижней коробкѣ, какъ и въ правой части цилиндра, паръ будетъ расширяться; это будетъ продолжаться опять таки до тѣхъ поръ, пока коренной золотникъ не закроетъ праваго окна, послѣ чего расширение будетъ происходить только въ цилиндрѣ и т. д.

Неудобство этой системы заключается въ томъ, что свѣжій паръ встрѣчаетъ въ нижней коробкѣ паръ болѣе низкаго давленія (принимавшій уже участіе въ расширеніи), отчего происходитъ ударъ и потеря давленія и работы.

Другое устройство было предложено Мейеромъ и получило большое распространеніе. Здѣсь отсѣчная пластинка движется по коренному золотнику, который служитъ ей зеркаломъ и съ этою цѣлью нѣсколько удлиненъ и снабженъ каналами *c* и *c'* (черт. 42). Золотникъ и отсѣчная пластинка получаютъ движеніе отъ эксцентрикковъ, посаженныхъ на главномъ валу, причемъ уголъ заклиниванія эксцентрика отсѣчного золотника всегда больше угла заклиниванія эксцентрика коренного золотника:

$$\delta' > \delta . . . . . \text{(черт. 43).}$$

Обыкновенно  $\delta = 20^\circ - 30^\circ$ ;  $\delta' = 70^\circ - 90^\circ$ .

Найдемъ перемѣщеніе отсѣчного золотника относительно коренного.

Когда кривошипъ *R* повернется на уголъ  $\alpha$  отъ мертваго положенія, то перемѣщеніе коренного золотника отъ середины равно:

$$\xi = r \sin(\alpha + \delta),$$

а перемѣщеніе отсѣчного

$$\xi' = r_1 \sin(\alpha + \delta');$$

условимся считать перемѣщенія отсѣчного золотника *вправо* относительно коренного (черт. 42) положительными, а перемѣщенія *влѣво* — отрицательными. Въ нашемъ случаѣ (черт. 42) относительное перемѣщеніе, которое обозначимъ чрезъ  $\xi_0$ , положительно:

$$\begin{aligned} \xi_0 &= \xi' - \xi = r_1 \sin(\alpha + \delta') - r \sin(\alpha + \delta) \\ \xi_0 &= r_1 \sin \delta' \cos \alpha - r_1 \sin \alpha \cos \delta' - r \sin \delta \cos \alpha + r \sin \alpha \cos \delta \end{aligned}$$

$$\text{или} \quad \xi_0 = (r_1 \sin \delta' - r \sin \delta) \cos \alpha + (r_1 \cos \delta' - r \cos \delta) \sin \alpha,$$

$$\text{вообще} \quad \xi_0 = A \sin \alpha + B \cos \alpha.$$

Дальше эту формулу изслѣдовать не будемъ, изслѣдованіе довольно сложно и имѣется во всѣхъ руководствахъ. Оно приводитъ къ діаграммѣ Цейнера. Мы же докажемъ это очень просто *графически* при помощи діаграммъ Цейнера.

Строимъ по общему правилу золотниковыя окружности для обоихъ золотниковъ (черт. 44). Эксцентриситетъ  $r_1$  взять на чертежѣ нѣсколько больше  $r$ , хотя они часто бываютъ и равны. Проведемъ радиусъ  $OC$  подъ угломъ поворота кривошипа  $\alpha$  къ линіи мертвыхъ точекъ, отмѣтимъ точки ( $a$  и  $b$ ) пересѣченія его съ золотниковыми окружностями; разстояніе  $ab$  и есть относительное перемѣщеніе золотниковъ  $\xi_0$ . Такимъ образомъ мы для каждаго положенія кривошипа могли бы построить и измѣрить соотвѣтствующее  $\xi_0$ ; но для удобства изслѣдованія построимъ для  $\xi_0$  особую діаграмму. Для этого соединяемъ  $A$  съ  $B$  и изъ точки  $O$  проводимъ линію параллельную  $AB$  и на ней откладываемъ длину  $AB$ , такъ что  $OM \parallel AB$ ; на  $OM$ , какъ на діаметрѣ, строимъ окружность, которая и будетъ діаграммой Цейнера для относительныхъ перемѣщеній  $\xi_0$  (относительный кругъ), такъ какъ отрѣзокъ  $Om$  радиуса  $OC$  въ этой окружности равенъ отрѣзку  $ab = \xi_0$ . Чтобы доказать это, соединяемъ точку  $M$  съ  $m$ ,  $A$  съ  $a$  и  $B$  съ  $b$ ; проводимъ изъ  $B$  линію  $BD$  параллельно  $OC$  и продолжаемъ  $Aa$  до пересѣченія съ  $BD$  въ точкѣ  $D$ ; такимъ образомъ получаемъ два прямоугольныхъ треугольника  $OMm$  и  $ABD$ , которые равны, такъ какъ  $AB = OM$  и  $\angle ABD = \angle OMm$ ; отсюда

$$Om = BD$$

но

$$BD = ab$$

слѣдовательно

$$Om = ab = \xi_0.$$

Чтобы получить на діаграммѣ все моменты парораспределенія, проводимъ окружности перекрытій радиусами  $e$  и  $i$  и окружность радиусомъ  $s$  [черт. 45] (отрицательное перекрытіе отсѣчного золотника). Первые двѣ окружности (черт. 46) укажутъ намъ на кругъ коренного золотника моменты начала впуска, сжатія и начала выпуска, какъ на простой діаграммѣ Цейнера; окружность же  $s$  покажетъ на относительномъ кругѣ моментъ отсѣчки пара верхнимъ золотникомъ.

Такъ, на черт. 46, при положеніи кривошипа  $OA_0$  получимъ начало впуска, при положеніи  $OA_1$  [мертвое положеніе] окно открыто на величину предваренія впуска коренного золотника  $v$ .

Когда кривошипъ приметъ положеніе  $OA_2$ , верхній золотникъ отсѣчетъ паръ. При положеніи  $OA_3$  нижній золотникъ закроетъ окно, а при положеніи  $OA_4$  верхній снова откроетъ каналъ  $e$ . Элементы золотниковъ слѣдуетъ всегда выбирать такимъ образомъ, чтобы верхній золотникъ не открывалъ канала раньше, чѣмъ нижній закроетъ окно (черт. 47), т.-е., чтобы положеніе  $OA_4$  не приходилось раньше положенія  $OA_3$  (черт. 48), ибо въ такомъ случаѣ паръ вторично ворвется въ

цилиндръ в индикаторная діаграмма получится въ томъ видѣ, какъ представлено на черт. 49.

Главная цѣль устройства второго, отсѣчного, золотника — получить болѣе раннюю отсѣчку, но въ то же время онъ служить и для того, чтобъ *измѣнять* отсѣчку; для этого, какъ видно изъ черт. 44, можно измѣнять  $s$ , приче́мъ, уменьшая  $s$ , получаемъ болѣе раннюю отсѣчку. Чтобы можно было измѣнять величину  $s$ , въ Мейеровскомъ парораспределе́ннн отсѣчной золотникъ состоитъ изъ двухъ пластинъ (черт. 50), снабженныхъ гайками, изъ которыхъ одна имѣетъ правую, а другая лѣвую наръзку; сквозь нихъ проходитъ стержень съ соответственными наръзками, съ которыми, при помощи пары враще́ннн, соединяется эксцентриковая тяга; на другомъ концѣ стержня имѣется маховичекъ, поворачивая который можно сближать и удалять другъ отъ друга отсѣчныя пластинки.

Другая конструкция золотника Мейера представлена въ Атласѣ деталей машинъ, изд. III, тб. 19, ф. 9 — 12.

Вмѣсто измѣне́нн  $s$  можно дѣлать обѣ пластинки въ видѣ одной цѣльной пластинки и измѣнять  $\delta_1$ , уголъ заклине́нн отсѣчного золотника, или же и  $\delta_1$  и  $r_1$ . Это распределе́нн *Полонсо*.

Эта конструкция долгое время не примѣнялась, такъ какъ примѣне́нн ея въ обыкновенныхъ машинахъ крайне неудобно; лишь въ послѣднее время, когда въ быстроходныхъ машинахъ стали употреблять плоскіе регуляторы, основанные также на измѣне́нн эксцентриситета, конструкция Полонсо нашла себѣ обширное примѣне́нн.

Такъ какъ цилиндрической золотникъ есть простое видоизмѣне́нн плоскаго золотника и въ работѣ ничѣмъ отъ него не отличается, то понятно, что система отсѣчныхъ пластинъ вполне примѣнима и къ цилиндрическому золотнику, приче́мъ и пластины принимаютъ цилиндрическую форму. И здѣсь опять можно примѣнить или принципъ Мейера, или принципъ Полонсо.

На черт. 50а представленъ *раздвоенный* двойной золотникъ Полонсо. Здѣсь каналы нижняго, коренного золотника сдѣланы въ нижней части его одиночными, въ верхней же части его они раздвоены на два, каждый съ половинной шириной. Въ верхней, отсѣчной пластинкѣ, симметрично относительно середины ея, продѣланы каналы, такъ что пластинка пускаетъ паръ и своими внѣшними краями, и сквозь каналы, и одновременно отсѣкаетъ паръ на обоихъ каналахъ нижняго золотника. Благодаря такому устройству, является возможность уменьшить относительный путь одного золотника по другому. Иногда каналъ *растраиваютъ*, дѣлая три щели и даже иногда болѣе (рѣшетчатые золотники).

Если пластинку Полонсо съ нѣсколькими щелями разрѣзать по срединѣ, то можно получить раздвоенный или растроенный золотникъ Мейера. Такіе золотники употребляются при цилиндрахъ большаго діаметра.

На черт. 50b представленъ золотникъ *Гурауэра* (Guhrauer). Это также видоизмѣне́нн золотника Мейера. Оно отличается отъ обычнаго

Мейеровекаго тѣмъ, что здѣсь винтъ сдѣланъ весьма большого діаметра, а отъ гайки удержана лишь небольшая часть ея окружности въ видѣ двухъ приливовъ на спинкѣ пластинки. Преимущества системы Гурауэра: во-первыхъ, простота устройства, а во-вторыхъ—возможность съ удобствомъ поставить золотникъ подъ контроль регулятора, что очень неудобно при обыкновенномъ Мейеровскомъ золотникѣ. При обыкновенномъ золотникѣ Мейера винтъ долженъ сдѣлать много оборотовъ, чтобы измѣнить наполненіе отъ шпіншп'а до шахшш'а, а ходъ муфты регулятора всегда малъ и получается крайне неудобная и сложная передача, а, кромѣ того, вслѣдствіе малаго шага на рѣзке, велико треще въ ней и регуляторъ нуженъ очень сильный; въ сист. Гурауэра винтъ дѣлается такого большого діаметра, что полный уголъ поворота его не великъ, иногда меньше полуокружности—и тогда возможно непосредственное дѣйствіе регулятора на кривошипъ или шестеренку, сидяціе на оси винта, подобно тому, какъ и въ распр. Ридера.

Иногда, съ цѣлью достигнуть болѣе совершеннаго открытія и закрытія каналовъ нижняго золотника верхнимъ, дѣлають между винтомъ Гурауэра и его гайкой (приливами)—*зазоръ*; тогда въ *относительномъ* движеніи верхнихъ пластинокъ по нижнему золотнику будутъ періоды *покоя*, хотя *абсолютно* пластинка будетъ двигаться вмѣстѣ съ нижнимъ золотникомъ, будучи прижата къ нему давленіемъ пара. Такое устройство есть, въ нѣкоторой степени, возвращеніе къ давно уже брошенному распредѣлѣнію *Фарко*, но отличается отъ него тѣмъ, что позволяетъ имѣть отсѣчку  $> 0,5$  (тогда какъ у Фарко она была всегда  $< 0,5$ ) и затѣмъ позволяетъ регулятору легче производить поворотъ винта, ибо винтъ во временахъ разгружается благодаря зазору. При большемъ числѣ оборотовъ такое распредѣленіе стучитъ, и тѣмъ больше, чѣмъ быстрое ходъ; поэтому для быстроходныхъ машинъ не годится.

Одна изъ новѣйшихъ конструкций распредѣленія *Сингагер-Гарсот* представлена на черт. 50с.

### Золотникъ Ридера.

Золотникъ Мейера очень удобенъ для измѣненія отсѣчки пара во время хода машины *отъ руки*, но его нельзя поставить подъ контроль регулятора, какъ какъ, благодаря большому трещю (ибо винтъ для раздвиганія пластинокъ берется съ малымъ угломъ наклона), надо было бы имѣть очень сильный регуляторъ, а если пожелаемъ имѣть регуляторъ легкій, то надо сильно увеличить уголъ наклона рѣзбы винта, раздвигающаго пластинки, причемъ онъ легко можетъ сдавать во время работы отъ сотрясеній.

Поэтому золотникъ Мейера въ своемъ первоначальномъ видѣ употребляется только въ томъ случаѣ, когда регуляторъ дѣйствуетъ на дроссельный клапанъ, а также въ среднемъ и большемъ цилиндрахъ машинъ многократнаго распиренія. Для малаго цилиндра такихъ машинъ и для заводскихъ одноцилиндровыхъ машинъ употребляется по большей части американоуской золотникъ Ридера.



Золотникъ Ридера есть тотъ же золотникъ Мейера, но имѣющій слѣдующее видоизмѣненіе.

Какъ было упомянуто выше, можно разсматривать пластинки Мейера какъ бы слитыми въ одну цѣлую пластинку. Раздвигая ихъ, мы тѣмъ самымъ увеличиваемъ длину воображаемой цѣльной пластинки длина которой равна разстоянію между краями разрывной пластинки (черт. 51, табл. 6). Эту воображаемую пластинку въ золотникѣ Мейера мы можемъ разсматривать, какъ состоящую изъ ряда тонкихъ полосокъ одной и той же длины  $2l$ . Предположимъ, что длины этихъ полосокъ къ одной сторонѣ постепенно уменьшаются, тогда (при безконечно большомъ числѣ такихъ полосокъ) пластинка приметъ видъ трапеціи (черт. 52, табл. 6).

Окна на верхней спинкѣ коренного золотника дѣлаются въ этомъ случаѣ параллельными краямъ трапеціи.

Если теперь передвинемъ всю пластинку такимъ образомъ, что на мѣсто полоски  $a$  у насъ станетъ полоска  $b$ , то этимъ мы уменьшимъ размѣръ  $s$  до величины  $s_1$  или, иначе, какъ бы увеличимъ длину пластинки  $a$ , т.-е. уменьшимъ отсѣчку. Наоборотъ, передвигая пластинку въ другую сторону (снизу вверхъ), мы тѣмъ самымъ увеличиваемъ отсѣчку.

Золотникъ Ридера, представленный на чертежѣ 53 (табл. 5), имѣетъ подобную трапецевидную пластинку, только здѣсь она свернута въ цилиндрическую поверхность, для болѣе легкаго передвиженія ея по нижнему золотнику, имѣющему верхнюю спинку въ видѣ такого же цилиндра.

Диаграмма для Ридеровскаго золотника строится совершенно такъ же, какъ и для Мейеровскаго.

Приводится пластинка въ движеніе слѣдующимъ образомъ: она накрѣпко соединена со стержнемъ, приводящимъ ее въ поступательное движеніе. Стержень соединяется съ эксцентриковой тягой, какъ и у золотника Мейера, при помощи пары вращенія; стержень на своемъ пути проходитъ чрезъ кривошипъ, съ которымъ соединяется посредствомъ незатянутой шпонки или квадратной части (черт. 54) и такимъ образомъ образуетъ съ нимъ поступательную пару. Кривошипъ же не можетъ имѣть поступательнаго движенія, а лишь только вращательное. На его палецъ дѣйствуетъ тяга отъ регулятора, которая и поворачиваетъ его, а вмѣстѣ съ нимъ и стержень съ трапецей, въ ту или другую сторону и измѣняетъ отсѣчку. [Конструктивныя исполненія бывають весьма разнообразны (см. у Хедера).]

Что касается полнаго угла размаха  $\alpha$  кривошипа (черт. 55), то онъ не долженъ превосходить  $60^\circ$  ( $\alpha > 60^\circ$ ), ибо иначе сильно измѣняется плечо силы  $R$ , дѣйствующей отъ регулятора на стержень золотника (если  $r$ —радіусъ кривошипа, то наименьшее плечо будетъ  $p = r \cos \frac{\alpha}{2}$ ).

Пластинокъ въ золотникѣ Ридера можетъ быть и двѣ, и три; по числу пластинъ дѣлается и число оконъ.

Если мы эти пластинки свернемъ въ *полный* цилиндръ, то получимъ уравновѣшенный золотникъ Ридера, имѣющій тѣ же недостатки, какъ и простой цилиндрической уравновѣшенный золотникъ.

Что касается конструктивныхъ размѣровъ, то необходимо, чтобы края пластинки перекрывали, при крайнихъ отсѣчкахъ, окна на 5—10 *mm*. (черт. 56) Кроме того надо, чтобы размѣръ *m* не былъ очень малъ, такъ какъ иначе, при крайнихъ положеніяхъ пластинки, она откроетъ углы оконъ, какъ показано на черт. 57.

Существуетъ мнѣніе, что для поворота пластинки золотника Ридера требуется очень большая сила. Дѣйствительно, если вычислить силу тренія между пластинкой и золотникомъ, то она, быть можетъ, получится въ нѣсколько сотъ килограммовъ, но это *не значитъ* еще, что для поворота пластинки мы должны приложить именно такую силу, такъ какъ пластинка находится въ движеніи, а потому для ея поворота нужна сила во много разъ меньшая, чѣмъ сила тренія, ибо при поворотѣ относительное движеніе точекъ поверхности пластинки и золотника, которыя мгновенно совпадаютъ, будетъ по винтовой линіи, и лишь слагающая силы тренія, дѣйствующей по направленію *истиннаго* относительнаго движенія, перпендикулярная къ направленію движенія оси золотника, должна быть развита регуляторомъ. Конечно, чѣмъ меньше эта сила, тѣмъ медленнѣе будетъ двигаться пластинка.

**Примѣчаніе.** Какъ золотникъ Мейера, такъ и золотникъ Ридера должны всегда имѣть положеніе, когда отсѣчка = 0 (а иногда и отрицательна), чтобы, въ случаѣ полного разгрузенія, скорость машины не вышла бы за безопасные предѣлы для машины и не произошло бы *разноса*. Пропорціональные размѣры золотниковъ Мейера и Ридера см. у Хедера въ книгѣ «Паровая машина».

Слѣдуетъ замѣтить, что въ настоящее время золотникъ Ридера весьма распространенъ какъ для горизонтальныхъ, такъ и для вертикальныхъ машинъ, и для тихоходныхъ и для быстроходныхъ.

## Кулисы.

Кулисою называется механизмъ, служащій для измѣненія хода машины, т. е. для измѣненія направленія вращенія ея. Въ фабричныхъ машинахъ нѣтъ надобности мѣнять хода машины, такъ какъ нѣтъ надобности мѣнять одновременно направленіе движенія всѣхъ станковъ; для измѣненія же хода отдѣльныхъ станковъ имѣются особыя приспособленія при каждой изъ нихъ въ видѣ прямыхъ и перекрестныхъ ремней и другихъ механизмовъ.

Поэтому, кулисы встрѣчаются лишь въ машинахъ, служащихъ для какихъ-либо специальныхъ цѣлей, каковы машины пароводныя, паровозныя, шахтныя подъемныя машины, машины при паровыхъ кранахъ и нѣкоторыя прокатныя (такъ назыв. реверсивныя) машины.

Въ болѣе тѣсномъ смыслѣ подъ кулисою разумѣется направляющая въ видѣ прорѣза, въ которомъ движется ползушка (*камень*). Съ та-

кою деталью исполнено большинство механизмовъ для измѣненія хода, но существуетъ много механизмовъ, гдѣ такихъ прорѣзовъ не имѣется.

Сущность устройства кулисы состоитъ въ томъ, что, тѣмъ или другимъ способомъ, измѣняется, реально или фиктивно, уголъ заклинивания эксцентрика. Если, на примѣръ, кривошипъ  $R$  (черт. 58) изъ лѣваго мертваго положенія долженъ идти по стрѣлкѣ I (по часовой стрѣлкѣ), то эксцентрикъ долженъ быть заклиненъ въ положеніи I (т.-е. на  $90^\circ + \delta$  впереди кривошипа); если же кривошипъ изъ того же положенія долженъ идти по стрѣлкѣ II (противъ часовой стрѣлки), то эксцентрикъ долженъ быть заклиненъ въ положеніи II (т.-е. опять-таки на  $90^\circ + \delta$  впереди кривошипа). Слѣдовательно, чтобъ измѣнить ходъ машины, надо только эксцентрикъ переклинить на  $180^\circ - 2\delta$ .

Кулисса и служитъ для того, чтобы производить это переклиниваніе, или, точнѣе, вводить въ механизмъ измѣненія, тождественныя съ переклиниваніемъ эксцентрика.

Впервые кулисса была примѣнена Стефенсономъ въ его паровозѣ.

Стефенсонъ посадилъ на валу два эксцентрика, одинъ для передняго, другой для задняго хода (черт. 59). Отъ эксцентриковъ идутъ тяги къ кулисеѣ, выполненной въ видѣ дуги круга, подвѣшенной за середину или (какъ въ нашемъ случаѣ) за конецъ къ времено неподвижной точкѣ  $E$ , при помощи стержня  $BE$ . Въ кулисеѣ ходитъ ползунокъ или камень  $M$ , отъ котораго идетъ тяга къ золотнику. Перестановка кулисы производится отъ руки при помощи особой передачи, которая двигаетъ шарниръ  $E$  въ одну и другую сторону, причѣмъ кулиссная дуга скользитъ по камню.

Если камень  $M$  находится на кулисеѣ въ крайнемъ верхнемъ положеніи, какъ показано на черт. 60, то работаетъ главнымъ образомъ эксцентрикъ I (черт. 59), но такъ какъ шарниръ  $N$  не совпадаетъ съ шарниромъ  $A$ , то и второй эксцентрикъ будетъ впутываться и вліять нѣсколько на движеніе золотника.

Когда камень займетъ крайнее нижнее положеніе, то главнымъ образомъ будетъ работать эксцентрикъ II, но и здѣсь опять таки эксцентрикъ I будетъ вліять на движеніе золотника.

Подробная теорія кулисеѣ дана Цейнеромъ, но она очень сложна и все таки для практики особаго значенія не имѣетъ, какъ какъ слишкомъ приближенна и не позволяетъ наслѣдовать всѣ обстоятельства движенія кулисеѣ.

Кулисса служитъ не только для измѣненія хода машины, но и для измѣненія отсѣчки; чѣмъ ближе стоитъ камень къ серединѣ кулиссе, тѣмъ раяѣ золотникъ отсѣкаетъ паръ.

Наименьшая отсѣчка (обыкновенно 0) получается при положеніи камня въ серединѣ.

Кулисса Стефенсона раньше считалась неудобной, потому что даетъ переменное предвареніе впуска. Это неудобство устранено было въ кулисеѣ Гуча (черт. 61), въ которой дуга поставлена наоборотъ, такъ, что центромъ ея служитъ шарниръ  $K$ . Здѣсь передвигается кулиссный ка-

мень. Радиусъ кривизны кулисы (дуга круга) равенъ длинѣ золотниковои тяги *l*. Кулисса неудобна тѣмъ, что длина всего механизма очень велика, поэтому для паровозовъ и пароходовъ она негодится или неудобна; примѣнялась чаще для прокатныхъ и углеподъемныхъ машинъ. Теперь она вышла изъ употребленія.

Въ виду трудности (особенно въ прежнее время) обработки кулисы, очерченной по кривой, пробовали дѣлать кулису прямой: такова кулисса Аллана (черт. 62). Здѣсь при переводѣ механизма движутся и кулисса и камень навстрѣчу другъ другу.

Это самая сложная кулисса (у машинистовъ слыветъ подъ именемъ «99 дырочекъ»).

Пояснивши, въ чемъ состоитъ сущность кулисы съ прорѣзами, сдѣлаемъ еще нѣсколько замѣчаній.

Въ кулиссахъ этихъ надо различать *открытыя* (+) и *перекрестныя* (—) эксцентрикковыя тяги. Если эксцентрикъ передняго хода соединенъ съ *той же* (т.-е. соотвѣтствующей переднему ходу) стороной кулисы, а эксцентрикъ задняго хода—также съ соотвѣтствующей стороной кулисы, то тяги—*открытыя* (черт. 63, силовныя линіи); если же соединеніе обратное—то *скрещенныя* или *перекрестныя*. То, будутъ ли тяги открытыя или перекрестныя, влѣдетъ на движеніе кулисы и золотника. Напримѣръ, въ кулиссѣ Стефенсона при *открытыхъ* тягахъ линейное предвареніе впуска *возрастаетъ* отъ полнаго хода къ среднему положенію кулисы, а при *скрещенныхъ* оно *убываетъ* по мѣрѣ перехода кулисы отъ полнаго хода къ среднему положенію. Выборъ тѣхъ или другихъ тягъ зависитъ отъ назначенія и условій работы кулисы. Напримѣръ, для паровозовъ самой удобной американцы и англичане признаютъ кулису Стефенсона съ открытыми тягами.

Для судовыхъ (морскихъ) машинъ лучше употреблять кулису Стефенсона съ перекрестными тягами.

Теперь скажемъ относительно *скольженія камня*.

Законы движенія кулисы съ тягами и камня съ его тягами таковы, что результатомъ ихъ является всегда относительное движеніе камня въ прорѣзѣ или кулиссѣ; а такъ какъ камень все время прижатъ къ кулиссѣ всей силой сопротивленія золотника движенію, то результатомъ такого екольженія является весьма сильное и быстрое изнашиваніе камня и кулисы. Избѣжать этого нельзя, но нужно стараться о томъ, чтобы величина екольженія была возможно мала.

Уменьшить скольженіе возможно, главнымъ образомъ, правильнымъ и разумнымъ устройствомъ подвѣса кулисы (у Стефенсона) или камня (у Гуча).

Подвѣшиваніе и *минимумъ* екольженія рассчитываются на наиболѣе употребительный ходъ машины.

О конструктивныхъ формахъ кулисы, за невмѣніемъ времени, говорить не будемъ.

Передвиженіе кулисы или камня производится въ малыхъ машинахъ (напр. паровозныхъ) прямо силою машиниста при помощи рычага или

винта, въ большихъ же (пароходныхъ, прокатныхъ) машинахъ—особой силой, чаще всего особымъ паровымъ цилиндромъ (или же такъ назыв. сервомоторомъ).

### Кулисса Гейзингера.

Въ этой кулисеѣ (черт. 64) имѣется только *одинъ* эксцентрикъ, за-клиненный подъ угломъ въ  $90^\circ$  къ кривошипу ( $\delta = 0$ ) и выполняемый обыкновенно въ видѣ особаго контръ-кривошипа. Отъ него движеніе чрезъ посредство кулиссы передается передвижному камню и отъ него особому рычагу  $R$ , схватывающемуся верхнимъ концомъ за золотниковую тягу. Движеніе это управляетъ *отсѣчкой* и *перемѣною* хода.

Но, кромѣ него, золотнику сообщается второе движеніе отъ ползуна  $P$  самой машины. Къ нему придѣлывается отростокъ и, при помощи короткаго шатуна или серьги, сочленяется съ нижнимъ концомъ рычага  $R$ . Движеніе камня сообщается золотнику увеличеннымъ въ отношеніи  $\frac{b}{a+b}$ , а движеніе ползуна—уменьшеннымъ въ отношеніи  $\frac{a}{b}$ . Движеніе, сообщаемое ползуномъ, управляетъ *предвареніемъ*, и если кривизна кулиссы такова, что радіусъ ея = длинѣ тяги  $l$ , то, очевидно, линейное предвареніе впуска будетъ постояннымъ.

Кулисса эта довольно проста и удобна еще и тѣмъ, что на паровахъ въ ней, меньше, чѣмъ въ другихъ, отражается на движеніи золотника игра рессоръ и осей. Въ настоящее время въ Европѣ кулисса эта въ большомъ почетѣ для паровозовъ.

Слѣдуетъ отмѣтить одно очень важное свойство всѣхъ описанныхъ кулисеѣ (принадлежащее, впрочемъ, и другимъ, описываемымъ ниже системамъ), именно: по мѣрѣ уменьшенія степени наполненія цилиндра (т.-е. при уменьшеніи отсѣчки) возрастаетъ сжатіе пара и иногда можетъ дойти до опасныхъ величинъ. По мѣрѣ уменьшенія отсѣчки будетъ получаться рядъ діаграммъ, подобный изображенному на черт. 65. Для того, чтобы сжатіе не заходило слишкомъ далеко (какъ на діаграммѣ 5), приходится уменьшать иногда внутреннее перекрытіе золотника до нуля и даже дѣлать его отрицательнымъ, а кромѣ того, *обязательно* величина вреднаго пространства  $s_0$  берется *умышленно* большою, обыкновенно не меньше  $8\%$  всего объема цилиндра, а часто и больше, именно:  $\frac{s_0}{s} =$  отъ 0,08 до 0,15.

Въ *большихъ* морскихъ машинахъ объемъ вреднаго пространства [величина  $v_0 = \frac{s_0}{s} \times 100$ ] берется обыкновенно еще больше, именно:

Въ военныхъ судахъ:

при плоскомъ золотникѣ  $v_0 =$  отъ 12 до  $19\%$ ,

при цилиндр. золотникѣ  $v_0 =$  „ 21 „  $25\%$ ;

Въ торговыхъ судахъ:

при плоскомъ золотникѣ  $v_0 =$  отъ 10 до  $15\%$ ,

при цилиндр. золотникѣ  $v_0 =$  „ 12 „  $20\%$ .

Въ миновоскахъ и т. п. судахъ иногда  $v_0$  доходить до  $30\%$ .

НВ. При распределеніяхъ, по свойствамъ своимъ аналогичныхъ кулисамъ (напр. переставнымъ эксцентрикомъ съ плоскимъ регуляторомъ), т.-е. дающихъ увеличеніе сжатія при уменьшеніи отсѣчки, величины вредныхъ пространствъ берутся, конечно, такъ же, какъ и при кулисахъ, т.-е. *побольше*.

Разсмотримъ еще устройство нѣсколькихъ кулисъ, употребляемыхъ преимущественно въ паровыхъ машинахъ вертикальнаго типа.

## Кулисы съ однимъ эксцентрикомъ.

### 1. Кулисса Hackworth-Bremme-Marschall (черт. 66).

Одинъ эксцентрикъ  $E$  съ угломъ заклиненія  $90^\circ$ . Тяга, идущая отъ него, кончается шарниромъ  $y$  съ ползушкой, находящейся въ кулисеѣ. Отъ нѣкоторой точки  $M$  тяги идетъ золотниковая тяга къ золотнику  $Z$ . Кулиссе  $L$  для измѣненія хода поворачиваютъ изъ положенія  $n$  въ положеніе  $z$ , на уголъ  $\varphi$ . Для уменьшенія отсѣчки ее приближаютъ къ совпаденію съ линіей  $xx$ .

### 2. Кулисса Hackworth-Klug (черт. 67).

Эта кулисса получается изъ предыдущей, если точку  $M$  взять на продолженіи тяги, за ползушкой. Въ этомъ случаѣ направленіе эксцентриситета совпадаетъ съ кривошипомъ, т.-е.  $\delta = -90^\circ$  (или  $+270^\circ$ ).

Въ практикѣ обѣ кулисы выполняются не такъ, какъ описали мы, съ ползушкой (что, собственно, и изобрѣтено Гаквортомъ еще въ 50-хъ годахъ). Такъ какъ здѣсь, въ противоположность кулисамъ Стефенсона, Гуча и Аллана, камень постоянно ходитъ по всей длинѣ прорѣза (а не скользитъ лишь на нѣсколько миллиметровъ), то треніе и изнашиваніе весьма велики. Поэтому Bremme и Marschall съ одной стороны и Klug съ другой замѣнили ползушку прямою—кривой, а затѣмъ движеніе по дугѣ круга осуществили безъ прорѣза, прицѣпивъ конецъ тяги къ серьгѣ или шатуну. Получились механизмы, представленные на черт. 68 и 69.

Точка привѣса шатуна можетъ быть переводима изъ положенія  $n$  (передній ходъ) въ положеніе  $z$  (задній ходъ) по дугѣ круга, описанной изъ точки  $y$ , что практически достигается при помощи рамки или перекидной серьги, ось вращенія которой совпадаетъ съ тѣмъ положеніемъ точки  $y$ , когда кривошипъ стоитъ на мертвой точкѣ, а благодаря этому линейное предвареніе впуска будетъ постояннымъ.

### 3. Кулисса Joy (Джой).

Если тягу приводить въ движеніе не отъ эксцентрика съ угломъ  $\delta = -90^\circ$ , а прямо отъ нѣкоторой точки  $A$  шатуна, которая описываетъ овальную кривую, то изъ кулисы Клуга получится кулисса Джой (черт. 70). Въ дѣйствительности она выполняется нѣсколько иначе.

Прорѣзъ, гдѣ ходитъ ползушка съ шарниромъ  $y$ , очерчивается по

дугъ круга (черт. 71) (но выполняется не въ видѣ серьги, а въ видѣ паза, и ползушка остается, что и составляетъ главный порокъ кулисы Джоя), а во-вторыхъ, чтобы компенсировать вредное вліяніе конечной длины эксцентриковой тяги, движеніе ея берутъ не прямо отъ точки, лежащей на оси шатуна, а вводятъ еще одинъ рычагъ, такъ что механизмъ принимаетъ видъ, какъ на черт. 71.

Кулиса Джоя примѣняется на пароходахъ, а въ Англии и на паровозахъ.

Лѣтъ 10 тому назадъ она вошла въ моду и на русскихъ паровозахъ, но, кажется, оказалась неудобной, именно вслѣдствіе сильнаго изнашивания и нагрѣванія (а иногда и заѣданія) ползушки и прорѣза. Удобство кулисы Джоя — простота, благодаря отсутствію эксцентриковъ. Можно, конечно, и здѣсь прорѣзъ выкинуть и сдѣлать серьгу, какъ у Klug'a.

Теорія кулисы съ однимъ эксцентрикомъ также не вполнѣ еще развита и расчетъ ихъ дѣлается лучше всего при помощи модели.

NB. Для построенія кулисы Гуча и Стефенсона лучшимъ практическимъ пособіемъ является сочиненіе:

„The practical application of the Slide Valve and Link Motion etc.“, by William S. Auchincloss.

Кое-что есть у Peabody „Valve-Gears for Steam Engines“.

Для желающихъ углубиться въ кулисы съ однимъ эксцентрикомъ рекомендуемъ:

„Zeitschrift des Vereines deutscher Ingenieure“, 1898, № 14 und 15, статья Berling'a, а также въ томъ же журналѣ, за 1893 г., статья Fränzel'a „Verbundsteuerungen“

### Распредѣленіе качающимися кранами.

Если мы представимъ себѣ золотникъ и зеркало свернутыми въ видѣ круглаго цилиндра съ образующей, перпендикулярной къ направлению движенія золотника, то получимъ цилиндрической качающийся золотникъ (черт. 72) съ тѣми же элементами парораспредѣленія, что и въ простомъ плоскомъ, только эти элементы измѣняются здѣсь *по дугѣ окружности* радіуса  $R$ . Законъ движенія такого золотника будетъ выражаться тою же самой формулой:  $\xi = r \sin(\alpha + \delta)$ , гдѣ  $\xi$  измѣняется по дугѣ окружности, и діаграмма строится совершенно такъ же, какъ и для плоскаго золотника.

Такіе краны часто примѣнялъ Gröll въ своихъ быстроходныхъ машинахъ, почему ихъ иногда называютъ теперь кранами Gröll'a. Часто, для уменьшенія мятія пара, въ кранѣ устраиваютъ каналъ Трика, такъ что золотникъ получаетъ видъ, какъ на черт. 73, а зеркало получаетъ уступы.

Размѣры соответствують машинѣ съ разм.  $D=250$  mm. и  $H=300$  mm.

### Парораспредѣленіе Корлисса.

Это парораспредѣленіе, надѣлавшее не мало шума при своемъ появленіи, не представляетъ, однако, никакого интереса въ смыслѣ новиз-

ны: это то же распределение качающимися кранами, съ тою только разницей, что здѣсь вмѣсто одного — 4 крана (чтобъ уменьшить вредное пространство): два впускныхъ  $m$  и  $n$  а два выпускныхъ  $p$  и  $q$  (черт. 74), и каждый изъ нихъ имѣеть по одному элементу парораспределения (по одному рабочему ребру).

Кранъ представляетъ изъ себя заслонку, вращающуюся въ цилиндрической полости, которая имѣеть два канала, ведущіе: одинъ въ цилиндръ, а другой—къ паропроводу во впускномъ кранѣ и къ холодильнику въ выпускномъ; на осяхъ заслонокъ сидятъ кривошипы  $b$ , заимствующіе движение помощью тягъ  $c$  отъ шайбы  $A$ , которая въ свою очередь получаетъ движение отъ главнаго вала машины помощью эксцентрика и тягъ.

Чтобы мѣнять отсѣчку, Корлисеъ выбралъ систему расцѣпления. Тяги впускныхъ крановъ состоятъ изъ двухъ отдѣльныхъ частей, сцепленныхъ между собою посредствомъ особаго рода зацѣпокъ или крючковыхъ, изображенныхъ схематически на черт. 71 крючками  $k$  и  $k_1$ . Если число оборотовъ машины становится больше или меньше нормальнаго, то регуляторъ переставляетъ призму  $v$ , стержень съ крючкомъ  $k$  раньше или позже натывается на призму  $v$  и такимъ образомъ разъединяются части  $k$  и  $k_1$  стержня  $c$  и заслонка поворачивается подь дѣйствіемъ груза или пружины, закрывая впускное окно.

Послѣ самого Корлисса появились сотни подражателей и въ 70-хъ и 80-хъ гг. началась настоящая лихорадка; были придуманы сотни системъ и, благодаря модѣ, машины раскупались хорошо; но горькій опытъ показалъ, что очень часто покупатели были наказаны за свою довѣрчивость. Не представляя принципиально ничего новаго, распределение съ зацѣпками, по образцу Корлисса, имѣють много недостатковъ.

Наружный механизмъ этого парораспределения обыкновенно имѣеть пружины и состоитъ изъ довольно деликатныхъ частей, а кромѣ того язычки, еоединяющіе части стержня  $c$ , вслѣдствіе ихъ незначительной поверхности соприкосновенія, быстро изнашиваются, а все устройство легко разстраивается и начинаетъ тогда работать отвратительно; ремонтъ же недоступенъ простому слесарю и даже механику, и потому такія машины ставить въ глуши было бы неразумно.

Наполненіе цилиндра всегда будетъ  $< 0,5$ , а чтобы сдѣлать его  $> 0,5$ , надо еще болѣе усложнять механизмъ введеніемъ вспомогательнаго движенія (напримѣръ, система Фрикара). Число оборотовъ не можетъ быть больше 50—60, иначе защелки стучать, истираются или ломаются; кромѣ того, краны легко текутъ. Въ виду всего этого, мода на краны Корлисса въ Европѣ стала проходить, но все-таки въ Америкѣ, Англии, Бельгии и Франціи такихъ машинъ строится и теперь очень много, особенно въ двухъ первыхъ странахъ. Германія же и Россія теперь предпочитаютъ клапанное распределеніе, причемъ заказы 1000-сильныхъ машинъ Зульперу вмѣсто Гика вызвали сильнѣйшее неудовольствіе англичанъ и даже гнусныя инсинуаціи съ ихъ стороны по адресу русскихъ техниковъ, рѣшившихся промѣнять Англию на Германію и Швейцарію.



Что касается длины цилиндра, то здѣсь отношеніе длины къ діаметру бываетъ обыкновенно отъ 2 до 3, чтобы дать мѣсто шайбѣ съ тягами, тогда какъ при другихъ парораспредѣленіяхъ это отношеніе  $\gt 2$ , до 1 и даже менѣе. Иногда шайбу выносятъ впередъ цилиндра. Существуетъ, какъ уже сказано, масса типовъ подобнаго парораспредѣленія, появившихся во время чрезмѣрнаго увлеченія Корлиссовскими кранами; всѣ они имѣютъ вышеуказанные недостатки, почему рекомендовать такое парораспредѣленіе нельзя, хотя и теперь еще строятъ машины съ подобнымъ парораспредѣленіемъ. Описаніе ихъ можно найти въ специальномъ сочиненіи Uhland'a, а самое существенное—у „Депна“ въ паровыхъ машинахъ.

### Парораспредѣленіе клапанами.

Какъ уже было сказано, принципиальное отличіе клапаннаго парораспредѣленія отъ плоскаго золотника или крана состоитъ въ томъ, что въ немъ нѣкоторый органъ (клапанъ *A*, черт. 75) то поднимается, то опускается; такимъ образомъ, онъ только нѣкоторое время находится въ соприкосновеніи съ поверхностью (сѣдломъ) *B*, тогда какъ въ золотниковомъ парораспредѣленіи этотъ органъ во все время движенія находится въ соприкосновеніи съ зеркаломъ; отсюда понятно, что работа, необходимая для приведенія въ движеніе золотника, будетъ гораздо больше, чѣмъ работа, нужная для поднятія клапана. Только въ первый моментъ нужно приложить силу, чтобы поднять клапанъ, а затѣмъ подъемъ клапана производится сравнительно легко, такъ какъ даже въ большихъ машинахъ вѣсъ клапана незначителенъ. Но все-таки сила, необходимая для подъема клапана и нужная только въ первый моментъ подъема его, очень значительна; въ этомъ и состоитъ неудобство простого, дисковаго, неуравновѣшеннаго клапана.

Чтобы избѣжать этого неудобства, стали употреблять двухпорный клапанъ, почти уравновѣшенный (черт. 76), гдѣ давленіе на клапанъ сверху гораздо меньше, чѣмъ при плоскомъ клапанѣ. Высота подъема его почти вдвое меньше, чѣмъ высота подъема простого клапана, такъ что, если тамъ высота подъема клапана была равна  $\frac{1}{4}$  діаметра, то здѣсь она можетъ быть  $\frac{1}{7} - \frac{1}{8} D$ . Главное достоинство такого клапана (называемаго часто корнуэльскимъ, такъ какъ впервые такая система клапановъ была примѣнена въ корнуэльскихъ машинахъ для откачиванія воды изъ шахтъ) состоитъ въ томъ, что, придавая ему ту или другую форму, мы можемъ уравновѣсить его насколько угодно.

Настоящіе корнуэльскіе клапаны имѣли, собственно, форму опрокинутого колокола (черт. 77).

Если давленіе пара на единицу поверхности клапана = *p*, то полное давленіе на клапанъ будетъ (черт. 77)

$$P = \left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi p^2}{4} \right) \cdot p;$$

обыкновенно  $D = d + 2e$ , гдѣ  $e = 4-6$  мм. Матеріаломъ для клапана служила раньше бронза, а теперь большею частью дѣлаютъ клапаны изъ чугуна, причемъ оказывается, что чугунные клапаны работаютъ ничуть не хуже бронзовыхъ. Сѣдло для клапана должно быть сдѣлано изъ *того же* матеріала, что и клапанъ. Недостатокъ такихъ клапановъ тотъ же, что и въ цилиндрическихъ золотникахъ: именно, ненадежность точной пригонки клапана къ сѣдлу. Дѣло въ томъ, что, будучи плотно пригнанъ къ сѣдлу въ холодномъ состояніи, клапанъ, при нагреваніи и послѣдующемъ остываніи, уже не такъ плотно прилегаетъ къ нему, вслѣдствіе расширенія отъ теплоты; а малѣйшая неточность въ пригонкѣ ведетъ уже къ серьезнымъ неправильностямъ въ парораспределеніи.

Относительно расширенія тѣлъ надо замѣтить слѣдующее: если мы имѣемъ *неоднородное* тѣло  $A$  (черт. 78), то его кубическое расширеніе можно, какъ учить кинематика измѣняемой системы, разматривать такимъ образомъ, что при расширеніи каждая частица тѣла будетъ двигаться по радіусу  $Oa$ , а, кромѣ того, самъ радіусъ мѣняетъ свое положеніе. Существуетъ еще нѣкоторый конусъ  $BOC$ , называемый конусомъ *нулевого удлиненія*, который не мѣняетъ своего положенія относительно осей координатъ. Если же мы будемъ разматривать тѣло *однородное*, то здѣсь расширеніе происходитъ такимъ образомъ, что каждая частица движется только по радіусу, самъ же радіусъ своего наклона *не* мѣняетъ.

На этомъ принципѣ нѣмецкій инженеръ Колльманнъ (Collmann) устроилъ свои клапаны (черт. 79), коническіе, причемъ конусы имѣютъ *общую вершину*  $O$  и эта вершина *должна быть неподвижной* относительно сѣдла.

Существуетъ еще нѣсколько конструкцій клапановъ; изъ нихъ слѣдуетъ упомянуть клапанъ Зульцера, причемъ онъ не руководствуется вышеприведеннымъ принципомъ Колльманна (подробности см. у Дешпа).

### Приведеніе клапановъ въ движеніе.

Первоначально, въ машинахъ временъ Уатта, клапаны приводились въ движеніе исключительно кулаками; чтобъ измѣнять отсѣчку, употреблялись различные кулаки (черт. 80), а чтобы можно было мѣнять отсѣчку во время движенія, длинный кулакъ очерчивается непрерывною кривою.

Въ настоящее время для приведенія клапановъ въ движеніе пользуются и кулаками и эксцентриками.

Устраиваютъ обыкновенно четыре клапана (какъ было сказано раньше): два впускныхъ и два выпускныхъ; причемъ послѣдніе получаютъ движеніе или отъ кулаковъ (черт. 81), или отъ эксцентриковъ.

Впускные клапаны получаютъ движеніе при посредствѣ тягъ отъ эксцентриковъ, посаженныхъ не на главномъ валу машины, а на валу параллельномъ оси цилиндра, т. е. перпендикулярномъ къ главному и

называемомъ распредѣлительнымъ валомъ. Валу этому дается то же число оборотовъ, что и главному валу при помощи конической зубчатой передачи съ передаточнымъ числомъ = 1.

Раньше мы раздѣлили клапанное распредѣленіе на два типа: 1) клапанъ падаетъ свободно, т. е. скорость паденія его зависитъ отъ вѣса и отъ упругости пружины (клапаны съ расцѣпленіемъ), и 2) клапанъ опускается тоже подъ дѣйствіемъ груза, но не свободно, такъ что здѣсь скорость паденія обусловлена исключительно механизмомъ (клапаны съ принужденнымъ движеніемъ).

Какъ тѣхъ, такъ и другихъ системъ существуетъ весьма много; особенно же много за послѣднее время расплодилось у нѣмцевъ принужденныхъ системъ, которыхъ опатентованы сотни. Изъ механизмовъ съ расцѣпленіемъ до сихъ поръ еще держится такъ называемая «новая» система Зульцера (типъ 1878 г.), не представляющая никакихъ особыхъ преимуществъ передъ другими системами, но упорно исполняемая заводомъ Зульцера до настоящаго времени, что, впрочемъ, благодаря превосходной работѣ, которою славится заводъ, не препятствуетъ машинамъ Зульцера быть превосходными. Но числа оборотовъ свыше ста эти машины не выдерживаютъ.

Впрочемъ, за послѣднее время у системъ съ расцѣпленіемъ обнаружилось неожиданное достоинство и весьма серьезное именно: при нихъ регулированіе совершается гораздо быстрѣе и машины получаютъ болѣе равномерный ходъ, что въ особенности важно при машинахъ, назначенныхъ для движеній динамо-машинъ переменнаго тока. Въ высшей степени знаменательнымъ является, поэтому, тотъ фактъ, что именно самъ Кольманнъ, родоначальникъ принужденныхъ клапанныхъ распредѣленій, три года тому назадъ построилъ новое свое (3-е) парораспредѣленіе—и оно съ расцѣпленіемъ и весьма энергичнымъ маслянымъ катактомъ. Подробности см. въ «Журналѣ нѣмецкихъ инженеровъ».

### Парораспредѣленіе Зульцера (т. наз. «новое»).

(Патентъ 1878 г.).

(Описаніе взято изъ «Депш»).

Новый приборъ Зульцера отличается отъ стараго (пат. 1873 г.) какъ по конструкціи передаточнаго механизма, такъ и по способу дѣйствія регулятора. Оба клапана, паровпускной и выпускной, получаютъ движеніе отъ одного общаго эксцентрика *B* (черт. 82), заклиненнаго на распредѣлительномъ валикѣ *a*. При вращеніи вала *a* по стрѣлкѣ точка *T* эксцентриковой тяги, связанная съ неподвижной точкой *S*, можетъ передвигаться только по дугѣ радіуса *TS*, такъ что положеніе самой тяги при всякомъ положеніи эксцентрика совершенно опредѣленно. Отъ точки *E* эксцентрика идетъ тяга *c* къ паровыпускному клапану, а съ точками *T* и *Y* связаны части паровпускнаго механизма.

Тяга *c* сочленена съ однимъ плечомъ ломанаго рычага *GHI*, другое плечо котораго непосредственно дѣйствуетъ на ось клапана. Соеди-

неніе тяги  $c$  съ точкой  $J$  рычага устроено такъ, что конецъ тяги свободно скользитъ по втулкѣ  $i$  рычага (черт. 83); въ извѣстный моментъ шайба  $e$  захватываетъ втулку-и, поворачивая рычагъ  $GHJ$ , открываетъ клапанъ. Перестановкою шайбы  $e$  вдоль стержня  $c$  регулируютъ степень сжатія пара и продолжительность выпуска.

Поднятіе паровпускного клапана достигается тягами  $k$  и  $l$ , сочлененными съ эксцентрикомъ  $B$  (въ точкахъ  $T$  и  $Y$ ): первая непосредственно, а вторая посредствомъ рычага  $NYW$ , вращающагося около точки  $Y$  на эксцентрикѣ. Кромѣ того, рычагъ  $NYW$  (въ точкѣ  $W$ ) тягою  $d$  сочлененъ съ неподвижной точкой  $Q$ . Рычагъ  $PMA$ , одно плечо котораго  $A$  представляетъ собою т. наз. *активную зацѣпку*, имѣетъ ось вращенія въ концѣ тяги  $k$  (въ точкѣ  $M$ ), которая соединена тягою  $ML$  съ неподвижной точкой  $L$ ; другое плечо рычага  $PMA$  связано съ тягою  $l$ .

Теперь понятно, что при вращеніи вала  $a$  рабочее ребро активной зацѣпки  $A$  совершаетъ сложное движеніе, составленное изъ двухъ: одного по направленію тяги  $k$ , и другого въ направленіи, перпендикулярномъ къ первому. Первое (черт. 84) движеніе, по дугѣ  $aa$  (радіуса  $LM$ ), заимствуется посредствомъ тяги  $k$  отъ точки  $T$ , описывающей дугу радіуса  $TS$ ; второе движеніе, по дугѣ  $\beta\beta$  (радіуса  $MA$ ), происходитъ вслѣдствіе перемѣщенія тяги  $l$  отъ эксцентрика  $B$  при посредствѣ рычага  $WYN$  и подъ вліяніемъ тяги  $d$ .

Путь ребра акт. зацѣпки въ этомъ сложномъ движеніи будетъ сердцевидная кривая; двигаясь по ней, ребро встрѣчаетъ верхнюю плоскость  $zz$  *пассивной* зацѣпки, каковою въ данномъ случаѣ является конецъ клапаннаго рычага  $KLZ$ , вращающагося около оси  $L$ . Моменты сцѣпленія и расцѣпленія механизма получаются на этой кривой весьма просто; первый моментъ или моментъ начала впуска соотвѣтствуетъ точкѣ  $O$  кривой (см. кривую II), гдѣ она пересѣкается съ рабочей плоскостью  $zz$  пассивной зацѣпки; моментъ расцѣпленія зацѣпокъ или отсѣчки пара соотвѣтствуетъ точкѣ 2 кривой, гдѣ она пересѣкается съ дугою  $zz$ , описанною радіусомъ, равнымъ разстоянію рабочаго ребра пассивной зацѣпки отъ центра  $L$ . Точка 1 сердцевидной кривой, соотвѣтствующая мертвому положенію кривонипа, получится изъ условія, что отрѣзокъ кривой  $01$  пройденъ рабочей кромкой  $A$  во время поворота кривонипа на уголь предваренія впуска.

Для измѣненія отсѣчки (черт. 82) точку  $Q$ , постоянную для каждой отсѣчки, посредствомъ рычага  $RSQ$  связываютъ съ регуляторомъ, подъ дѣйствіемъ котораго активная зацѣпка  $A$  получаетъ различныя положенія на кривой  $\beta\beta$  (черт. 84). Здѣсь показаны три кривыя, описанныя активной зацѣпкой при характерныхъ положеніяхъ точки  $Q$ ; I—для отсѣчки 0, II—для малой, а III—для наибольшей степени наполненія.

Особенность описаннаго распредѣленія въ сравненіи со старой системой Зульцера состоитъ въ томъ, что въ первомъ приборѣ регуляторъ переставляетъ активную зацѣпку, въ то время какъ въ старомъ наро-

распределеніи степень отсѣчки измѣнялась перемѣщеніемъ пассивной зацѣпки.

Къ преимуществамъ новой системы передъ старой слѣдуетъ отнести то, что сдѣленіе прибора наступаетъ при малой скорости активной зацѣпки; поэтому не происходитъ удара и число оборотовъ можетъ быть значительно увеличено.

Въ виду сложности аналитическаго изслѣдованія движенія элементовъ передачи въ новомъ приборѣ Зульцера, приходится изучать механизмъ, т.-е. находить зависимость между положеніями маннины, муфты, регулятора и зацѣпокъ, по крайней мѣрѣ для главнѣйшихъ моментовъ парораспределенія, только построеніемъ по точкамъ тѣхъ кривыхъ, по которымъ движутся чисти механизма.

Устройство описаннаго парораспределенія Зульцера, патентованное въ 1878 г., подверглось скоро одному небольшому измѣненію. Очевидно, имѣлось въ виду передѣлать только передачу къ паровыпускному клапану, но при этомъ и внѣшній видъ механизма нѣсколько измѣнился. На черт. 85 показано распределеніе въ томъ видѣ, какъ оно было устроено въ машинѣ Зульцера на Парижской выставкѣ 1889 г. Паровыпускной клапанъ приводится въ движеніе отъ кулачнаго эксцентрика, точно такого же вида, какъ въ старомъ распределеніи Зульцера (1873 г.).

Въ механизмѣ для выпуска пара какъ устройство зацѣпокъ, такъ и ихъ движеніе остались безъ перемѣны. Движеніе активной зацѣпки попрежнему (черт. 84) совершается по сердцевидной кривой, получающейся отъ составнаго движенія по дугамъ  $aa$  и  $bb$ . Первое движеніе есть движеніе конца эксцентриковой тяги  $b$ , связанной непосредственно съ осью  $M$ ; второе же, по дугѣ  $bb$ , есть качаніе рычага  $PMA$  около центра  $M$ ; оно получается отъ того же эксцентрика  $B$  при помощи тяги  $d$ , рычага  $WYN$  и тяги  $l$ , связанной съ точкой  $P$  рычага  $PMA$ . Степень отсѣчки опредѣляется положеніемъ точки  $Y$  оси рычага  $WYN$ , которая переставляется тягой отъ регулятора.

Единственная существенная выгода этого устройства заключается въ независимости органовъ впуска и выпуска пара, получающихъ движеніе отъ двухъ эксцентриковъ.

Изъ системъ съ принужденнымъ движеніемъ лучшей по простотѣ нужно считать систему Widmann'a, которая работаетъ отлично и при 200 оборотахъ. Число шарнировъ доведено здѣсь до minimum'a.

## Парораспределеніе клапанами съ принужденнымъ движеніемъ

### Widmann'a.

Черт. 86.

Движеніе отъ эксцентрика передается эксцентриковой тягой рычагу  $BFC$ , помощью короткаго шатуна  $AB$  (двойного); рычагъ  $BFC$  дѣйствуетъ посредствомъ тяги  $CD$  на рычагъ клапана и въ серединѣ имѣетъ ось качанія въ вилкѣ кривошипа  $EF$ . Кривошипъ  $EF$  заклиненъ на регулирующемъ валу  $E$  и можетъ быть поставленъ въ различныя положенія

нь зависимости отъ поворота регулирующаго вала, на который дѣйствуетъ регуляторъ посредствомъ кривошипа *ER*; при этомъ шатунъ *AB* получаетъ различные наклоны, а, слѣдовательно, мѣняется и движеніе, передаваемое рычагу *BFC* и далѣе впускному клапану, т.-е. рычагъ *BFC* и клапанъ возвращаются въ начальное положеніе раньше или позже прежняго; степень наполненія получаетъ уже другую величину.

Определенность движенія эксцентриковаго хомута достигается тѣмъ, что тяга, соединенная съ хомутомъ эксцентрика, подвѣшена къ рычагу выпускнаго клапана (обратный рычагъ), который имѣетъ неподвижную ось вращенія. Чтобы впускной клапанъ для любого наполненія начиналъ открываться при одномъ и томъ же положеніи поршня, ось регулирующаго вала помѣщаютъ въ центрѣ круга, который приблизительно представляетъ путь точки *F*, который находятъ, ставя эксцентрикъ и рычагъ впускнаго клапана въ начальное ихъ положеніе (для послѣдняго оно же и конечное) и заставляя точку *B* рычага *BFC* занимать положенія, соответствующія различнымъ отсѣчкамъ.

Такъ какъ въ этомъ начальномъ положеніи три среднія линіи *AB*, *CD* и *EF* пересѣкаются всегда въ одной (или приблизительно въ одной) точкѣ, наприм. въ *M*, какое бы ни было установлено наполненіе, то въ этомъ положеніи, соответствующемъ поднятію клапана подѣ давлениемъ пара, не получается никакого бокового давленія на регулирующій кривошипъ *EF*; т.-е. не получается возвратнаго давленія на регуляторъ.

Подробности о клапанныхъ парораспределеніяхъ см. у Денпа и Хедера.

### Распределеніе пара въ многоцилиндровыхъ машинахъ.

Въ *постоянныя* многоцилиндровыхъ паровыхъ машинахъ въ цилиндрѣ высокаго давленія (маломъ) парораспределеніе по большей части устраивается или кранами, или клапанами, и только въ рѣдкихъ случаяхъ (если діаметръ цилиндра  $\gt 500$  мм) золотниками; въ послѣдующихъ же цилиндрахъ могутъ быть употреблены все способы парораспределенія, хотя преимущественно употребляются въ нихъ клапаны и краны. Въ послѣднее время часто въ маломъ цилиндрѣ дѣлаютъ клапанное распределеніе съ измѣненіемъ отсѣчки отъ регулятора, а въ послѣдующихъ—кранами съ постоянной отсѣчкой, причемъ механизмъ получается весьма простой.

Въ *пароходныя* машинахъ употребляются почти исключительно золотники (и кулисы), въ послѣднемъ цилиндрѣ—плоскій, въ первомъ (высокаго давленія)—цилиндрической, а въ среднемъ—тотъ или другой, смотря по давленію. Изрѣдка употребляютъ Корлиссовскіе краны (Америка и Россія).

То же относится и къ паровозамъ, но здѣсь краны пробовали дѣлать французы.

Въ одноцилиндровой паровой машинѣ парораспределеніе совершается по извѣстной индикаторной діаграммѣ. Въ многоцилиндровыхъ машинахъ оно совершается по той же діаграммѣ, только расширеніе

здѣсь въ первомъ цилиндрѣ совершается до нѣкотораго промежуточнаго давленія  $p_1$ , послѣ чего паръ переносится въ другой цилиндръ, гдѣ и расширяется окончательно до давленія  $p_2$  (черт. 87).

Разсмотримъ подробнѣе теоретическую діаграмму двухъ-цилиндровой машины.

Сперва паръ впускается въ малый цилиндръ, пока поршень не освободитъ для него объема  $v_0'$ , послѣ чего паръ расширяется до объема малаго цилиндра  $v_1$  (черт. 88), такъ что  $\frac{v_0'}{v_1}$  есть отсѣчка въ маломъ цилиндрѣ; послѣ этого паръ переносится въ большой цилиндръ, гдѣ и расширяется окончательно до объема большого цилиндра  $v_2$ .

При нормальной работѣ паровой машины діаграмму разбиваютъ на такія двѣ части, площади которыхъ приблизительно должны быть равны, хотя допускается разница до 20—30%; главное же — *паденія температуръ* въ обояхъ цилиндрахъ должны быть равны. Отношеніе  $\frac{v_0'}{v_1} = \varphi$  есть коэффициентъ наполненія малаго цилиндра, а  $\frac{v_1}{v_2} = \varphi_2$  есть коэффициентъ наполненія большого цилиндра.

При измѣненіи условій работы, равенство между площадями индикаторныхъ діаграммъ цилиндровъ и равенство паденій температуръ нарушаются, а потому эти соотношенія стараются выполнить при тѣхъ условіяхъ, при которыхъ чаще всего приходится работать машинѣ. Такъ, для пассажирскихъ пароходовъ отношеніе между площадями приближаютъ къ 1 при полномъ ходѣ, а для военныхъ, гдѣ полный ходъ приходится давать очень рѣдко, это отношеніе берется при тихомъ, обычномъ ходѣ. То же относится къ паденію температуръ.

Все вышесказанное относится какъ къ машинамъ двойного расширенія, такъ и къ машинамъ тройного, отличіе которыхъ отъ простыхъ Compound заключается въ томъ, что паръ работаетъ послѣдовательно не въ двухъ, а въ трехъ цилиндрахъ.

Въ пароходныхъ машинахъ и паровозахъ Compound, при измѣненіи условій работы, регулированіе производится отъ руки, переводомъ кулисесъ у всѣхъ цилиндровъ, такъ что одновременно измѣняется отсѣчка во всѣхъ цилиндрахъ, и кулисы нужно устроить такъ, чтобъ эти измѣненія были по возможности раціональными.

Измѣненіе парораспредѣленія отъ руки возможно только въ пароходныхъ и паровозныхъ машинахъ, гдѣ сопротивление остается почти постояннымъ для каждаго хода; въ заводскихъ же машинахъ, гдѣ величина работы мѣняется весьма часто и въ большихъ предѣлахъ, приходится регулированіе ставить подъ контроль регулятора, чтобы регулированіе производилось автоматически, причемъ здѣсь регуляторъ дѣйствуетъ на парораспредѣленіе *только* малаго цилиндра.

Пробовали ставить второй регуляторъ и на большомъ цилиндрѣ, но это оказалось неудобнымъ, ибо регуляторы никакъ не могутъ подладиться другъ къ другу.

Употребленіе многоцилиндровыхъ машинъ вызвано слѣдующими

ихъ удобствами: а) уменьшается сила, дѣйствующая по шатуну и штоку; б) паденіе и температуры и давленія пара сразу въ одномъ цилиндрѣ не такъ выгодно, какъ въ двухъ, постепенно.

При употребленіи паровыхъ машинъ системы Compound, двойного или тройного расширенія, необходимо заботиться не только о равенствѣ работъ, но также и о томъ, чтобы паденіе температуры пара въ каждомъ цилиндрѣ совершалось приблизительно на одну и ту же величину, такъ какъ при этомъ машина будетъ работать наиболѣе экономично.

Многоцилиндровыя машины Compound въ числѣмъ цилиндровъ полезнѣе расширенія болѣе 3 почти не встрѣчаются, такъ какъ съ увеличеніемъ числа цилиндровъ вводятся новыя вредныя сопротивленія; кромѣ того, уходъ за многоцилиндровой машиной значительно сложнѣе и сама машина дороже и тяжелѣе одноцилиндровой, выгодность же машины при дальнѣйшемъ увеличеніи числа цилиндровъ почти не увеличивается, напротивъ, бываютъ случаи, что такія машины даютъ даже меньшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія. Дѣло въ томъ, что въ дѣйствительности сумма отдѣльныхъ индикаторныхъ площадей не равной точно индикаторной площади идеальной одноцилиндровой машины, имѣющей то же расширеніе, а всегда меньше и разница тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ больше цилиндровъ (см. вначалѣ о степени полноты діаграммы).

Разсмотримъ теперь, какъ распределяются работы въ цилиндрахъ при уменьшеніи или увеличеніи отсѣчки, если площади при нормальной работѣ были приблизительно равны и регуляторъ измѣняетъ отсѣчку только въ маломъ цилиндрѣ.

Разсмотримъ сначала машину двойного расширенія. Пусть при нормальныхъ условіяхъ діаграмма будетъ имѣть видъ, представленный сплошной линіей на черт. 89. При уменьшеніи работы мы должны уменьшить отсѣчку, т. е. прекратить впускъ свѣжаго пара раньше, когда онъ заполнитъ лишь объемъ  $v'$ ; тогда расширеніе будетъ происходить по линіи  $e'e'$ , а не  $kk$ , какъ при нормальныхъ условіяхъ, и расширеніе въ маломъ цилиндрѣ кончится теперь въ точкѣ  $m'$ .

Въ общемъ, площадь діаграммы уменьшится на величину площади, заключенной между линіями  $e'e'$  и  $kk$ . Но уменьшеніе это главнымъ образомъ коснется площади діаграммы большого цилиндра. (Діаграмма для даннаго случая начерчена пунктиромъ — — — —).

Если увеличимъ наполненіе, то, какъ видно, площадь діаграммы увеличится, и опять-таки главнымъ образомъ на счетъ работы большого цилиндра. (На чертежѣ діаграмма эта начерчена пунктиромъ — · — · — · — · — ·).

Что касается машинъ тройного расширенія, то и здѣсь измѣненіе площади индикаторной діаграммы происходитъ главнымъ образомъ на счетъ большого цилиндра.

На черт. 90 сплошной линіей представлено распределеніе площадей при нормальныхъ условіяхъ; пунктиромъ — — — — — при меньшемъ наполненіи, а пунктиромъ — · — · — · — · — · при большемъ наполненіи противъ нормальнаго.

Наибольшая отсѣчка въ маломъ цилиндрѣ берется обыкновенно



около 0,5; правильнѣе—не больше 0,6 въ машинахъ безъ охлажденія и не больше 0,4 въ машинахъ съ охлажденіемъ. При бѣльшихъ величинахъ неравенство работъ въ цилиндрахъ будетъ очень значительно.

На практикѣ весьма часто отсѣчки въ среднемъ и большомъ цилиндрахъ берутся не такими, какъ предположено въ нашихъ діаграммахъ (гдѣ нѣтъ скачка при переходѣ пара изъ одного цилиндра въ другой), а иными; тогда въ діаграммахъ получаются скачки или паденія (черт. 91) давленій при переходѣ изъ цилиндра въ цилиндръ; при этомъ объемъ пара до отсѣчки въ среднемъ цилиндрѣ  $v'_1$  больше объема  $v_1$  малаго цилиндра, а объемъ пара до отсѣчки въ большомъ цилиндрѣ  $v'_2$  больше объема  $v_2$  средняго цилиндра (слѣдовательно, отсѣчки здѣсь болѣе позднія).

Благодаря сжатію пара, присутствію ресиверовъ съ конечнымъ объемомъ, мягію пара въ окнахъ и золотникахъ, вліянію вредныхъ пространствъ (которые различны въ разныхъ цилиндрахъ) и т. п. дѣйствительныя діаграммы, приведенныя къ условному общему вредному пространству имѣютъ видъ, представленный на черт. 92 и отношеніе суммы площадей ихъ къ площади теоретической діаграммы называется, какъ сказано раньше, степенью полноты.

Разумный выборъ системы и размѣровъ парораспредѣленія весьма сильно вліяетъ на повышеніе степени полноты.

## Детали паровыхъ машинъ.

### Паровой цилиндръ.

Конструкція парового цилиндра зависитъ отъ многихъ обстоятельствъ, какъ-то: будетъ ли машина одноцилиндровая или многоцилиндровая, горизонтальная или вертикальная; будетъ ли цилиндръ съ паровой рубашкой или безъ нея; конструкція цилиндра зависитъ также отъ парораспредѣленія. Принимая во вниманіе каждый разъ тѣ или иныя обстоятельства, нужно, соотвѣтственно имъ, придавать ту или другую форму цилиндру.

Не входя въ разсмотрѣніе различныхъ видовъ парового цилиндра, мы остановимся только на тѣхъ еоображеніяхъ, которые должно имѣть въ виду при проектированіи всякаго парового цилиндра, а также и его главныхъ деталей.

Поршень парового цилиндра представляетъ изъ себя обыкновенно цилиндрическое тѣло, имѣющее діаметръ нѣсколько менѣйшій внутренняго діаметра парового цилиндра и отливается изъ плотнаго ефраго чугуна, иногда изъ стали, или же штампуются изъ желѣза. Во избѣжаніе просачиванія пара, на поршень надѣваются два или три кольца (черт. 93). Наилучшимъ матеріаломъ для такихъ колець служитъ чугунъ, хотя встрѣчаются бронзовыя и стальные кольца. Надо замѣтить, что если бы цилиндръ имѣлъ форму, представленную на черт. 93, то

тогда внутренняя поверхность его изнашивалась бы неравномерно: средняя часть сдвигалась бы шире, нежели в концах, около крышек образовались бы выступы, как показано на черт. 93 пунктиром и при подтягивании вкладышей шатуна поршень стал бы набегать на выступы, производя толчки, вредно отзывающиеся на прочности цилиндра, а то и поломки его; кроме того, кольца, прижимающиеся к средней части цилиндра, которая вследствие истирания имеет больший диаметр, не могут быть вынуты вместе с поршнем через более узкую концевую часть. Имѣя въ виду эти обстоятельства, цилиндръ на концахъ разсверливаютъ съ большимъ диаметромъ, чѣмъ въ серединѣ (черт. 94). Чтобы стѣнки цилиндра этимъ не ослаблялись, онѣ должны въ этомъ мѣстѣ получить соответственные утолщенія снаружи. Вполнѣ правильное истирание цилиндра достигается тѣмъ, что крайнія поршневые кольца въ мертвыхъ положеніяхъ поршня немного переходятъ за выступы (свѣсь  $k$ , черт. 94).

Относительно раструбовъ, соединяющихъ среднюю и концевую части цилиндра, надо замѣтить, что образующая ихъ дѣлается болѣе или менѣе пологой: иногда уголъ  $\alpha$  (черт. 95) выбирается такъ, что  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{3}$ , при этомъ легче вставлять поршень, иногда же  $\alpha$  берется  $= 45^\circ$ .

Что касается свѣса, то нужно сказать слѣдующее: если ему дать очень большую величину, то парь, при положеніи поршня, указанномъ на черт. 94, заходя въ промежутокъ между стѣнкой цилиндра и кольцомъ, будетъ отжимать кольцо отъ стѣнки цилиндра и, такъ какъ сила нажатія колецъ на стѣнки при хорошей машинѣ не велика (на 1-цу поверхности она въ нѣсколько разъ меньше давленія пара), то свѣсъ долженъ быть возможно малъ, иначе кольцо будетъ сведено давленіемъ пара и произойдетъ просачиваніе. Обыкновенно просачиваніе можетъ уже произойти при величинѣ  $k = \frac{1}{5}$  до  $\frac{1}{6} h$ , а потому берутъ  $k =$  отъ 1 до 3 шп, никакъ не больше.

*Крышки* паровыхъ цилиндровъ иногда дѣлаются такъ, какъ показана на черт. 96 (съ цѣлью облегчить пригонку), но такъ дѣлать не слѣдуетъ, ибо черезъ это увеличивается *поверхность* вреднаго пространства, производящая начальную конденсацію пара и это можетъ причинить замѣтный перерасходъ пара, если высота  $z$  значительна. Вся внутренняя поверхность цилиндра и крышки должны быть тщательно выточены, иначе песокъ, пригорѣвшій при отливкѣ, быстро портитъ цилиндръ и кольца; крышка же должна быть плотно пригнана къ цилиндру; чтобы облегчить работу можно дѣлать у крышки двѣ рабочія поверхности  $m$  и  $p$  (черт. 97). Иногда дѣлаютъ (для уменьшенія вѣса) крышки пустотѣлыми (черт. 98) и тогда внутрь крышки можно пускать парь для обогрѣванія цилиндра, такъ что крышка составляетъ часть паровой рубашки. Чѣмъ больше диаметръ цилиндра по сравненію съ ходомъ, тѣмъ выгоднѣе обогрѣвать крышку, а при малой отсѣчкѣ иногда обогрѣваніе боковой поверхности цилиндра вовсе не приноситъ пользы и обогрѣваютъ однѣ лишь крышки (напр. нѣкоторыя машины американскихъ броненосцевъ).

Прочность больших крышек достигается посредством ребер (черт. 99) или же выпуклою формою крышек.

Относительно того, гдѣ ставить ребра у крышки, надо замѣтить слѣдующее: чугуны, какъ извѣстно, работаетъ не одинаково на растяженіе и на сжатіе, поэтому, если мы имѣемъ тавровую балку, то ее заставляютъ работать какъ показано на черт. 100. Крышка во время работы цилиндра находится въ положеніи балки, у которой верхнія волокна растянуты, а нижнія, внутреннія, сжаты; поэтому ребра у крышки слѣдовало бы, для ея легкости, располагать внутри цилиндра (черт. 101), но это неудобно, такъ какъ этимъ мы увеличиваемъ вредное пространство. Поэтому или дѣлаютъ вторую стѣнку, такъ что крышка выходитъ полою съ ребрами внутри; или же дѣлаютъ ребра снаружи, но обязательно тогда надо ихъ рассчитать. Если же сдѣлать ихъ безъ расчета, то этимъ иногда можно не только не усилить, но даже ослабить сѣченіе.

Расчетъ крышекъ см. у Баха въ „Деталяхъ машинъ“.

Толщина стѣнокъ парового цилиндра по данному диаметру его и давленіе пара можетъ быть опредѣлена по общей формулѣ для толщины стѣнокъ цилиндрическаго сосуда, т. е.

$$Dp = 2 \cdot \delta \cdot z; \text{ и } \delta = \frac{Dp}{2z}.$$

Для малыхъ цилиндровъ эти формулы даютъ слишкомъ малые размѣры и потому берутъ обыкновенно, принимая во вниманіе несовершенство отливки и послѣдующую переточку цилиндра послѣ того, какъ стѣнки его выбьются,

$$\delta = \frac{D}{50} + c \dots \text{ при вертикальной отливкѣ,}$$

$$\text{и } \delta = \frac{D}{40} + c \dots \text{ при горизонтальной отливкѣ,}$$

гдѣ  $c = 10 - 20$  мм. Ходовые размѣры для  $\delta = 18 - 25$  мм, при машинахъ среднихъ величинъ.

Толщина фланцевъ цилиндра (черт. 102) берется:

$$\delta_2 = \text{отъ } 1,2 \text{ до } 1,5 \delta,$$

а толщина переходной части

$$\delta_1 = \frac{\delta + \delta_2}{2}.$$

Диаметръ крышечныхъ болтовъ разчитывается на наибольшее давленіе пара на крышку, при чемъ напряженіе въ нихъ берется *не свыше 3 kg/qmm въ резьбѣ*, такъ какъ болты эти, для достиженія герметичности крышки, должны быть затянуты очень сильно. Разстояніе между болтами не должно быть больше 150 мм, иначе крышка можетъ пропарить. Поэтому, выбираютъ сперва число болтовъ, а диаметръ ихъ получаютъ изъ расчета на разрывъ.

#### Паровая рубашка.

При малыхъ цилиндрахъ наружная оболочка паровой рубашки не рѣдко отливается вмѣстѣ съ цилиндромъ; ихъ соединеніе между собой

достигается посредством нѣсколькихъ радіальныхъ реберъ, нѣсколько меньшей длины, чѣмъ цилиндръ, для того, чтобы оболочка могла свободно наполняться паромъ; или же они соединяются только по концамъ. При средней и большой величины цилиндрахъ предпочитаютъ оболочку отливать отдѣльно, при чемъ внутренней цилиндръ, являющійся рабочей поверхностью, отливается изъ болѣе крѣпкаго чугуна, чтобы онъ меньше изнашивался. Для герметичности мѣсть соединенія обыкновенно въ кольцеобразную щель (черт. 103) загоняютъ кольца изъ красной мѣди, которыя затѣмъ расчеканиваютъ.

Въ новѣйшее время нерѣдко, при тщательной пригонкѣ, внутренней оболочку (рабочую поверхность) плотно притачиваютъ къ цилиндру безъ всякихъ прокладокъ и вставляютъ нагрѣвши предварительно немного цилиндръ.

Для выпуска воды изъ цилиндра въ началѣ пуска въ ходъ машины или вообще по мѣрѣ ея накопленія имѣются самодѣйствующе пружинные клапаны (черт. 103<sub>bis</sub>, табл. 12), по два на каждомъ цилиндрѣ, а кромѣ того имѣются продувные краны, управляемые машинистомъ.

На каждомъ цилиндрѣ имѣются также трубки для крановъ индикатора на обоихъ концахъ цилиндра (индикаторное отверстіе имѣетъ обыкновенно діаметръ  $= \frac{1''}{2}$ ) и на каждомъ цилиндрѣ долженъ быть штуцеръ или бобышка для масленки, если не смазывается заранѣе самый паръ.

Цилиндръ и золотниковая или клапанная коробки иногда обмазываютъ снаружи теплонепроницаемой массой или же просто оставляютъ вокругъ нихъ слой воздуха и затѣмъ, въ томъ и другомъ случаѣ, покрываютъ одеждой или обшивкой изъ лакированного дерева, кровельнаго крашеннаго желѣза или же сѣро-голубой листовой вороненой стали (толщиною въ 1—2 mm). Последнее (сталь) теперь болѣе всего въ модѣ.

Что касается золотниковой коробки, то въ первыхъ паровыхъ машинахъ она отливалась отдѣльно, такъ что цилиндръ сообщался съ ней двумя отдѣльными трубками (черт. 104).

Теперь находятъ болѣе удобнымъ отливать золотниковую коробку въ одно цѣлое съ цилиндромъ, какъ показано на черт. 105. Въ этомъ случаѣ нѣсколько утолщенная часть стѣнки цилиндра, находящаяся внутри коробки, дѣлается плоской и служить *зеркаломъ*, по которому ходитъ золотникъ. Въ зеркалѣ дѣлается три канала (окна); изъ нихъ два узкихъ, боковыхъ, служатъ для впуска пара въ цилиндръ и выпуска его изъ цилиндра, а средній—для выпуска отработавшаго пара изъ-подъ золотника въ атмосферу или въ холодильникъ.

Форма боковыхъ каналовъ зависитъ отъ размѣра  $b$ , разстояніе же  $b$  къ свою очередь зависитъ отъ конструкціи коренныхъ подшипниковъ.

Сѣченія каналовъ на зеркалѣ, т.-е. самыя окна, должны имѣть вполне правильную форму; въ виду этого при отливкѣ они дѣлаются нѣсколько меньше самихъ каналовъ, чтобы можно было края ихъ обработать; такимъ образомъ самый каналъ всегда больше нежели окно, обыкновенно  $a_1 = a + (2-3)$  mm (черт. 105).

Что касается другого конца канала, выходящего въ цилиндръ, то понятно, его стараются отнестн какъ можно ближе къ концу цилиндра, чтобы уменьшить вредное пространство; а чтобы крышка не закрывала его, въ ней иногда дѣлается выемка (черт. 106). Такая крышка, при сборкѣ, по недосмотру рабочихъ можетъ быть поставлена неправильно (повернута) и тогда она цѣлымъ мѣстомъ закроетъ каналъ и прекратитъ доступъ пара въ цилиндръ; въ виду этого слѣдуетъ на флянцѣ цилиндра ставить особую шпильку, которая опредѣляла бы положеніе крышки или, что проще, дѣлать одинъ изъ болтовъ крышки толще другихъ.

Что касается зеркала, то главнымъ условіемъ является то, чтобы золотникъ при своемъ движеніи *заходилъ* за зеркало и свѣшивался съ него на нѣкоторую величину  $k$  (черт. 107), иначе зеркало, изнашиваясь, получитъ на концахъ выступы, которые могутъ повести къ опаснымъ поломкамъ.

Для поршня величина  $k$  (черт. 108), какъ было сказано раньше, очень мала, иначе паръ, давя на освободившуюся поверхность колець, сожметъ ихъ, нарушитъ герметичность поршня и можетъ повести къ поломкѣ колець. Для золотника же величина свѣса почти безразлична и опредѣляется изъ конструктивныхъ соображеній (величины коробки, длины золотника, величины хода его и др.).

Если ходъ золотника мѣняется, то желательно, чтобы при всѣхъ положеніяхъ золотникъ свѣшивался съ зеркала, что, однако, не всегда возможно, особенно въ золотникахъ Ридера и Полонсо, что и составляетъ одно изъ неудобствъ этихъ системъ.

Все вышесказанное относительно свѣса золотника относится, конечно, и къ цилиндрическимъ золотникамъ.

При распредѣленіи кранами Корлясса, коробка разбивается на 4 отдѣльныхъ коробки (черт. 109), причемъ онѣ могутъ быть отлиты въ одно цѣлое съ цилиндромъ, но иногда предпочитаютъ отливать ихъ отдѣльно отъ цилиндра попарно.

При клапанномъ распредѣленіи коробки для клапановъ отливаются вмѣстѣ съ цилиндромъ. (Подробности см. у Денпа, Хедера и Польгаузена).

Площадь каналовъ для прохода пара вычисляется слѣдующимъ образомъ:

1. При клапанномъ и Корлиссовскомъ распредѣленіяхъ, гдѣ для впуска и выпуска имѣются особые каналы и длина каналовъ не велика. опредѣляютъ ширину окна (при кранахъ Корлисса и др.) или площадь подъ клапаномъ (т.-е. высоту подъема клапана) такъ, чтобы средняя скорость входящаго въ цилиндръ пара была не больше 40 mt. (а лучше 30 mt.), а выходящаго—не больше 30 m. (а лучше 25—20) въ секунду. Поэтому, если  $v$  есть эта скорость,  $\varphi$  — площадь окна,  $F$  — площадь поршня и  $c$  — средняя скорость поршня, то по закону неразрывности струи:

$$\varphi v = Fc,$$

откуда

$$\varphi = F \cdot \frac{c}{v},$$

т. е. тѣмъ больше, тѣмъ больше  $c$ ; поэтому, въ быстроходныхъ машинахъ и бывають широкіи окна.

2. При золотникахъ, гдѣ одно и то же окно служить и для впуска и для выпуска к каналы длинныя, важно, чтобы треніе въ каналахъ не было велико, а потому и скорость  $w$  пара въ каналахъ не должна быть велика; она будетъ здѣсь одинакова для впуска и выпуска, и берется 25—30 мт., такъ что (черт. 110)

$$Fv = wf$$

и

$$f = F \frac{c}{w}.$$

Золотникъ обыкновенно открываетъ для впуска не все окно, а лишь часть его ширины  $a$  (обыкновенно  $0,75a$ , и даже  $0,5a$ , именно при распредѣленіи простымъ золотникомъ въ быстроходныхъ машинахъ), и потому  $v$  будетъ доходить до 30—40 мт., а иногда берутъ  $v$  и до 50 мт. При большемъ  $v$  паденіе давленія будетъ уже замѣтно.

Когда найдена площадь окна, то задаются однимъ размѣромъ и по площади  $\varphi$  или  $f$  вычисляютъ другой. При золотникахъ длину окна  $b$  берутъ отъ  $0,6 D$  до  $1,0D$ , гдѣ  $D$ —діаметръ цилиндра, и вычисляютъ

$$a = \frac{f}{b} \quad (\text{черт. 111}).$$

При клапанахъ задаются діаметромъ клапана  $d$  (обыкновенно  $d = c \approx \frac{1}{3} D$ ) и находятъ высоту подъема.

При кранахъ Корлисса  $b$  почти всегда равно  $D$ .

Если  $a$  выходитъ велико ( $> 50$  мм.), то окно раздѣляютъ на два, а то и на три, и получаютъ рѣшетчатый золотникъ, ходъ котораго вдвое или втрое меньше.

## Поршень.

Главное условіе при конструированіи поршня—его герметичность. Въ первыхъ машинахъ, при малыхъ давленіяхъ, герметичность достигалась набивкой изъ органическихъ веществъ, но въ современныхъ машинахъ съ высокимъ давленіемъ такая набивка не годится, и герметичность поршня достигается при помощи твердыхъ тѣлъ, обыкновенно бронзовыхъ или чугуновыхъ колець.

Нужно замѣтить, что прежде не могли обтачивать цилиндры правильно; получались неровности часто въ нѣсколько миллиметровъ; понятно, что при такихъ неправильныхъ цилиндрахъ могла употребляться только очень упругая и мягкая набивка. Теперь цилиндры обтачиваются очень правильно, а потому можно, и даже (благодаря высокимъ давленіямъ) должно употреблять твердые кольца.

Существуетъ масса конструкцій поршней, но самымъ употребительнымъ и простымъ является, такъ называемый, *шведскій* или *Рамботомскій* поршень съ обыкновенными самоиружиящими кольцами.

Самое тѣло поршня состоитъ изъ цѣльнаго куска, сплошнаго или полаго, съ коническимъ отверстиемъ для штока. Діаметръ его дѣлается нѣсколько меньше діаметра цилиндра; на поршнѣ имѣются выточки для колець (черт. 112).

Кольца (чугунныя или бронзовыя) дѣлаются нѣсколько большаго діаметра, нежели цилиндръ. Затѣмъ ихъ разрѣзаютъ, какъ показано на черт. 113 (1 и 2), причеиъ зазоръ  $\delta$  выбирается такимъ образомъ, что, когда кольцо втиснуто въ цилиндръ, концы его почти прикасаются другъ къ другу, и, такимъ образомъ, кольцо, будучи вставлено въ цилиндръ, нажимаетъ на его стѣнки.

Размѣры поперечнаго сѣченія кольца берутся въ зависимости отъ діаметра поршня, обыкновенно  $a = \frac{1}{2} b$  и даже меньше. Кольца съ квадратнымъ сѣченіемъ не годятся, такъ какъ они недостаточно упруги, чтобы ихъ можно было надѣть на поршень, и приходится дѣлать крышку поршня отъемной, что усложняетъ устройство и требуетъ болѣе тщательной работы.

По всей окружности кольцо или имѣетъ постоянные размѣры  $a$  и  $b$ , причеиъ, тогда нажатіе его на стѣнки не будетъ одинаковымъ по всей окружности, или же въ серединѣ толщина  $a$  наибольшая и убываетъ къ концамъ, причеиъ законъ утоненія можно выбрать такъ, что нажатіе вездѣ будетъ одинаково (см. у Баха и Unwin'a).

Многіе полагаютъ, что чугунныя кольца недостаточно упруги, чтобы обезпечить герметичность поршня, но такое предположеніе неосновательно, такъ какъ кольца не подвергаются (кроиъ развѣ того момента, когда они свѣшиваются въ концѣ хода) давленію пара, а потому сила, съ которой пружинитъ кольцо, можетъ быть гораздо меньше давленія пара. Такъ, если давленіе пара равно  $6 \text{ kg/cm}$ , кольцо можетъ прижиматься къ стѣнкѣ цилиндра лишь съ силой равной  $1 \text{ kg/cm}$ . Практика показываетъ, что простые поршни съ чугунными кольцами, если только послѣднія хорошо сдѣланы и діаметръ ихъ правильно выбранъ относительно діаметра цилиндра, работаютъ ничуть не хуже самыхъ сложныхъ и замысловатыхъ конструкций. Но, несмотря на это, появилась масса конструкций съ добавочными стальными пружинами, имѣющими цѣлью обезпечить герметичность поршня. На черт. 114 представлена конструкция со стальнымъ кольцомъ, заложеныиъ подъ чугунныя, которыя поставлены рядомъ.

Иногда сплошное кольцо замѣняютъ нѣсколькими отдѣльными пружинами, спиральными или въ видѣ рессоръ, какъ показано на черт. 115.

Во всѣхъ этихъ конетрукціяхъ крышка дѣлается отъемной, что усложняетъ работу, такъ какъ кольцевыя поверхности  $a$ ,  $b$  и  $c$  (черт. 114) должны быть хорошо пришабрены, чтобы не пропускать паръ.

Неудобства поршня съ кольцами слѣдующія: кольца должны быть плотно пригнаны къ поршню, но въ то же время не должны зацеиляться въ выточкахъ, что мѣшало бы имъ пружинить, а это трудно исполнить. Въ виду этого были предложены конструкции, гдѣ то и другое нажатіе

обеспечивается пружинами. Таковы конструкции, представленные на черт. 116 и 117.

Въ первой изъ нихъ пружина имѣетъ сложную форму съ овальными спиралями, а кольца имѣютъ выступы, въ которые пружина и опирается. Во второй—пружина имѣетъ тоже форму кольца изъ спирально согнутой проволоки и опирается на скошенный выступъ кольца, причемъ уголъ  $\alpha$  выбирается такимъ образомъ, чтобы получить надлежащія величины силъ  $P_1$  и  $P_2$ .

Все эти конструкции имѣютъ одинъ общій недостатокъ—сложность устройства. А насколько сложность устройства поршня неудобна и даже опасна, показываетъ масса примѣровъ изъ практики, нѣкоторые изъ которыхъ приведены въ книжкѣ Хедера «Большая паровая машина» (перев. А. И. Сидорова, съ дополненіями). Это обстоятельство, въ связи съ дороговизной сложныхъ поршней, заставляетъ и до сихъ поръ предпочитать обыкновенный шведскій поршень веѣмъ вышеупомянутымъ конструкціямъ.

Самое тѣло поршня дѣлается изъ чугуна, штампованнаго желѣза или стали. Въ малыхъ машинахъ поршень обыкновенно получаетъ форму короткаго цилиндра, сплошнаго или полога, какъ показано на черт. 118. Въ большихъ машинахъ для легкости онъ дѣлается въ видѣ колеса съ дискомъ (черт. 119), ступица котораго растачивается на конусъ для закрѣпленія штока. При большихъ давленіяхъ предпочитаютъ вмѣсто плоскаго диска, дѣлать его коническимъ (черт. 120), такъ какъ въ этомъ случаѣ дискъ выходитъ тоньше а поршень легче.

При послѣднихъ двухъ конструкціяхъ (черт. 119 и 120) крышка цилиндра должна имѣть форму, соответствующую поршню (черт. 120), чтобы вредное пространство не было слишкомъ велико.

Закрѣпленіе поршня на штокъ производится обыкновенно при помощи длиннаго пологаго конуса, но теперь часто дѣлаютъ конусъ короткій, крутой (черт. 121), съ угломъ раскрытія  $\alpha = 90^\circ$ , что гораздо лучше.

Штокъ поршня рассчитывается на растяженіе и сжатіе (продольный изгибъ) по извѣстнымъ формуламъ, но всегда берется нѣсколько толще, чтобы онъ не изгибался значительно (при горизонтальныхъ машинахъ). Онъ дѣлается изъ довольно твердой стали. Смазывать его лучше всего пуская на него по каплямъ масло передъ сальникомъ.

Въ *большихъ горизонтальныхъ* машинахъ штокъ пропускается сквозь обѣ крышки, чтобы поршень возможно меньше истиралъ низъ цилиндра и задній конецъ штока лежитъ на особомъ ползунѣ; такой штокъ рассчитывается такъ, чтобы стрѣла пригиба его была невелика.

### Ползунъ или крейцкопфъ.

Что касается ползуна, то сама по себѣ его конструкція не представляетъ ничего особеннаго; слѣдуетъ только замѣтить, что крейцкопфный болтъ надо помѣщать такимъ образомъ, чтобы вертикальная ела-



гающая силы давленія шатуна проходила бы чрезъ середину опорной поверхности ползуна, какъ на черт. 122.

Безусловно неправильной слѣдуетъ считать конструкцію, представленную на черт. 123 и встрѣчающуюся еще до сихъ поръ (напр. въ старыхъ паровозахъ Курской дороги), гдѣ шатунъ опирается на конецъ ползуна. Здѣсь сила  $P$  разлагается на силы  $Q$  и  $P_1$ ; приложивъ въ серединѣ ползуна двѣ силы равныя  $P_1$  и взаимно противоположныя, получимъ силу нажатія, проходящую чрезъ середину ползуна и опорной поверхности, которая даетъ равномерное напряженіе и, кромѣ того, пару съ плечомъ  $m$ , которая даетъ напряженіе, распределенное по закону прямой  $mn$ , такъ что конецъ  $N$  ползуна будетъ болѣе нажать, нежели конецъ  $M$ , и будетъ сильно истираться и заѣдать.

Что касается направляющихъ, то въ машинахъ, не мѣняющихъ хода, достаточно одной направляющей внизу или вверху, смотря по ходу машины; отъ подекакиванія же ползунъ удерживается небольшими планочками, какъ показано на черт. 124. Если же машина мѣняетъ ходъ, то необходимо дѣлать направляющія вверху и внизу.

### Рама или станина.

Въ первыхъ вертикальныхъ шахтныхъ машинахъ, а также въ машинахъ Уатта подшипники коромысла помѣщались на колоннахъ. Но такія колонны, при ихъ значительной длинѣ и маломъ основаніи, скоро расшатывались, что вело за собою сложную работу: укрѣпленіе колоннъ и вывѣрку подшипниковъ. Чтобы колонны не слишкомъ скоро расшатывались, ихъ укрѣпляли наклонными тягами. Если такія тяги дѣлались твердыми, то, очевидно, сама колонна становилась ненужной и получалась станина  $A$  — образная (черт. 126), каковыя теперь и употребляются.

Для горизонтальныхъ машинъ рама раньше дѣлалась въ видѣ четырехугольника коробчатого сѣченія; на ней на лапахъ устанавливался цилиндръ, затѣмъ направляющія и подшипники (черт. 127).

Такая рама подвергается растяженію и изгибу отъ момента съ плечомъ  $m$ . Рама эта неудобна тѣмъ, что требуетъ много копотливой работы: приходится отдѣльно устанавливать и вывѣрять оси цилиндра, направляющихъ и подшипниковъ, а чуть раму покоробитъ — вся работа пропала.

Гораздо удобнѣе рама, предложенная Корлиссомъ (черт. 128). Здѣсь направляющія имѣютъ цилиндрическую форму и отлиты въ одно цѣлое съ кореннымъ подшипникомъ; все это обрабатывается на специальномъ станкѣ, такъ что правильное положеніе осей обезпечено.

Цилиндръ прикрѣпляется къ рамѣ болтами и остается часто на вѣсу, такъ что можетъ свободно расширяться. Чтобы ось цилиндра совпала съ осью направляющихъ, Корлиссъ предложилъ слѣдующій ходъ работы: сначала разсверливаются направляющія и обтачивается выступъ на стѣнкѣ (крышкѣ) рамы, не снимая рамы со станка, такъ что ось выступа, благодаря заточкѣ  $I$  (черт. 129), точно совпадаетъ съ осью  $II$

(направляющихъ); затѣмъ обтачивается цилиндръ и въ немъ дѣлается выемка, соотвѣтствующая выступу на рамѣ; тогда ось выемки, благодаря заточкѣ III, въ которую плотно входитъ I, совпадаетъ точно съ осью IV (цилиндра). Если діаметръ выточки вполне соотвѣтствуетъ діаметру выступа, то совпадутъ и оси II и IV.

Такая рама, съ круглыми направляющими, называется *Корлиссовской, штыковой* или *байонетной* и въ настоящее время очень распространена, и только англичане упорно держатся прежней, плитообразной рамы.

Надо, однако, замѣтить, что при большихъ машинахъ байонетная рама часто оказывается недостаточно жесткой и слабо связанной съ фундаментомъ. Въ такихъ случаяхъ (напримѣръ, при ходѣ  $> 800$  мм., а также въ прокатныхъ и т. п. машинахъ) лучше, хотя это обходится и дороже, опирать раму на фундаментъ на всемъ протяженіи штыка (черт. 128<sup>bis</sup>), а въ еще болѣе тяжелыхъ случаяхъ опираютъ ее и подъ круглой трубой, служащей направляющими, такъ что рама вся лежитъ на фундаментѣ, соединяя тогда это достоинство англійской рамы съ удобствомъ обработки и центрировки Корлиссовской рамы. Такия рамы надо признать самыми надежными.

Въ паровыхъ машинахъ, горизонтальныхъ или слегка наклонныхъ, часто встрѣчаются желѣзные клепанья рамы.

Въ паровозѣ рама желѣзная, клепаная изъ литовъ (Европа) или свернутая изъ брусевъ (Америка).

Въ локомотивахъ раму иногда замѣняетъ самъ котелъ, который часто и страдаетъ изъ-за этого, благодаря постоянному дѣйствию растягивающей и сжимающей нагрузки, распатывающей швы.

### Рамы или станины вертикальныхъ машинъ.

Въ старыхъ вертикальныхъ машинахъ цилиндръ помѣщался внизу, а коренной валъ находился вверху (черт. 130). Подобное расположеніе затрудняетъ осмотръ движущихся частей, которыя при такомъ расположеніи находятся на значительной высотѣ, и все устройство выходитъ неустойчивымъ и дрожить. Поэтому начали дѣлать паровыя машины съ обратнымъ расположеніемъ частей. Раньше подобныя машины примѣнялись только въ морскомъ дѣлѣ для приведенія во вращеніе гребного винта, такъ какъ тамъ другое расположеніе очень затруднительно. Со временемъ, мало-по-малу, машины съ подобнымъ расположеніемъ частей наши себѣ примѣненіе и въ заводской практикѣ, преимущественно какъ быстроходныя машины для приведенія въ движеніе динамомашинъ, а въ настоящее время машины съ подобнымъ расположеніемъ частей строятся даже и прямо, какъ заводскія и фабричныя машины, ибо онѣ занимаютъ гораздо меньше мѣста и поршень не вытираетъ цилиндра. Теперь рама вертикальныхъ машинъ состоитъ по большей части изъ чугунной плиты (с), имѣющей соотвѣтственную форму и несущей на себѣ коренныя подшипники. Къ этой плитѣ привертывается чугунная ста-

нина  $A$  (пустотѣлая) съ направляющими для крейцкопфа; къ станинѣ сверху привертывается на флянцахъ или на лапахъ цилиндръ (черт. 131). Съ противоположной стороны цилиндръ поддерживается или станиной подобнаго же вида (черт. 131а и 131б), или колонной, чугунной полой или сплошной желѣзной. Послѣдніе два способа болѣе распространены, такъ какъ въ первомъ случаѣ, не говоря уже о значительномъ вѣсѣ чугунныхъ станинъ, движущіяся части почти недоступны для осмотра. При поддерживаніи же цилиндра желѣзной колонной, машина получается болѣе легкой, а, кромѣ того, всѣ движущіяся части находятся постоянно на виду.

Но при употребленіи желѣзныхъ колоннъ сначала часто замѣчалась сильная качка цилиндра, справа налево и наоборотъ, при каждомъ ходѣ поршня. Качанія эти бывали иногда настолько значительны, что наблюдались простымъ глазомъ. Понятно, что такая качка, мало того, что производить непріятное впечатлѣніе на лицъ, находящихся при машинѣ, но еще и сильно расшатываетъ скрѣпленія, а при значительной качкѣ можно ожидать и поломокъ. Явленіе качки происходитъ часто отъ неправильно выбранныхъ поперечныхъ сѣченій чугунной станины и желѣзныхъ колоннъ, и для ея уничтоженія необходимо обратить вниманіе на слѣдующее. Предположимъ, что ось цилиндра находится на разстояніяхъ  $a$  и  $b$  отъ линій центровъ тяжести поперечныхъ сѣченій обѣихъ колоннъ  $A$  и  $B$ . Для желѣзной колонны, форма которой обыкновенно круглая и цилиндрическая, подобная линія найдется точно, для чугунной же станины, имѣющей перемѣнное сѣченіе, лишь приблизительно.

При каждомъ ходѣ поршня внизъ и вверхъ давленіе пара будетъ передаваться на верхнюю или нижнюю крышку, а оттуда чрезъ лапы и болты на колонны и, наконецъ, на фундаментную плиту, гдѣ окончательно уравнивается той же силой (давленія пара), передаваемой поршнемъ, штокомъ, шатуномъ и кореннымъ подшипникомъ на ту же плиту. Такъ какъ обѣ эти силы направлены въ противоположныя стороны, то колонны будутъ подвергаться попеременно то растяженію, то сжатію. Такъ какъ длина колоннъ довольно большая, а также и напряженіе колоннъ довольно значительное, то удлиненіе ихъ достигаетъ иногда довольно значительной величины. Если бы колонны имѣли равное сѣченіе и построены были бы изъ одного и того же матеріала, а плечи  $a$  и  $b$  были бы равны, то цилиндръ то подымался бы, то опускался, но не качался бы въ стороны. Конечно, подобное поднятіе и опусканіе цилиндра не вліяетъ на крѣпость машины, а потому, хотя оно и будетъ, мы можемъ быть спокойны относительно крѣпости всей машины.

Посмотримъ, какъ уничтожить качку цилиндра, если станина у насъ изъ чугуна и сѣченіе ея  $= F$ , а колонна желѣзная, сѣченія  $f$  (черт. 131), и центры тяжести ихъ находятся на равномъ разстояніи отъ оси цилиндра, т.-е.  $a = b$ . Въ такомъ случаѣ сила, передаваемая на каждую колонну, будетъ  $\frac{P}{2}$ , гдѣ  $P$ —давленіе пара на крышку цилиндра.

При такомъ распредѣленіи силъ, чугунная колонна (станина) удлинится на

$$\lambda_F = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{F \cdot E_F} \cdot l,$$

гдѣ  $E_F$  — коэффициентъ упругости чугуна; желѣзная колонна удлинится на

$$\lambda_f = \frac{P}{2} \cdot \frac{1}{f \cdot E_f} \cdot l.$$

Чтобы не было качки, необходимо, чтобы удлиненія (а слѣдовательно и укороченія) были равны, т.-е.:

$$\lambda_F = \lambda_f.$$

Сравнивая эти величины и замѣчая, что

$$E_f = 2 E_F,$$

получимъ, какъ необходимое условіе устраненія качки,

$$F = 2f,$$

т.-е. *сѣченіе желѣзной колонны должно быть вдвое меньше сѣченія чугунной колонны (станины).*

Если ось цилиндра находится не на равномъ разстояніи отъ центровъ тяжестей обоихъ сѣченій, т.-е.  $a \neq b$  (случай на черт. 131), то сила, воспринимаемая чугунной колонной будетъ  $\frac{Pa}{a+b}$ , а желѣзной  $\frac{Pb}{a+b}$ . Эти силы вызовутъ соответствующія удлиненія:

$$\lambda_F = \frac{Pa}{a+b} \cdot \frac{1}{F E_F} \quad \text{и}$$

$$\lambda_f = \frac{Pb}{a+b} \cdot \frac{1}{f E_f}.$$

Приравнивая эти выраженія и сокращая, мы получимъ:

$$f = \frac{1}{2} F \cdot \frac{a}{b}.$$

Если теперь у насъ многоцилиндровая машина, то, благодаря различнымъ разстояніямъ чугунныхъ и желѣзныхъ колоннъ отъ оси цилиндровъ, и тому, что часто число желѣзныхъ колоннъ не равно числу чугунныхъ и, кромѣ того, давленія на всѣ порини не одинаковы, отношеніе площадей сѣченій колоннъ не можетъ быть найдено точно, а потому здѣсь обыкновенно ограничиваются приближеніемъ, стараюсь сдѣлать такъ, чтобы

$$\Sigma f = \frac{1}{2} \Sigma F.$$

Машины съ однѣми только желѣзными колоннами встрѣчаются главнымъ образомъ въ морскомъ дѣлѣ, хотя въ послѣднее время нѣкоторыя фирмы строятъ по типу пароводныхъ и постоянныя машины (напр. заводъ Шихау).

Такія (желѣзныя) станины должны быть хорошо расконены при помощи диагональныхъ связей, чтобы не было сильныхъ вибрацій слабой самой по себѣ станины. Правильное и рациональное расположеніе

этихъ связей представляетъ задачу далеко не легкую и для постоянныхъ машинъ эту систему нельзя рекомендовать.

Что касается нижней рамы, то ея конструкція не представляетъ ничего особеннаго. Единственное, на что надо обратить вниманіе — чтобы она достаточно сопротивлялась ломающему моменту отъ передающихся на нее силъ давленія пара въ цилиндрѣ.

### Коренной подшипникъ.

Перейдемъ теперь къ разсмотрѣнію коренного подшипника.

Въ настоящее время имѣется очень много разработанныхъ конструкцій коренного подшипника, такъ что подробный разборъ становится лишнимъ. При выборѣ конструкціи необходимо обращать вниманіе на то, проектируются ли вертикальная или горизонтальная машина, такъ какъ характеръ конструкціи сильно зависитъ отъ типа машины.

Если машина горизонтальная, то коренной подшипникъ имѣетъ обыкновенно вкладышъ, разрѣзанный на четыре части (черт. 132). При изнашиваніи и вообще при установкѣ, боковые вкладыши могутъ быть подвинуты на известную величину тѣмъ или другимъ приспособленіемъ. Если мы разсмотримъ всѣ усилія, передающіяся на вкладышъ при прямомъ или обратномъ ходѣ, то увидимъ, что равнодѣйствующая всѣхъ силъ будетъ направлена все время въ одну сторону, если маховикъ довольно тяжелъ, почему и будетъ срабатываться главнымъ образомъ одна часть.

Дѣйствительно, всѣ махового колеса  $G_x$  (черт. 131) дѣйствуетъ на вкладышъ внизъ, прижимая валъ къ нижнему вкладышу; усиліе, передающееся шатуномъ, будетъ дѣйствовать въ предѣлахъ небольшого угла  $\alpha$ , т.-е. близко къ горизонтали. Окружное усиліе на шкивѣ будетъ давить на вкладышъ въ сторону, отъ цилиндра или къ цилиндру. Если эта передача совершается не горизонтально, а наклонно вверхъ, то, сложивши всѣ силы по правилу многоугольника, мы увидимъ, что равнодѣйствующая ихъ будетъ почти горизонтальна, а иногда даже нѣсколько внизъ, и направлена всегда въ одну сторону; такимъ образомъ нѣтъ усилій, дѣйствующихъ на верхній вкладышъ, почему онъ могъ бы совсѣмъ отсутствовать безъ всякаго вреда для дѣла, но его обыкновенно дѣлаютъ для закрытія шейки отъ пыли, а также чтобы устроить смазку. Что касается діаметра болтовъ, удерживающихъ крышку, то онъ можетъ быть взятъ произвольно, лишь бы болты не были слишкомъ малы сравнительно съ другими частями. Изнашиваются же: нижній вкладышъ отъ вѣса маховика и вала и боковые — отъ давленія пара и натяженія ремня или канатовъ.

Что касается вертикальныхъ машинъ, то здѣсь равнодѣйствующая  $P$  давленія пара и силъ инерціи дѣйствуетъ главнымъ образомъ вверхъ и внизъ, причѣмъ давленіе вверхъ воспринимается всегда болтами верхней крышки. Поэтому каждый болтъ рассчитывается на силу  $P$ , дѣленную

на число болтовъ, допуская напряженіе на разрывъ  $\approx \frac{1}{3} - 3,5 \text{ kg/qmm}$ . (см. «Большую паровую машину» Хедера, въ дополненіяхъ).

При вертикальныхъ машинахъ коренной подшипникъ имѣетъ вкладышъ, разрѣзанный на 2 части и крышка подшипника дѣлается болѣе солидною, чѣмъ въ горизонтальной машинѣ (черт. 134) и *обязательно* рассчитывается на изгибъ. Вообще всѣ части кореннаго подшипника во всякой машинѣ д. б. рассчитаны, ибо здѣсь дѣйствуютъ огромныя силы.

### Коренной валъ.

Коренной валъ рассчитывается на сложный моментъ (изъ изгибающаго отъ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ на валъ, и изъ крутящаго момента  $M_t = P\rho$  — гдѣ  $\rho$  — плечо силы въ данный моментъ).  $M_t$  нельзя вычислять по формулѣ  $M_t = 716200 \frac{N}{n}$ , такъ какъ эта формула служитъ для вычисленія *средняю* крутящаго момента, для расчета же необходимо взять максимум, т.-е., если у насъ въ началѣ впуска будетъ давленіе пара на примѣръ въ 8 atm., а среднее индикаторное давленіе равно 3 atm., то расчетъ надо вести такъ, какъ будто все время у насъ въ цилиндрѣ имѣется давленіе въ 8 atm. Что же касается напряженія на изгибъ, то его берутъ въ шейкѣ кореннаго подшипника около 7 kg/qmm., чтобы она была тоньше, а потеря на треніе въ ней — весьма значительная — возможно меньше; размѣры же получаются по формулѣ Сень-Венана, т.-е. по сложному моменту.

Въ средней части вала, гдѣ нуженъ по возможности малый прогибъ, иначе маховикъ будетъ *бить*, берутъ напряженіе не больше 3 — 3,5 kg/qmm. (черт. 135).

При расчетѣ вала, для опредѣленія давленія на него отъ канатной передачи обыкновенно принимаютъ, что каждый канатъ даетъ силу давленія на валъ  $= 3Q$ , гдѣ  $Q$  — окружное усиліе. Но при расчетѣ вала паровой машины берутъ большее давленіе, такъ какъ концы каната сплетаются при сильной затяжкѣ. Обыкновенно принимаютъ, что вызываемое однимъ канатомъ давленіе на валъ равно отъ 1000 до 2000 kg., т.-е. при  $i$  канатахъ (черт. 136) берутъ  $K =$  отъ 1000  $i$  до 2000  $i$  (въ килограммахъ).

### Расчетъ колѣнчатаго вала.

Очень часто паровая машина имѣетъ колѣнчатый валъ. Этотъ валъ обыкновенно употребляется въ томъ случаѣ, если машина, особенно вертикальная, имѣетъ нѣсколько цилиндровъ; въ этомъ случаѣ трудно избѣжать его.

Такъ какъ расчетъ колѣнчатаго вала часто представляется студентамъ нѣсколько неяснымъ, то мы приводимъ его здѣсь подробнѣе.

Пусть (черт. 137)  $A$  и  $B$  будутъ опоры и ихъ реакціи равны  $P_1$  и  $P_2$  (валъ начерченъ въ перспективѣ), разстоянія отъ середины опоръ до начала колѣна —  $a$  и  $b$ ;  $\rho$  — разстояніе между центромъ вала и центромъ шина колѣна (радіусъ колѣна).

Для расчета не согнутой части вала берутъ сѣченіе I на разстояніи  $x$  отъ середины опоры и находятъ для этого сѣченія сгибающій моментъ.

$$M_b = P_1 x.$$

Для расчета щеки или колѣна берутъ сѣченіе II на разстояніи  $y$  отъ оси вала, переносятъ силу  $P_1$  на конецъ колѣна (пунктиръ на черт. 137) и получаютъ сгибающій моментъ  $M_b$  и крутящій  $M_t$ :

$$M_b = P_1 y \text{ и } M_t = P_1 a,$$

т.е. при поворотѣ плоскости сѣченія на  $90^\circ$  сгибающій моментъ дѣлается крутящимъ. Дѣйствительно, въ послѣдней точкѣ прямой части вала наибольшій сгибающій моментъ  $M_b = P_1 a$ , а въ согнутой части тотъ же моментъ является крутящимъ.

Если возьмемъ сѣченіе III на концѣ колѣна, то:

$$M_b = P_1 \rho \text{ (max.)}, \text{ а } M_t = P_1 a.$$

Беремъ сѣченіе IV у основанія шейки, здѣсь

$$M_b = P_1 a \text{ и } M_t = P_1 \rho,$$

т.е. опять при поворотѣ плоскости сѣченія на  $90^\circ$  сгибающій моментъ обращается въ крутящій и наоборотъ.

Въ сѣченіи V на самой шейкѣ, не доходя до середины ея,

$$M_b = P_1 (a + z) \text{ и } M_t = P_1 \rho.$$

Если будемъ увеличивать  $z$ , то  $M_b$  будетъ возрастать и достигнетъ своего maximum'a въ серединѣ шейки, при  $z = \frac{l}{2}$  а  $M_b$  все время остается безъ перемѣны, поэтому, въ серединѣ шейки,

$$M_b = P_1 \left( a + \frac{l}{2} \right) \text{ и } M_t = P_1 \rho.$$

По этимъ моментамъ и вычисляютъ размѣры вала, по сложному моменту изъ  $M_b$  и  $M_t$ .

Если бы мы брали сѣченія и дальше середины шейки, то, вычисляя моменты справа, получили бы подобныя же уравненія.

Въ виду нѣкоторой сложности вычисленія колѣнчатого вала, на практикѣ всѣ его размѣры, кромѣ діаметра шейки, вычисляемаго изъ ур. крѣпости, берутъ обыкновенно по эмпирическимъ формуламъ, такъ какъ, при самыхъ разнообразныхъ случаяхъ колѣнчатыхъ валовъ, отношенія между ихъ размѣрами не выходятъ изъ извѣстныхъ узкихъ предѣловъ, именно, если  $d$  діаметръ шейки, то ширина колѣна

$$b = \text{отъ } 1,1 d \text{ до } 1,2 d,$$

а толщина

$$\delta = \text{отъ } 0,6 d \text{ до } 0,7 d \text{ (черт. 138).}$$

Что касается до размѣра  $k$ , то его не слѣдуетъ дѣлать равнымъ 0, а надо дать хоть небольшую величину (напр.  $\frac{1}{10} d$ ), такъ какъ въ случаѣ  $k = 0$  [черт. 139, I] выкручиванію сопротивляется только половина окружности, а при существованіи размѣра  $k$  [черт. 139, II]—вся окружность.

Относительно способовъ изготовленія колѣнчатого вала можно замѣтить, что для малыхъ манинъ онъ получается изъ круглаго желѣза, которое изгибается въ требуемую форму (черт. 140), а для большихъ получается отливкой и отковкой изъ одного куска (черт. 141). Если диаметръ вала великъ, то его дѣлають составнымъ изъ частей и полымъ, чтобы уменьшить его вѣсъ, а иногда его внутреннимъ каналомъ пользуются для охлажденія шеекъ, пропуская чрезъ него воду или токъ воздуха (черт. 142). Подобные валы получили распространеніе въ морскомъ дѣлѣ.

Расчетъ многоколѣнчатыхъ валовъ производится приближенно, считая, что валъ разрѣзанъ на части въ каждой опорѣ между колѣнами; найдя диаметръ наибольшей шейки, размѣры  $b$  и  $\delta$  берутъ какъ указано.

### С м а з к а .

Прежде, когда число оборотовъ машинъ было весьма незначительно, достаточно было на каждой движущейся части имѣть масленку, которая и наполнялась во время остановки машины масломъ. Въ случаѣ нужды возможно было добавлять масла и во время хода машины, благодаря именно небольшой скорости, хотя такое добавленіе во время хода всегда было сопряжено съ извѣстнымъ рискомъ для маниниста. При большой скорости смазка должна быть болѣе обильной и, кромѣ того, она уже невозможна на ходу. Поэтому въ настоящее время въ большомъ употребленіи такъ называемая *центральная* смазка. Она заключается въ слѣдующемъ: гдѣ-нибудь, на сравнительно большой высотѣ, имѣется сосудъ, наполненный масломъ. Отъ этого сосуда идутъ ко всѣмъ движущимся частямъ трубочки съ кранами (черт. 143), позволяющими регулировать притокъ смазки. Трубочка  $a$  оканчивается выпускнымъ отверстіемъ, на которомъ и собирается капля масла, которая затѣмъ посредствомъ того или другого приспособленія (слизываетеля) и передается на трущуюся часть по трубочкамъ  $b$ . Масло, попавъ на работающія части, распространяется по всей поверхности, благодаря прищипанію, такъ что давленіе, подъ которымъ вводится масло равно нулю.

Въ недавнее время начали встрѣчаться способы смазки, гдѣ масло вводится на трущуюся часть подъ давленіемъ (машины Беллиса въ Англии, *forced lubrication*). Конечно, здѣсь трубочки соединяются между собой подвижными но герметическими сочлененіями. Что касается давленія, подъ которымъ подводится масло, то его нѣтъ надобности имѣть больше  $k$ , т.-е. напряженія на изнашиваніе, какъ казалось бы на первый взглядъ. Въ самомъ дѣлѣ, разъ удовлетворительно смазываются части при давленіи  $p = 0$ , то мы можемъ быть спокойны, если будемъ подводить масло подъ давленіемъ  $p = \frac{1}{4} - \frac{1}{6} k$  и даже  $\frac{1}{10} k$ , а между тѣмъ, благодаря такой смазкѣ, улучшается сильно работа машинъ, уменьшается треніе, изнашиваніе и нагрѣваніе. На черт. 143bis показанъ способъ смазки шейки колѣнчатого вала, весьма хорошій и очень распространенный теперь.



### Быстроходныя паровыя машины.

Вопросъ о быстроходныхъ паровыхъ машинахъ возникъ съ развитіемъ электротехники. Когда начали строить динамо-машины, то оказалось, что для приведенія ихъ въ движеніе требуется большая скорость, вслѣдствіе особенностей работы динамомашинъ. Съ другой стороны, явилась необходимость имѣть весьма равномерный ходъ, на что особенно приходится обращать вниманіе при электрическомъ освѣщеніи, гдѣ малѣйшая неравномерность хода машины вызываетъ извѣстное явленіе дрожанія свѣта, такъ какъ напряженіе тока есть функція числа оборотовъ,  $E=f(n)$ , а яркость есть функція напряженія тока. Поэтому здѣсь, чтобы облегчить вѣсъ маховика, пришлось дать машинѣ большое число оборотовъ, такъ какъ извѣстно, что вѣсъ маховика обратно пропорціоналенъ квадрату числа оборотовъ машины.

Наконецъ, третьимъ факторомъ, послужившимъ къ развитію быстроходныхъ машинъ, явилось усиленіе флота миноносками. Скорость миноносокъ доходить до 50 верстъ въ часъ; чтобы развить такую скорость, пришлось ставить въ небольшомъ сравнительно пространствѣ, представляемомъ миноноской, сильныя паровыя машины; а такъ какъ работа машины зависитъ отъ скорости поршня, то здѣсь опять пришлось имѣть дѣло съ увеличеніемъ скорости паровыхъ машинъ. Существующія машины на миноноскахъ дѣлаютъ до 400—500 оборотовъ въ минуту.

При конструированіи быстроходныхъ паровыхъ машинъ слѣдуетъ обратить вниманіе на стукъ, производимый ими; извѣстно, что чѣмъ быстрее идетъ машина, тѣмъ сильнѣе стукъ, поэтому надо выяснитъ причины, порождающія его. Главнымъ зломъ въ этомъ случаѣ является инерція движущихся массъ.

Извѣстно, что если центръ тяжести вращающагося тѣла лежитъ на геометрической оси вала и если одна изъ свободныхъ осей вращенія совпадаетъ съ осью вала—то нѣтъ никакихъ боковыхъ давленій на валь; въ противномъ случаѣ появляются сила и пара (черт. 144), по которымъ и надо разчитывать валь и его опоры.

Чтобы найти давленія между движущимися тѣлами (черт. 145), нужно, по началу Даламбера, представить движущуюся систему остановленной и прибавить, кромѣ силъ, ее движущихъ ( $P, Q, K, \dots$ ) еще всѣ силы инерціи, соотвѣтствующія данному моменту времени ( $N', N''$  и  $N'''$ ) (черт. 145); силы инерціи, какъ извѣстно, зависятъ отъ ускоренія,  $N = mj$ .

Если мы теперь разсмотримъ систему поршня, крейцкопфа и шатуна, то, чтобы найти здѣсь давленія между движущимися частями, мы, кромѣ давленія пара  $P$ , должны принять во вниманіе силы инерціи; а такъ какъ скорость поршня есть величина переменная (она представляется графически кривой  $ABC$ , черт. 146) и ускореніе тоже величина переменная (кривая  $jjj$ ), то, слѣдовательно и полное давленіе по частямъ передаточнаго механизма будетъ все время мѣняться.

Разчитывать машину, конечно, надо на наибольшее давленіе.

Парораспределение въ быстроходныхъ паровыхъ машинахъ обыкновенно золотниковое; регуляторъ часто бываетъ плоскій, сидящій на главномъ валу машины.

Самый характеръ ухода за машиной съ появленіемъ быстроходныхъ машинъ измѣнился: раньше обыкновенно машинистъ смазывалъ машину на ходу, что при быстроходныхъ машинахъ невозможно, а потому здѣсь смазка всегда автоматическая.

Слѣдуетъ еще замѣтить о вліяніи силъ инерціи на фундаментъ машины. Въ горизонтальныхъ машинахъ силы инерціи не отражаются замѣтно на фундаментъ; совсѣмъ другое дѣло въ вертикальныхъ машинахъ. Здѣсь появляющаяся пара еилъ (черт. 147) раскачиваетъ фундаментъ и если фундаментомъ служитъ корпусъ судна, то появляются сотрясенія, конечно, непріятныя для пассажировъ, на немъ находящихся; эти вибраціи бываютъ иногда такъ сильны, что пассажиры бросаютъ неудачно построенный пароходъ, который тогда пускаютъ для товарнаго движенія.

Чтобъ ослабить шіяніе силъ инерціи на фундаментъ, устраиваютъ противовѣсы.

До сихъ поръ еще не установлено, чѣмъ опредѣлять быстроходность машины: скоростью ли, или числомъ оборотовъ. Правильнѣе опредѣлять быстроходность числомъ оборотовъ машины.

При конструированіи машины съ большимъ числомъ оборотовъ надо имѣть въ виду, что здѣсь изнашиваніе всѣхъ частей машины идетъ быстрѣе, чѣмъ въ тихоходныхъ машинахъ, а потому допускаемыя напряжения на изнашиваніе берутся меньше, чѣмъ въ обыкновенныхъ машинахъ.

Нагрѣваніе всѣхъ трущихся частей тоже больше, а потому и размѣры ихъ больше и обязательно всѣ части должны быть провѣрены на нагрѣваніе. Съ другой стороны—большая скорость машины обуславливаетъ и болѣе быстрое охлажденіе всѣхъ движущихся частей, такъ какъ, послѣднія, быстро разсѣвая воздухъ и образуя около машины сильный токъ, скорѣе и чаще приходятъ въ соприкосновеніе съ холодными слоями воздуха; это, конечно, должно имѣть въ виду при проектированіи машины. Въ паровозахъ получается весьма энергичное охлажденіе, а потому напряженіе на нагрѣваніе допускается даже больше, чѣмъ въ обыкновенныхъ машинахъ (см. Атласъ деталей машинъ, табл. 61).

Для смазки быстроходныхъ машинъ надо употреблять *исключительно* чистое масло; масло, разъ профильтрованное, уже *не юдится*.

Теперь обратимся къ стуку быстроходныхъ машинъ и рассмотримъ причины его вызывающія.

Стукъ въ машинѣ обуславливается наличностью двухъ условій: 1) кинематическія пары не вполне точны геометрически; приходится во всѣхъ подвижныхъ частяхъ оставлять зазоры, иначе будетъ огромное треніе и 2) для появленія стука въ машинѣ нужно, чтобы между подвижными частями давленіе мѣняло и величину и направленіе.

Ударъ въ паровой машинѣ можетъ произойти преимущественно въ

трехъ частяхъ шатуннаго механизма; самый сильный ударъ получается въ пальцѣ кривошипа; мы на немъ и остановимся.

Кривошипъ вращается съ постоянной угловой скоростью (черт. 148),  $\omega = \text{const.}$

Давленіе на поршень, а слѣдовательно и сила давленія на шатунъ таковы, что на нѣкоторой дугѣ  $\varphi_0$  давленіе головки шатуна на палецъ — ускорительное; затѣмъ давленіе это быстро падаетъ, движеніе шатуна замедляется, кривошипъ же по инерціи продолжаетъ вращаться съ той же скоростью, а потому въ нѣкоторой точкѣ I шатунъ начинаетъ отставать отъ пальца кривошипа, сила давленія между ними  $= 0$ ; въ пространствѣ получаются два тѣла ни чѣмъ не связанныя, какъ это замѣтно въ точкѣ II (зазоръ для ясности на чертежѣ сильно преувеличенъ). Это отставаніе, при послѣдующемъ движеніи, становится все больше и больше и наконецъ въ какой нибудь точкѣ III. III' или III'' произойдетъ ударъ пальца въ *правую* часть головки и, при послѣдующемъ движеніи, давленіе будетъ производиться кривошипомъ, палецъ будетъ тащить шатунъ и дотащить его до конца хода, если ударъ произошелъ въ точкѣ III'. Относительно того, *идь* произойдетъ ударъ, надо замѣтить, что, въ зависимости отъ величины массъ и скорости, онъ можетъ произойти и въ мертвой точкѣ III и передъ ней—III' и за ней—III''; который изъ этихъ случаевъ лучше—еще не рѣшено. Радингеръ говоритъ, что самое лучшее, когда ударъ въ мертвой точкѣ, другіе ученые наоборотъ, утверждаютъ, что чѣмъ дальше отъ мертвой точки произойдетъ ударъ, тѣмъ лучше, и послѣднее мнѣніе, кажется, правильнѣе, а потому лучше избѣгать удара въ мертвой точкѣ.

Остальные два удара, въ крейцкопфномъ болтѣ и въ параллеляхъ, произойдутъ не въ одно время съ ударомъ на пальцѣ кривошипа, такъ какъ относительное движеніе шатуна и поршня со штокомъ иное, а потому въ машинѣ будутъ слышны три удара, но, какъ уже было сказано, самый сильный изъ нихъ будетъ ударъ на пальцѣ кривошипа.

Одна изъ причинъ удара—слишкомъ большая скорость, слишкомъ большія силы инерціи; чѣмъ больше величина зазора между подвижными частями, тѣмъ большую скорость и большую живую силу приобрѣтаютъ массы при относительномъ движеніи шатуна и пальца отъ точки I до точки III, а потому зазоръ не долженъ быть чрезмѣрнымъ. На нѣкоторыхъ заводахъ величина зазоровъ выработана практикой; она и принимается въ расчетъ при конструированіи.

Чтобъ ослабить вліяніе силъ инерціи, устриваютъ, какъ было сказано, противовѣсъ G (черт. 149), но не слѣдуетъ забывать, что этотъ противовѣсъ ничуть не устраниетъ удара *внутри* механизма, онъ только уничтожаетъ вліяніе силъ инерціи на *внѣшнюю* часть машины (раму, фундаментъ и т. д.).

## Главные руководящие принципы при устройствѣ быстроходныхъ машинъ.

### 1. Скорость пара въ паровыхъ каналахъ и трубахъ.

Скорость эта не должна превосходить извѣстнаго предѣла, иначе будетъ слишкомъ большая потеря давленія. Обыкновенно, скорость пара въ трубахъ и паровыхъ каналахъ цилиндра берется отъ 30 до 40 mt. въ сек., а въ отверстіи, открываемомъ золотникомъ \*), при неполномъ открытіи окна можно брать до 50 mt. въ секунду. Кромѣ потери давленія, большая скорость пара нехороша еще и тѣмъ, что при весьма большомъ числѣ ходовъ поршня (до 1000 въ минуту) происходитъ столько же отсѣчекъ и столько же разъ масса пара, между золотникомъ цилиндра и началомъ паропроводной трубы у котла, приходитъ въ состояніе покоя и опять бросается впередъ съ весьма большой скоростью (свыше скорости курьерскаго поѣзда). Несмотря на малую плотность пара, нѣсколько сотъ ударовъ въ минуту, причиняемыхъ остановками массы пара въ трубахъ, при скорости свыше 40—50 mt. въ сек., могутъ повлечь за собою сильныя дрожанія паропровода, сотрясенія машины, а возможно также, что и поломки.

Сказанное здѣсь относится и къ выпуску пара.

2. При проектированіи и установкѣ парораспределенія надобно наблюдать, чтобы имѣлись *большія предваренія впуска и выпуска*, иначе запаздываетъ наступленіе давленія, требуемаго нормальной диаграммой, а такое запозданіе вредитъ плавности хода и можетъ иногда быть причиною стука.

3. *Сжатіе* пара должно быть довольно значительно, иначе могутъ появиться удары и стукъ въ машинѣ.

4. *Изнашиваніе и нагрѣваніе трущихся частей*. Въ быстроходныхъ машинахъ, вълѣдствіи значительнаго числа оборотовъ \*), всѣ кинематическія пары быстрѣе изнашиваются и легче могутъ загорѣться, а потому на эти пункты должно быть обращено особенное вниманіе и конструктора и механики.

*Конструкторъ* долженъ имѣть въ виду слѣдующее:

I. *Относительно напряженія изнашиванія k*. Опыты показываютъ, что при давленіи на 1 qmm, большемъ нежели 1 kg. т.-е. при напря-

\*) Слѣдуетъ еще упомянуть, что не только *величина* площади прохода имѣетъ значеніе, но также и *форма* ея. Въ очень длинныхъ и узкихъ окнахъ происходитъ особенно сильное мятіе пара (wiredrawing, проволочиваніе) и, напр., окно съ размѣрами: длина  $b = 500$  mm. и ширина  $a = 10$  mm. никуда не годится, почему на практикѣ обыкновенно берутъ  $b \leq 10a$ .

\*\*\*) Надо сказать еще разъ, что понятіе о быстроходныхъ машинахъ довольно туманно. Иногда считаютъ быстроходной машину, имѣющую большую *скорость* поршня (что спеціально подчеркнуто Радингеромъ въ заглавіи его книги); иногда же считаютъ быстроходной машину, если она дѣлаетъ много *оборотовъ* (такъ, около 200 и болѣе въ минуту). Последнее, по-нашему, вообще правильнѣе, хотя въ нѣкоторыхъ отношеніяхъ имѣетъ значеніе не число оборотовъ, а именно скорость.

жеши изнашивація  $k = 1 \text{ kg/qmm.}$ , смазка уже совершенно вытѣсняется изъ зазора между элементами пары, и они работают насухо. Наоборотъ, при напряженіи  $k$  меньшемъ  $0,04 \text{ kg/qmm.}$  смазка *вовсе не вытѣсняется* изъ зазора и трутся не элементы пары, а два слоя масла, прилипающіе къ нимъ и облегающіе ихъ. Добавлять смазку при этомъ не надо и изнашивація *вовсе* не происходитъ. Поэтому надобно избѣгать напряженія изнашиванія въ  $1 \text{ kg/qmm.}$ , и гдѣ вовсе нельзя допустить износа частей, брать  $k < 0,03 - 0,04 \text{ kg/qmm.}$

Въ быстроходныхъ машинахъ нужно брать  $k$  вездѣ возможно меньше, поближе къ предѣлу  $0,04$ . Но такъ какъ это невозможно, ибо получатся громадные размѣры частей, то напряженіе  $k = 0,03 \text{ kg/qmm.}$  берутъ только тамъ, гдѣ износъ дѣйствительно недопустимъ, именно въ *башмакахъ ползуна* и въ *шарнирахъ (валкахъ) парораспределенія*. Относительно выбора  $k$  для другихъ частей механизма (шеекъ коренного вала, пальца кривошипа, крейцкопфнаго болта и пр.) слѣдуетъ замѣтить, что если нагрузка *переменная* (мѣняетъ направленіе), то можно брать  $k$  *больше*, чѣмъ при постоянной нагрузкѣ, на томъ основаніи, что во время переменны давленія вытѣсненное нѣсколько масла имѣетъ время опять заполнить зазоръ, чего нѣтъ при постоянной нагрузкѣ. Кроме того, величину  $k$  можно брать тѣмъ больше, чѣмъ меньшій путь проходятъ другъ по другу трущіяся части за одинъ оборотъ машины. Поэтому-то въ крейцкопфномъ болтѣ берется напряженіе больше чѣмъ въ пальцѣ кривошипа, а въ обѣихъ этихъ деталяхъ больше, чѣмъ въ шейкѣ коренного вала.

II. Относительно *нагрѣванія*. При движеніи двухъ частей другъ по другу, почти вся работа тренія превращается въ теплоту, которая вызываетъ повышеніе температуры ихъ и затѣмъ начинаетъ уходить въ окружающую среду въ видѣ лучистой теплоты. Необходимо устроить такъ, чтобы безъ особенно сильнаго повышенія температуры (не выше  $40 - 50^{\circ}$  Цельсія) *вся* развивающаяся теплота успѣвала уходить въ воздухъ. Для этого, при данной разности температуръ воздуха и детали, напр. шипа, необходима извѣстная поверхность охлажденія, а слѣдовательно существуетъ извѣстное предѣльное количество работы тренія, приходящейся на  $1 \text{ qmm.}$  трущейся поверхности, эквивалентная которому теплота успѣетъ уйти. При обыкновенныхъ условіяхъ количество это равно около  $0,01 \text{ kqmm.}$  въ сек. на  $1 \text{ qmm.}$  трущейся поверхности. Въ зависимости отъ энергичнаго охлажденія и сильной циркуляціи воздуха можно брать и большія величины (паровозъ). При опредѣленіи размѣровъ трущейся поверхности двухъ деталей (напр. шипа и вкладыша), необходимо получить величину ея и изъ расчета на изнашиваніе, и изъ расчета на нагрѣваніе и взять большую величину; если ее придется брать по расчету на нагрѣваніе, то напряженіе изнашивація будетъ меньше допущеннаго, что и подавно хорошо.

Величины допускаемыхъ напряженій изнашивація и допускаемой работы тренія для различныхъ паровыхъ машинъ (нормальныхъ, быстроходныхъ, паровозныхъ и парходныхъ) подробно приведены на 61 таблицѣ

выпущеннаго проф. А. И. Сидоровымъ съ дополненіями 3-го изданія «Атласа конструктивныхъ чертежей деталей машинъ» проф. П. К. Худякова \*).

*И конструкторъ и механикъ*, ходящій за машиной, должны имѣть въ виду слѣдующее. Детали, трущіяся другъ по другу, хотя бы онѣ были рассчитаны правильно на изнашивание и нагрѣваніе, *могутъ вдругъ*, иногда чрезъ нѣсколько лѣтъ работы, загорѣться и истереться, благодаря вмѣшательству *случайныхъ* враждебныхъ причинъ, именно:

I. *Отъ нечистоты въ трущихся поверхностяхъ*, грязной смазки, пыли, попавшей изъ воздуха. Для избѣжанія этого необходимо употреблять чистую смазку и содержать машину въ чистотѣ. Употреблять, какъ уже сказано, въ дѣло разъ уже бывшее въ употребленіи, *хотя бы и профильтрованное*, масло, не рекомендуется въ быстроходныхъ машинахъ, въ особенности для пальца кривошипа и шеекъ кореннаго вала, гдѣ это прямо опасно. Фильтрованное же масло можетъ итти для приводовъ, станковъ и т. п.

Чтобы защитить машину отъ нечистоты и пыли воздуха, ее полезно закрыть по возможности; если по близости имѣются цементные и т. п. заводы, то надо прямо поставить машину подъ стеклянный колпакъ или клѣтку и нагнетать въ него вентиляторомъ чистый воздухъ, чтобы онъ понемногу вытекалъ сквозь всѣ щели колпака и не пускалъ бы внутрь его опасную твердую пыль.

II. *Отъ неточной сборки и исполненія* частей. Всѣ наши расчеты основаны на томъ предположеніи, что давленіе распределено по *всей* поверхности *равномѣрно*. Но надо *сдѣлать* такъ, чтобы это предположеніе *осуществилось* въ исполненной машинѣ, а для этого необходима самая тщательная и точная, добросовѣстная работа завода, дѣлающаго машину; надо всѣ трущіяся части пришабрить и дать имъ притереться, подшипники лучше дѣлать съ заливкой бабитомъ, ибо онъ лучше притирается и не такъ стискиваетъ шпигъ при нагрѣваніи. При плохой пригонкѣ двухъ частей, особенно трущихся, происходятъ деформациі (преимущественно сминаніе); впрочемъ онѣ могутъ появиться и

III. Отъ неправильнаго выбора *относительныхъ* размѣровъ деталей; напр., длинныя и тонкіе шпигы или пальцы и т. п., дающіе большой прогибъ (а, слѣдовательно, и неравномѣрное распределеніе давленія по длинѣ), должны быть избѣгаемы. Слѣдуетъ также устраивать вездѣ, по возможности, *центральную* передачу нагрузки, избѣгая *плечъ* у силъ, а слѣдовательно, и сгибающихъ моментовъ.

Всѣ соединенія (болты, кольца съ горячей натяжкой и т. п.) должны быть возможно солиднѣе и затянуты съ большимъ запасомъ, что-

\*) Чѣмъ меньшую величину работы тренія на единицу поверхности мы допустимъ въ быстроходной машинѣ, тѣмъ лучше, ибо въ такой машинѣ нельзя, какъ въ тихоходной, замѣтить на ходу какое-нибудь разстройство т. е. ничего не разберешь, ничего не видно, и потому многое, что своевременно можно замѣтить и поправить въ обыкновенной машинѣ, здѣсь ускользаетъ отъ машиниста, влѣдствіе чего и необходимо величину, опредѣляющую опасность нагрѣванія, выбирать съ большимъ запасомъ.

бы не ослабнуть подъ дѣйствіемъ миллионовъ разъ дѣйствующихъ на грузокъ.

IV. Отъ *случайныхъ* силъ, напр., отъ эксцентрично помѣщенной, неуравновѣшенной массы. При большой скорости такая масса можетъ дать весьма значительное давленіе на поддерживающую ее ось вращенія, т.-е. на шипы вала, и если эксцентричность появится на ходу, вслѣдствіе развѣрки и т. п., то, благодаря добавочному давленію (такъ называемой центробѣжной силѣ), могутъ нагрѣться и загорѣться шипы.

V. Вліяніе *инерціи движущихся массъ* \*). Такъ какъ поршень движется неравномѣрно, то при каждомъ его ходѣ всѣ массы, связанныя съ нимъ и имѣющія не чистое вращательное движеніе, а возвратное взадъ и впередъ, т.-е. самъ поршень, штокъ, ползунъ, шатунъ, далѣе, если есть, то рычаги и поршень воздушнаго насоса, будутъ двигаться то ускоренно, то замедленно, въ мертвыхъ же положеніяхъ скорости переходить черезъ 0 и мѣняютъ направленіе. Вслѣдствіе этого, въ сказанныхъ массахъ развиваются и черезъ нихъ передаются нѣкоторыя силы инерціи, которыя складываются съ давленіемъ пара. Эти силы надобно имѣть въ виду, во-первыхъ, при расчетѣ прочныхъ размѣровъ частей, такъ какъ силы эти при большой скорости могутъ быть даже больше давленія пара на поршень, такъ что при дѣйствіи ихъ въ одну сторону съ давленіемъ пара, получится сила вдвое и больше превосходящая это послѣднее, а, во-вторыхъ, при разсмотрѣніи вопроса о плавности хода, какъ показываетъ примѣръ, приведенный въ 4-омъ прибавленіи (стр. 354) проф. А. И. Сидорова къ «Большой паровой машинѣ».

Этотъ послѣдній вопросъ (о плавности хода) весьма сложенъ и до сихъ поръ не рѣшенъ еще окончательно.

Радингеръ считаетъ, что для плавности хода самое выгодное, если давленіе на поршень мѣняетъ свое направленіе какъ разъ въ тотъ моментъ, когда онъ въ мертвой точкѣ. Штрибекъ считаетъ это самымъ худшимъ и предпочитаетъ, чтобы переходъ давленія черезъ нуль происходилъ не въ мертвой точкѣ, а на порядочномъ разстояніи отъ нея.

Теоріи обоихъ профессоровъ слишкомъ просты и не принимаютъ во вниманіе всѣхъ, довольно сложныхъ, обстоятельствъ явленія, такъ что прямо рѣшить, кто изъ нихъ правъ—нельзя. Бываютъ случаи, гдѣ, отдаляя моментъ перехода давленія черезъ нуль отъ мертвой точки, можно машину, стучащую во всю, заставить идти совершенно спокойно, что приходилось дѣлать мнѣ лично, увеличивая, напримѣръ, сжатіе пара, если оно мало.

Этотъ вопросъ разобранъ весьма подробно у Радингера, книгу котораго рекомендуемъ еще разъ всѣмъ, имѣющимъ дѣло съ быстроходными машинами.

Весьма выгоднымъ для плавности хода является цилиндръ простого дѣйствія, открытый съ одного конца. Соединяя нѣсколько цилин-

\*) Подразумѣвается: движущихся поступательно или же произвольно (только не просто вращающихся, ибо объ этомъ упомянуто только-что въ пунктѣ 4. IV).

дровъ, можно достигнуть плавности и равномерности хода. Таковы машины Веетингауза, Вилланса и многія другія.

Вопросъ о совокупномъ дѣйствіи силъ инерціи массъ при нѣсколькихъ цилиндрахъ на самую машину и на фундаментъ весьма сложенъ и разбирать его мы не можемъ.

### Холодильники.

Въ машинахъ съ охлаждаемымъ отработавшій паръ, какъ извѣстно, отводится въ особый сосудъ, гдѣ онъ и конденсируется въ воду; сосудъ этотъ называется холодильникомъ или конденсаторомъ. Разсмотримъ, въ общихъ чертахъ, схему машины съ холодильникомъ со смѣшивающимъ (вырыскивающимъ) (черт. 150). Паръ изъ цилиндра  $A$ , по трубѣ  $m$  отводится въ сосудъ  $B$  (холодильникъ); здѣсь онъ встрѣчаетъ холодную воду, бьющую изъ ряда дыръ въ колпачкѣ  $D$  и подводимую въ холодильникъ трубой  $l$ , и вслѣдствіе этого конденсируется; давленіе его падаетъ на величину  $h = p_1 - p_2$  (черт. 151). Въ холодильникѣ, слѣдовательно, будетъ накапливаться вода и, кромѣ того, воздухъ, который всегда растворенъ въ водѣ подъ давленіемъ одной атмосферы, а такъ какъ въ холодильникѣ давленіе всего  $0,2 \text{ atm.}$ , а въ хорошихъ, иногда  $0,1 \text{ atm.}$ , то воздухъ этотъ будетъ выдѣляться изъ воды и займетъ очень большой объемъ. Кромѣ того, небольшое количество пара тоже останется несгущеннымъ. Чтобы удалить воду и воздухъ изъ холодильника, правильнѣе было бы устроить два насоса  $E$  и  $F$ , изъ которыхъ бы первый выкачивалъ воздухъ, а второй воду, но обыкновенно это дѣлается однимъ насосомъ  $G$ , который и называется въ практикѣ „воздушнымъ“ и, благодаря тому, что выкачиваетъ сразу *двѣ* жидкости, представляетъ нѣкоторыя особенности въ конструкціи.

### Расчетъ холодильника.

Холодильникъ и воздушный насосъ рассчитываются по наибольшему наполненію цилиндра. Если чрезъ  $V_{max}$  обозначимъ наибольшій объемъ воды, который можетъ получиться изъ  $G_{max}$  — гдѣ  $G_{max}$  наибольшій расходъ пара въ единицу времени; чрезъ  $q$  — объемъ холодной воды, впущенной въ холодильникъ и чрезъ  $V_1$  — объемъ воздуха въ холодильникѣ, то  $V_{max} + q + V_1$  долженъ быть объемъ воздушнаго насоса за ту же единицу времени; но обыкновенно объемъ насоса берется болышій. Если обозначимъ объемъ цилиндра чрезъ  $A$ , объемъ холодильника —  $B$ , объемъ воздушнаго насоса —  $C$ , то въ практикѣ принимаютъ обыкновенно при расчетѣ холодильника и воздушнаго насоса, что наполненіе цилиндра = единицѣ, а  $B = 2A$  и  $C = 3A$ .

Объемъ холодильника особаго значенія не имѣетъ, а потому онъ мѣняется въ практикѣ очень сильно; иногда сосуда  $B$  и совсѣмъ не бываетъ. Скорость вбрызгиванія воды въ холодильникъ должна быть очень большая; она измѣняется отъ  $4-10 \text{ m}^3/\text{sec}$ ; среднимъ числомъ  $6-7 \text{ m}^3/\text{sec}$ , такъ что если обозначимъ діаметръ дыръ колпачка  $D$  чрезъ  $d$ , число



ихъ— $i$ , коэффициентъ сжатія— $\mu$  и скорость вбрызгиванія— $c$ , то количество впущенной въ холодильникъ воды  $q = i \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \mu \cdot c \dots (a)$ .

Диаметръ дыръ обыкновенно дѣлаютъ

$$d = 0,004 - 0,005 \text{ } mt,$$

а изъ уравненія (а) опредѣляютъ число дыръ. Если возможно, то вода всасывается въ холодильникъ сама, благодаря давленію наружной атмосферы, если же при этомъ нельзя получить ту скорость, какая требуется въ дырочкахъ брызгалки, то нуженъ насосъ для подачи воды въ холодильникъ.

По Тиме, берутъ:

$$\text{Объемъ холодильника. . . . . } V_x = \frac{V_0}{3}$$

Объемъ воздушнаго насоса:

$$\text{простого дѣйствія . . . . . } V_v = \text{отъ } \frac{V_0}{4} \text{ до } \frac{V_0}{3}$$

$$\text{двойного дѣйствія. . . . . } V_v' = \text{ » } \frac{V_0}{8} \text{ » } \frac{V_0}{6}$$

Здѣсь подъ  $V_0$  разумѣется объемъ парового пространства, описанный поршнемъ за одинъ ходъ. При машинахъ многократнаго расширенія подъ  $V_0$  надо разумѣть объемъ большого (последняго) цилиндра, ибо холодильникъ долженъ вмѣстить весь паръ изъ послѣдняго цилиндра.

Площадь прохода въ клапанахъ берется обыкновенно отъ  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{1}{3}$  площади поршня воздушнаго насоса, вообще такъ, чтобы скорость смѣси въ нихъ была не болѣе  $1,5 \frac{mt}{sec}$  (иногда берутъ такъ, чтобы скорость одной воды была не болѣе  $2 \frac{mt}{sec}$ , а желательно даже имѣть скорость воды не болѣе  $1 \text{ } mt$ ; въ быстроходныхъ морскихъ машинахъ скорость воды доходить въ клапанахъ до  $5 \frac{mt}{sec}$ , но уходя за насосомъ тогда труднѣе).

Кромѣ холодильника со впрыскиваніемъ есть еще другая система, а именно, такъ называемые поверхностные холодильники, въ которыхъ паръ не смѣшивается со свѣжей водой, служащей для конденсаціи, а паръ и вода раздѣлены между собой нѣкоторой перегородкой.

Хотя перегородки эти сравнительно очень тонки, но все-таки подобные холодильники являются менѣе совершенными, чѣмъ холодильники со впрыскиваніемъ, что вызываетъ болѣе большой расходъ холодной воды, нужной для конденсаціи даннаго количества пара.

Поверхностные холодильники распространены главнымъ образомъ въ морскомъ дѣлѣ, такъ какъ морская вода содержитъ много солей, которыя осѣдаютъ на стѣнкахъ котла, въ видѣ накипи, такъ что питая котель водой, взятой изъ моря, мы очень быстро получимъ толстый слой накипи.

Устраивая холодильники со впрыскиваніемъ, мы, хотя и разжижаемъ до нѣкоторой степени растворъ подобныхъ солей, но такъ какъ

количество конденсирующагося пара сравнительно со свѣжей водой незначительно, то мы мало улучшимъ дѣло. Поэтому здѣсь и употребляютъ поверхностные холодильники, устройство которыхъ хотя и выходитъ сложнѣе, но за то мы можемъ быть спокойны относительно образования накипи, такъ какъ котель питается водой, сконденсировавшейся изъ мятаго пара, а, какъ извѣстно, при испареніи обращается въ парь только чистая вода, тогда какъ соли остаются въ котлѣ. Поэтому, если бы не было никакихъ потерь пара и сконденсировавшейся изъ него воды, то мы могли бы неопредѣленно долгое время питать котель однимъ и тѣмъ же количествомъ воды; но такъ какъ утечки неизбежны, то время отъ времени приходится пополнять котель свѣжей, морской водой, а такъ какъ подобныя пополненія составляютъ лишь небольшой процентъ всего количества воды, то накипь въ котлѣ накапливается сравнительно медленно.

Въ общемъ видѣ поверхностный холодильникъ напоминаетъ собою водотрубный котель (черт. 152).

Онъ состоитъ изъ наружной оболочки, содержащей двѣ камеры *A* и *B*, соединенныя между собой рядомъ трубокъ. Обыкновенно черезъ эти трубки пускается холодная вода, поступающая изъ трубки *a* и уходящая по трубкѣ *b*; мятый же парь поступаетъ по трубкѣ *c*, протекая между трубками съ холодной водой, конденсируется и уходитъ въ видѣ смѣси пара и воды по трубкѣ *d*. Чтобы прикоеновеніе пара съ холодными стѣнками трубокъ продолжалось возможно долго, на пути пара ставятся перегородки *e*, которыя заставляютъ парь двигаться вдоль трубокъ.

Конечно, можно части расположить и иначе, а именно, пускать снаружи воду, а по трубкамъ *a* и *b* парь; теоретически это безразлично, но на практикѣ выходитъ, что при размѣщеніи нѣкоторыхъ деталей во второмъ случаѣ встрѣчается больше затрудненій, чѣмъ при первомъ.

Съ другой стороны, пуская снаружи парь, а внутри воду, мы сильно обогрѣваемъ помещеніе, гдѣ находится холодильникъ, а потому при плохой циркуляціи воздуха въ помещеніи, мы можемъ сильно повысить его температуру. Поэтому выборъ конструкціи поверхностнаго холодильника зависитъ отъ тѣхъ частныхъ условій, при которыхъ приходится работать машинѣ, а также и отъ личнаго взгляда конструктора.

### Воздушный насосъ.

Разсмотримъ теперь конетрукціи воздушнаго насоса.

Какъ уже сказано, воздушный насосъ при холодильникеѣ со впрыскиваніемъ ставится для откачиванія несгустившагося пара, воздуха, который былъ растворенъ въ питательной водѣ, и выдѣлился въ котлѣ при подогрѣваніи и попалъ въ холодильникъ вмѣстѣ съ паромъ, и воды, полученной отъ сконденсировавшагося пара, а также для выкачиванія той воды, которая была пущена въ холодильникъ для конденсаціи пара.

При холодильникеѣ поверхностномъ насосъ выкачиваетъ только

остатки пара и воду, получившуюся из отработавшаго пара, а также воздухъ, просачивающійся въ неплотности соединеній и поступающій изъ котла вмѣстѣ съ паромъ.

Поэтому воздушные насосы получаютъ значительно большихъ размѣровъ при холодильникахъ со впрыскиваемъ, чѣмъ при поверхностныхъ.

Опредѣленіе размѣровъ воздушнаго насоса для поверхностныхъ холодильниковъ дѣлается практически такъ, что берутъ объемъ его равнымъ отъ  $\frac{1}{2}$  до  $\frac{3}{4}$  объема воздушнаго насоса при впрыскивательномъ холодильнике.

Такъ какъ этотъ насосъ долженъ одновременно откачивать какъ газообразныя жидкости, такъ и воду, то главное затрудненіе является при устройствѣ клапановъ.

При этомъ надо замѣтить, что при томъ маломъ давленіи, какое существуетъ въ холодильникахъ (обыкновенно 0,1—0,2 atm.), воду трудно заставить подняться всасываніемъ вверхъ, даже на незначительную величину, поэтому клапаны дѣлаются такъ, что они затоплены водой, и первое время при всасываніи насоса поступаетъ вода, а потомъ, когда уровень воды поднимается, то, и смѣсь пара съ воздухомъ.

Схема подобнаго насоса представлена на черт. 153, гдѣ  $a$  и  $a'$ —всасывающіе, а  $b$  и  $b'$ —нагнетательные клапаны.

Что касается расположенія насоса и приведенія его въ дѣйствіе, то здѣсь встрѣчается большо: разнообразіе въ конструкціяхъ.

Если машинное номѣщеніе позволяетъ удлинить машину, то поршень воздушнаго насоса насаживаютъ на продолженіе штока парового цилиндра (черт. 154), вся машина напоминаетъ tandem-машину (наприм. въ нашей Зульцеровской машинѣ). При такомъ расположеніи ходъ поршня насоса равенъ ходу поршня парового цилиндра.

Если же мѣсто не позволяетъ этого сдѣлать, то обыкновенно воздушный насосъ помѣщаютъ ниже рамы машины и движеніе ему передается системой рычаговъ или отъ крейцкопфа, какъ представлено на черт. 155, гдѣ  $c$  штокъ поршня, а  $a$  штанга, получающая движеніе отъ крейцкопфа, или же движеніе передается отъ пальца кривошипа (черт. 156).

Иногда устраиваютъ воздушный насосъ изъ двухъ насосовъ простаго дѣйствія (черт. 157), а не двойного, какъ это было во всѣхъ вышеописанныхъ конструкціяхъ. Поршни соединяютъ траверсой  $a$ , съ точкой вращенія въ  $m$ , траверса неизмѣнно соединена съ плечомъ  $b$ , получающимъ свое движеніе отъ части  $c$ , представляющей собой по большей части продолженіе штока поршня или же особаго устройства вилкообразное тѣло, обнимающее цилиндръ и соединенное съ брейцкопфнымъ болтомъ.

Если машина вертикальная, то воздушный насосъ обыкновенно, простаго дѣйствія и движеніе его поршню передается посредствомъ рычага  $c$ , получающаго свое движеніе отъ крейцкопфа (черт. 158).

Что касается расположенія рычага, то его надо располагать обя-

зательно со стороны чугунной ставины, а никакъ не со стороны желѣзныхъ колоннъ, такъ какъ съ этой стороны обыкновенно производится осмотръ и смазка машины, а потому расположенный здѣсь качающійся рычагъ сильно стѣсняетъ уходъ за машиной и можетъ повести къ печальнымъ послѣдствіямъ при неосторожности машиниста или смазчика, отрѣзая имъ обыкновенно голову.

Упомянемъ еще объ одной весьма хорошей конструкціи холодильника, предложенной Вейсомъ (Weiss), но встрѣчающейся сравнительно рѣдко.

Особенность этого холодильника состоитъ въ томъ, что здѣсь воздушный насосъ служитъ *только* для откачиванія *воздуха и пара*, вода же удаляется собственнымъ вѣсомъ. Конструкція его представлена на черт. 159.

Парь поступаетъ по трубѣ *g* навстрѣчу текущей въ резервуаръ *K* водѣ, нагнетаемой водянымъ насосомъ *A*, а постепенно конденсируется; при этомъ наиболее горячій парь встрѣчаетъ и наиболее горячую воду. Воздухъ и остатки пара поднимаются въ верхнюю часть сосуда *K* и выкачиваются по трубкѣ *H* воздушнымъ насосомъ; вода же стекаетъ по трубкѣ *L*.

Трубка *f* служитъ для удаленія воздуха, механически смѣшаннаго съ водою, который выдѣляется въ сосудѣ *B*, куда водяной насосъ накачиваетъ воду и откуда она всасывается въ резервуаръ *K*, вслѣдствіе разрѣженія. Подобное устройство можетъ быть выполнено только тамъ, гдѣ возможно располагать высотой не меньше 9 мт., такъ какъ разрѣженіе въ холодильникѣ надо поддерживать около 0,1 atm. и необходимо конецъ трубы погрузить въ воду.

Есть еще холодильники съ цѣпами или канатами для увеличенія охлажденія, но мы ихъ разсматривать не будемъ. Замѣтимъ лишь еще, что для успѣшнаго дѣйствія поверхностнаго холодильника необходима извѣстная минимальная величина охлаждающей поверхности трубокъ (подобно тому, какъ въ котлахъ извѣстная величина нагрѣвательной поверхности).

Ситонъ (Seaton) даетъ слѣдующія цифры:

Давленіе пара въ концѣ расширенія въ англ. фунт. absol.	Величина охлаждающей поверхности, потребная на одну лошад. силу, въ □ футахъ.
30	2,20
20	1,70
15	1,57
12,5	1,50
10	1,43
8	1,37
6	1,30

NB. Предполагается, что температура холодной воды не выше 16° Цельсія. Для судовъ, ходящихъ постоянно въ тропикахъ, величину поверх-

ности охлаждения надо увеличить на 20%, а проходящих тропики по пути или случайно — на 10%. Для судов, ходящих только в северных или полярных странах, можно брать на 10% меньше против таблицы.

Вода прогоняется через холодильник особым насосом, чаще всего центробежным, который называется у моряков циркуляционной помпой.

### О паровых машинах.

Первые пароходы были колесные, а винтовые появились значительно позже.

Первым и наиболее важным условием, которому должна удовлетворять всякая паровая машина, является небольшой объем, занимаемый ею.

Если пароход колесный, то гребной вал идет перпендикулярно к длине парохода; на концах этого вала насажены колеса с лопатками. Первоначально эти лопатки делались неподвижными относительно колеса, так что при входе и выходе из воды они стояли под некоторым углом к вертикали, вследствие чего значительная часть работы тратилась на удары лопатки о воду. Чтобы избежать этого, начали устраивать колеса с подвижными лопатками. Конструкций подобных колес очень много, но наиболее распространены системы Моргана и Буханана (черт. 160).

Суть дела заключается в следующем: имеется шайба, посаженная на неподвижной оси, расположенной эксцентрично относительно вала колеса; от шайбы идут тяги к лопаткам, которых обыкновенно не более 16; последние имеют кривошип, за которые и хватаются тяги. При таком устройстве лопатки при движении колеса несколько поворачиваются и дольше загребают воду вдоль парохода, чем при неподвижных лопатках, а, кроме того, они лучше разбивают воздух, когда лопатки находятся вне воды, так как лопатка наклонена под некоторым углом к направлению вращения колеса, а не перпендикулярна к нему, как при неподвижных лопатках.

Что касается машин, приводящих в движение колеса, то здесь часто встречаются машины с качающимися цилиндрами (черт. 161). Такая машина получается из обыкновенной, если представить себе, что кривошип слился с поршнем, а шток и шатун представляют одно целое; поршневой цилиндр проводится через полые шипы, около которых качается цилиндр. Чтобы не имело места мертвое положение механизма и чтобы был возможен обратный ход, подобные машины имеют два цилиндра, действующих на колесчатый вал, колесна которого расположены под углом в 90°. По расположению оси цилиндра эти машины относятся к типу вертикальных.

Довольно часто встречается и такое расположение, когда штоки обоих цилиндров действуют на одно колесо, но оси цилиндров наклонены друг к другу под углом в 90°. В этом случае головка

одного шатуна (штока) представляет вилку, въ которую входит головка другого. Бываетъ и три цилиндра, какъ на черт. 162.

Если устраивается машина обыкновеннаго типа, то тогда ее нѣсколько наклоняютъ къ горизонту, такъ какъ въ противномъ случаѣ пришлось бы ее поднять на значительную высоту, что въ свою очередь повысило бы центр тяжести всего судна; располагая же ее низко—получили бы діаметръ колесъ очень малымъ (черт. 163).

Въ этотъ случаѣ машина тоже получаетъ два цилиндра, будетъ ли она обыкновенная спаренная, или, какъ теперь обыкновенно дѣлаютъ—Compound.

Что касается мѣры совершенства машины съ коммерческой точки зрѣнія, то здѣсь обыкновенно счетъ на индикаторныя силы не имѣеть того значенія, какъ въ обыкновенной машинѣ; то же самое относится и къ эффективнымъ силамъ.

Самой совершенной паровой машиной для даннаго парохода будетъ та, которая требуетъ наименьшаго количества топлива на перевозку 1 тонны на 1 километръ пути при данной скорости. Что касается работы машины, то далеко не вся сила на валу идетъ на приведеніе судна въ движеніе, такъ какъ значительная часть тратится на удары лопатокъ объ воду, на бурленіе воды и т. д. и только часть тратится на преодоленіе сопротивленія самого судна движенію. Такъ какъ большинство этихъ сопротивленій и, главное, сопротивленіе движенію, пропорціональны квадрату скорости, то работа машины за данное время пропорціональна кубу скорости.

Перейдемъ теперь къ винтовымъ пароходамъ, движущимся при помощи винта. Пароходный винтъ по характеру работы вполнѣ сходенъ съ обыкновеннымъ винтомъ, употребляемымъ въ машиностроеніи для передачи (работы) движенія, хотя по виду, на первый взглядъ, весьма сильно отъ него отличается.

Всякій винтъ, перемѣщаясь въ своей гайкѣ, имѣеть вращательное и поступательное движеніе; то же справедливо и для пароходнаго винта; но здѣсь гайкой служить не твердое тѣло, а вода, вещество подвижное, подающееся подъ давленіемъ винта, а потому явленіе здѣсь сложнѣе—происходитъ потеря работы. Съ другой стороны—именно количествомъ отброшенной винтомъ назадъ воды и опредѣляется доброта работы винта: чѣмъ больше воды винтъ отброситъ назадъ въ единицу времени, тѣмъ лучше его работа. Теорія винта очень сложна и не входитъ въ нашъ курсъ, а потому мы ея здѣсь касаться не будемъ; скажемъ лишь нѣсколько словъ о формѣ пароходнаго винта.

Винтовую поверхность, какъ извѣстно, называется поверхность, описанная нѣкоторою прямой, имѣющей сложное движеніе: вращательное около нѣкоторой оси и поступательное вдоль той же оси, при чемъ отношеніе скоростей обоихъ движеній постоянно.

Чтобы матеріально выполнить такой винтъ, берутъ двѣ такия поверхности, совершенно тождественныя, на разстояніи  $h$  (черт. 164) другъ

отъ друга и промежутокъ между ними заполняютъ какимъ-либо твердымъ матеріаломъ.

Пароходный винтъ, обыкновенно многооборотный, выполняется точно такъ же, съ тою только разницею, что размѣръ  $h$  очень малъ въ сравненіи съ діаметромъ винта, и берется только небольшая часть винтовой поверхности ( $a$   $b$ , черт. 164). Далѣе, при обыкновенномъ винтѣ гайка выполняется большею частью такъ, что плотно облегаетъ (съ небольшимъ только зазоромъ) винтъ (черт. 165,  $a$ ), но ничто не мѣшаетъ намъ замѣнить точную винтовую поверхность любой иной, хотя бы волнистой, лишь бы гайка имѣла нужный радіальный зазоръ (черт. 165,  $b$ ).

Въ пароходномъ винтѣ такъ и поступаютъ, закругляя внѣшнее очертаніе винта [конецъ и боковыя стороны] (черт. 164). Въ большихъ пароходахъ винты обыкновенно бываютъ двухлопастные (двуборотные); въ малыхъ—трех- и четырехлопастные.

Относительно судна винтъ имѣетъ только вращательное движеніе, скорость котораго въ связи съ діаметромъ и шириной лопастей (площадью ихъ) опредѣляетъ работу винта. При хорошей работѣ винтъ долженъ отбрасывать полный цилиндръ воды (черт. 166), діаметръ коего  $D$ —діаметру винта; достигается же это лишь сочетаніемъ извѣстной ширины лопастей съ извѣстной скоростью вращенія; въ противномъ случаѣ получатся лишь отдѣльныя струи или водоворотъ. Такимъ образомъ работа винта опредѣляется тремя факторами:  $\omega$ —[угловая скорость вращенія винта],  $D$ —[діаметръ винта] и  $b$ —[ширина лопатокъ].

Плавность же работы винта зависитъ отъ некривленія и очертанія его.

Иногда оказывается выгоднымъ дѣлать шаги  $t$  и  $t'$  (черт. 167) (у втулки и на концѣ) различными, т.-е. дѣлать винтъ съ *радіально-перемѣннымъ* шагомъ. Такъ какъ въ винтѣ работаетъ лишь одна кромка, а другая бездѣйствуетъ, то иногда дѣлаютъ винтъ и съ *аксіально-перемѣннымъ* шагомъ, т.-е. дѣлаютъ  $t_2$  и  $t_3$  различными, такимъ образомъ получается винтъ очень сложной формы. Такихъ винтовъ сложной формы предложено и патентовано очень много, но до сихъ поръ лишь немногія конструкции нашли себѣ примѣненіе и наиболѣе встрѣчающейся является обыкновенный (нормальный) винтъ.

Пароходные винты изготовляются изъ очень твердаго металла—стали или марганцовистой бронзы—отливкой; работа эта очень сложна и дорога. Лопасти отливаются отдѣльно и привертываются ко втулкѣ на фланцахъ.

Чтобы винтъ работалъ хорошо, онъ, какъ уже сказано, долженъ гнать за собой полный цилиндръ воды, слѣдовательно долженъ быть весь погруженъ въ воду, а потому примѣнять винтъ можно только въ глубокихъ водахъ.

Валь лежитъ близко у дна судна, такъ что мѣсто, гдѣ онъ выходитъ выходитъ изъ судна, находится подъ значительнымъ давленіемъ; въ виду этого и большого діаметра вала (до 1 mt.) сальникъ (дейдвудная труба) выходитъ очень большимъ и сложнымъ.

Между сальникомъ и машиной помѣщается гребенчатый упорный подшипникъ, при помощи котораго все давленіе винта передается корпусу судна (черт. 168).

Подшипникъ помѣщается на очень прочномъ клепанномъ фундаментѣ (черт. 168).

На такомъ же фундаментѣ стоитъ и паровая машина.

Такъ какъ валъ проходить по самой серединѣ судна, то нѣтъ мѣста для горизонтальной машины (пришлось бы дѣлать слишкомъ короткій ходъ и коротгіе шатуны), такимъ образомъ приходится ставить вертикальныя машины.

Число оборотовъ вала въ самыхъ большихъ пароходахъ доходить до 100—150, а въ малыхъ до 400—500 обор. въ минуту.

Въ послѣднее время стали употреблять два и даже три винта, расположенныхъ, какъ показано на черт. 169, но такимъ образомъ, чтобы цилиндры воды, отбрасываемые винтами, не перееѣкались.

Каждый винтъ имѣетъ, конечно, свою особую паровую машину. Употребленіе нѣсколькихъ винтовъ имѣетъ то преимущество, что въ случаѣ поломки одного, корабль все-таки имѣетъ возможность продолжать путь, хотя и не такъ легко.

Кромѣ колесъ и винтовъ для приведенія въ движеніе судовъ, пробовали примѣнять реакцію воды, выбрасывая струю воды въ задней части судна (черт. 170). Теоретически такой способъ приведенія въ движеніе судовъ долженъ бы дать наилучшіе результаты, но на практикѣ пока еще ничего хорошаго и толковаго въ этомъ направленіи не достигнуто.

### Шахтныя машины.

Какъ на особый типъ машинъ, нужно указать на шахтныя машины, служащія для подъема и спуска людей и матеріаловъ изъ шахты и въ шахту.

Барабанъ, на который наматывается канатъ, въ такихъ машинахъ сажается обыкновенно прямо на главный валъ (черт. 171). Такъ какъ шахты достигаютъ иногда очень большой глубины, то вѣсъ каната имѣетъ громадное значеніе; можетъ случиться, что вѣсъ спущенной части каната превзойдетъ даже вѣсъ груженой клѣтки. Такимъ образомъ работа шахтной машины мѣняется въ широкихъ предѣлахъ. Когда клѣтка внизу, то

$$M = r(Q' + Q'' + Q'''), \text{ гдѣ}$$

$M$  — моментъ на валу,

$r$  — радиусъ барабана,

$Q'$  — вѣсъ поднимаемаго груза,

$Q''$  — „ клѣтки,

$Q'''$  — „ спущенной части каната.

Когда же клѣтка наверху, то

$$M = r(Q' - Q'').$$



Понятно, стараются, насколько возможно, устранить лишніе каната, устраивая противовѣсъ въ видѣ второй клѣтки и дѣлая барабанъ съ переменнымъ радіусомъ [коноидальный] (черт. 172), но такъ какъ исполненіе конoidalнаго барабана затруднительно, то довольствуются коническимъ барабаномъ.

Парораспределѣніе въ такихъ машинахъ дѣлается клапанами или золотниками, обязательно съ кулисою, въ установкѣ которой здѣсь затрудненія не встрѣчается, такъ какъ мѣстомъ стѣснаться не приходится.

### Прокатныя машины.

Такъ называются машины, служащія специально для приведенія въ движеніе прокатныхъ станковъ.

На практикѣ встрѣчаются два типа прокатныхъ машинъ:

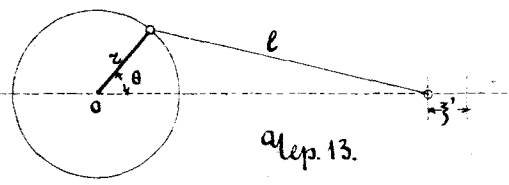
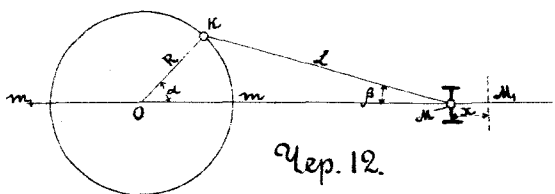
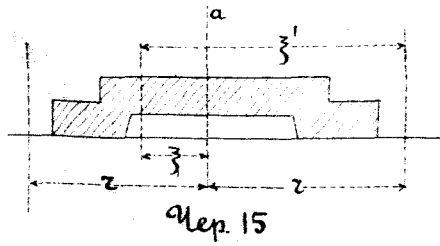
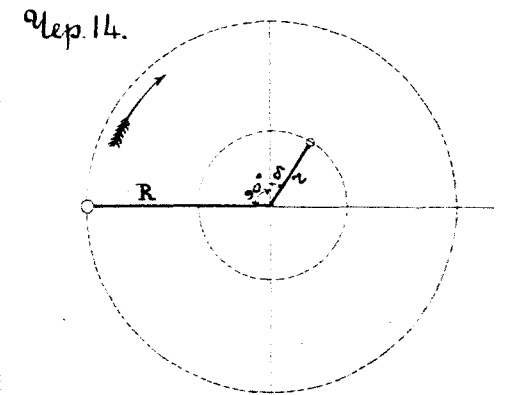
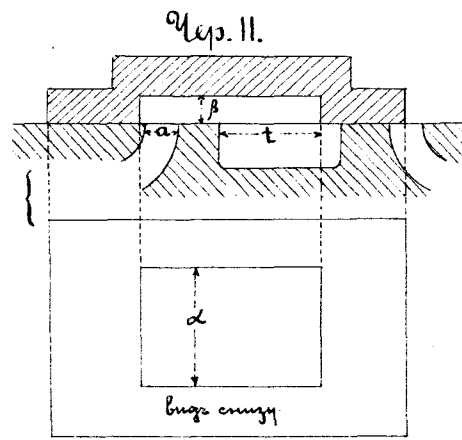
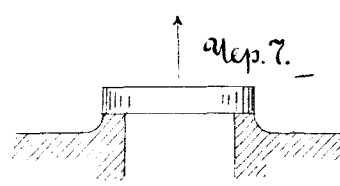
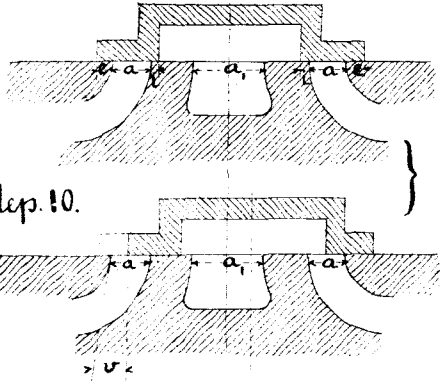
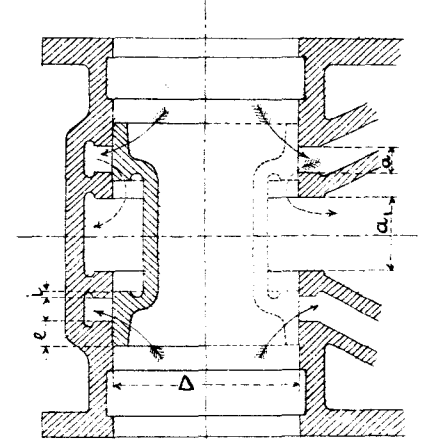
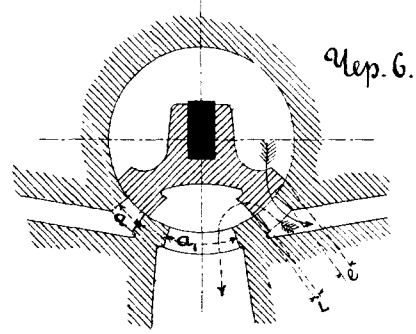
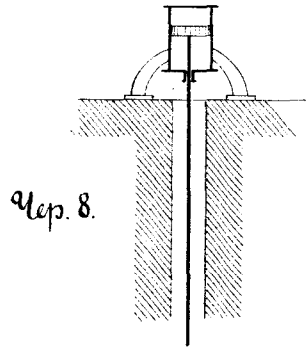
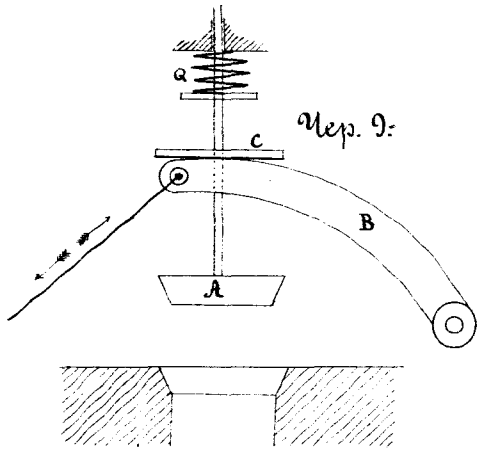
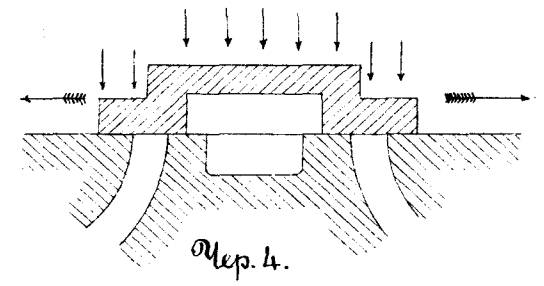
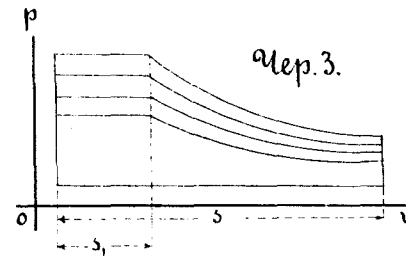
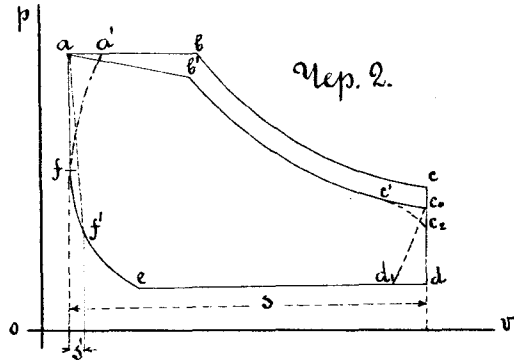
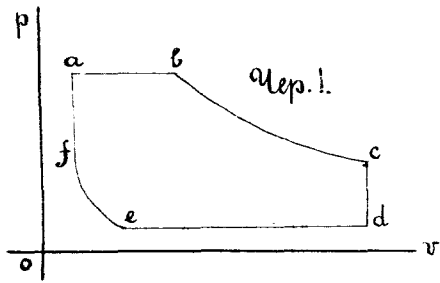
- 1) машины съ постояннымъ ходомъ, съ маховикомъ,
- и 2) машины съ переменнымъ ходомъ (реверсивныя), безъ маховика.

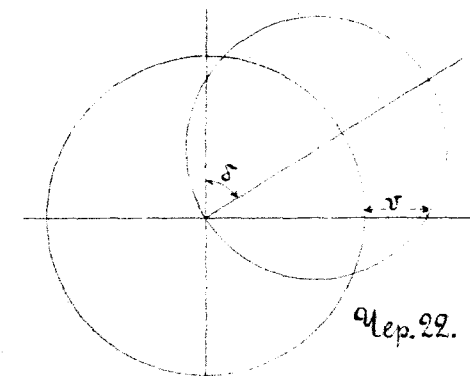
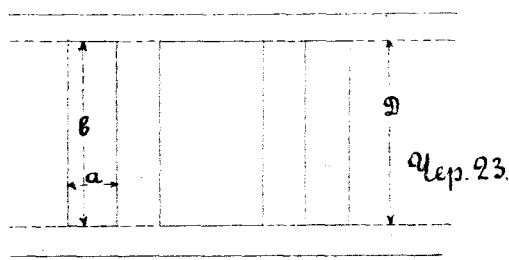
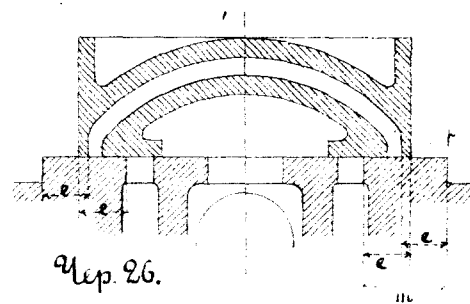
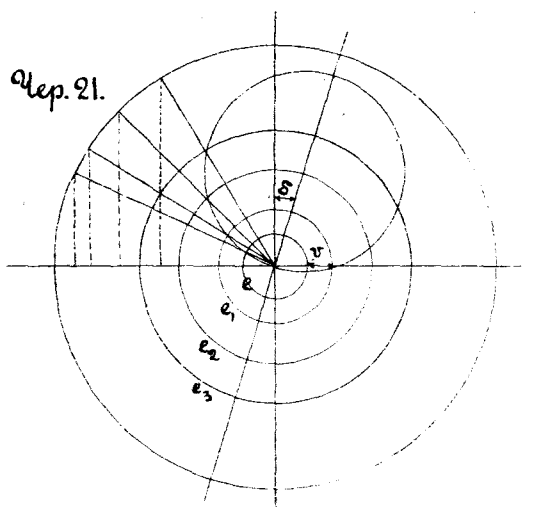
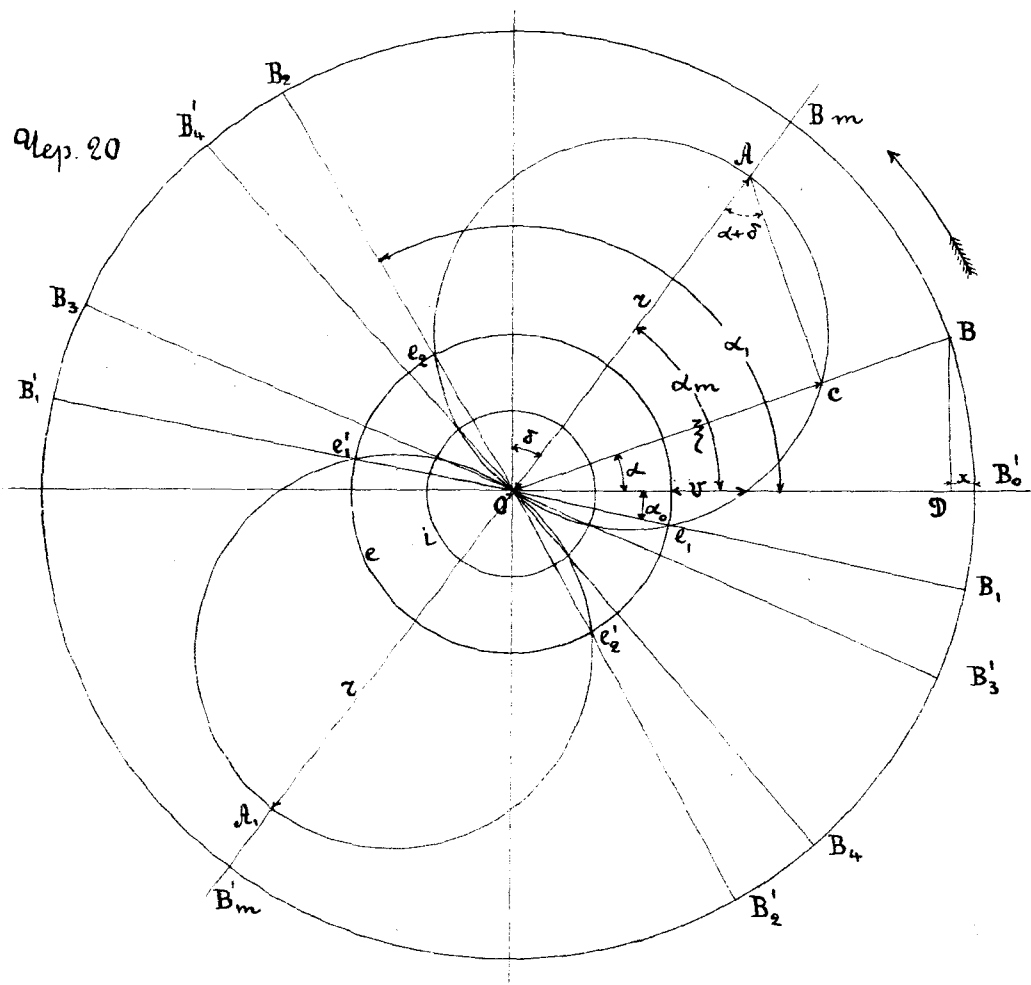
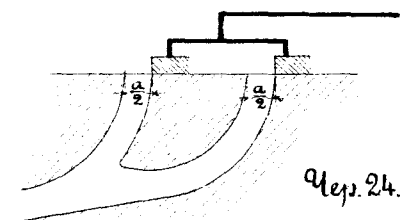
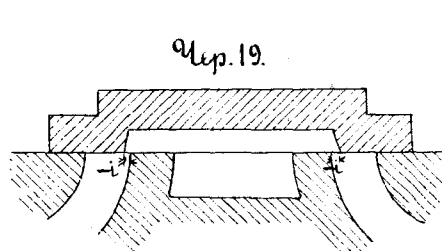
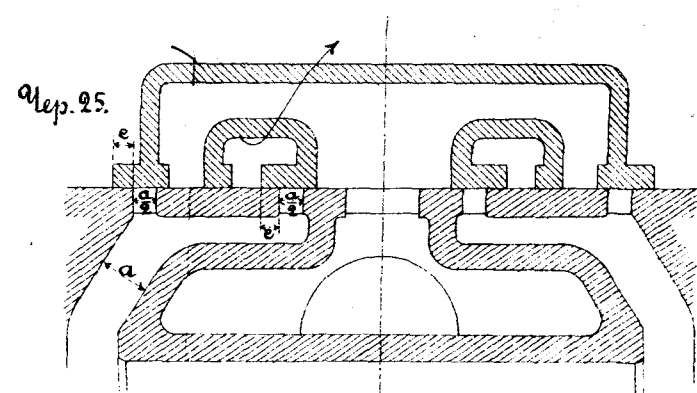
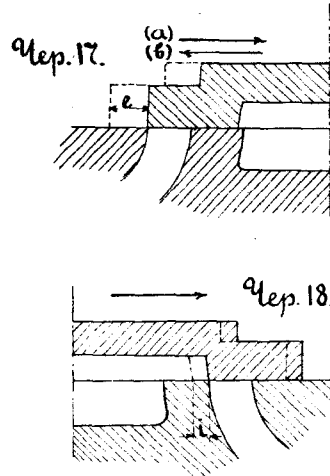
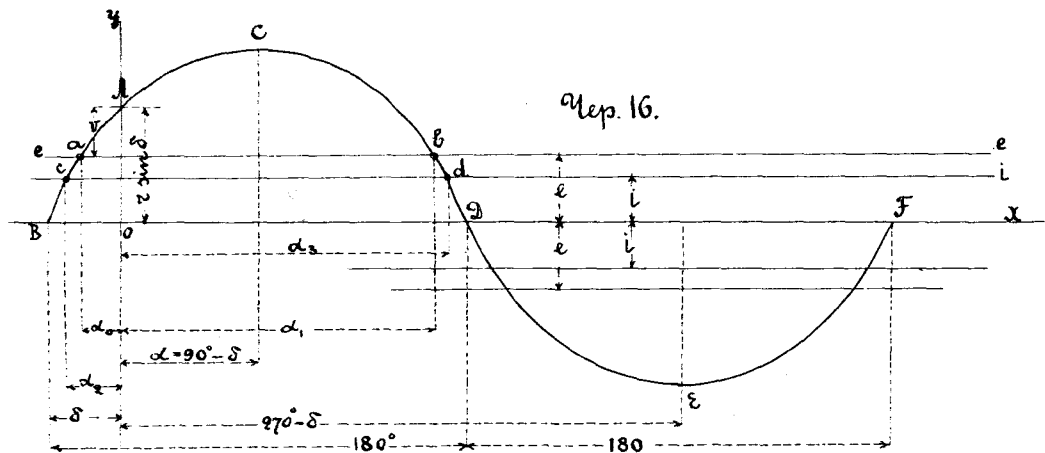
Въ виду громадной разницы въ работѣ, требуемой отъ машины во время прокатки и порожняго хода, машины съ постояннымъ ходомъ снабжаются очень большими и тяжелыми маховиками, служащими хранилищами энергіи, накапливаемой ими во время порожняго хода и отдаваемой во время прокатки при меньшей скорости въ видѣ живой силы.

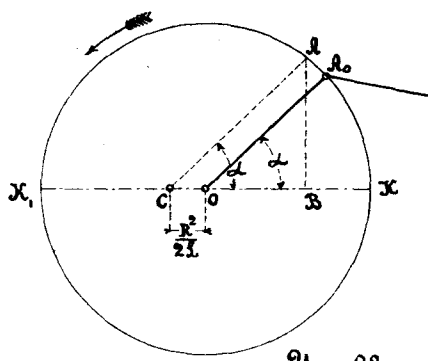
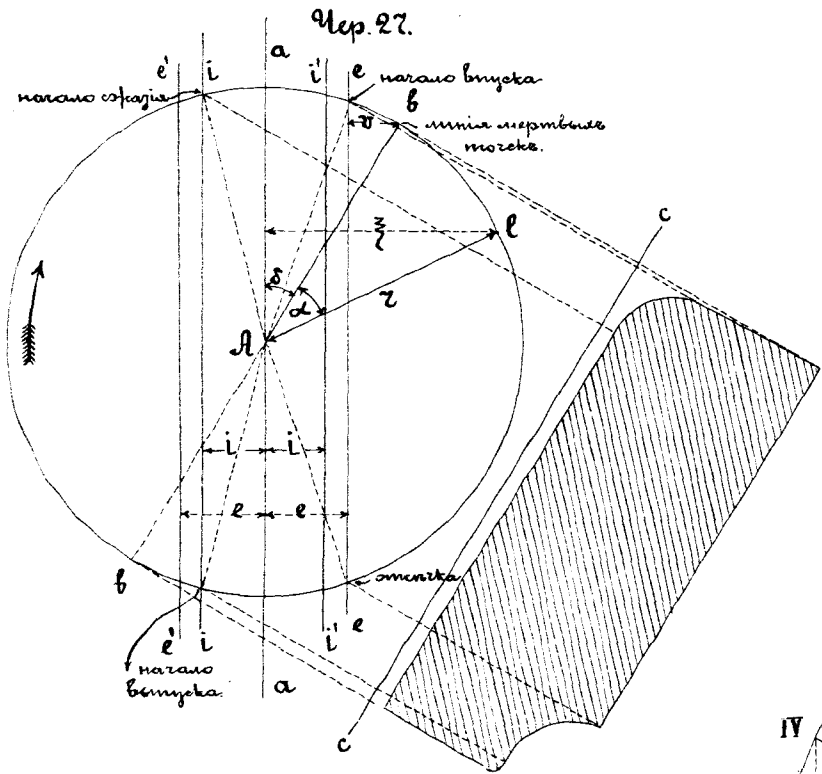
Понятно, что такіе громадные и тяжелые маховики очень неудобны, а потому вездѣ гдѣ только возможно, стараются избѣгать ихъ, ставя реверсивныя машины безъ маховика, но съ кулисою для переменны хода.

Подробности о шахтныхъ и прокатныхъ машинахъ см. въ специальныхъ сочиненіяхъ, наприм., професс. И. А. Тиме «Горнозаводская механика», изданіе 2-ое, усовершенствованное, 1899 г. и въ техническихъ журналахъ.

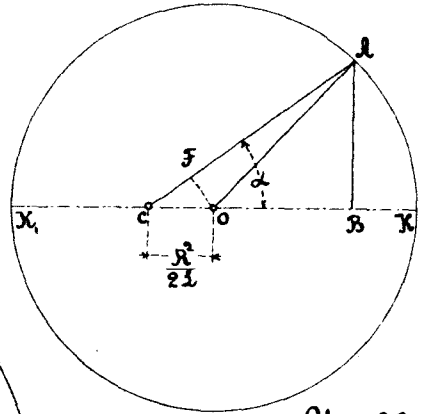
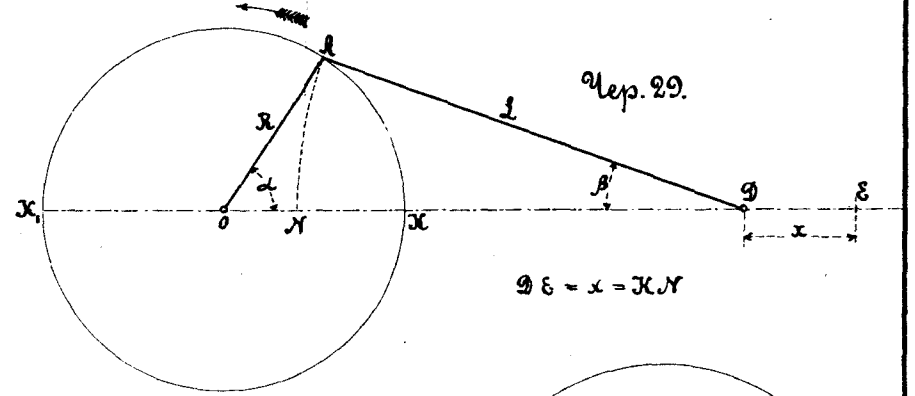
---



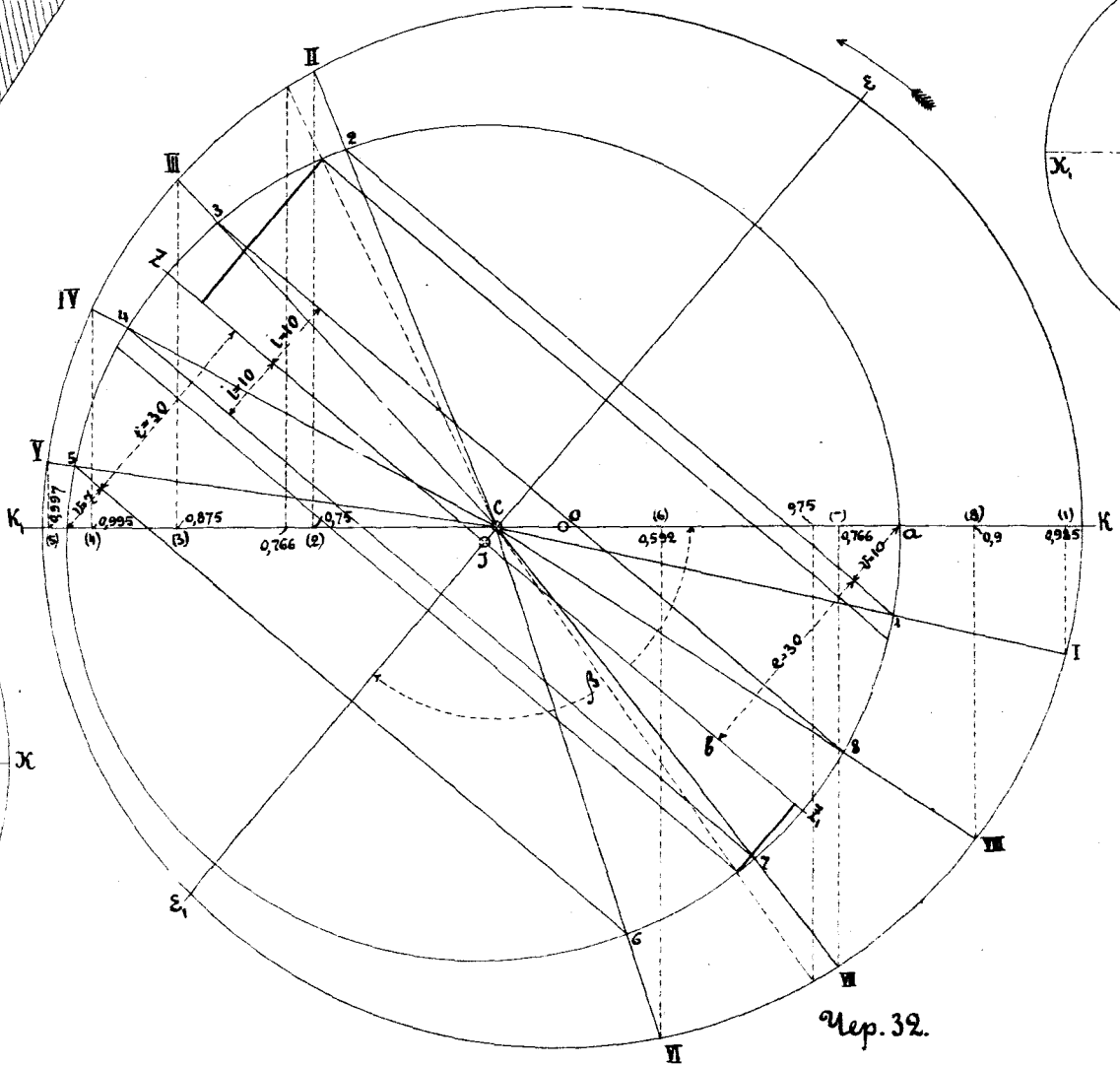




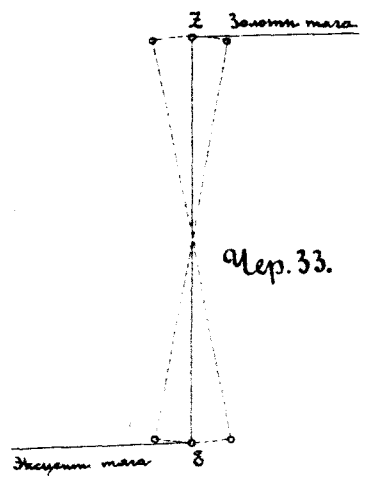
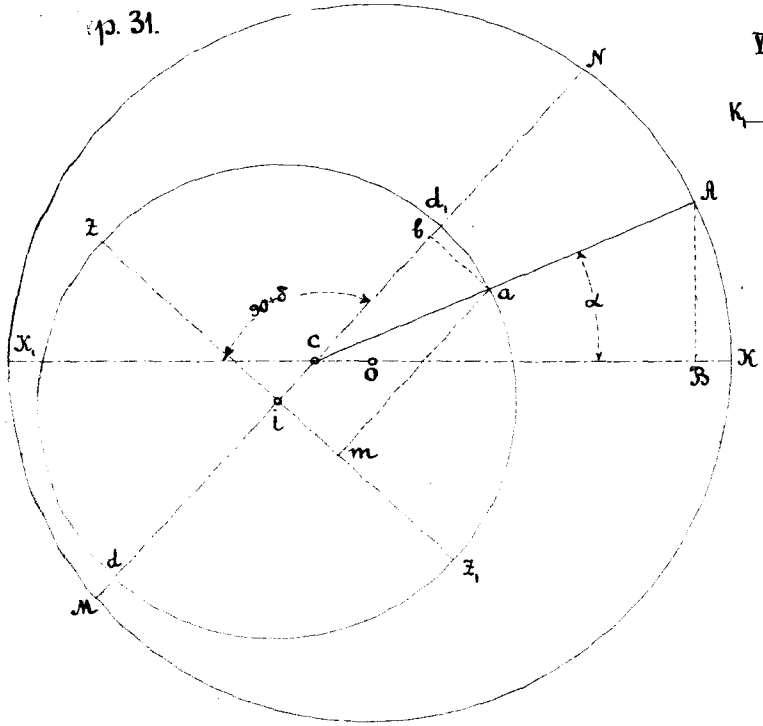
Чер. 28.



Чер. 30.

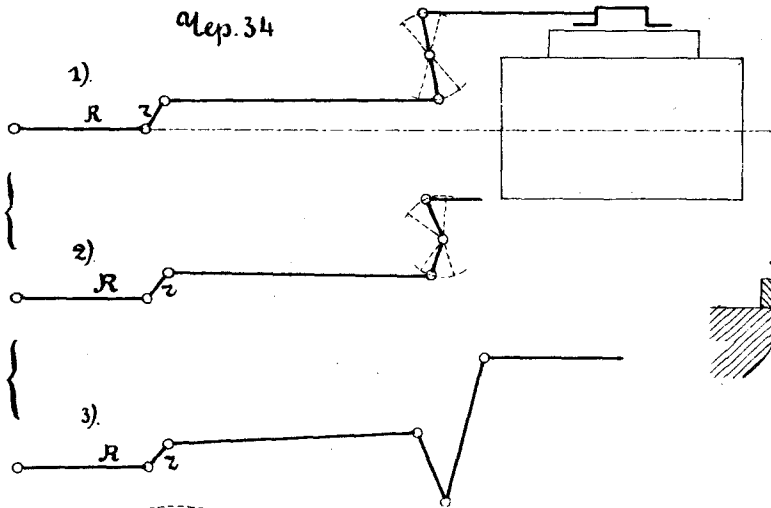


Чер. 32.

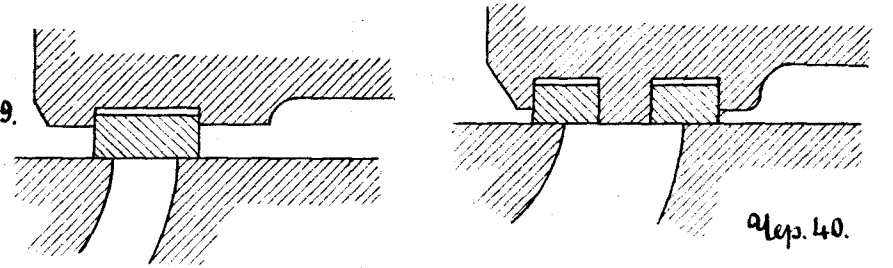


Чер. 33.

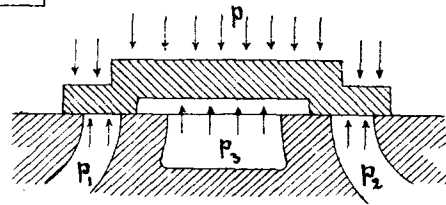
Чер. 34



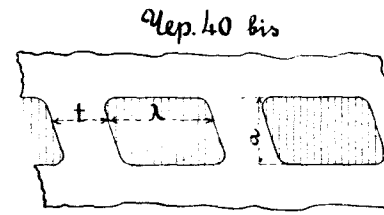
Чер. 39.



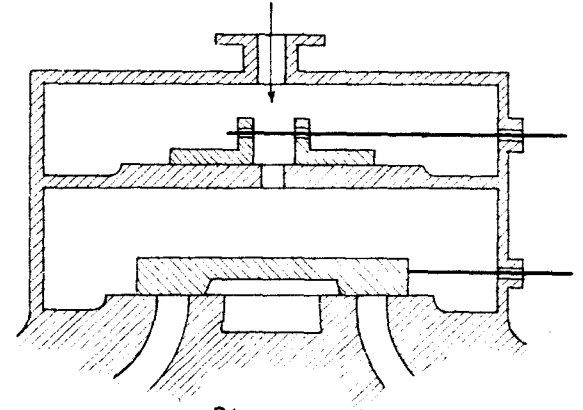
Чер. 40.



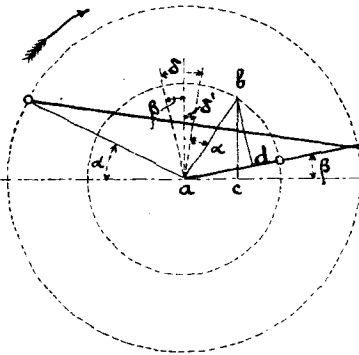
Чер. 36.



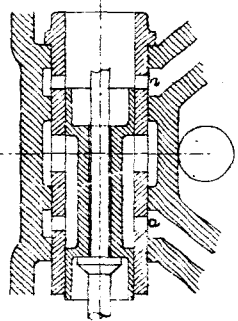
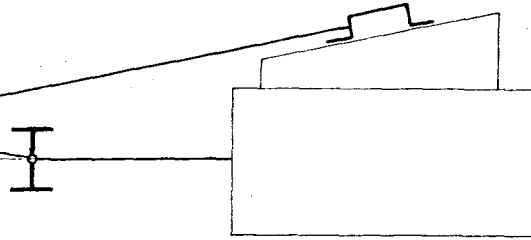
Чер. 40 bis



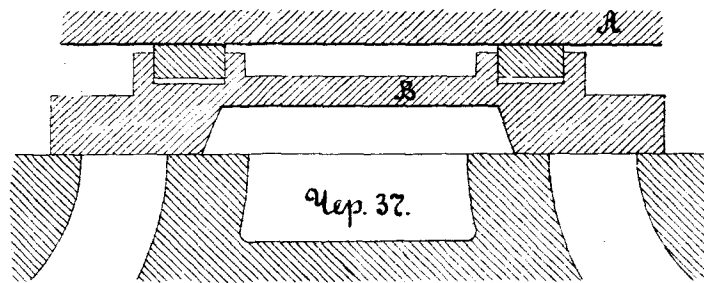
Чер. 41.



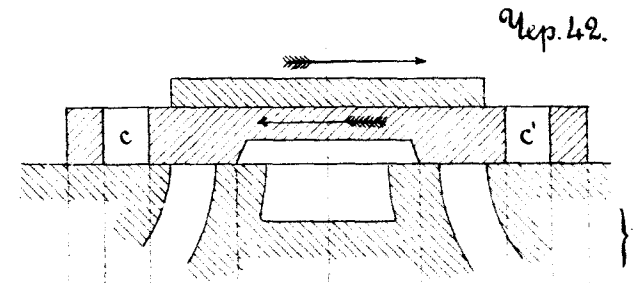
Чер. 35.



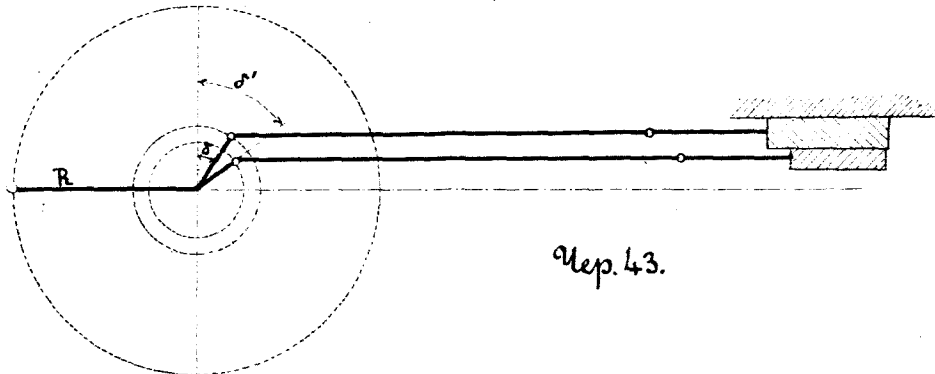
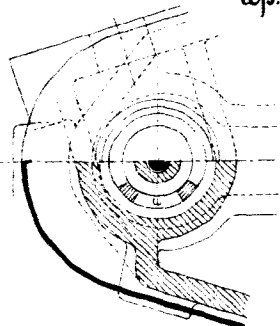
Чер. 38.



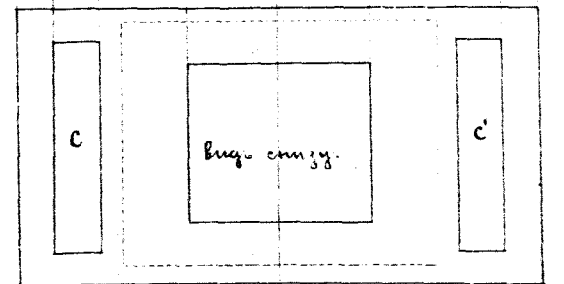
Чер. 37.

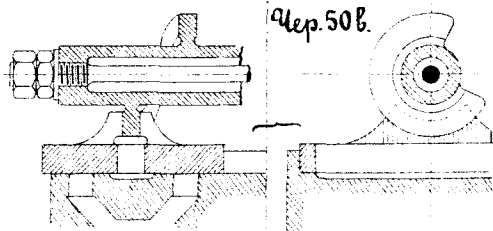
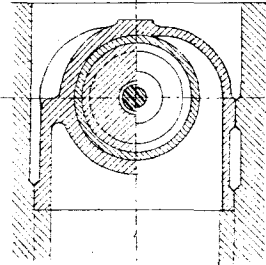
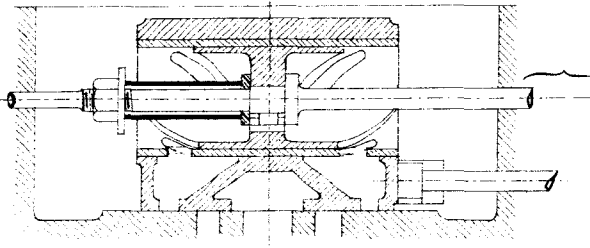
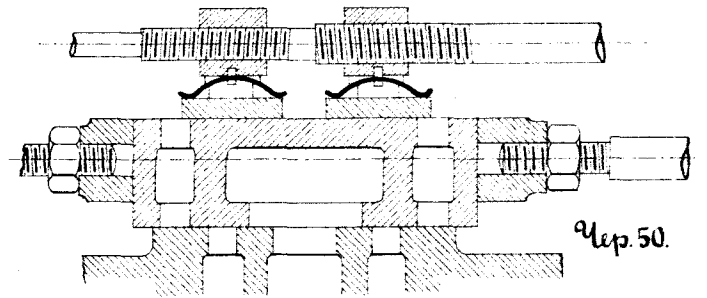
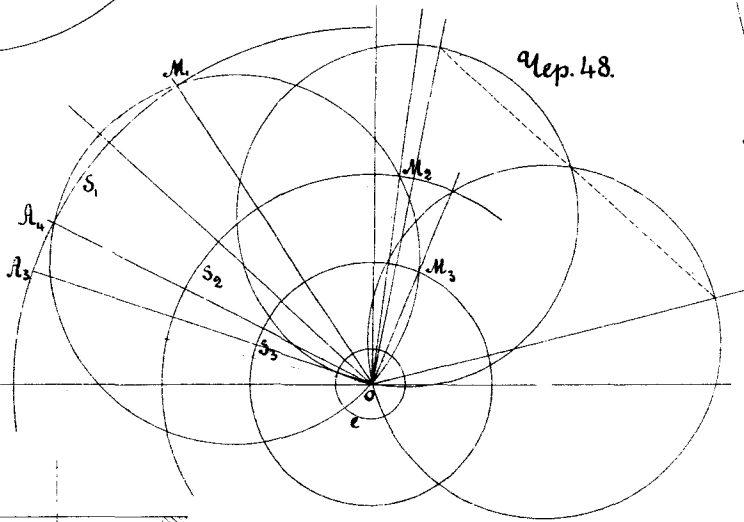
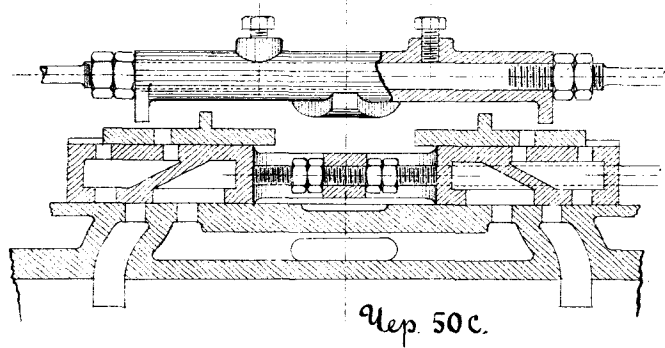
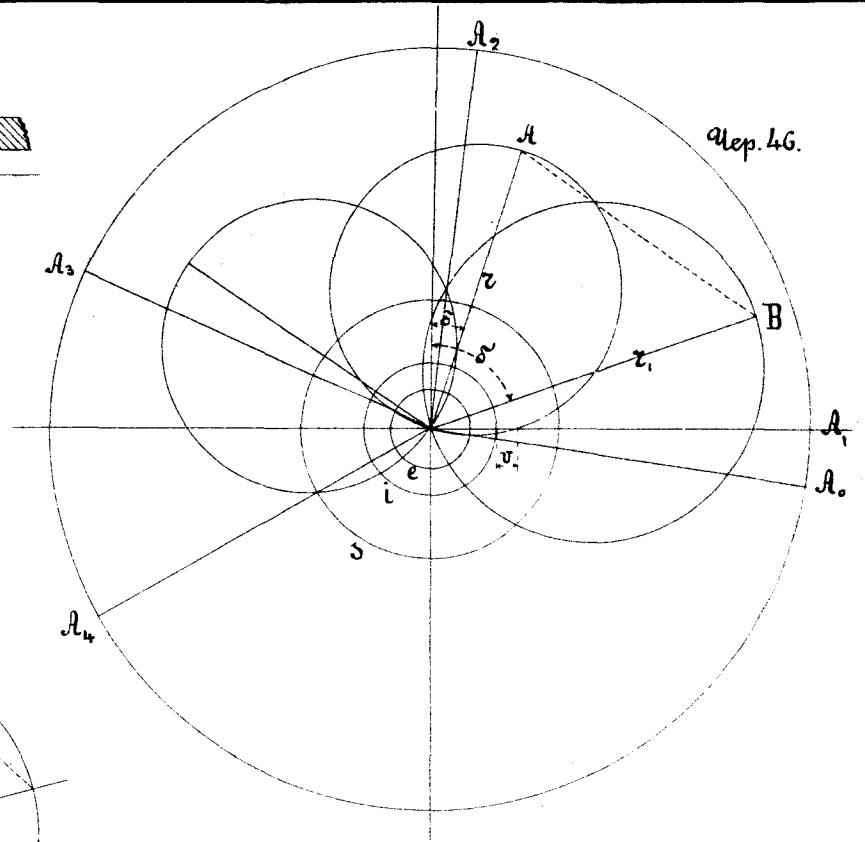
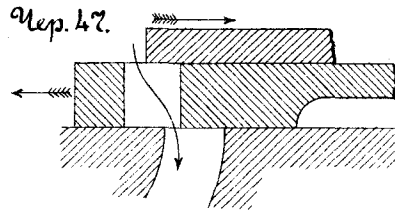
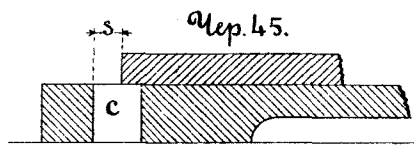
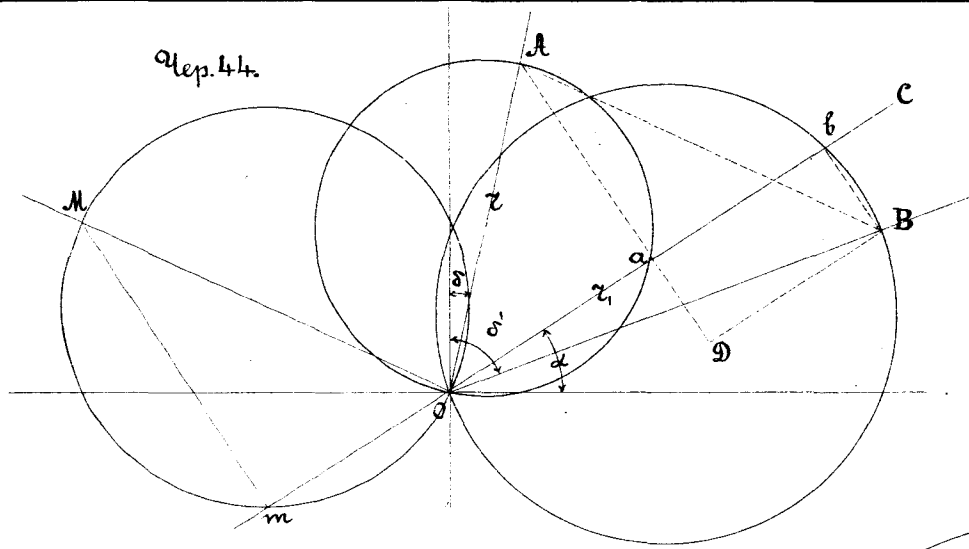


Чер. 42.



Чер. 43.

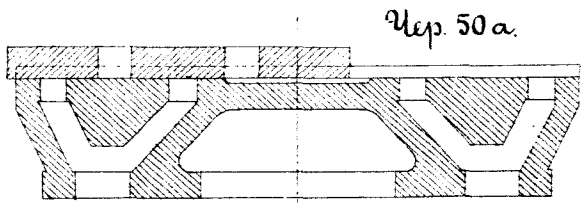
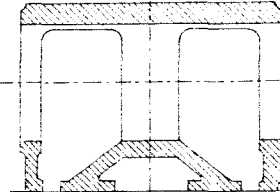
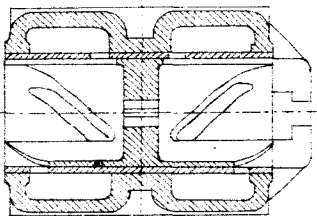




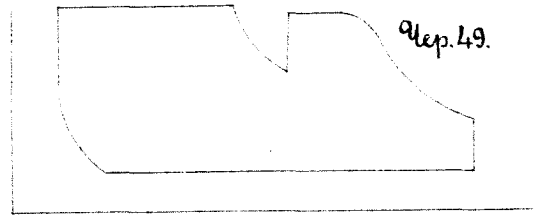
Чер. 53.

Чер. 50b.

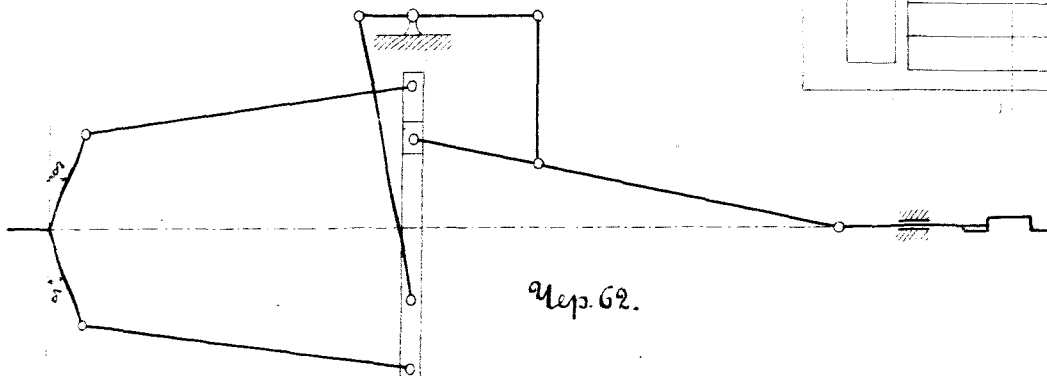
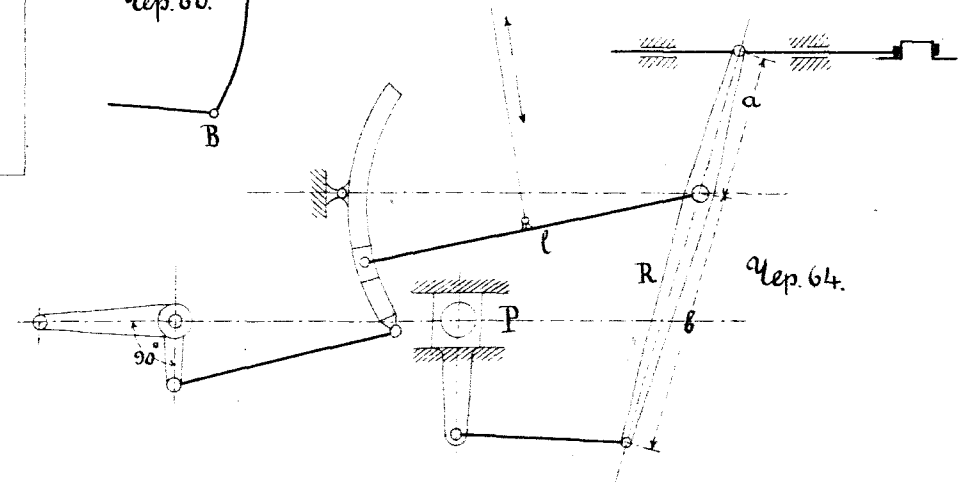
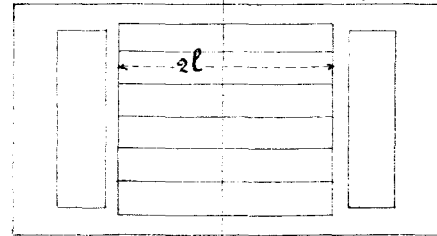
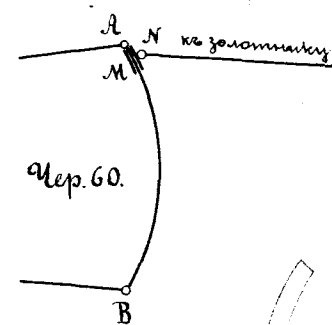
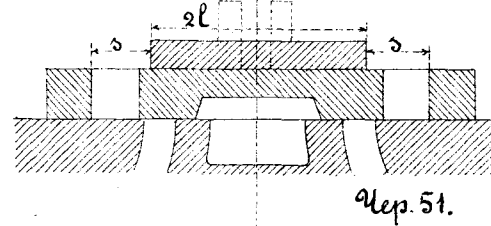
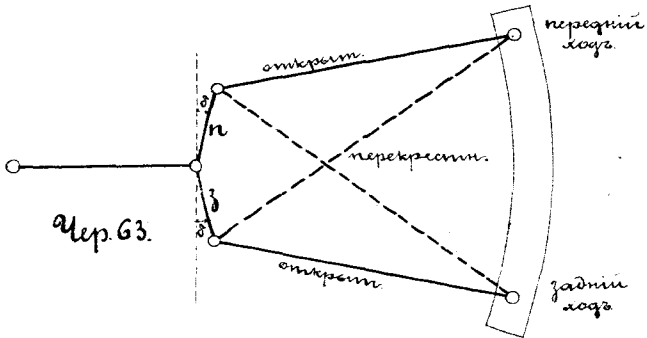
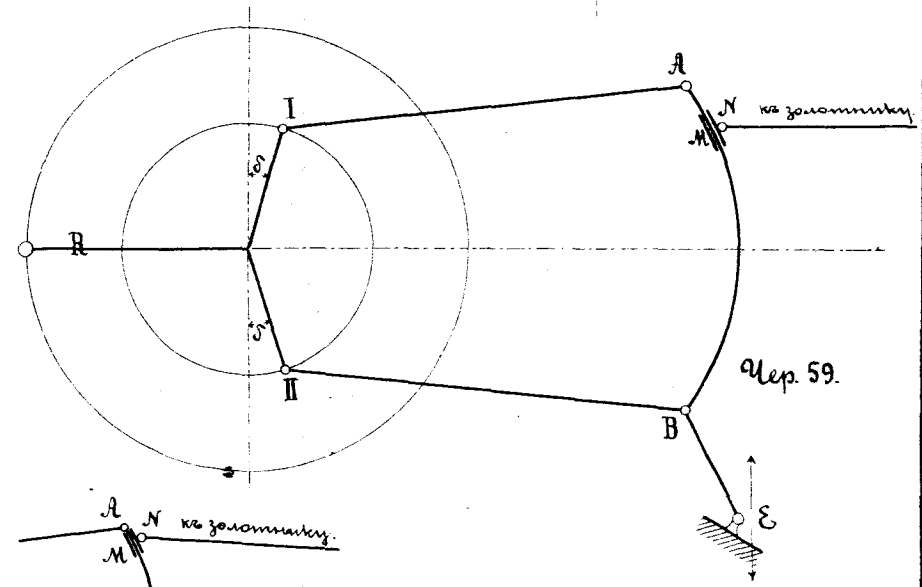
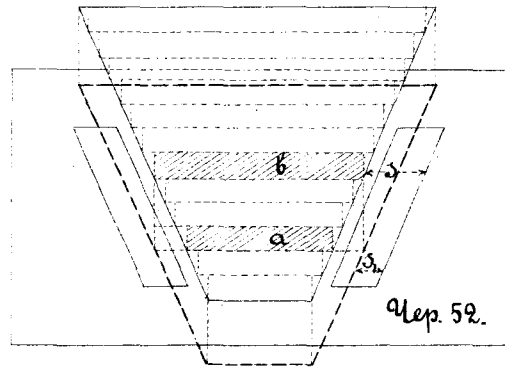
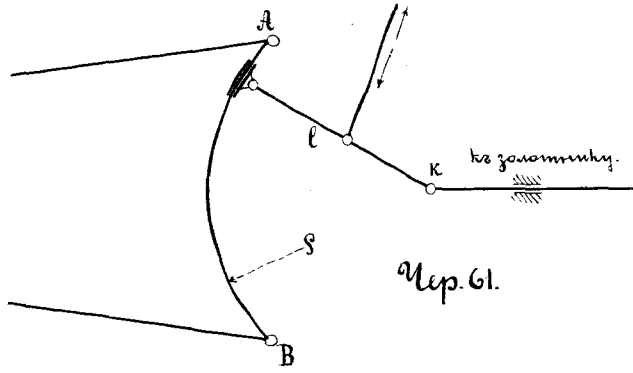
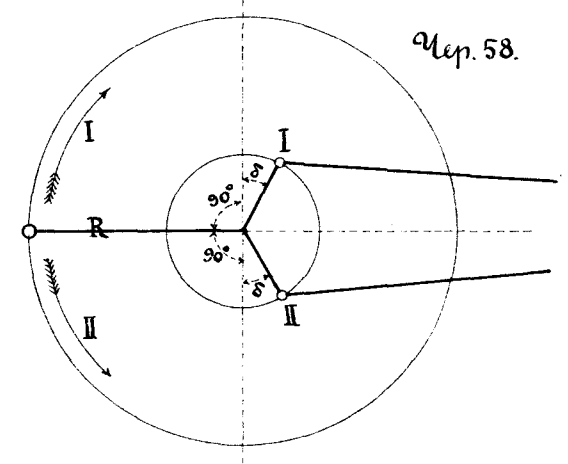
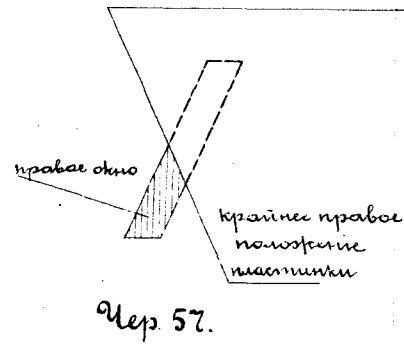
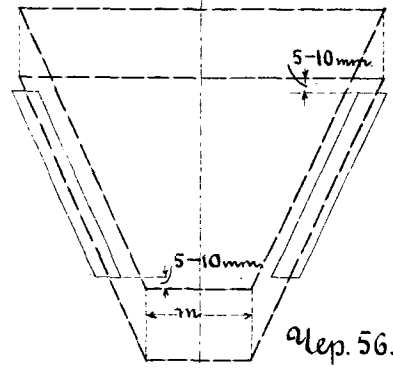
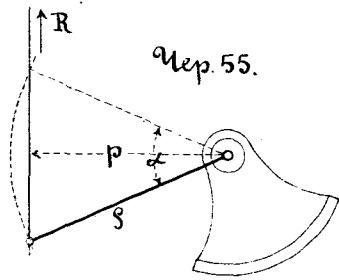
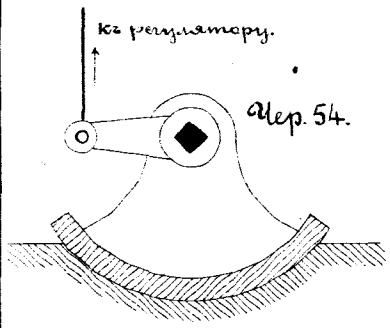
Чер. 50.

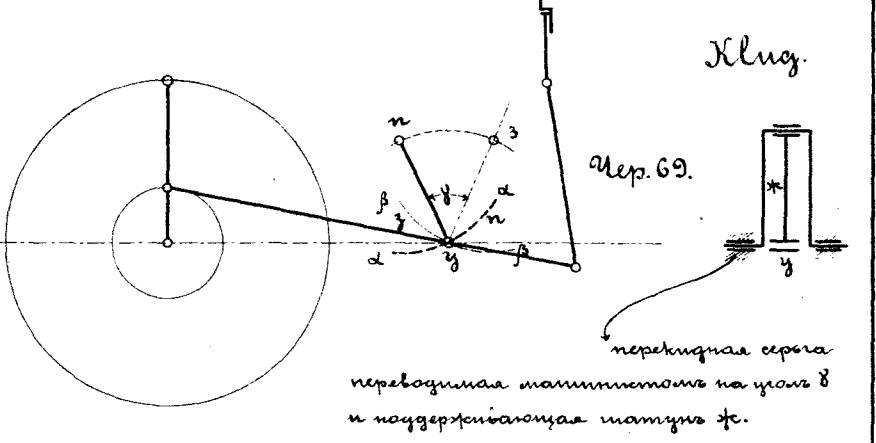
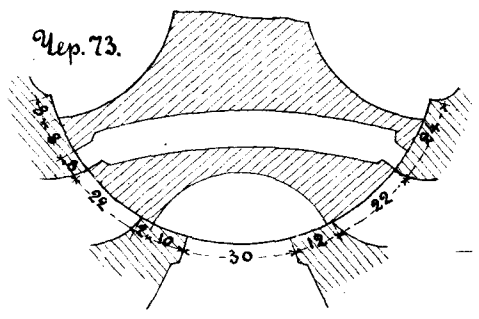
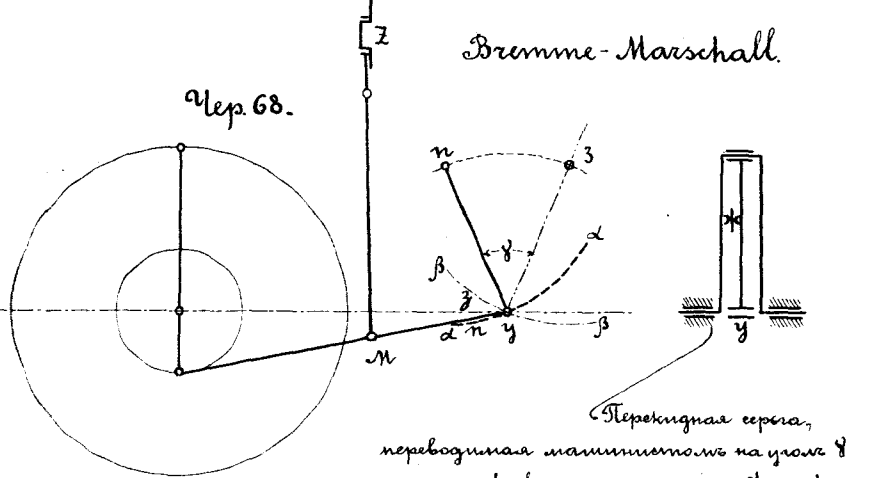
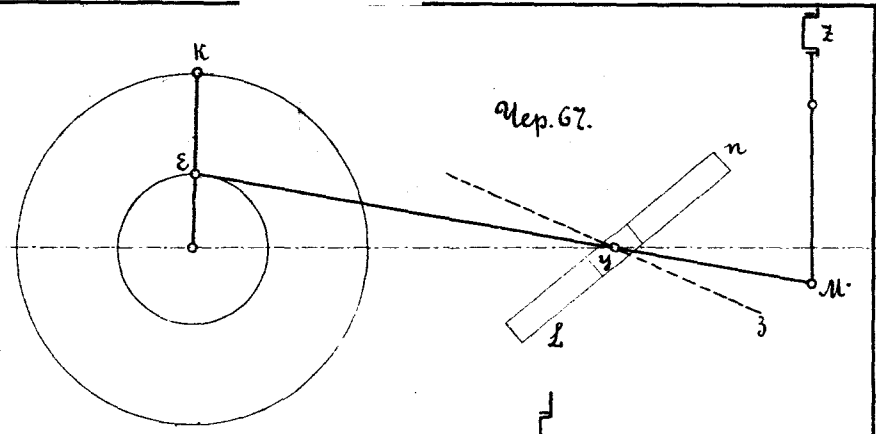
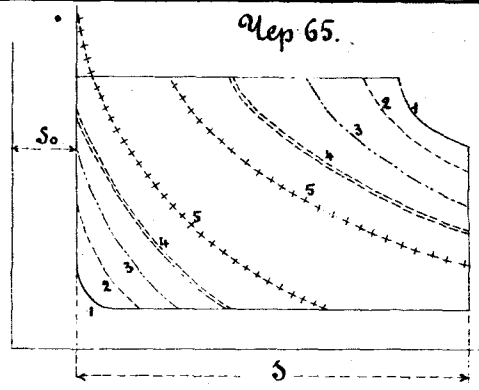
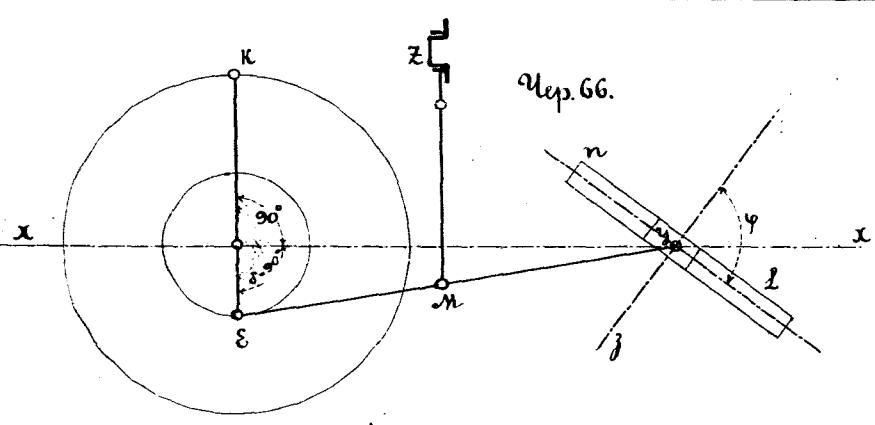


Чер. 50a.



Чер. 49.

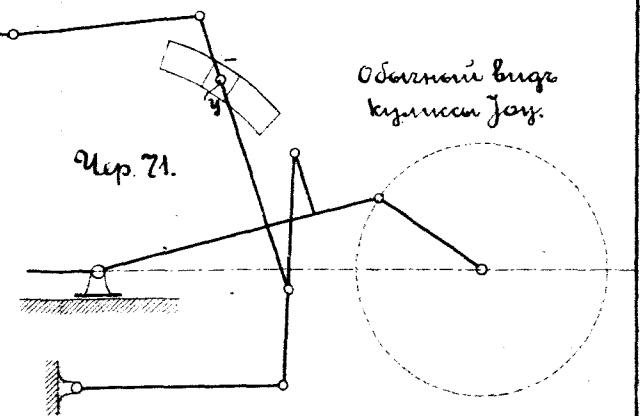
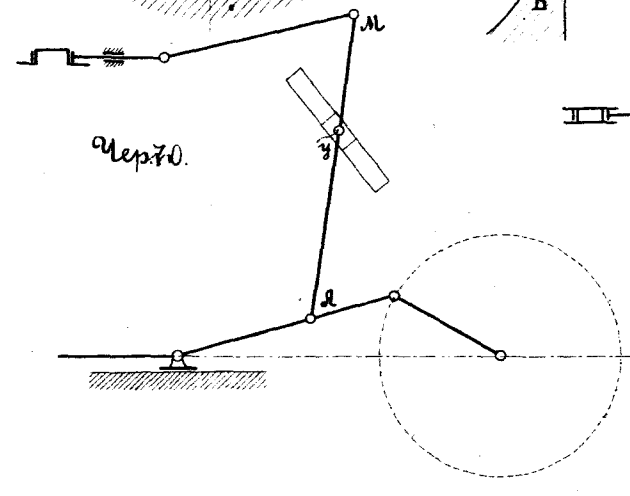
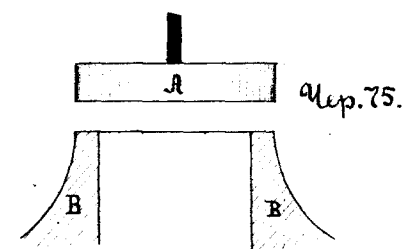
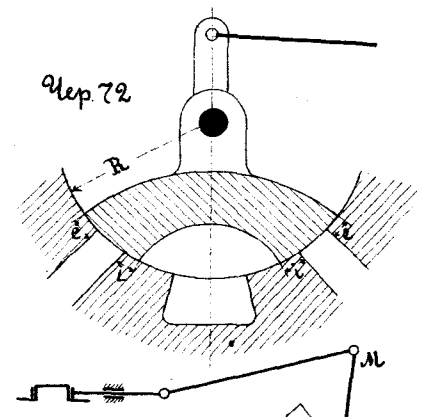
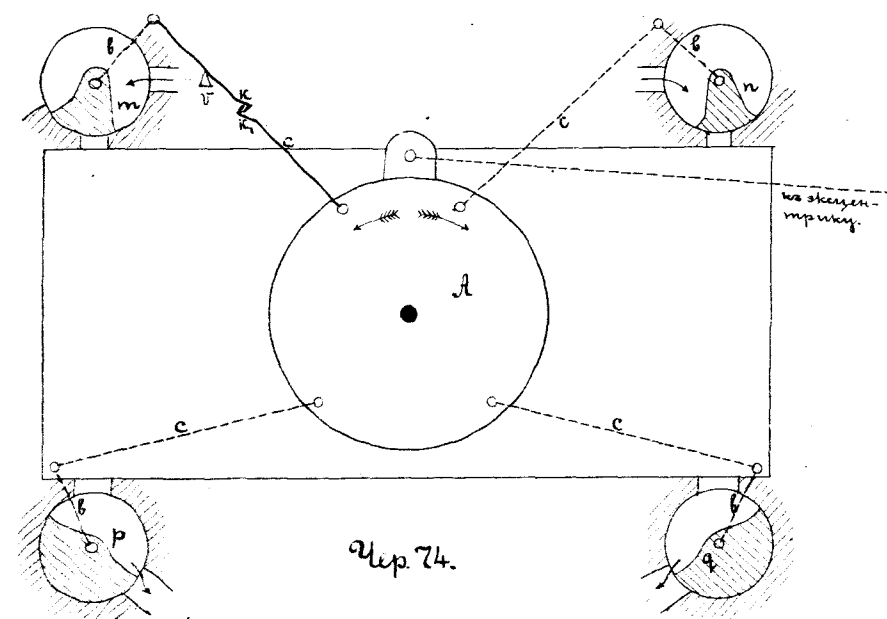




Перекрестная серпа, переводимая машинетом на уровне  $\gamma$  и поддерживающая шатуны Ж, за которыми сватается эксцентрик-овая жала.

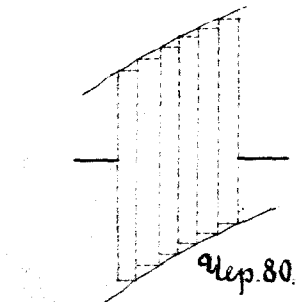
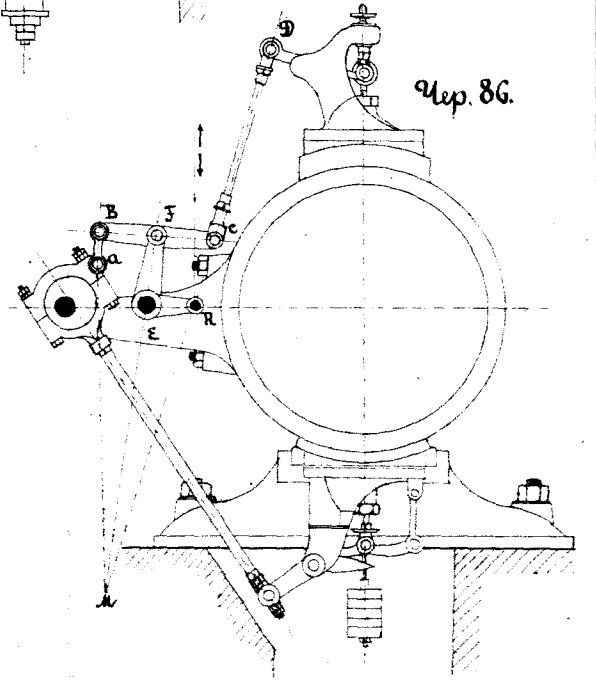
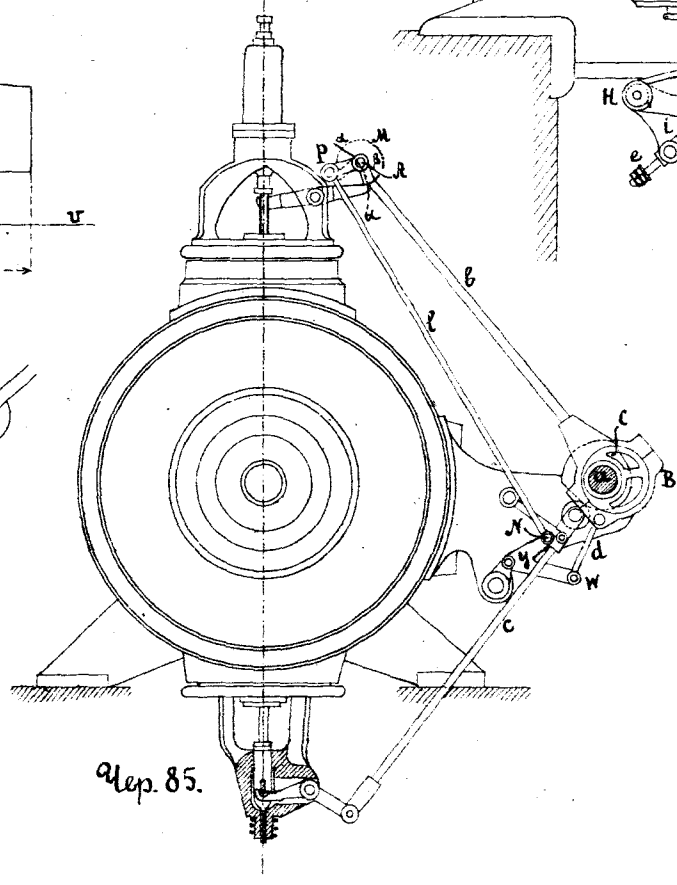
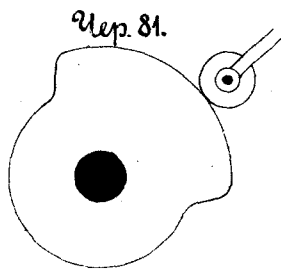
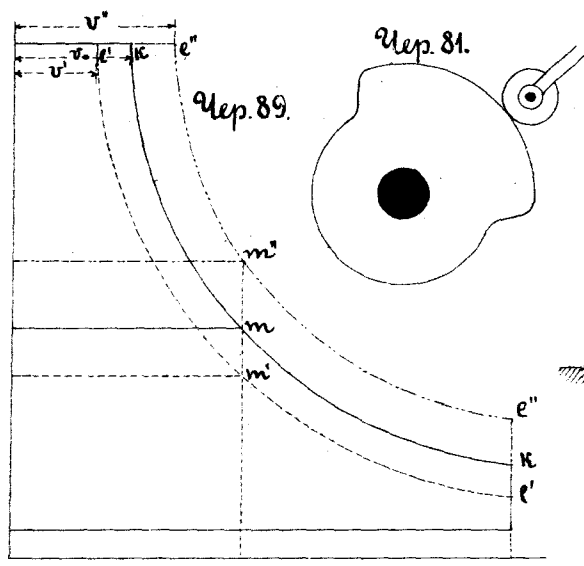
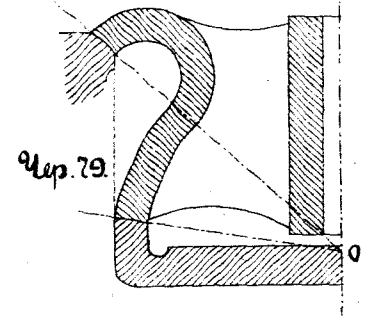
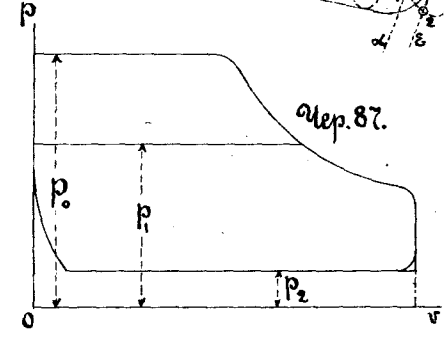
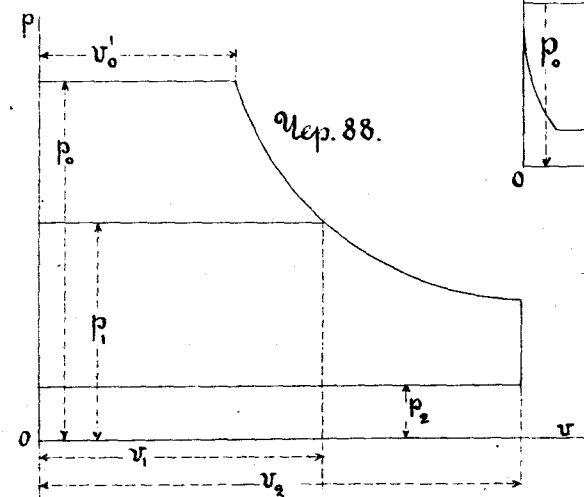
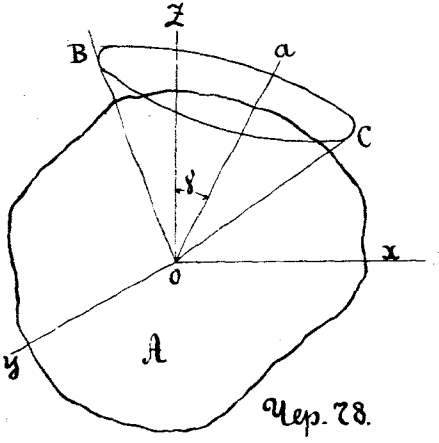
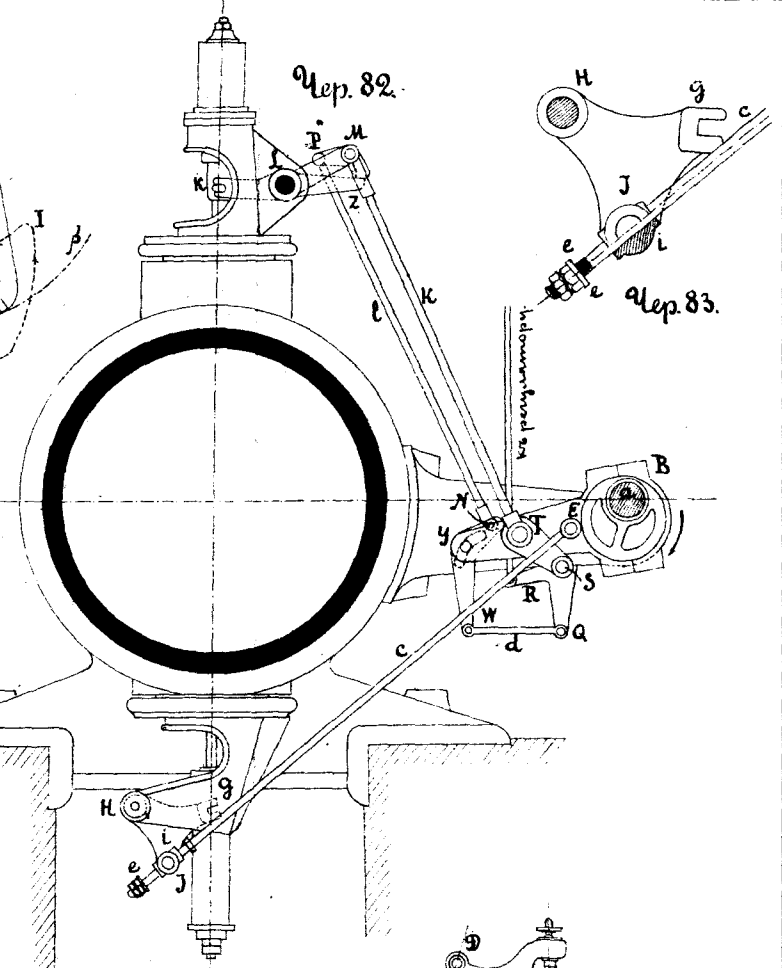
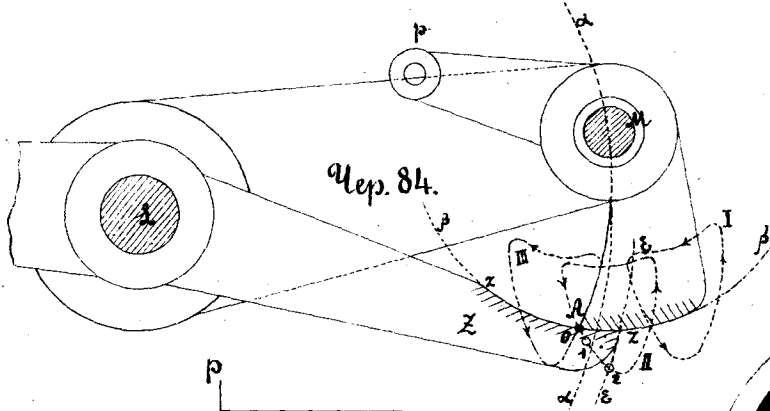
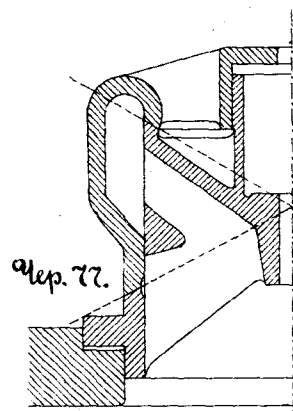
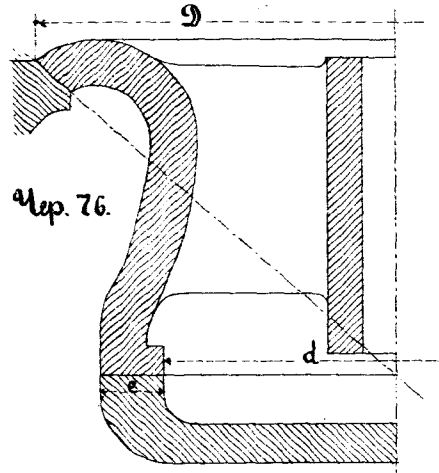
перекрестная серпа переводимая машинетом на уровне  $\delta$  и поддерживающая шатуны Ж.

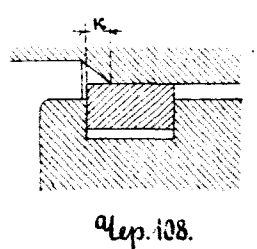
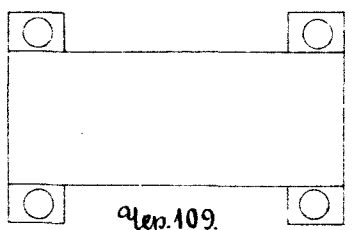
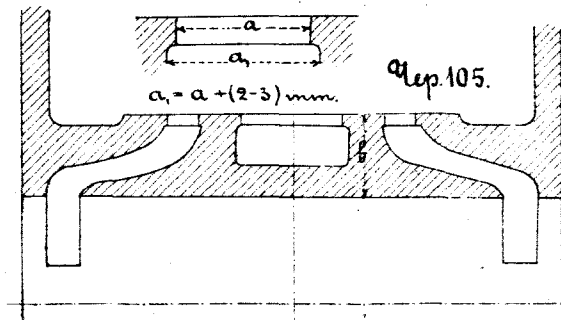
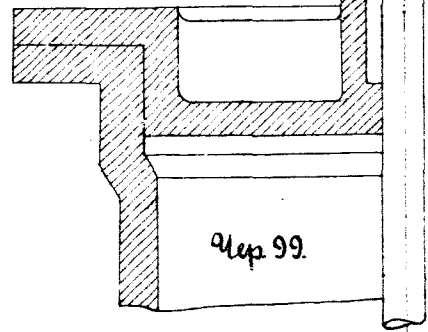
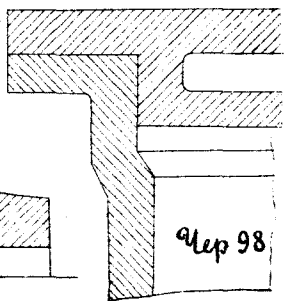
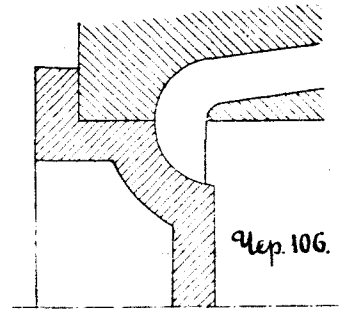
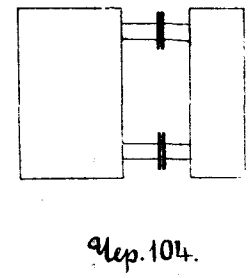
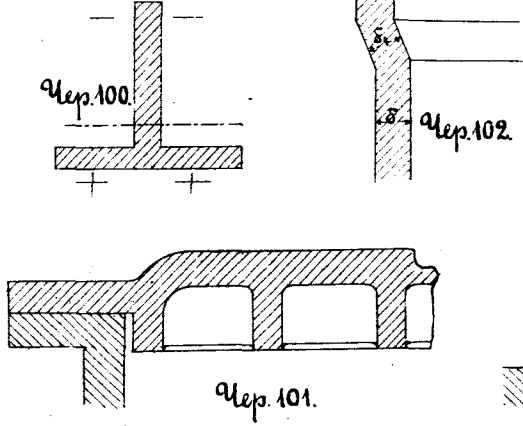
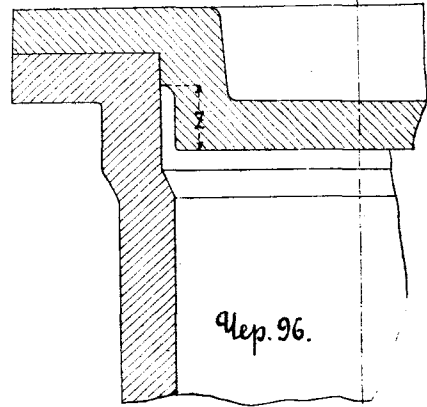
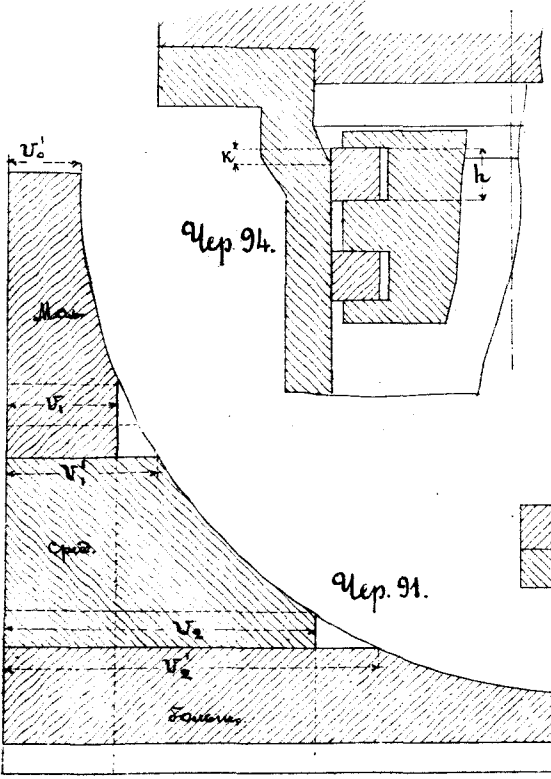
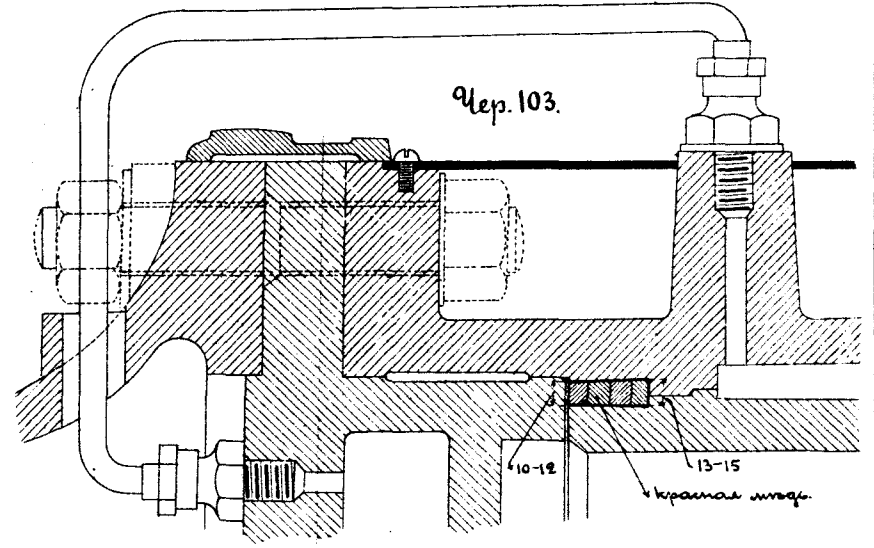
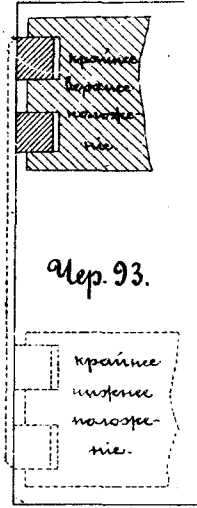
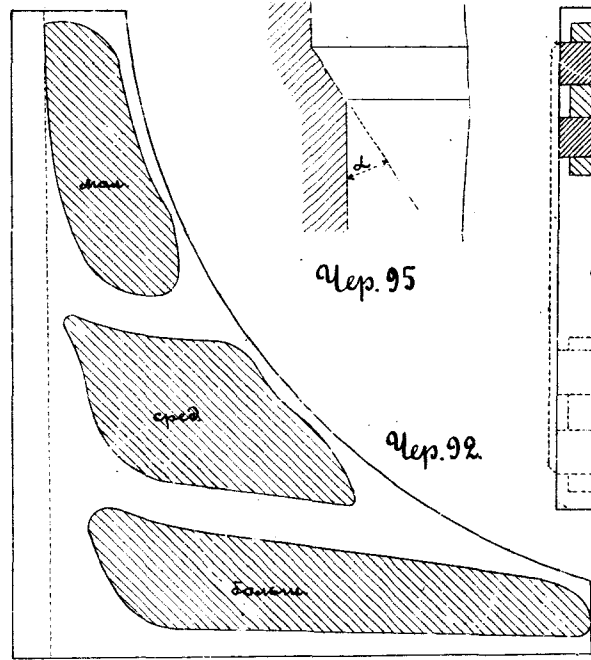
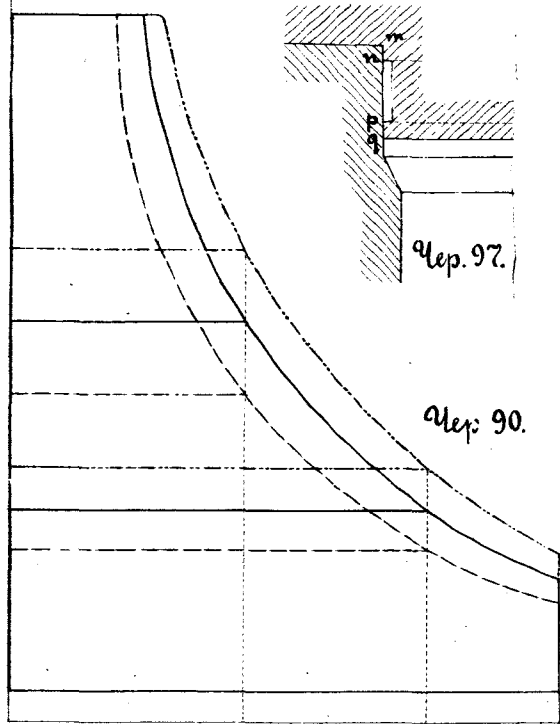
Чертежи 73 - золотника машинет с размерами:  $D=250$  мм.  $H=350$  мм.

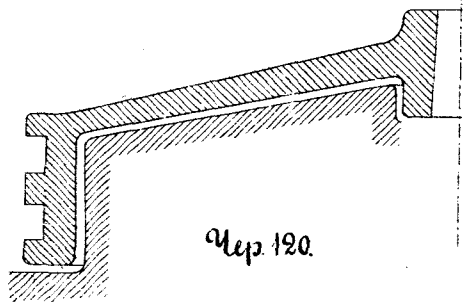
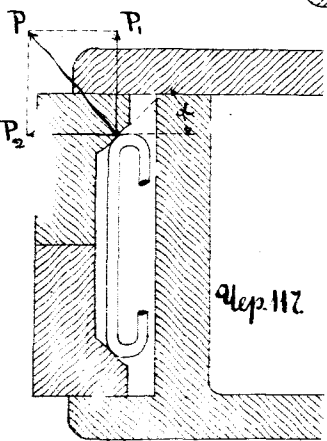
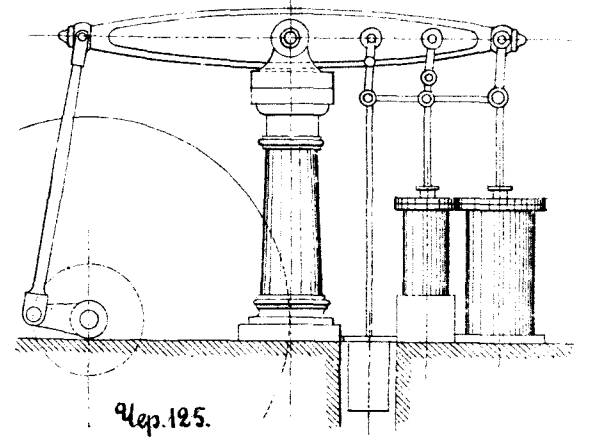
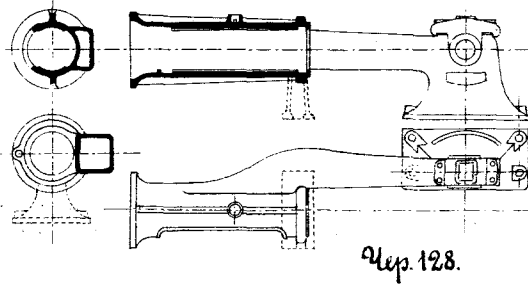
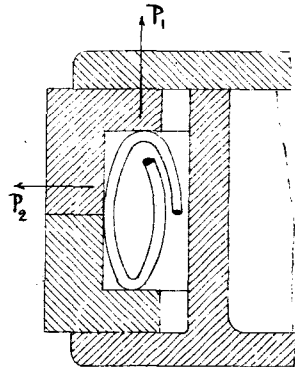
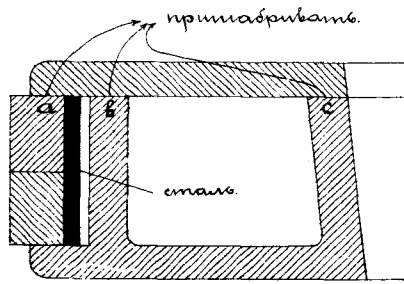
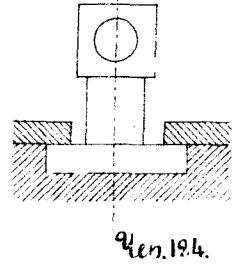
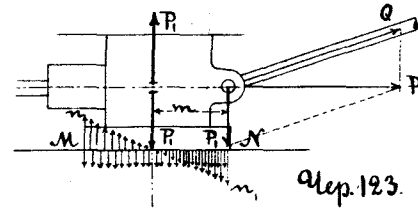
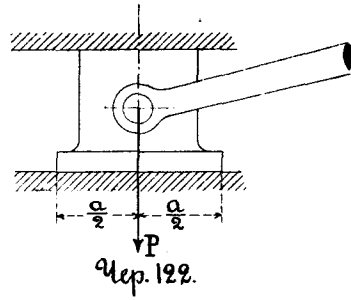
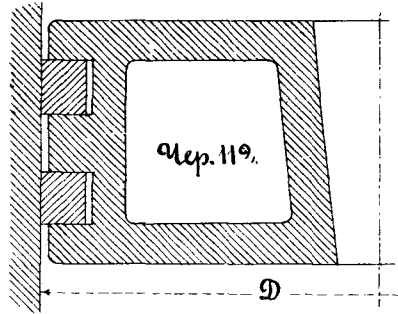
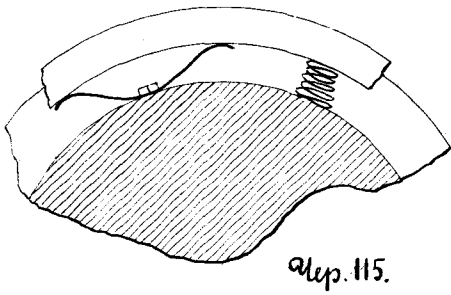
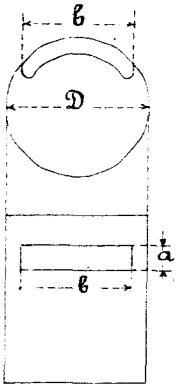
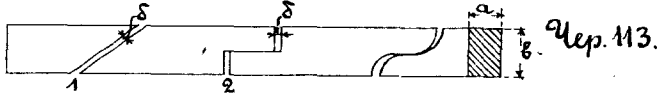
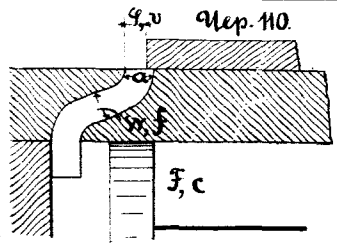


Общий вид кривошипа Ж.

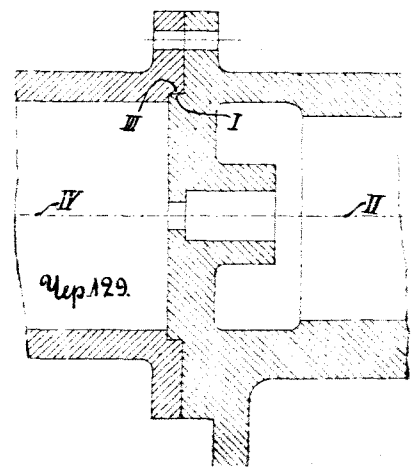
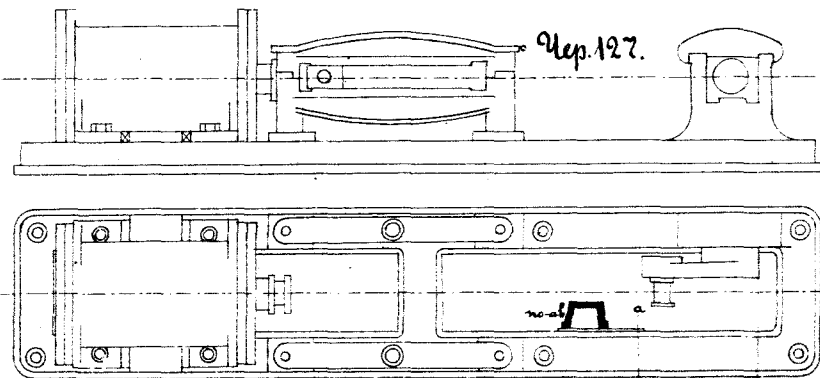
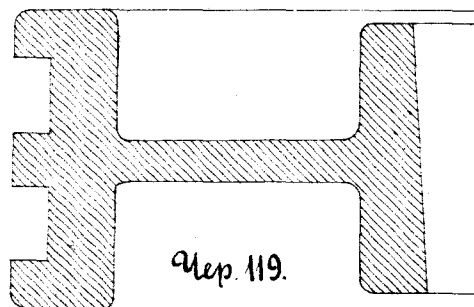
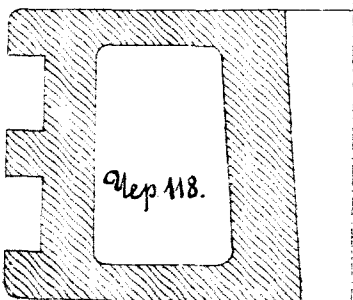
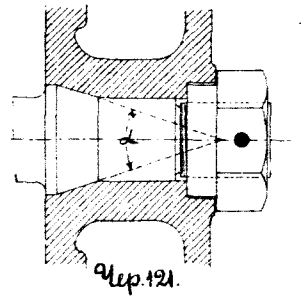
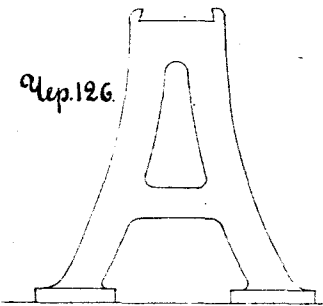
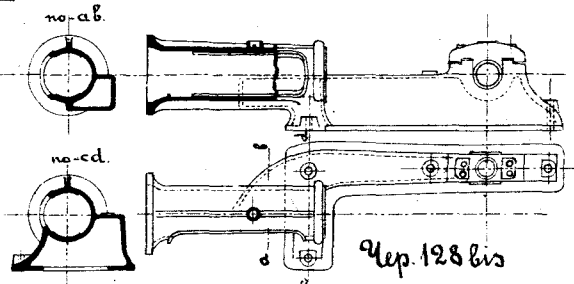


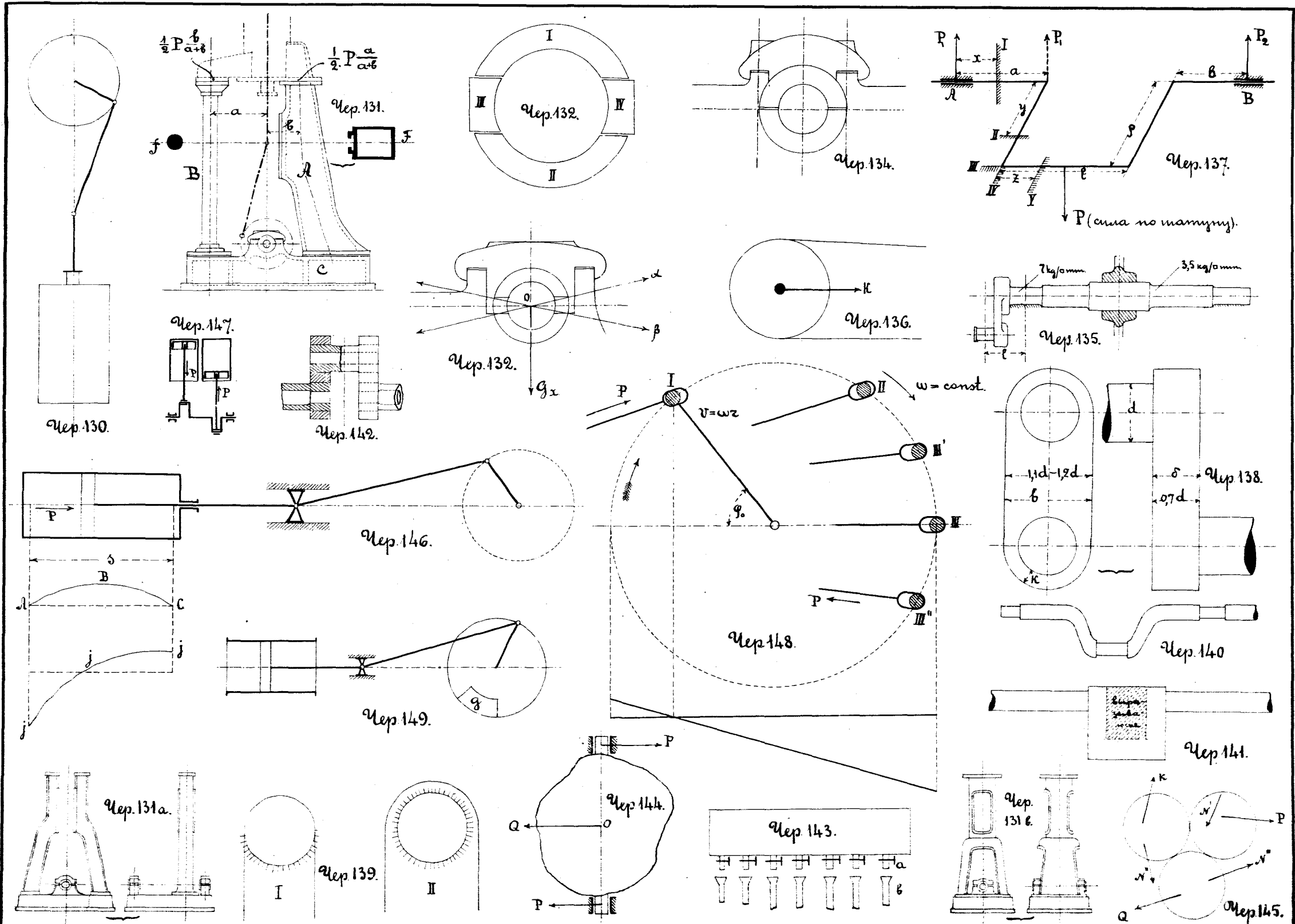


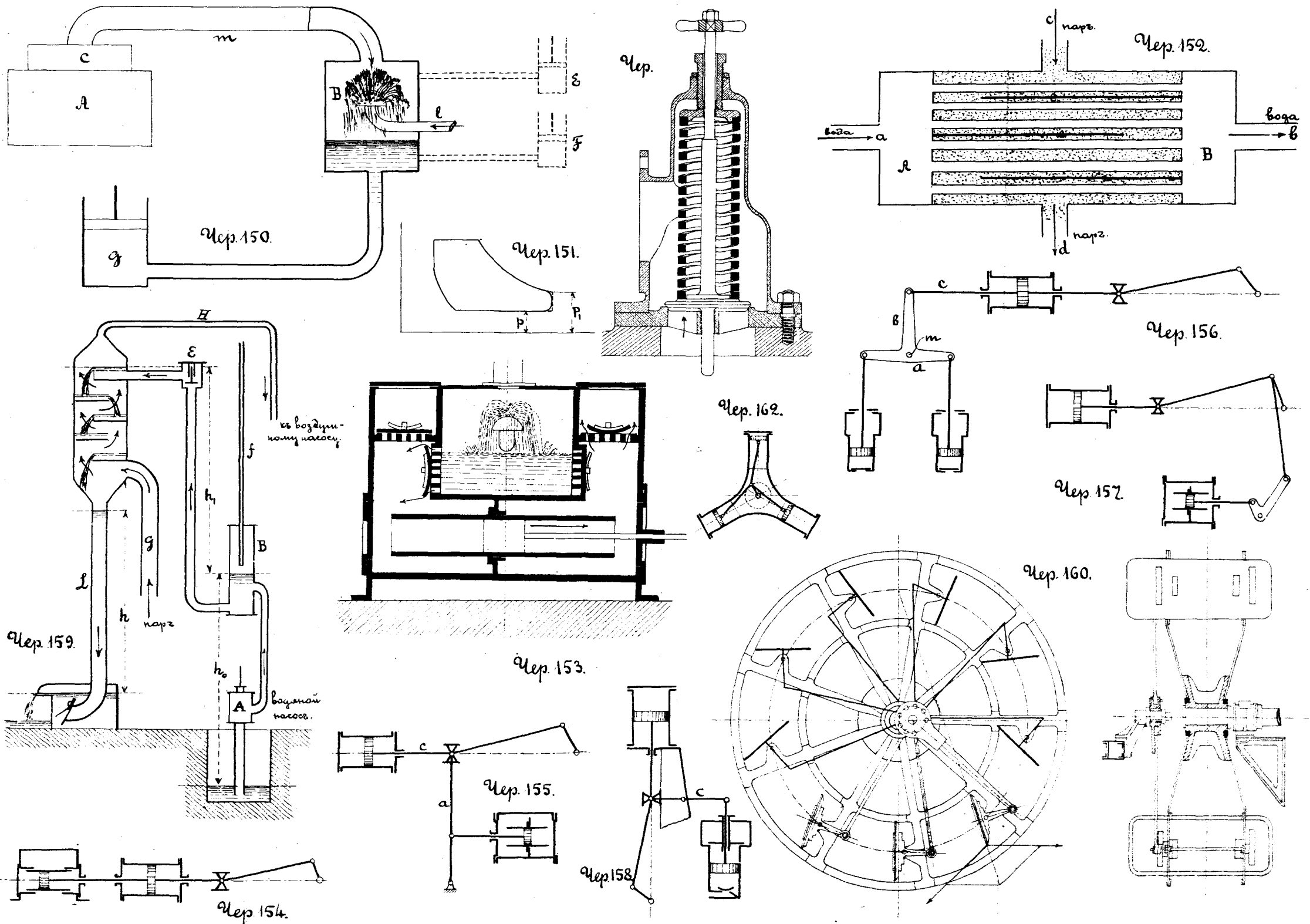


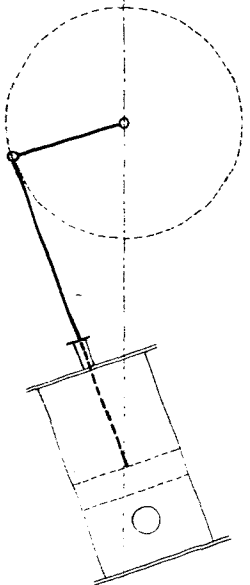


Чер. 116.

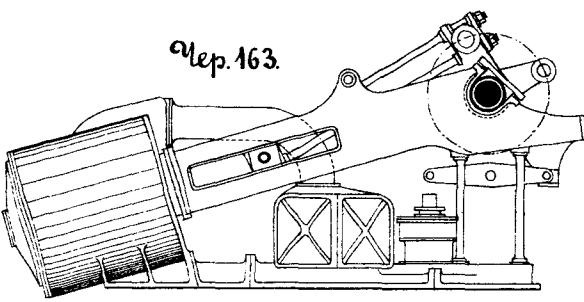




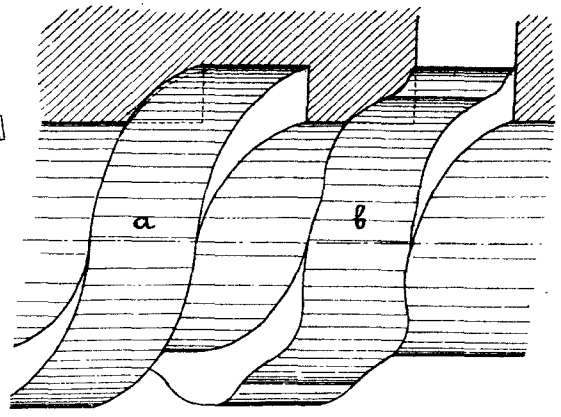




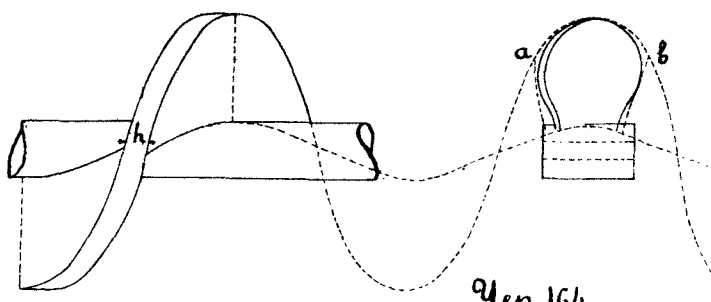
Чер. 161.



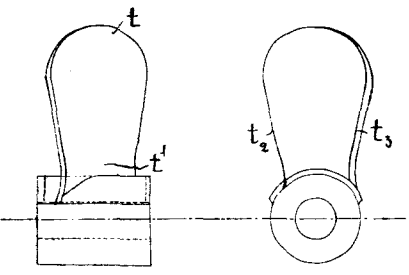
Чер. 163.



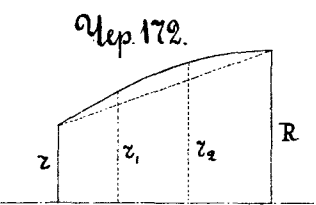
Чер. 165.



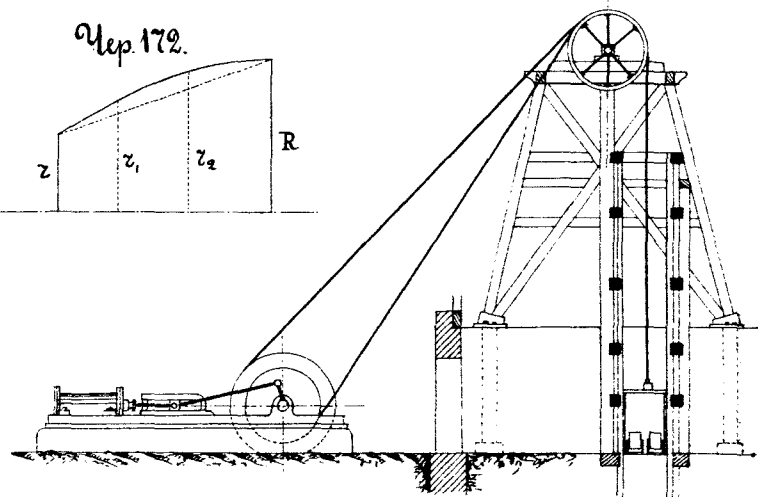
Чер. 164.



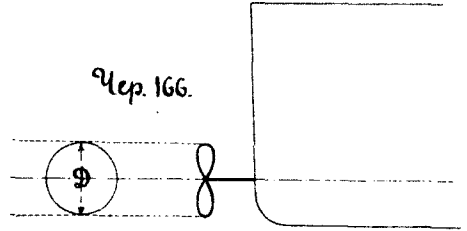
Чер. 167.



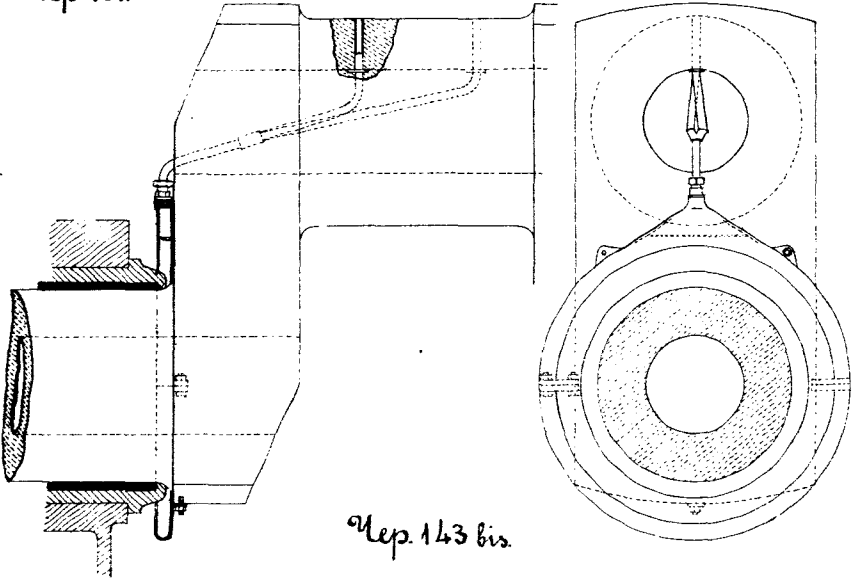
Чер. 172.



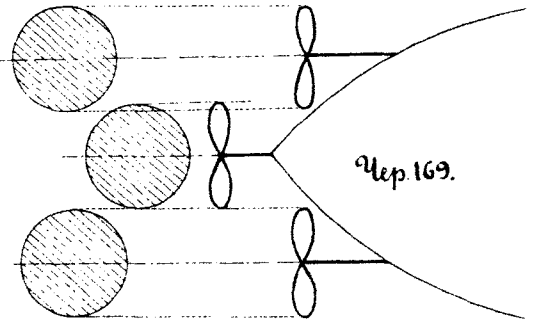
Чер. 171.



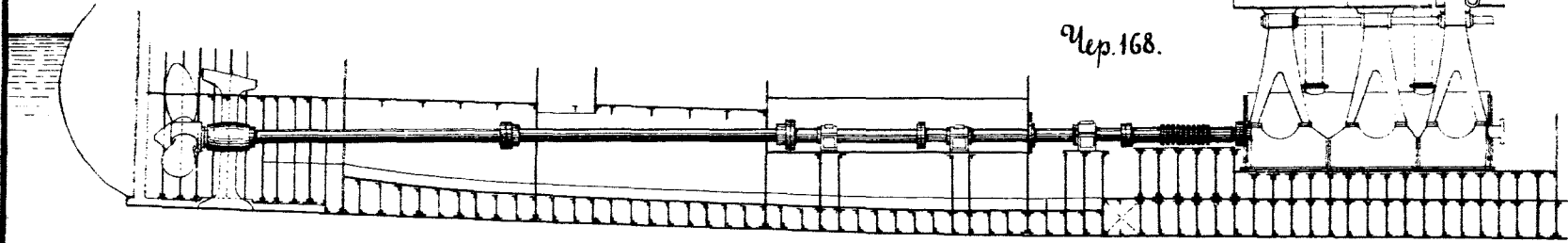
Чер. 166.



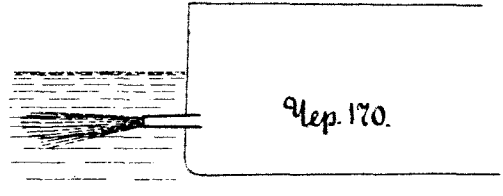
Чер. 143 bis.



Чер. 169.



Чер. 168.



Чер. 170.