A 256/7

А 256
А 7

4 р. серп.

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

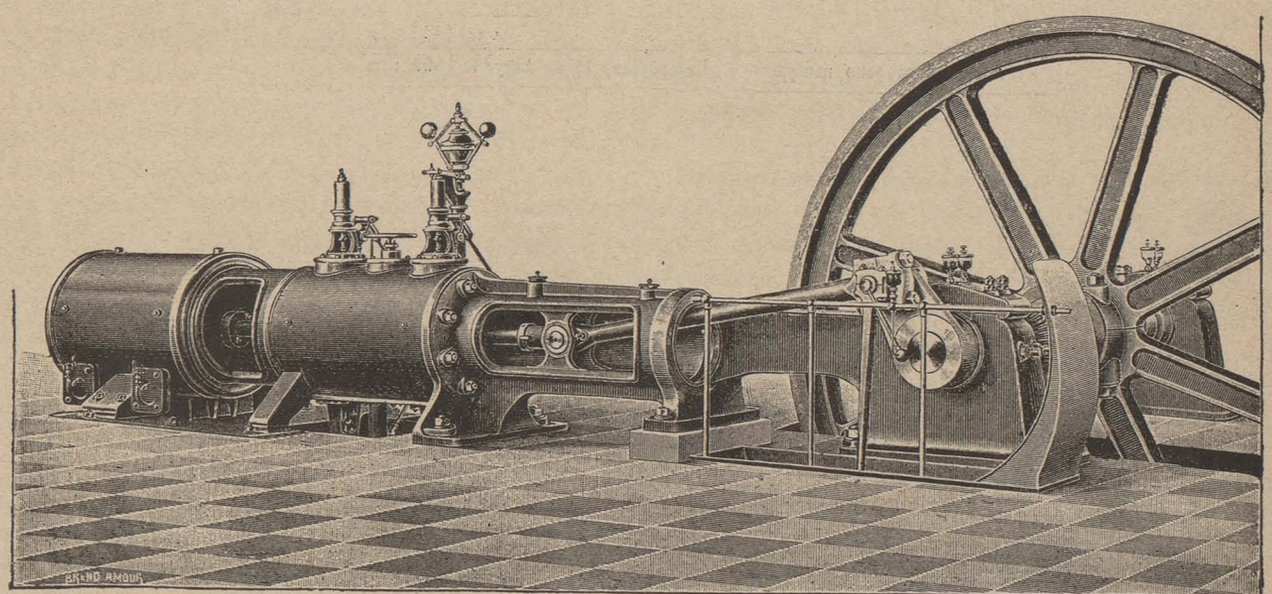
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

ВСЕСОЮЗНАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ОРДЕНА ЛЕНИНА БИБЛИОТЕКА ИМЕНИ В. И. ЛЕНИНА

Изданіе Г. В. Гольстена.
С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.
1899.

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 11-го Августа 1899 года.

12230-О

2012403108

Типо-литографія А. Лейферта, Большая Морская, 65.

ВВЕДЕНІЕ.

Въ паровыхъ машинахъ, для полученія механической работы, паръ двигаетъ взадъ и впередъ поршень, который можетъ перемѣщаться въ опредѣленныхъ границахъ въ замкнутомъ сосудѣ, называемомъ паровымъ цилиндромъ. Въ неподвижномъ соединеніи съ поршнемъ находится поршневой штокъ, который проходитъ въ особыхъ сальникахъ или чрезъ одну или черезъ обѣ крышки цилиндра. Прямолинейное движеніе поршня и его штока превращается при помощи механизма шатуна и кривошипа въ круговращательное движеніе главнаго вала машины, отъ котораго это движеніе передается или передаточному валу или валоисполнительному механизму. Чтобы конецъ поршневаго штока, вслѣдствіе качательнаго движенія связаннаго съ нимъ шатуна, не могъ прогибаться, въ мѣстѣ соединенія ихъ насаживается крестовина или крейцкопфъ, который опирается на прямолинейныя (плоскія или цилиндрическія) направляющія и сочленяется съ шатуномъ посредствомъ цапфы крейцкопфа. Другой конецъ шатуна связанъ съ кривошипомъ посредствомъ пальца кривошипа, который и воспринимаетъ движущее усиліе шатуна. Кривошипъ насаженъ на главный валъ, который опирается по крайней мѣрѣ на два подшипника. Послѣдніе, равно какъ и цилиндръ и направляющія прикрѣплены къ машинному фундаменту частію прямо, частію посредствомъ рамы. Назначеніе рамы то, чтобы воспринимать могущія появиться внутреннія силы безъ замѣтныхъ сотрясеній и деформацій.

При одномъ оборотѣ кривошипа его ось, оси штока и шатуна дважды располагаются по одной и той же прямой линіи. Поршень и крейцкопфъ въ это время находятся въ началѣ или въ концѣ своего хода и паръ, дѣйствующій по направленію той же прямой линіи, перпендикулярно къ плоскости поршня, не въ состояніи вывести машину изъ того или другого положенія, которые и принято называть мертвыми положеніями паровой машины. Чтобы вывести машину изъ мертваго положенія, во всѣхъ одноцилиндровыхъ, а также и тѣхъ многоцилиндровыхъ машинахъ, въ которыхъ поршень, кривошипъ и т. д. достигаютъ одновременно мертваго положенія, требуется особая сила, которую и доставляетъ свойственная массѣ маховика инерція. Маховикъ укрѣпляется на главномъ валу машины. Въ многоцилиндровыхъ машинахъ, въ которыхъ кривошипы насажены на главный валъ такъ, что приходятъ неодновременно въ мертвое положеніе, они выводятъ другъ друга изъ этого положенія.

Второе назначеніе маховика во всѣхъ машинахъ слѣдующее. Давленіе пара на поршень, какъ это будетъ показано впослѣдствіе, точно также, какъ и сопротивленіе, преодолеваемое главнымъ валомъ, не суть постоянныя величины. Это вызываетъ перемѣнную скорость вращенія главнаго вала, тѣмъ болѣе, что мѣняется также отношеніе пути, проходимаго поршнемъ, къ соотвѣтственному пути, проходимому пальцемъ кривошипа. Сдѣлать эти колебанія и измѣненія въ скорости главнаго вала по возможности ничтожными и тѣмъ самымъ достигнуть болѣе равномѣрнаго и спокойнаго хода машины и есть дальнѣйшее назначеніе маховика.

Во время одного оборота кривошипа крейцкопфъ и поршень совершаютъ два хода; одинъ изъ этихъ ходовъ называется переднимъ, другой заднимъ ходомъ. При переднемъ ходѣ поршень и крейцкопфъ двигаются по направленію къ главному валу, при заднемъ—по направленію отъ него. Вращеніе горизонтальной паровой машины можетъ также совершаться впередъ (передній ходъ) и назадъ (задній ходъ). Въ первомъ случаѣ при переднемъ ходѣ поршня палецъ кривошипа пробѣгаетъ сперва верхную половину описываемой имъ окружности, при заднемъ ходѣ его—нижнюю половину; во второмъ случаѣ при переднемъ ходѣ поршня палецъ кривошипа пробѣгаетъ сперва нижнюю, при заднемъ ходѣ—верхнюю половину той-же окружности.

Каждая сторона поршня поочередно должна быть соединена съ каналомъ, по которому притекаетъ изъ котла свѣжій паръ, и съ каналомъ, по которому отработавшій въ цилиндрѣ паръ уходитъ. Каналъ, по которому притекаетъ свѣжій паръ, называется паровпускнымъ, тотъ, по которому отработавшій паръ уходитъ, паровыпускнымъ. Та сторона поршня, на которую дѣйствуетъ вступающій свѣжій паръ, называется рабочею стороною поршня; противоположная сторона—нерабочею стороною поршня. Чтобы каждая сторона поршня поочередно дѣлалась рабочею и нерабочею, т. е. чтобы паръ поочередно дѣйствовалъ сперва на одну сторону поршня, а потомъ уходилъ бы съ той же стороны, каждая паровая машина снабжается приспособленіемъ, которое принято называть парораспредѣлительнымъ механизмомъ или просто парораспредѣленіемъ. Различаютъ внутреннія и внѣшнія части парораспредѣленія; первыя составляютъ парораспредѣлительные приборы, какъ-то золотники, клапаны и краны, которые открываютъ и закрываютъ паровпускные и паровыпускные клапаны; внѣшнее парораспредѣленіе составляетъ внѣшній парораспредѣлительный механизмъ, при помощи котораго внутренніе парораспредѣлительные приборы приводятся въ движеніе отъ главнаго вала. Когда поршень находится въ мертвомъ положеніи, между нимъ, ближнею крышкою цилиндра и запертымъ паровпускнымъ органомъ остается нѣкоторое пространство. Это пространство называютъ вреднымъ пространствомъ, потому что запертой въ немъ паръ частію не принимаетъ участія въ полезномъ дѣйствіи машины.

Число двигаемыхъ паровою машиною исполнительныхъ механизмовъ, точно также какъ и нагрузка ихъ, мѣняется; поэтому преодолѣваемое паровою машиною сопротивленіе непостоянно. Эта измѣнчивость вліяетъ на ходъ паровой машины такимъ образомъ, что при уменьшеніи сопротивленія она пріобрѣтаетъ большую скорость и большее число оборотовъ, при увеличеніи же сопротивленія меньшую скорость и меньшее число оборотовъ. Для уменьшенія такого рода неравномѣрности хода каждая паровая машина снабжается регулирующимъ аппаратомъ, который можетъ дѣйствовать двоякимъ образомъ. Или въ паропроводной трубѣ помѣщается поворотный клапанъ, который и регулируетъ притокъ пара, увеличивая или уменьшая отверстіе для протока пара, причемъ также увеличивается или уменьшается давленіе его до поступленія въ цилиндръ. Или, другимъ образомъ, измѣняется отсѣчка пара, (о которой будетъ сказано ниже), причемъ увеличивается или уменьшается работа пара подъ поршнемъ.

Изъ обоихъ способовъ регулированія—первый менѣе выгодный, такъ какъ при немъ, если желаютъ по временамъ усиливать работу машины, при чаще всего имѣющемъ мѣсто напряженіи всякой правильно соразмѣренной машины придется мять паръ [1]), т. е. производить потерю въ его давленіи, пользуясь полнымъ паромъ лишь въ случаяхъ исключительныхъ, при усиленной работѣ.

Установка поворотнаго клапана соотвѣтственно временной нагрузкѣ машины производится самой машиной посредствомъ такъ называемаго регулятора; установка отсѣчки также производится имъ или происходитъ отъ руки. Машины, въ которыхъ отсѣчка устанавливается отъ руки, снабжаются также поворотнымъ клапаномъ, на который дѣйствуетъ регуляторъ, регулирующій скорость при внезапныхъ перемѣнахъ въ нагрузкѣ машины до тѣхъ поръ, пока установленная отъ руки новая отсѣчка не соотвѣтствуетъ новой нагрузкѣ машины.

Въ паровыхъ машинахъ употребляются почти исключительно центробѣжные регуляторы, состоящіе изъ двухъ маятниковъ, снабженныхъ на свободныхъ концахъ тяжелыми шарами, а другими концами связанные шарнирнымъ образомъ съ главнымъ валомъ или съ валомъ, вращающимся въ связи съ главнымъ. Эти маятники связаны также съ подвижнымъ механизмомъ, который дѣйствуетъ на поворотный клапанъ или же на внѣшній парораспредѣлительный механизмъ. При нормальной скорости паровой машины стержни находятся въ совершенно опредѣленномъ равновѣсномъ положеніи. Какъ скоро же скорость увеличится, шары расходятся и перемѣщаютъ подвижной механизмъ въ одномъ направленіи, при уменьшеніи же скорости шары сближаются, и подвижной механизмъ перемѣщается въ противоположномъ направленіи. Производимое регуляторомъ регулированіе никогда не бываетъ совершеннымъ, потому что дѣйствіе регулятора на поворотный клапанъ или парораспредѣлительный механизмъ начинается уже послѣ того, какъ наступило измѣненіе въ скорости машины. Во всѣхъ лучшихъ регуляторахъ остающіяся уклоненія отъ нормальной скорости крайне незначительны.

Исключительный типъ нынѣшнихъ паровыхъ машинъ — это машины съ расширеніемъ пара, т. е. таковые, въ которыхъ свѣжій паръ пускается подъ поршень только на нѣкоторой части его хода. На остающейся части хода поршня заключенный въ цилиндрѣ паръ работаетъ своимъ расширеніемъ, причемъ съ перемѣщеніемъ поршня объемъ пара увеличивается, а напряженіе его уменьшается. Отношеніе той части хода поршня, на которой производится впускъ пара, къ полному ходу поршня называется наполненіемъ или степенью наполненія, моментъ же, когда прекращается впускъ пара, называется отсѣчкою. Въ

[1]) Хотя умѣренное мятіе (пониженіе давленія) пара этимъ способомъ можетъ при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ представляться выгоднымъ, какъ это будетъ показано впослѣдствіе.

старинныхъ паровыхъ машинахъ расширенія пара не было и паръ пускался на всемъ ходу поршня, приэтомъ совершенно не пользовались полнымъ расширеніемъ его, почему онъ въ концѣ хода поршня, а слѣдовательно и въ началѣ выпуска пара, обладалъ тѣмъ же давленіемъ, какъ и при впускѣ. Поэтому машины такого рода расходовали значительно больше пара, чѣмъ машины съ расширеніемъ пара.

Далѣе паровыя машины дѣлятся на машины безъ охлажденія и машины съ охлажденіемъ пара. Въ машинахъ перваго рода отработавшій въ цилиндрѣ паръ (мятый паръ) выпускается въ атмосферу и поэтому давленіе на поршень, со стороны выпуска пара, равно атмосферному. Въ машинахъ же второго рода мятый паръ проводится въ особое помѣщеніе, въ конденсаторъ (или холодильникъ), и здѣсь сгущается охлажденіемъ въ воду, вслѣдствіе чего получается разрѣженное пространство, а слѣдовательно подъ поршнемъ со стороны выпуска пара давленіе значительно ниже, чѣмъ въ машинахъ перваго рода. Такъ какъ это давленіе должно быть преодолѣваемо движущимъ давленіемъ пара со стороны впуска его, то, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, разность между этими двумя давленіями будетъ больше въ машинахъ съ охлажденіемъ пара, причемъ однако не слѣдуетъ упускать изъ виду, что въ этихъ машинахъ часть упомянутой разности, которая и является движущимъ усиліемъ для поршня, тратится на приведеніе въ дѣйствіе конденсатора.

Наконецъ разсматриваемыя въ данномъ курсѣ паровыя машины подраздѣляются на одноцилиндровыя и многоцилиндровыя. Если въ послѣднихъ имѣется два или нѣсколько цилиндровъ, которые связаны съ однимъ и тѣмъ-же валомъ, имѣютъ одинаковые размѣры и снабжаются самостоятельно свѣжимъ паромъ одного и того же давленія, то машины такого рода называются сдвоенными, строенными. Кривошипы этихъ машинъ насажены на валъ подъ угломъ 90° и 120° и не достигаютъ, слѣдовательно, никогда одновременно мертваго положенія. Многоцилиндровыя машины, въ которыхъ цилиндры различныхъ размѣровъ и свѣжій паръ пускается въ меньшій цилиндръ и потомъ уже, отработавъ въ немъ, пускается во второй, а иногда послѣ этого и въ третій цилиндръ, откуда онъ уже выпускается въ атмосферу или въ холодильникъ, называются машинами двойного и тройного расширенія или машинами компаундъ, съ двумя и тремя цилиндрами. Машины двойного расширенія дѣлятся опять на машины Вульфа (Woolf) и машины компаундъ съ ресивероmъ. Въ машинахъ Вульфа парораспредѣлительный приборъ для выпуска пара изъ малаго цилиндра (цилиндръ высокаго давленія) и парораспредѣлительный приборъ для впуска пара въ большой цилиндръ (цилиндръ низкаго давленія) приводятся въ движеніе однимъ и тѣмъ-же приспособленіемъ и паръ переходитъ, слѣдовательно, непосредственно изъ малаго въ большой цилиндръ. Въ машинахъ компаундъ съ ресивероmъ парораспредѣлительные приборы обоихъ цилиндровъ двигаются самостоятельно, и паръ изъ малаго цилиндра попадаетъ сперва въ особый пріемникъ или ресиверъ, а потомъ въ большой цилиндръ. Въ машинѣ Вульфа кривошипы насаживаются подъ угломъ въ 0° или 180° и приходятъ, слѣдовательно, одновременно въ одно и тоже или противоположныя мертвыя положенія. Въ машинахъ компаундъ кривошипы заклинены большею частью подъ угломъ въ 0° и 90°. Въ первомъ случаѣ оба цилиндра расположены другъ за другомъ, имѣютъ общій штокъ и кривошипъ; машины такого типа носятъ названіе машинъ-тэндемъ.

Во второмъ случаѣ оба цилиндра расположены другъ возлѣ друга и дѣйствуютъ на разные кривошипы. Въ компаундъ-машинахъ съ тремя цилиндрами, которые принято называть малымъ, среднимъ и большимъ цилиндрами (также цилиндрами высокаго, средняго и низкаго давленія) имѣется или три кривошипа, заклиненные подъ угломъ въ 120° другъ къ другу, и три цилиндра рядомъ расположенные, или два заклиненные подъ угломъ въ 90° кривошипа, причемъ тогда два цилиндра (обыкновенно высокаго и средняго давленія) расположены другъ за другомъ и дѣйствуютъ на общій кривошипъ.

ЧАСТЬ I.

Важнѣйшія свѣдѣнія изъ механической теоріи теплоты, необходимыя при изученіи паровыхъ машинъ.

§ 1.

Эквиваленты теплоты и работы. Свойство теплоты. Энергія.

Многочисленные опыты доказали, что:

1. Теплота можетъ превратиться въ механическую работу и, наоборотъ, механическая работа можетъ превратиться въ теплоту. Паровыя машины могутъ служить примѣромъ перваго, всевозможные процессы, сопровождаемые ударомъ или треніемъ, примѣромъ второго положенія.
2. Опредѣленное количество теплоты превращается всегда въ одно и тоже количество работы и, наоборотъ, опредѣленное количество работы превращается всегда въ одно и тоже количество теплоты. Если принять за единицу работы килограммо-метръ (mkg) и за единицу теплоты (WE) калорію [1]), то единица работы даетъ всегда $\frac{1}{428}$ единицъ теплоты, а единица теплоты — 428 единицъ работы.

Поэтому называютъ

$A = \frac{1}{428}$ тепловымъ эквивалентомъ единицы работы и

$\frac{1}{A} = 428$ механическимъ эквивалентомъ единицы теплоты.

Поэтому во всѣхъ случаяхъ, гдѣ теплота превращается въ нѣкоторое количество работы L, затрачивается количество теплоты

$$Q = A.L. \quad \ldots\ldots\ldots \quad I^a$$

и во всѣхъ случаяхъ, когда механическая работа превращается въ нѣкоторое количество теплоты Q затрачивается

$$L = \frac{1}{A} Q. \quad \ldots\ldots\ldots \quad I^b$$

единицъ работы.

На основаніи согласія, которое существуетъ между результатами многочисленныхъ опытовъ и выводами изъ математическихъ выкладокъ, опирающихся на приведенное ниже предположеніе о свойствѣ теплоты, механическая теорія теплоты принимаетъ основную аксіому, что **теплота есть ничто иное какъ движеніе.** Это движеніе, по мнѣнію однихъ, совершается атомами, которые образуютъ безконечно малыя частицы тѣла, называемыя молекулами, по мнѣнію-же другихъ атомами крайне разрѣженной матеріи, окружающей атомы физическихъ тѣлъ и носящей названіе **эфира.** О томъ, какого рода это движеніе, ничего опредѣленнаго сказать нельзя, что впрочемъ и не важно для нашего дальнѣйшаго изслѣдованія. Для нашихъ цѣлей достаточно предположеніе, что сила движенія служитъ мѣрою для степени теплоты.

Вторымъ основнымъ положеніемъ механической теоріи теплоты является принципъ сохраненія энергіи. Подъ энергіей тѣла подразумѣваютъ его способность производить работу. Различаютъ кинетическую и потенціальную энергію. Кинетическая энергія имѣетъ свое начало въ скорости, съ которою двигается тѣло или его молекулы и можетъ проявиться, смотря по тому, является ли она результатомъ видимаго движенія тѣла или невидимаго движенія его молекулъ (что соотвѣтствуетъ теплотѣ тѣла) въ видѣ внѣшней или внутренней кинетической энергіи.

Потенціальная энергія имѣетъ свое начало въ томъ положеніи, которое молекулы тѣла занимаютъ относительно другъ друга или относительно молекулъ другихъ тѣлъ. Понятно, что энергія одного рода можетъ перейти въ энергію другого рода.

Если тѣло массы m движется съ видимою скоростью v, то его внѣшняя кинетическая энергія равна живой силѣ $\frac{mv^2}{2}$. Съ другой стороны, каждое тѣло при опредѣленной температурѣ обладаетъ вполнѣ опредѣленною внутреннею кинетическою энергіею и только тогда, когда тѣло совершенно не обладало бы теплотою и слѣдовательно было бы абсолютно холоднымъ тѣломъ, эта энергія равнялась бы нулю. Но такъ какъ мы не имѣемъ возможности привести тѣло въ такое состояніе, то и нѣтъ возможности использовать всю внутреннюю энергію, заключающуюся въ какомъ либо тѣлѣ опре-

[1]) Количество теплоты, потребное для того, чтобы 1 kg. воды при 0° нагрѣть до 1° С.

дѣленной температуры; мы можемъ только опредѣлить ея возрастаніе или уменьшеніе.

Потенціальною энергіею обладаетъ всякій сжатый газъ, всякая натянутая пружина и т. д.; затраченная на сжатіе газа, на натяженіе пружины механическая работа становится свободною, какъ только давленіе на газъ, натяженіе пружины ослабѣваетъ. Эта яэнергія есть слѣдствіе расположенія молекулъ, которое въ напряженномъ состояніи тѣла другое, чѣмъ въ обыкновенномъ состояніи.

Совершенной потери энергіи, т. е. ея уничтоженія, никогда не можетъ случиться. Такъ называемыя потери въ нашихъ машинахъ, которыя идутъ на треніе, удары и т. д., могутъ считаться потерями только по отношенію работы, которую имѣлось въ виду отъ машины получить, но никогда не могутъ считаться дѣйствительными потерями энергіи. Во всѣхъ таковыхъ случаяхъ потерянная въ упомянутомъ смыслѣ механическая работа всегда порождаетъ эквивалентное количество теплоты и энергія одного рода переходитъ въ энергію другого рода.

§ 2.

Измѣненіе сотоянія тѣла при сообщеніи ему или при отнятіи у него теплоты. Внутренняя и внѣшняя работа.

Если тѣлу сообщить нѣкоторое количество теплоты, то она вообще повыситъ температуру и увеличитъ объемъ его и совершитъ троякаго рода работу. А именно теплота, повышая температуру,

1. должна усилить движеніе молекулъ, т. е. повысить внутреннюю кинетическую энергію;
2. должна, далѣе, увеличивая объемъ, вывести молекулы изъ ихъ взаимнаго положенія и преодолѣть силу, съ которою они стремятся сохранить это положеніе, и должна, слѣдовательно, повысить потенціальную энергію;
3. должна преодолѣть внѣшнее на него давленіе, увеличивая объемъ тѣла.

Если, положимъ, тѣлу сообщено безконечно малое количество теплоты dQ и если при этомъ

dW означаетъ безконечно малое приращеніе внутренней кинетической энергіи W,

dJ означаетъ безконечно малое приращеніе потенціальной энергіи J,

dL безконечно малую механическую работу, потребную для продолѣванія внѣшняго давленія при увеличеніи объема, то имѣемъ,

$$dQ = A(dW + dJ + dL) \quad . \quad . \quad . \quad 2^a$$

Сумму работъ (dW + dJ) называютъ также внутреннею работою, полученною отъ соотвѣтсвующаго количества теплоты, и обозначаютъ черезъ dU, между тѣмъ какъ dL принято называть внѣшнею работою. Поэтому

$$dQ = A(dU + dL) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 2^b$$

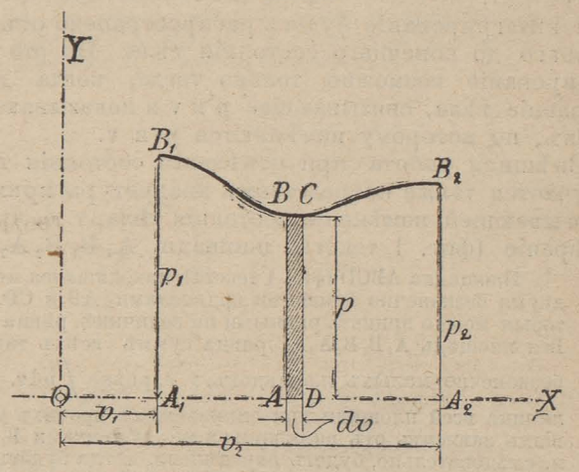
Это уравненіе называется **основнымъ уравненіемъ** механической теоріи теплоты.

Нѣкоторыя величины, входящія въ уравненія 2^a и 2^b, могутъ быть равны нулю и могутъ быть отрицательными. Такъ, напримѣръ, отрицательное dQ означаетъ, что отъ тѣла отнимается теплота, отрицательное dW, что температура тѣла понижается, отрицательное dL, объемъ тѣла уменьшается. dQ = 0 означало-бы, что теплота тѣлу ни сообщается, ни отнимается, dW=0 и dL=0 означало бы, что температура и объемъ тѣла остались постоянными.

Состояніе тѣла можетъ считаться опредѣленнымъ, если даны его удѣльный объемъ v (т. е. объемъ 1 kg. въ m^3), удѣльное давленіе p (т. е. давленіе въ kg, которое испытываетъ тѣло отъ окружающей его среды на 1 m^2 своей поверхности по нормали) и температура t. Опытъ же показываетъ, что для большинства тѣлъ эти величины находятся въ опредѣленной зависимости другъ отъ друга, такъ что если даны двѣ изъ нихъ, то этимъ опредѣляется и третья величина. Состояніе тѣла, слѣдовательно, опредѣляется уже, если даны, напримѣръ, удѣльный объемъ v и удѣльное давленіе p.

Если тѣлу сообщить или у тѣла отнять теплоту, то такого рода процессъ вызоветъ измѣненіе состоянія тѣла, и уравненіе, выражающее законъ, по которому измѣняются удѣльный объемъ, давленіе и температура тѣла, называется **характеристическимъ**. Если въ прямоугольной системѣ координатъ (фиг. 1 текста) откладывать по оси абсциссъ удѣльные

Фиг. 1.



объемы, соотвѣтствующіе разнымъ моментамъ при измѣненіи состоянія тѣла, напр. $v_1 = OA_1$, $v_2 = OA_2$ и т. д., и на соотвѣтствующихъ ординатахъ откладывать давленіе p, какъ напр. $p_1 = A_1B_1$, $p_2 = A_2B_2$ и т. д., то кривая линія, соединяющая точки B_1, B_2 и т. д., графически изобразитъ законъ измѣненія состоянія тѣла.

Для насъ представляется важнымъ опредѣлить теперь при измѣненіи состоянія тѣла внутреннюю и внѣшнюю работу. Скопленная внутри тѣла энергія U во всякомъ случаѣ зависитъ отъ состоянія тѣла, и такъ какъ оно, какъ было выше упомянуто, характеризуется удѣльнымъ объемомъ и давленіемъ, то отъ величины двухъ перемѣнныхъ (p, v). Поэтому U представляетъ функцію отъ p и v и, если мы обозначимъ эту неизвѣстную функцію черезъ F, то имѣемъ

$$U = F(p, v)$$

Съ другой стороны, изъ вышеприведеннаго слѣдуетъ, что полученная во время измѣненія состоянія тѣла **внутренняя работа** (увеличеніе или уменьшеніе U) вполнѣ опредѣлена, какъ скоро даны начальное и конечное состояніе тѣла, т. е. даны удѣльные давленіе и объемъ для этихъ состояній.

Что же касается **внѣшней работы**, то она не можетъ считаться опредѣленною по начальному и конечному состоянію тѣла. Она будетъ опредѣлена тогда, когда кромѣ начальнаго и конечнаго состоянія тѣла, опредѣляемыхъ удѣльными объемомъ и давленіемъ, данъ еще законъ, по которому эти величины измѣняются во время перехода тѣла изъ одного состоянія въ другое. Согласно принятымъ

выше обозначеніямъ мы имѣемъ при сообщеніи тѣлу безконечно малаго количества теплоты

$$dL = pdv \quad \ldots\ldots\ldots 3^a$$

Это слѣдуетъ изъ того, что при сообщеніи тѣлу безконечно малаго количества теплоты, оно расширяется по всѣмъ направленіямъ безконечно мало. Каждый безконечно малый элементъ dO поверхности тѣла перемѣщаетъ поэтому нормальное къ нему удѣльное давленіе p (разсматриваемое какъ постоянное на всей поверхности) на величину dx, причемъ будетъ совершена механическая работа, равная внѣшней работѣ dL и

$$dL = \int p \,.\, dO \,.\, dx = p \int dO \,.\, dx,$$

но такъ какъ $\int dO \,.\, dx = dv$,

то $dL = pdv$.

Если же сообщено тѣлу конечное количество теплоты, то внѣшняя работа получится изъ равенства

$$L = \int pdv \quad \ldots\ldots\ldots 3^b$$

если интегрированіе будетъ распространено отъ начальнаго до конечнаго состоянія тѣла. Но это интегрированіе возможно только тогда, когда дано уравненіе тѣла, связывающее p и v и показывающее законъ, по которому измѣняются p и v.

Внѣшняя работа при измѣненіи состоянія тѣла получается также посредствомъ квадратуры кривой, показывающей измѣненіе состоянія тѣла, т. е. чрезъ измѣреніе (фиг. 1 текста) площади $A_1 B_1 B_2 A_2 A_1$.

Площадка ABCD (фиг. 1 текста), находящаяся между двумя безконечно близкими ординатами AB и CD, которыя можно принять равными по величинѣ, равна pdv. Вся площадь $A_1 B_1 B_2 A_2 A_1$ равна суммѣ всѣхъ такихъ безконечно малыхъ площадокъ, т. е. равна $\int pdv$. Величина всей площади при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ зависитъ отъ вида кривой между точками B_1 и B_2 и, слѣдовательно, будетъ опредѣлена, когда будетъ извѣстенъ законъ, по которому измѣняется p въ зависимости отъ v.

§ 3.

Абсолютная температура. Удѣльная теплота.

Часто принято считать температуру тѣла отъ такъ называемаго **абсолютнаго нуля**, т. е. отъ такого состоянія тѣла, при которомъ скорость его молекулъ и ихъ внутренняя кинетическая энергія равны нулю. Эта температура называется **абсолютною температурою** тѣла. Абсолютный нуль, какъ будетъ показано послѣ, при изученіи газовъ, лежитъ на 273° ниже температуры таянія льда по 100-градусному термометру. Слѣдовательно, абсолютная температура опредѣляется, когда извѣстна температура tC, по равенству

$$T = t + 273 \quad \ldots\ldots\ldots 4.$$

Теплоемкостью c тѣла называютъ количество теплоты, потребное для того, чтобы повысить температуру 1 kg этого тѣла на 1° C, а также отношеніе $c = \frac{dQ}{dT}$ сообщеннаго 1 kg тѣла безконечно малаго количества теплоты dQ къ безконечно малому измѣненію температуры dT при безконечно маломъ измѣненіи тѣла. Такъ какъ удѣльная теплота зависитъ отъ состоянія тѣла и характера измѣненія этого состоянія, которое есть функція отъ p и v, то различаютъ

теплоемкость при постоянномъ давленіи c_p, когда $p = \text{пост.}$, $dp = 0$

$$c_p = \frac{dQ_p}{dT} \quad \ldots\ldots\ldots 5^a$$

и теплоемкость при постоянномъ объемѣ c_v, когда $v = \text{пост.}$, $dv = 0$

$$c_v = \frac{dQ_v}{dT} \quad \ldots\ldots\ldots 5^b$$

§ 4.

Измѣненія состоянія газовъ. Характеристическія уравненія газовъ.

Газъ можно разсматривать какъ сильно перегрѣтый паръ, весьма удаленный отъ состоянія насыщенія (см. § 6).

Пусть будетъ

p_1 удѣльное давленіе, v_1 удѣльный объемъ, T_1 абсолютная температура для какого-нибудь опредѣленнаго состоянія газа,

p_2, v_2, T_2 — соотвѣтствующія величины для другого состоянія газа.

Характеристическое уравненіе для газовъ будетъ

$$\left.\begin{aligned} &\frac{p_1 v_1}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{T_2} = \text{пост.} = R \\ &\text{или, въ общемъ видѣ,} \\ &pv = RT \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots 6$$

Постоянная величина R имѣетъ для различныхъ газовъ различное значеніе. Если, какъ и прежде, c_p и c_v означаютъ теплоемкость при постоянномъ давленіи и при постоянномъ объемѣ, то имѣемъ равенство

$$c_p - c_v = AR.$$

Характеристическое уравненіе (6) для газовъ, какъ будетъ показано впослѣдствіе, есть результатъ соединенія установленныхъ на основаніи опытовъ законовъ Гей-Люссака и Маріотта.

Далѣе принимаютъ, что въ газахъ не существуетъ уже никакого взаимодѣйствія между частицами и что, вслѣдствіе этого, приращеніе потенціальной энергіи во время измѣненія состоянія тѣла равно нулю. Въ уравненіи 2^a поэтому $dJ = 0$ и въ уравненіи 2^b $dU = dW$, что значитъ, что сообщенная газу теплота идетъ только на повышеніе внутренней кинетической энергіи, а значитъ и температуры, и на совершеніе внѣшней работы.

Теплоемкости c_p и c_v, изъ которыхъ первая повышаетъ температуру 1 kg газа на 1° при постоянномъ давленіи, вторая при постоянномъ объемѣ, c_p служитъ отчасти для повышенія температуры, отчасти для совершенія внѣшней работы, а c_v только для повышенія температуры, такъ какъ при постоянномъ объемѣ внѣшняя работа равна нулю. Слѣдовательно, для 1 kg газа будетъ

$$c_p = c_v + AL.$$

Если теперь состояніе тѣла, характеризующееся величинами p_1, v_1, T_1, измѣнимъ такъ, чтобы давленіе не мѣнялось, а измѣнялся лишь объемъ v_1 въ v_2 и температура T_1 въ температуру $T_1 + 1$, то получимъ работу, совершенную 1 kg газа при постоянномъ давленіи и при повышеніи его температуры на 1°, а именно изъ равенствъ

$$p_1 v_1 = RT_1 \text{ и } p_1 v_2 = R(T_1 + 1),$$
$$L = p_1 (v_2 - v_1) = R.$$

Подставивъ это значеніе для L въ вышеприведенное равенство для c_p будетъ

$$c_p = c_v + AR \text{ или } c_p - c_v = AR.$$

Количество теплоты, которое нужно сообщить 1 kg при безконечно маломъ измѣненіи состоянія тѣла, будетъ

$$dQ = \frac{1}{R}(c_p\, p\, dv + c_v\, v\, dp) \quad \ldots\ldots 7$$

Въ уравненіи 2^b

$$dQ = A(dU + dL)$$

AdU — есть то количество теплоты, которое идетъ на измѣненіе температуры газа. При постоянномъ объемѣ внѣшняя работа равна нулю и поэтому вся сообщенная теплота идетъ на повышеніе температуры. Уравненіе 5^b принимаетъ поэтому видъ

$$dQ_v = A\,dU = c_v\,dT \text{ или } dU = \frac{c_v}{A}\,dT.$$

dT опредѣляется изъ уравненія 6, именно изъ $pdv + vdp = R\,dT$ будетъ

$$dT = \frac{1}{R}(pdv + vdp),$$

слѣдовательно

$$dU = \frac{c_v}{AR}(pdv + vdp).$$

Наконецъ $dL = pdv$.

Если подставить эти значенія въ уравненіе 2^b, то получимъ

$$dQ = \frac{c_v}{R}(pdv + vdp) + Apdv,$$

принимая же во вниманіе, что изъ

$$c_p - c_v = AR,\ A = \frac{1}{R}(c_p - c_v),$$

получимъ уравненіе 7.

Изъ всѣхъ измѣненій состоянія тѣла, характеризующагося, въ начальномъ состояніи, величинами p_1, v_1, T_1 и въ конечномъ — величинами p_2, v_2, T_2, важнѣйшія суть слѣдующія:

Измѣненіе состоянія тѣла при постоянномъ давленіи. Для этого случая $p = p_1 = p_2 =$ пост. и характеристическое уравненіе 6 будетъ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} \text{ или въ общемъ видѣ}$$

$$\mathbf{v = пост.\ T}\ ^1) \quad \ldots\ldots\ldots 8$$

т. е. при постоянномъ давленіи объемы прямо пропорціональны абсолютнымъ температурамъ.

Это законъ Гей-Люссака.

При $v = 0$ по этому закону и $T = 0$, а такъ какъ $T = t + 273°$, то $t = -273°$ С. Если предположить, что законъ Гей-Люссака справедливъ и для газовъ при температурѣ $t = -273°$, то его объемъ и внутренняя кинетическая энергія при этой температурѣ равны нулю.

Кривая измѣненія состоянія тѣла будетъ прямая линія, параллельная оси абсциссъ и отстоящая отъ нея на разстояніи, равномъ постоянному давленію. Внѣшняя работа при этомъ будетъ

$$L = p\,(v_2 - v_1).$$

Измѣненіе состоянія тѣла при постоянной температурѣ (изотермическое измѣненіе). Въ этомъ случаѣ $T_1 = T_2 = T =$ пост. и характеристическое уравненіе приметъ видъ

$$p_1v_1 = p_2v_2, \text{ въ общемъ видѣ } \mathbf{pv = пост.} \quad \ldots 9$$

Это равенство выражаетъ законъ Маріотта, по которому при постоянной температурѣ произведеніе изъ давленія на объемъ есть постоянная величина.

Если измѣнить состояніе тѣла сперва при постоянномъ давленіи, потомъ при постоянной температурѣ и если (p_1, v_1, T_1), (p_1, v_x, T_2) и (p_2, v_2, T_2) суть величины, характеризующія эти измѣненія въ начальномъ и конечномъ состояніяхъ, то первое измѣненіе пойдетъ по закону Гей-Люссака, слѣдовательно по равенству 8

$$\frac{v_1}{v_x} = \frac{T_1}{T_2} \text{ или } v_x = \frac{T_2}{T_1}v_1,$$

второе—по закону Маріотта, т. е. по уравненію 9

$$p_1v_x = p_2v_2,$$

или, подставляя значеніе v_x изъ предыдущаго равенства, будетъ

$$p_1\frac{T_2}{T_1}v_1 = p_2v_2$$

$$\frac{p_1v_1}{T_1} = \frac{p_2v_2}{T_2}$$

это и есть общее характеристическое уравненіе для газовъ.

---

[1]) Изъ $pv = RT$, $v = \frac{R}{p}T =$ пост. T.

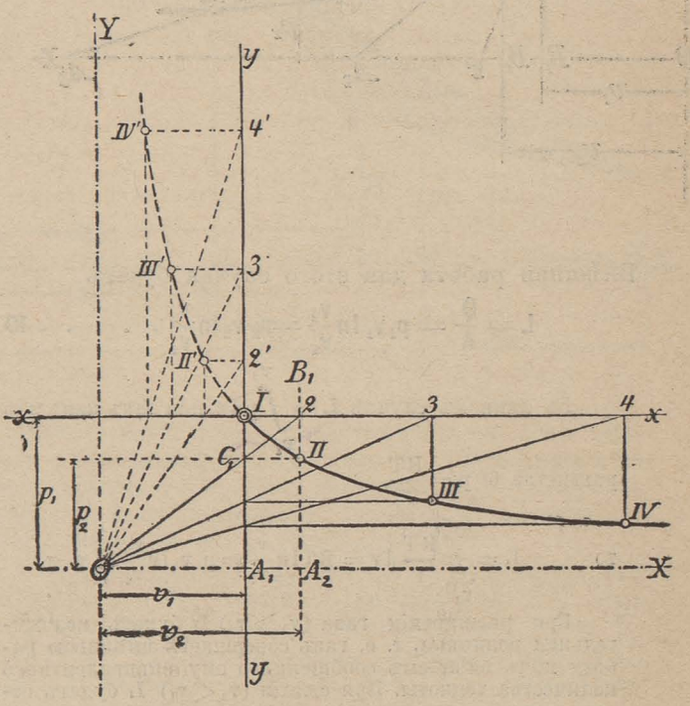
Кривая разсматриваемаго измѣненія состоянія тѣла (изотерма) есть равносторонняя гипербола, имѣющая координатныя оси своими асимптотами. Для вычерчиванія этой кривой могутъ быть примѣнены слѣдующіе пріемы:

1 пріемъ.

Пусть точка I (фиг. 2 текста) соотвѣтствуетъ давленію p_1 и объему v_1 газа. Чтобы построить изотермическую кривую, проходящую черезъ эту точку, проводятъ проходящія черезъ нее горизонталь x—x и вертикаль y—y и черезъ точки пересѣченія произвольныхъ лучей $\overline{O2}$, $\overline{O3}$, $\overline{O4}$ . . . съ этими прямыми проводятъ опять горизонтальныя и вертикальныя прямыя. Точки пересѣченія II, III, IV . . . и будутъ точками изотермы.

Если выбрать лучи $\overline{O2}$, $\overline{O3}$, $\overline{O4}$ такъ, что они пересѣкутъ прямую y — y ниже, а прямую x — x правѣе точки I, то получимъ изотермическую кривую расширенія газа I IV (объемъ увеличивается, начиная съ v_1, давленіе уменьшается съ p_1). Лучи же $\overline{O2'}$, $\overline{O3'}$, $\overline{O4'}$ . . ., которые пересѣкаютъ прямую y — y выше, а прямую x — x лѣвѣе точки I, даютъ изотермическую кривую сжатія газа (объемъ v_1 уменьшается, давленіе p_1 увеличивается, начиная отъ точки I).

Фиг. 2.



Вѣрность такого пріема слѣдуетъ изъ того, что изъ фиг. 2 напр.

$$\frac{\overline{OA_1}}{\overline{OA_2}} = \frac{\overline{A_1C_1}}{\overline{A_2 2}} \text{ или } \frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1} \text{ или } v_1p_1 = v_2p_2,$$

2 пріемъ [1]).

Проводятъ черезъ точку I (фиг. 3 текста) прямыя $\overline{2A_2}$, $\overline{3A_3}$ . . . и откладываютъ отъ A_2 — $\overline{A_2II} = \overline{2I}$, отъ A_3 — $\overline{A_3III} = \overline{3I}$ . . . Точки II, III . . . будутъ точками изотермической кривой расширенія. Для изотермической кривой сжатія имѣемъ соотвѣтственно $\overline{I2'} = \overline{A_2'II'}$ . . . и точка II' будетъ принадлежать этой кривой.

Упомянутыя линіи черезъ точку I можно не проводить. Достаточно приложить къ точкѣ I треугольникъ, поворачивая его постепенно, и точки II, III . . . и II' . . . наносить циркулемъ.

Этотъ пріемъ основывается на томъ, что напр.

$$\frac{\overline{A_2B_2}}{\overline{A_2B_1}} = \frac{\overline{IIB_2}}{\overline{IB_1}},$$

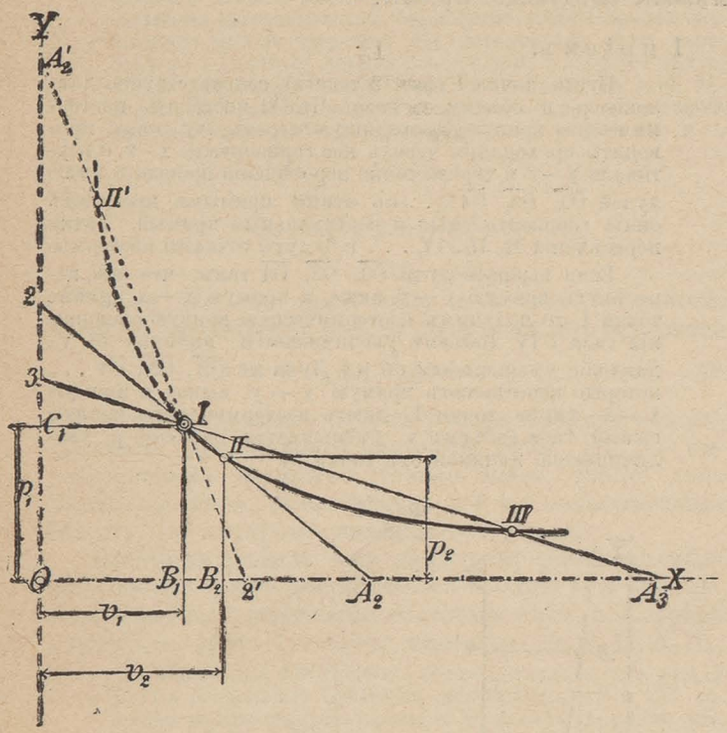
---

[1]) Согласно съ Dr. R. Proell.

но такъ какъ $\overline{A_2B_2} = \overline{IC_1} = v_1$, $\overline{A_2B_1} = OB_2 = v_2$,

то $\frac{v_1}{v_2} = \frac{p_2}{p_1}$, $v_1 p_1 = v_2 p_2$.

Фиг. 3.



Внѣшняя работа для этого случая будетъ

$$L = \frac{Q}{A} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1} = p_2 v_2 \ln \frac{v_2}{v_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10$$

Въ данномъ случаѣ $L = \int_{v_1}^{v_2} p\,dv$, или такъ какъ изъ равенства 6) $p = \frac{RT}{v}$,

то $$L = \int_{v_1}^{v_2} \frac{RT}{v} dv = RT \ln \frac{v_2}{v_1} = p_1 v_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$$ и т. д.

При расширеніи газа ($v_2 > v_1$) L будетъ положительная величина, т. е. газъ совершаетъ внѣшнюю работу подъ вліяніемъ сообщеннаго ему эквивалентнаго количества теплоты. При сжатіи ($v_2 < v_1$) L будетъ отрицательная величина, т. е. на сжатіе газа затрачивается внѣшняя работа, причемъ отъ него отнимается соотвѣтствующее количество теплоты.

Измѣненіе состоянія тѣла безъ отдачи имъ и безъ сообщенія ему теплоты (адіабатическое измѣненіе). Для этого случая $Q = 0$ и характеристическое уравненіе 6 будетъ

$$p_1 v_1^n = p_2 v_2^n \text{ или въ общемъ видѣ}$$

$$p v^n = \text{пост.} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 11$$

причемъ $n = \frac{cp}{cv}$. Это равенство выражаетъ законъ Пуассона, по которому давленія обратно пропорціональны n-ой степени объемовъ.

Такъ какъ для даннаго случая $dQ = 0$, то уравненіе 7 приметъ видъ

$$dQ = \frac{1}{R}(c_p\,p\,dv + c_v\,v\,dp) = 0,$$

откуда

$$\frac{dp}{p} = -\frac{c_p}{c_v}\frac{dv}{v}.$$

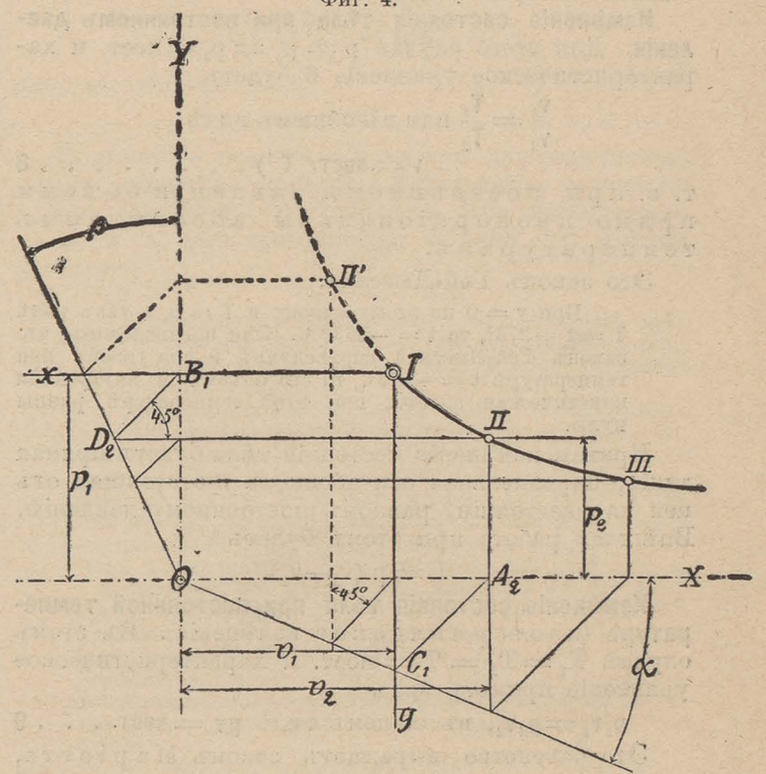
Интегрируя въ предѣлахъ v_2 и v_1 будетъ

$$\ln \frac{p_2}{p_1} = -\frac{c_p}{c_v} \ln \frac{v_2}{v_1} = -n \ln \frac{v_2}{v_1} \text{ и}$$

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n \text{ или } p_1 v_1^n = p_2 v_2^n.$$

Кривая измѣненія состоянія (адіабата) есть кривая, подобная равносторонней гиперболѣ и имѣетъ также координатныя оси своими асимптотами, но приближается быстрѣе къ оси абсциссъ. Это значитъ, что въ случаѣ адіабатическаго измѣненія, давленіе при расширеніи быстрѣе уменьшается, а при сжатіи быстрѣе увеличивается, чѣмъ при соотвѣтствующемъ изотермическомъ измѣненіи, что впрочемъ видно и изъ уравненій 9 и 11. Въ первомъ уравненіи показатель при v равенъ 1, во второмъ — равенъ n причемъ $n > 1$ для газовъ. Для вычерчиванія адіабаты можно примѣнить слѣдующій пріемъ Брауэра (Brauer) [1]).

Фиг. 4.



Пусть на фиг. 4 текста точкѣ I соотвѣтствуетъ объемъ v_1 и давленіе p_1. Черезъ вершину O координатныхъ осей проводятъ двѣ прямыя, составляющія одна съ осью X уголъ α, другая съ осью Y уголъ β, причемъ α и β опредѣлены изъ равенствъ

$$\operatorname{tg}\alpha = \frac{1}{\varepsilon} - 1 \text{ и } \operatorname{tg}\beta = \frac{1}{\varepsilon^n} - 1, \text{ гдѣ}$$

$\varepsilon = \frac{v_1}{v_2}$ есть отношеніе двухъ прямыхъ, выражающихъ въ координатныхъ осяхъ величины объемовъ v_1 и v_2. Черезъ точку I проводятъ горизонталь Ix и вертикаль Iy, а черезъ полученныя точки пересѣченія этихъ линій съ координатными осями B_1 и C_1 подъ угломъ въ 45° къ нимъ прямыя $B_1 D_2$ и $C_1 A_2$. Черезъ точки пересѣченія этихъ прямыхъ D_2 и A_2 съ координатными осями проводятъ горизонталь и вертикаль, точка пересѣченія которыхъ II будетъ принадлежать адіабатѣ. Дальше тотъ-же пріемъ примѣняется къ точкѣ II. Если отъ точки I примѣнить пріемъ въ обратномъ порядкѣ, то получимъ точку II′ кривой.

---

[1]) Zeitschrift deutscher Ingenieure, Jahrgang 1885.

Внѣшняя работа будетъ

$$L = \frac{c_v}{A}(T_1 - T_2) = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right] = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \quad . 12$$

При расширеніи ($v_2 > v_1$) L будетъ положительною величиною, значитъ внѣшняя работа будетъ совершена газомъ на счетъ запаса его внутренней энергіи, такъ какъ согласно условію газу теплота не сообщается. При сжатіи ($v_2 < v_1$) L будетъ отрицательною величиною, значитъ должно затратить внѣшнюю работу, которая пойдетъ на увеличеніе внутренней энергіи газа, ибо по условію теплота не отнимается. И въ томъ, и въ другомъ случаѣ внѣшняя работа L будетъ равна совершенной при измѣненіи состоянія тѣла внутренней работѣ, а такъ какъ послѣдняя проявляется въ данномъ случаѣ только въ измѣненіи температуры газа, то

$$L = \frac{c_v}{A}(T_1 - T_2) = \frac{c_v}{A} T_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$$

Изъ равенства $c_p - c_v = AR$ или

$$c_v\left(\frac{c_p}{c_v} - 1\right) = c_v(n-1) = AR \text{ имѣемъ}$$

$$\frac{c_v}{A} = \frac{R}{n-1},$$

а изъ уравненія 6 имѣемъ

$$T_2 = \frac{p_2 v_2}{R},\ T_1 = \frac{p_1 v_1}{R} \text{ и } \frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1};$$

далѣе имѣемъ

$$\frac{p_2}{p_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n,\ \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{p_1}{p_2}\right)^{\frac{1}{n}}, \text{ и}$$

$$T_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right) = \frac{p_1 v_1}{R}\left[1 - \frac{p_2 v_2}{p_1 v_1}\right] = \frac{p_1 v_1}{R}\left[1 - \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right] = \frac{p_1 v_1}{R}\left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right].$$

Подставляя эти значенія $\left(\frac{c_v}{A}\right)$ и $T_1\left(1 - \frac{T_2}{T_1}\right)$ въ уравненіи для L получимъ уравненіе 12.

§ 5.

Обратимые круговые процессы.

Пусть мы имѣемъ 1 kg газа, находящійся въ цилиндрическомъ сосудѣ съ подвижнымъ, плотно прилегающимъ поршнемъ, и пусть будетъ его давленіе p_1 и объемъ v_1, которые служатъ ординатами для точки I на фиг. 5 текста, при абсолютной температурѣ T_1. Вообразимъ, что газъ подвергнутъ слѣдующимъ измѣненіямъ:

1. Газъ расширяется при постоянной температурѣ T_1 по изотермѣ I II, до тѣхъ поръ пока давленіе станетъ p_2 и объемъ v_2. Вообразимъ еще, что нашъ цилиндрическій сосудъ плотно окружаетъ тѣло A_1, обладающее настолько значительнымъ запасомъ теплоты, что отнятое у него количество теплоты Q_1, потребное для упомянутаго расширенія, не вызоветъ пониженія его температуры T_1. Совершенная во время этого расширенія внѣшняя работа пропорціональна площади 1 I II 2 и равна по уравненію 10

$$L_1 = \frac{Q_1}{A} = p_1 v_1 \ln\frac{v_2}{v_1},$$

а такъ какъ $p_1 v_1 = RT_1$, то

$$Q_1 = ART_1 \ln\frac{v_2}{v_1}.$$

2. Газъ расширяется далѣе по адіабатѣ II III (не получая и не отдавая теплоты), и въ концѣ расширенія давленіе, объемъ и температура будутъ p_3, v_3, T_2, причемъ температура T_1 понизилась до T_2. Совершенная при этомъ расширеніи внѣшняя работа пропорціональна площади 2 II III 3 и получится изъ уравненія 12

$$L_2 = \frac{c_v}{A}(T_1 - T_2)$$

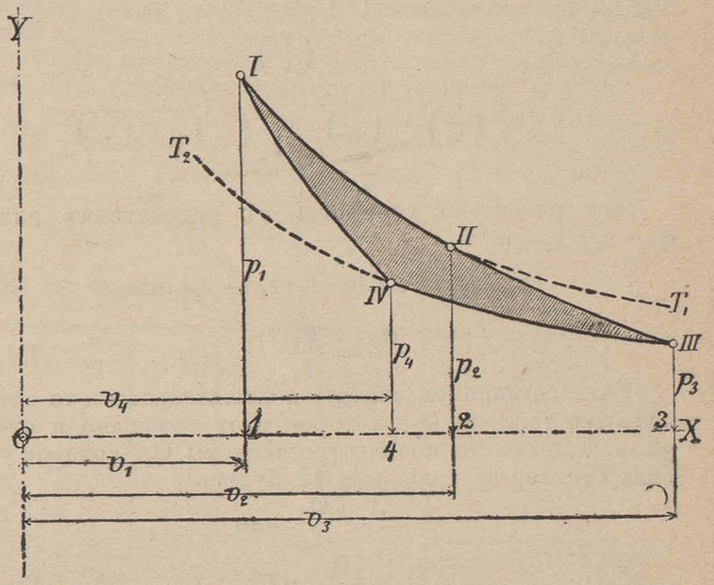
3. Далѣе газъ сжимается при постоянной температурѣ T_2 по изотермѣ III IV, причемъ затрачивается внѣшняя работа L_3 и отъ газа отнимается соотвѣтствующее количество теплоты Q_2. Въ концѣ сжатія давленіе и объемъ будутъ p_4 и v_4. Площадь 3 III IV 4 соотвѣтствуетъ затраченной работѣ, которая опредѣляется изъ уравненія 10

$$L_3 = \frac{Q_2}{A} = p_3 v_3 \ln\frac{v_3}{v_4},$$

а такъ какъ $p_3 v_3 = RT_2$, то

$$Q_2 = ART_2 \ln\frac{v_3}{v_4}.$$

Фиг. 5.



Можно себѣ опять представить, что газъ сообщенъ съ источникомъ теплоты A_2, у котораго запасъ теплоты на столько значителенъ, что при отнятіи отъ газа количества теплоты Q_2 не произойдетъ повышеніе его температуры T_2.

4. Наконецъ газъ приводится въ первоначальное состояніе $p_1 v_1 T_1$, сжимаясь по адіабатѣ IV I, причемъ температура его повышается изъ T_2 въ T_1. При этомъ будетъ затрачена внѣшняя работа L_4, пропорціональная площади 4 IV I 1 и опредѣляющаяся изъ уравненія 12

$$L_4 = \frac{c_v}{A}(T_1 - T_2)$$

Такой процессъ, при которомъ тѣло послѣ цѣлаго ряда измѣненій возвращается къ первоначальному состоянію, называется **круговымъ** процессомъ. Если такой процессъ состоитъ какъ въ предыдущемъ случаѣ изъ двухъ изотермическихъ и двухъ адіабатическихъ измѣненій, то онъ носитъ названіе цикла Карно. Если круговой процессъ можетъ быть совершенъ тѣломъ также и въ обратномъ направленіи, то онъ называется обратимымъ.

Условіемъ обратимости процесса служитъ то, чтобы давленіе, производимое тѣломъ при совершеніи кругового процесса, въ каждое данное мгновеніе равнялось или, точнѣе, безконечно мало отличалось отъ внѣшняго (тѣло проходитъ черезъ рядъ равновѣсныхъ положеній).

Газъ, совершающій вышеприведенный круговой процессъ, получилъ отъ тѣла A количество теплоты Q_1 и отдалъ тѣлу B количество теплоты Q_2. Коли-

чество теплоты $Q_1 - Q_2$ совершило внѣшнюю работу $L = L_1 - L_2$ [1]), которая понятно должна быть пропорціональна площади фигуры изображающей процессъ, т. е. площади I II III IV. Для цикла Карно имѣемъ равенство

$$Q_1 - Q_2 = AL = AR\left(T_1 \ln \frac{v_2}{v_1} - T_2 \ln \frac{v_3}{v_4}\right)$$

Изъ уравненій 11 и 9 имѣемъ
для адіабаты II III: $p_2 v_2^n = p_3 v_3^n$,
„ изотермы I II: $p_2 v_2 = p_1 v_1$ или $p_2 = p_1 \frac{v_1}{v_2}$,
„ „ III IV: $p_3 v_3 = p_4 v_4$ или $p_3 = p_4 \frac{v_4}{v_3}$,
слѣдовательно

$$p_1 \frac{v_1}{v_2} v_2^n = p_4 \frac{v_4}{v_3} v_3^n$$

или $$\frac{p_1}{p_4} = \frac{v_4}{v_3}\frac{v_2}{v_1}\left(\frac{v_3}{v_2}\right)^n.$$

Далѣе для адіабаты IV I $p_1 v_1^n = p_4 v_4^n$ или

$$\frac{p_1}{p_4} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^n$$

Отсюда получимъ, что

$$\frac{v_4}{v_3}\frac{v_2}{v_1}\left(\frac{v_3}{v_2}\right)^n = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^n \text{ или } \left(\frac{v_3}{v_2}\right)^{n-1} = \left(\frac{v_4}{v_1}\right)^{n-1}$$

или $$\frac{v_3}{v_4} = \frac{v_2}{v_1}.$$

Это равенство совмѣстно съ равенствомъ для $Q_1 - Q_2$ даетъ

$$Q_1 - Q_2 = AR \ln \frac{v_2}{v_1}(T_1 - T_2) \text{ или}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} = \frac{Q_2}{T_2}\ ^2) \quad \ldots\ldots\ldots \quad 13^a$$

Если согласимся считать положительнымъ то количество теплоты Q_1, которое тѣлу сообщено и отрицательнымъ то количество теплоты Q_2, которое у тѣла отнято, то уравненіе 12 будетъ

$$\frac{Q_1}{T_1} = -\frac{Q_2}{T_2} \text{ или}$$

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 13^b$$

Отношеніе $\frac{Q}{T}$ Цейнеръ называетъ тепловымъ вѣсомъ (Wärmegewicht) [3]). Слѣдовательно въ круговомъ процессѣ (циклѣ) Карно полученный и отданный тепловые вѣса равны, или сумма всѣхъ полученныхъ тепловыхъ вѣсовъ въ разсматриваемомъ круговомъ процессѣ равна нулю.

Этотъ законъ справедливъ также для всякаго другого кругового процесса [4]). Слѣдуетъ себѣ только представить, что такой процессъ напр., который изображенъ на фиг. 6 въ текстѣ кривою I II III IV, разбитъ на безконечно большое число цикловъ Карно, въ которыхъ адіабаты расположены безконечно близко другъ къ другу. Если въ первомъ изъ этого безконечно большого числа круговыхъ процессовъ для изотермическихъ кривыхъ температуры будутъ T_1 и T_2, для второго таковыя будутъ T_2 и T_3 и т. д., то по уравненію 13 имѣемъ

$$\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} = 0, \quad \frac{Q_3}{T_3} + \frac{Q_4}{T_4} = 0 \text{ и т. д.}$$

и при суммированіи всѣхъ этихъ равенствъ

$$\int \frac{Q}{T} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots \quad 14$$

что подтверждаетъ вышеприведенный законъ. Понятно, что не только газъ, но и всякое другое тѣло можетъ совершать круговой процессъ, причемъ уравненіе 14 остается въ силѣ.

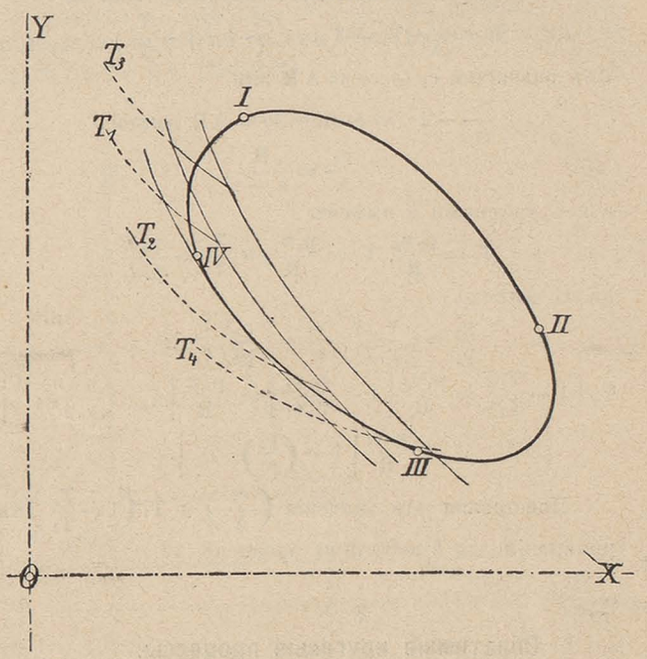
Затраченная въ циклѣ Карно внѣшняя работа будетъ

$$AL = Q_1 - Q_2 \text{ или } L = \frac{Q_1 - Q_2}{A}$$

что даетъ вмѣстѣ съ уравненіемъ 13^a

$$L = \frac{Q_1 - Q_2}{A} = \frac{Q_1}{AT_1}(T_1 - T_2) \quad \ldots\ldots \quad 15$$

Фиг. 6.



Для безконечно большого числа цикловъ Карно въ круговомъ процессѣ, изображенномъ на фиг. 6 текста, внѣшнія работы будутъ соотвѣтственно

$$L_1 = \frac{Q_1}{AT_1}(T_1 - T_2), \quad L_2 = \frac{Q_3}{AT_3}(T_3 - T_4) \text{ и т. д.}$$

Еслибы во всѣхъ этихъ циклахъ наивысшая температура была равна T_1 а низшая температура $= T_2$, то очевидно, что совершенная во всемъ круговомъ процессѣ внѣшняя работа $L = L_1 + L_2 + \ldots$. была бы наибольшею и слѣдовательно затраченная теплота $(Q_1 - Q_2) + (Q_3 - Q_4) + \ldots$. была бы наилучшимъ образомъ использована, причемъ во всѣхъ значеніяхъ для L_1, L_2, ... вездѣ въ скобкахъ стояла бы величина $(T_1 - T_2)$. Но при этихъ условіяхъ произвольный круговой процессъ сдѣлался бы цикломъ Карно, совершающимся между температурами T_1 и T_2. Отсюда мы заключаемъ, что

Изъ всѣхъ круговыхъ процессовъ, совершаемыхъ между двумя опредѣленными температурами, циклъ Карно даетъ наибольшій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, т. е. израсходованнымъ количествомъ теплоты $Q_1 - Q_2$ совершена наибольшая внѣшняя работа.

Чтобы съ другой стороны круговой процессъ совершался при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, необходимо, чтобы вся получаемая тѣломъ теплота подводилась при наивысшей, а вся отнимаемая теплота удалялась при самой низкой температурѣ.

---

[1]) Работа L_3 и L_4, равныя между собою, сокращаются, такъ какъ одна газомъ отдается, другая имъ поглощается.

[2]) На основаніи равенствъ $Q_1 = ART_1 \ln \frac{v_2}{v_1}$ и

$$Q_2 = ART_2 \ln \frac{v_3}{v_4}.$$

Прим. ред.

[3]) Это удобное названіе мы здѣсь примемъ. Прим. ред.

[4]) Обратимаго. Прим. ред.

§ 6.

Водяной паръ.

Вода можетъ быть превращена въ паръ или посредствомъ нагрѣванія или чрезъ уменьшеніе давленія. Но образованіе пара всегда наступаетъ только тогда, когда, при опредѣленной температурѣ воды, давленіе на ея поверхность имѣетъ вполнѣ опредѣленную величину. Образующійся паръ, температура и давленіе котораго равны температурѣ воды и давленію, при которомъ паръ образуется, имѣетъ поэтому при опредѣленной температурѣ и вполнѣ опредѣленное давленіе [1]), кромѣ того онъ имѣетъ вполнѣ опредѣленную плотность (вѣсъ 1 cbm пара въ kg). Такой паръ называютъ насыщеннымъ паромъ.

Какъ измѣняется одновременно температура, давленіе и плотность насыщеннаго пара лучше всего видно, если испарять воду въ закрытомъ сосудѣ, напр. въ паровомъ котлѣ. При непрерывномъ подогрѣваніи температура пара и воды повышается непрерывно. Одновременно увеличивается — хотя и не въ одинаковой степени—давленіе и плотность пара, а также и давленіе на поверхность воды, потому что новый паръ, образующійся при малѣйшемъ повышеніи температуры сильнѣе сжимаетъ уже имѣющійся паръ.

Если же насыщенный водяной паръ охлаждать въ закрытомъ сосудѣ, то соотвѣтствующее количество пара сгустится въ воду и одновременно понизится температура, давленіе и плотность его. Такъ какъ оказывается невозможнымъ увеличить давленіе и плотность насыщеннаго пара опредѣленной температуры безъ повышенія послѣдней, то его также опредѣляютъ какъ паръ, давленіе или плотность котораго имѣютъ наибольшую величину при данной температурѣ; для данныхъ же давленія или плотности температура имѣетъ наименьшую величину.

Давленіе и плотность [1]) насыщеннаго водяного пара есть, слѣдовательно, функція только отъ температуры, между тѣмъ какъ въ газахъ давленіе зависитъ кромѣ температуры еще отъ удѣльнаго объема. До сихъ поръ еще не существуетъ закона, который выражалъ бы соотношеніе между температурою и давленіемъ (или плотностью) насыщеннаго пара. Поэтому эти величины связываются эмпирическими формулами, по которымъ и составлена таблица, помѣщенная ниже.

Насыщенный паръ при давленіи p = 5 Atm (kg на cm²) имѣетъ согласно этой таблицѣ температуру 150,99° C и плотность 2,6412 kg.

[1]) А слѣдовательно и опредѣленный удѣльный объемъ (пространство занимаемое 1 kg пара въ куб. метр.).

[1]) А также удѣльный объемъ.

Таблица для насыщеннаго пара по Флигнеру (Fliegner).

Давленіе пара.		Температура въ °C	Теплота жидкости въ WE	Внутренняя.	Внѣшняя.	Разность между удѣльн. объем. пара v и воды w на 1 kg въ m³	Вѣсъ 1 cm² пара въ kg
				Теплота парообразованія въ WE			
kg на cm² p	Высота ртутнаго столба въ mm.	t	q	ρ	Apu	u=v—w	$\gamma = \frac{1}{v}$
0,1	73,6	45,58	45,649	539,634	35,119	15,0309	0,0665
0,2	147,1	59,76	59,890	528,347	36,488	7,8084	0,1281
0,4	294,2	75,47	75,710	515,808	37,999	4,0659	0,2459
0,6	441,3	85,48	85,818	507,826	38,929	2,7769	0,3600
0,8	588,4	93,00	93,427	501,847	39,592	2,1182	0,4719
1,0	735,5	99,09	99,576	497,048	40,098	1,7162	0,5823
1,2	882,6	104,24	104,792	492,934	40,566	1,4469	0,6907
1,4	1029,7	108,72	109,339	489,378	40,942	1,2517	0,7983
1,6	1176,8	112,70	113,382	486,221	41,270	1,1040	0,9050
1,8	1323,9	116,29	117,032	483,375	41,561	0,9882	1,0109
2,0	1471,0	119,57	120,369	480,776	41,824	0,8950	1,1161
2,1	1544,6	121,11	121,935	479,557	41,946	0,8549	1,1684
2,2	1618,1	122,59	123,443	478,385	42,062	0,8183	1,2206
2,3	1691,7	124,02	124,897	477,254	42,174	0,7848	1,2726
2,4	1765,2	125,39	126,301	476,163	42,281	0,7540	1,3245
2,5	1838,8	126,73	127,658	475,109	42,384	0,7256	1,3763
2,6	1912,3	128,02	128,972	474,090	42,483	0,6993	1,4280
2,7	1985,9	129,26	130,246	473,101	42,579	0,6750	1,4793
2,8	2059,4	130,48	131,483	472,141	42,671	0,6523	1,5307
2,9	2133,0	131,65	132,684	471,210	42,760	0,6311	1,5820
3,0	2206,5	132,80	133,853	470,304	42,846	0,6113	1,6332
3,1	2280,1	133,91	134,992	469,422	42,929	0,5927	1,6843
3,2	2353,6	135,00	136,102	468,563	43,010	0,5753	1,7352
3,3	2427,2	136,06	137,183	467,726	43,088	0,5588	1,7864
3,4	2500,7	137,09	138,239	466,908	43,165	0,5434	1,8369
3,5	2574,3	138,10	139,271	466,111	43,238	0,5287	1,8879
3,6	2647,8	139,08	140,279	465,331	43,311	0,5149	1,9384
3,7	2721,4	140,05	141,265	464,569	43,381	0,5018	1,9889
3,8	2794,9	140,99	142,230	463,824	43,449	0,4894	2,0392
3,9	2868,5	141,92	143,175	463,093	43,516	0,4776	2,0894
4,0	2942,0	142,82	144,102	462,377	43,581	0,4663	2,1400
4,1	3015,6	143,71	145,010	461,677	43,644	0,4556	2,1901
4,2	3089,1	144,58	145,901	460,989	43,706	0,4454	2,2401
4,3	3162,7	145,43	146,775	460,315	43,766	0,4356	2,2904
4,4	3236,2	146,27	147,633	459,653	43,825	0,4263	2,3403
4,5	3309,8	147,09	148,475	459,004	43,883	0,4174	2,3901
4,6	3383,3	147,90	149,303	458,365	43,940	0,4088	2,4402
4,7	3456,9	148,69	150,117	457,738	43,995	0,4006	2,4900
4,8	3530,4	149,47	150,918	457,121	44,049	0,3928	2,5394
4,9	3604,0	150,24	151,705	456,514	44,103	0,3852	2,5893
5,0	3677,6	150,99	152,480	455,917	44,155	0,3780	2,6412
5,1	3751,1	151,73	153,242	455,331	44,206	0,3710	2,6882
5,2	3824,7	152,47	153,993	554,753	44,256	0,3643	2,7375
5,3	3898,2	153,19	154,733	454,183	44,305	0,3578	2,7871
5,4	3971,8	153,90	155,462	453,623	44,353	0,3515	2,8369
5,5	4045,3	154,59	156,180	453,071	44,400	0,3455	2,8860
5,6	4118,9	155,28	156,888	452,526	44,447	0,3397	2,9351
5,7	4192,4	155,96	157,586	451,989	44,493	0,3341	2,9842
5,8	4266,0	156,63	158,274	451,460	44,538	0,3287	3,0331
5,9	4339,5	157,29	158,951	450,938	44,582	0,3234	3,0826
6,0	4413,1	157,94	159,625	450,423	44,625	0,3183	3,1319
6,1	4486,6	158,59	160,287	449,914	44,668	0,3134	3,1807
6,2	4560,2	159,22	160,940	449,413	44,710	0,3086	3,2300
6,3	4633,7	159,85	161,585	448,918	44,751	0,3040	3,2787
6,4	4707,3	160,47	162,222	448,428	44,792	0,2995	3,3278
6,5	4780,8	161,08	162,852	447,945	44,832	0,2952	3,3761
6,6	4854,4	161,68	163,474	447,468	44,871	0,2910	3,4247
6,7	4927,9	162,28	164,088	446,997	44,910	0,2869	3,4734
6,8	5001,5	162,87	164,696	446,530	44,949	0,2829	3,5224
6,9	5075,0	163,45	165,296	446,070	44,987	0,2790	3,5714
7,0	5148,6	164,03	165,890	445,615	45,024	0,2753	3,6193
7,25	5332,4	165,44	167,347	444,498	45,115	0,2663	3,7411
7,50	5516,3	166,82	168,764	443,413	45,202	0,2580	3,8610
7,75	5700,2	168,15	170,146	442,354	45,287	0,2501	3,9825
8,0	5884,1	169,46	171,493	441,323	45,369	0,2427	4,1034
8,25	6068,0	170,73	172,808	440,316	45,449	0,2358	4,2230
8,50	6251,8	171,98	174,093	439,334	45,526	0,2292	4,3440
8,75	6435,7	173,19	175,349	438,373	45,601	0,2231	4,4623
9,0	6919,6	174,38	176,578	437,434	45,674	0,2172	4,5830
9,25	6803,5	175,54	177,780	436,515	45,745	0,2117	4,7015
9,50	6987,4	176,68	178,958	435,616	45,813	0,2064	4,8216
9,75	7171,2	177,79	180,111	434,735	45,881	0,2014	4,9407
10,0	7355,1	178,89	181,243	433,871	45,946	0,1966	5,0607
10,25	7539,0	179,96	182,353	433 024	46,010	0,1921	5,1787
10,50	7722,9	181,01	183,442	432,193	46,072	0,1878	5,2966
11,0	8090,6	183,05	185,563	430,576	46,192	0,1797	5,5340
12,0	8826,1	186,94	189,594	427,506	46,415	0,1655	6,0060
13,0	9561,6	190,57	193,376	424,629	46,620	0,1535	6,4725
14,0	10297,1	194,00	196,944	421,916	46,810	0,1431	6,9396
15,0	11032,7	197,24	200,324	419,349	46,986	0,1341	7,4016

Въ этой таблицѣ приняты слѣдующія обозначенія:

λ — **полная теплота испаренія** есть то количество теплоты въ единицахъ теплоты, которое необходимо для того, чтобы 1 kg воды при 0° C превратить въ насыщенный паръ при t^0 C.

Если себѣ представить, что это превращеніе происходитъ такимъ образомъ, что сперва нагрѣвается вода безъ измѣненія своего физическаго состоянія до t^0, причемъ она также подвержена соотвѣтствующему этой температурѣ давленію [1]) и потомъ уже превращается въ насыщенный паръ такой же температуры, то теплоту λ можно разсматривать какъ сумму

теплоты жидкости q — это есть то количество теплоты въ ед. тепл., которое потребно для того, чтобы 1 kg воды при 0° C нагрѣть до температуры t^0 C безъ измѣненія физическаго состоянія тѣла и

скрытой теплоты парообразованія r — это то количество теплоты въ ед. тепл., которое необходимо для того, чтобы 1 kg воды температуры t^0 C превратить въ насыщенный паръ той-же температуры.

Эта теплота въ свою очередь состоитъ изъ **внутренней теплоты парообразованія** ρ, это та часть отъ q, которая идетъ на измѣненіе физическаго состоянія тѣла, т. е. на повышеніе потенціальной энергіи

и **внѣшней теплоты парообразованія Apu**, это та часть отъ q, которая потребна для того, чтобы совершить внѣшнюю работу pu для преодолѣванія постояннаго давленія p при испареніи. Здѣсь u выражаетъ измѣненіе объема, происходящее при превращеніи воды въ паръ.

$$u = v - w$$

если v — есть объемъ 1 kg насыщеннаго пара при t' C. въ m^3, w объемъ 1 kg воды въ m^3.

Внѣшнюю теплоту парообразованія паръ уже, конечно, не содержитъ. Онъ содержитъ только

теплоту испаренія J, которая равна суммѣ $(q + \rho)$.

Для приведенныхъ количествъ теплоты имѣемъ, слѣдовательно, слѣдующія равенства:

$$\lambda = q + \rho + Apu,$$
$$r = \rho + Apu,$$
$$J = q + \rho,$$

которыя можно связать слѣдующею схемой.

$$\overbrace{\underbrace{q \qquad \rho}_{J} \qquad Apu.}^{\lambda} \qquad \underbrace{\qquad\qquad}_{r}$$

Значенія отдѣльныхъ количествъ даны въ табл. на стр. 11.

Для насыщеннаго пара при давленіи въ 5 Atm мы имѣемъ напр.

$$\lambda = 152{,}480 + 455{,}917 + 44{,}155 = 652{,}552 \text{ WE}$$
$$r = 455{,}917 + 44{,}155 = 500{,}072 \text{ WE}$$
$$J = 152{,}480 + 455{,}917 = 608{,}397 \text{ WE}.$$

Паръ, работающій въ паровыхъ машинахъ, всегда содержитъ нѣкоторое количество воды. Пусть въ 1 kg такой смѣси пара съ водою содержится x kg пара и, слѣдовательно, (1—x) kg воды. Пусть какъ и прежде

w означаетъ объемъ 1 kg воды въ m^3, и

u » на сколько въ m^3 объемъ 1 kg насыщеннаго пара больше w.

Удѣльный объемъ смѣси будетъ

$$v = w + xu \quad \ldots\ldots\ldots \quad 16^a$$

Это уравненіе можетъ считаться характеристическимъ уравненіемъ для смѣси, такъ какъ u есть функція отъ давленія p и даетъ для сухого насыщеннаго пара (x=1) какъ и выше

$$v = w + u \quad \ldots\ldots\ldots \quad 16^b$$

Если насыщенный паръ, по возможности сухой, нагрѣвать далѣе, то онъ, какъ только послѣдняя капля содержащейся въ немъ воды испарится, превратится изъ насыщеннаго пара въ перегрѣтый. Если продолжать нагрѣваніе пара въ этомъ состояніи, то при постоянномъ давленіи увеличится его температура и объемъ и, слѣдовательно, уменьшится плотность, если же объемъ и плотность останутся постоянными, то произойдетъ повышеніе температуры и давленія. Поэтому **перегрѣтымъ паромъ** называютъ такой паръ, температура котораго при одинаковомъ давленіи съ насыщеннымъ паромъ выше, а плотность меньше, при одинаковой же плотности—температура и давленіе выше чѣмъ у насыщеннаго пара.

Если перегрѣтый паръ охлаждать, то онъ перейдетъ сперва въ насыщенное состояніе, а потомъ ужъ начинаетъ превращаться въ воду. Поэтому насыщеннымъ паромъ называютъ также такой, который при сохраненіи прочихъ всѣхъ обстоятельствъ при безконечно маломъ пониженіи температуры начинаетъ превращаться въ воду; перегрѣтымъ же паромъ можно назвать такой, въ которомъ только при конечномъ пониженіи температуры можетъ начаться это превращеніе.

Для перегрѣтаго пара характеристическое уравненіе будетъ то-же самое, что и для газа, именно,

$$pv = RT \quad \ldots\ldots\ldots \quad 17$$

и съ тѣмъ большею точностью, чѣмъ паръ сильнѣе перегрѣтъ, чѣмъ дальше онъ находится отъ насыщеннаго состоянія. Постоянная величина R для водяного пара равна 49,65 mkg.

Важнымъ для насъ представляется измѣненіе водяного пара во время расширенія и сжатія. Между тѣмъ механическая теорія теплоты даетъ для измѣненія состоянія насыщеннаго пара такія уравненія, обращеніе съ которыми крайне затруднительно. Поэтому достаточно пользоваться эмпирическою формулою, данною Цейнеромъ, которая съ достачною точностью для встрѣчающихся въ паровыхъ машинахъ предѣловъ выражаетъ адіабатическія измѣненія (въ сосудахъ, непроводящихъ теплоту) насыщеннаго пара. А именно

$pv^n = \text{пост.}$, гдѣ $n = 1{,}035 + 0{,}1\ x$.

Такъ какъ это равенство подобно уравненію 11, выражающему законъ Пуассона (Poisson) и которое при $n = 1{,}41$ можетъ быть допущено для адіабатическихъ измѣненій перегрѣтаго пара, то имѣемъ:

что законъ, по которому расширяется въ непроводящемъ теплоту сосудѣ насыщенный или перегрѣтый паръ, совершая внѣшнюю работу, а также сжимается, поглощая внѣшнюю работу, выражается общимъ уравненіемъ

$$pv^n = \text{пост.} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 18$$

Для **насыщеннаго** [1]) пара $n = 1{,}035 + 0{,}1\ x$, для **перегрѣтаго** $n = 1{,}41$. При $n = 1$ это уравненіе выражаетъ законъ Маріотта, который, строго говоря, справедливъ только для измѣненій состоянія достаточно сильно перегрѣтаго пара при постоянной температурѣ. Совершаемая паромъ при

[1]) Совершаемая при этомъ внѣшняя работа весьма мала вслѣдствіе ничтожнаго измѣненія объема воды, поэтому ею пренебрегаютъ.

[1]) Сухого или влажнаго.

расширеніи или при сжатіи внѣшняя работа опредѣляется по уравненію 12

$$L = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{n-1}\right] = \frac{p_1 v_1}{n-1}\left[1-\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{n-1}{n}}\right] \quad \ldots\ldots 19$$

Наши паровые цилиндры, однако, какъ-бы мы ихъ не оберегали разными способами отъ потери теплоты, не могутъ считаться непроводниками теплоты, а также едва-ли можно достигнуть, чтобы паръ, работающій въ нихъ, могъ сохранять постоянную температуру. Но все-же мы можемъ съ достаточною точностью примѣнять для расширенія и сжатія пара въ паровыхъ машинахъ вышеприведенныя уравненія, если мы только выберемъ показатель n сообразносъ тѣми обстоятельствами, при которыхъ происходятъ отступающія отъ чисто адіабатическихъ и изотермическихъ процессовъ расширеніе и сжатіе пара.

Изъ уравненія 17 далѣе можно вывести слѣдующее свойство насыщэннаго пара.

Для сухого насыщеннаго пара ($x = 1$) имѣемъ $n = 1{,}035 + 0{,}1 = 1{,}135$ и

$$pv^{1{,}135} = \text{пост.}.$$

Если теперь 1 kg этого пара при давленіи $p_1 = 5$ Atm и объемѣ $v_1 = \frac{1}{\gamma_1} = \frac{1}{2{,}6412}$ m³. совершитъ внѣшнюю работу и увеличится въ объемѣ въ двараза, т. е. $v_2 = 2\,v_1 = \frac{2}{\gamma_1} = \frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{1{,}3206}$ m³, причемъ пару не будетъ сообщаться теплота, то давленіе въ концѣ расширенія опредѣлится изъ вышеприведеннаго равенства

$$p_1 v_1^{1{,}135} = p_2 v_2^{1{,}135} \text{ или}$$

$$p_2 = p_1\left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{1{,}135} = 5\left(\frac{1}{2}\right)^{1{,}135} = 2{,}277 \text{ Atm}.$$

Но по таблицѣ на страницѣ 11 насыщенный паръ удѣльнаго объема $v_2 = \frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{1{,}3206}$ или плотности $\gamma_2 = 1{,}3206$ имѣетъ давленіе равное 2,4 Atm. Поэтому насыщенный паръ послѣ расширенія уже не можетъ остаться таковымъ, а часть его превратится во время расширенія въ воду. Какъ велико конечное давленіе смѣси по вышеприведенному уравненію невозможно опредѣлить.

Пусть далѣе 1 kg насыщеннаго пара при давленіи въ 5 Atm сжимается подъ вліяніемъ внѣшней работы на половину своего объема и безъ отдачи теплоты, т. е. $v_2 = \frac{1}{2}v_1 = \frac{1}{2\gamma_1} = \frac{1}{\gamma_2} = \frac{1}{5{,}2824}$ m³. Давленіе въ концѣ сжатія опредѣляется изъ вышеприведеннаго равенства

$$p_2 = 5 \,.\, 2^{1{,}135} = 10{,}98 \text{ Atm},$$

Между тѣмъ по той-же таблицѣ на страницѣ 11 для насыщеннаго пара плотности котораго $\gamma_2 = 5{,}2824$, имѣемъ давленіе равное 10,5 Atm. Значитъ и въ этомъ случаѣ паръ въ концѣ сжатія не можетъ считаться насыщеннымъ, такъ какъ его давленіе выше, чѣмъ данное въ таблицѣ. Паръ скорѣе всего перешелъ въ перегрѣтое состояніе. По данному равенству опять невозможно опредѣлить конечное давленіе, такъ какъ показатель и при измѣненіи состоянія пара мѣняетъ свою величину.

Отсюда выводимъ слѣдующее заключеніе, которое и подтверждается точными уравненіями механической теоріи теплоты и опытомъ.

Если насыщенный водяной паръ расширяется, совершая внѣшнюю работу, безъ подогрѣванія, то часть пара превратится въ воду, которую паръ содержитъ въ видѣ тумана. Если же насыщенный паръ подъ вліяніемъ внѣшней работы сжимается безъ отдачи теплоты, то онъ переходитъ въ перегрѣтое состояніе. Это справедливо не только для сухого насыщеннаго пара, но также и для влажнаго въ (которомъ приблизительно половина по вѣсу воды). Въ этомъ случаѣ только при сжатіи содержащаяся въ парѣ вода сперва испаряется, а потомъ уже переходитъ въ перегрѣтое состояніе.

ЧАСТЬ II.

Условія кривошипнаго движенія.

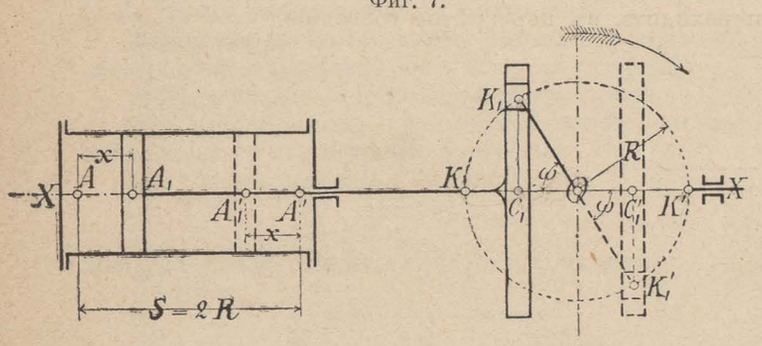
§ 7.

Соотношеніе между ходомъ поршня или крейцкопфа и угломъ поворота кривошипа.

1. Шатунъ безконечной длины.

При поворотѣ кривошипа изъ мертваго положенія на уголъ ω въ положеніе OK_1 или OK_1' (фиг. 7 текста) путь, проходимый поршнемъ, будетъ

Фиг. 7.



$$x = AA_1 = KC_1 \text{ или } = A'A_1' = K'C_1'.$$

Этотъ путь получится, если изъ центра пальца кривошипа K_1 или K_1' опустить перпендикуляръ K_1C_1 или $K_1'C_1'$ на направленіе хода поршня X—X. Такъ какъ

$$KC_1 = OK - OC_1 = R - R\cos\omega$$

и

$$K'C_1' = OK' - OC_1' = R - R\cos\omega,$$

то для передняго и задняго хода путь поршня будетъ

$$x = R(1 - \cos\omega) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 20$$

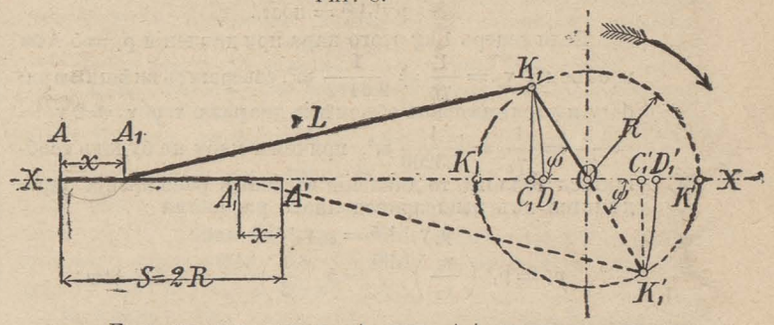
2. Шатунъ конечной длины L.

Для того, чтобы въ этомъ случаѣ получить ходъ поршня (фиг. 8 текста)

$$x = AA_1 \text{ или } x = A'A_1',$$

соотвѣтствующій повороту кривошипа изъ мертваго положенія на уголъ ω въ положеніе OK_1 или OK_1', слѣдуетъ изъ точки K_1 или K_1' провести дугу радіусомъ равнымъ длинѣ L шатуна до направленія хода поршня X—X.

Фиг. 8.



Если же изъ точекъ A_1 или A_1' очертить длиною шатуна L дугу K_1D_1 или $K_1'D_1'$, то для хода поршня впередъ будетъ

$$x = AA_1 = KD_1,$$

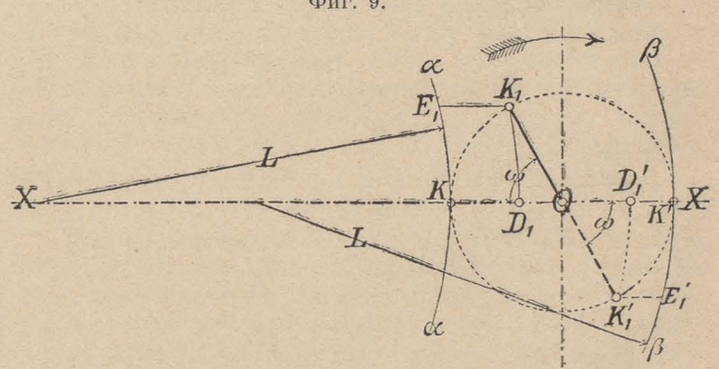
а для хода назадъ $x = AA_1' = K'D_1'$

Отсюда слѣдующіе простые графическіе пріемы для опредѣленія хода поршня при поворотѣ кривошипа на уголъ ω.

1 пріемъ. Діаграмма Шорха (Schorch) для опредѣленія хода поршня.

Длиною шатуна L описываютъ двѣ дуги $\alpha K \alpha$ и $\beta, K' \beta$, (фиг. 9 текста), центры которыхъ лежатъ на направленіи хода поршня X—X. Для ка-

Фиг. 9.



кого либо положенія кривошипа OK_1 или OK_1' соотвѣтствующій ходъ поршня x получится, если провести черезъ точку K_1 или K_1' линію E_1K_1 или $E_1'K_1'$ параллельную направленію хода X—X.

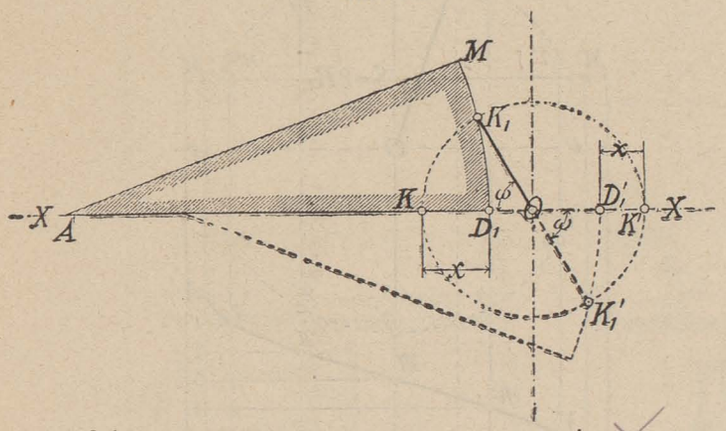
Изъ чертежа путь будетъ

$x = KD_1 = E_1K_1$ для хода впередъ

и $x = K'D_1' = E_1'K_1'$ для хода назадъ

2 пріемъ.

Фиг. 10.



Обыкновенно приходится по отношенію къ пути пройденному поршнемъ къ полному его ходу, опредѣлять соотвѣтствующее положеніе кривошипа или наоборотъ, по данному положенію кривошипа опредѣлить такимъ образомъ выраженный путь. Поэтому окружность, изображающая движеніе кривошипа, проводится радіусомъ равному не ходу поршня, а произвольной величинѣ, напр. радіусомъ OK причемъ лучше всего брать $OK = 50$ mm.

Если вырѣзать изъ бумаги или дерева шаблонъ AD_1M (фиг. 10 текста), въ которомъ дуга D_1M описана радіусомъ AD_1=длинѣ шатуна L и если принять во вниманіе что L дѣлается отъ 4R до 6R и, большею частью, равною 5R, слѣдовательно при OK=50 мм. L=250 мм., то простымъ положеніемъ вырѣзанной фигуры на фиг. 10 для опредѣленнаго хода поршня x получится соотвѣтственное положеніе кривошипа, а для опредѣленнаго положенія кривошипа соотвѣтственный ходъ поршня.

Для того, чтобы напримѣръ опредѣлить положеніе кривошипа, соотвѣтствующее ходу поршня x слѣдуетъ наложить фигуру AD_1M стороною AD_1 на направленіе хода X—X такъ, чтобы точка D_1 совпадала съ концомъ хода x; тогда пересѣченіе фигуры AD_1M съ окружностью въ точкѣ K_1 опредѣлитъ положеніе кривошипа.

Если же хотятъ опредѣлить по данному положенію кривошипа OK_1' соотвѣтствующій ходъ поршня, то слѣдуетъ фигуру AD_1M наложить на фиг. 10 такъ, чтобы дуга этой фигуры проходила черезъ точку K_1' и сторона AD_1 совпадала бы съ направленіемъ X—X, какъ это показано пунктиромъ на фиг. 10. $D_1'K'$ и есть тогда искомый путь поршня.

Приблизительный пріемъ для опредѣленія произвольнаго хода поршня слѣдующій.

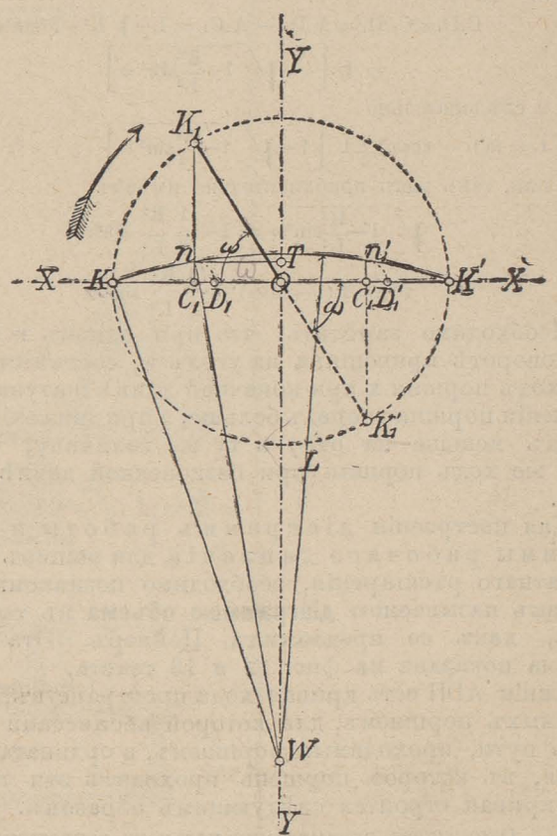
3 пріемъ [1]).

Изъ центра W, лежащаго на вертикальной линіи У — У (фиг. 11 текста), очерчиваютъ дугу KK' радіусомъ равнымъ длинѣ шатуна L. Соотвѣтствующій опредѣленному положенію кривошипа OK_1 или OK_1' путь KD_1 опредѣлится, если изъ K_1 опустимъ перпендикуляръ на направленіе хода поршня X—X и получаемый такимъ образомъ отрѣзокъ nC_1 отложимъ по X—X вправо отъ точки C_1, или отрѣзокъ $n'C_1'$ вправо отъ точки C_1'.

Доказать, что этотъ пріемъ достаточно точенъ для общепринятаго соотношенія $\frac{R}{L} = \frac{1}{4}$ до $\frac{1}{6}$ можно слѣдующимъ образомъ.

[1]) Пріемъ инженера P. Kirchhoff, Mittweida.

Фиг. 11.



Какъ будетъ показано ниже (см. уравненіе 21а) отрѣзокъ $C_1D_1 = C_1'D_1'$, который показываетъ насколько ходъ поршня больше или меньше при конечной длинѣ шатуна, чѣмъ при безконечной, опредѣляется изъ уравненія

$$C_1D_1 = C_1'D_1' = L\left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega}\right)$$

Изъ треугольника OKW имѣемъ, что $OW = \sqrt{L^2 - R^2}$, а изъ треугольника TnW, что $TW = \sqrt{L^2 - R^2\cos^2\omega}$, а слѣдовательно

$$nC_1 = TW - OW = \sqrt{L^2 - R^2\cos^2\omega} - \sqrt{L^2 - R^2}.$$

Если бы этотъ пріемъ былъ точенъ, то C_1D_1, должно было быть равно nC_1 или

$$L\left(1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega}\right) = \sqrt{L^2 - R^2\cos^2\omega} - \sqrt{L^2 - R^2}$$ и

$$1 + \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}} = \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\cos^2\omega} + \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega}.$$

Если это равенство возвысить въ квадратъ, то имѣемъ

$$\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}} = \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2} + \frac{R^4}{L^4}\sin^2\omega\cos^2\omega}.$$

Разность между обѣими подкоренными величинами будетъ $\frac{R^4}{L^4}\sin^2\omega\cos^2\omega$, которая при $\frac{R}{L} = \frac{1}{4}$ до $\frac{1}{6}$ будетъ крайне ничтожна.

При поворотѣ кривошипа на уголъ ω путь, проходимый поршнемъ, $x = KD_1$ или $K'D_1'$ (фиг. 8 текста) опредѣляется съ достаточною для практики точностью уравненіемъ

$$x = R\left(1 - \cos\omega\right) \pm \frac{1}{2}\,\frac{R^2}{L}\sin^2\omega \quad \ldots . 21$$

причемъ знакъ + будетъ для передняго хода поршня, знакъ — для задняго хода, R будетъ радіусъ кривошипа, L — длина шатуна.

Изъ фиг. 8 имѣемъ

$x = KD_1 = KC_1 + C_1D_1$ для хода впередъ

и $x = K'D_1' = K'C_1' - C_1'D_1'$ для хода назадъ.

Изъ уравненія 20 $KC_1 = K_1'C_1' = R\ (1-\cos\omega)$.
Далѣе будетъ

$$C_1D_1 = C_1'D_1' = A_1D_1 - A_1C_1 = L - \sqrt{L^2 - R^2\sin^2\omega}$$

$$= L\left[1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega}\right]$$

и слѣдовательно

$$x = R(1-\cos\omega) \pm L\left[1 - \sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega}\right] \quad \ldots\ldots\ 21a$$

или, такъ какъ приблизительно имѣемъ

$$\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega} = 1 - \frac{1}{2}\frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega,$$

то $x = R(1-\cos\omega) \pm \frac{1}{2}\frac{R^2}{L^2}\sin^2\omega$.

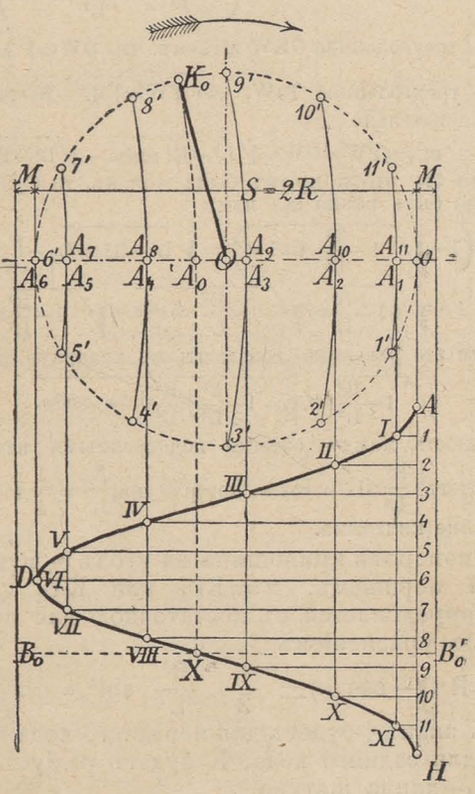
Необходимо замѣтить, что при одномъ и томъ же поворотѣ кривошипа на уголъ ω, соотвѣтствующій ходъ поршня x при конечной длинѣ шатуна при движеніи поршня впередъ больше, а при движеніи его назадъ меньше на одну и ту же величину, чѣмъ тотъ же ходъ поршня при безконечной длинѣ шатуна.

Для построенія діаграммъ работы и діаграммы рабочаго давленія для машинъ многократнаго расширенія, необходимо познакомиться съ такъ называемою **діаграммою объема** въ такомъ видѣ, какъ ее предложилъ Цейнеръ. Эта діаграмма показана на фиг. 12 и 13 текста.

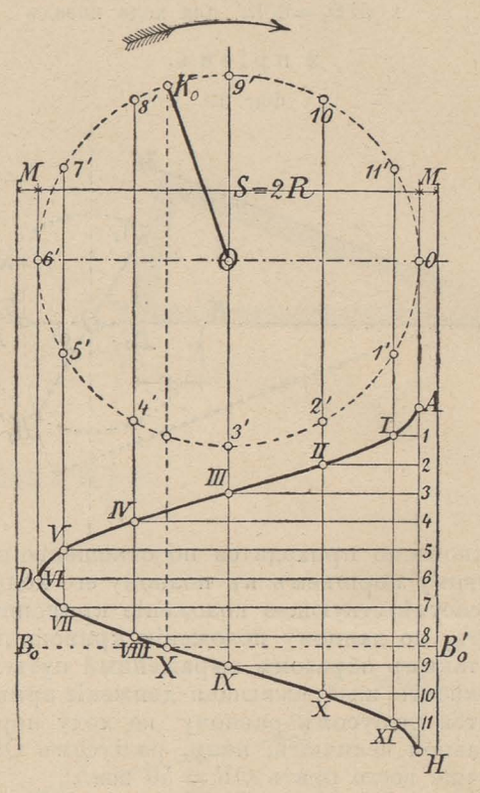
Линія ADH есть кривая хода пространствъ, проходимыхъ поршнемъ, для которой абсциссами служатъ пути, проходимыя поршнемъ, а ординатами — время, въ которое поршень проходитъ эти пути. Эта кривая строится слѣдующимъ образомъ.

Окружность, описываемую пальцемъ кривошипа (фигура 12), дѣлятъ на нѣсколько равныхъ частей, напр. на $\overset{\frown}{01}$, $\overset{\frown}{1'2'}$ и т. д.; затѣмъ на вертикальной линіи,

Фиг. 12.



Фиг. 13.



проходящей черезъ точку 0, откладываютъ въ произвольномъ масштабѣ столько же равныхъ частей $\overline{A1}$, $\overline{12}$ и т. д., которыя очевидно пропорціональны времени, въ которое палецъ кривошипа пробѣгаетъ равномѣрною скоростью части $\overset{\frown}{01}$, $\overset{\frown}{1'2'}$..... окружности. Если черезъ точки 0,1', 2'..... провести вертикальныя, а черезъ точки A,1,2..... горизонтальныя линіи, то точки ихъ пересѣченія I,II..... будутъ принадлежать кривой хода поршня при безконечно длинномъ шатунѣ.

По обѣ стороны окружности, которую описываетъ палецъ кривошипа, проведены еще двѣ вертикальныя линіи на разстояніи M отъ нея. M есть величина вреднаго пространства, (это есть, какъ будетъ показано впослѣдствіе, отношеніе объема вреднаго пространства къ полезной площади поршня) которая наносится въ томъ же масштабѣ, въ которомъ вычерчена окружность, описываемая кривошипомъ. Въ фиг. 13 текста кривая хода поршня вычерчена принимая во вниманіе конечную длину шатуна. Здѣсь вертикали проводятъ не черезъ точки, изображающія положенія кривошипа 1',2'....., а черезъ точки A_1, A_2....., изображающія соотвѣтствующія опредѣленнымъ положеніямъ кривошипа положенія поршня. Здѣсь эти положенія A_1, A_2..... опредѣлены какъ было указано на стр. 15 фиг. 10.

Для какого либо положенія кривошипа OK_0 изъ приведенныхъ выше діаграммъ объемовъ получаютъ отрѣзки B_0X и XB_0', если провести вертикаль въ фиг. 12 черезъ точку K_0, а въ фиг. 13 черезъ точку A_0, до пересѣченія съ соотвѣтствующею частью DH кривой хода поршня.

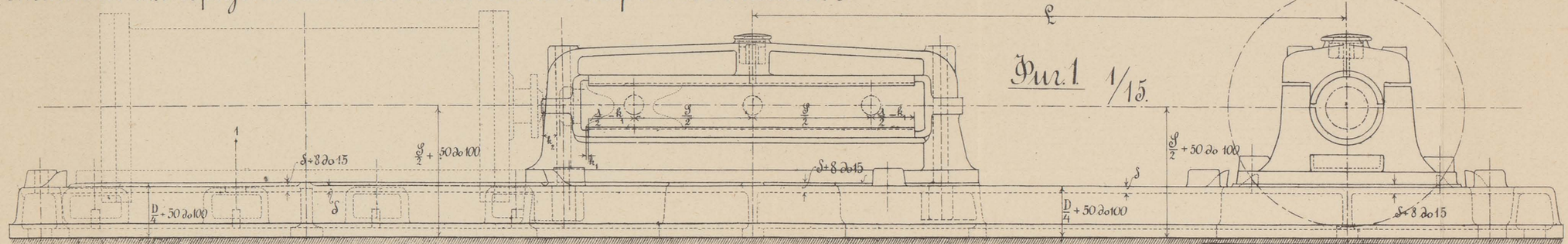
Эти отрѣзки B_0X и XB_0' представляютъ въ выбранномъ нами масштабѣ пространства, которыя существуютъ по правую и по лѣвую сторону поршня при принятомъ нами положеніи кривошипа [1]).

---

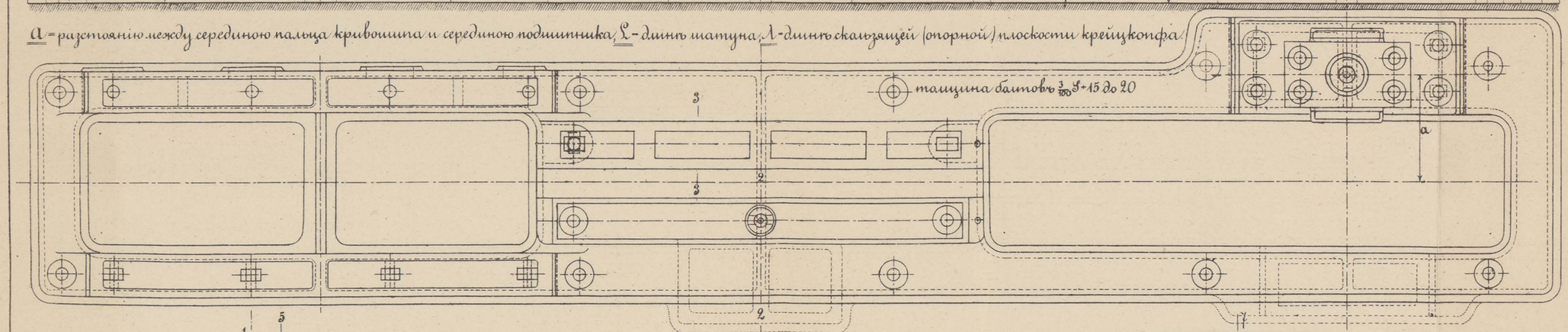
[1]) См. новое построен. объемныхъ діаграммъ въ Zeitsch. des Vereins Deutsch. Ing. 1899 г. № 1 статья Hleck'a Die graphische Berechnung mehrcylindriger Dampfmaschinen.

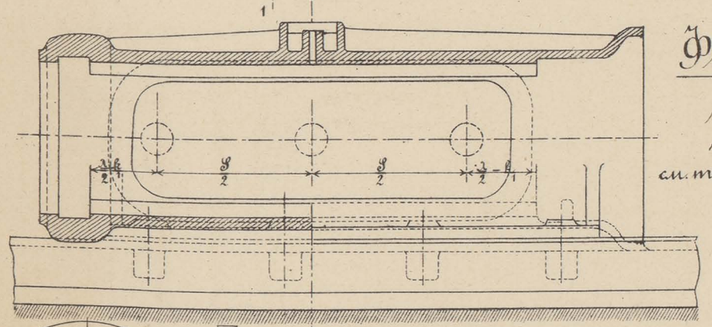
Примѣч. ред.

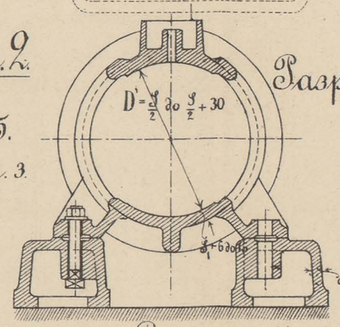
Станины для горизонтальныхъ и стѣнныхъ паровыхъ машинъ.



a = разстоянію между серединою пальца кривошипа и серединою подшипника, ℓ - длинѣ шатуна, λ - длинѣ скользящей (опорной) плоскости крейцкопфа.







D = діаметръ цилиндра

D' = діаметру цилиндрич. направляющ.

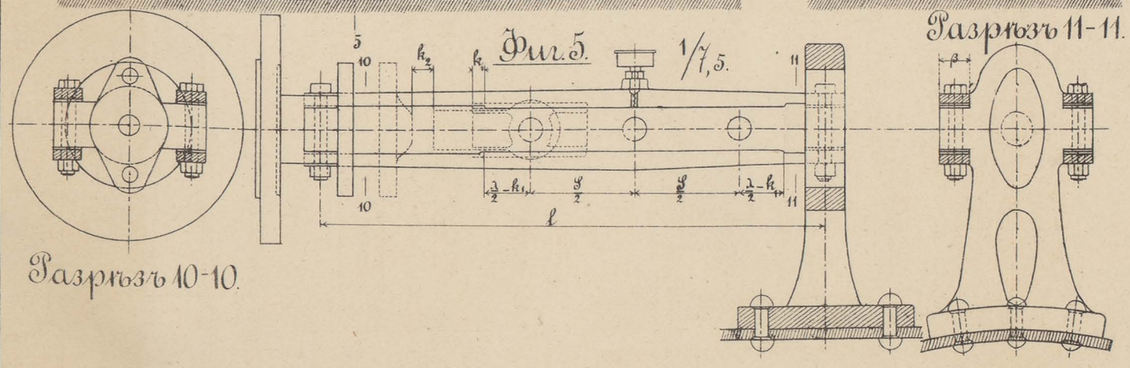
S = ходъ поршня

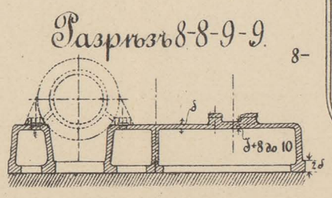
k_1 = 10 до 15

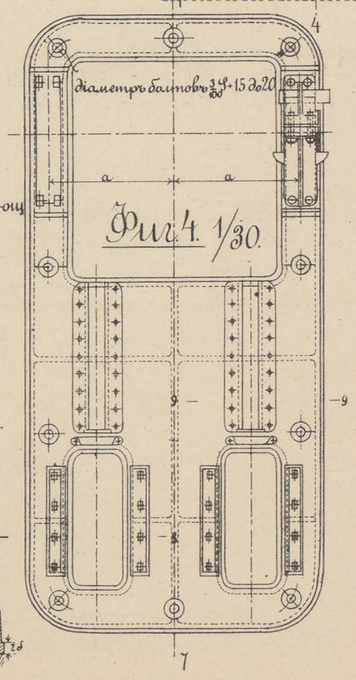
k_2 = 50 до 100

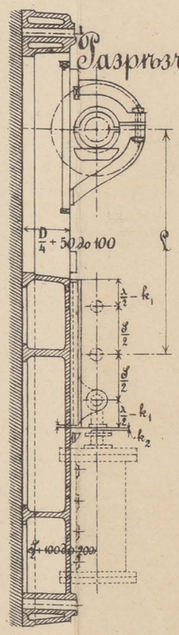
$\delta = \frac{S}{100} + 15$

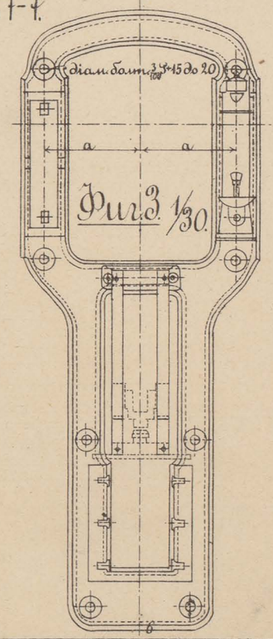
$\delta_1 = \frac{S}{40} + 5$

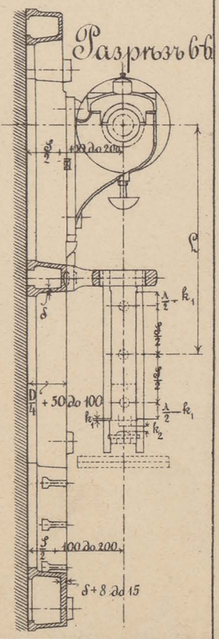


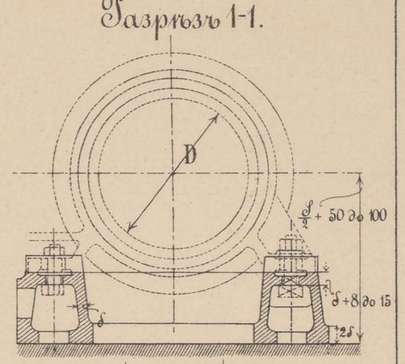












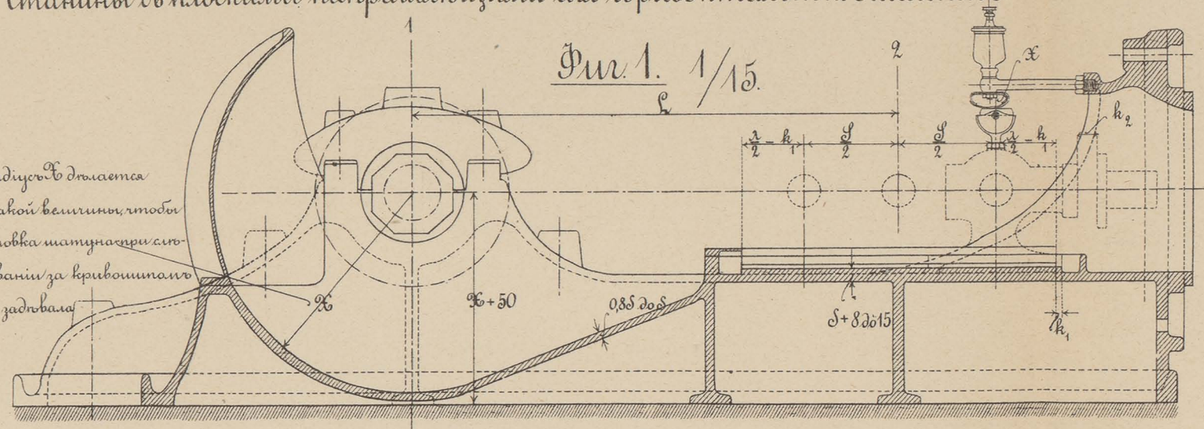
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Станины съ плоскими направляющими для горизонтальныхъ машинъ.

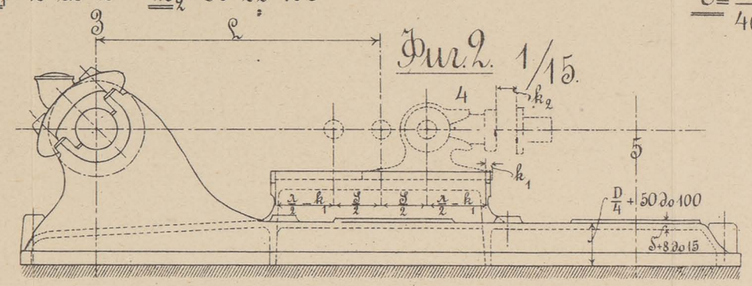
k_1 = 10 до 15 k_2 = 50 до 100

$\delta = \frac{S}{40} + 5.$

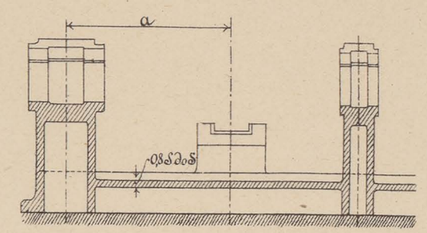
Фиг. 1. 1/15.



Фиг. 2. 1/15.



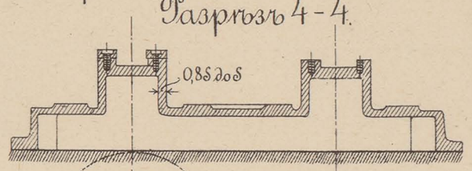
Разрѣзъ 3-3.



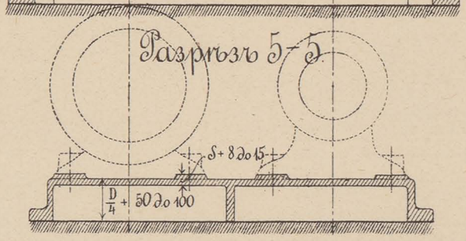
S = ходъ поршня.

D[+] = діаметръ цилиндра.

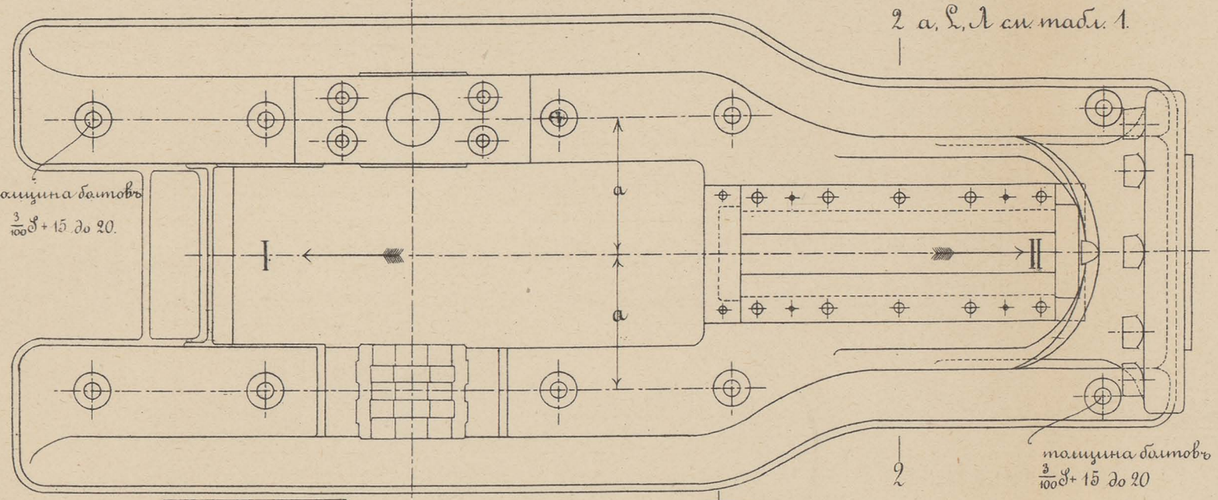
Разрѣзъ 4-4.

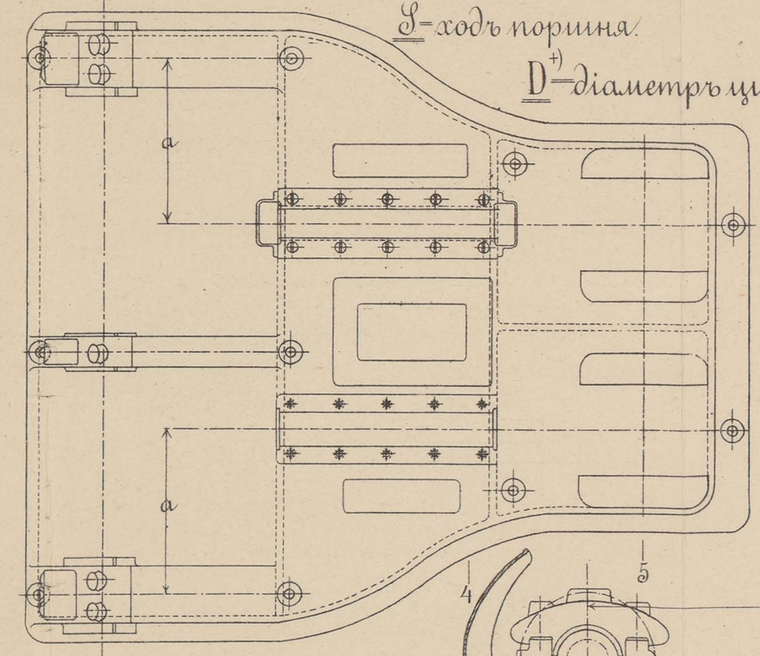


Разрѣзъ 5-5.

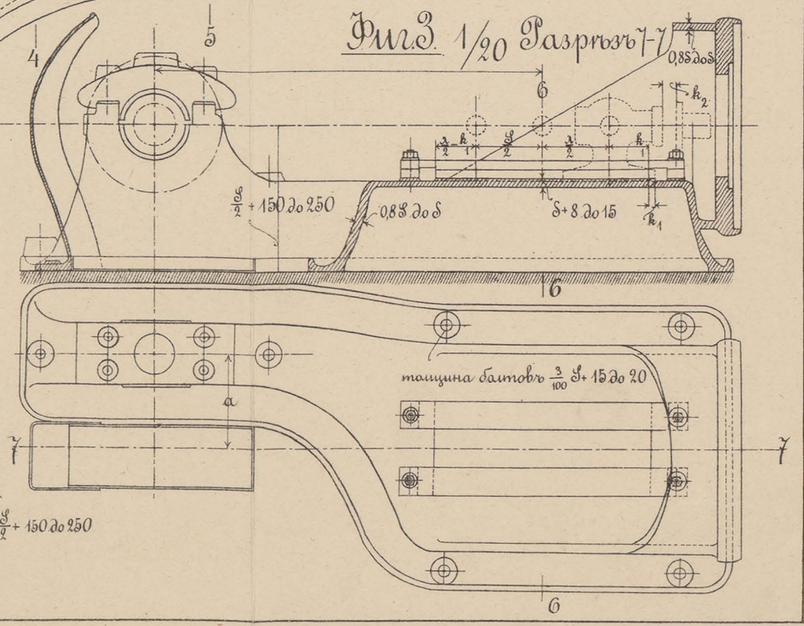


2 a, l, λ см. табл. 1.

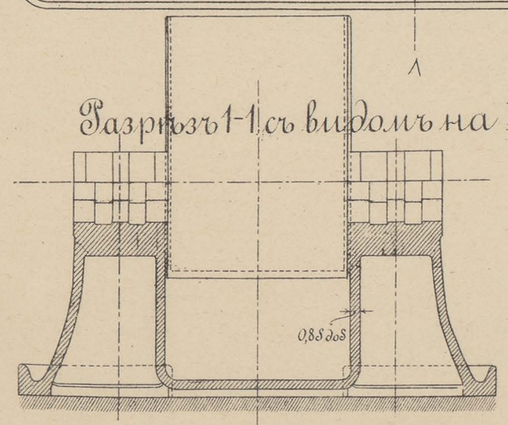




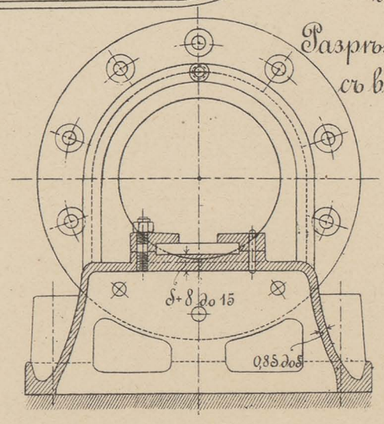
Фиг. 3. 1/20 Разрѣзъ 7-7



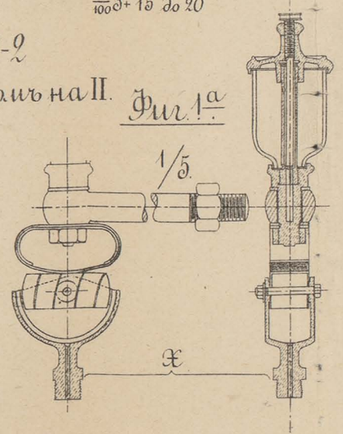
Разрѣзъ 1-1 съ видомъ на I.



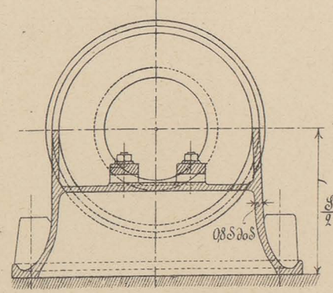
Разрѣзъ 2-2 съ видомъ на II.



Фиг. 1[a]. 1/5.



Разрѣзъ 6-6



[+]) При машинахъ многократнаго расширенія D есть діаметръ большого цилиндра.

Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

§ 8.

Скорость поршня (крейцкопфа).

Пусть будетъ R — радіусъ кривошипа, $S = 2R$, ходъ поршня въ m, c_m средняя скорость поршня, v скорость кривошипа въ m въ секунду, которая здѣсь принимается постоянною. Между этими величинами существуютъ слѣдующія соотношенія:

$$\left.\begin{aligned} c_m &= \frac{2Sn}{60} = \frac{Sn}{30} \\ v &= \frac{2\pi Rn}{60} = \frac{\pi Rn}{30} \\ v &= \frac{\pi}{2} c_m \text{ и } c_m = \frac{2}{\pi} v \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots 22$$

n—есть число оборотовъ главнаго вала въ минуту.

Для опредѣленнаго положенія кривошипа, повернутаго на уголъ ω изъ мертваго положенія, скорость поршня будетъ:

при безконечной длинѣ шатуна

$$c = v \sin\omega \quad \ldots\ldots\ldots 23$$

Здѣсь $c = 0$, когда $\omega = 0°$ или $\omega = 180°$, $c_{max} = v$, когда $\omega = 90°$;

при конечной длинѣ шатуна L съ достаточною для практики точностью

$$c = v \sin\omega \left(1 \pm \frac{R}{L}\cos\omega\right) \quad \ldots\ldots\ldots 24^1).$$

Здѣсь $c = 0$, когда $\omega = 0°$ или $\omega = 180°$, $c = v$ при $\omega = 90°$ и

$$c_{max} = v\left(1 + \frac{R^2}{2L^2}\right) \quad \ldots\ldots\ldots 25$$

будетъ, когда $\cos\omega = \sim \pm \frac{R}{L}$[1]; такъ какъ обыкновенно дѣлаютъ $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, то c_{max} будетъ, когда

$\omega = \sim 78°30'$ для передняго хода поршня
$\omega = \sim 101°30'$ » задняго » »

Уравненія 23, 24 и 25 получаются слѣдующимъ образомъ. При поворотѣ кривошипа на уголъ ω, соотвѣтствующемъ ходу поршня x и угловой скорости $w = \frac{v}{R}$ будетъ

$$c = \frac{dx}{dt} \text{ и } w = \frac{d\omega}{dt},$$

слѣдовательно $c = w\frac{dx}{d\omega} = \frac{v}{R}\frac{dx}{d\omega}$.

Если въ это равенство подставить получаемыя изъ уравненій 20 и 21 значенія

$$dx = R\sin\omega\, d\omega$$

$$\text{или } dx = \left(R\sin\omega \pm \frac{R^2}{2L} 2\sin\omega\cos\omega\right) d\omega$$

$$= R\sin\omega\left(1 \pm \frac{R}{L}\cos\omega\right) d\omega,$$

то и получимъ уравненія 23 и 24.

Наибольшее значеніе c_{max} въ уравненіи 25 получится изъ уравненія 24 при условіи[2])

$$\frac{dc}{d\omega} = \cos\omega + \frac{R}{L}\cos 2\omega = 0$$

$$\text{или } \cos^2\omega + \frac{L}{2R}\cos\omega - \frac{1}{2} = 0.$$

Отсюда $\cos\omega = -\frac{L}{4R} + \sqrt{\frac{L}{16R^2} + \frac{1}{2}} = \frac{L}{4R}\left(-1 + \sqrt{1 + 8\frac{R^2}{L^2}}\right)$,

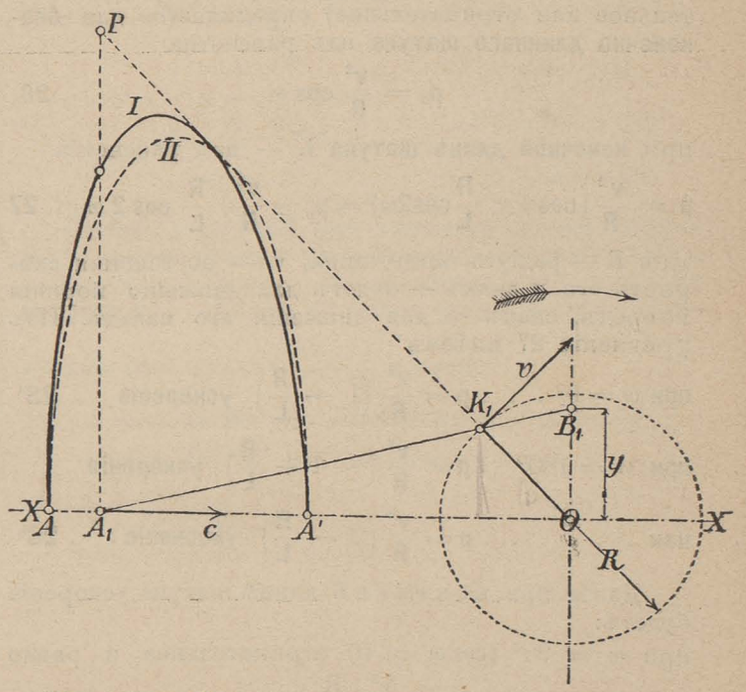
или, съ достаточною точностью.

$$\cos\omega = \sim \frac{R}{L}.$$

Это значеніе, будучи подставлено въ уравненіе 24, и дастъ

$$c_{max} = v\sqrt{1 - \frac{R^2}{L^2}\left(1 + \frac{R^2}{L^2}\right)} = \sim v\left(1 + \frac{R^2}{2L^2}\right).$$

Фиг. 14.



На фиг. 14-й текста представлено простое графическое изображеніе измѣненія скорости поршня. Если мы выберемъ произвольное положеніе кривошипа OK_1 и изъ соотвѣтствующаго положенія поршня A_1 возставимъ перпендикуляръ къ направленію хода его X — X до встрѣчи съ продолженіемъ OK_1 въ точкѣ P, то получимъ мгновенный центръ (полюсъ) вращенія прямой A_1K_1. Поэтому будетъ

$$\frac{c}{v} = \frac{\overline{A_1P}}{\overline{K_1P}} = \frac{\overline{OB_1}}{\overline{OK_1}} = \frac{y}{R}$$

откуда, далѣе

$$c = \frac{v}{R}\, y.$$

Если такимъ образомъ опредѣлимъ величину y для различныхъ положеній поршня и отложимъ эту величину помноженную на отношеніе $\frac{v}{R}$ въ соотвѣтствующемъ масштабѣ въ точкахъ, соотвѣтствующихъ выбраннымъ положеніямъ поршня какъ ординаты, то получимъ діаграмму скоростей поршня. Въ фиг. 14 кривая AIA′ вычерчена для отношенія $\frac{R}{L} = \frac{1}{3}$, а кривая AIIA′ для $L = \infty$.

Если выбрать масштабъ такъ, что $\frac{v}{R} = 1$, то ординатами кривой будутъ различныя значенія y; тогда при $L = \infty$ діаграмма скоростей поршня будетъ полуокружность, описанная на ходѣ поршня $\overline{AA'}$, какъ на діаметрѣ.

[1]) знакъ + для передняго хода поршня; знакъ — для задняго хода.

[2]) Напр. для движенія поршня впередъ.

РУМЯНЦЕВСКІЙ МУЗЕЙ ПУБЛИЧ. БИБЛІОТ.

§ 9.

Ускореніе поршня (крейцкопфа).

Въ первую половину хода скорость с поршня, равная нулю въ мертвыхъ положеніяхъ его, постепенно возрастаетъ до наибольшаго значенія c_{max} и затѣмъ опять убываетъ до нуля во вторую половину хода. Такимъ образомъ поршень въ началѣ хода имѣетъ положительное ускореніе, въ концѣ— отрицательное, причемъ оба эти ускоренія достигаютъ своего наибольшаго значенія въ мертвыхъ положеніяхъ поршня, при положеніи же поршня, соотвѣтствующемъ c_{max}, ускореніе равно нулю.

Для положенія кривошипа при поворотѣ изъ мертваго положенія на уголъ ω ускореніе (положительное или отрицательное) опредѣляется для **безконечно длиннаго шатуна** изъ равенства

$$p_0 = \frac{v^2}{R}\cos\omega \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 26,$$

при **конечной длинѣ шатуна** L — изъ равенства

$$p = \frac{v^2}{R}\left(\cos\omega \pm \frac{R}{L}\cos 2\omega\right) = p_0 \pm \frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}\cos 2\omega \quad . \; 27$$

гдѣ R — радіусъ кривошипа, v — постоянная скорость его и знакъ + будетъ для движенія поршня впередъ, знакъ — для движенія его назадъ. Изъ уравненія 27 имѣемъ

при $\omega = 0°$ . . . $p = \frac{v^2}{R}\left(1 + \frac{R}{L}\right)$ ускореніе . 28^a

при $\omega = 180°$. . $p = \frac{v^2}{R}\left(-1 + \frac{R}{L}\right)$ ускореніе

или . . . . . $p = \frac{v^2}{R}\left(1 - \frac{R}{L}\right)$ укосненіе . . 28^b

Далѣе при конечной длинѣ шатуна ускореніе будетъ:

при $\omega = 90°$ $(\cos\omega = 0)$ отрицательное и равно

$$\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L},$$

при $\omega = 45°$ $(\cos 2\omega = 0)$ положительное и равно

$$\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L},$$

при $\omega = 135°$ $(\cos 2\omega = 0)$ отрицательное и равно той же величинѣ,

при $\omega = 30°$ $\left(\cos 2 = \omega\,\frac{1}{2}\right)$ положительное и больше на величину $\frac{1}{2}\,\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}$,

при $\omega = 60°$ $\left(\cos 2\omega = -\frac{1}{2}\right)$ положительное и меньше на величину $\frac{1}{2}\,\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}$,

при $\omega = 120°$ $\left(\cos 2\omega = -\frac{1}{2}\right)$ отрицательное и больше на величину $\frac{1}{2}\,\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}$,

при $\omega = 150°$ $\left(\cos 2\omega = +\frac{1}{2}\right)$ отрицательное и меньше на величину $\frac{1}{2}\,\frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}$, чѣмъ ускореніе при безконечной длинѣ шатуна для одного и того же угла поворота кривошипа.

Уравненія 26 и 27 получаются изъ уравненія 23.

$$p_0 = \frac{dc}{dt} = v\cos\omega\,\frac{d\omega}{dt},$$

а такъ какъ

$$\frac{d\omega}{dt} = w = \frac{v}{R},$$

то $p_0 = \frac{v^2}{R}\cos\omega$.

Уравненіе 27 получается изъ уравненія 24.

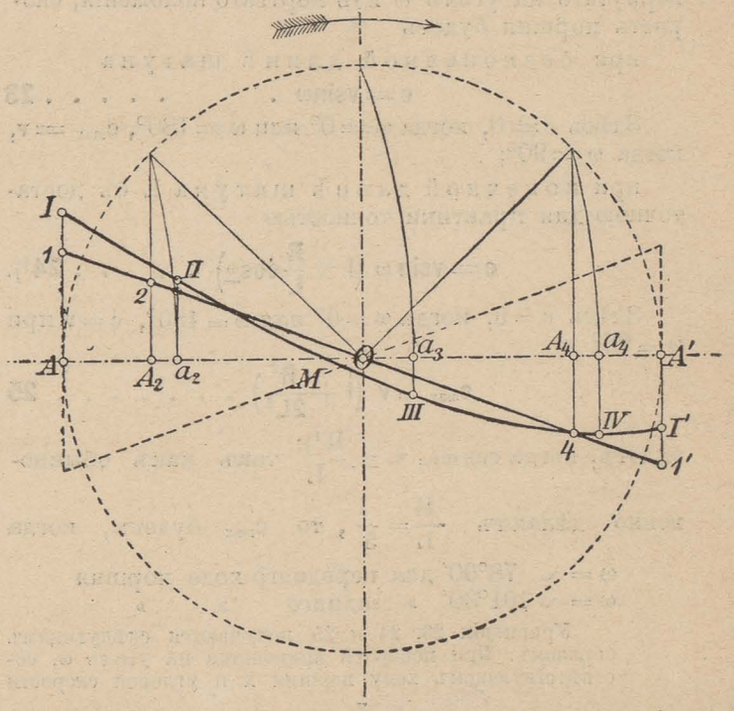
$$p = \frac{dc}{dt} = v\left(\cos\omega \pm \frac{R}{L}\cos 2\omega\right)\frac{d\omega}{dt},$$

которое вмѣстѣ съ равенствомъ

$$\frac{d\omega}{dt} = w = \frac{v}{R}$$

дастъ $p = \frac{v^2}{R}\left(\cos\omega \pm \frac{R}{L}\cos 2\omega\right)$.

Фиг. 15.



Графическое изображеніе ускореній движенія поршня при безконечной длинѣ шатуна представляетъ прямую линію 101′ (фиг. 15 текста) при движеніи поршня впередъ.

Эта линія пересѣчетъ прямую направленія хода поршня $\overline{AA'}$ въ серединѣ ея 0; при мертвыхъ положеніяхъ поршня она имѣетъ своими крайними ординатами величину ускоренія: $\frac{v^2}{R} = \overline{A1} = \overline{A'1'}$, причемъ въ лѣвомъ мертвомъ положеніи эта величина откладывается вверхъ, въ правомъ—внизъ въ соотвѣтствующемъ масштабѣ.

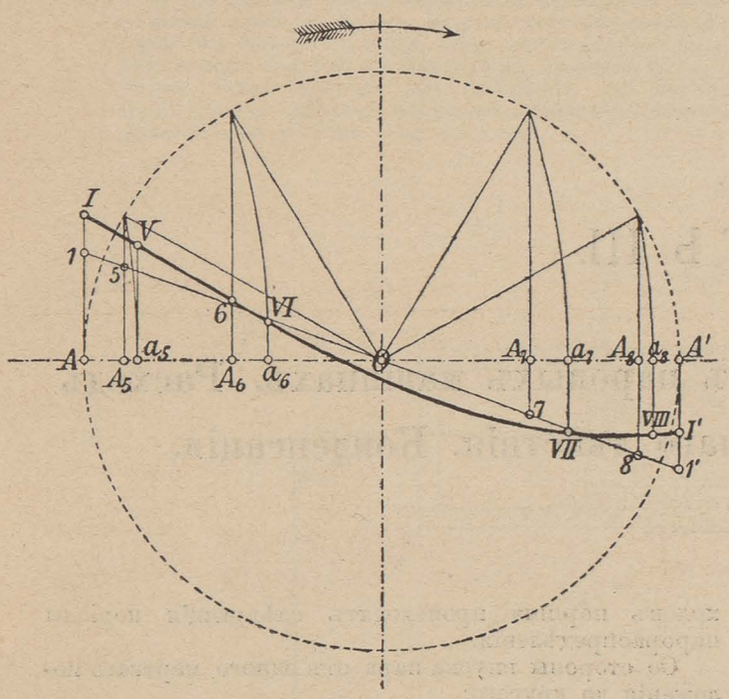
При обратномъ ходѣ поршня прямая ускореній имѣетъ обратное расположеніе относительно прямой хода AA′, какъ это показано пунктиромъ на фиг. 15.

При конечной длинѣ шатуна графическое изображеніе ускореній дастъ кривую линію IMI′ (фиг. 15 текста) при движеніи поршня впередъ. Проще всего получается эта кривая посредствомъ прямой ускореній 101′ и величины $z = \frac{v^2}{R}\,\frac{R}{L}$ опредѣленной для различныхъ положеній кривошипа [1]). Такимъ образомъ прежде всего опредѣляютъ изъ $\frac{v^2}{R} = \overline{A1} = \overline{A'1'}$

[1]) См. „Radinger, Dampfmaschinen mit hoher Kolbengeschwindigkeit“.

точки 1 и 1′ для прямой 101′. Затѣмъ опредѣляютъ точки I, II, III, IV, I′, соотвѣтствующія положенію кривошипа подъ угломъ ω = 0°, 45°, 90°, 135° и 180° къ линіи мертвыхъ точекъ (фиг. 15 текста). Со-

Фиг. 16.



отвѣтствующія этимъ положеніямъ кривошипа ординаты будутъ

при ω = 0° . . . . . $\overline{AI} = \overline{A1} + z$,[1])

при ω = 45° . . . . . $\overline{a_2II} = \overline{A_22}$,

при ω = 90° . . . . . $\overline{a_3III} = z$,

при ω = 135° . . . . . $\overline{a_4IV} = \overline{A_44}$,

при ω = 180° . . . . . $\overline{A'I'} = \overline{A'1'} - z$.

Если желаютъ имѣть еще нѣсколько точекъ, то можно опредѣлить точки V, VI, VII, VIII (фиг. 16 текста), соотвѣтствующія углу поворота ω = 30°, 60°, 120° и 150°.

Эти точки можно найти на основаніи сказаннаго на стр. 18 относительно величинъ ускореній при конечной длинѣ шатуна, такъ какъ

при ω = 30° . . . . . $\overline{a_5V} = \overline{A_55} + \frac{1}{2}z$,

„ ω = 60° . . . . . $\overline{a_6VI} = \overline{A_66} - \frac{1}{2}z$,

„ ω = 120° . . . . . $\overline{a_7VII} = \overline{A_77} + \frac{1}{2}z$,

„ ω = 150° . . . . . $\overline{a_8VIII} = \overline{A_88} - \frac{1}{2}z$,

Кривая ускореній при конечной длинѣ шатуна пересѣкаетъ прямую направленія хода поршня при поворотѣ кривошипа, соотвѣтствующемъ скорости поршня c_{max}. На стр. 17 этотъ уголъ ω былъ опредѣленъ при условіи $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, а именно

ω = ∼ 78°30′ для передняго хода поршня

ω = ∼ 101°30′ для задняго хода поршня.

---

[1]) См. сказанное на стр. 18.

ЧАСТЬ III.

Распредѣленіе пара и давленій въ паровыхъ машинахъ. Расходъ пара и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Конденсація.

---

§ 10.

Пароораспредѣленіе и индикаторная діаграмма одноцилиндровой паровой машины.

Въ одноцилиндровой машинѣ во время одного оборота вала пароораспредѣленіе по одну сторону поршня происходитъ слѣдующимъ образомъ.

Въ мертвомъ положеніи поршня паровпускное окно открыто уже на нѣкоторую величину и остается открытымъ въ теченіе періода наполненія все время, пока поршень не пройдетъ нѣкоторую часть своего хода, послѣ чего паровпускное окно закрывается. Запертый послѣ закрытія паровпускного окна паръ на остальной части хода поршня въ теченіи періода расширенія работаетъ своимъ расширеніемъ, причемъ давленіе пара уменьшается, а объемъ его увеличивается. Но прежде, чѣмъ поршень придетъ въ другое мертвое положеніе, съ той-же стороны поршня начинается выпускъ пара, т. е. наступаетъ такъ называемое предвареніе выпуска пара, которое допускаетъ постепенное пониженіе давленія расширившагося пара, до величины давленія въ выпускной трубѣ. Теперь начинается обратный ходъ поршня. Во время большей части этого хода происходитъ выпускъ пара черезъ паровыпускной каналъ или наружу или въ холодильникъ. На остальной части обратнаго хода паровыпускное окно закрывается и находящійся еще въ цилиндѣ паръ подвергается сжатію, при чемъ его объемъ уменьшается, давленіе увеличивается. Но опять, прежде чѣмъ поршень успѣетъ вернуться въ первое (лѣвое) мертвое положеніе, паровпускное окно съ той-же стороны поршня открывается и происходитъ такъ называемое предвареніе впуска пара, которое имѣетъ цѣлію повысить давленіе пара къ моменту прихода поршня въ мертвое положеніе до полнаго давленія свѣжаго пара, чтобы новый ходъ начался въ прежнемъ порядкѣ.

Съ одной и той же стороны поршня, во время полнаго оборота главнаго вала или во время двухъ ходовъ поршня происходятъ слѣдующія періоды пароораспредѣленія.

Со стороны впуска пара отъ одного мертваго положенія до другого:

1. впускъ пара или наполненіе при полномъ давленіи,
2. расширеніе,
3. предвареніе выпуска.

При обратномъ ходѣ поршня изъ второго мертваго положенія въ первое происходитъ:

4. выпускъ пара,
5. сжатіе,
6. предвареніе впуска или контръ паръ.

Понятно, что эти періоды пароораспредѣленія въ вышеприведенномъ порядкѣ происходятъ также по обѣ стороны поршня во время одного хода его (напр. передняго), такъ что напр. по одну сторону происходятъ періоды 1, 2 и 3, а въ тоже время по другую—4, 5 и 6.

Происходящее въ какой-либо паровой машинѣ пароораспредѣленіе особенно легко и просто прослѣдить по **индикаторной діаграммѣ**. Послѣдняя вычерчивается особымъ приборомъ—индикаторомъ и даетъ графическое представленіе измѣненія состоянія пара, пущеннаго съ одной стороны поршня, во время полнаго оборота машины. Въ самомъ простомъ видѣ индикаторъ, о которомъ будетъ сказано еще въ концѣ этого отдѣла, имѣетъ слѣдующее устройство.

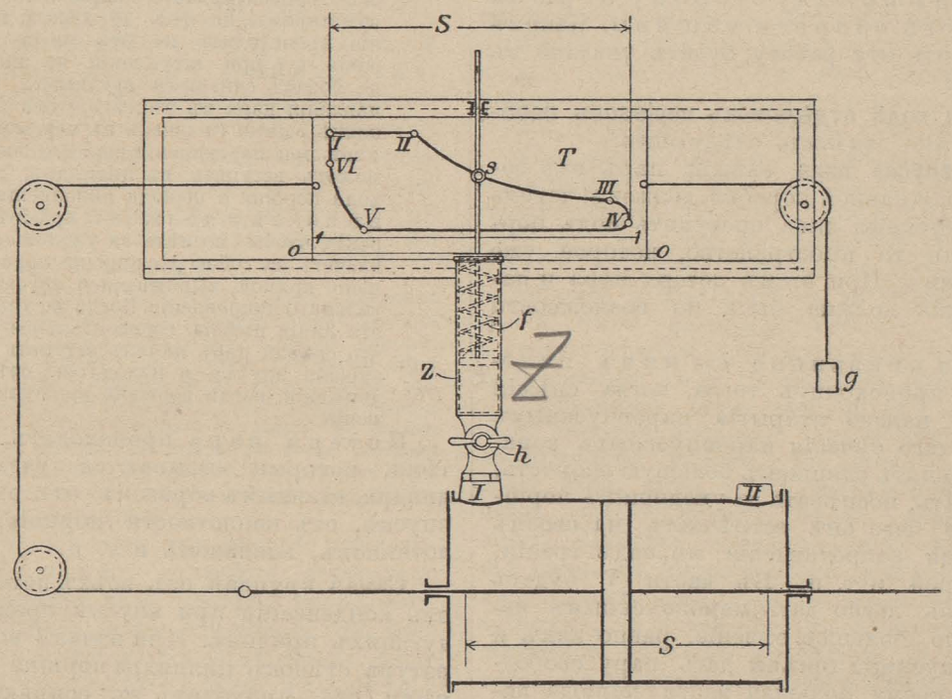
Въ небольшомъ металлическомъ цилиндрѣ z (фиг. 17 текста) ходитъ плотно пришлифованный поршень. Между верхнею стороною поршня и крышкою цилиндра находится спиральная пружина f, которая упирается въ верхнюю крышку цилиндра и свободно пропускаетъ насквозь штокъ поршня. Послѣдній проходитъ выше цилиндра еще черезъ направляющую муфту и снабженъ карандашемъ s. Индикаторъ прикрѣпляется къ которому нибудь изъ приливовъ I и II парового цилиндра, имѣющихъ отверстія внутрь цилиндра, а также снабжается съ этой стороны трехходовымъ краномъ. Пространство между краномъ и нижнею стороною поршня индикатора можетъ быть, благодаря крану, сообщено либо съ атмосферою, либо съ паровымъ цилиндромъ.

Въ полѣднемъ случаѣ паръ, переходя въ индикаторъ, двигаетъ поршень его вверхъ, сжимаетъ пружину f и передвигаетъ карандашъ s. Пружина назначается для того, чтобы сдѣлать перемѣщенія карандаша пропорціональными давленію подъ поршнемъ индикатора. Такимъ образомъ, если напр. подъ давленіемъ 1 kg. на 1 cm² поршня пружина сжимается по направленію оси цилиндра на 10 mm., то при давленіи пара въ 4 kg. на 1 cm² въ нижней части индикатора карандашъ передвинется выше на 40 mm., противъ того положенія, которое онъ занялъ бы тогда, когда подъ поршнемъ былъ абсолютный вакуумъ съ давленіемъ, равнымъ нулю, а 30 mm. выше, противъ того положенія, гдѣ бы онъ былъ при давленіи подъ поршнемъ индикатора равномъ атмосферному, т. е. въ 1 kg. на 1 cm².

торую называютъ индикаторною діаграммою.

Когда поршень находится въ лѣвомъ мертвомъ положеніи, то, какъ уже было сказано въ началѣ этого параграфа, на него, а слѣдовательно и на поршень индикатора, со стороны впуска пара дѣйствуетъ свѣжій паръ; карандашъ вслѣдствіе этого поднимается въ соотвѣтствующее этому давленію положеніе и остановится напримѣръ въ точкѣ I. Затѣмъ во время хода поршня вправо, а слѣдовательно доски T влѣво, карандашъ во время впуска пара, когда давленіе его остается постояннымъ, на-

Фиг. 17.



Карандашъ s касается бумаги, натянутой на доскѣ T, которая передвигается взадъ и впередъ въ рамѣ поршнемъ и грузомъ g указаннымъ на фиг. 17 текста образомъ. Пока давленіе на поршень индикатора постоянное, карандашъ очевидно будетъ проводить прямую линію. Если же давленіе это мѣняется, то карандашъ очертитъ кривую линію, которая дастъ представленіе объ измѣненіи давленія подъ поршнемъ индикатора; а такъ какъ пространство подъ этимъ поршнемъ соединяется съ паровымъ цилиндромъ по одну сторону его поршня, то слѣдовательно получимъ представленіе о томъ, какъ мѣняется давленіе пара по одну сторону поршня во время хода машины.

Чтобы получить индикаторную діаграмму, поступаютъ слѣдующимъ образомъ:

Посредствомъ крана соединяютъ пространство подъ поршнемъ индикатора съ атмосферою. Тогда во время хода машины карандашъ начертитъ прямую линію 1—1 (фиг. 17 текста), которую называютъ атмосферною линіею. На разстояніи, равномъ по вертикальному направленію сжатію пружины при давленіи въ 1 kg. на cm² на поршень индикатора, отъ этой прямой и параллельно ей наносятъ такъ называемую нулевую линію 0—0. Затѣмъ посредствомъ крана упомянутое пространство индикатора соединяютъ съ паровымъ цилиндромъ, причемъ карандашъ во время хода поршня взадъ и впередъ, т. е. при одномъ оборотѣ вала, начертитъ кривую фигуру 1 II III IV V VI I, которая чертитъ прямую или весьма мало отъ нея уклоняющуюся линію I II. Послѣ прекращенія впуска пара давленіе въ цилиндрѣ и надъ поршнемъ индикатора будетъ уменьшаться, и карандашъ начертитъ, постепенно опускаясь, кривую II III. Въ точкѣ III начинается предвареніе выпуска пара, которое продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень въ точкѣ IV не прійдетъ въ правое мертвое положеніе и изобразится кривою III IV. При обратномъ ходѣ поршня изъ праваго мертваго положенія въ лѣвое, доска съ бумагою будетъ двигаться вправо. Такъ какъ во время этого передвиженія поршня происходитъ выпускъ пара, причемъ давленіе пара остается почти постояннымъ, то карандашъ начертитъ почти прямую линію IV V, параллельную атмосферной линіи 1—1. Когда паръ выпускается изъ машины на воздухъ, то эта линія проходитъ надъ линіею 1—1, когда же паръ пускается въ холодильникъ, то подъ этой линіей. Далѣе прекращается выпускъ и происходитъ сжатіе оставшагося подъ поршнемъ пара, которое изображается кривою V VI, начерченной карандашемъ во время этого сжатія. Такъ какъ при этомъ давленіе подъ поршнемъ, а слѣдовательно и въ индикаторѣ, постепенно возрастаетъ, то кривая будетъ постепенно подниматься кверху. Передъ приходомъ поршня въ лѣвое мертвое положеніе наступаетъ предвареніе впуска свѣжаго пара,

причемъ по мѣрѣ увеличенія паровпускного отверстія увеличится и давленіе пара и поршень индикатора поднимается кверху, а карандашъ начертитъ линію VI I, и когда поршень придетъ въ мертвое положеніе, то карандашъ будетъ въ точкѣ I.

Индикаторная діаграмма паровой машины обыкновенно по своей формѣ отступаетъ болѣе или менѣе отъ той формы, которая дана на фиг. 17 текста. Насколько на эти отступленія, особенно въ концѣ отдѣльныхъ періодовъ, вліяютъ разныя обстоятельства, будетъ указано въ послѣдующемъ. Вліяніе дурного или неправильнаго парораспредѣленія будетъ разсмотрѣно въ концѣ этой части.

Понятно, что площадь индикаторной діаграммы пропорціональна работѣ, совершаемой паромъ по одну сторону поршня во время одного оборота машины. Какимъ образомъ вычислить эту работу, будетъ указано въ слѣдующей части.

О назначеніи и ходѣ отдѣльныхъ періодовъ парораспредѣленія нужно замѣтить слѣдующее:

Въ **періодъ впуска пара** свѣжій паръ изъ золотниковой или клапанной коробки долженъ черезъ открытыя паровпускныя окна поступить подъ поршень и заполнить то пространство, которое уже пройдено поршнемъ. При этомъ потеря пара и паденіе его давленія должна быть по возможности меньше.

Мятіе пара и связанное съ нимъ паденіе давленія происходитъ тогда, когда свѣжій паръ вслѣдствіе малаго открытія паровпускныхъ органовъ или малаго сѣченія паровпускныхъ каналовъ долженъ принять слишкомъ большую скорость, чтобы такъ сказать, поспѣвать за уходящимъ поршнемъ, вслѣдствіе чего онъ встрѣчаетъ на своемъ пути значительныя сопротивленія въ видѣ тренія, образованія вихрей и т. п. Въ части V будетъ указано, что очень легко дать паровпускнымъ каналамъ достаточно большое сѣченіе, равно какъ и заставить паровпускные органы дать пару свободный проходъ во время большей части періода наполненія. Вслѣдствіе этого въ это время можно избѣгнуть потери въ давленіи пара. Это однако очевидно невозможно въ концѣ періода наполненія, такъ какъ тогда паровпускное окно должно закрыться. Происходящее при этомъ мятіе и паденіе давленія пара и ими вызываемая потеря работы тѣмъ значительнѣе, чѣмъ медленнѣе происходитъ закрытіе паровпускного окна и чѣмъ больше скорость поршня при этомъ и наоборотъ. При отсѣчкѣ на 0,5 хода закрытіе паровпускного окна происходитъ какъ разъ въ то время, когда поршень достигаетъ своей наибольшей скорости; при этомъ въ то время, какъ паръ, чтобы слѣдовать безпрепятственно за уходящимъ поршнемъ, требуетъ наибольшаго открытія паровпускного окна происходитъ какъ разъ обратно закрытіе его и мятіе пара. Паденіе давленія пара при закрытіи паровпускнаго окна въ индикаторной діаграммѣ выражается тѣмъ, что линія abc (фиг. 19 текста) впуска пара, идущая горизонтально до тѣхъ поръ пока не происходитъ мятія его, понижается. Къ концу періода наполненія это пониженіе происходитъ по кривой линіи bc, такъ какъ одновременно съ мятіемъ и паденіемъ давленія пара замѣчается также и расширеніе пара, находящагося въ цилиндрѣ; при этомъ линія abc постепенно переходитъ въ линію cd, выражающую расширеніе пара. Чѣмъ медленнѣе происходитъ закрытіе паровпускного окна, тѣмъ больше понижается кривая bc и наоборотъ, чѣмъ быстрѣе происходитъ закрытіе, тѣмъ меньше ея паденіе.

Чтобы, слѣдовательно, избѣгнуть по возможности мятія и вызываемаго имъ паденія давленія свѣжаго пара, необходимо устроить достаточной величины паровпускные каналы, достигнуть посредствомъ парораспредѣлительнаго прибора достаточно большого открытія паровпускного окна, а также необходимо озаботиться о возможно быстрѣйшемъ закрытіи послѣдняго.

Не всегда однако уклоненіе линіи, выражающей впускъ пара, отъ горизонтальнаго направленія есть признакъ мятія пара [1]). Для быстроходныхъ машинъ высокаго давленія эта линія очень часто уклоняется отъ горизонтальнаго направленія, какъ это показано пунктиромъ на фиг. 16 текста, причемъ это уклоненіе происходитъ не отъ мятія пара, а отъ расширенія его при вступленіи въ цилиндръ, что отнюдь не можетъ считаться вреднымъ. Вслѣдствіе высокаго давленія пара въ этомъ случаѣ подъ поршнемъ въ концѣ сжатія (поршень въ мертвомъ положеніи) свѣжій паръ при наступленіи періода опереженія впуска не можетъ вступить въ цилиндръ; поэтому при началѣ хода поршня и періода наполненія паръ находится въ покоѣ и долженъ пріобрѣсть нѣкоторое ускореніе, чтобы поспѣть за уходящимъ поршнемъ, что и влечетъ за собою расширеніе пара и постепенное уклоненіе прямой, выражающей впускъ пара, отъ горизонтальнаго направленія. Когда же упомянутое сжатіе мало, эта линія имѣетъ горизонтальное направленіе, потому что свѣжій паръ началъ вступать уже во время предваренія впуска и находится, слѣдовательно, уже въ движеніи, когда поршень приходитъ въ мертвое положеніе.

Потери пара происходятъ, если пренебречь тѣми, которыя вызываются лучеиспусканіемъ цилиндра, главнымъ образомъ отъ охлажденія его при впускѣ, отъ неплотности поршня, сальниковъ, золотниковъ, клапановъ и т. п.

Самая крупная изъ всѣхъ потерь пара машины, отъ конденсаціи при впускѣ, происходитъ отъ слѣдующихъ причинъ. При началѣ впуска пара температура стѣнокъ цилиндра поршня и т. д., съ которыми онъ приходитъ въ соприкосновеніе, значительно ниже, чѣмъ температура этого пара, если только эти стѣнки не подогрѣваются снаружи. Это происходитъ вслѣдствіе того, что во время предыдущаго хода поршня упомянутыя стѣнки соприкасались съ уходящимъ отработавшимъ паромъ, температура и давленіе котораго значительно ниже, чѣмъ температура и давленіе свѣжаго пара. Отработавшій паръ, какъ будетъ показано впослѣдствіе, отнимаетъ даже теплоту отъ упомянутыхъ стѣнокъ при уходѣ. Вслѣдствіе этого при началѣ впуска и осаждается нѣкоторая часть пара на эти стѣнки въ видѣ тумана или росы. Осадившійся такимъ образомъ паръ долженъ быть замѣненъ свѣжимъ паромъ, вслѣдствіе чего и происходитъ потеря пара.

Потеря пара при впускѣ, называемая также потерей отъ охлажденія, будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ сильнѣе охлаждаются мятымъ паромъ при выпускѣ соприкасающіяся съ нимъ стѣнки и чѣмъ выше температура вступающаго свѣжаго пара, чѣмъ больше, слѣдовательно, такъ называемое паденіе температуры въ машинѣ, т. е. разность между температурами вступающаго и уходящаго пара. Конденсація пара при впускѣ, напримѣръ, при одинаковомъ давленіи впускаемаго пара больше

---

[1]) См. „Gerdau, die Dampfmaschinen für den Dynamobetrieb“ Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1892.

въ машинѣ съ холодильникомъ, чѣмъ въ машинѣ, изъ которой мятый паръ выпускается наружу и во всякомъ случаѣ увеличивается съ увеличеніемъ давленія свѣжаго пара. Слѣдовательно, значительныя паденія температуры въ одномъ и томъ же цилиндрѣ невыгодны относительно расхода пара. Далѣе величина упомянутой потери возрастаетъ вмѣстѣ съ величиной охлаждающихъ поверхностей. Въ этомъ отношеніи кажется, какъ выяснилось изъ опытовъ, наибольшее дурное вліяніе оказываютъ поверхности входящія въ составъ вредныхъ пространствъ. Поэтому слѣдуетъ уменьшать эти поверхности, дѣлая паровпускные и паровыпускные каналы короткими (но достаточно широкими), уменьшая пространство между крышкою цилиндра и поршнемъ въ его мертвомъ положеніи и выбирая большой ходъ поршня при маломъ діаметрѣ цилиндра. Потеря пара при впускѣ также увеличивается, если паръ не совсѣмъ сухой, такъ какъ содержащаяся въ немъ вода, осаждаясь на стѣнкахъ каналовъ и цилиндра, понижаетъ ихъ температуру. Поэтому также рекомендуется примѣнять въ паровыхъ машинахъ по возможности сухой паръ.

При употребленіи влажнаго пара можетъ оказаться выгоднымъ умѣренное мятіе его, которое, однако, должно производиться створнымъ клапаномъ, а не въ парораспредѣлительномъ приборѣ. А именно, при мятіи пара онъ становится суше и конденсація при входѣ въ цилиндръ уменьшается. Уменьшеніе при этомъ потери отъ охлажденія въ большинствѣ случаевъ не только уравновѣшиваетъ ничтожныя лишнія расходы, которыя появятся вслѣдствіе того, что придется примѣнять паръ болѣе высокаго давленія (соотвѣтственно мятію), но часто оказывается выгоднымъ.

Наконецъ охлажденіе пара при впускѣ происходитъ также потому, что въ цилиндрѣ оставалась прежняя конденсаціонная вода, которая нагрѣваясь при вступленіи свѣжаго пара отнимаетъ отъ него часть теплоты. Поэтому необходимо по возможности скорѣе удалять изъ цилиндра образующуюся воду и предупреждать, всѣми мѣрами, возможность образованія ея. Напротивъ того, охлажденіе пара оказывается тѣмъ менѣе, чѣмъ большее число оборотовъ дѣлаетъ машина, вѣроятно потому, что обмѣнъ теплоты между стѣнками цилиндра и паромъ тѣмъ незначительнѣй, чѣмъ непродолжительнѣе соприкосновеніе между ними вслѣдствіе большой скорости поршня. Большое число оборотовъ, слѣдовательно, выгодно въ отношеніи расхода пара.

Охлажденіе пара при впускѣ и потеря его при этомъ въ значительной степени уменьшаются тѣмъ, что цилиндръ окружается паровою рубашкою, по которой проходитъ паръ, нагрѣвающій стѣнки цилиндра. О значеніи паровой рубашки и о вліяніи ея на расходъ пара будетъ еще сказано подробнѣе въ § 14. Но лучшимъ средствомъ для уменьшенія потери пара при впускѣ отъ соприкосновенія съ холодными стѣнками цилиндра можетъ служить достаточное перегрѣваніе свѣжаго пара, такъ какъ при этомъ паръ можетъ сгуститься лишь послѣ перехода въ насыщенное состояніе. Прежде избѣгали сильнаго перегрѣванія въ видахъ сохраненія рабочихъ поверхностей цилиндра и золотниковъ, такъ какъ имѣвшіяся въ распоряженіи растительныя смазочныя масла при высокой температурѣ разлагались, и горѣла набивка сальниковъ. Но теперь, при примѣненіи минеральныхъ маслъ и металлическихъ набивокъ, въ новѣйшихъ машинахъ употребляется гораздо сильнѣе перегрѣтый паръ. Необходимая для перегрѣванія теплота, при большей части котельныхъ устройствъ, можетъ быть получена безъ особыхъ расходовъ.

Изъ всѣхъ остальныхъ потерь, вслѣдствіе неплотной пригонки разныхъ частей цилиндра, значительна только потеря вслѣдствіе неплотной пригонки поршня. Эти потери зависятъ еще, помимо доброкачественности исполненія машины, какъ отъ разности давленій по обѣ стороны поршня, которая имѣетъ свою наибольшую величину при впускѣ пара, такъ и отъ величины діаметра цилиндра. Принимая во вниманіе эти потери, которыя значительно меньше въ хорошо исполненныхъ машинахъ и при хорошемъ уходѣ за ними, можно рекомендовать избѣгать значительныхъ паденій давленія и температуры въ одномъ и томъ же цилиндрѣ, а также увеличить отношеніе хода поршня къ его діаметру.

Продолжительность впуска пара, а слѣдвательно и величину отсѣчки, для новой машины слѣдуетъ задать такимъ образомъ, чтобы, при нормальной работѣ ея, расходы по производству, для котораго служитъ машина, включая въ нихъ и расходы по погашенію и проценты съ ея первоначальной стоимости были возможно меньше. О выборѣ этой наивыгоднѣйшей нормальной отсѣчки будетъ сказано въ § 15 согласно Храбаку [1]).

Охлажденіе пара при впускѣ въ цилиндрахъ безъ паровой рубашки продолжается еще и послѣ прекращенія впуска, въ началѣ **періода расширенія пара**, хотя и въ значительно меньшей степени, чѣмъ въ началѣ впуска, какъ это показалъ опытъ. Поэтому передняя часть кривой расширенія пара, въ индикаторной діаграммѣ машины съ цилиндромъ безъ паровой рубашки, лежитъ ниже адіабаты, по которой паръ долженъ былъ бы расширяться согласно уравненію 18 для расширенія пара въ сосудахъ, не проводящихъ теплоту. Это видно напримѣръ на діаграммѣ фиг. 18 текста снятой съ цилиндра горизонтальной машины безъ паровой рубашки; cd кривая дѣйствительнаго расширенія пара, а кривая cd_1, нанесена по уравненію 18 для $n = 1{,}125$ ($x = 0{,}9$, въ предположеніи, что паръ содержитъ 10% влажности) и есть адіабата. Слѣдовательно потеря теплоты вслѣдствіе теплопроводности стѣнокъ цилиндра влечетъ за собою болѣе быстрое паденіе давленія пара, чѣмъ въ случаѣ расширенія въ сосудѣ тепла непроводящемъ.

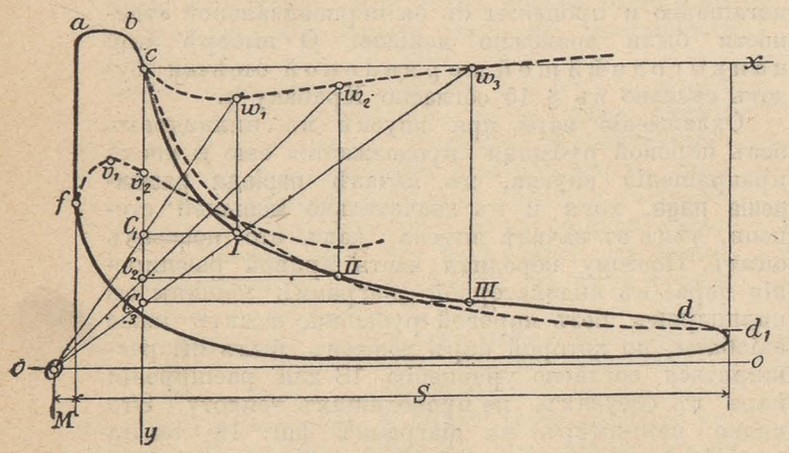
Съ дальнѣйшимъ расширеніемъ пара давленіе и температура его продолжаютъ падать. Когда же температура пара станетъ ниже температуры стѣнокъ цилиндра нагрѣвшихся при конденсаціи пара во время впуска, то послѣднія уступаютъ часть своей теплоты, вслѣдствіе чего часть осѣвшей изъ пара воды опять превратится въ паръ. Это вторичное испареніе наступитъ тѣмъ позднѣе, чѣмъ сильнѣе охлаждаются стѣнки цилиндра во время выпуска пара. Для машинъ съ охлажденіемъ пара и цилиндрами безъ паровой рубашки это испареніе часто наступаетъ съ началомъ выпуска пара. На индикаторной діаграммѣ вторичное испареніе воды если оно начнется еще во время расширенія пара выражается тѣмъ, что линія расширенія пара прохо-

[1]) Hilfsbuch für Dampfmaschinen-Techniker von Josef Hrabak, изданіе J. Springer'a, Берлинъ.

дитъ надъ адіабатою, какъ это видно изъ фиг. 18 текста. Изъ этого видно, что въ этомъ случаѣ часть потерянной работы отданной въ видѣ теплоты стѣнкамъ цилиндра во время впуска вновь пріобрѣтается, такъ какъ площадь діаграммы больше, чѣмъ она была-бы, еслибъ не было вторичнаго испаренія.

Для цилиндровъ съ паровою рубашкою кривая расширенія съ самаго начала проходитъ надъ адіабатою и или совпадаетъ почти вполнѣ съ изотермическою кривою Маріотта, или даже проходитъ надъ нею. Вслѣдствіе того, что въ цилиндрахъ съ паровою рубашкою стѣнки ихъ вслѣдствіе нагрѣванія снаружи имѣютъ болѣе высокую температуру, охлажденіе пара при впускѣ обыкновенно уже прекращается при началѣ расширенія его и стѣнки цилиндра, съ самаго начала періода расширенія, уступаютъ теплоту находящейся въ цилиндрѣ водѣ, заставляя ее испаряться. Это наступленіе вторичнаго испаренія заставляетъ уже въ первую половину періода расширенія давленіе пара подняться выше, чѣмъ того требуетъ адіабата, причемъ это давленіе будетъ тѣмъ выше, чѣмъ больше воды накопилось въ цилиндрѣ. Кромѣ того на повышеніе давленія пара во время расширенія можетъ повліять неплотная пригонка паровпускныхъ органовъ, которые вслѣдствіе этого будутъ во все время расширенія пропускать свѣжій паръ. Въ фиг. 19 текста, cd есть кривая дѣйствительнаго расширенія пара въ цилиндрѣ съ паровою рубашкою, cd_1—адіабатическаго расширенія, построенная по уравненію 18 при $n = 1{,}125$ ($x = 0{,}9$, въ предположеніи, что паръ содержитъ 10% влажности) и cd_2—кривая Маріотта, полученная по уравненію 18 при $n = 1$. Кривая дѣйствительнаго расширенія пара въ данномъ случаѣ проходитъ надъ обѣими послѣдними кривыми, что можетъ быть только при сильномъ испареніи во время расширенія пара, или вслѣдствіе неплотности паровпускныхъ органовъ.

Фиг. 18.

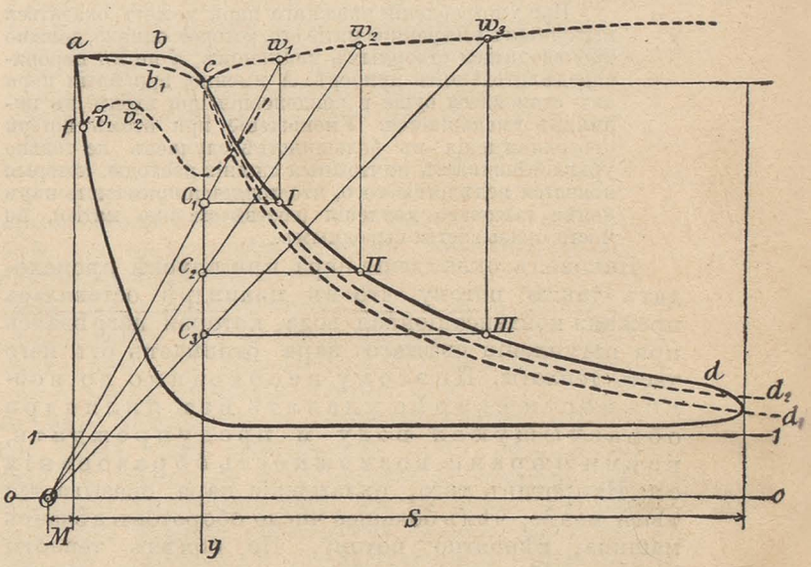


Чтобы въ индикаторной діаграммѣ какой нибудь паровой машины сравнить кривую дѣйствительнаго расширенія пара съ кривою Маріотта для той же машины, не строя послѣднюю, можно пользоваться пріемомъ профессора Дэрфеля (Doerfel), который состоитъ въ слѣдующемъ (фиг. 18 и 19 текста).

Черезъ точки I, II, III . . . . . кривой расширенія пара cd проводятъ горизонтальныя прямыя и черезъ точки пересѣченія послѣднихъ C_1, C_2, C_3, . . . съ линіею $\overline{cy}$, проведенной черезъ начало кривой расширенія с вертикально проводятъ лучи $\overline{OC_1}$, $\overline{OC_2}$, $\overline{OC_3}$ . . . . , затѣмъ черезъ точки I, II, III . . . . проводятъ вертикальныя прямыя, точки пересѣченія которыхъ съ лучами $\overline{OC_1}$, $\overline{OC_2}$, $\overline{OC_3}$ . . . . опредѣлятъ кривую $cw_1 w_2 w_3$ . . . . . , которую Дэрфель (Doerfel) называетъ характеристикою. Когда кривая дѣйствительнаго расширенія пара совпадаетъ съ гиперболою, то характеристика есть горизонтальная прямая линія $\overline{cx}$, проходящая черезъ точку с, такъ какъ пріемъ построенія характеристики въ данномъ случаѣ есть обратный указанному на стр. 8 и 9 способу построенія гиперболы. Если же характеристика не совпадаетъ съ прямою cx, то кривая дѣйствительнаго расширенія также не совпадаетъ съ гиперболою, какъ это и есть на фиг. 18. Изъ сравненія характеристики съ горизонтальною прямою, проведенною черезъ ея начало, можно вывести заключенія о ходѣ дѣйствительнаго расширенія. Этотъ пріемъ представляетъ ту выгоду, что при вычерчиваніи характеристики индикаторная діаграмма мало затемняется.

Такъ какъ по уравненіямъ 9, 11 и 18 кривая Маріотта есть адіабата при показателѣ $n = 1$, то можно заключить, что для всякаго показателя n, большаго или меньшаго единицы, характеристика не будетъ горизонтальная прямая. При n меньшемъ единицы характеристика проходитъ надъ горизонтальною, т. е. при расширеніи пара происходитъ или испареніе воды, скопившейся въ цилиндрѣ, или паровпускныя окна неплотно закрыты и проходитъ паръ. При n большемъ единицы характеристика проходитъ подъ горизонталью, т. е. происходитъ потеря пара отъ охлажденія его при впускѣ или отъ неплотностей. Только тогда, когда характеристика близко подходитъ къ горизонтали можно заключить, что въ цилиндрѣ съ паровою рубашкою происходитъ правильное расширеніе пара.

Фиг. 19.



О томъ, какъ проходитъ кривая расширенія пара въ индикаторной діаграммѣ для машинъ, работающихъ перегрѣтымъ паромъ, въ настоящее время нѣтъ еще вполнѣ опредѣленныхъ данныхъ за отсутствіемъ удовлетворительныхъ опытовъ. Преимущество, которое однако представляетъ перегрѣтый паръ сравнительно съ насыщеннымъ вслѣдствіе того, что его удѣльный объемъ больше (изъ сказаннаго на стр. 12 слѣдуетъ, что при одинаковомъ давленіи плотность перегрѣтаго пара меньше, чѣмъ плотность насыщеннаго и поэтому 1 kg перваго имѣетъ большій объемъ, чѣмъ 1 kg послѣдняго) и больше значитъ его работоспособность, какъ кажется, не значительно. Главная выгода, которая достигается при примѣненіи перегрѣтаго пара, какъ уже было упомянуто раньше, заключается въ томъ, что уменьшается или совершенно устраняется конденсація пара при впускѣ. Поэтому слѣдуетъ паръ перегрѣвать только до такой степени, чтобы совершенно устранить эту конденсацію; дальнѣйшее перегрѣваніе приноситъ уже мало выгоды.

При разсчетѣ работы существующей машины или при опредѣленіи размѣровъ проектируемой машины, а также при построеніи индикаторной діаграммы, для періода расширенія пара, въ практикѣ почти всегда примѣняется законъ Маріотта и для кривой расширенія равносторонняя гипербола, хотя это, какъ мы видѣли раньше, допустимо съ достаточною точностью только для нормальныхъ машинъ съ паровою рубашкою. Причина примѣненія кривой Маріотта заключается въ простотѣ ея построенія и въ удобствѣ примѣненія изображаемаго ею закона. Но въ такихъ случаяхъ, въ которыхъ уклоненіе при расширеніи пара отъ закона Маріотта слишкомъ значительно, какъ это напр. бываетъ въ машинахъ безъ паровой рубашки, поправки при разсчетѣ являются необходимыми.

Цѣль **предваренія выпуска пара** заключается въ томъ, чтобы при приходѣ поршня въ мертвое положеніе паръ уже достигъ давленія, при которомъ совершается выпускъ. Чтобы паръ успѣлъ понизить давленіе, полученное въ концѣ расширенія до давленія, при которомъ совершается выпускъ, необходимо установить надлежащую величину предваренія выпуска пара. Поэтому предвареніе выпуска необходимо должно начаться тѣмъ раньше, чѣмъ быстрѣе ходъ машины, а также необходимо озаботиться о достаточномъ открытіи паровыпускныхъ оконъ и особенно въ концѣ выпуска.

При отдѣльныхъ паровпускныхъ и выпускныхъ органахъ, а также при двойныхъ золотникахъ можно свободно установить достаточной величины предвареніе выпуска пара и достигнуть надлежащаго открытія паровыпускныхъ оконъ. Когда же впускъ и выпускъ совершается однимъ и тѣмъ-же парораспредѣлительнымъ приборомъ, необходимо при опредѣленіи періода выпуска пара принимать также во вниманіе зависящій отъ него періодъ сжатія пара. Подробнѣе объ этомъ будетъ изложено въ части V, при обзорѣ парораспредѣленій. Величина, на которую паровыпускное окно уже открыто, когда поршень находится въ мертвомъ положеніи, называется линейнымъ опереженіемъ выпуска пара.

Выпускъ пара долженъ происходить по возможности безпрепятственно, такъ какъ всякое повышеніе давленія пара при выпускѣ уменьшаетъ полезное дѣйствіе работающаго пара и площадь индикаторной діаграммы. Мятіе вытекающаго пара не будетъ происходить если онъ, при началѣ выпуска, уже будетъ имѣть то давленіе, при которомъ въ машинѣ долженъ совершаться выпускъ, если въ продолженіе всего выпуска паръ не будетъ принужденъ принимать слишкомъ большую скорость, если, слѣдовательно, паровыпускныя окна открыты надлежащимъ образомъ, пароотводная труба имѣетъ достаточной величины поперечное сѣченіе и если, наконецъ, паръ не встрѣчаетъ препятствій въ пароотводящей трубѣ и въ холодильникѣ. Когда выпускъ пара происходитъ безпрепятственно, линія, выпуска въ діаграммѣ будетъ горизонтальная прямая, поднимающаяся только въ концѣ выпуска кверху, а именно тѣмъ больше, чѣмъ медленнѣе происходитъ закрытіе паровыпускного окна и, наоборотъ, тѣмъ меньше, чѣмъ быстрѣе произойдетъ это закрытіе. О выгоднѣйшемъ давленіи, при которомъ долженъ происходить выпускъ пара будетъ сказано при разсмотрѣніи конденсаціи въ этой части.

Во время выпуска пара продолжается испареніе воды, скопившейся въ цилиндрѣ, а въ машинахъ съ холодильникомъ и безъ паровой рубашки это испареніе очень часто только здѣсь и начинается. Отнятая при этомъ у стѣнокъ цилиндра теплота для полезнаго дѣйствія машины совершенно потеряна, потому что испарившаяся такимъ образомъ вода въ видѣ пара уносится наружу или въ холодильникъ. Эта потеря теплоты понижаетъ температуру стѣнокъ цилиндровъ (равную среднему, ариѳметическому изъ температуръ пара свѣжаго и выпускаемаго) безъ паровой рубашки на столько, что происходитъ охлажденіе свѣжаго, а иногда и сжимающагося по окончанія выпуска пара.

Сжатіе пара по окончаніи выпуска имѣетъ ту главную цѣль, чтобы ходъ машины происходилъ плавно, безъ ударовъ и чтобы по возможности уничтожить дурное вліяніе вреднаго пространства; сжатіе имѣетъ также то значеніе, что оно подготовляетъ опереженіе впуска и вмѣстѣ съ нимъ ведетъ къ установленію полнаго давленія, съ которымъ вступаетъ свѣжій паръ въ началѣ хода. Ходъ машины безъ ударовъ достигается тѣмъ, что паръ сжимается до опредѣленнаго давленія (см. подробнѣе § 12), вслѣдствіе котораго измѣненія въ давленіи при перемѣнѣ хода поршня, а также слѣдующіе за этимъ удары въ цапфахъ крейцкопфа и кривошипа происходятъ не вдругъ, а постепенно, тихо и безопасно, такъ какъ сжатый паръ дѣйствуетъ на подобіе упругой пружины, постепенно поглощая живую силу движущихся взадъ и впередъ массъ штангъ. Дурное вліяніе вреднаго пространства, заключающееся не только въ томъ, что поверхности составляющія его, охлаждаютъ вступающій свѣжій паръ, но также и въ томъ, что вступающій въ это пространство свѣжій паръ дѣйствуетъ не полнымъ давленіемъ, а только расширеніемъ, (какъ мы увидимъ въ § 14 подробнѣе) никогда не устраняется вполнѣ сжатіемъ пара, слишкомъ большое сжатіе можетъ даже оказаться невыгоднымъ. Вообще сжатіе пара подъ поршнемъ всегда слѣдуетъ доводить до такой степени, чтобы достигнуть спокойнаго хода машины, ибо невыгоды при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ соединенныя со слишкомъ большимъ сжатіемъ никогда не превосходятъ тѣхъ выгодъ, которыя получаются отъ спокойнаго хода машины. Во всякомъ случаѣ давленіе сжатаго пара должно быть всегда ниже самой малой величины давленія свѣжаго пара, потому что въ противномъ случаѣ сжатый паръ можетъ приподнять паровпускные аппараты, что легко можетъ вызвать поврежденіе отдѣльныхъ частей ихъ.

О видѣ кривой сжатія пара въ индикаторной діаграммѣ пока нельзя высказаться вполнѣ опредѣленно. Для машинъ безъ паровой рубашки вслѣдствіе продолженія испаренія осадившейся въ цилиндрѣ воды эта кривая въ началѣ сжатія уклоняется отъ адіабаты кверху, тѣмъ болѣе, что стѣнки той части цилиндра, въ которой происходитъ сжатіе, во время предыдущаго хода поршня находились въ соприкосновеніи съ свѣжимъ паромъ, вслѣдствіе чего онѣ имѣютъ болѣе высокую температуру, чѣмъ остальная часть цилиндра. Въ концѣ сжатія, а именно когда оно весьма значительно, какъ только температура сжатаго пара дѣлается больше температуры стѣнокъ цилиндра начинается частичное превращеніе его въ воду. При этомъ сжатый паръ уступаетъ часть

теплоты стѣнкамъ цилиндра и кривая сжатія уклоняется отъ адіабаты уже книзу. Если паръ сжимается очень сильно, то къ началу впуска пара поверхность вреднаго пространства можетъ быть такъ сильно нагрѣта сжатымъ паромъ, что уже не произойдетъ охлажденія свѣжаго пара или оно будетъ весьма незначительное. Но вредъ получающійся отъ конденсаціи пара этимъ не устраняется, такъ какъ, безразлично, отнимается ли теплота стѣнками цилиндра у свѣжаго или у сжимаемаго пара. Для машинъ съ паровою рубашкою отклоненія кривой сжатія пара отъ адіабаты обыкновенно не такъ значительны. Важное вліяніе на характеръ кривой сжатія пара оказываетъ влажность, содержащаяся въ парѣ. Неплотная пригонка поршня и парораспредѣлительныхъ приборовъ тоже оказываетъ вліяніе на эту кривую.

По опытамъ профессора Дэрфеля (Doerfel) [1]) давленіе при небольшомъ сжатіи пара въ концѣ довольно близко подходитъ къ давленію, разсчитанному по закону Маріотта для этого сжатія, если цилиндръ безъ паровой рубашки; если же есть паровая рубашка, то конечное давленіе при сжатіи выше. Это давленіе лежитъ также выше при сильномъ сжатіи пара и въ случаѣ влажнаго пара, за исключеніемъ того случая, когда наполненіе очень мало. Это слѣдовало бы принимать во вниманіе тогда, когда обыкновенно для простоты и удобства для построенія кривой сжатія даже при сильномъ сжатіи берутъ гиперболу Маріотта, а также при разсчетѣ полезнаго дѣйствія машины. Иногда для сжатія примѣняютъ также адіабату, построенную по уравненію 18 принимая $n = 1{,}2$ до 1, смотря по степени влажности пара. Для изученія кривой сжатія пара индикаторной діаграммы какой-либо машины можно опять примѣнить характеристику Дэрфеля (Doerfel), $f w_1 w_2 \ldots$, которая нанесена въ фиг. 18 и 19 текста.

Предвареніе впуска пара дополняетъ сжатіе пара въ томъ смыслѣ, что давленіе подъ поршнемъ со стороны сжатія повышается на столько, что при приходѣ поршня въ мертвое положеніе вредное пространство заполнено паромъ, имѣющимъ давленіе свѣжаго пара. Это возможно достигнуть только тогда, когда паровпускныя окна получатъ надлежащее открытіе и когда предвареніе впуска продолжается достаточно времени. Поэтому предвареніе впуска должно начаться тѣмъ скорѣе, чѣмъ быстрѣе ходъ машины, чѣмъ меньше сжатіе и чѣмъ больше вредное пространство. О надлежащемъ открытіи паровпускныхъ оконъ при мертвомъ положеніи поршня (такъ называемое линейное опереженіе или предвареніе впуска пара) будетъ сказано при разборѣ парораспредѣленій. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ опереженіе впуска пара можетъ даже предупредить слишкомъ большое сжатіе.

При разсчетѣ паровой машины **построеніе индикаторной діаграммы** для предполагаемаго парораспредѣленія всегда представляется выгоднымъ, что и будетъ показано въ слѣдующемъ отдѣлѣ. Какъ это сдѣлать, будетъ указано уже здѣсь, хотя болѣе подробныя указанія относительно продолжительности отдѣльныхъ періодовъ распредѣленія, величинъ давленій и вреднаго пространства и т. д. будутъ сдѣланы только въ слѣдующемъ отдѣлѣ.

[1]) Zeitschrift deutscher Ingenieure, Jahrgang 1889, Seite 1065.

Прежде всего выбираютъ масштабъ для нанесенія давленій, причемъ удобнѣе всего выбрать 10 mm = 1 kg, и откладываютъ (фиг. 1, табл. 26) въ произвольномъ масштабѣ на нулевой линіи величину хода поршня $S = \overline{AA'}$, (обыкновенно берутъ $S = 100$ mm). Далѣе по той же линіи откладываютъ высоту вреднаго пространства, отнесенную къ площади поршня, $M = \overline{OA}$. Послѣ этого діаграмму строятъ слѣдующимъ образомъ.

Въ вертикальномъ направленіи отъ точки A откладываютъ величину абсолютнаго давленія p свѣжаго пара и получаютъ точку a діаграммы. Отъ этой точки идетъ линія впуска пара abc, которая идетъ сперва горизонтально, а потомъ, вслѣдствіе наступающаго при закрытіи паровпускного окна мятія пара, закругляясь постепенно переходитъ въ кривую расширенія пара. Точка c получится, если провести черезъ a горизонтальную линію, отложить ходъ поршня отъ a и изъ середины его возставить перепендикуляръ, на которомъ отложить примѣрно величину мятія пара Θp; полученная такимъ образомъ точка 3 соединяется съ точкою a, а затѣмъ откладываютъ или величину отсѣчки S_1 отъ точки a, или величину давленія въ концѣ расширенія пара [1]) $p_x = A'v$ отъ точки A'. Въ первомъ случаѣ кривая расширенія cv строится отъ точки c, во второмъ она строится въ обратномъ порядкѣ какъ кривая сжатія отъ точки v и тогда точка пересѣченія этой кривой съ линіей $\overline{a3}$ и будетъ точка c.

Кривая расширенія пара, какъ было уже сказано раньше, принимается за равнобочную гиперболу закона Маріотта. Для построенія этой кривой можно примѣнить оба способа данныя въ § 4 стр. 6. Если строить эту кривую отъ точки c по первому способу, то точка x найдется, если провести лучъ $\overline{Ok}$ и черезъ точки пересѣченія B_x и y его съ горизонталью и вертикалью, проходящими черезъ точку a провести вертикаль и горизонталь, которыя и дадутъ въ пересѣченіи точку x. Если же строить эту кривую отъ точки v, то лучъ Ok' опредѣлитъ двѣ точки B_x' и y' съ горизонталью и вертикалью черезъ точку v; проведя черезъ B_x' и y' вертикаль и горизонталь опредѣлимъ точку x' кривой.

Линію de, изображающую опереженіе выпуска пара, послѣ нанесенія величины части хода $(S - S_2)$, на которой происходитъ опереженіе выпуска, вычерчивается на глазъ такъ, чтобы переходъ въ линію выпуска былъ постепенный. Выпускъ пара представляется или прямою, параллельною линіи $\overline{AA'}$ и отстоящею отъ нее на разстояніи, равному давленію вытекающаго пара p_e, или же линіею ef, слегка уклоняющейся отъ горизонтальнаго направленія по мѣрѣ закрытія паровыпускного окна кверху. Точка f опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Откладываютъ величину линейнаго предваренія впуска пара $S - S_4$ отъ точки A затѣмъ величину давленія p_3, до котораго желательно сжимать паръ; черезъ полученную такимъ образомъ точку g строятъ кривую сжатія совершенно также, какъ кривую расширенія; кривая сжатія и пересѣчетъ линію выпуска пара въ искомой точкѣ f.

Если строить, какъ это обыкновенно дѣлаютъ, для сжатія кривую Маріотта, то напр. лучъ $\overline{Ok''}$ пересѣкаетъ горизонталь и вертикаль, проведенныя черезъ точку g, въ точкахъ B_z и w, а вертикаль и горизонталь, проведенныя черезъ эти точки дадутъ точку z кривой сжатія.

Затѣмъ линія ga, изображающая опереженіе впуска пара, наносится уже по усмотрѣнію, причемъ она постепенно должна приближаться къ вертикальной линіи, проходящей черезъ точку a.

[1]) полагая при этомъ, что расширеніе идетъ до конца хода поршня.

Построенная такимъ образомъ индикаторная діаграмма будетъ точна для обѣихъ сторонъ поршня машины, если впускъ и выпускъ пара совершается отдѣльными паровпускными и выпускными органами съ каждой стороны поршня и когда слѣдовательно условія парораспредѣленія для обѣихъ сторонъ поршня одинаковы. Въ парораспредѣленіяхъ двумя золотниками при чаще всего имѣющей мѣсто нормальной работѣ машины для обѣихъ сторонъ поршня возможно достигнуть одинаковой степени наполненія, напротивъ, какъ это будетъ объяснено при изученіи парораспредѣленій, сжатіе и предвареніе выпуска можно сдѣлать одинаковыми только приблизительно. Поэтому рекомендуется послѣ построенія діаграммы по указанному выше способу по крайней мѣрѣ принимать во вниманіе различныя сжатія, какія могутъ быть при парораспредѣленіи двойными золотниками вслѣдствіе конечной длины шатуна, а слѣдовательно необходимо убѣдиться, что при переднемъ и заднемъ ходѣ поршня давленіе въ концѣ сжатія имѣетъ надлежащую и допускаемую величину. При этомъ необходимо принимать во вниманіе сказанное на стр. 25 о сжатіи.

Когда принимается во вниманіе конечная длина шатуна, какъ въ вышеприведенномъ случаѣ, величины S_3 и S_4 (фиг. 1, табл. 26), которыми опредѣляется въ діаграммѣ начало и конецъ сжатія, берутъ изъ діаграммы парораспредѣленія (о которой будетъ сказано въ части V) и строятъ кривую сжатія пара отъ точки f, опредѣляемой давленіемъ p_e выпускаемаго пара, или разсчитываютъ изъ уравненія 9 конечное давленіе сжатія, а именно

$$p_3 = p_e \frac{M + S - S_3}{M + S - S_4}.$$

При парораспредѣленіи простымъ золотникомъ, послѣдній чаще всего устанавливается такъ, чтобы опереженіе впуска пара для обѣихъ сторонъ поршня были равны, т. е. чтобы въ обоихъ мертвыхъ положеніяхъ поршня золотникъ открывалъ паровпускныя окна одинаково. Въ такомъ случаѣ одни и тѣ же періоды парораспредѣленія начинаются для передняго и задняго хода поршня при одинаковомъ углѣ поворота кривошипа, причемъ однако поршень, вслѣдствіе конечной длины шатуна, проходитъ пути неравной величины. Если желательно при этомъ принимать во вниманіе неодинаковость происходящаго по обѣ стороны поршня парораспредѣленія для хода взадъ и впередъ при построеніи индикаторной діаграммы, то должно поступать слѣдующимъ образомъ (фиг. 1 до 3, табл. 26).

Послѣ того, какъ діаграмма построена по вышеуказанному способу, не принимая во вниманіе конечную длину шатуна, на линіи $\overline{\alpha\beta}$ (фиг. 1), которая проводится горизонтально черезъ самую нижнюю точку діаграммы, какъ на діаметрѣ описываютъ полуокружность радіусомъ кривошипа, затѣмъ согласно сказанному на стр. 14 о діаграммѣ хода поршня Шорха (Schorch) очерчиваютъ двѣ дуги $\overset{\frown}{\alpha\alpha}$ и $\overset{\frown}{\beta\beta}$ радіусомъ, равнымъ длинѣ шатуна и центры, которыхъ лежатъ на продолженіи линіи $\overline{\alpha\beta}$. Далѣе проводятъ вертикали $\overline{c\,\mathrm{I}}$, $\overline{d\,\mathrm{II}}$, $\overline{f\,\mathrm{III}}$ и горизонтали $\overline{\mathrm{I}\,1}$ и $\overline{\mathrm{I}'\,1'}$, $\overline{\mathrm{II}\,2}$ и $\overline{\mathrm{II}'\,2'}$, $\overline{\mathrm{III}\,3}$ и $\overline{\mathrm{III}'\,3'}$. Тогда для передняго хода поршня для задней лѣвой (на фиг. 1) стороны поршня будетъ

$\overline{\mathrm{I}\,1}$ величина періода впуска пара,
$\overline{\mathrm{II}\,2}$ „ „ предваренія выпуска пара,
$\overline{\mathrm{III}\,3}$ „ „ сжатія и предваренія впуска пара вмѣстѣ.

По этимъ величинамъ и выстроена діаграмма для лѣвой стороны поршня (фиг. 2, таб. 26) по вышеуказанному способу.

Изъ фиг. 1, соотвѣтственно для правой стороны поршня имѣемъ для задняго хода поршня:

$\overline{\mathrm{I}'\,1'}$ величину періода впуска пара,
$\overline{\mathrm{II}'\,2'}$ „ „ предваренія выпуска пара,
$\overline{\mathrm{III}'\,3'}$ „ „ сжатія и предваренія впуска пара вмѣстѣ.

По этимъ величинамъ (фиг. 3, табл. 26) построена діаграмма для правой стороны поршня по тому же способу.

Для опредѣленія величинъ отдѣльныхъ періодовъ парораспредѣленія можетъ конечно служить всякій другой пріемъ для опредѣленія путей, проходимыхъ поршнемъ изъ данныхъ на стр. 15.

При парораспредѣленіи простымъ золотникомъ послѣдній лучше устраивать такъ, чтобы онъ при нормальной работѣ машины давалъ приблизительно равныя наполненія и сжатія по обѣ стороны поршня, хотя бы насчетъ неодинаковаго опереженія впуска и выпуска. Для этого послѣ вычерчиванія индикаторной діаграммы (фиг. 1, табл. 26) проектируютъ парораспредѣленіе и его діаграмму при конечной длинѣ шатуна, изъ которой берутъ величины отдѣльныхъ періодовъ парораспредѣленія и строятъ уже точныя индикаторныя діаграммы для обѣихъ сторонъ поршня. Желательно, чтобы построеніе индикаторной діаграммы всегда сопровождалось построеніемъ діаграммы парораспредѣленія.

Въ вертикальныхъ машинахъ, движущее давленіе пара при движеніи поршня внизъ усиливается вѣсомъ поршня, его стержня, крейцкопфа и шатуна, наоборотъ, при движеніи поршня вверхъ этотъ вѣсъ противодѣйствуетъ давленію пара; часто тогда съ намѣреніемъ дѣлаютъ наполненія для обѣихъ сторонъ поршня неравными такимъ образомъ, чтобы при движеніи поршня внизъ давленіе пара вмѣстѣ съ вѣсомъ упомянутыхъ частей машины и давленіе пара безъ вѣса этихъ частей при движеніи поршня вверхъ имѣли приблизительно одну и ту же среднюю величину.

§ 11.

Распредѣленіе давленій и діаграмма силъ въ одноцилиндровой машинѣ.

Давленіе, производимое паромъ на поршень паровой машины, передается посредствомъ поршневаго штока, крейцкопфа и шатуна слѣдующимъ образомъ на палецъ кривошипа и главный валъ.

Существующія по обѣ стороны поршня давленія свѣжаго и мятаго пара даютъ въ разности **рабочее давленіе**, которое является движущимъ, если въ данную минуту его направленіе совпадаетъ съ направленіемъ движенія поршня, и тормазящимъ, если эти направленія противоположны. Во время одного хода поршня рабочее давленіе пара однако дѣйствуетъ на палецъ кривошипа или не вполнѣ, или будучи усилено еще другою силою. Это происходитъ вслѣдствіе того, что въ первую часть хода поршня необходимо ускореніе массъ штангъ (шатуна, поршня и его штока) до тѣхъ поръ, пока они не достигнутъ своей наибольшей скорости, вслѣдствіе чего поглощается нѣкоторая механическая работа. Необходимая для ускоренія упомянутыхъ массъ сила заимствуется у рабочаго давленія, если оно только больше, чѣмъ сила инерціи массъ; въ противномъ случаѣ, въ теченіи извѣстнаго времени, энергія вращающейся массы маховика должна дѣйствовать ускоряющимъ образомъ на качающіяся массы, и, слѣдовательно, поршень воспринимаетъ обратно отъ главнаго вала часть работы. Во вторую часть того-же хода массы штангъ, слѣдуя за кривошипомъ, должны постепенно уменьшать свою скорость (ускореніе, слѣдовательно, отрицательное). Поэтому двигающія

массы (поршень, штокъ и шатунъ), въ это время, отдаютъ полностію поглощенную раньше механическую работу и, вслѣдствіе этого, производятъ на палецъ кривошипа давленіе, помогающее движенію. Такимъ образомъ, въ концѣ концовъ, на палецъ кривошипа, дѣйствуетъ **равнодѣйствующее горизонтальное давленіе**, которое въ каждое данное мгновеніе слагается изъ рабочаго давленія пара и давленія качающихся массъ дѣйствующаго въ началѣ хода поршня задерживающимъ, а въ концѣ ускоряющимъ образомъ, смотря по тому, будетъ ли направленіе давленія массъ согласно или противоположно давленію пара. Если это равнодѣйствующее давленіе дѣйствуетъ въ сторону движенія поршня, то оно является движущимъ усиліемъ для кривошипа, въ противномъ случаѣ оно будетъ тормозящимъ усиліемъ.

Въ вертикальныхъ паровыхъ машинахъ на равнодѣйствующее горизонтальное давленіе имѣетъ вліяніе еще вѣсъ штангъ, который при движеніи поршня внизъ его усиливаетъ, при обратномъ же движеніи, вверхъ, его уменьшаетъ.

Равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, отнесенное къ 1 cm^2 площади поршня, обозначимъ черезъ p_r. Эту силу разложимъ на двѣ составляющія (фиг. 20 текста), изъ которыхъ одна s совпадаетъ съ направленіемъ шатуна, а другая есть вертикально направленное **нормальное давленіе** n, которое производитъ крейцкопфъ на направляющія. Пока горизонтальная равнодѣйствующая p_r является движущимъ усиліемъ, нормальное давленіе n, какъ видно изъ фиг. 20, при переднемъ ходѣ машины всегда направлено внизъ, при заднемъ ходѣ—вверхъ. Сила s, дѣйствующая по направленію шатуна, разлагается далѣе въ центрѣ пальца кривошипа на **касательное усиліе t**, которое даетъ вращательный моментъ $= tR$, и на **радіальную** силу **r**, направленную по радіусу кривошипа и прижимающую главный валъ къ подшипникамъ.

Полное давленіе на подшипникъ получается слѣдующимъ образомъ. Въ центрѣ окружности, которую описываетъ кривошипъ, прилагаютъ двѣ силы s, равныя, противоположныя и параллельныя направленію шатуна, отчего въ состояніи движенія машины ничего не измѣнится. Тогда мы будемъ имѣть пару силъ sR', равную по величинѣ моменту tR и также стремящуюся вращать валъ, и еще силу s, приложенную въ центрѣ упомянутой окружности. Эта сила производитъ на главный подшипникъ горизонтальной машины (фиг. 20) давленіе $s\frac{a+c}{c}$, которое вмѣстѣ съ отнесенными къ 1 cm^2 площади поршня, и приходящимися на этотъ подшипникъ частями вѣса маховика g_1 и натяженій ремня или каната d_1, передающаго работу отъ главнаго вала, даетъ **равнодѣйствующее давленіе r_1 цапфы на подшипникъ.**

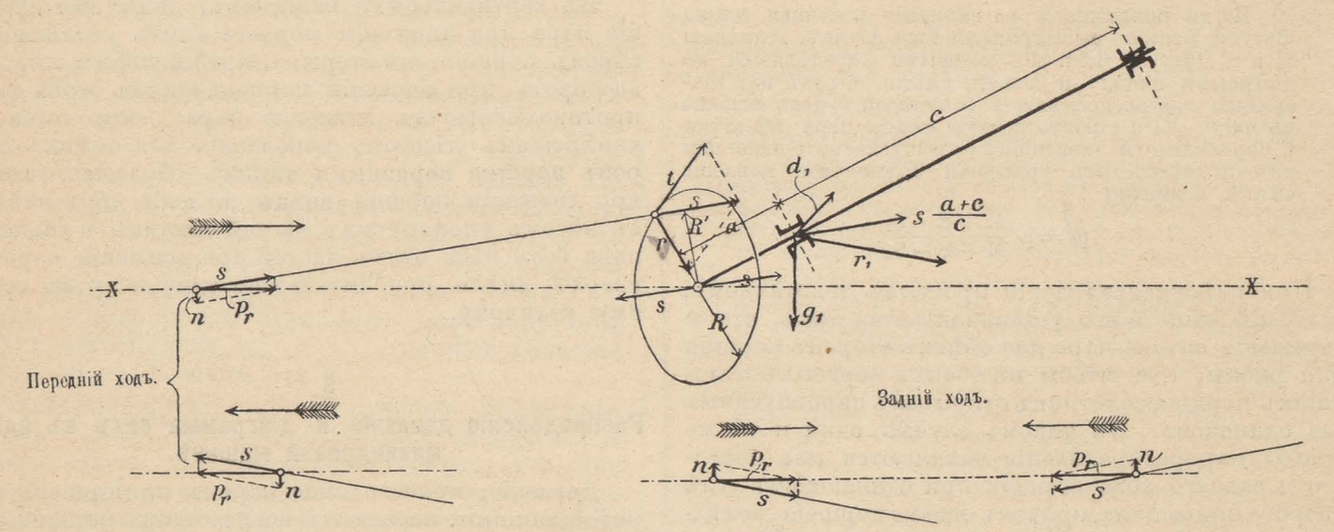
Касательная сила t опредѣляется непосредственно по горизонтальной равнодѣйствующей p_r слѣдующимъ образомъ (фиг. 21 текста). На продолженіи радіуса кривошипа $\overline{O1}$ откладываютъ величину $\overline{11} = p_r$ и проводятъ линію $\overline{12}$, параллельную шатуну $\overline{A_1I}$. Если изъ точки A_1 возставить перпендикуляръ къ направленію хода поршня X — X, тогда $\overline{A_12} = t$. Это доказывается слѣдующимъ образомъ. Разлагая силу p_r на составляющія s и n имѣемъ

$$s = \frac{p_r}{\cos\beta},$$

а разлагая s на составляющія t и r имѣемъ

$$t = s\cos\gamma = p_r\frac{\cos\gamma}{\cos\beta}.$$

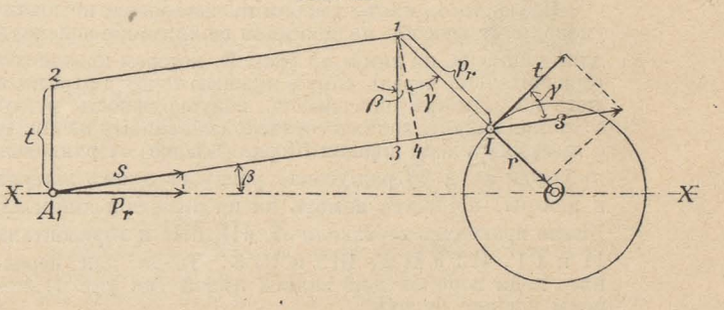
Фиг. 20.



Если далѣе опустить перпендикуляры $\overline{14}$ на $\overline{A_1I}$ и $\overline{13}$ на X — X, то $\sphericalangle I14 = \gamma$ $\sphericalangle$ и $413 = \beta$, слѣдовательно

$$t = \overline{13} = \frac{\overline{14}}{\cos\beta} = \frac{\overline{11}\cos\gamma}{\cos\beta} = p_r\frac{\cos\gamma}{\cos\beta}.$$

Фиг. 21.



Хорошее представленіе объ измѣненіи давленія въ какой либо паровой машинѣ даетъ слѣдующая діаграмма.

Если въ различныхъ точкахъ представленнаго въ произвольномъ масштабѣ хода поршня, на ординатахъ откладывать соотвѣтствующія разности давленій по обѣ стороны поршня (рабочія давленія) въ произвольномъ масштабѣ, то, соединяя конечныя точки этихъ ординатъ линіей, получимъ

діаграмму рабочихъ давленій. Упомянутыя давленія пара можно брать изъ индикаторной діаграммы, такъ какъ ординаты обѣихъ кривыхъ такой діаграммы пропорціональны давленіямъ въ атмосферахъ (kg на 1 cm^2 полезной площади поршня), имѣющимъ мѣсто по одну сторону поршня въ теченіи одного оборота. Такъ, напримѣръ, нужно (фиг. 2 и 3, табл. 26) ординаты кривой a b c d e на фиг. 2, изображающей давленія пара сзади поршня, уменьшить на соотвѣтствующія ординаты кривой e f g a давленій пара передъ поршнемъ (фиг. 3) для того, чтобы получить величины рабочаго давленія при ходѣ поршня впередъ; для хода назадъ, напротивъ, надо отъ ординатъ кривой a b c d e (фиг. 3) отнять ординаты кривой e f g a на фиг. 2. Полученныя такимъ образомъ ординаты рабочаго давленія откладываются (фиг. 4, табл. 26) въ соотвѣтствующихъ точкахъ хода поршня $\overline{AA'}$ на ординатахъ, и притомъ к в е р х у, если направленіе рабочаго давленія совпадаетъ съ направленіемъ движенія поршня при п е р е д н е м ъ х о д ѣ его, к н и з у, если это направленіе совпадаетъ съ направленіемъ движенія поршня при з а д н е м ъ ходѣ его.

Такъ напримѣръ, при переднемъ ходѣ поршня рабочее давленіе пара $\overline{A_5B_5}$ въ положеніи поршня A_5 (фиг. 4, табл. 26) равно давленію пара съ задней стороны поршня $\overline{A_5B_5}$ (фиг. 2) безъ давленія пара передъ поршнемъ $\overline{A_5'C_5'}$ (фиг. 3) и отложено кверху отъ $\overline{AA'}$, потому что давленіе пара съ задней стороны больше, чѣмъ таковое съ передней и слѣдовательно направленіе рабочаго давленія совпадаетъ съ направленіемъ движенія поршня. Для задняго хода соотвѣтственно $\overline{A_5B_5'}$ (фиг. 4) будетъ равно $\overline{A_5'B_5'}$ (фиг. 3) безъ $\overline{A_5C_5}$ (фиг. 2) и отложено книзу.

Если индикаторная діаграмма одинакова для передняго и задняго хода, какъ напримѣръ, въ фиг. 1, табл. 26, то, чтобы найти рабочее давленіе для передняго хода, изъ ординатъ кривой abcd нужно отнять ординаты перевернутой кривой efga, вычерченной такъ, чтобы точка e лежала надъ точкою A и точка a надъ точкою A'; чтобы найти рабочее давленіе для задняго хода слѣдуетъ перевернуть кривую abcde и тогда брать разность ординатъ этой кривой и кривой efga.

Итакъ въ діаграммѣ, изображенной на фиг. 4, табл. 26, ординаты кривой a b c d, измѣренныя отъ прямой $\overline{AA'}$, даютъ рабочія давленія для передняго хода поршня, ординаты кривой d e f a давленія для задняго хода. Рабочее давленіе у с к о р я е т ъ движеніе поршня и имѣетъ одинаковое направленіе съ этимъ движеніемъ, если ординаты первой кривой л е ж а т ъ в ы ш е, а ординаты второй кривой н и ж е $\overline{AA'}$. Въ противномъ случаѣ рабочее давленіе задерживаетъ движеніе поршня и направлено противъ этого движенія. Для передняго хода рабочее давленіе въ точкѣ c равно нулю, т. е. въ этой точкѣ оно мѣняетъ свое направленіе, переходя изъ движущаго въ тормозящее движеніе поршня. При обратномъ ходѣ подобное измѣненіе происходитъ въ точкѣ f. Понятно, что площадь діаграммы рабочихъ давленій (a b c d e f a на фиг. 4, табл. 26) должна быть равно суммѣ площадей обѣихъ индикаторныхъ діаграммъ (a b c d e f g a на фиг. 2 и 3, табл. 26) для передняго и задняго хода поршня, и слѣдовательно э т а п л о щ а д ь п р о п о р ц і о н а л ь н а р а б о т ѣ, с о в е р ш е н н о й п а р о м ъ в ъ ц и л и н д р ѣ п о о б ѣ с т о р о н ы п о р ш н я в о в р е м я о д н о г о п о л н а г о о б о р о т а м а ш и н ы.

Чтобы далѣе сложить рабочее давленіе съ соотвѣтствующей силой инерціи качающихся массъ, слѣдуетъ построить кривую этихъ силъ въ выбранномъ масштабѣ. Пусть будетъ:

G вѣсъ штангъ, необходимыя данныя для котораго будутъ указаны въ слѣдующей части.

O площадь поршня въ cm^2 (см. также Часть IV), g ускореніе силы тяжести въ m въ секунду, p_0 или p ускоренія (положительное или отрицательное) массъ штангъ, опредѣленныя въ § 9 по уравненію 26 и 27.

Тогда сила инерціи, т. е. та сила, отнесенная къ 1 cm^2 площади поршня, которую нужно затратить, чтобы колеблющимся массамъ въ началѣ хода придать необходимое ускореніе, а въ концѣ хода чтобы замедлить ихъ, будетъ,

при **шатунѣ безконечной длины**

$$p_0 \frac{G}{gO} = \frac{v^2}{R} \cos\omega \frac{G}{gO} \quad \ldots\ldots 29$$

при **шатунѣ конечной длины**

$$p \frac{G}{gO} = \frac{v^2}{R}\left(\cos\omega \pm \frac{R}{L}\cos 2\omega\right)\frac{G}{gO} \quad \ldots 30$$

Въ этихъ уравненіяхъ v есть скорость пальца кривошипа, а R радіусъ окружности, описываемой пальцемъ кривошипа, въ m.

Кривая силъ инерцій получается точно такимъ же образомъ, какъ въ § 9 на фиг. 15 и 16 текста было получено графическое изображеніе ускореній, съ тою только разницей, что ординатами этой кривой будутъ не различныя значенія p_0 или p, а эти значенія, помноженныя на $\frac{G}{gO}$ (это есть масса штангъ, приходящаяся на 1 cm^2 площади поршня).

Слѣдовательно, при шатунѣ безконечной длины на фиг. 15 на стр. 18 текста прямая $\overline{1O1'}$ была бы линія силъ инерціи, если бы въ выбранномъ масштабѣ было

$$\overline{A1} = \overline{A'1'} \frac{v^2}{R}\frac{G}{gO},$$

такъ какъ это есть величина силы инерціи, получаемой изъ уравненія 29 при $\omega = 0°$ и $\omega = 180°$.

При конечной длинѣ шатуна для линіи силъ инерціи $\overline{1M1'}$ (фиг. 15 и 16 текста) лучше всего строить сначала линію $\overline{1O1'}$, вычисляя затѣмъ, въ выбранномъ масштабѣ, величину

$$Z = z\frac{G}{gO} = \frac{R}{L}\frac{v^2}{R}\frac{G}{gO}.$$

Принимая тогда во вниманіе сказанное на стр. 18 и 19 относительно z, p_0 и p, будемъ имѣть:

для $\omega = 0°$ . . . . . $\overline{a_1 I} = \overline{A1} + Z$,
„ $\omega = 45°$ . . . . . $\overline{a_2 II} = \overline{A_2 2}$,
„ $\omega = 90°$ . . . . . $\overline{a_3 III} = Z$,
„ $\omega = 135°$ . . . . . $\overline{a_4 IV} = \overline{A_4 4}$,
„ $\omega = 180°$ . . . . . $\overline{A'1'} = \overline{A'1'} - Z$,
„ $\omega = 30°$ . . . . . $\overline{a_5 V} = \overline{A_5 5} + \frac{1}{2}Z$,
„ $\omega = 60°$ . . . . . $\overline{a_6 VI} = \overline{A_6 6} - \frac{1}{2}Z$,
„ $\omega = 120°$ . . . . . $\overline{a_7 VII} = \overline{A_7 7} + \frac{1}{2}Z$,
„ $\omega = 150°$ . . . . . $\overline{a_8 VIII} = \overline{A_8 8} - \frac{1}{2}Z$.

Если нанести линію давленій силы инерціи q—q' такъ, какъ это сдѣлано на фиг. 4, табл. 26, то эта линія можетъ быть примѣнена какъ для передняго, такъ и для задняго хода поршня. При переднемъ ходѣ ординаты линіи qq', лежащія надъ $\overline{AA'}$, представляютъ давленія силы инерціи, которыя противодѣйствуютъ движенію поршня, а ординаты, лежащія подъ $\overline{AA'}$, давленія силы инерціи, которыя ускоряютъ движеніе поршня; при заднемъ ходѣ будетъ обратное. Принимая во вниманіе вышеприведенный

пріемъ для нанесенія рабочихъ давленій, смотря по тому, являются-ли они движущими или тормазящими, должно, слѣдовательно, брать разность ординатъ линіи рабочихъ давленій и линіи давленій силы инерціи, если онѣ расположены по одну сторону прямой $\overline{AA'}$, напротивъ — сумму ихъ, если онѣ расположены по ту и другую сторону прямой $\overline{AA'}$, для того, чтобы получить равнодѣйствующую горизонтальныхъ давленій на 1 cm^2 площади поршня, для различныхъ его положеній. Другими словами ординаты между линіею силъ инерціи qq′ и линіею рабочихъ давленій abcd или defa (фиг. 4, табл. 26) даютъ равнодѣйствующую горизонтальныхъ давленій для передняго или задняго хода его. Если теперь отложить на ординатахъ величины горизонтальнаго давленія, принимая за абсциссы соотвѣтственныя величины пространствъ, пройденныхъ поршнемъ (въ избранномъ масштабѣ), то получимъ **діаграмму равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій**, какъ это показано на фиг. 5, табл. 26. Равнодѣйствующая горизонтальныхъ давленій въ данномъ случаѣ дѣйствуетъ такъ же, какъ это было указано для діаграммы рабочихъ давленій, а именно по направленію движенія поршня и слѣдовательно помогаетъ ему, если ордината, взятая изъ діаграммы для передняго хода, лежитъ вверхъ, а для задняго хода внизъ отъ прямой $\overline{AA'}$ и обратно.

Такъ, напримѣръ, для положенія поршня въ A_3 (фиг. 5, табл. 26) горизонтальное равнодѣйствующее давленіе A_3B_3 для передняго хода равно $\overline{D_3B_3}$ (фиг. 4, табл. 26); давленіе же для задняго хода $\overline{A_3B_3'}$ въ фиг. 5 равно $\overline{D_3B_3'}$ въ фиг. 4. Такъ какъ обѣ силы двигаютъ поршень, то $\overline{D_3v_3}$ откладывается отъ $\overline{AA'}$ кверху, а $\overline{D_3B_3'}$ — книзу.

Для вертикальныхъ паровыхъ машинъ при построеніи діаграммы горизонтальныхъ равнодѣйствующихъ давленій, необходимо принять во вниманіе вѣсъ штангъ, который при ходѣ поршня внизъ помогаетъ, при обратномъ ходѣ мѣшаетъ движенію его. Дѣлается это такимъ образомъ, что ниже линіи $\overline{AA'}$ въ діаграммѣ рабочихъ давленій (фиг. 2, табл. 27) проводятъ линію $\overline{gg'}$, которая представляетъ въ выбранномъ нами масштабѣ вѣсъ $\frac{G}{O}$ штангъ, приходящійся на 1 cm^2 площади поршня. Ординаты этой линіи въ случаѣ хода поршня внизъ должны быть прибавлены къ соотвѣтствующимъ ординатамъ равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій, въ случаѣ-же хода вверхъ отняты отъ этихъ ординатъ. Такимъ образомъ получаютъ, напримѣръ, ординату $\overline{A_3B_3}$ діаграммы равнодѣйствующихъ давленій (фиг. 3, табл. 27), слагая въ фиг. 2, табл. 27 $\overline{D_3B_3}$ и $\overline{A_3C_3}$, а ординату $\overline{A_3B_3'}$ (фиг. 3), дѣлая ее равною $\overline{D_3B_3'}$ — $\overline{A_3C_3}$ въ фиг. 2.

Равнодѣйствующія горизонтальныя давленія, далѣе, разлагаются по способу, указанному въ фиг. 20 текста, для нѣсколькихъ различныхъ положеній поршня и кривошипа на силу s, направленную по оси шатуна, и на нормальное давленіе n. Если откладывать значенія давленія n для различныхъ положеній поршня на ординатахъ отъ прямой хода поршня $\overline{AA'}$ и соединить полученныя точки, какъ это сдѣлано въ фиг. 6, табл. 26, то получимъ **діаграмму нормальныхъ давленій.**

Такъ, напримѣръ, при положеніи поршня A_3 и соотвѣтствующемъ положеніи кривошипа $\overline{OIII}$ (фиг. 5, табл. 26) $\overline{III\,3} = \overline{A_3B_3}$ будетъ равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, $s = \overline{III\,4}$ — сила направленная по оси шатуна и $n = \overline{43}$ — нормальное давленіе, направленное внизъ, которое и отложено въ фиг. 6 на ординатѣ $\overline{A_3F_3}$ внизъ отъ прямой $\overline{AA'}$. Силы s, направленныя по оси шатуна, приняты далѣе за ординаты линіи, построенной на фиг. 5 пунктиромъ.

Сила s разлагается на касательную силу t къ окружности, описываемой центромъ пальца кривошипа, и силу r, направленную по радіусу этой окружности. Обыкновенно эту окружность, длина которой $2R\pi = S\pi$, развертываютъ въ прямую, отъ которой, параллельно оси ординатъ, откладываютъ различныя значенія t. Далѣе эту прямую, а также окружность, описываемую пальцемъ кривошипа, дѣлятъ на одинаковое число равныхъ частей, напр. 12 (фиг. 7, табл. 26) и касательную силу t, опредѣленную для этихъ точекъ дѣленія окружности посредствомъ соотвѣтствующихъ горизонтальныхъ давленій (фиг. 5), откладываютъ въ соотвѣтствующихъ точкахъ дѣленія прямой развернутой окружности на ординатахъ (фиг. 7). Если касательныя силы будутъ движущими какъ для передняго, такъ и для задняго хода поршня, то ихъ откладываютъ вверхъ отъ прямой развертки окружности, если же они будутъ задерживающими, то внизъ отъ той же прямой. Такимъ образомъ получаютъ **діаграмму касательныхъ силъ** abdfhi (фиг. 7, табл. 26). Сила же r, направленная по радіусу кривошипа, смотря по направленію ея, откладывается по радіусу отъ точки, указывающей положеніе центра пальца кривошипа на окружности, описываемой имъ, или по направленію къ центру, или въ сторону противоположную. Такимъ образомъ получается **діаграмма радіальныхъ давленій** ghikg (фиг. 5, табл. 26); эта діаграмма впрочемъ не представляетъ особенной важности.

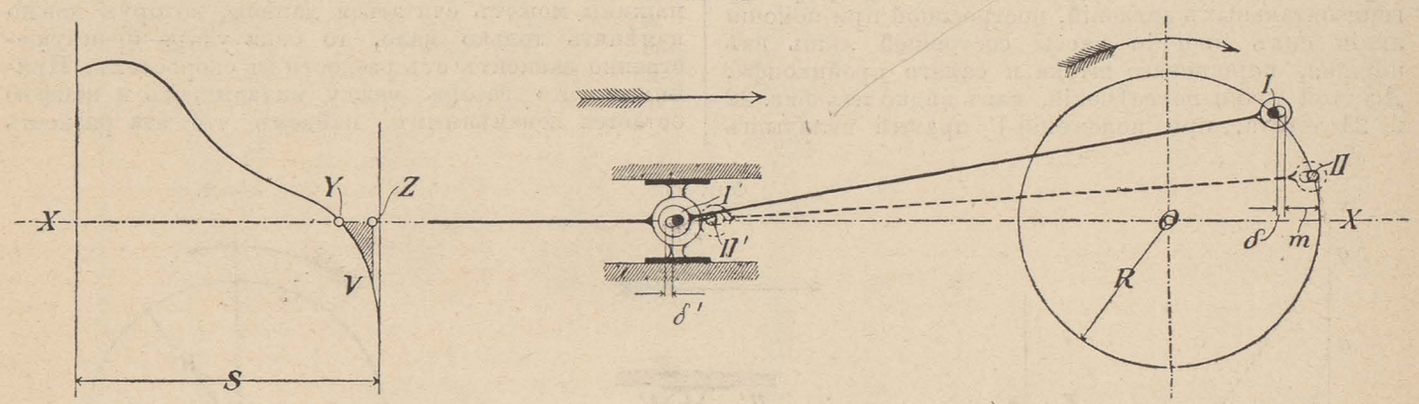
Для положенія, напримѣръ, пальца кривошипа въ точкѣ III (фиг. 5, табл. 26) сила $s = \overline{III\,4}$ направленная по оси шатуна, разлагается на касательную силу $t = \overline{45}$ и силу $r = \overline{III\,5}$, направленную по радіусу кривошипа. Первая сила отложена въ точкѣ III (фиг. 7) на ординатѣ, вторая въ точкѣ 5 даетъ точку діаграммы радіальныхъ силъ. Всякій радіусъ, проведенный къ какой нибудь точкѣ окружности, описываемой пальцемъ кривошипа (фиг. 5), даетъ между упомянутою діаграммою ghikg и этою окружностью отрѣзки, изображающія силу r, причемъ эта сила направлена внутрь окружности, если радіусъ пересѣкаетъ діаграмму внутри, въ противоположную сторону, когда это пересѣченіе происходитъ внѣ окружности.

Полная площадь діаграммы касательныхъ силъ, которая расположена выше прямой $\overline{oi}$ (фиг. 7, табл. 26) пропорціональна работѣ пара, которая, пренебрегая потери отъ тренія, передается отъ поршня на главный валъ; площадь же частей діаграммы, расположенныхъ ниже прямой $\overline{oi}$ представляетъ работу, которая возвращается вращающимися массами, сидящими на валу маховика штангамъ машины. Слѣдовательно разность площадей діаграммы касательныхъ силъ надъ линіей $\overline{oi}$ и подъ нею дастъ работу, которая передана на главный валъ машины во время полнаго оборота его, пренебрегая побочными сопротивленіями въ самой машинѣ. Такъ какъ эта работа равна работѣ, совершаемой паромъ въ то же самое время по обѣ стороны поршня, то упомянутая разность площадей должна быть равна также площади діаграммы рабочихъ давленій abcdefa (фиг. 4, табл. 26).

На фиг. 7, табл. 26 отложены, далѣе, отъ прямой $\overline{oi} = S\pi$ кверху ординаты, равныя взятымъ изъ фиг. 5 горизонтальнымъ равнодѣйствующимъ давленіямъ съ цѣлію, которая будетъ объяснена впослѣдствіе. Полученная такимъ образомъ пунктирная кривая есть діаграмма горизонталь-

ныхъ усилій, показывающая измѣненіе послѣднихъ въ зависимости отъ времени, такъ какъ скорость движенія пальца кривошипа можетъ быть принята постоянною и потому пройденная пальцемъ въ какое либо время часть окружности кривошипа можетъ быть принята пропорціональною времени.

Фиг. 22.



§ 12.

Плавность хода одноцилиндровой машины.

Плавность хода паровой машины нарушается главнымъ образомъ ударами въ штангахъ машины и колебаніями всей машины. Изучить причину нарушенія спокойнаго хода машины, а также способы устраненія ихъ чрезвычайно важно.

Удары въ пальцѣ кривошипа и крейцкопфѣ, сочлененіяхъ качающихся частей, происходятъ отъ слѣдующихъ причинъ. Во время передняго хода кривая равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій, которыя, какъ мы знаемъ изъ предыдущаго, слагаются изъ рабочаго давленія пара и давленія силы инерціи, въ фиг. 5, табл. 26 пересѣкаетъ прямую направленія хода поршня $\overline{AA'}$ въ точкѣ Y. Это значитъ, что эта равнодѣйствующая, проходя въ точкѣ Y черезъ нуль, мѣняетъ свой знакъ и, слѣдовательно, здѣсь происходитъ измѣненіе направленія давленія. Это происходитъ вслѣдствіе того, что рабочее давленіе пара, которое, начиная съ точки c въ фиг. 4, табл. 26, начинаетъ задерживать движеніе поршня, передъ точкою Y меньше, чѣмъ одновременное давленіе силы инерціи качающихся массъ, въ Y равно ему, а за Y больше него. Оставимъ пока безъ вниманія то дѣйствіе, которое оказываетъ такое измѣненіе давленія на цапфу крейцкопфа и разсмотримъ его вліяніе на цапфу кривошипа. Изъ фиг. 5, табл. 26, мы видимъ, что равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, направленное слѣва на право, до точки Y нажимаетъ шатунъ на цапфу кривошипа лѣвымъ вкладышемъ его правой головки. Цапфа кривошипа вмѣстѣ съ этою головкой шатуна двигается до точки Y съ одинаковою скоростью.

Но начиная съ точки Y, нарушается кинематическая связь между этими двумя частями механизма[1]). Такъ какъ теперь равнодѣйствующее горизонтальное давленіе будетъ направлено справа налѣво и такъ какъ между пальцемъ кривошипа и вкладышемъ головки шатуна всегда существуетъ зазоръ δ (фиг. 22 въ текстѣ), находившійся до точки Y вправо отъ пальца, то головка шатуна все болѣе и болѣе будетъ отставать отъ пальца кривошипа, который долженъ слѣдовать вмѣстѣ съ главнымъ валомъ за маховикомъ, и разность въ скоростяхъ обѣихъ этихъ частей, направленныхъ въ одну сторону, дѣлается все больше и больше. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока головка шатуна не отстанетъ отъ пальца кривошипа на величину зазора δ. Въ это время палецъ кривошипа коснется праваго вкладыша; вслѣдствіе упомянутаго различія въ скоростяхъ ихъ, въ механизмѣ произойдетъ въ это мгновеніе болѣе или менѣе значительный ударъ. Въ теченіи разсмотрѣннаго явленія палецъ кривошипа перейдетъ изъ точки I въ точку II, а поршень — изъ точки Y въ точку Z (фиг. 22 текста), причемъ первый прошелъ въ горизонтальномъ направленіи путь $\delta + m$, тогда какъ штанги только путь m въ томъ-же направленіи. Работа, которая при этомъ затрачивается равнодѣйствующимъ горизонтальнымъ давленіемъ для замедленія движенія штангъ, пропорціональна заштрихованной на фигурѣ площади YZV и идетъ въ моментъ удара отчасти на измѣненіе формы пальца кривошипа, и отчасти на увеличеніе живой силы какъ его, такъ и главнаго вала и другихъ частей.

Въ вышеописанномъ процессѣ измѣненіе давленія и ударъ происходили до прихода машины въ мертвое положеніе. Если это измѣненіе и ударъ происходятъ послѣ перехода машины чрезъ мертвое положеніе, какъ это, напримѣръ, бываетъ, когда рабочее давленіе меньше, чѣмъ то давленіе, которое необходимо для ускоренія движенія штангъ, то въ машинѣ происходитъ почти тоже самое, что было описано выше. Въ фиг. 23 текста изображенъ такой случай. Здѣсь d a есть кривая рабочихъ давленій, q q' кривая силъ инерціи, e f кривая равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій для задняго хода поршня.

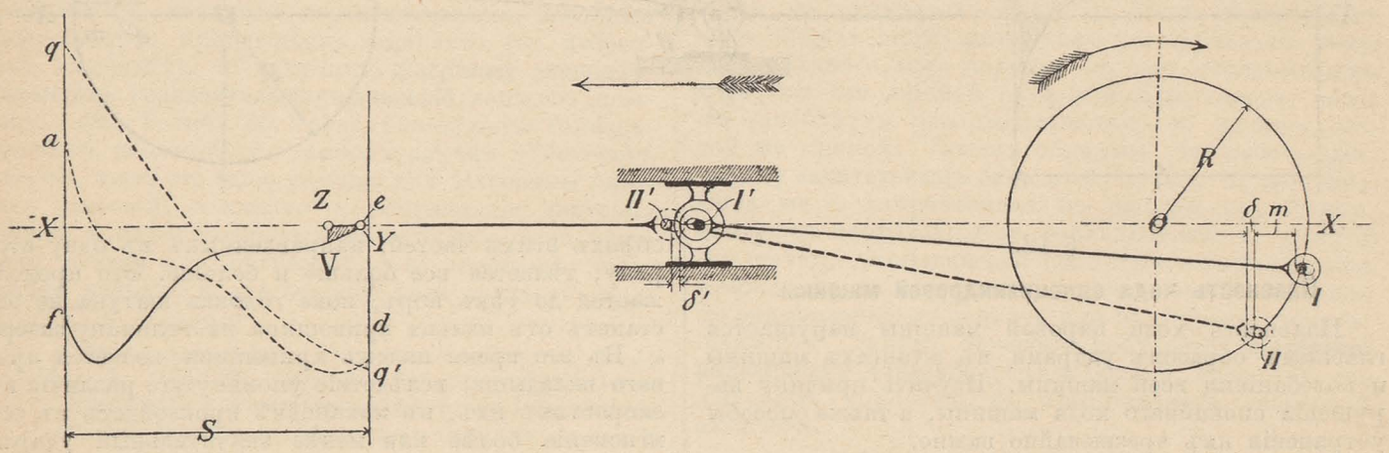
До измѣненія направленія давленія въ точкѣ Y равнодѣйствующая горизонтальныхъ давленій направлена слѣва направо и прижимаетъ лѣвую часть вкладыша головки шатуна къ пальцу кривошипа. Отъ точки Y это давленіе, направленное справа налѣво, будетъ постепенно возрастать, ускорять движеніе штангъ относительно пальца кривошипа, такъ что обѣ части машины станутъ двигаться отдѣльно другъ отъ друга, съ различными скоростями, причемъ разность скоростей будетъ непрерывно возрастать. Такъ будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока въ точкѣ II правый вкладышъ не коснется пальца кривошипа, причемъ произойдетъ ударъ. Въ это время палецъ кривошипа перейдетъ изъ точки I въ точку II и въ горизонтальномъ направленіи пройдетъ путь m, а движущій механизмъ въ томъ же направленіи и въ тоже время пройдетъ путь $\delta + m$.

[1]) Строго говоря, эта связь нарушается только тогда, когда штанги придутъ въ нормальное состояніе послѣ упругаго сжатія отъ производившагося на нихъ давленія.

Явленія, которыя происходятъ въ крейцкопфѣ во время измѣненія направленія давленія, походятъ на описанныя выше для пальца кривошипа, но вслѣдствіе того, что масса движущихся частей до цапфы крейцкопфа меньше, чѣмъ масса ихъ до пальца кривошипа, первыя явленія совершаются ранѣе, чѣмъ вторыя. Измѣненіе направленія давленія на цапфу крейцкопфа происходитъ въ точкѣ пересѣченія линіи $\overline{AA'}$ (фиг. 5, табл. 26) съ кривою горизонтальныхъ давленій, построенной при помощи линіи силъ инерціи массы состоящей лишь изъ поршня, поршневаго штока и самаго крейцкопфа. До этой точки пересѣченія, какъ видно изъ фиг. 22 и 23 текста, при положеніи I′ правый вкладышъ

Если происходитъ ударъ между двумя тѣлами, двигающимися по одному направленію, но съ различными скоростями, то, какъ извѣстно, этотъ ударъ будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ масса обоихъ тѣлъ значительнѣе и чѣмъ значительнѣе разность ихъ скоростей въ моментъ удара. Такъ какъ въ разбираемомъ нами случаѣ масса движущихся частей, которую, понятно, необходимо дѣлать по возможности малою, для существующей или строющейся машины можетъ считаться данною, которую можно измѣнять только мало, то сила удара преимущественно зависитъ отъ разности въ скоростяхъ. Принимая, что зазоръ между вкладышемъ и цапфою остается неизмѣннымъ, найдемъ что эта разность

Фиг. 23.



лѣвой головки шатуна соприкасается съ цапфою крейцкопфа. Но начиная съ этой точки масса разсматриваемой части движущаго механизма начинаетъ отставать отъ шатуна или опережать его, смотря по тому, мѣняется ли давленіе до мертваго положенія машины или послѣ него. Когда разность въ путяхъ, проходимыхъ цапфою крейцкопфа и головкою шатуна станетъ равна зазору δ', то происходитъ ударъ цапфы объ лѣвый вкладышъ. Въ это время лѣвый вкладышъ правой головки шатуна касается пальца кривошипа, и это касаніе, какъ уже было описано выше прекращается только тогда, когда равнодѣйствующая горизонтальныхъ усилій будетъ равна нулю, т. е. когда поршень будетъ въ Y.

Разобравъ такимъ образомъ тѣ явленія, которыя совершаются вслѣдствіе перемѣны давленія и причины связанныхъ съ этимъ ударовъ, является далѣе вопросъ, отъ чего зависитъ сила этихъ ударовъ, при какихъ обстоятельствахъ они особенно вредятъ плавному ходу машины и угрожаютъ прочности отдѣльныхъ частей ея, и, наконецъ, какимъ образомъ уничтожить дурныя послѣдствія ударовъ? Не входя въ подробное теоретическое изслѣдованіе этихъ вопросовъ, какъ это сдѣлано въ весьма интересной формѣ въ статьяхъ Wehage и Stribeck [1]), мы простыми соображеніями, какъ это уже было сдѣлано Reiche, Wehage и другими, приходимъ къ слѣдующему заключенію.

будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше будетъ время, въ которое разсматриваемыя массы переходятъ изъ положенія I (фиг. 22 и 23 текста), при которомъ происходитъ измѣненіе давленія и появляется разность въ скоростяхъ этихъ массъ, въ положеніе II, въ которомъ совершается ударъ. Этотъ переходъ изъ положенія I въ положеніе II совершится тѣмъ скорѣе, чѣмъ быстрѣе увеличивается равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, начиная отъ точки Y, въ которой мѣняется направленіе его и, слѣдовательно, для того, чтобы судить о силѣ удара, нужно изучить, какъ происходитъ возрастаніе горизонтальныхъ усилій съ теченіемъ времени. Такъ какъ палецъ кривошипа, какъ это по крайней мѣрѣ постоянно принимаютъ, двигается съ постоянною скоростью, то путь, проходимый имъ, пропорціоналенъ времени. Если откладывать, какъ уже было сказано на стр. 30, на ординатахъ отъ прямой соотвѣтствующей пути $S\pi$, описанному пальцемъ кривошипа, въ одинъ оборотъ, величину равнодѣйствующаго горизонтальнаго давленія для различныхъ положеній кривошипа, то по ходу полученной такимъ образомъ кривой (на фиг. 7, табл. 26 эта кривая начерчена пунктиромъ) до точки Y и послѣ нея можно судить, какъ измѣняется это давленіе съ теченіемъ времени. Чѣмъ круче эта кривая пересѣкаетъ ось абсциссъ (временъ), тѣмъ сильнѣе будетъ изучаемый ударъ и, наоборотъ, ударъ будетъ тѣмъ слабѣе, чѣмъ меньше будетъ уголъ, подъ которымъ кривая пересѣчетъ ось абсциссъ. Слѣдовательно, уголъ α (фиг. 7, табл. 26), который образуетъ касательная къ кривой горизонтальныхъ давленій въ точкѣ Y съ осью временъ, будетъ служить мѣрою для силы удара и по-

[1]) Zeitschrift deutscher Ingenieure: 1884: Wehage. Ueber den ruhigen Gang der Dampfmaschinen. 1893: Stribeck, die bei den Dampfmaschinen auftretenden Stösse an Kurbel- und Kreuzkopfzapfen.

Станины съ прямолинейными и цилиндр. направляющими для вертикальныхъ машинъ.

D-діаметръ цилиндрическихъ направляющихъ.

a-разстояніе между осью пальца кривошипа и осью главнаго подшипника.

Фиг. 1. 1/15.

Фиг. 1.а 1/25.

Фиг. 2. 1/15.

$\delta = \frac{S}{50} + 10.$

$k_1 = 10$ до $15.$

$k_2 = 50$ до $100.$

Фиг. 3. 1/15.

Фиг. 3.а 1/3.

Фиг. 4. 1/15.

Разрѣзъ 10-10.

Разрѣзъ 9-9. (къ Фиг. 3.)

Разрѣзъ 4-4.

Разрѣзъ 6-6

Разрѣзъ 2-2. (къ Фиг. 2.)

Разрѣзъ 7-7

Разрѣзъ 8-8.

Разрѣзъ 1-1. (къ Фиг. 1.)

Радіусъ x такой велич. чтобы шатунъ не задѣвалъ

Части x_1 x_2 x_3 см. Фиг. 1. Табл. 7.

равно толщ. фланца цилиндра

плоскости для установки подшипника и холодильника

плоскость для колонки регулятора

колонка для масленки подводящей къ шатунной кривошипа

масленка для кривош. крейцкопфа

" " " " направляющ.

тол. щ. болт. $\frac{3}{100}S + 15$ до 20

D' для машинъ многократнаго расшир не меньше діам. малаго цилиндра.

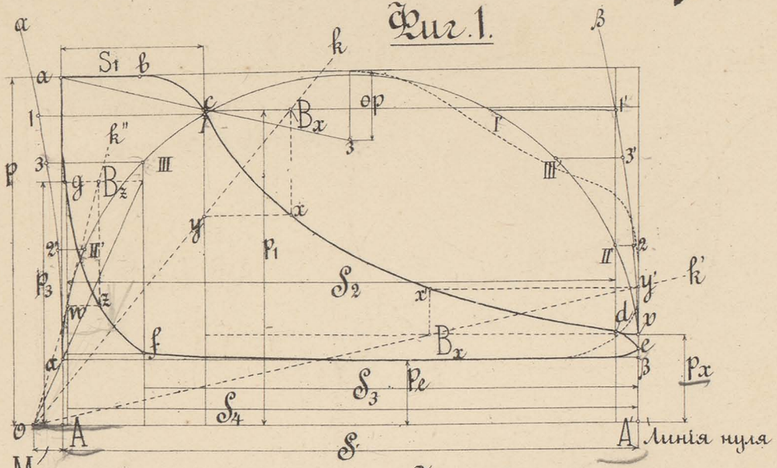
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Діаграммы работы и давленій одноцилиндровой и сдвоенной машины.

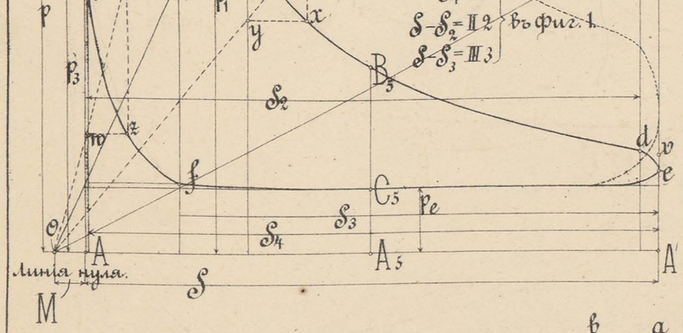
Масштабъ силъ: 10 mm = 1 kg,

Ходъ поршня S = 100 m m.
Вредное пространство
M = 0,05 S = 5 m m.

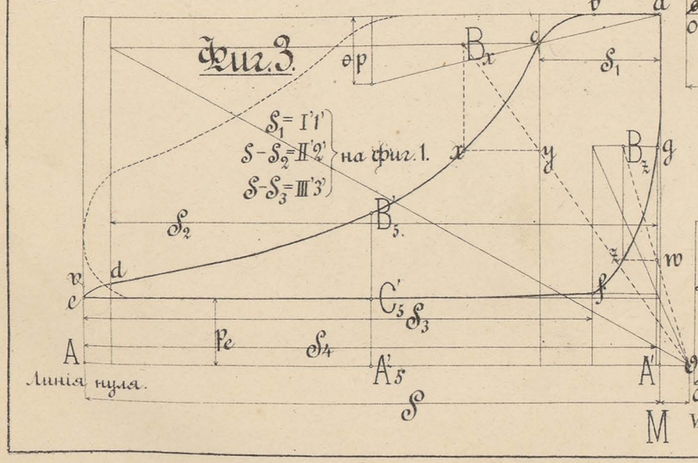
Фиг. 1.



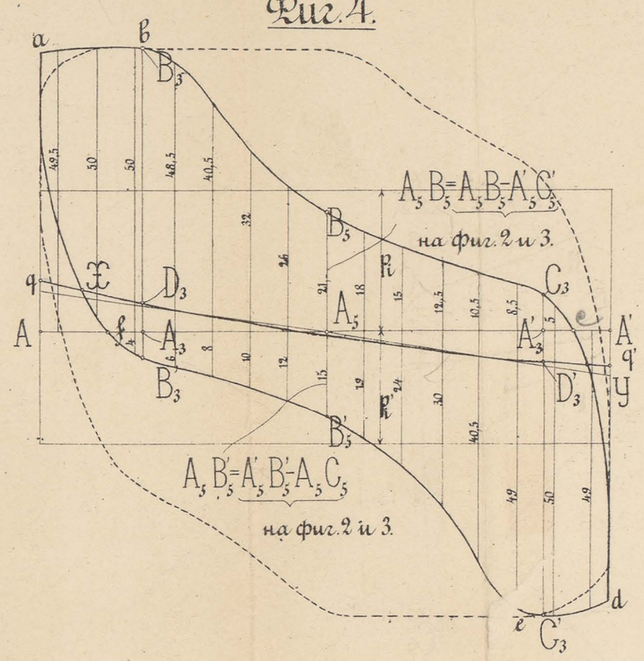
Фиг. 2.



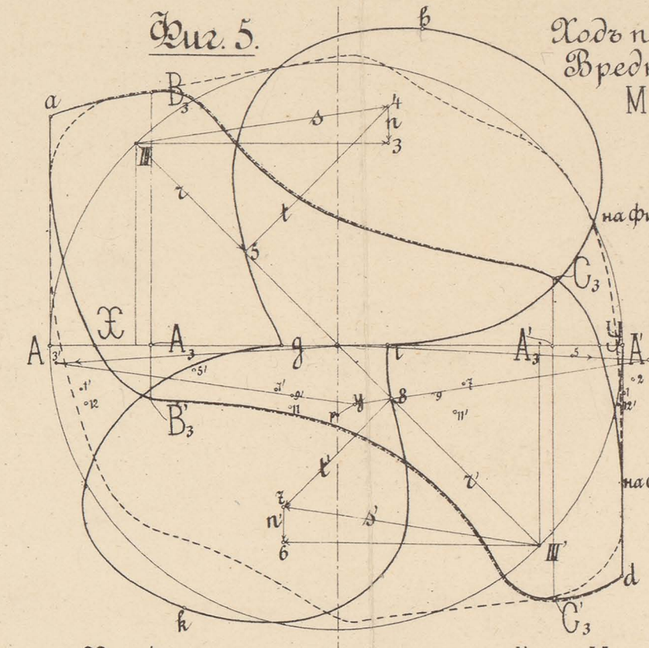
Фиг. 3.



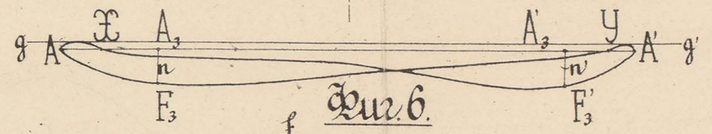
Фиг. 4.



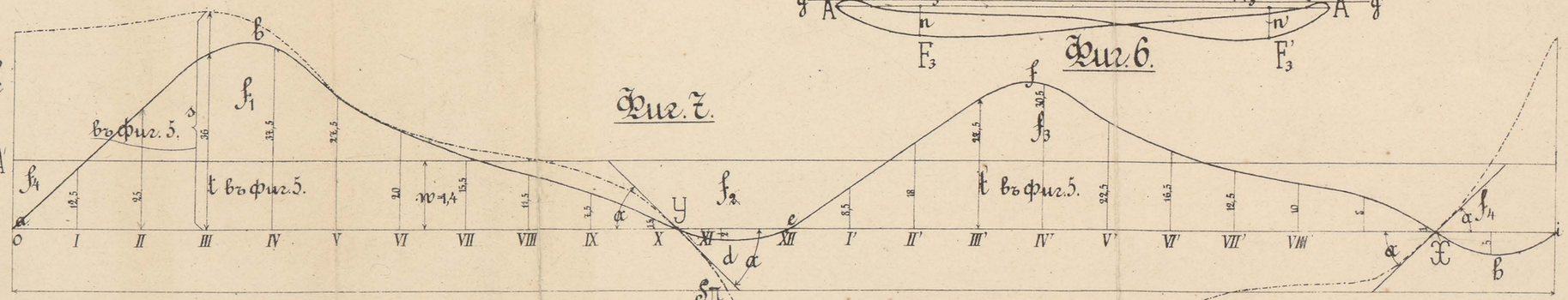
Фиг. 5.



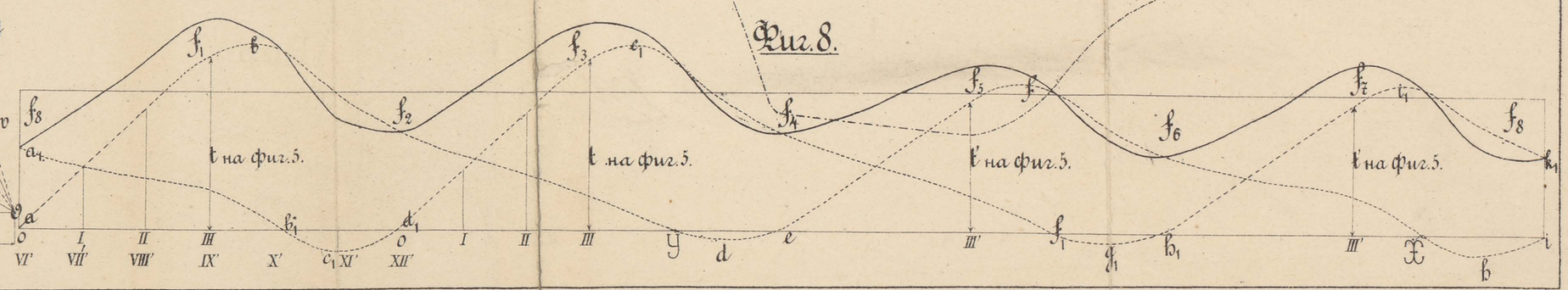
Фиг. 6.



Фиг. 7.



Фиг. 8.



Лит. А. Лейферта С.П.Б.

этому, чтобы уменьшить его силу, необходимо заботиться о томъ, чтобы уголъ α выходилъ не слишкомъ большимъ.

Stribeck въ своемъ изслѣдованіи, о которомъ уже было упомянуто выше, принялъ за мѣру жесткости удара величину $\sqrt[3]{\operatorname{tg}\alpha}$. Если $\alpha = 90°$, т. е. если приведенная выше кривая равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій пересѣчетъ ось абсциссъ подъ прямымъ угломъ, то $\operatorname{tg}\alpha = \infty$ и очевидно сила удара будетъ безконечно большая. Близкія къ 90° значенія угла α также даютъ весьма значительную величину для силы удара, который, повторяясь такъ часто въ минуту, неминуемо повлечетъ за собою поврежденіе какой либо части машины.

Особенно важнымъ представляется теперь изучить тѣ положенія машины, при которыхъ измѣненіе давленія и ударъ могутъ быть особенно вредны. Необходимо, конечно, озаботиться, чтобы измѣненіе давленія не совпадало ни съ однимъ изъ этихъ положеній.

Если въ концѣ хода поршня давленіе силы инерціи меньше, чѣмъ рабочее давленіе пара, то измѣненіе давленія происходитъ до мертваго положенія поршня. Въ этомъ случаѣ является по большей части опасность, если это измѣненіе происходитъ въ періодъ предваренія впуска пара (наступающій вслѣдъ за этимъ измѣненіемъ ударъ совпадаетъ тогда обыкновенно съ мертвымъ положеніемъ), потому что въ это время рабочее давленіе пара возрастаетъ очень быстро и, слѣдовательно, при происходящемъ здѣсь измѣненіи давленія равнодѣйствующее горизонтальное давленіе возрастаетъ очень быстро и кривая круто пересѣкаетъ ось абсциссъ. Въ такомъ случаѣ необходимо стремиться къ тому, чтобы измѣненіе давленія происходило достаточно далеко отъ начала этого періода. Достичь этого возможно при помощи надлежащаго сжатія пара [1]), дозволяющаго довести постепенность возрастанія рабочаго давленія по сравненію съ силами инерціи до всякой желаемой степени, вслѣдствіе чего получается болѣе пологое пересѣченіе кривой равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій съ осью временъ и, слѣдовательно, мягкій и безопасный ударъ.

Укажемъ здѣсь на то, что Радингеръ (Radinger) въ своей извѣстной и цѣнной книгѣ „Быстроходныя паровыя машины“ считаетъ ударъ, происходящій незадолго до мертваго положенія, безвреднымъ. Основывается онъ на томъ, что, при происходящемъ въ этомъ случаѣ измѣненіи давленія, путь m (фиг. 22 текста), на которомъ головка шатуна и палецъ кривошипа двигаются отдѣльно другъ отъ друга, почти равенъ нулю, почему ударъ остается безъ вліянія даже при совершенномъ отсутствіи сжатія, такъ какъ паръ прежде, чѣмъ дѣйствовать на поршень полнымъ давленіемъ, долженъ заполнить мертвое пространство и требуетъ нѣкоторый промежутокъ времени для возрастанія давленія до полной величины.

Наоборотъ, Стрибекъ (Stribeck), въ своемъ изслѣдованіи приходитъ къ совершенно противоположному воззрѣнію и считаетъ ударъ тѣмъ безопаснѣе, чѣмъ дальше отъ мертваго положенія онъ происходитъ. По его мнѣнію, для опредѣленія степени жесткости удара, не столько важна работа удара, какъ сила удара, которая обыкновенно въ паровыхъ машинахъ бываетъ весьма значительною по близости мертвой точки. По мнѣнію Стрибека (Stribeck) также явленія, происходящія послѣ удара [2]), тѣмъ опаснѣе для отдѣльныхъ частей машины, чѣмъ ближе къ мертвому положенію происходитъ ударъ.

Наконецъ необходимо обратить вниманіе на то, что слой масла находящагося между пальцемъ кривошипа и вкладышемъ, дѣйствуя на подобіе упругаго тѣла, также смягчаетъ ударъ и это вліяніе масла будетъ тѣмъ больше, чѣмъ толще будетъ его слой [1]), чѣмъ меньше, слѣдовательно, давленіе на единицу поверхности соприкосанія обѣихъ частей.

Если же въ концѣ хода поршня давленіе силы инерціи **больше**, чѣмъ рабочее давленіе, то измѣненіе направленія давленія и ударъ происходятъ **послѣ** мертваго положенія машины. Это можетъ случиться въ большихъ машинахъ съ тяжелыми штангами и большою скоростью поршня. Въ этомъ случаѣ сжатіе пара остается безъ вліянія на измѣненіе давленія, и ударъ будетъ сильнѣе, если линія давленія силъ инерціи пересѣкаетъ линію рабочаго давленія въ періодъ впуска пара (что напр. имѣло бы мѣсто въ фиг. 23 текста при переднемъ ходѣ, для котораго указана только линія давленія силъ инерціи), чѣмъ тогда, когда это пересѣченіе происходитъ въ періодъ расширенія пара, такъ какъ, въ послѣднемъ случаѣ, чаще всего обѣ линіи пересѣкаются подъ гораздо болѣе острымъ угломъ, почему и равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, въ моментъ измѣненія своего направленія, убываетъ или возрастаетъ гораздо медленнѣе. И въ этомъ случаѣ величина угла α можетъ служить мѣрою для силы удара.

Замѣтимъ здѣсь, что Радингеръ (Radinger) считаетъ измѣненіе давленія послѣ прихода машины въ мертвое положеніе крайне опаснымъ и совѣтуетъ устранить возможность такого случая, почему онъ допускаетъ только такую скорость поршня, которая, при началѣ хода его, даетъ величину силы инерціи штангъ меньшую, чѣмъ рабочее давленіе. Онъ говоритъ въ упомянутой уже выше книгѣ: „Допускаемая скорость поршня находится въ тѣсной связи какъ съ достигаемымъ въ цилиндрѣ давленіемъ пара, такъ и съ наполненіемъ его. А именно, эта скорость никогда не должна достигать такой величины, для полученія которой потребовалось бы давленіе на движущіяся массы, (сила инерціи), которое больше чѣмъ давленіе пара на поршень. Въ противномъ случаѣ разность въ давленіяхъ пришлось бы пополнить на счетъ инерціи маховика для приданія движущимся массамъ надлежащей скорости, и движущіяся штанги, вмѣсто того, чтобы давить на палецъ кривошипа, на протяженіи нѣкотораго пути сами бы увлекались кривошипомъ и получали бы отъ него движеніе. Поэтому во время одного хода поршня штанги поперемѣнно подвергались бы то сжатіямъ, то растяженіямъ; какъ въ нихъ, такъ и въ сочлененіяхъ, всегда имѣющихъ зазоры, происходили бы удары и сотрясенія, которые могли бы имѣть своимъ послѣдствіемъ поломку цапфъ и вслѣдствіе этого поломку всей машины“. На это можно возразить, что и удары послѣ прихода машины въ мертвое положеніе не опасны, если только $< \alpha$ достаточно малъ, что и подтверждается на практикѣ.

Приведенный выше пріемъ для опредѣленія измѣненія давленія не совсѣмъ точенъ, такъ какъ, строго говоря, слѣдовало бы принимать во вниманіе какъ вѣсъ шатуна и другія зависящія отъ его момента инерціи составляющія силы, такъ и треніе поршня, его штока и крейцкопфа. Кромѣ того, при проектированіи новой машины, также невозможно заранѣе точно вычертить кривую давленія. Поэтому лучше всего будетъ вести изслѣдованіе толчковъ въ крейцкопфѣ и головкѣ шатуна при возможно меньшемъ удаленіи момента удара отъ мертвой точки.

Далѣе штанги машины, при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ, могутъ вызвать **удары въ направляющія**, которые, понятно, въ такомъ случаѣ происходятъ

---

[1]) Прибѣгая притомъ въ случаѣ надобности къ помощи достаточно большаго предваренія выпуска пара съ другой стороны поршня и большихъ вредныхъ пространствъ.

[2]) См. Zeitschrift deutscher Ingenieure. 1893. Stribeck, die bei Dampfmaschinen auftretenden Stösse an Kurbel- und Kreuzkopfzapfen.

[1]) Понятно до опредѣленнаго предѣла.

ПУБЛИЧ. БИБЛІОТ.

тогда, когда нормальное давленіе на эти направляющія измѣняетъ свое направленіе. Точки, въ которыхъ происходитъ это измѣненіе и связанный съ нимъ переходъ крейцкопфа съ одной направляющей на другую, легко опредѣляются изъ діаграммы нормальныхъ давленій, какъ это показано напр. на фиг. 6, табл. 26. Въ горизонтальныхъ машинахъ измѣненіе направленія нормальнаго давленія происходитъ очевидно тамъ, гдѣ кривая нормальныхъ давленій пересѣкаетъ горизонталь $\overline{gg'}$, которая проведена выше линіи $\overline{AA'}$ на разстояніи, равномъ (въ выбранномъ нами масштабѣ силъ) вѣсу крейцкопфа, отнесенному къ 1 cm^2 полезной площади поршня. При подобныхъ машинахъ, идущихъ на передній ходъ, давленіе или совсѣмъ не мѣняется, какъ видно изъ фиг. 6, или оно мѣняется при крайне ничтожной величинѣ угла, подъ которымъ пересѣкаются кривая нормальныхъ давленій съ прямою $\overline{gg'}$; поэтому въ такихъ машинахъ нечего бояться, что ходъ машины нарушится вслѣдствіе измѣненія давленія на направляющія. При горизонтальныхъ же машинахъ съ ходомъ назадъ, въ которыхъ нормальное давленіе (какъ было указано въ предыдущемъ параграфѣ) во время большей части хода поршня направлено кверху, (почему и соотвѣтствующая кривая почти вся проходитъ надъ прямою $\overline{AA'}$) происходитъ всегда измѣненіе давленія и перескакиваніе съ одной направляющей на другую. По взаимному наклоненію другъ къ другу кривой нормальныхъ давленій и линіи $\overline{gg'}$ можно опять вывести заключеніе о силѣ происходящаго при упомянутомъ измѣненіи удара.

Тоже самое происходитъ и въ вертикальныхъ машинахъ, въ которыхъ, однако, измѣненіе направленія давленія и переходъ съ одной направляющей на другую происходятъ въ точкахъ пересѣченія кривой нормальныхъ давленій съ линіею $\overline{AA'}$, (какъ напр. въ фиг. 6, табл. 26 [1]) въ точкахъ У и Х) потому что здѣсь нормальное давленіе на направляющія направлено горизонтально вправо или влѣво, а вѣсъ крейцкопфа направленъ вертикально внизъ.

Наконецъ, вслѣдствіе измѣненія силы, направленной по оси шатуна, могутъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ произойти удары въ главномъ подшипникѣ горизонтальной машины. О томъ происходитъ-ли измѣненіе давленія въ подшипникѣ и какимъ образомъ оно происходитъ, можно судить по измѣненію направленія равнодѣйствующей давленій на цапфу вала при различныхъ положеніяхъ кривошипа. Какъ нужно строить эту равнодѣйствующую r_1 для передняго подшипника главнаго вала было уже указано на стр. 28. Въ горизонтальныхъ машинахъ давленіе r_1 обыкновенно приходится вслѣдствіе большого вѣса маховика, направленнаго вертикально внизъ, на нижнюю половину подшипника, гдѣ оно мѣняетъ свою величину и направленіе, довольно плавно, такъ что при хорошей конструкціи и хорошемъ выполненіи въ этихъ машинахъ обыкновенно не происходитъ удара въ главномъ подшипникѣ.

На фиг. 5, табл. 26 построены [2]) для нѣкоторыхъ положеній кривошипа I, II . . . . XII при переднемъ и I′, II′ . . . . XII′ при заднемъ ходѣ поршня равнодѣйствующія давленій цапфы въ переднемъ подшипникѣ и потомъ отложены соотвѣтственно ихъ направленію отъ горизонтали, проходящей черезъ центръ вала. Такимъ образомъ получены точки 1, 2, 3 . . . 12 для передняго хода и точки 1′, 2′, 3′ . . . . 12′ для задняго хода поршня. Для положенія кривошипа напримѣръ въ точкѣ III получаютъ давленіе r_1, откладывая до точки p отъ упомянутой горизонтали черезъ центръ вала книзу часть g_1 вѣса маховика, приходящуюся на передній подшипникъ (и отнесенную на 1 cm^2 полезной площади поршня), и откладывая далѣе $\overline{py}$, равную соотвѣтственной части $\overline{d_1}$, натяженія ремня, каната и т. п и $\overline{y3}$, равное соотвѣтственной части $S\frac{a+c}{c}$ силы, направленной по оси шатуна.

Крайнія точки, между которыми колеблется равнодѣйствующая давленій цапфы въ переднемъ подшипникѣ, суть точка 3 для передняго хода, точка 3′ для задняго хода поршня.

Въ вертикальныхъ машинахъ получаютъ приблизительно величину равнодѣйствующаго давленія цапфы на отдѣльныя подшипники, направленнаго въ этомъ случаѣ почти вертикально внизъ, прибавляя къ величинѣ приходящейся на разсматриваемый подшипникъ части равнодѣйствующаго горизонтальнаго давленія соотвѣтствующую часть вѣса маховика, въ случаѣ хода поршня внизъ и отнимая эту величину, въ случаѣ хода его вверхъ. Такимъ образомъ кривая равнодѣйствующихъ давленій цапфы имѣетъ почти тотъ-же видъ, какъ и кривая равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій (напр. фиг. 3, табл. 27) и изъ нея видно, что въ вертикальныхъ машинахъ гораздо легче можетъ произойти измѣненіе направленія давленія и ударъ въ подшипникахъ, чѣмъ въ горизонтальныхъ. Во всякомъ случаѣ уголъ наклоненія кривой давленія въ мѣстѣ измѣненія давленія къ оси абсциссъ опять можетъ служить мѣрою для силы послѣдующаго удара.

Далѣе спокойный ходъ машины можетъ нарушиться **колебаніями**, вызванными въ машинѣ движущеюся взадъ и впередъ массою штангъ. Въ этомъ лучше всего можно убѣдиться по Радингеру [1]) слѣдующимъ образомъ.

При ходѣ поршня слѣва на право (фиг. 24 текста) на заднюю крышку цилиндра въ противоположномъ направленіи дѣйствуетъ полное давленіе пара, между тѣмъ какъ на поршень, въ направленіи движенія, это давленіе дѣйствуетъ вначалѣ уменьшенное, а въ концѣ увеличенное на величину силы инерціи, развивающейся при ускореніи массы штангъ. Послѣдняя, слѣдовательно, всегда равна по величинѣ и направленію разности между давленіемъ на крышку цилиндра и на поршень. Въ первую половину хода поршня слѣва на право, когда давленіе на крышку цилиндра преобладаетъ, упомянутая разность направлена въ противоположную сторону и стремится перемѣстить въ ту же сторону центръ тяжести всей машины. Во вторую часть того-же хода поршня, когда преобладаетъ давленіе на поршень надъ давленіемъ на крышку цилиндра, разность между обоими давленіями, какъ и давленіе силы инерціи, направлена слѣва на право и стремится, слѣдовательно, перемѣстить въ томъ же направленіи центръ тяжести машины. При обратномъ ходѣ поршня происходитъ явленіе, соотвѣтствующее вышеописанному.

Указанныя перемѣщенія центра тяжести и всей машины обнаружатся, если ее подвѣсить на канатахъ или цѣпяхъ въ неподвижной точкѣ, въ видѣ маятника (фиг. 24 текста). Въ такомъ случаѣ машина

---

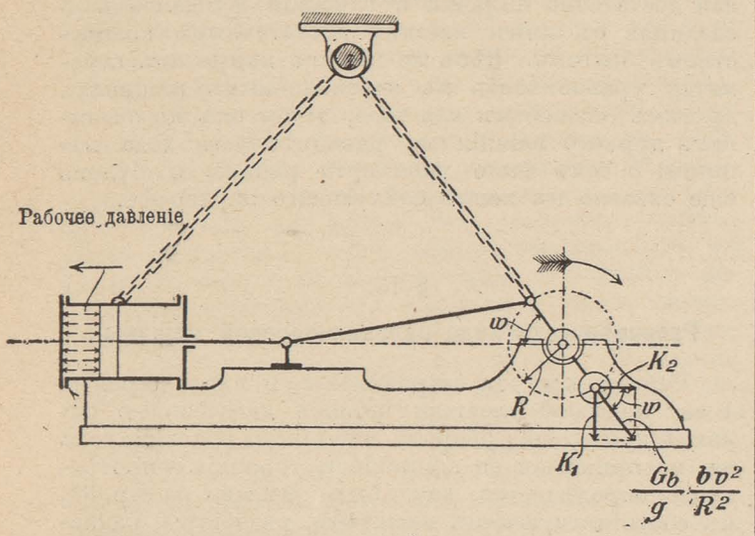
[1]) Въ случаѣ если эта діаграмма относится къ вертикальной машинѣ.

[2]) По Wehage, „Ueber den ruhigen Gang der Dampfmaschinen“, Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1884.

[1]) Радингеръ. Быстроходныя паровыя машины, имѣется въ русс. переводѣ.

при переднемъ ходѣ поршня качнулась бы сперва влѣво, а потомъ, по окончаніи этого колебанія—вправо; при заднемъ ходѣ имѣло бы мѣсто обратное. Въ быстроходныхъ легкихъ локомобиляхъ также обнаруживаются эти явленія, если только треніе колесъ или другое препятствіе не мѣшаетъ возможнымъ перемѣщеніямъ. Въ неподвижныхъ паровыхъ машинахъ указаннымъ колебаніямъ всей

Фиг. 24.



машины препятствуютъ фундаментные болты; въ этомъ случаѣ она стремится только скользить по фундаменту взадъ и впередъ.

Въ вертикальныхъ машинахъ разность между давленіями на крышку и на поршень, равная по величинѣ и направленію соотвѣтствующему давленію силы инерціи, то увеличиваетъ, то уменьшаетъ давленіе, производимое направленнымъ вертикально внизъ собственнымъ вѣсомъ машины; увеличиваетъ, когда упомянутая разность направлена внизъ, уменьшаетъ, когда она направлена вверхъ. Вслѣдствіе этого центръ тяжести такой машины имѣетъ стремленіе подпрыгивать вверхъ и внизъ.

Чтобы уничтожить вредное вліяніе массы движущаго механизма на спокойный ходъ машины можно рекомендовать **въ горизонтальныхъ машинахъ съ большою скоростью уравновѣшивать эту массу.** Это достигается главнымъ образомъ устройствомъ противовѣса надлежащей величины, который располагается въ плоскости кривошипа, причемъ при шатунѣ безконечной длины это уравновѣшиваніе будетъ совершенное, при конечной же длинѣ шатуна, почти полное. Противовѣсъ для достиженія указанной цѣли долженъ, очевидно, при всякомъ положеніи поршня проявить горизонтальную силу, которая равна по величинѣ силѣ инерціи массы штангъ, но имѣетъ противоположное направленіе.

Если $G_П$ означаетъ вѣсъ противовѣса въ kg, b разстояніе центра тяжести его отъ центра окружности, описываемой цапфою кривошипа, то масса его, отнесенная къ радіусу кривошипа, будетъ

$$M_П = \frac{G_П}{g}\frac{b}{R},$$

гдѣ g есть ускореніе силы тяжести. При скорости v пальца кривошипа въ данномъ случаѣ развивается центробѣжная сила

$$M_П \frac{v^2}{R} = \frac{G_П}{g}\frac{bv^2}{R^2}.$$

Если теперь разсмотрѣть горизонтальную составляющую K_2 (фиг. 24 текста) этой центробѣжной силы, то мы увидимъ, что она будетъ равна соотвѣтствующему давленію силы инерціи массы движущаго механизма и ему прямо противоположна, если при **безконечной длинѣ шатуна**

$$G_П = G\frac{R}{b}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 31$$

гдѣ G обозначаетъ, какъ и раньше, вѣсъ штангъ.

Если, напримѣръ, кривошипъ повернулся на уголъ ω (фиг. 24 текста), то при безконечной длинѣ шатуна изъ уравненія 29 давленіе силы инерціи на 1 cm² полезной площади поршня будетъ $p_o\frac{G}{gO}$, а полное давленіе этой силы будетъ $p_o\frac{G}{g} = \frac{v^2}{R}\cos\omega\frac{G}{g}$ и направлено справа на лѣво. Противовѣсъ же, который повернулся на уголъ ω изъ праваго мертваго положенія, развиваетъ въ горизонтальномъ направленіи силу $K_2 = M_П\frac{v^2}{R}\cos\omega = \frac{G_П}{g}\frac{bv^2}{R^2}\cos\omega$, которая направлена слѣва на право. Для того, чтобы обѣ силы уравновѣшивались, должно быть $\frac{v^2}{R}\cos\omega\frac{G}{g} = \frac{G_П}{g}\frac{bv^2}{R^2}\cos\omega$,

$$\text{или } G_П = G\frac{R}{b}$$

Уравненіе 31 можно также написать въ такомъ видѣ

$$\frac{G_П}{g}\frac{b}{R} = M_П = \frac{G}{g}$$

откуда можно вывести слѣдующее:

Если, при безконечно длинномъ шатунѣ, масса противовѣса, отнесенная къ радіусу кривошипа R, равна по величинѣ массѣ штангъ, то происходитъ полное уравновѣшеніе въ упомянутомъ смыслѣ.

При **конечной длинѣ шатуна** между тѣмъ противовѣсъ, разсчитанный по уравненію 31, не вполнѣ уравновѣсилъ бы массу движущаго механизма, а именно не уравновѣсилась бы часть

$$\pm\frac{v^2}{R}\frac{R}{L}\cos 2\omega\frac{G}{g}$$

давленія силы инерціи.

Предыдущее выраженіе представляетъ величину, на которую давленіе силы инерціи при конечной длинѣ шатуна (уравненіе 30) больше или меньше того же давленія при безконечной длинѣ шатуна. Эта неуравновѣшенная часть давленія силы инерціи достигаетъ, очевидно, своего наибольшаго значенія при ω = 0 и 180°, т. е. въ обоихъ мертвыхъ положеніяхъ, и будетъ равно

$$\pm\frac{v^2}{R}\frac{R}{L}\frac{G}{g}$$

и составляетъ $1+\frac{L}{R}$ часть полнаго давленія силы инерціи

$$\frac{v^2}{R}\left(1\pm\frac{R}{L}\right)\frac{G}{g}.$$

въ этихъ положеніяхъ кривошипа. При $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$ не было бы уравновѣшено противовѣсомъ, разсчитаннымъ по уравненію 31, самое большее, 1 + 5 = 6-тая часть полнаго давленія силы инерціи.

Такъ какъ полное уравновѣшиваніе массы движущаго механизма въ горизонтальныхъ машинахъ, при конечной длинѣ шатуна, невозможно при помощи противовѣса, разсчитаннаго изъ уравненія 31, то Радингеръ (Radinger) совѣтуетъ дѣлать его, принимая во вниманіе изслѣдованную ниже другую (вертикальную) составляющую K_1 центробѣжной силы, равнымъ 0,5 до 0,8 противовѣса, разсчитаннаго по уравненію 31, т. е. дѣлать

$$G_{II} = 0{,}5\,G\frac{R}{b} \text{ до } 0{,}8\,G\frac{R}{b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 32$$

Такъ какъ, далѣе, противовѣсъ нельзя прикрѣпить въ плоскости, описываемой пальцемъ кривошипа, то онъ замѣняется двумя противовѣсами, расположенными въ параллельныхъ ей плоскостяхъ. Дѣйствіе обоихъ этихъ противовѣсовъ, разумѣется, должно быть одинаково съ дѣйствіемъ одного, расположеннаго въ плоскости кривошипа; это будетъ какъ и въ случаѣ, когда сила разлагается на двѣ параллельныя составляющія, имѣть мѣсто, если:

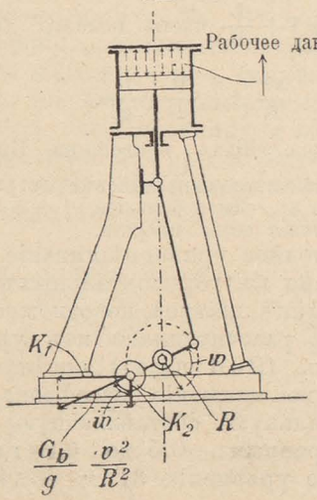
1. алгебраическая сумма горизонтальныхъ составляющихъ центробѣжныхъ силъ обоихъ противовѣсовъ равна центробѣжной силѣ противовѣса, разсчитаннаго въ предположеніи, что онъ находится въ плоскости кривошипа и

2. если алгебраическая сумма статическихъ моментовъ всѣхъ трехъ горизонтальныхъ составляющихъ относительно какой либо точки равна нулю.

Вторая составляющая (фиг. 24 текста) $K_1 = \frac{G_{II}}{g}\frac{bv^2}{R^2}\sin\omega$, не принимающая участія въ уравновѣшиваніи давленія силы инерціи, обыкновенно не имѣетъ въ горизонтальныхъ машинахъ, гдѣ она направлена вертикально, вреднаго вліянія на спокойный ходъ машины. Пока эта сила направлена книзу, она увеличиваетъ давленіе вала на нижніе вкладыши подшипниковъ, пока же она направлена кверху, имѣя стремленіе прижимать валъ къ верхнимъ вкладышамъ, ея вредное вліяніе, при значительномъ вѣсѣ маховика, будетъ совершенно уничтожено. Составляющая K_1 равна нулю въ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа ($\omega = 0°$) и имѣетъ свое наибольшее значеніе $\frac{G_b}{g}\frac{bv^2}{R^2}$, когда онъ направленъ перпендикулярно къ направленію хода поршня.

Въ вертикальныхъ же машинахъ составляющая K_1, направленная въ данномъ случаѣ (фиг. 25 текста), горизонтально, между тѣмъ какъ составляющая K_2, уравновѣшивающая давленіе силы инерціи, направлена вертикально, имѣетъ вредное вліяніе на спокойный ходъ машины, такъ какъ она стремится, перемѣщая центръ тяжести машины въ горизонтальномъ направленіи, сообщать ей, подобно давленію силы инерціи горизонтальной машинѣ, колебанія. Поэтому въ вертикальныхъ машинахъ не уравновѣшиваютъ качающіяся массы, а стремятся уменьшить давленіе ихъ силы инерціи, дѣлая штанги по возможности легче. Также придаютъ такимъ машинамъ значительный вѣсъ, чтобы предупредить отрываніе машины отъ фундамента, которое можетъ имѣть мѣсто подъ дѣйствіемъ кверху направленной разности давленій на крышку цилиндра и на поршень. Такимъ образомъ даже въ самыхъ неблагопріятныхъ случаяхъ можно уничтожить вредное вліяніе давленія силы инерціи, устраивая достаточно широкій и глубокій фундаментъ и соединяя съ нимъ машину достаточнымъ количествомъ болтовъ. **Вѣсъ** же штангъ напротивъ, стремятся уравновѣсить въ вертикальныхъ машинахъ другимъ способомъ для того, чтобы онъ не оказывалъ дурного вліянія на равномѣрность хода машины, о чемъ было упомянуто раньше и будетъ еще сказано въ концѣ слѣдующаго параграфа.

Фиг. 25.



§ 13.

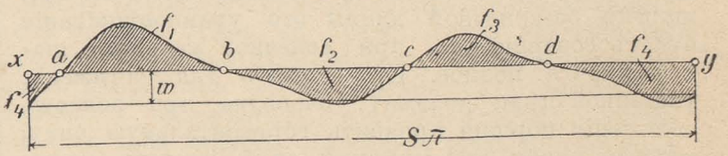
Равномѣрность хода одноцилиндровой машины.

Работа, которая затрачивается приходящеюся на 1 см² полезной площади поршня касательною силою t при одномъ оборотѣ машины на вращеніе вала ея, не принимая во вниманіе постороннія сопротивленія, опредѣляется, какъ было указано на стр. 30, въ соотвѣтствующемъ масштабѣ, разностью площадей, расположенныхъ надъ и подъ осью абсциссъ діаграммы касательныхъ силъ. Принимая, какъ это обыкновенно дѣлаютъ, сопротивленіе w, которое нужно преодолѣть на главномъ валу, постояннымъ (причемъ постороннія сопротивленія не принимаются во вниманіе), мы можемъ принять w за высоту прямоугольника имѣющаго одинаковое основаніе съ діаграммою касательныхъ силъ ($S_\pi = 2R\pi$), площадь котораго будетъ равна упомянутой разности площадей. Если слѣдовательно

F означаетъ разность упомянутыхъ площадей діаграммы касательныхъ силъ или равную ей площадь діаграммы рабочихъ давленій (напр. a b c d e f a на фиг. 4, табл. 26) въ mm² и

S_π (=oi на фиг. 7, таб. 26) означаетъ длину оси въ mm діаграммы касательныхъ силъ, то преодолѣваемое машиною сопротивленіе, отнесенное къ радіусу кривошипа R, будетъ

Фиг. 26.



$$w = \frac{F}{S_\pi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 33$$

Пока такимъ образомъ на фиг. 26 текста, на которой линія сопротивленія $\overline{xy}$ проведена параллельно оси діаграммы въ разстояніи w отъ нея, измѣняющаяся касательная сила t больше сопротивленія w, она очевидно будетъ дѣйствовать ускоряющимъ образомъ на вращающуюся массу вала, между тѣмъ какъ сопротивленіе w будетъ замедлять движеніе этой массы пока оно будетъ больше касательной силы t. Отъ a до b и отъ c до d скорость вращенія главнаго вала будетъ увеличиваться, отъ b до c и отъ d до a — уменьшаться. Поэтому

главный валъ, а слѣдовательно и палецъ кривошипа, никоимъ образомъ не двигаются съ равномѣрною скоростью, какъ то обыкновенно принимаютъ. Напротивъ, какъ видно изъ фиг. 26 текста, эта скорость два раза увеличивается и два раза уменьшается во время одного оборота кривошипа. Такимъ образомъ эта скорость во время пути da въ точкѣ a будетъ наименьшая, въ точкѣ d наибольшая, во время же пути bc она будетъ наибольшая въ точкѣ c и. т. д. Благодаря маховику, который составляетъ самую значительную вращающуюся массу на главномъ валу, упомянутыя колебанія въ скорости вращенія можно уменьшить до желаемой степени, но устранить ихъ совершенно—невозможно. Пока касательная сила больше сопротивленія на главномъ валу, масса маховика поглощаетъ получающійся вслѣдствіе этого избытокъ работы, причемъ увеличивается его живая сила, которая затѣмъ, когда касательная сила меньше сопротивленія на главномъ валу и не въ состояніи преодолѣть послѣднее, отнимается отъ маховика и идетъ на преодолѣваніе этого сопротивленія. Поглощенныя массою маховика избытки работы, на фиг. 26 текста, изображаются площадями f_1 и f_3, отнятыя же отъ маховика запасы работы—площадями f_2 и f_4. Если f означаетъ наибольшую изъ четырехъ площадей f_1, f_2, f_3 и f_4 въ mm^2 (на эту именно площадь необходимо обратить вниманіе, такъ какъ изображаемая ею работа вызываетъ наибольшія колебанія въ скорости машины),

a—работу въ mkg, которая соотвѣтствуетъ въ выбранномъ нами масштабѣ 1 mm^2 площади f,

v—среднюю, v_{max} — наибольшую, v_{min} — наименьшую скорости на окружности пальца кривошипа въ m въ секунду, соотвѣтствующія наибольшей работѣ, поглощенной или отданной маховикомъ,

$M_м$ отнесенную къ радіусу кривошипа R массу маховика

то должно быть $af0 = \frac{1}{2} M_м \left(v^2_{max} - v^2_{min} \right)$,

т. е. поглощенная маховикомъ или отнятая у него работа должна быть равна увеличенію или уменьшенію живой силы его. Если далѣе

$$\delta = \frac{v_{max} - v_{min}}{v} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 34$$

есть коэфиціентъ неравномѣрности, т. е. отношеніе наибольшаго колебанія въ скорости пальца кровошипа къ средней скорости его, во время оборота, и если положимъ

$$v = \frac{v_{max} + v_{min}}{2},$$

то принимая во вниманіе, что

$$\delta v = \frac{v^2_{max} - v^2_{min}}{2v} \text{ и } \delta v^2 = \frac{v^2_{max} - v^2_{min}}{2},$$

получимъ изъ раньше указанаго равенства

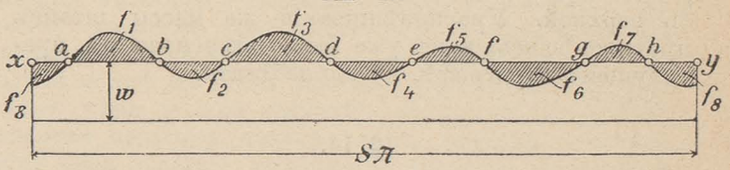
$$af0 = M_м \delta v^2 \quad . \quad . \quad 35$$

На фиг. 26 текста линія сопротивленія $\overline{xy}$ пересѣкаетъ кривую касательныхъ силъ въ четырехъ точкахъ, а именно въ a, b, c и d. Если же обѣ эти линіи пересѣкаются больше чѣмъ въ четырехъ точкахъ, какъ напр. въ діаграммѣ, изображенной на фиг. 27 текста, то величина площади f, служащей мѣрою наибольшему измѣненію скорости машины, опредѣлится слѣдующимъ образомъ. Составляютъ алгебраическія суммы послѣдовательныхъ площадей $f_1, f_2, f_3 \ldots\ldots$, причемъ площади, которыя изображаютъ избытокъ работы касательной силы, берутся со знакомъ плюсъ, площади же изображающія работу, отданную маховикомъ, со знакомъ минусъ и получаютъ слѣдовательно по порядку $+f_1$, $+f_1 - f_2$, $+f_1 - f_2 + f_3$, $+f_1 - f_2 + f_3 - f_4$ и т. д. и наконецъ $+f_1 - f_2 + f_3 - f_4 + f_5 - f_6 + f_7 - f_8$. Если теперь положимъ, что f′ есть наибольшая положительная, f″—наименьшая отрицательная величина изъ этого ряда, то согласно Майеру [1]) будетъ

$$f = f' + f''$$

причемъ нужно брать абсолютныя величины f′ и f″.

Фиг. 27.



Изъ уравненія 35 видно, что

1. δ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ M_m т. е. чѣмъ больше масса маховика, тѣмъ меньше будутъ колебанія въ скорости, тѣмъ равномѣрнѣе будетъ ходъ машины. Но полное устраненіе колебаній въ скорости (которое можетъ быть только при условіи δ=0), посредствомъ маховика невозможно, такъ какъ тогда его масса M_m должна была бы быть безконечно большою.

2. δ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ скорость v, т. е. большая скорость благопріятна для равномѣрности хода машины или, чѣмъ болѣе v, тѣмъ менѣе при одной и той же массѣ маховика колебанія въ скорости, тѣмъ менѣе, при одномъ и томъ же коэфиціентѣ неравномѣрности, масса маховика.

3. δ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше будетъ f.

Это значитъ: чѣмъ сильнѣе отклоняется кривая касательныхъ силъ отъ линіи постояннаго сопротивленія на главномъ валу машины, тѣмъ значительнѣе должна быть при одномъ и томъ же коэфиціентѣ неравномѣрности масса маховика или тѣмъ неравномѣрнѣе будетъ ходъ машины при одной и той-же массѣ маховика. Въ діаграммѣ же касательныхъ силъ площади, лежащія надъ и подъ линіею постояннаго сопротивленія на главному валу, будутъ, какъ легко можно убѣдиться построеніемъ этой діаграммы для различныхъ степеней наполненія и сжатія, тѣмъ. больше, чѣмъ меньше наполненіе и чѣмъ больше сжатіе. Поэтому равномѣрность хода возрастаетъ съ увеличеніемъ наполненія и съ уменьшеніемъ сжатія или, при одномъ и томъ-же коэффиціентѣ неравномѣрности, малое наполненіе и высокое сжатіе требуютъ болѣе тяжелаго маховика, чѣмъ большое наполненіе и малое сжатіе. Далѣе при одномъ и томъ дѣйствіи машины наибольшая изъ площадей f_1, f_2, f_3 и т. д. будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ менѣе будетъ разница между работою машины, производимою при переднемъ и при заднемъ ходѣ. Поэтому въ горизонтальныхъ машинахъ по возможности одинаковая продолжительность однихъ и тѣхъ же періодовъ парораспредѣленія, слѣдовательно равное наполненіе для обѣихъ сторонъ поршня, является выгоднымъ для равномѣрности хода. Въ вертикальныхъ машинахъ, въ которыхъ вѣсъ штангъ усиливаетъ движущее давленіе пара при ходѣ поршня внизъ и ослабляетъ его при обратномъ ходѣ, благопріятное вліяніе на равномѣрность хода оказываетъ уравновѣши-

[1]) Графическій пріемъ опредѣленія вѣса маховика von Karl Mayer, Zeits. deutsch. Ingenieure, Jahrgang 1889.

ваніе движущихся вверхъ и внизъ частей. Это уравновѣшиваніе достигается или тѣмъ, что дѣлаютъ верхній конецъ поршневого штока толще чѣмъ нижній, благодаря чему полезная площадь поршня будетъ меньше съ верхней стороны его, чѣмъ съ нижней, или тѣмъ, что съ нижней стороны поршня дѣлаютъ наполненіе больше, чѣмъ съ верхней. Уравновѣшиванія же массы штангъ противовѣсомъ, какъ уже было объяснено въ предыдущемъ параграфѣ, нужно избѣгать.

§ 14.

Расходъ пара въ паровыхъ машинахъ. Вліяніе сжатія и паровой рубашки на расходъ пара въ одноцилиндровой машинѣ.

Расходъ пара въ каждой паровой машинѣ состоитъ главнымъ образомъ изъ трехъ частей, а именно:

1. изъ полезнаго расхода пара, это есть то количество пара, которое поступаетъ подъ поршень до начала расширенія,

2. изъ потерь пара при впускѣ, называемыхъ также Hrabàk'омъ потерями отъ охлажденія, происхожденіе которыхъ уже было объяснено въ § 10, и

3. изъ потерь, происходящихъ отъ неплотности поршня, сальниковъ, парораспредѣлительныхъ органовъ и т. д., называемыхъ потерями черезъ зазоры или потерями отъ пропусканія.

Сжатіе имѣетъ вліяніе на полезный расходъ пара, а паровая рубашка на потери отъ охлажденія слѣдующимъ образомъ.

Къ полезному расходу пара слѣдуетъ отнести не только то количество пара, которое поступаетъ подъ поршень въ продолженіе періода наполненія, слѣдовательно во время хода поршня S_1 до отсѣчки пара (фиг. 28 текста), но и то количество, которое потребно для заполненія вреднаго пространства паромъ съ давленіемъ при впускѣ. Если въ концѣ сжатія подъ поршнемъ давленіе пара было p_3 и если MO есть объемъ вреднаго пространства, то послѣднее количество пара будетъ:

$$MO\left(1-\frac{p_2}{p}\right)$$

Если смѣшиваются два количества пара объема v_1 и давленія p_1 и объема v_2 и давленія p_2, то давленіе p' смѣси съ достаточною точностью опредѣлится изъ равенства.

$$v_1 p_1 + v_2 p_2 = (v_1 + v_2) p'.$$

Въ данномъ случаѣ $v_1 = v_1 + v_2 = MO$, $p_1 = p_3$ и $p_2 = p' = p$, откуда опредѣлится количество пара v_2, которое должно заполнить вредное пространство

$$v_2 = \frac{MO\,(p - p_3)}{p} = MO\left(1-\frac{p_3}{p}\right).$$

Паръ, наполняющій вредное пространство, ни въ какомъ случаѣ не можетъ быть использованъ съ такою же выгодою, какъ паръ, поступающій въ цилиндръ во время наполненія S_1, такъ какъ первый паръ работаетъ подъ поршнемъ только расширеніемъ, второй же и полнымъ давленіемъ, и расширеніемъ. Поэтому выгодно, чтобы то количество пара, которое должно заполнить мертвое пространство такимъ образомъ, чтобы въ немъ было давленіе свѣжаго пара p, было по возможности меньше. Вышеприведенное выраженіе для этого количества показываетъ, что оно будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ больше будетъ давленіе p_3 въ концѣ сжатія, чѣмъ, слѣдовательно, сильнѣе мы будемъ сжимать паръ передъ поршнемъ. Такимъ образомъ сжатіе даетъ намъ возможность смягчить вредное вліяніе мертваго пространства на полезный расходъ пара, и даже совсѣмъ его уничтожить, если довести сжатіе до давленія при впускѣ p. Въ послѣднемъ случаѣ, который на основаніи сказаннаго на стран. 25 недопустимъ, то количество пара, которое слѣдовало бы дополнить въ мертвое пространство, дабы давленіе его довести до давленія p, было бы равно нулю и машина работала бы по отношенію къ полезному расходу пара, какъ таковая безъ мертваго пространства.

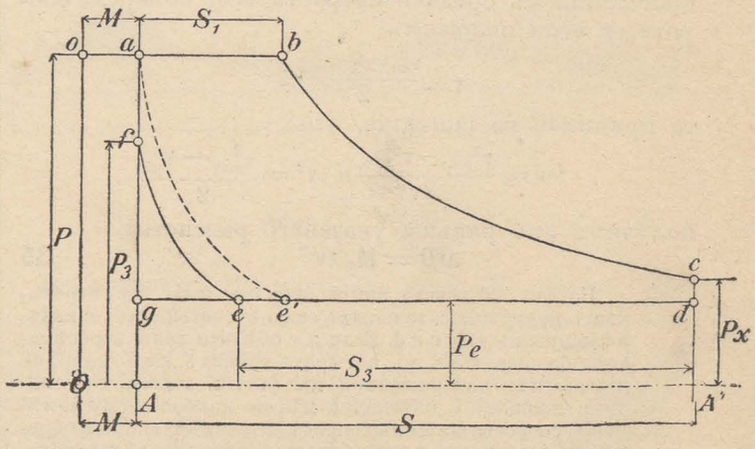
Хотя при машинѣ, работающей со сжатіемъ пара для заполненія вреднаго пространства и приходится ввести пара меньше, чѣмъ въ машинѣ безъ сжатія, это уменьшеніе расхода пара нельзя однако считать экономіей пара, происшедшей отъ сжатія. Это послѣднее требуетъ затраты извѣстной работы и окупается, на самомъ дѣлѣ, уменьшеніемъ площади индикаторной діаграммы, т. е. уменьшеніемъ работы, доставляемой машиною.

Далѣе при высокомъ сжатіи кривошипъ машины отдаетъ опредѣленное количество работы назадъ поршню, дѣлая двойную затрату на преодолѣваніе тренія, почему уменьшается коэфиціентъ полезнаго дѣйствія машины. Оба эти обстоятельства могутъ не только уравновѣсить иногда пользу, приносимую сжатіемъ, но могутъ ее даже превысить и въ такомъ случаѣ высокое сжатіе, сдѣлавшись неэкономичнымъ, могло бы быть допустимо только тогда, когда оно требовалось бы для спокойствія хода машины, котораго согласно сказанному на стран. 25, нужно стараться достигнуть во что бы то ни стало.

Работа, которую нужно затратить на сжатіе пара, если оно доводится до давленія p свѣжаго пара, приблизительно равна работѣ, которую совершаетъ, при отсутствіи въ машинѣ сжатія, вступающій во вредное пространство свѣжій паръ своимъ расширеніемъ. Въ этомъ можно легко убѣдиться вычисленіемъ. Обѣ эти работы будутъ совершенно равны, если при упомянутомъ сжатіи $p_3 = p$ расширеніе въ цилиндрѣ идетъ до давленія p_e мятаго пара, причемъ индикаторная діаграмма заканчивается остріемъ, и если сжатіе и расширеніе происходятъ по одному и тому же закону. Но такъ какъ оба условія обыкновенно точно не исполняются, то обѣ работы только приблизительно равны, и неблагопріятное вліяніе вреднаго пространства, если не считать вреднаго вліянія на охлажденіе свѣжаго пара, можно считать почти совершенно устраненнымъ, такъ какъ при $p = p_3$, на основаніи раньше сказаннаго, его не приходится заполнять свѣжимъ паромъ.

Если не принимать во вниманіе то обстоятельство, что при высокой степени сжатія потребная

Фиг. 28.



для этого работа можетъ вызвать двойныя потери на треніе, то выгода, получаемая въ какой либо машинѣ отъ сжатія, опредѣляется слѣдующимъ образомъ. На фиг. 28 текста a b c d e f a есть

индикаторная діаграмма машины, работающей при сжатіи, доведеннымъ до давленія p_3; пусть площадь этой діаграммы будетъ f_1, a a b c d g a пусть будетъ діаграмма той же машины, работающей при томъ-же наполненіи, но безъ сжатія. Если черезъ f_2 обозначимъ площадь f e g f, представляющая собою работу, которую, въ первомъ случаѣ, нужно затратить на сжатіе, то площадь діаграммы a b c d g a будетъ равна $f_1 + f_2$. Когда машина работаетъ со сжатіемъ, то, принимая во вниманіе уже выше опредѣленное количество пара, которое нужно добавить во вредное пространство, для повышенія въ немъ давленія до p, полный расходъ пара, приходящійся при одномъ оборотѣ на каждый cm^2 полезной площади поршня O съ одной стороны его будетъ

$$M\left(1 - \frac{p_3}{p}\right) + S_1,$$

а работа, которая соотвѣтствуетъ 1 cm^2 площади діаграммы a b c d e f a, требуетъ количество пара

$$\frac{M\left(1 - \frac{p_3}{p}\right) + S_1}{f_1}.$$

Соотвѣтственнымъ образомъ при отсутствіи сжатія послѣднее количество пара будетъ

$$\frac{M\left(1 - \frac{p_e}{p}\right) + S_1}{f_1 + f_2}.$$

Отношеніе обоихъ предыдущихъ количествъ, а именно

$$\frac{M\left(1 - \frac{p_3}{p}\right) + S_1}{M\left(1 - \frac{p_e}{p}\right) + S_1} \cdot \frac{f_1 + f_2}{f_1}$$

очевидно представитъ отношеніе полезныхъ расходовъ пара, расходуемыхъ при одинаковой величинѣ работы машины со сжатіемъ и машины безъ сжатія.

Если предположить, что расширеніе и сжатіе пойдутъ по закону Маріотта, то, какъ будетъ показано въ слѣдующей части, согласно принятымъ на фиг. 28 текста обозначеніямъ, будемъ имѣть

$$f_1 = S_1\, p + (M + S_1)\, p \ln \frac{M+S}{M+S_1} - \left(S_3\, p_e + M\, p_3 \ln \frac{p_3}{p_e}\right),$$

$$f_2 = M\, p_3 \ln \frac{p_3}{p_e} - (S - S_3)\, p_e,$$

причемъ можно положить что $(M + S - S_3)\, p_e = M\, p_3$ или $S_3\, p_e = (M + S)\, p_e - M p_3$ и $(S - S_3)\, p_e = M p_3 - M p_e$ Если теперь, напримѣръ,

$S_1 = 0{,}12\, S$, $M = 0{,}1S$, $p_e = 0{,}17p$ (при $p = 7$, $p_e = \sim 1{,}2$)
$p_3 = 0{,}75p$, то будетъ

$$f_1 = \left\{0{,}12 + 0{,}22 \ln \frac{1{,}1}{0{,}22} - \left(1{,}1.\,0{,}17 - 0.1.\,0{,}75 + \right.\right.$$
$$\left.\left. + 0{,}1.\,0{,}75 \ln \frac{0{,}75}{0{,}17}\right)\right\} Sp = 0{,}2508\, Sp,$$

$$f_2 = \left(0{,}1.\,0{,}75 \ln \frac{0{,}75}{0{,}17} - 0{,}1.\,0{,}75 + 0{,}1.\,0{,}17\right) Sp = 0{,}0533\, Sp,$$

$$f_1 + f_2 = 0{,}3041 Sp,$$

$$M\left(1 - \frac{p_3}{p}\right) + S_1 = \left\{0{,}1\ (1 - 0{,}75) + 0{,}12\right\} S = 0{,}145\, S.$$

$$M\left(1 - \frac{p_e}{p}\right) + S_1 = \left\{0{,}1\ (1 - 0.17) + 0{,}12\right\} S = 0{,}203\, S,$$

откуда и получимъ, что

$$\frac{M\left(1 - \frac{p_3}{p}\right) + S_1}{M\left(1 - \frac{p_e}{p}\right) + S_1} \cdot \frac{f_1 + f_2}{f_1} = \frac{0{,}145}{0{,}203} \cdot \frac{0{,}3041}{0{,}2508} = \sim 0.866,$$

т. е. машина, работающая съ сжатіемъ пара при вышеприведенномъ предположеніи, доставляя ту-же работу, что и машина работающая безъ сжатія, расходуетъ 0,866-ую часть пара, который расходуется послѣднею машиною.

Относительно того, какое вліяніе имѣетъ сжатіе на потери отъ охлажденія, уже было сказано на стран. 25, что безразлично, отнимается ли количество теплоты, потребное для нагрѣванія охлаждающихъ поверхностей, отъ сжимаемаго пара во время сжатія или отъ свѣжаго пара при впускѣ; потери въ обоихъ случаяхъ почти одинаковы. Поэтому сжатіе не уменьшаетъ эти потери, а скорѣе можетъ ихъ увеличить по той причинѣ, что при одной и той же силѣ машина, работающая со сжатіемъ пара и при каждомъ ходѣ поршня доставляющая меньшую работу, чѣмъ машина работающая безъ сжатія, получаетъ бо́льшіе размѣры и слѣдовательно бо́льшія поверхности охлажденія, чѣмъ послѣдняя.

Здѣсь необходимо указать на то, что относительно вліянія сжатія на потери отъ охлажденія неоднократно встрѣчаются мнѣнія совершенно противоположныя вышеприведенному, т. е. сжатію приписывается уменьшеніе этихъ потерь. И дѣйствительно, опыты, произведенные проф. Дёрфелемъ (Doerfel) надъ машиною Корлисса съ высокимъ сжатіемъ и паровою рубашкою, показали уменьшеніе упомянутыхъ потерь. Но, при этихъ опытахъ, общій расходъ пара не уменьшился вслѣдствіе большой затраты работы на сжатіе; также, при отсутствіи прогрѣва стѣнокъ цилиндра, нѣкоторое повышеніе ихъ температуры вслѣдствіе сжатія не могло уменьшить потери отъ охлажденія свѣже вступающаго пара. Во всякомъ случаѣ, вслѣдствіе крайне скуднаго запаса опытовъ, нельзя пока съ достовѣрностью установить благопріятное вліяніе сжатія въ упомянутомъ смыслѣ.

При примѣненіи **паровой рубашки**, напротивъ, въ большинствѣ случаевъ замѣчается уменьшеніе охлажденія пара и общаго расхода его. Хотя до сихъ поръ еще не вполнѣ выяснилось, какимъ образомъ происходитъ это дѣйствіе паровой рубашки, но, во всякомъ случаѣ, вліяніе ея можно объяснить слѣдующимъ образомъ.

Какъ уже было сказано на стран. 25, температуру стѣнокъ цилиндра, не принимая во вниманіе понятныя колебанія при отсутствіи паровой рубашки, можно принимать какъ среднюю между температурами свѣжаго и мятаго пара, такъ какъ эти стѣнки поочередно приходятъ въ соприкосновеніе то съ тѣмъ, то съ другимъ. Вслѣдствіе этого свѣжій паръ при впускѣ, а также и въ началѣ расширенія осаждается въ видѣ тумана до тѣхъ поръ, пока его температура остается выше температуры стѣнокъ цилиндра, между тѣмъ какъ при дальнѣйшемъ расширеніи, а также и при впускѣ пара, когда температура его ниже температуры стѣнокъ цилиндра, часть осѣвшей воды вновь испаряется. Во время перваго процесса, который мы назвали охлажденіемъ пара при впускѣ паръ отдавалъ теплоту стѣнкамъ цилиндра, во время же послѣдняго процесса, который былъ названъ вторичнымъ испареніемъ, наоборотъ, теплота отнимается паромъ отъ стѣнокъ цилиндра. Если мы будемъ подогрѣвать цилиндръ, окруживъ его въ паровой рубашкѣ свѣжимъ паромъ, то во всякомъ случаѣ стѣнки его будутъ имѣть болѣе высокую температуру, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ. Благодаря этому съ одной стороны ограничивается, а также и кончается ранѣе, охлажденіе при впускѣ, съ другой же стороны уменьшается, а также и кончается ранѣе, вторичное испареніе. Уменьшеніе же вторичнаго испаренія, которое, какъ было сказано на стр. 23, поднимаетъ кривую расширенія и увеличиваетъ слѣдовательно работу, во всякомъ случаѣ нужно считать выгоднымъ (см. ниже), такъ какъ согласно сказанному на стр. 10 для возможно

выгоднаго коэффиціента полезнаго дѣйствія кругового процесса вся теплота должна быть подводима при наивысшей температурѣ (въ данномъ случаѣ въ періодъ впуска пара). Далѣе и во время выпуска пара нагрѣтыя стѣнки цилиндра отдаютъ уходящему мятому пару теплоту. Но происходящая отъ этого потеря не такъ значительна, для цилиндровъ съ паровою рубашкою, какъ для цилиндровъ безъ нея. Въ первомъ слѣчаѣ вторичное испареніе пара уже кончается къ началу выпуска пара, и стѣнки цилиндра въ періодъ выпуска не такъ влажны, какъ въ послѣднемъ случаѣ, когда вторичное испареніе обыкновенно продолжается и во время выпуска пара. Поэтому въ цилиндрахъ съ паровою рубашкою теплота, отдаваемая его стѣнками уходящему мятому пару преимущественно лучеиспусканіемъ, будетъ меньше, чѣмъ въ цилиндрахъ безъ паровой рубашки, въ которыхъ потеря тепла происходитъ, преимущественно, черезъ теплопроводность.

Уменьшеніе расхода свѣжаго пара, происходящее вслѣдствіе ослабленія конденсаціи его при впускѣ и производимое паровою рубашкою, ни въ какомъ случаѣ нельзя цѣликомъ принять за сбереженіе, сдѣланное послѣднею. Вслѣдствіе того, что паровая оболочка во время вторичнаго испаренія и выпуска отдаетъ пару теплоту , въ паровой рубашкѣ осѣдаетъ соотвѣтствующее количество конденсаціонной воды, которое, при обсужденіи пользы паровой рубашки, должно быть тоже принято въ разсчетъ. Во всякомъ случаѣ надо принимать мѣры къ выпуску этой воды.

Польза, приносимая паровою рубашкою, конечно ярче проявляется въ машинахъ съ значительною конденсаціею пара при впускѣ, чѣмъ въ машинахъ съ незначительною конденсаціею. По даннымъ на стран. 23, дѣйствіе паровой рубашки будетъ тѣмъ благопріятнѣе, чѣмъ сильнѣе будетъ паденіе температуры пара въ цилиндрѣ—благопріятнѣе значитъ въ машинахъ съ охлажденіемъ, чѣмъ въ машинахъ безъ охлажденія—далѣе, чѣмъ больше будутъ охлаждающія поверхности вреднаго пространства и чѣмъ влажнѣе будетъ рабочій паръ. Въ быстроходныхъ же машинахъ эта польза будетъ менѣе значительна, чѣмъ въ машинахъ съ малою скоростью.

§ 15.

Коэфиціентъ полезнаго дѣйствія и нормальная отсѣчка паровыхъ машинъ.

Пусть

N_i означаетъ индикаторную работу машины въ паровыхъ лошадяхъ, т. е. ту работу, которую паръ передаетъ въ цилиндрѣ поршню и которую можно получить изъ индикаторной діаграммы машины;

N_n — полезную (эффективную) работу машины, тоже въ паровыхъ лошадяхъ; это есть та работа, которая съ главнаго вала передается на передаточные валы и которую можно измѣрить на главномъ валу или на маховикѣ.

Тогда отношеніе

$$\eta = \frac{N_n}{N_i} \quad \ldots\ldots \quad 36$$

называется **коэфиціентомъ полезнаго дѣйствія** паровой машины, который также принято называть индикаторнымъ коэфиціентомъ полезнаго дѣйствія, въ отличіе отъ калорическаго.

Разность $N_i - N_n$ соотвѣтствуетъ той работѣ, которая затрачивается машиною на преодолѣваніе сопротивленій тренія, на удары и т. д., а также на приведеніе въ дѣйствіе холодильника и насосовъ, потребныхъ для машины. Сопротивленіе отъ тренія складывается изъ работы тренія порожняго хода машины, которая затрачивается паромъ въ цилиндрѣ при неизмѣнной скорости ея, когда машина отцѣплена отъ передачи, холодильника и пр. и изъ работы добавочнаго тренія, которая появляется при нагрузкѣ машины вслѣдствіе увеличенія давленій въ сочлененіяхъ подвижныхъ частей и ихъ направляющихъ. Если теперь (въ паровыхъ лошадяхъ) N_o будетъ работа тренія порожняго хода, которая получается изъ діаграммы, снятой съ машины, когда она не нагружена (на холостомъ ходу).

μN_n добавочная работа тренія, причемъ μ будетъ такъ называемый коэффиціентъ добавочнаго тренія,

N_c — работа, потребная для того, чтобы привести въ дѣйствіе холодильникъ и насосы, необходимые для машины, то имѣемъ соотношеніе

$$N_i - N_n = N_o + \mu N_n + N_c$$

$$\text{или } \eta = \frac{N_n}{N_i} = \frac{1}{1+\mu}\left(1 - \frac{N_o + N_c}{N_i}\right).$$

Если вмѣсто работъ N_i, N_n, N_o и N_c подставить въ послѣднее равенство пропорціональныя имъ принимаемыя за постоянныя среднія давленія пара p_i, p_n, p_o и p_c, доставляющія, при той же скорости соотвѣтственныя работы, то будетъ

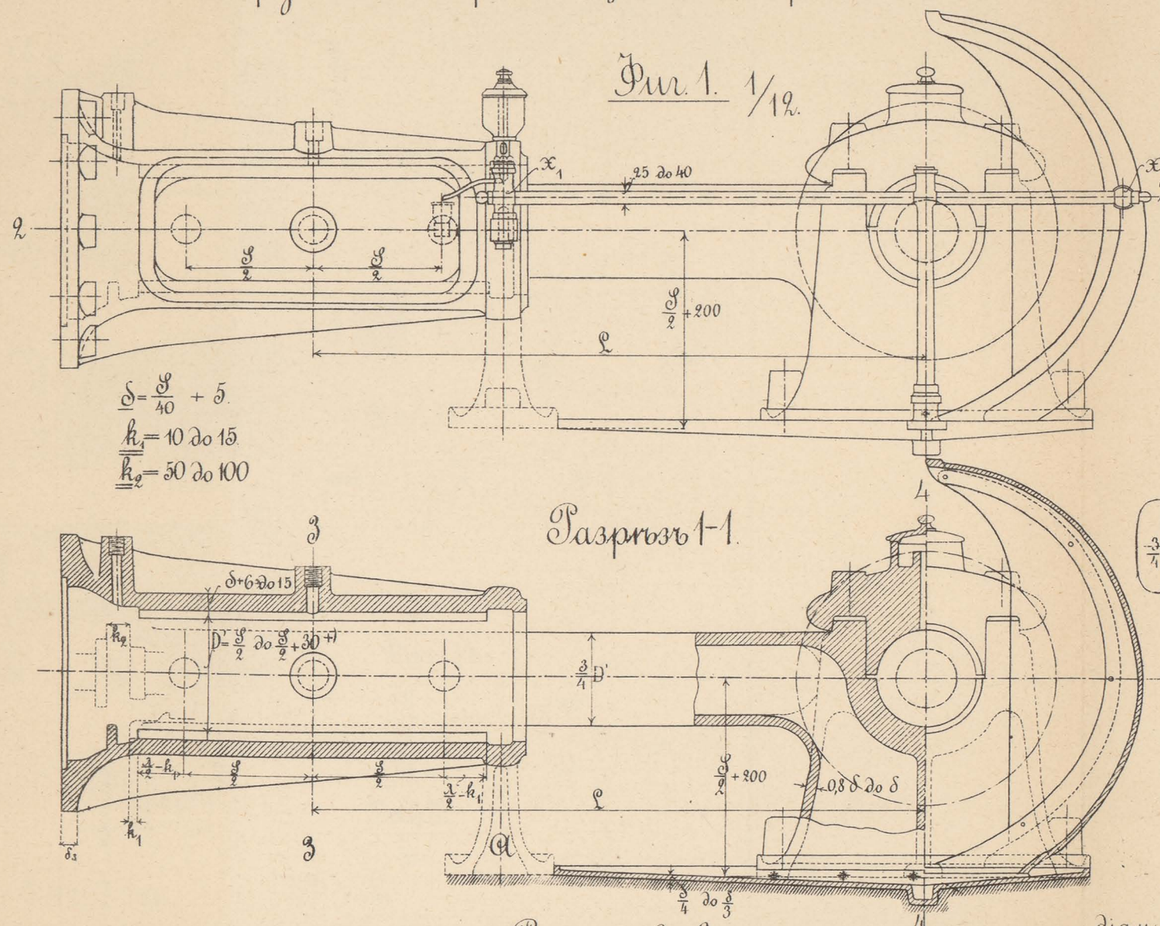
$$\eta = \frac{p_n}{p_i} = \frac{1}{1+\mu}\left(1 - \frac{p_o + p_c}{p_i}\right) \quad \ldots \quad 37$$

Въ слѣдующей части будетъ указано, какимъ образомъ для нормальной конструкціи опредѣлить коэффиціентъ полезнаго дѣйствія машины по даннымъ ея размѣрамъ. Для вновь проектируемой машины при заданной полезной работѣ ея N_n необходимо предварительно задаться коэффиціентомъ η; данныя для этого коэффиціента будутъ также приведены въ слѣдующей части.

Если бы хотѣли для какой-либо машины выбрать **степень наполненія** $\frac{S_1}{S}$ такъ, чтобы при возможно маломъ полезномъ расходѣ пара (т. е. не принимая во вниманіе потери пара) индикаторная работа или что все равно площадь индикаторной діаграммы была по возможности больше, то, какъ легко можно убѣдиться путемъ попытокъ, конечное давленіе p_x пара при расширеніи (фиг. 28 текста) должно быть равно средней величинѣ давленія пара передъ поршнемъ или, принимая во вниманіе, что обыкновенно это давленіе весьма мало отличается отъ давленія при выпускѣ пара, равно послѣднему давленію p_e. Въ такомъ случаѣ индикаторная діаграмма кончалась бы остріемъ. Чтобы далѣе полезный расходъ пара по отношенію къ полезному дѣйствію машины былъ по возможности менѣе, необходимо отсѣчку $\frac{S_1}{S}$ выбрать больше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ, а именно необходимо, чтобы $p_x = p_e + p_o + \mu p_n + p_c$ для машинъ съ холодильникомъ и $p_x = p_e + p_o + \mu p_n$ для машинъ безъ холодильника. Тогда индикаторная діаграмма кончается уже не остріемъ и въ ней площадь прямоугольника съ основаніемъ S и высотою $p_o + \mu p_n +$

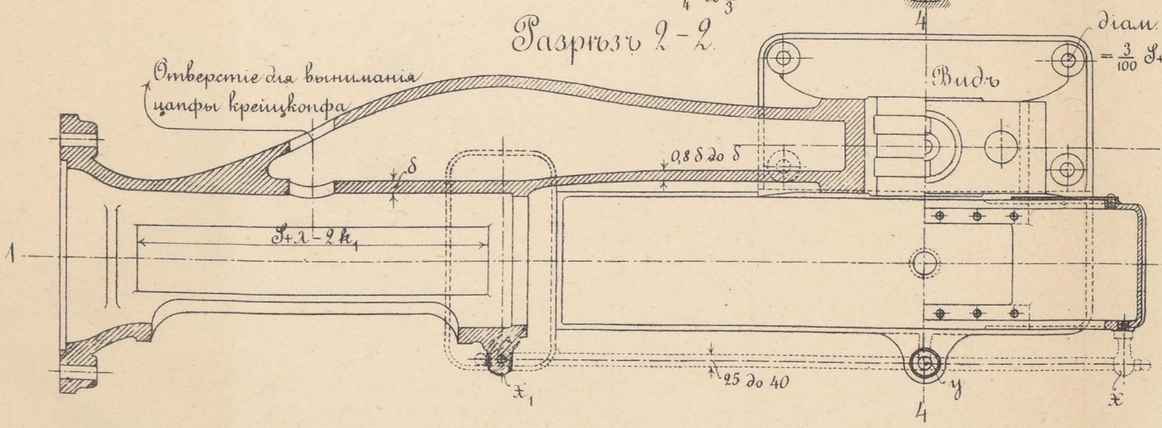
Станины съ круглыми направляющими для горизонт. машинъ.

Фиг. 1. 1/12.

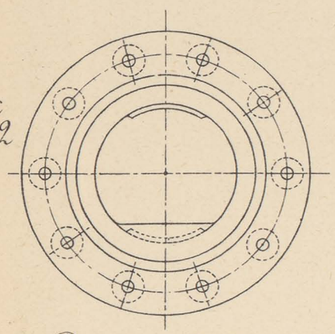


Разрѣзъ 1-1.

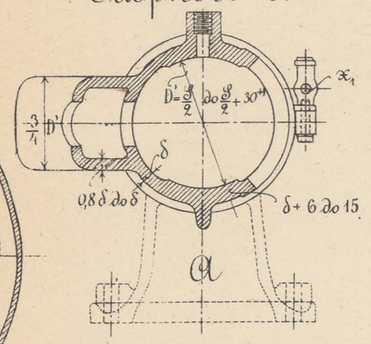
Разрѣзъ 2-2.



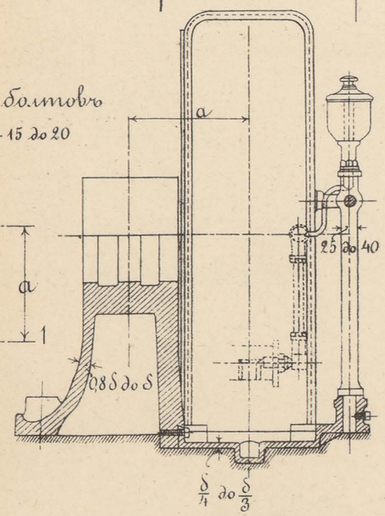
Видъ фланца.



Разрѣзъ 3-3.

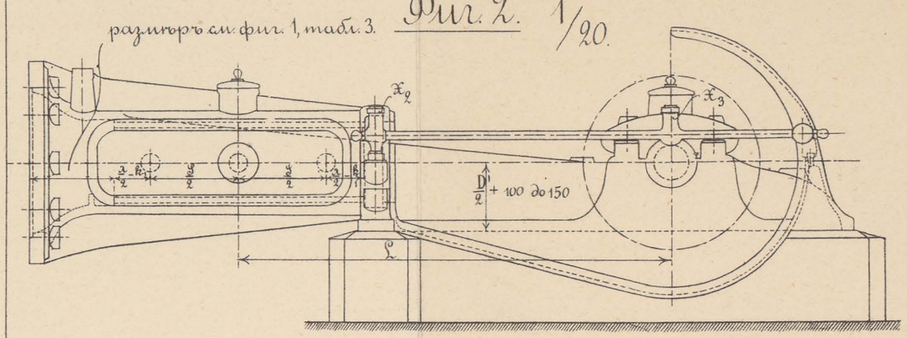


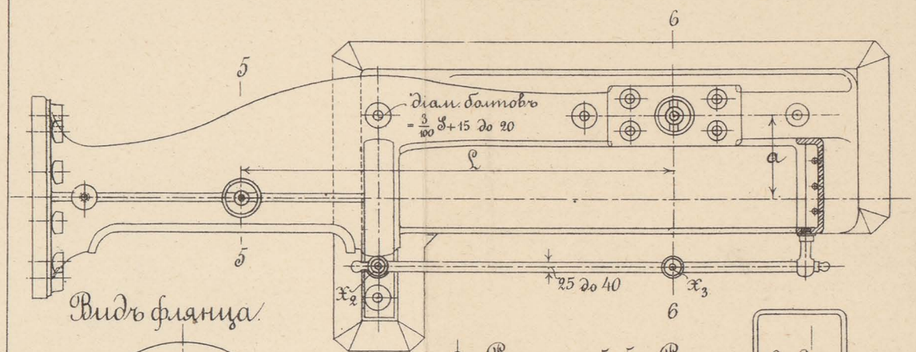
Разрѣзъ 4-4.



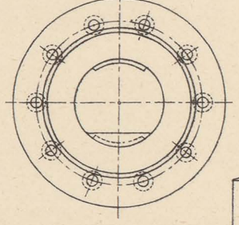
*) D' для машинъ многократнаго расширенія равно минимум. діам. малаго цилиндра

Фиг. 2. 1/20.

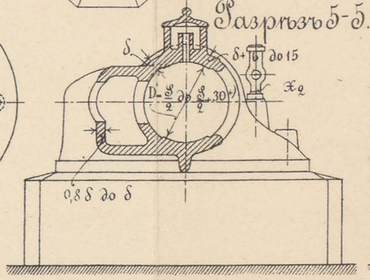




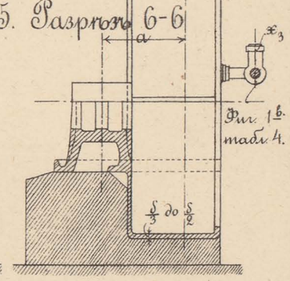
Видъ фланца.

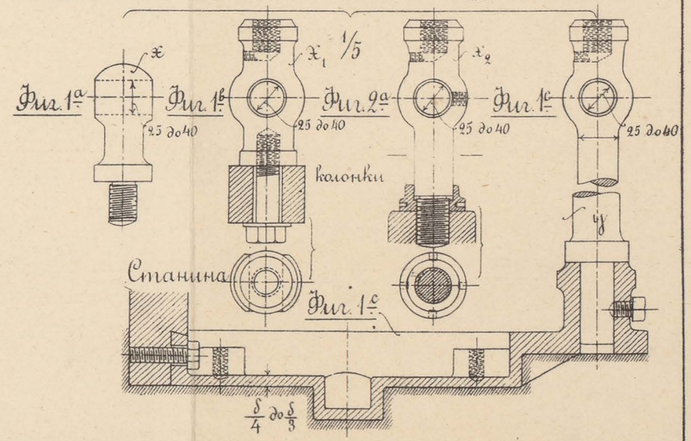


Разрѣзъ 5-5.



Разрѣзъ 6-6

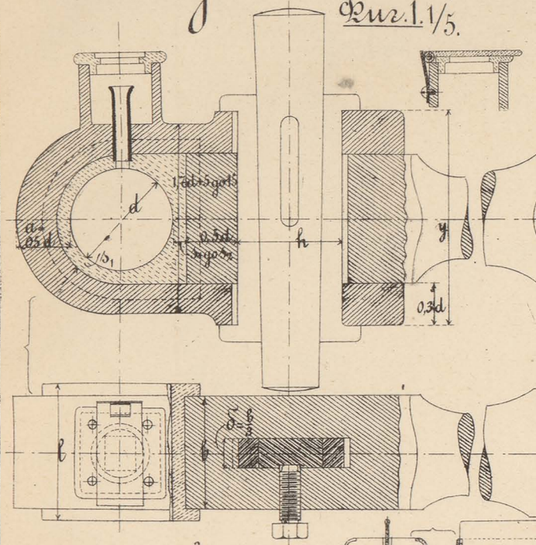




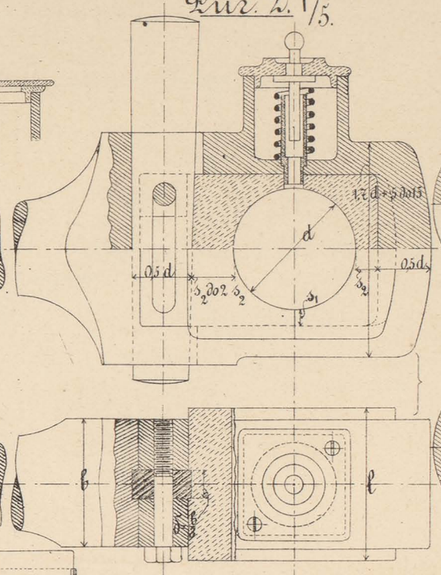
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Шатуны.

Фиг. 1. 1/5.

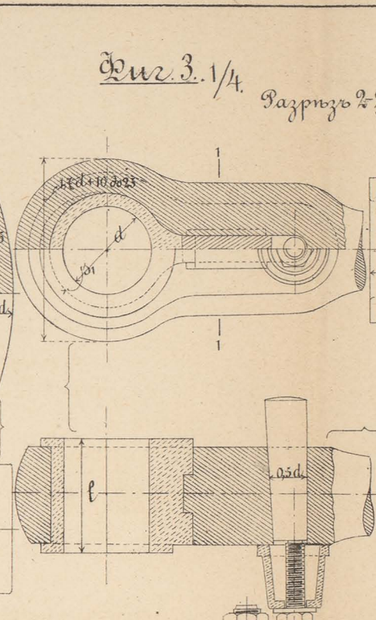


Фиг. 2. 1/5.

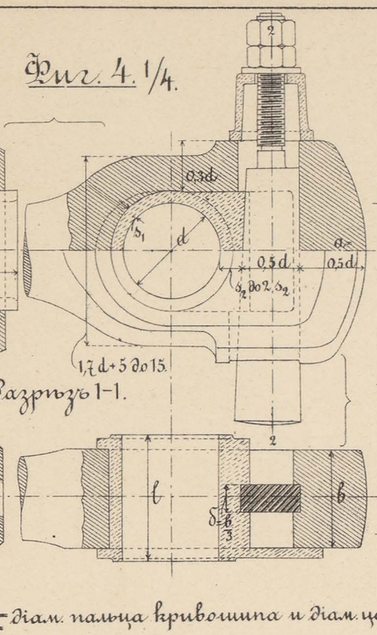


Фиг. 3. 1/4.

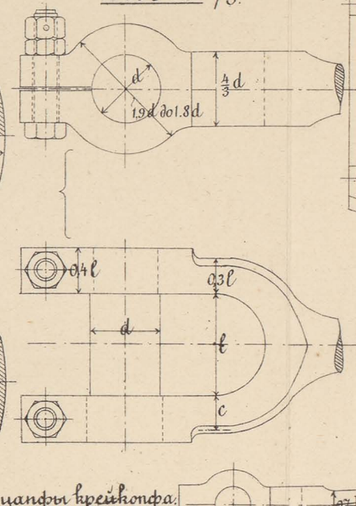
Разрезъ 2-2.



Фиг. 4. 1/4.

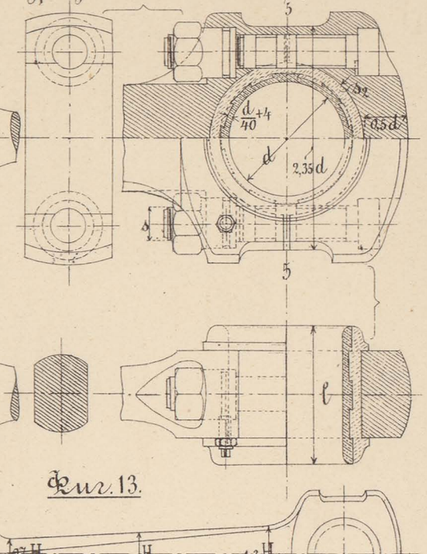


Фиг. 5. 1/5.

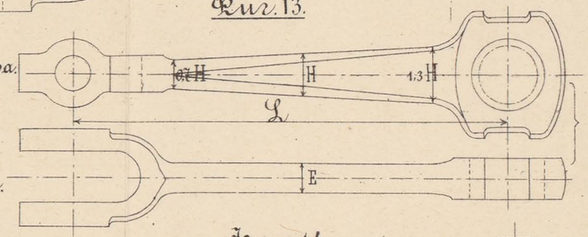


Разрезъ 5-5.

Фиг. 6. 1/5.

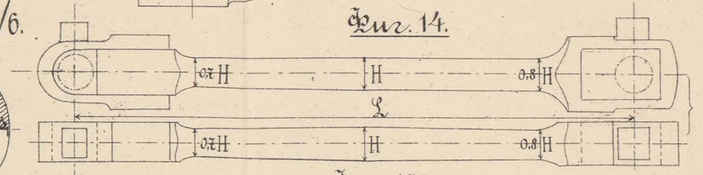


Фиг. 13.

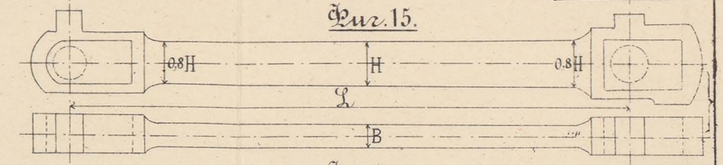


d- діам. пальца кривошипа и діам. цапфы крейцкопфа.
l- длинъ „ „ „ длинъ „
L- длинъ шатуна между центрами вкладышей.
P- наибольшей силъ, направленной по оси шатуна.

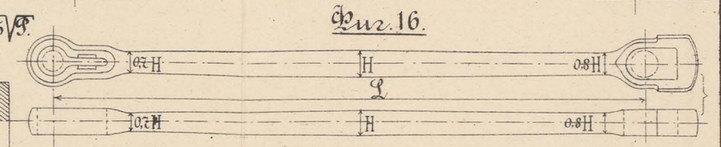
Фиг. 14.



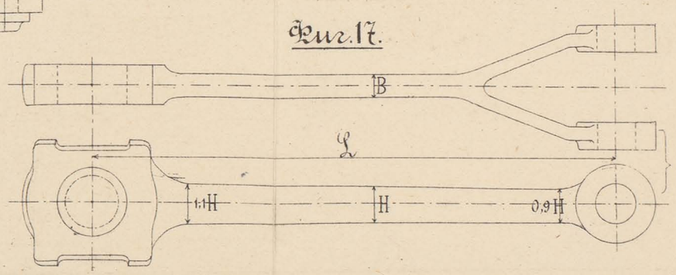
Фиг. 15.



Фиг. 16.



Фиг. 17.

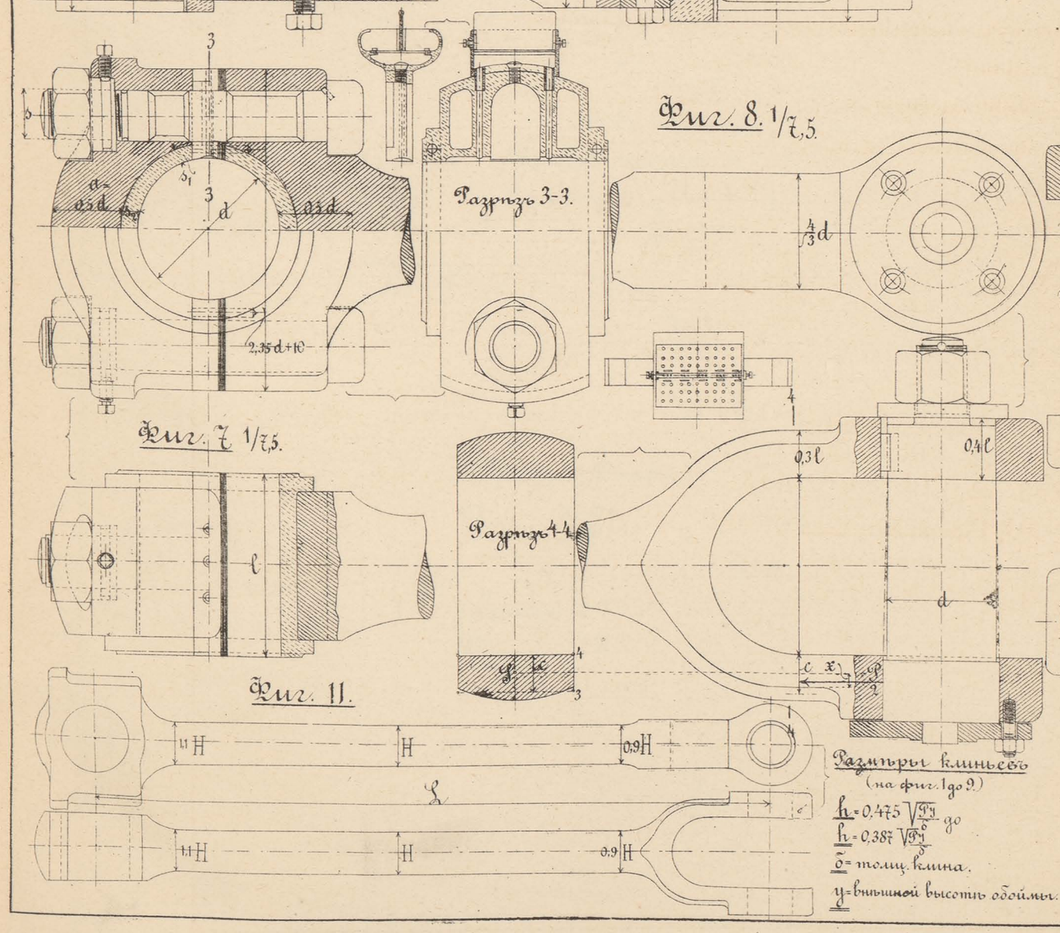


Фиг. 7. 1/7,5.

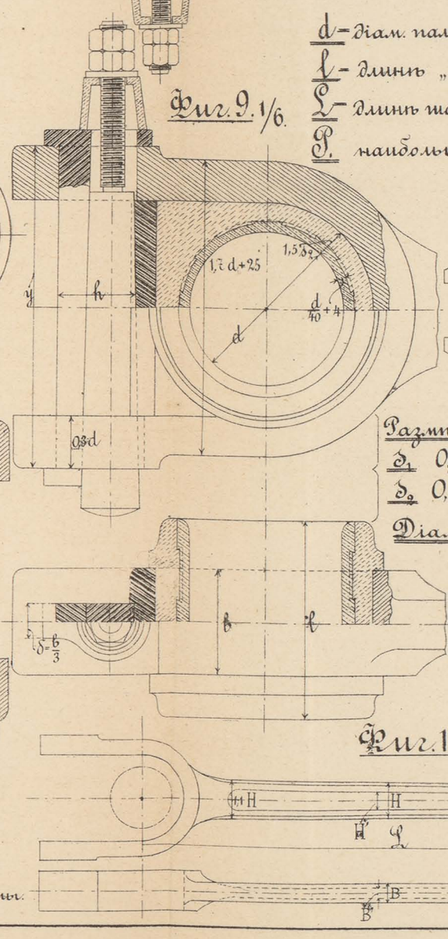
Фиг. 8. 1/7,5.

Разрезъ 3-3.

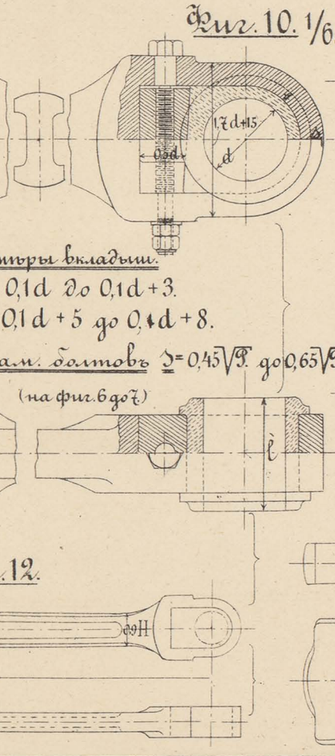
Разрезъ 4-4.



Фиг. 9. 1/6.



Фиг. 10. 1/6.

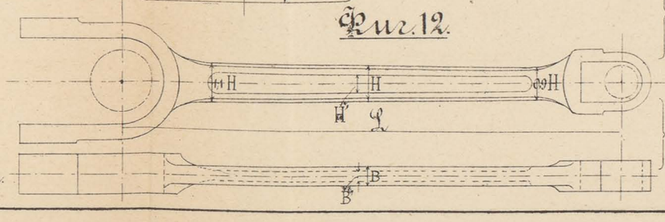


Размеры вкладышей.
s1 0,1d до 0,1d+3.
s2 0,1d+5 до 0,1d+8.
Діам. болтовъ s=0,45√P до 0,65√P.
(на фиг. 6 до 7)

Фиг. 11.

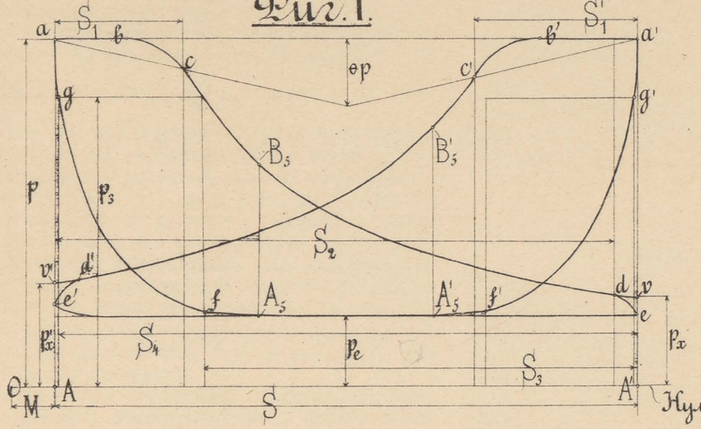
Размеры клиньевъ
(на фиг. 1 до 9.)
h=0,475 √(Py/δ) до
h=0,387 √(Py/δ)
δ= толщ. клина.
y= внѣшней высотѣ обоймы.

Фиг. 12.

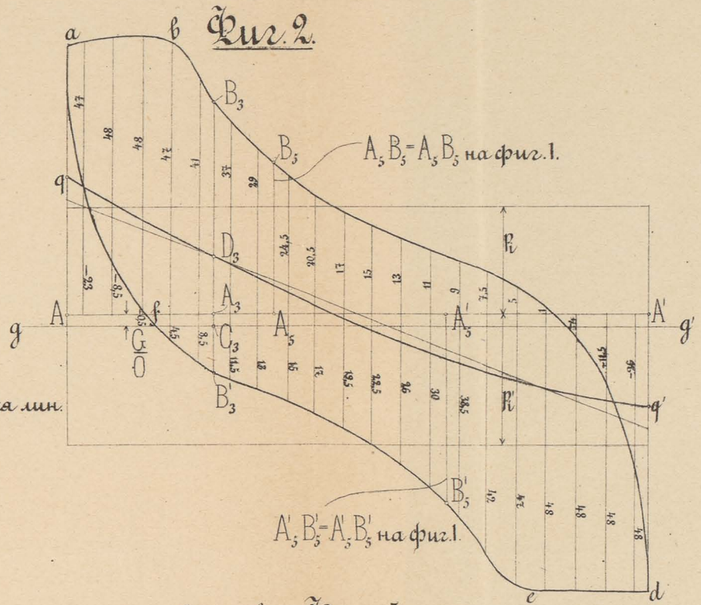


Діаграммы работъ и давленій вертикальной одноцилиндровой машины и машины двойногорасширенія (кривошипы подъ угломъ 90°)

Фиг. 1.



Фиг. 2.



Фиг. 3.

B3 на фиг. 2 {D3B'3 + A3C3 = A3B3 / D3B'3 - A3C3 = A3B'3} на фиг. 3.

Къ фиг. 1. до 3.

Ходъ поршня S = 100 mm.

Вредное простр. M = 0,08 S = 8 mm.

Къ фиг. 1 до 7.

Масштабъ силъ 10 mm. = 1 kg.

Къ фиг. 4 до 7.

Большой цилиндръ:

Ходъ поршня S = 100 mm.

Вредное простр. M = 0,05 S = 5 mm.

Объемъ ресивера = 0,183 сбт.

R = 53 mm.

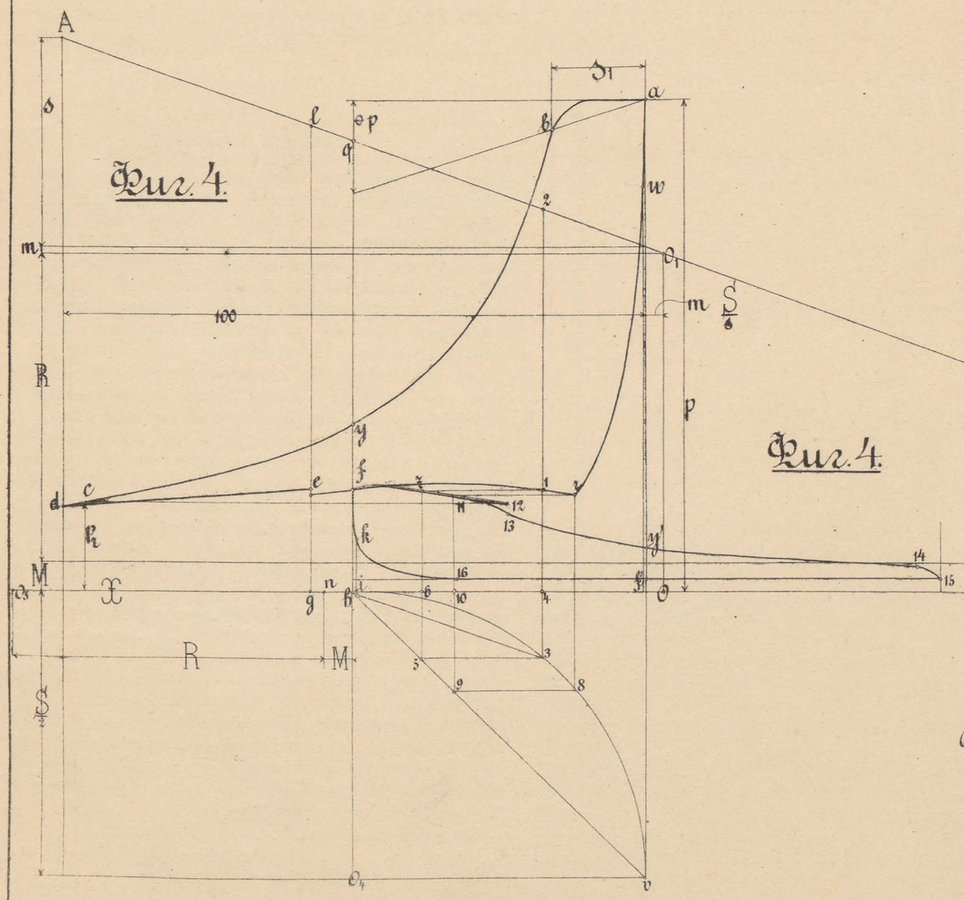
Малый цилиндръ:

Ходъ поршня s = 100 mm.

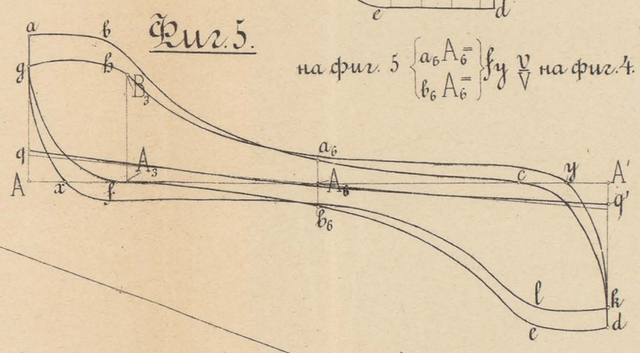
Вредное простр. m = 0,03 s = 3 mm.

Отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{V}{v} = 2,727$.

Фиг. 4.

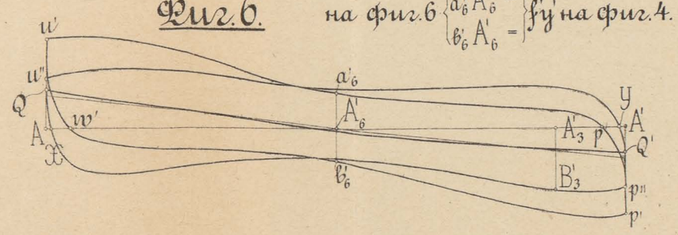


Фиг. 5.



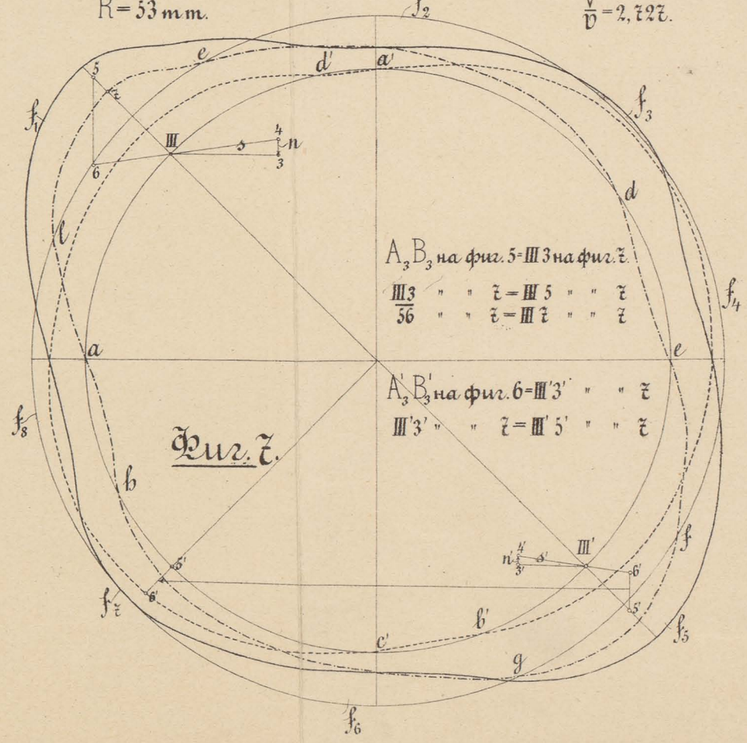
на фиг. 5 {a6A6 = / b6A6 =} fy y/v на фиг. 4.

Фиг. 6.



на фиг. 6 {a'6A'6 = / b'6A'6 =} f'y' на фиг. 4.

Фиг. 7.



$+ p_c$ (или $p_o + \mu p_n$) представляетъ ту работу, которая затрачивается машиною для преодолѣванія сопротивленій отъ тренія, ударовъ и т. д., а также на приведеніе въ дѣйствіе холодильника и насосовъ.

Если-же наконецъ при опредѣленіи отсѣчки нужно принять во вниманіе не только полезный расходъ пара, но также потери пара и другіе расходы при производствѣ, то отсѣчку $\frac{S_1}{S}$ придется взять еще больше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ и то наполненіе, при которомъ полезное дѣйствіе машины дѣлается наибольшимъ по отношенію къ затратамъ на общій расходъ пара въ часъ и къ расходамъ въ часъ на содержаніе и ремонтъ машины, а также на погашеніе затратъ для пріобрѣтенія и установки машины называютъ **нормальнымъ** или **экономически наивыгоднѣйшимъ наполненіемъ.** При этомъ наполненіи давленіе въ концѣ расширенія p_x будетъ еще немного болѣе величинъ: $p_e + p_o + \mu p_n + p_c$ для машинъ съ холодильникомъ и $p_e + p_o + \mu p_n$ для машинъ безъ холодильника.

Наивыгоднѣйшая нормальная отсѣчка, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, будетъ меньше для машинъ съ холодильникомъ, чѣмъ для машинъ безъ холодильника и будетъ вообще тѣмъ больше, чѣмъ меньше будетъ машина и чѣмъ меньше будетъ давленіе пара p при впускѣ.

§ 16.

Сдвоенныя машины.

Когда двѣ одноцилиндровыя машины, работающія при совершенно одинаковыхъ условіяхъ парораспредѣленія, будутъ присоединены къ общему валу, то такая сдвоенная машина противъ одноцилиндровой будетъ представлять ту выгоду, что при насаженныхъ подъ угломъ (обыкновенно въ 90°) кривошипахъ такую машину можно будетъ пустить въ какомъ угодно положеніи и что при маховикѣ одинаковаго вѣса съ равносильной одноцилиндровой машиной достигается бо́льшая равномѣрность хода.

Первая выгода происходитъ отъ того, что если даже одинъ кривошипъ и находится въ мертвомъ положеніи, такъ что давленіе пара, дѣйствующее на него въ этомъ положеніи, не можетъ машину сдвинуть съ мѣста, то другой кривошипъ будетъ находиться въ наклонномъ (перпендикулярномъ) положеніи относительно направленія хода поршня и можетъ такимъ образомъ передать на главный валъ крутящій моментъ, необходимый для приведенія въ движеніе машины. Вторая выгода происходитъ оттого, что въ сдвоенной машинѣ для обѣихъ машинъ, въ случаѣ кривошипы насажены на валъ подъ угломъ въ 90°, діаграммы касательныхъ силъ должны быть сдвинуты относительно другъ друга на величину развернутой четверти окружности $^1/_2 R\pi$, причемъ послѣ сложенія соотвѣтствующихъ касательныхъ силъ получимъ кривую, отступающую менѣе отъ линіи постояннаго сопротивленія и дающую, слѣдовательно, меньшія площади, лежащія надъ и подъ этой линіей (и необходимыя для разсчета массы маховика), чѣмъ каждая кривая касательныхъ силъ въ отдѣльности.

Объ этой выгодѣ можно также судить изъ сравненія фиг. 7 и 8 табл. 26. Фиг. 7 представляетъ діаграмму касательныхъ силъ одноцилиндровой машины, фиг. 8— таковую діаграмму (сплошная кривая) для сдвоенной машины, состоящей изъ двухъ такихъ одноцилиндровыхъ машинъ. Сплошная кривая въ фиг. 8 получается если ординаты сдвинутыхъ относительно другъ друга діаграммъ a b X d e f Y h i и a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1 g_1 b_1 i_1 k_1 складывать или вычитать, смотря по тому, расположены ли по одну или по разныя стороны прямой $\overline{o\,i} = S\pi$. Изъ простого сравненія фиг. 7 и 8 видно, что площади надъ и подъ прямой постояннаго сопротивленія больше для первой фигуры, чѣмъ для второй.

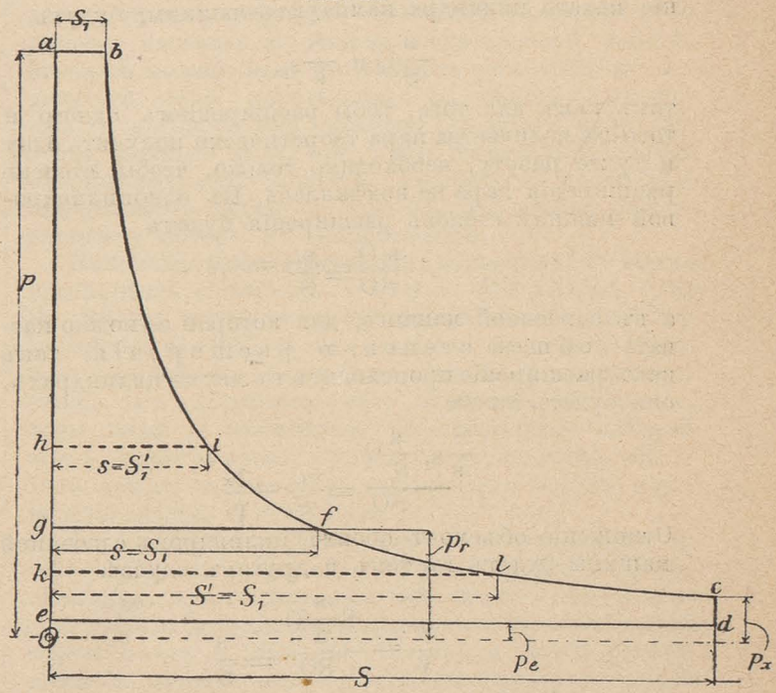
Но упомянутыя выгоды сдвоенныхъ машинъ имѣютъ гораздо меньшее значеніе для трансмиссіонныхъ паровыхъ машинъ, чѣмъ напримѣръ для машинъ рудоподъемныхъ, работающихъ вообще безъ маховика.

§ 17.

Компаундъ машины.

Машины компаундъ (сложныя или многократнаго расширенія) отличаются отъ одноцилиндровыхъ машинъ, какъ уже было сказано во введеніи, главнымъ образомъ тѣмъ, что паръ расширяется не въ одномъ только цилиндрѣ, но послѣдовательно въ двухъ и болѣе цилиндрахъ, совершая внѣшнюю работу. Пусть a b c d e a (фиг. 29 текста) представляетъ

Фиг. 29.



теоретическую индикаторную діаграмму одноцилиндровой машины, для которой не приняты во вниманіе вредныя пространства, періоды предваренія впуска, выпуска и сжатія. Если въ этой машинѣ впущенный на пути поршня s_1 паръ давленія p расширяется до давленія p_x, то, как[illegible]стно, совершенная по одну сторону поршня во время передняго или задняго хода его работа [illegible]пропорциональна площади этой діаграммы. Раз[illegible]ним послѣднюю линіею gf на двѣ части и позволим[illegible] вступающему на томъ же пути поршня s_1 свѣжему па[illegible] расширяться въ первомъ (маломъ) цилиндрѣ отъ давленія p только до давленія p_r и совершить, значитъ, работу, пропорціональную площади a b f g a, потомъ тотъ-же паръ, безъ измѣненія его давленія p_r, переведемъ изъ перваго во второй (большой) цилиндръ, впуская его на пути $s = S_1$ и дадимъ ему возможность расширяться до давленія p_x, совершая работу, пропорціональную площади g f c d

ПУБЛИЧ.

e g. Тогда очевидно, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, одноцилиндровая машина произведетъ ту же работу какъ и машина такого двукратнаго расширенія, если полезныя площади обоихъ поршней послѣдней будутъ равны полезной площади поршня первой машины. Ходъ поршня малаго цилиндра будетъ тогда равенъ s_1 а ходъ поршня большого — ходу поршня S одноцилиндровой машины и $\frac{sO}{SO} = \frac{s}{S}$ будетъ отношеніе объемовъ цилиндровъ компаундъ-машины.

Дѣйствій обѣихъ машинъ не измѣнилось бы, если бы мы ходъ поршня малаго цилиндра сдѣлали равнымъ ходу S большого цилиндра (или ходу одноцилиндровой машины), уменьшивъ полезную площадь поршня его въ отношеніи $\frac{s}{S}$, а путь, на которомъ происходитъ впускъ свѣжаго пара, увеличили-бы въ томъ-же отношеніи, такъ что, если бы O была полезная площадь поршня одноцилиндровой или большого цилиндра сдвоенной машины s_1 былъ бы путь поршня, на которомъ происходитъ наполненіе одноцилиндровой машины, то полезная площадь и путь, на которомъ происходитъ наполненіе малаго цилиндра кампаундъ-машины, будутъ

$$\frac{s}{S}O \text{ и } \frac{S}{s}s_1,$$

такъ какъ для того, тобы расширеніемъ одного и того-же количества пара теоретически получить одну и ту же работу, необходимо только, чтобы степень расширенія пара не измѣнялась. Въ одноцилиндровой машинѣ степень расширенія будетъ

$$\frac{s_1 O}{SO} = \frac{s_1}{S}$$

а въ сдвоенной машинѣ, для которой ее можно назвать общею степенью расширенія, такъ какъ расширеніе происходитъ въ двухъ цилиндрахъ, она будетъ также

$$\frac{\frac{S}{s}s_1 \frac{s}{S}O}{SO} = \frac{s_1}{S} = \frac{p_x}{p}.$$

Отношеніе объемовъ обоихъ цилиндровъ сдвоенной машины будетъ въ томъ и другомъ случаѣ

$$\frac{v}{V} = \frac{S\frac{s}{S}O}{SO} = \frac{s}{S}$$

Подобное вышеописанному получимъ, если мы діаграмму a b c d e a одноцилиндровой машины (фиг. 29 текста) двумя горизонтальными линіями h i и k l раздѣлимъ на три части и произведемъ расширеніемъ вступающаго на пути s_1 поршня свѣжаго пара въ первомъ цилиндрѣ работу, пропорціональную верхней площади діаграммы, если далѣе тѣмъ же паромъ, переведеннымъ изъ перваго цилиндра во второй, безъ измѣненія его конечнаго давленія, произведемъ въ этомъ цилиндрѣ работу, пропорціональную средней площади, а затѣмъ уже работу, пропорціональную нижней площади, произведемъ расширеніемъ пара, переведеннымъ изъ второго, безъ измѣненія его конечнаго давленія, въ третій цилиндръ машины тройного расширенія. Эта машина могла бы тогда производить ту-же работу, что и одноцилиндровая машина, если при одинаковыхъ полезныхъ площадяхъ поршней малый цилиндръ имѣлъ бы ходъ s и наполненіе s_1, средній цилиндръ — ходъ S′ и наполненіе $s = S_1'$, большой цилиндръ, — ходъ S одноцилиндровой машины, и наполненіе $S' = S_1'$. Въ такомъ случаѣ отношеніе объема малаго или средняго цилиндровъ къ объему большого цилиндра или къ объему цилиндра одноцилиндровой машины будетъ

$$\frac{sO}{SO} = \frac{s}{S} \text{ и } \frac{S'O}{SO} = \frac{S'}{S}.$$

Условія не измѣнятся, еслибы, при одинаковомъ ходѣ S всѣхъ поршней, мы полезную площадь поршня и наполненіе сдѣлаемъ равными

$$\frac{s}{S}O \text{ и } \frac{S}{s}s_1$$

для малаго цилиндра и

$$\frac{S'}{S}O \text{ и } \frac{S}{S'}S'_1$$

для средняго цилиндра. Общая степень расширенія компаундъ-машины будетъ опять

$$\frac{s_1}{S} = \frac{p_x}{p},$$

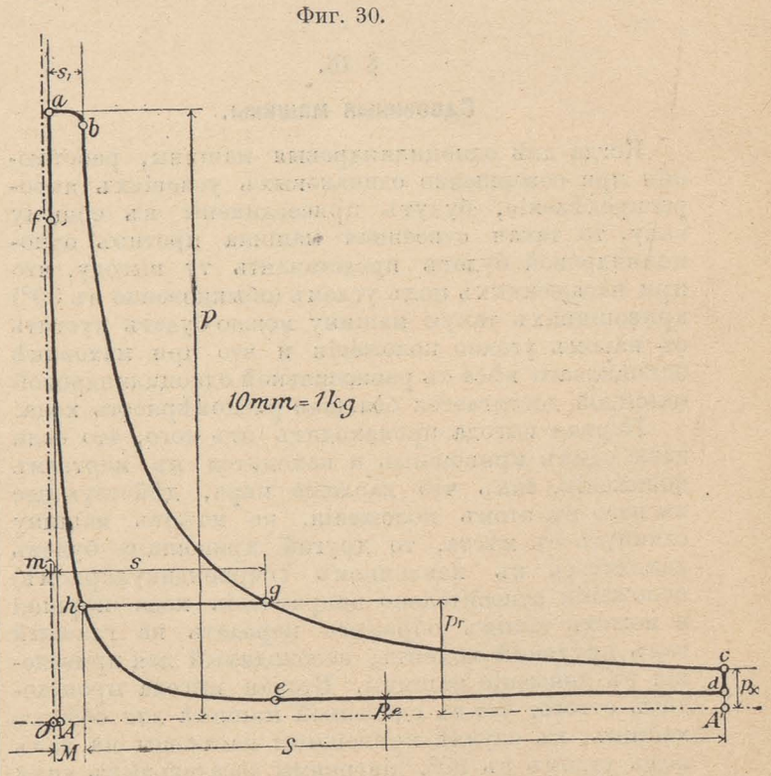
а отношеніе объемовъ цилиндровъ малаго и большого $\frac{v}{V} = \frac{s}{S}$, средняго и большого $\frac{V'}{V} = \frac{S'}{S}$.

Поэтому мы можемъ сказать:

Теоретически работа машины многократнаго расширенія будетъ таже, что и работа одноцилиндровой машины, если, при одинаковой степени расширенія и приведенныхъ выше соотношеніяхъ, большой цилиндръ компаундъ-машины имѣетъ одинаковыя размѣры съ цилиндромъ одноцилиндровой машины.

Принимая же во вниманіе вредное пространство и сжатіе, работа компаундъ-машины, при вышеприведенныхъ обстоятельствахъ, теоретически остается равною работѣ одноцилиндровой машины, если вредное пространство послѣдней сдѣлать равнымъ вредному пространству цилиндра высокаго давленія первой машины и если представить себѣ, что сжатіе въ обоихъ цилиндрахъ продолжается безпрерывно. Въ этомъ легко убѣдиться по фиг. 30 текста, въ которой опять a b c d e f a есть теоретическая діаграмма одноцилиндровой машины, a abghfa и hgcdea діаграммы малаго и большого цилиндровъ компаундъ-машины. Если теперь всѣ три цилиндра имѣютъ одинаковую полезную площадь поршня и если величина вреднаго пространства малаго цилиндра и одноцилиндровой машины будетъ m, а

Фиг. 30.

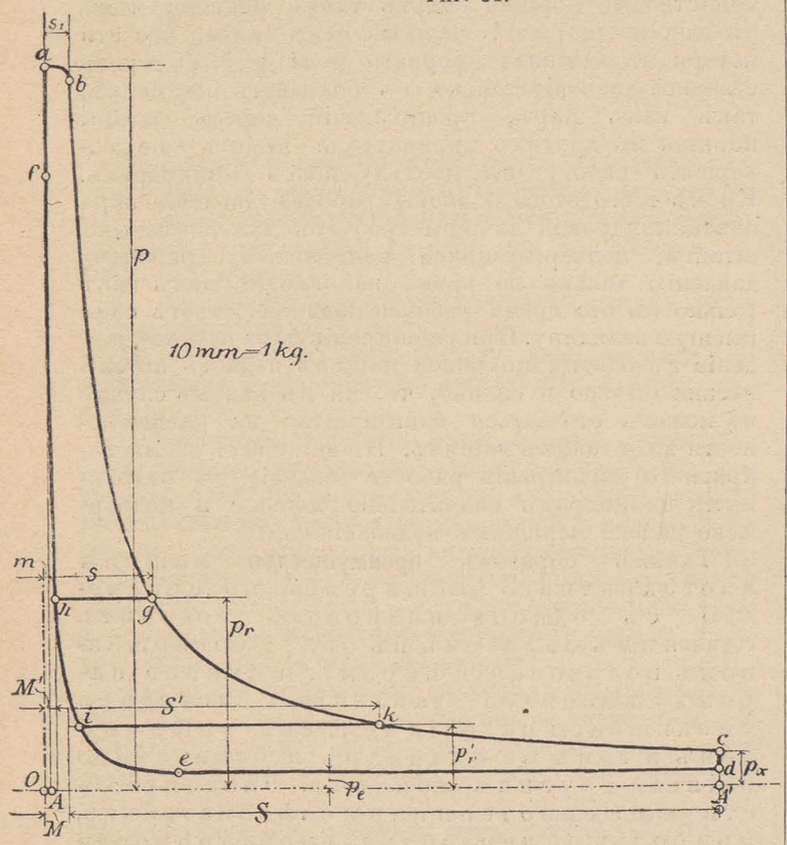


величина его для большого цилиндра будетъ M, то очевидно, что, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, работы обѣихъ машинъ будутъ одинаковы, ибо кривыя расширенія, какъ и кривыя сжатія, относятся одинаково какъ къ одноцилиндровой машинѣ, такъ и къ отдѣльнымъ цилиндрамъ компаундъ-машины, вслѣдствіе того, что онѣ, какъ и требуется, построены изъ точки O.

Сказанное выше справедливо также и для машины тройного расширенія, что видно изъ фиг. 31 текста. На этой фигурѣ m есть опять величина вреднаго пространства малаго цилиндра, M′ таковая величина средняго цилиндра, обѣ отнесенныя къ полезной площади большого цилиндра.

Въ дѣйствительности работа компаундъ-машины значительно отступаетъ отъ той работы, которую теоретически могъ-бы совершить паръ въ соотвѣтствующей одноцилиндровой машинѣ и общая площадь діаграммъ первой машины будетъ меньше,

Фиг. 31.



чѣмъ площадь теоретической діаграммы второй машины. Чтобы судить о величинѣ этихъ отступленій и о родѣ ихъ, нужно индикаторныя діаграммы обоихъ цилиндровъ, снятыя съ существующей компаундъ-машины и имѣющія одинаковыя основанія (вслѣдствіе одинаковости хода) отнести къ полезной площади большого поршня. Тогда діаграммы малаго и средняго цилиндра получатъ различныя основанія и могутъ быть приложены одна къ другой по образцу діаграммъ на фиг. 29 до 31, послѣ чего можно сравнить ихъ общую площадь съ площадью теоретической діаграммы одноцилиндровой машины. Чтобы отнести діаграммы малаго и средняго цилиндровъ къ полезной площади большого цилиндра, нужно абсциссы этихъ діаграммъ уменьшить въ отношеніи объема соотвѣтствующаго цилиндра къ объему большого цилиндра, или, какъ обыкновенно дѣлаютъ, нужно оставить безъ измѣненія діаграмму малаго цилиндра, а абсциссы діаграммъ средняго и большого цилиндра увеличить въ отношеніи соотвѣтственныхъ объемовъ этихъ цилиндровъ къ объему малаго цилиндра. Отнесенныя такимъ образомъ къ одной и той-же полезной площади поршня діаграммы машинъ многократнаго расширенія называютъ ранкинизированными діаграммами; построеніе этихъ діаграммъ указано на нѣсколькихъ примѣрахъ въ ближайшихъ параграфахъ.

Однако при ранкинизированіи діаграммъ машины многократнаго расширенія эти діаграммы не всегда сравниваютъ съ теоретическою діаграммою одноцилиндровой машины, какъ мы это предполагали до сихъ поръ, но, для сравненія, берутъ такую діаграмму, для которой давленіе p свѣжаго пара (фиг. 30 текста) равно давленію въ котлѣ p_k, а давленіе выпускное p_e равно нулю для машины съ холодильникомъ и 1 атмосферѣ для машины безъ холодильника. При этомъ отношеніе площади ранкинизированной діаграмы къ площади послѣдней теоретической діаграммы называютъ степенью (коэффиціентомъ) полноты машины многократнаго расширенія. Этотъ коэффиціентъ — примѣнимый понятно и для индикаторной діаграммы одноцилиндровой машины, хотя онъ здѣсь менѣе употребителенъ — даетъ такимъ образомъ отношеніе индикаторной работы машины къ такой теоретической работѣ, которую можно было бы ожидать отъ того же количества пара, работающаго въ машинѣ, еслибы онъ расширился отъ давленія въ котлѣ p_k до давленія, равнаго нулю или 1 атм. въ разсматриваемой одноцилиндровой машинѣ. Давленіе въ котлѣ разсматривается также съ тою цѣлью, чтобы видѣть величину потерь въ паропроводѣ.

Наконецъ **ранкинизированіе** производятъ не всегда указаннымъ способомъ. Отто Г. Мюллеръ (Otto H. Müller) опубликовалъ въ Zeitschrift deutscher Ingenieure за 1887 г. въ статьѣ о машинахъ тройного расширенія, различные способы ранкинизированія, изъ которыхъ два, наиболѣе извѣстные, даны ниже и примѣнены въ примѣрахъ слѣдующихъ параграфовъ. Относительно прочихъ способовъ можно сослаться на упомянутую весьма интересную статью Мюллера.

1 способъ. Діаграммы компаундъ-машины, отнесенныя къ полезной площади поршня большого цилиндра, прикладываются всѣ точкою, изображающею начало впуска пара къ вертикали, проходящей черезъ точку A (фиг. 34 стр. 48), а линія расширенія bc теоретической діаграммы одноцилиндровой машины строится изъ точки O, отстоящей отъ вертикали точки A на величину мертваго пространства малаго цилиндра, отнесеннаго къ полезной площади большого цилиндра. Далѣе линію bc проводятъ большею частью черезъ конечную точку кривой расширенія пара въ маломъ цилиндрѣ, — въ случаѣ машины двойного расширенія, потому что эта точка соотвѣтствуетъ наибольшему вѣсовому количеству пара, которое встрѣчается въ данной діаграммѣ. Наконецъ узкая, вертикальная полоска теоретической діаграммы, лежащая надъ OA (фиг. 30), отбрасывается.

2 способъ. Діаграммы компаундъ-машины, представленныя на фиг. 30 и 31 текста и отнесенныя къ полезной площади большого цилиндра сдвигаются, отъ вертикали черезъ точку O, на величину вредныхъ пространствъ соотвѣтствующихъ цилиндровъ, отнесенную къ той же полезной площади большого цилиндра. Линія расширенія bc теорети-

ческой діаграммы проводится или также какъ и въ предыдущемъ случаѣ, или же она проводится черезъ точку, лежащую надъ b на высотѣ давленія пара въ котлѣ.

Изъ предыдущихъ изслѣдованій во всякомъ случаѣ видно, что относительно доставляемой работы машина многократнаго расширенія не представляетъ никакой выгоды сравнительно съ одноцилиндровой машиной. Напротивъ, работа, полученная при одинаковомъ наполненіи въ одноцилиндровой машинѣ обыкновенно бываетъ больше, чѣмъ работа соотвѣтствующей машины многократнаго расширенія, такъ какъ, какъ будетъ указано впослѣдствіе, линіи, изображающія выпускъ пара для одного цилиндра, не совпадаютъ съ линіями, изображающими впускъ пара для слѣдующаго цилиндра, и лежащая между этими двумя линіями полоса представляетъ потерю работы, отчего коэффиціентъ полноты діаграммы одноцилиндровой машины обыкновенно больше, чѣмъ машины многократнаго расширенія. Но зато экономически машина многократнаго расширенія относительно полнаго расхода пара имѣетъ преимущество передъ одноцилиндровой машиной, такъ какъ въ сравниваемыхъ нами машинахъ полезный расходъ пара, пропорціональный площади діаграммы, одинаковъ, но потери пара въ компаундъ-машинѣ меньше. Это происходитъ отъ слѣдующихъ причинъ.

Прежде всего въ машинѣ двойного расширенія паденіе температуры въ отдѣльныхъ цилиндрахъ будетъ почти въ два раза, а въ машинахъ тройного расширенія почти въ три раза меньше паденія температуры въ соотвѣтствующей одноцилиндровой машинѣ. Такъ напримѣръ въ фиг. 29 текста паденіе температуры одноцилиндровой машины соотвѣтствуетъ разности давленій $p-p_e$; въ машинѣ же двойного расширенія оно соотвѣтствуетъ разности давленій $p-p_r$ въ маломъ цилиндрѣ и p_r-p_e въ большомъ цилиндрѣ и т. д. Но на стран. 23 мы видѣли, что, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, охлажденіе пара при впускѣ и потери его при этомъ будутъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше будетъ паденіе температуры въ цилиндрѣ. Въ машинахъ же многократнаго расширенія паденіе температуры, которое въ одноцилиндровой машинѣ происходитъ въ одномъ цилиндрѣ, происходитъ въ двухъ или трехъ цилиндрахъ при постепенномъ расширеніи пара въ нихъ. Далѣе на потери пара отъ охлажденія его при впускѣ имѣетъ вліяніе поверхность вреднаго пространства. Въ машинахъ многократнаго расширенія вліяніе на упомянутую потерю при впускѣ имѣетъ только вредное пространство малаго цилиндра, которое, къ тому же, меньше вреднаго пространства одноцилиндровой машины или равнаго ему вреднаго пространства цилиндра низкаго давленія сообразно размѣрамъ этихъ цилиндровъ. Если напримѣръ вредное пространство малаго цилиндра, отнесенное къ его объему, составляетъ 5% послѣдняго, то оно-же, отнесенное къ объему большого цилиндра или къ объему цилиндра одноцилиндровой машины составитъ только $\frac{5}{2{,}5} = 2\%$, если 2,5 есть отношеніе объемовъ обоихъ цилиндровъ. Охлажденіе пара при впускѣ въ большомъ (или въ среднемъ и большомъ) цилиндрѣ машины двойного (или тройного) расширенія имѣетъ далѣе вліяніе на расходъ пара только настолько, насколько она уменьшаетъ работу однихъ только этихъ цилиндровъ. Это уменьшеніе опять-таки будетъ далеко не такъ значительно, какъ то, которое произвело бы столь же большое охлажденіе въ цилиндрѣ высокаго давленія, такъ какъ послѣднее повліяетъ на работу всѣхъ цилиндровъ, тогда какъ первое уменьшаетъ только работу въ послѣдующихъ цилиндрахъ. Наконецъ вслѣдствіе уменьшенія конденсаціи пара при впускѣ въ машинѣ многократнаго расширенія вредное послѣдующее испареніе будетъ также меньше, чѣмъ таковое въ одноцилиндровой машинѣ, тѣмъ болѣе что оно въ машинѣ перваго рода оказываетъ вредное вліяніе только въ большомъ цилиндрѣ. Пріобрѣтенная же паромъ при вторичномъ испареніи въ маломъ или среднемъ цилиндрѣ теплота приноситъ пользу, превращаясь въ слѣдующихъ цилиндрахъ въ работу.

Вслѣдствіе того, что въ отдѣльныхъ цилиндрахъ машины многократнаго расширенія разность въ давленіяхъ по обѣ стороны поршня меньше при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, и потери отъ неплотности поршня будутъ также меньше, чѣмъ въ одноцилиндровой машинѣ тѣмъ болѣе, что эти потери въ машинахъ перваго рода имѣютъ существенное значеніе только въ большомъ цилиндрѣ, такъ какъ паръ, проникающій черезъ зазоры поршня въ другихъ цилиндрахъ, можетъ еще совершать работу въ послѣдующихъ цилиндрахъ. Кромѣ всего этого большое рабочее давленіе пара одноцилиндровой машины требуетъ тяжеловѣсныхъ штангъ, подвергающихся наибольшему рабочему давленію только во время наполненія, такъ какъ только въ это время рабочее давленіе имѣетъ свою высшую величину. При расширеніи пара рабочее давленіе въ одноцилиндровой машинѣ падаетъ потомъ весьма быстро и сильно, что ни въ какомъ случаѣ не можетъ отозваться благопріятно на равномѣрности хода такихъ машинъ. Въ машинахъ же многократнаго расширенія рабочее давленіе въ отдѣльныхъ цилиндрахъ значительно меньше и подвержено далеко меньшимъ колебаніямъ.

Такимъ образомъ **преимущество** машины многократнаго расширенія, по сравненію съ одноцилиндровою, состоитъ главнымъ образомъ въ болѣе совершенномъ пользованіи паромъ, и именно паромъ высокаго давленія, благодаря уменьшенію паденія температуры въ одномъ и томъ же цилиндрѣ и ослабленію вліянія другихъ причинъ, благопріятствующихъ потери пара; слѣдовательно, при большей первоначальной стоимости компаундъ-машина доставляетъ работу по болѣе низкой цѣнѣ. Машина тройного расширенія превосходитъ машину двойного расширенія въ смыслѣ экономіи только въ томъ случаѣ, если первая работаетъ при болѣе высокомъ давленіи пара, чѣмъ вторая; это превосходство, надо думать, менѣе зависитъ отъ уменьшенія потерь отъ охлажденія пара, чѣмъ отъ болѣе высокаго расширенія. Отъ машинъ многократнаго расширенія съ числомъ цилиндровъ больше трехъ при нынѣ употребительномъ давленіи пара нельзя уже ожидать увеличенія экономіи.

Какъ на **недостатокъ** машинъ многократнаго расширенія слѣдуетъ указать, главнымъ образомъ, на недостаточную способность къ регулированію притока пара. Регулированіе одноцилиндровой машины можно производить не только въ болѣе широкихъ предѣлахъ, но и въ болѣе короткій промежутокъ времени, чѣмъ регули-

рованіе машины многократнаго расширенія. Это происходитъ оттого, что при неизмѣнныхъ наполненіяхъ прочихъ цилиндровъ, увеличеніе или уменьшеніе наполненія цилиндра высокаго давленія оказываетъ весьма малое вліяніе на его работу, производя главнымъ образомъ измѣненіе въ работѣ большого цилиндра, которое однако наступаетъ только послѣ довольно значительнаго числа оборотовъ. Этотъ недостатокъ проявляется менѣе въ машинахъ двойного расширенія, чѣмъ въ машинахъ тройного расширенія, почему эти послѣднія примѣняются только въ случаѣ болѣе равномѣрнаго сопротивленія на главномъ валу. При измѣненіи наполненія малаго цилиндра уменьшается также равномѣрность хода и экономія пара, потому что, въ этомъ случаѣ, происходитъ неблагопріятное измѣненіе паденія температуры и распредѣленія давленій въ отдѣльныхъ цилиндрахъ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія машины многократнаго расширенія, при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ, немного меньше, чѣмъ одноцилиндровой машины, вслѣдствіе того, что треніе въ обоихъ цилиндрахъ и кривошипахъ будетъ больше.

Отношеніе объемовъ цилиндровъ въ машинахъ многократнаго расширенія обыкновенно выбираютъ такъ, чтобы выполнить по возможности совершеннѣе одно изъ слѣдующихъ условій или оба вмѣстѣ. А именно стремятся:

1. или достигнуть въ отдѣльныхъ цилиндрахъ одинаковыхъ паденій температуры,

2. или распредѣлить работу всей машины по возможности равномѣрнѣе между отдѣльными цилиндрами.

Совершенно удовлетворить обоимъ условіямъ одновременно невозможно, одному же изъ нихъ для даннаго давленія свѣжаго пара, при общей степени расширенія можно во всякомъ случаѣ удовлетворить вполнѣ. Для вновь проектирующейся машины, благодаря многимъ обстоятельствамъ, которыя невозможно напередъ опредѣлить, найти отношеніе объемовъ цилиндровъ на основаніи вышеприведенныхъ условій можно только приблизительно.

Такъ, для того, чтобы достигнуть въ отдѣльныхъ цилиндрахъ одинаковыхъ паденій температуры, необходимо сдѣлать допущеніе относительно закона расширенія пара, который однако для паровыхъ машинъ точно неизвѣстенъ. Такъ напримѣръ, если мы примемъ, что давленіе, температура и объемъ пара, расширяющагося въ машинѣ, измѣняются по таблицѣ Флигнера для насыщенныхъ паровъ на стр. 11, то для давленія свѣжаго пара $p = 8$ атм. и давленія $p_e = 1,2$ атм. мятаго пара по этой таблицѣ на каждый цилиндръ машины двойного расширенія пришлось бы паденіе температуры въ

$$\frac{170 - 104}{2} = 33°C$$

Тогда, согласно таблицѣ, въ маломъ цилиндрѣ, паденіе температуры было бы съ 170° на 137°C, паденіе давленія съ 8 на 3, 4 атм. и увеличеніе удѣльнаго объема [1]) съ

0, 244 до 0,545 m³;

въ большомъ цилиндрѣ соотвѣтственно паденіе температуры будетъ съ 137° до 104°C, паденіе давленія съ 3,4 до 1,2 атм. и, если расширеніе было доведено только до давленія $p_x = 1,5$ атм.,
увеличеніе удѣльнаго объема

съ 0,545 до 1,17 m³.

Но объемы цилиндровъ должны приблизительно относиться между собою, какъ удѣльные объемы расширяющагося пара въ концѣ хода поршня, т. е.

$$v : V = 0,545 : 1,17 = 1 : 2,15.$$

Насколько это отношеніе цилиндровъ, при приведенныхъ обстоятельствахъ, удовлетворяетъ въ дѣйствительности первому условію напередъ конечно опредѣлить невозможно.

Для опредѣленія отношенія цилиндровъ проектируемой машины при выполненіи второго условія точно также надо сдѣлать извѣстныя допущенія, которыя въ дѣйствительности выполняются только приблизительно. Въ такомъ случаѣ при данномъ давленіи свѣжаго пара p и при данной полной степени расширенія можно теоретическую діаграмму abcdea (фиг. 29 текста) соотвѣтствующей одноцилиндровой машины раздѣлить одною горизонталью $\overline{gf}$ на двѣ, или двумя горизонталями $\overline{hi}$ и $\overline{kl}$ на три равновеликія части. Отношеніе этихъ горизонталей къ основанію діаграммы, при сдѣланныхъ допущеніяхъ и будетъ тогда искомое отношеніе объемовъ цилиндровъ, а именно

для двухъ цилиндровъ $\frac{v}{V} = \frac{\overline{gf}}{\overline{ed}} = \frac{s}{S}$,

для трехъ „ $\frac{v}{V} = \frac{\overline{hi}}{\overline{ed}} = \frac{s}{S}$ и $\frac{V'}{V} = \frac{\overline{kl}}{\overline{ed}} = \frac{S'}{S}$.

Это отношеніе можно также опредѣлить вычисленіемъ. Если

$$\varepsilon = \frac{s_1}{S}$$

означаетъ общій коэффиціентъ наполненія, то, какъ будетъ указано въ слѣдующей части, площадь діаграммы одноцилиндровой машины (фиг. 29 текста) найдется изъ уравненія

$$F = p s_1 \left(1 + \ln \frac{S}{s_1}\right) - p_e S =$$

$$= p \varepsilon S \left(1 + \ln \frac{1}{\varepsilon}\right) - p_e S$$

и соотвѣтственно для площади половины этой діаграммы gfcdeg для машины-компаундъ съ двумя цилиндрами

$$\frac{F}{2} = p_r s \left(1 + \ln \frac{S}{s}\right) - p_e S$$

или такъ какъ $p_r s = p s_1 = p \varepsilon S$,

$$\frac{1}{2}\left\{p \varepsilon S \left(1 + \ln \frac{1}{\varepsilon}\right) - p_e S\right\} = p\varepsilon S\left(1 + \ln \frac{S}{s}\right) - p_e S$$

и $$\frac{S}{s} = \ln \frac{}{v} = \frac{1}{2}\left(\ln \frac{1}{\varepsilon} - 1 + \frac{p_e}{\varepsilon p}\right) \quad \ldots\ldots \mathbf{38}$$

Соотвѣтственно имѣли бы для машины тройного расширенія.

$$\left.\begin{aligned} \ln \frac{S}{s} &= \ln \frac{V}{v} = \frac{1}{3}\left(2\ln \frac{1}{\varepsilon} - 1 + \frac{p_e}{\varepsilon p}\right) \\ \ln \frac{S}{S'} &= \ln \frac{V}{V'} = \frac{1}{3}\left(\ln \frac{1}{\varepsilon} - 2 + 2\frac{p_e}{\varepsilon p}\right) \end{aligned}\right\} \quad \ldots \mathbf{39}$$

Вмѣсто діаграммы на фиг. 29 текста, при построеніи которой мы пренебрегли вреднымъ пространствомъ и сжатіемъ, можно, понятно, для опредѣленія отношенія объемовъ цилиндровъ примѣнить также теоретическую діаграмму abcdefa (фиг. 30 и 31) одноцилиндровой машины, при построеніи которой до нѣкоторой степени приняты во вниманіе вредныя пространства и сжатіе, и раздѣлить эту діаграмму одною или двумя горизонталями на двѣ или на три части.

Но и такимъ образомъ опредѣленныя отношенія объемовъ въ дѣйствительности не дадутъ возмож-

[1]) См. значенія u, увеличенныя на $w = 0,001$ и приведенныя въ предпослѣдней рубрикѣ таблицы.

ности вполнѣ равномѣрно распредѣлить работу между всѣми цилиндрами, вслѣдствіе конечной величины объема ресивера и эти отношенія во всякомъ случаѣ потребуютъ исправленія. Потребуется конечно нѣкоторый навыкъ для того, чтобы эти исправленія произвести такимъ образомъ, чтобы, принимая во вниманіе наиболѣе важныя обстоятельства (какъ-то: вредныя пространства, сжатіе, предвареніе впуска и выпуска, конечную величину ресивера), построенныя для проектирующейся машины съ нѣсколькими цилиндрами діаграммы для отдѣльныхъ цилиндровъ, имѣли бы равныя или приблизительно равныя площади.

Пока этотъ навыкъ еще не пріобрѣтенъ, можно рекомендовать при выборѣ отношеній объемовъ цилиндровъ придерживаться указаній, сдѣланныхъ въ слѣдующей части и испытывать выбранныя такимъ образомъ отношенія, вычерчивая для нихъ ранкинизированныя діаграммы, какъ это будетъ указано въ ближайшихъ параграфахъ. Если эти діаграммы не дадутъ желательнаго равенства работъ отдѣльныхъ цилиндровъ, легко можно будетъ увидѣть, какимъ образомъ слѣдуетъ измѣнить отношеніе объемовъ, дабы достигнуть этаго равенства площадей діаграммъ.

За величину **ресивера**, который въ употребительныхъ нынѣ компаундъ-машинахъ примѣняется всегда, слѣдуетъ считать объемъ пространства, заключеннаго между паровыпускными органами цилиндра высокаго давленія и паровпускными органами цилиндра низкаго давленія.

Только при безконечной величинѣ ресивера кривыя, ограничивающія діаграмму перваго цилиндра снизу, а діаграмму второго цилиндра сверху, какъ на фиг. 29 до 31, превратятся въ горизонтальныя прямыя; при конечномъ же объемѣ ресивера давленіе находящагося въ немъ пара, при расширеніи и сжатіи измѣняется и упомянутыя кривыя уклоняются отъ горизонтальной линіи. Эти уклоненія будутъ понятно тѣмъ значительнѣе, чѣмъ меньше будетъ ресиверъ и наоборотъ. Машины, въ которыхъ сопротивленіе на главномъ валу подвержено значительнымъ колебаніемъ, для быстроты регулированія снабжаются по возможности малымъ ресиверомъ.

Чтобы избѣгнуть **паденія давленія** при переходѣ пара изъ одного цилиндра въ ресиверъ или изъ ресивера въ другой цилиндръ, необходимо, чтобы въ сообщаемыхъ пространствахъ въ моментъ ихъ соединенія, не было разницы въ давленіяхъ. Какимъ образомъ получать въ ресиверѣ такое давленіе, чтобы его можно было соединить съ цилиндромъ высокаго давленія, не вызывая этимъ значительнаго паденія давленія, будетъ указанно въ слѣдующихъ параграфахъ. Соединеніе цилиндра низкаго давленія съ ресивером можетъ совершиться безъ значительнаго паденія только въ томъ случаѣ, когда въ первомъ паръ передъ поршнемъ будетъ соотвѣтственно сжатъ. Однако паденіе давленія не всегда невыгодно для машинъ многократкаго расширенія, какъ принимали прежде, наоборотъ, не трудно доказать, что незначительное паденіе давленія доставляетъ большую работу и меньшій расходъ пара. Но въ какихъ предѣлахъ можетъ происходить это паденіе давленія, чтобы доставить упомянутую выгоду, окончательно еще не установлено. Относительно этого вопроса можно указать на работы Энсруда (Ensrud, Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1889) и Эртлинга (Oertling, Kompoundmaschinen, 1878).

Относительно примѣненія подогрѣванія, т. е. **паровой рубашки** въ машинахъ многократнаго расширенія нужно замѣтить, что въ практикѣ, выработанной лучшими фирмами, каждый цилиндръ подогрѣвается вступающимъ въ него паромъ, между тѣмъ какъ ресиверъ вовсе не подогрѣвается. Такимъ образомъ свѣжій паръ поступаетъ сперва въ паровую рубашку малаго цилиндра, (если только этотъ цилиндръ не снабженъ особымъ проводомъ для пара, подогрѣвающаго цилиндръ), затѣмъ идетъ въ самый цилиндръ, изъ него въ ресиверъ, къ которому также нужно отнести паровую рубашку слѣдующаго цилиндра, далѣе въ этотъ цилиндръ и т. д. Многіе подогрѣваютъ также большой (или же большой и средній) цилиндръ свѣжимъ паромъ; однако скорѣе можно рекомендовать, вмѣсто того, чтобы употреблять свѣжій паръ для подогрѣванія цилиндровъ низшаго давленія, производить имъ работу во всѣхъ цилиндрахъ машины, т. е. примѣнять его для наполненія послѣднихъ. Подогрѣваніе ресивера не доставляетъ выгоды потому, что давленіе и температура пара въ немъ подвержены только незначительнымъ колебаніямъ, а испареніе подогрѣваніемъ содержащейся въ парѣ ресивера воды не можетъ принести пользу потому, что это испареніе вызоветъ въ свою очередь соотвѣтствующее охлажденіе подогрѣвающаго пара въ рубашкѣ. Напротивъ слѣдуетъ предохранять ресиверъ отъ охлажденія хорошею непроницаемою для тепла одеждою.

Прежде чѣмъ, въ слѣдующихъ параграфахъ, изучить парораспредѣленіе и распредѣленіе силъ въ различныхъ системахъ компаундъ-машинъ, мы здѣсь еще разъ приведемъ всѣ обозначенія встрѣчающіяся при этомъ изученіи.

При **равныхъ площадяхъ поршней, но различныхъ ходахъ** послѣднихъ, т. е. при **ранкинизированныхъ діаграммахъ** машинъ многократнаго расширенія будемъ обозначать черезъ:

O полезную площадь поршней всѣхъ цилиндровъ.
s ходъ малаго цилиндра (высокаго давленія),
S′ ходъ средняго цилиндра (средняго давленія),
S ходъ большого или цилиндра низкаго давленія,
$\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$ отношеніе объемовъ цилиндровъ большого и малаго,
$\frac{V}{V'} = \frac{S}{S'}$ отношеніе объемовъ цилиндровъ большого и средняго,
m величина вреднаго пространства малаго
M′ » » » средняго
M » » » большого
цилиндровъ,
это суть величины этихъ пространствъ, отнесенныя къ площади поршня O, [1])

$\varepsilon = \frac{m + s_1}{M + S}$ общій коэффиціентъ расширенія

$\frac{s_1}{s}$ степень наполненія малаго

$\frac{S'_1}{S'}$ » » средняго и

$\frac{S_1}{S}$ » » большого цилиндра.

[1]) Такъ что величины вредныхъ пространствъ отдѣльныхъ цилиндровъ будутъ mO, M′O, и MO.

При **одинаковомъ ходѣ**, но **различныхъ площадяхъ** поршней цилиндровъ, т. е. когда **діаграммы** машины многократнаго расширенія имѣютъ **одинаковое основаніе**, означаетъ:

S общій ходъ всѣхъ поршней,

o полезную площадь малаго или цилиндра высокаго давленія

O′ » » средняго » » средняго давленія

O » » большого » » высокаго давленія

$\frac{V}{v} = \frac{O}{o}\left(= \frac{S}{s}\right)$ [1]) отношеніе объемовъ цилиндровъ большого и малаго,

$\frac{V}{V'} = \frac{O}{O'}\left(= \frac{S}{S'}\right)$ [1]) » » » большого и средняго,

$m\,\frac{V}{v} = m\,\frac{S}{s}$ [1]) величина вреднаго пространства малаго,

$M'\,\frac{V}{V'} = M'\,\frac{S}{S'}$ [1]) величина вреднаго пространства средняго и

M величина вреднаго пространства большого цилиндра, это суть величины этихъ пространствъ, отнесенныя къ площадямъ поршней **o**, **O′** или **O**,

$\frac{s_1}{S}$ [2]) коэффиціентъ наполненія малаго,

$\frac{S_1}{S}$ [2]) » » средняго и

$\frac{S_1}{S}$ » » большого цилиндра.

§ 18.

Распредѣленіе пара и давленій въ машинѣ-компаундъ съ двумя цилиндрами и кривошипами подъ угломъ 0° или 180°.

Машины двойного расширенія, кривошипы которыхъ насажены на главный валъ подъ угломъ въ 0° или 180°, раздѣляются на двѣ системы. Въ старѣйшихъ машинахъ, которыя также называютъ старыми машинами Вульфа, паровыпускной органъ малаго цилиндра служилъ одновременно и паровпускнымъ органомъ для большого цилиндра. Пораспредѣленіе же въ такихъ машинахъ происходило слѣдующимъ образомъ: сперва свѣжій паръ расширялся сзади малаго поршня при переднемъ ходѣ его, а затѣмъ, при обратномъ ходѣ, паръ расширялся одновременно впереди малаго поршня и сзади большого поршня и, наконецъ, при третьемъ ходѣ паръ впереди большого поршня уходилъ наружу или въ холодильникъ. Такія машины теперь уже не строятся. Они обладаютъ тѣмъ недостаткомъ, что при началѣ перехода пара изъ малаго цилиндра въ большой давленіе его значительно падаетъ въ соединительной трубѣ—даже если ее дѣлать по возможности меньше—, такъ какъ въ этой трубѣ [1]) во время упомянутаго выше третьяго хода поршня имѣетъ мѣсто низкое давленіе уходящаго наружу пара. Это паденіе давленія вызываетъ уменьшеніе работы большого цилиндра и увеличеніе расхода пара.

Въ нынѣ употребительныхъ системахъ разсматриваемыхъ нами машинъ двойного расширенія для впуска пара въ большой цилиндръ и для выпуска пара изъ малаго цилиндра существуютъ отдѣльные, независимые другъ отъ друга пораспредѣлительные приборы, которые, закрывая заблаговременно паровыпускныя окна большого цилиндра, предохраняютъ паръ, переходящій изъ малаго цилиндра въ соединительный каналъ между обоими цилиндрами, отъ пониженія его давленія. Мы разсмотримъ здѣсь только эти такъ называемыя новѣйшія машины Вульфа и назовемъ упомянутый соединительный каналъ пріемникомъ или ресиверомъ машины, безразлично, будетъ ли этотъ каналъ особымъ образомъ увеличенъ, какъ это дѣлается въ горизонтальныхъ машинахъ-тэндемъ, или онъ будетъ состоять только изъ трубы, необходимой для соединенія обоихъ цилиндровъ, какъ это бываетъ въ машинахъ этой системы другого рода.

Распредѣленіе пара въ такой машинѣ двойного расширенія опять лучше всего прослѣдить по индикаторной діаграммѣ. Фиг. 32 и 33 текста представляютъ діаграммы горизонтальной машины-тэндемъ безъ холодильника машиностроительнаго завода г. Рёстъ Иствáнъ (Röst Istvàn) въ Будапештѣ. Цилиндры этой машины, которая дѣлаетъ 80 оборотовъ въ минуту, имѣютъ діаметры въ 400 и 600 mm, ходъ поршней 800 mm. Цилиндръ высокаго давленія снабженъ пораспредѣленіемъ Корлисса, цилиндръ низкаго давленія — золотникомъ Трика. На верхней діаграммѣ цилиндра высокаго давленія (фиг. 32) 5 mm соотвѣтствуютъ 1 kg, на нижней діаграммѣ цилиндра низкаго давленія (фиг. 33) 18 mm—1 kg. Давленіе пара при впускѣ въ малый цилиндръ равно 8,2 атм, а давленіе его при выпускѣ изъ большого цилиндра—1,2 атм. Для малаго цилиндра діаграмма для передняго хода поршня вычерчена сплошь, для задняго хода—пунктиромъ; для большого цилиндра наоборотъ. Далѣе на фиг. 35, 36 и 37 текста, для лучшаго поясненія хода періодовъ пораспредѣленія, указаны важнѣйшія положенія поршня, вычерченныя то сплошь, то пунктиромъ. Эти положенія поршня соотвѣтствуютъ отдѣльнымъ угловымъ точкамъ діаграммъ на фиг. 32 и 33 и обозначены одинаковыми съ ними буквами.

Поступающій подъ поршень малаго цилиндра свѣжій паръ остается въ машинѣ въ продолженіе трехъ размаховъ поршней и подвергается въ ней слѣдующимъ измѣненіямъ состоянія.

Первый размахъ поршня.

Сзади малаго поршня при переднемъ ходѣ его происходитъ слѣдующее:

Впускъ свѣжаго пара по линіи полнаго давленія ab, соотвѣтствующей положеніямъ поршня въ a или b, указанныхъ на фиг. 35 сплошь или пунктиромъ. При положеніи поршня въ b запирается до сихъ поръ открытое паровпускное окно 1 съ правой стороны малаго цилиндра.

---

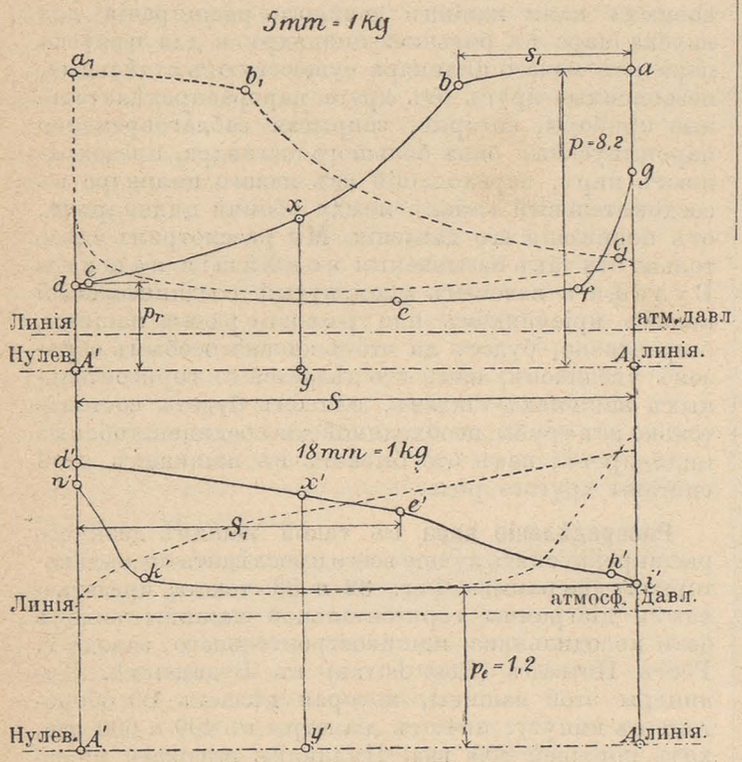
[1]) s, S′, m, M′ означается тоже, что и выше.

[2]) $\frac{s_1}{S}$ равно величинѣ $\frac{s_1}{s}$ въ случаѣ ранкинизированной діаграммы, точно также и $\frac{S_1'}{S}$ равно $\frac{S_1'}{S'}$ въ томъ же случаѣ.

[1]) Какъ принадлежащей къ вредному пространству большого цилиндра.

Расширеніе свѣжаго пара по линіи bc на фиг. 32, въ концѣ котораго малый поршень занимаетъ указанное на фиг. 36 сплошь положеніе c. Въ этомъ положеніи открывается паровыпускное окно 2 съ правой стороны малаго цилиндра въ ресиверъ. Чтобы не происходило паденія давленія при переходѣ пара въ послѣдній, необходимо, чтобы въ немъ было то же давленіе p , какъ и въ концѣ расширенія пара сзади малаго поршня.

Фиг. 32 и 33.



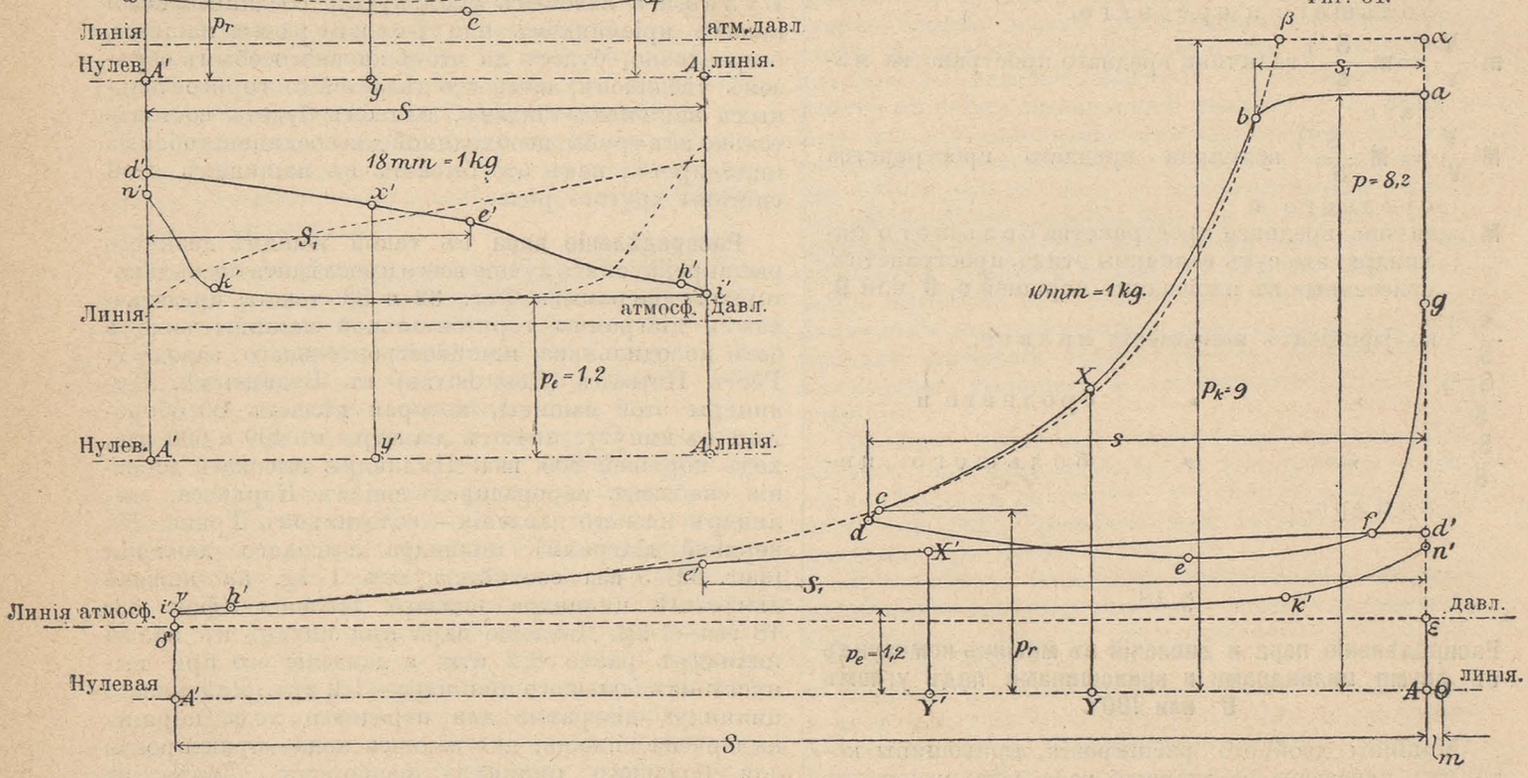
Предвареніе выпуска пара изъ малаго цилиндра въ ресиверъ по линіи cd на фиг. 32. Но прежде чѣмъ оба поршня достигнутъ лѣваго мертваго положенія, при положеніи поршня въ n′, указанномъ на фиг. 36 пунктиромъ, (соотвѣтствующее на фиг. 33 точкѣ n′) открывается паровпускное окно 3 съ лѣвой стороны большого цилиндра для приведеннаго ниже періода предваренія впуска пара (n′d′ на фиг. 33) въ большой цилиндръ.

Второй размахъ поршня.

Впереди малаго поршня (и сзади большого) и въ ресиверѣ во время обратнаго хода поршня происходитъ слѣдующее:

Общее расширеніе въ ресиверѣ, впереди малаго поршня и сзади большого по линіи de на фиг. 32 и d′e′ на фиг. 33, причемъ объемъ передъ малымъ поршнемъ уменьшается, объемъ же сзади большого увеличивается. Въ концѣ этого періода поршни занимаютъ положенія e и e′ указанныя на фиг. 37 сплошь и пунктиромъ, и закрывается паровпускное окно 3 съ лѣвой стороны большого цилиндра. S_1 есть величина напсленія этого цилиндра; она должна быть такъ разчитана, чтобы въ концѣ слѣдующаго періода передъ малымъ цилиндромъ и въ ресиверѣ было опять давленіе p_r, дабы впущенный при слѣдующемъ ходѣ съ лѣвой стороны малаго цилиндра свѣжій паръ, послѣ расширенія по пунктирной линіи $b_1 c_1$ (фиг. 32), при началѣ предваренія выпуска (въ точкѣ c_1 фиг. 32) могъ перейти въ ресиверъ безъ паденія давленія.

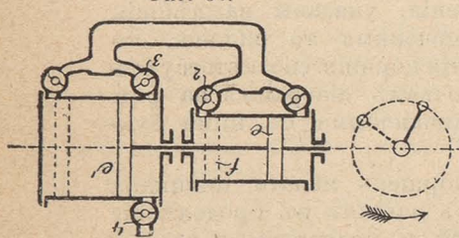
Фиг. 34.



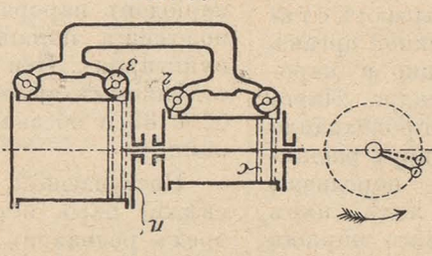
Послѣ закрытія паровпускного окна 3 (фиг 37) до начала третьяго хода происходитъ слѣдующее:

Сжатіе передъ малымъ поршнемъ и въ ресиверѣ по линіи ef на фиг. 32. Въ концѣ этого сжатія (при положеніи поршня f, указанномъ на фиг. 37 пунктиромъ) закрывается паровыпускное окно 2 съ правой стороны малаго цилиндра и затѣмъ слѣдуетъ:

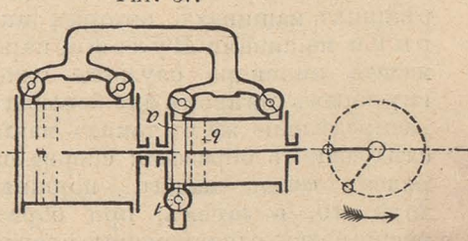
Фиг. 35.



Фиг. 36.



Фиг. 37.



Сжатіе передъ малымъ поршнемъ по линіи fg на фиг. 32. Въ концѣ этого сжатія открывается паровпускное окно 1 съ правой стороны малаго цилиндра и наступаетъ:

Предвареніе впуска передъ малымъ поршнемъ по линіи ga на фиг. 32.

Одновременно съ послѣдними тремя періодами въ большомъ цилиндрѣ происходитъ слѣдующее:

Расширеніе сзади большого поршня по линіи e′h′ на фиг. 33. Въ концѣ этого расширенія открывается паровыпускное окно 4 съ лѣвой стороны большого цилиндра.

Предвареніе выпуска пара сзади большого поршня по линіи h′i′ на фиг. 33.

Третій размахъ поршня.

Передъ большимъ поршнемъ наконецъ слѣдуютъ другъ за другомъ:

Выпускъ пара по линіи i′k′ (фиг. 33).

Сжатіе пара по линіи k′n′ (фиг. 33). Въ концѣ послѣдняго (при положеніи поршня въ n′, указанномъ на фиг. 36 пунктиромъ) открывается паровпускное окно 3 съ лѣвой стороны большого цилиндра. Чтобы при этомъ паръ изъ ресивера и сообщенной уже съ нимъ правой стороны малаго цилиндра переходилъ въ большой цилиндръ безъ паденія давленія, передъ большимъ поршнемъ конечное давленіе сжатія должно имѣть соотвѣтственную величину.

Предвареніе впуска пара по линіи n′d′ (фиг. 33).

Въ машинѣ двойного расширенія, въ которой кривошипы насажены на главный валъ подъ угломъ въ 180°, парораспредѣленіе происходитъ такимъ же образомъ, какъ было описано выше. Только когда мы слѣдимъ за свѣжимъ паромъ, поступившимъ подъ поршень съ правой стороны малаго цилиндра, при второмъ и третьемъ размахѣ поршня нужно разсматривать не лѣвую, а правую часть большого цилиндра.

На фиг. 34 текста дана ранкинизированная діаграмма вычерченныхъ на фиг. 32 и 33 сплошными линіями діаграммъ, упомянутой выше машины-тэндемъ. Ранкинизированіе произведено по первому изъ приведенныхъ на стр. 43 способовъ слѣдующимъ образомъ.

Отношеніе объемовъ цилиндровъ разсчитывается по даннымъ на стр. 51 размѣрамъ машины и будетъ

$$\frac{V}{v} = \frac{O}{o} = \frac{\overline{60}^2 \frac{\pi}{4}}{\overline{40}^2 \frac{\pi}{4}} = \overline{1{,}5}^2 = 2{,}25.$$

Основаніе діаграммы малаго цилиндра какъ и на фиг. 32 равно 75 mm, между тѣмъ какъ основаніе діаграммы большого цилиндра увеличено въ отношеніи объемовъ цилиндровъ и взято равнымъ (фиг. 34)

$$\overline{AA'} = 2{,}25 \cdot 75 = 168{,}75 \text{ mm}.$$

Далѣе діаграмма большого цилиндра нанесена на фиг. 34 въ перевернутомъ видѣ. Наконецъ масштабъ силъ для фиг. 34 выбранъ 10 mm. = 1 kg. Такъ что, принимая все это во вниманіе, имѣемъ

$\overline{AY}$ на фиг. 34 $= \overline{Ay}$ на фиг. 32,

$\overline{XY}$ „ „ 34 $= \frac{10}{5}\overline{xy}$ „ „ 32,

$\overline{AY'}$ „ „ 34 $= 2{,}25\ \overline{A'y'}$ „ „ 33,

$\overline{X'Y'}$ „ „ 34 $= \frac{10}{18}\overline{x'y'}$ „ „ 33 и т. д.

Теоретическая діаграмма αβγδεα построена для начальнаго давленія $p_k = 9$ атм. и для давленія мятаго пара, равнаго атмосферному, причемъ линія расширенія βγ при построеніи проведена черезъ точку c діаграммы малаго цилиндра. Центръ O для этой линіи выбранъ въ разстояніи m отъ начала координатъ, соотвѣтствующемъ вредному пространству малаго цилиндра, отнесенному къ большому цилиндру. Если величина m, отнесенная къ площади малаго поршня, составляетъ 0,03 общаго хода S, то, будучи отнесена къ площади большого поршня, она будетъ $\frac{0{,}03}{2{,}25} = 0{,}0133$, въ масштабѣ діаграммы она будетъ $0{,}0133 \cdot 168{,}75 = \sim 2{,}25$ mm. Степень полноты ранкинизированной діаграммы, т. е. отношеніе суммы обѣихъ площадей abcdefga и d′e′h′i′k′n′d′ къ площади αβγδεα на фиг. 34 получается равнымъ 0,87.

Индикаторныя діаграммы проектирующейся машины многократнаго расширенія строятся въ практикѣ по двумъ различнымъ способамъ. Первоначальная идея перваго способа принадлежитъ проф. Цейнеру (Zeuner). Потомъ этотъ способъ былъ разработанъ проф. Е. Шрётеромъ (E. Schröter) [1]) въ Мюнхенѣ и его бывшимъ ассистентомъ Е. Мёнхомъ (E. Mönch) [2]). Второй способъ впервые былъ опубликованъ директоромъ ремесленной школы въ Пильзенѣ, г. Зигмундомъ Готтлобомъ (Sigmund Gottlob) [3]) и впослѣдствіе разработанъ Dr. P. Прёллемъ (Dr. R. Proell) [4]). Оба способа будутъ показаны ниже на примѣрахъ.

Пусть для машины-тэндемъ съ холодильникомъ будетъ:

давленіе пара при впускѣ $p = 8{,}4$ атм.,
давленіе пара при выпускѣ $p_e = 0{,}2$ атм.,
давленіе въ концѣ расширенія въ большомъ цилиндрѣ $p_x = 0{,}5$ атм.,
величина вреднаго пространства малаго цилиндра $m = 0{,}03\ s$,
величина вреднаго пространства большого цилиндра $M = 0{,}05\ S$
и объемъ ресивера, отнесенный къ объему большого цилиндра, $RO = 0{,}53\ SO$.

Отношеніе объемовъ обоихъ цилиндровъ нужно выбрать такъ, чтобы оба давали приблизительно равныя работы. Для того чтобы выбрать это отношеніе, предварительно построимъ по даннымъ на стр. 45 теоретическую діаграмму a b c d e f a одноцилиндровой машины (фиг. 30, стр. 42), принимая во вниманіе сжатіе и сказанное на стр. 45. При построеніи основаніе діаграммы $\overline{AA'} = 90$ mm. и отъ точки A отложена величина вреднаго пространства $\overline{OA}$ цилиндра высокаго давленія, отнесенная къ цилиндру низкаго давленія, и равная 1 mm. Масштабъ силъ выбранъ 10 mm = 1 kg; слѣдовательно $\overline{Aa} = 84$ mm, $\overline{A'c} = 5$ mm $\overline{A'd} = 2$ mm. Линія расширенія bc представляетъ кривую Маріотта (гиперболу), построенную изъ центра O обратно, отъ точки c; линія сжатія ef построена точно такимъ же образомъ отъ точки f, причемъ $af = 15$ mm. Если теперь раздѣлить площадь a b c d e f a на двѣ равновеликія части, то получимъ длину горизонтали $s = 28{,}5$ mm; принимая же во вниманіе, что $\overline{OA'} = 91$ mm $= M + S = 1{,}05\ S$ и $S = \frac{91}{1{,}05} = 86{,}7$ mm., отношеніе объемовъ цилиндровъ будетъ:

$$\frac{V}{v} = \frac{86{,}7}{28{,}5} = \sim 3{,}05.$$

---

1) Zeitschrift deutscher Ingenieure, Jahrhang 1884, Seite 191.
2) „ „ „ „ 1890, „ 553.
3) „ „ „ „ 1884, „ 643.
4) „ „ „ „ 1891, „ 988.

Примѣч. ред. Въ № 1. Zeitschrift deutsch. Ingen. 1899 опубликовано измѣненіе способа Шрётера, на основаніи котораго я нашелъ возможность всѣ способы вывести изъ одного общаго начала, объединивъ способы Шрётера и Gottlob'a.

Если принять во вниманіе конечную величину ресивера, то линія, ограничивающая діаграмму цилиндра высокаго давленія снизу, отклонится отъ горизонтальной линіи раздѣла $\overline{hg}$ книзу, отчего, слѣдовательно, эта діаграмма увеличится. Поэтому слѣдовало-бы отношеніе цилиндровъ еще увеличить для того, чтобы получить равныя площади діаграммъ. Съ другой же стороны парораспредѣлительные приборы наврядъ-ли дозволятъ довести сжатіе въ цилиндрѣ низкаго давленія до того давленія, которое дано въ діаграммѣ на фиг. 30 текста. Меньшее же сжатіе въ цилиндрѣ низкаго давленія вызываетъ увеличеніе площади діаграммы его и въ виду этого обстоятельства пришлось бы уменьшить опредѣленное выше отношеніе объемовъ цилиндровъ для достиженія равенства работъ въ нихъ. Такъ какъ первое изъ приведенныхъ обстоятельствъ оказываетъ большее вліяніе, чѣмъ послѣднее, то для дальнѣйшаго мы примемъ

$$\frac{V}{v} = \sim 3{,}33$$

и этимъ отношеніемъ, дѣйствительно, достигнемъ, съ достаточнымъ приближеніемъ, равенства работъ въ обоихъ цилиндрахъ, причемъ будутъ приняты во вниманіе конечная величина ресивера, предвареніе впуска и выпуска и т. д. Коэффиціентъ наполненія $\frac{s_1}{s}$ малаго цилиндра опредѣлится изъ фиг. 30 и будетъ равенъ

$$\frac{5}{28{,}5} = \sim \frac{1}{5{,}7}.$$

1. Способъ [1]).

Фиг. 1, табл. 28.

Примемъ основаніе діаграммы большого цилиндра $S = 100$ mm и отложимъ, какъ это сдѣлано въ верхней части фиг. 1, послѣдовательно: [2])

длину хода малаго поршня $s = \frac{S}{3{,}33} = \frac{100}{3{,}33} = 30$ mm,

величину вреднаго пространства малаго цилиндра $m = 0{,}03\ s = 0{,}03.30 = 0{,}9$ mm,

величину ресивера $R = 0{,}53\ S = 0{,}53.100 = 53$ mm,

величину вреднаго пространства большого цилиндра $M = 0{,}05\ S = 0{,}05.100 = 5$ mm,

и длину хода большаго цилиндра $S = 100$ mm.

Для полученія объемовъ, соотвѣтствующихъ вышеприведеннымъ величинамъ, нужно ихъ помножить на площадь большого поршня O.

Для того, чтобы возможно было во время измѣненій состоянія пара, которымъ онъ подвергается въ машинѣ, опредѣлить соотвѣтственныя величины объемовъ, необходимыя при построеніи діаграммъ, построены діаграммы объемовъ какъ на величинѣ хода малаго поршня s, такъ и на величинѣ хода большого поршня S, какъ это было указано на стран. 16.

Пунктирныя линіи представляютъ кривыя путей поршней при безконечно длинномъ шатунѣ, сплошныя же линіи A D G и o D′ I′ N′ тѣ же кривыя при конечной длинѣ шатуна, согласно фиг. 13 и 9 текста.

Надъ горизонталью X — X и подъ діаграммою объемовъ малаго цилиндра (фиг. 1, табл. 28) построена затѣмъ кривая a b c для передняго хода малаго поршня. Для этой кривой a b представляетъ періодъ полнаго давленія пара при наполненіи

$$s_1 = \frac{1}{5{,}7}\ s = \frac{1}{5{,}7}\ 30 = \sim 5{,}3 \text{ mm}$$

и при давленіи при впускѣ $p = 8{,}4$ атм. $= 8{,}4.10 = 84$ mm. Во время періода полнаго давленія объемъ сзади малаго поршня измѣняется какъ горизонтали между вертикалью черезъ O_1 и кривою хода поршня AB.

b c есть кривая Маріотта (гипербола), построенная изъ вершины O_1 для періода расширенія пара. Объемъ сзади малаго поршня увеличивается какъ горизонтали между вертикалью черезъ O_1 и кривою BC.

Въ точкѣ c (или C) малый цилиндръ сообщается съ ресивером, въ которомъ, въ это время, давленіе p_r должно быть равно давленію сзади малаго поршня, чтобы не произошло паденія давленія.

Линію предваренія выпуска пара cd (соотвѣтствующая въ діаграммѣ объемовъ измѣненію горизонталей отъ CY до NZ и отъ NN′ до DD′) можно разсматривать приблизительно какъ продолженіе кривой расширенія b c, если, какъ въ данномъ случаѣ, не происходитъ паденія давленія между малымъ цилиндромъ и ресивером. Напротивъ подобное паденіе давленія въ небольшой степени неизбѣжно, вслѣдствіе того, что сжатіе въ большомъ цилиндрѣ не доведено вполнѣ до ресивернаго давленія; это паденіе произойдетъ незадолго до прихода поршней въ лѣвыя мертвыя положенія и именно, въ точкахъ N и N′ кривыхъ хода поршней.

Отъ точки d или точки d′ діаграммъ малаго и большого цилиндра, (которымъ въ діаграммѣ объемовъ соотвѣтствуютъ точки D и D′) начинается общее расширеніе впереди малаго поршня, сзади большого и въ ресиверѣ по линіи d e въ маломъ и по линіи d′ e′ въ большомъ цилиндрахъ. Объемы въ цилиндрахъ и ресиверѣ измѣняются во время этого расширенія какъ горизонтали между частями DE кривой хода малаго поршня и D′E′ кривой хода большого поршня.

Кривыя расширенія d e и d′ e′ строятся изъ вершины O слѣдующимъ образомъ. Въ лѣвыхъ мертвыхъ положеніяхъ обоихъ поршней объемъ расширяющагося пара $v_1 = DD' = s + m + R + M$, т. е. равенъ разстоянію между вертикалями черезъ O и d′. Такъ какъ ордината точки d′ представляетъ соотвѣтствующее давленіе пара, то для расширенія пара въ большомъ цилиндрѣ нужно строить кривую Маріотта (гиперболу) отъ этой точки изъ вершины O. При положеніи поршней A_2 или A_2' объемъ расширяющагося пара будетъ v_2, который получится, если вертикали черезъ A_2 и A_2' продолжить до соотвѣтствующихъ кривыхъ ходовъ поршней DE и D′E′. Если отложить v_2 отъ точки O, то получимъ точку A_7', а вертикаль черезъ эту точку и горизонталь черезъ точку d′ дадутъ точку B_2'. Лучъ $\overline{OB_2'}$ пересѣкаетъ вертикаль черезъ d′ въ точкѣ y_2', а горизонтальная линія черезъ эту точку пересѣкаетъ вертикали черезъ A_2 и A_2' въ двухъ точкахъ x_2 и x_2' искомыхъ кривыхъ расширенія.

Кривая расширенія пара въ цилиндрѣ низкаго давленія построена немного ниже кривой d′e′, что сдѣлано въ виду того, что при переходѣ пара изъ ресивера въ этотъ цилиндръ происходитъ незначительное паденіе давленія.

Путь S_1, на которомъ происходитъ наполненіе большого цилиндра (и слѣдовательно точки e и e′ діаграммъ), надо выбрать такъ, чтобы въ концѣ происходящаго затѣмъ передъ малымъ поршнемъ и въ ресиверѣ сжатія, т. е. въ точкѣ f,

---

[1]) Первоначальная идея этого способа принадлежитъ проф. Цейнеру, а потомъ онъ былъ разработанъ проф. Шрётеромъ и его бывшимъ ассистентомъ Мёнхомъ.

[2]) Вслѣдствіе фотографическаго уменьшенія оригинальной таблицы величины не вполнѣ точны по масштабу.

было опять то же давленіе p_r, какъ и въ точкѣ c, дабы вступающій подъ поршень малаго цилиндра съ лѣвой стороны свѣжій паръ въ концѣ своего расширенія, т. е. при началѣ выпуска въ ресиверъ, въ послѣднемъ встрѣтилъ тоже самое давленіе. Съ этою цѣлью мы отъ точки g, соотвѣтствующей концу сжатія передъ малымъ поршнемъ, строимъ изъ вершины O_1 кривую gz′. Далѣе отъ точки пересѣченія f этой кривой съ горизонталью, проходящею черезъ точку c, строятъ, въ обратномъ направленіи кривую fx′ изъ вершины O_2. Пересѣченіе этой кривой съ ранѣе построенной кривой dy′ и даетъ точку e для малаго и точку e′ для большого цилиндра.

Точка g на фиг. 1 выбрана такъ, что давленіе въ концѣ сжатія меньше давленія свѣжаго пара на 1,5 kg, т. е. $p_3 = 8{,}4 - 1{,}5 = 6{,}9$ kg и предвареніе впуска малаго цилиндра 0,01 $s = 0{,}3$ mm. Проведя любую линію, напр. $\overline{O_1B_5}$, получимъ для положенія поршня A_5 точку x_5 кривой gz′, если черезъ точку пересѣченія y_5 линіи $\overline{O_1B_5}$ съ вертикалью черезъ g провести горизонталь. Далѣе, напримѣръ, для положенія поршня A_4 опредѣлится точка x_4 кривой fx′, если вертикаль черезъ A_4 продолжить до пересѣченія съ горизонталью $\overline{cf}$ въ точкѣ B_4, а затѣмъ точку пересѣченія y_4 луча $\overline{O_2B_4}$ съ вертикалью черезъ f горизонтально перенести до точки x_4.

Точку m′ отсѣчки большого пилиндра надо выбрать, принимая во вниманіе неизбѣжное мятіе пара при закрытіи паровпускного канала. Далѣе для большого цилиндра, какъ для одноцилиндровой машины, слѣдуетъ вычертить:

кривую расширенія m′h′; это есть кривая Маріотта (гипербола), построенная изъ вершины O_2,

линію предвареніе выпуска пара h′i′ на глазъ,

линію выпуска пара i′k′ горизонтально, въ разстояніи 2 mm надъ основаніемъ X—X,

линію сжатія k′n′, строя отъ точки n′ обратную кривую Маріотта изъ вершины O_2 и

линію предваренія впуска n′d′ опять на глазъ.

Для положенія поршня A_6' точка x_6' кривой расширенія m′h′ получится, если черезъ точку пересѣченія B_6' горизонтали и вертикали черезъ точки m′ и A_6' провести лучъ $\overline{O_2B_6'}$. Проведя далѣе черезъ точку y_6' горизонталь до пересѣченія съ линіею $\overline{A_6'B_6'}$ получилъ точку x_6' искомой кривой.

Точка n′ выбрана такимъ образомъ, чтобы давленіе въ концѣ сжатія было 0,9 kg. и періодъ предваренія впуска большого цилиндра былъ 0,005 $S = 0{,}5$ mm. При положеніи поршня въ A_7' вертикаль черезъ эту точку и горизонталь черезъ точку n′ дадутъ въ пересѣченіи точку B_7'. Далѣе лучъ $\overline{O_2B_7'}$ даетъ точку y_7', а горизонталь черезъ эту точку—точку x_7' кривой сжатія n′k′.

2. Способъ [1]).

Фиг. 6, табл. 28.

Основаніе для діаграммъ въ этомъ способѣ выбрано въ предположеніи, что оба поршня имѣютъ одинаковый ходъ, но разныя площади, общее и равное $S = 60$ mm. На горизонтальной линіи X—X отъ точки O послѣдовательно откладываютъ: линейную величину вреднаго пространства малаго цилиндра, которая при общемъ ходѣ $S = 60$ mm и отнесенная къ площади этого цилиндра будетъ (см. стр. 46) $m\frac{S}{s} = 0{,}03\ s\frac{S}{s} = 0{,}03.60 = 1{,}8$ mm, основаніе діаграммъ, равное 60 mm и величину вреднаго пространства большого цилиндра, равную $M = 0{,}05\ S = 0{,}05.60 = 3$ mm.

Далѣе на вертикали, проведенной черезъ точку B, отложены (причемъ все отнесено къ площади поршня большого цилиндра, слѣдовательно для $S = 60$ mm и $s = \frac{S}{3{,}33} = 18$ mm):

линейная величина вреднаго пространства цилиндра низкаго давленія $M = 0{,}05\ S = 0{,}5 . 60 = 3$ mm,
длина ресивера $R = 0{,}53\ S = 0{,}53.60 = 31{,}8$ mm,
линейная величина вреднаго пространства малаго цилиндра $m = 0{,}03\ s = 0{,}03.18 = 0{,}54$ mm,
длина хода малаго поршня $s = 18$ mm,
а на вертикали, проведенной черезъ точку D отложено $S = 60$ mm.

Въ выбранномъ масштабѣ силъ 1 kg = 6 mm. Такъ какъ далѣе, на фиг. 30 текста, въ ранкинизированной діаграммѣ $\frac{s_1}{s}$ было $= \frac{5}{28{,}5} = \sim\frac{1}{5{,}7}$, то, въ данномъ случаѣ, для діаграммъ съ одинаковыми основаніями, по сказанному на стр. 47 (см. примѣчаніе 2 на той же стр.)

$$\frac{s_1}{S} = \frac{1}{5{,}7} \text{ или } s_1 = \frac{60}{5{,}7} = \sim 10{,}5 \text{ mm}.$$

На чертежѣ (фиг. 6, табл. 28)

ab соотвѣтствуетъ наполненію,

bc—расширенію сзади малаго поршня. Это есть кривая Маріотта, построенная изъ вершины O причемъ допущено, что нижній конецъ ея можетъ, приблизительно, служить и для изображенія предваренія выпуска.

cd—общему расширенію пара впереди малаго поршня, сзади большого и въ ресиверѣ. cd есть кривая Маріотта съ вершиною въ точкѣ O_3, которая получится, если провести линію FA.

Абсциссы, считая ихъ отъ O_3 измѣняются для различныхъ положеній поршней какъ объемы при упомянутомъ общемъ расширеніи. При началѣ этого расширенія объемъ пара напр. будетъ $M + R + m + s = \overline{BA}$, а для положенія поршня въ A_x онъ будетъ $\overline{A_xz}$. Но

$$\frac{\overline{O_3B}}{\overline{O_3A_x}} = \frac{\overline{AB}}{\overline{A_xz}}.$$

Точка d опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Построимъ обратную гиперболу fz′ для сжатія впереди малаго поршня изъ вершины O отъ точки f, которая, какъ мы полагаемъ, соотвѣтствуетъ давленію въ концѣ сжатія, пренебрегая при этомъ предвареніемъ впуска, затѣмъ опредѣлимъ точку пересѣченія e кривой fz′ съ горизонталью черезъ c.

Далѣе построимъ гиперболу ed для сжатія впереди малаго поршня и въ ресиверѣ изъ вершины O_2.

Очевидно въ такомъ случаѣ, что при закрытіи малаго цилиндра, въ ресиверѣ, въ точкѣ e, будетъ то же самое давленіе p_r, которое будетъ имѣть свѣжій паръ сзади малаго поршня въ концѣ расширенія, такъ что соединеніе этого цилиндра съ ресиверомъ можетъ происходить безъ паденія давленія.

Гипербола ed строится изъ вершины O_2, которая получается, если провести прямую $\overline{AD}$, на томъ основаніи, что абсциссы, отъ точки O_2, будутъ пропорціональны ординатамъ между $\overline{O_2Y}$ и $\overline{O_2A}$, а послѣднія представляютъ очевидно объемы пара для различныхъ положеній поршней во время разсматриваемаго сжатія [1]).

[1]) Принадлежитъ д-ру Зигмунду Готтлобъ и разработанъ др. Преллемъ (Dr. Pröll'емъ).

[1]) Здѣсь въ подлинникѣ ошибка: гипербола строится не изъ вершины O_2, а изъ ея проекціи на линію X—X.

Пр. редак.

Наконецъ линія dg есть кривая расширенія пара сзади большого поршня и построена изъ вершины O_4, пренебрегая предвареніемъ выпуска пара, линія hi представляетъ выпускъ пара и ic–сжатіе впереди большого поршня. Эта кривая построена изъ вершины O_4, пренебрегая предвареніемъ впуска пара [1]).

Распредѣленіе давленій происходитъ въ отдѣльныхъ цилиндрахъ машинъ-компаундъ совершенно также, какъ и въ одноцилиндровой машинѣ. Если, слѣдовательно, соединить ординаты перевернутой кривой abcd (фиг. 1, табл. 28) съ соотвѣтственными ординатами кривой defg, то получимъ діаграмму рабочихъ давленій abcdefga малаго цилиндра на фиг. 2, табл. 28. Соединеніемъ соотвѣтственныхъ ординатъ кривой d′m′h′i′ съ ординатами перевернутой кривой i′k′n′d′ получимъ діаграмму рабочихъ давленій u′Y′p′X′u′ большого цилиндра на фиг. 3. Далѣе на фиг. 2 и на фиг. 3 qq′ и QQ′ суть линіи давленій силъ инерціи, ординаты которыхъ будучи соединены по способу, указанному на стр. 30, съ ординатами соотвѣтствующей діаграммы рабочихъ давленій дадутъ діаграмму горизонтальныхъ равнодѣйствующихъ ghiklmg на фиг. 2 для малаго цилиндра и u″X″p″Y″u″ на фиг. 3 для большого цилиндра. Чтобы теперь получить общую діаграмму касательныхъ усилій, отнесенную къ полезной площади большого цилиндра при общемъ ходѣ обоихъ поршней, слѣдуетъ ординаты первой діаграммы горизонтальныхъ равнодѣйствующихъ уменьшать въ отношеніи цилиндровъ $\frac{V}{v}=\frac{S}{s}$, а абсциссы той-же діаграмы увеличить въ томъ же отношеніи, послѣ чего мы получимъ діаграму uYpXu на фиг. 2, табл. 28.

На этой фигурѣ, напримѣръ,

$$\overline{oA_6}=\overline{oa_6}\frac{S}{s},\quad \overline{A_6B_6}=\overline{a_6b_6}\frac{s}{S}\text{ и}$$

$$\overline{A_6C_6}=\overline{a_6c_6}\frac{s}{S}.$$

Наконецъ горизонтальныя равнодѣйствующія разложены для малаго цилиндра (фиг. 4, табл. 28) на нормальныя давленія n и на силы s, направленныя по оси шатуна для 24 положеній кривошипа. Послѣднія силы s разложены далѣе на радіальныя составляющія r и на касательныя t. Если откладывать касательныя усилія на ординатахъ въ соотвѣтствующихъ точкахъ на развернутой длинѣ окружности кривошипа $S\pi$ кверху, если они будутъ для малаго цилиндра помогающими движенію, а для большого — препятствующими ему, книзу, если они для малаго цилиндра будутъ препятствующими, а для большого — помогающими усиліями, то получимъ (фиг. 5, табл. 28) діаграммы касательныхъ усилій пунктирную (черточки съ точками) abcdefghi малаго цилиндра и пунктирную (черточками) $ab_1c_1d_1e_1f_1g_1i$ большаго цилиндра [2]).

Объ эти діаграммы соединяются въ одну общую діаграмму, какъ на фиг. 5. Для того, чтобы получить ординаты сплошной кривой на этой фигурѣ, надо соотвѣтственныя ординаты пунктирныхъ кривыхъ складывать, если онѣ расположены по ту и другую сторону основанія $\overline{ai}$ и вычитать, если онѣ расположены по одну сторону этого основанія и полученныя такимъ образомъ суммы или разности отложить кверху отъ основанія $\overline{ai}$, если они соотвѣтствуютъ движущимъ и книзу, если они соотвѣтствуютъ сопротивляющимся касательнымъ усиліямъ. Разность площадей, расположенныхъ надъ и подъ основаніемъ $\overline{ai}$ и ограниченныхъ сплошною кривою, равна площади прямоугольника съ тѣмъ же основаніемъ $\overline{ai}$ и высотою w, изображающей сопротивленіе на главномъ валу. Верхняя сторона этого прямоугольника въ то же самое время даетъ необходимыя для разсчета массы маховика избыточныя и недостаточныя площадки (f_1 до f_4).

Сравнивая вышеприведенныя компаундъ-машины, у которыхъ кривошипы насажены на главный валъ подъ угломъ въ 0° и 180°, можно вывести слѣдующее.

Машины-тэндемъ прежде всего представляютъ ту выгоду, что пріобрѣтеніе ихъ, вслѣдствіе меньшаго количества штангъ, обходится дешевле, что такія горизонтальныя машины занимаютъ хоть и длинное, но за то узкое мѣсто и что въ случаѣ надобности машину-тэндемъ легко и удобно устроить изъ существующей уже на мѣстѣ одноцилиндровой машины, присоединяя къ цилиндру послѣдней бо́льшій цилиндръ. Далѣе давленіе на штанги, какъ показалъ Радингеръ, превосходитъ давленіе на штанги въ соотвѣтственной одноцилиндровой машинѣ самое большее въ 1,5 раза, отчего штанги выходятъ совсѣмъ не такими тяжеловѣсными, какъ обыкновенно заключаютъ изъ того обстоятельства, что на нихъ дѣйствуютъ давленія обоихъ поршней. Наконецъ, рабочее давленіе тэндемъ-машины въ мертвомъ положеніи всегда превосходитъ силу инерціи, необходимую для ускоренія массы штангъ и, слѣдовательно, всегда возможно надлежащимъ сжатіемъ (см. стр. 33), даже при большой скорости, достигнуть плавнаго и спокойнаго хода машины.

Всѣ эти преимущества изчезаютъ, когда кривошипы насажены подъ угломъ въ 180°. Болѣе высокая стоимость, бо́льшее мѣсто, которое онѣ требуютъ для установки, и то обстоятельство, что рабочее давленіе въ большомъ цилиндрѣ въ мертвыхъ положеніяхъ легко можетъ оказаться меньше давленія силъ инерціи, причемъ слѣдовательно сжатіе остается безъ вліянія на спокойствіе хода машины (см. сказанное объ этомъ въ слѣдующемъ параграфѣ), все это говоритъ противъ примѣненія этихъ машинъ. Такія машины представляютъ только ту выгоду, что давленіе силъ инерціи движущихся другъ другу на встрѣчу штангъ обоихъ цилиндровъ до нѣкоторой степени уравновѣшиваются, вслѣдствіе чего эти машины не такъ сотрясаютъ фундаментъ, что говоритъ въ пользу установки ихъ подъ жилыми помѣщеніями. Спокойствіе хода въ этомъ отношеніи, какъ будетъ показано ниже, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ ближе другъ къ другу будутъ расположены оба цилиндра. Инженеръ Кольманъ (Collmann) взялъ патентъ (D. R. P. № 49861), въ которомъ онъ стремился получить наибольшія выгоды въ этомъ отношеніи и этотъ патентъ былъ

---

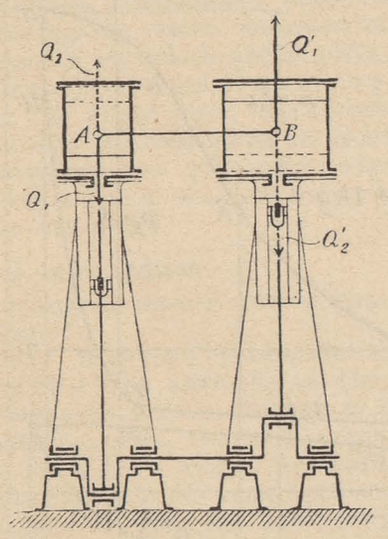
[1]) Оба цилиндра по діаграммамъ фиг. 6 даютъ одинаковыя работы, если площадь abcdefa больше площади cdghic въ отношеніи цилиндровъ $\frac{V}{v}$.

[2]) Примѣч. Указанный способъ построенія діаграммы тангенціальныхъ усилій относится лишь къ машинамъ о двухъ кривошипахъ. Въ случаѣ машины-тэндемъ, имѣющей одинъ кривошипъ, на силы инерціи слѣдовало исправить не обѣ діаграммы рабочихъ давленій, но лишь діаграмму одного изъ цилиндровъ, дабы силы инерціи не ввести въ расчетъ вдвойнѣ. Пр. ред.

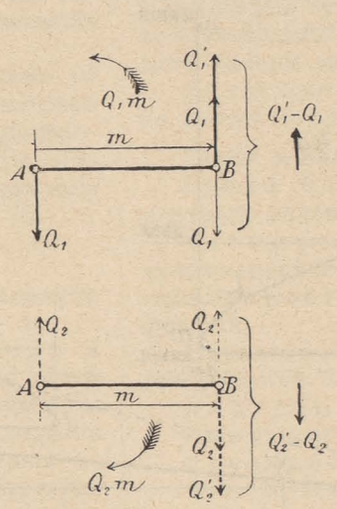
уже нѣсколько разъ выполненъ, какъ напр. въ вертикальной машинѣ, для выставки въ Франкфуртѣ въ 1891 г., построенной на машиностроительномъ заводѣ Buckau, акціон. компаніи въ Магдебургѣ, и въ горизонтальной машинѣ, построенной машиностроительнымъ заводомъ А. Лангъ (A. Lang) въ Будапештѣ для электрическаго трамвая тамъ-же.

Какъ уже было объяснено на стр. 34, разность между давленіями на поршень и на крышку цилиндра въ каждое мгновеніе равна давленію силы инерціи по величинѣ и по направленію. Если поэтому напр. малый поршень вертикальной компаундъ-машины съ кривошипами подъ угломъ въ 180° находится въ нижнемъ, а большой поршень въ верхнемъ мертвомъ положеніи (фиг. 38 текста), то для перваго поршня разность между упомянутыми давленіями (или давленіе силы инерціи) Q_1 дѣйствуетъ книзу, а для второго эта разность Q_1' направлена кверху. Первое давленіе Q_1 прижимаетъ машину къ фундаменту, а второе Q_1' стремится ее приподнимать. Перенесемъ оба давленія Q_1 и Q_1' (фиг. 39 a) къ плечу $\overline{AB} = m$, равному разстоянію между цилиндрами, и приложимъ въ точкѣ B двѣ равныя и противоположныя силы Q_1. Въ такомъ случаѣ въ результатѣ имѣемъ въ точкѣ B равнодѣйствующую $Q_1' - Q_1$, стремящуюся приподнять машину и пару $Q_1 m$, которая стремится повернуть всю машину влѣво.

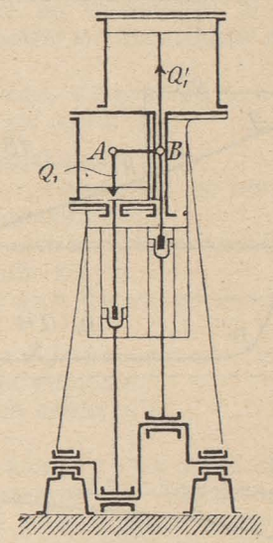
Фиг. 38.



Фиг. 39a и 39b.



Фиг. 40.



Если же малый поршень будетъ въ верхнемъ мертвомъ положеніи, а большой въ нижнемъ, то изъ давленія силы инерціи для перваго поршня Q_2, направленнаго кверху, и изъ книзу направленнаго давленія силы инерціи Q_2' для второго поршня получимъ такимъ же образомъ, какъ и въ предыдущемъ случаѣ (фиг. 39 b) равнодѣйствующую $Q_2' - Q_2$ въ точкѣ B, которая усиливаетъ давленіе машины на фундаментъ и пару силъ $Q_2 m$, которая стремится повернуть всю машину вправо.

Слѣдовательно на машину съ кривошипами подъ угломъ въ 180° при помощи движущихся кверху и книзу штангъ дѣйствуетъ самое большое одна сила $Q_1' - Q_1$ кверху или $Q_2' - Q_2$ книзу.

Въ случаѣ $Q_1 Q_1' =$ и $Q_2 = Q_2'$, т. е. когда массы штангъ обоихъ цилиндровъ будутъ равны, эта сила была бы даже равна нулю. Но во всякомъ случаѣ останется пара $Q_1 m$ или $Q_2 m$, которая будетъ стремиться качать машину то вправо, то влѣво. Но дѣйстіе этой пары будетъ тѣмъ незначительнѣе и вліяніе на спокойствіе всей машины движущихся массъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше будетъ разстояніе m, чѣмъ слѣдовательно ближе другъ къ другу будутъ расположены оба цилиндра.

При устройствѣ Кольманна, которое схематически показано на фиг. 40 текста, это обстоятельство удовлетворяется тѣмъ, что штанги большого цилиндра, который расположенъ надъ малымъ, расположены совсѣмъ вблизи послѣдняго. Это устройство имѣетъ впрочемъ другія неудобства, которыя оправдываютъ его только въ исключительныхъ случаяхъ, тѣмъ болѣе, что вредное вліяніе давленій силъ инерціи, какъ было замѣчено на стр. 36, большею частью можно устранить и при нормальныхъ устройствахъ.

§ 19.

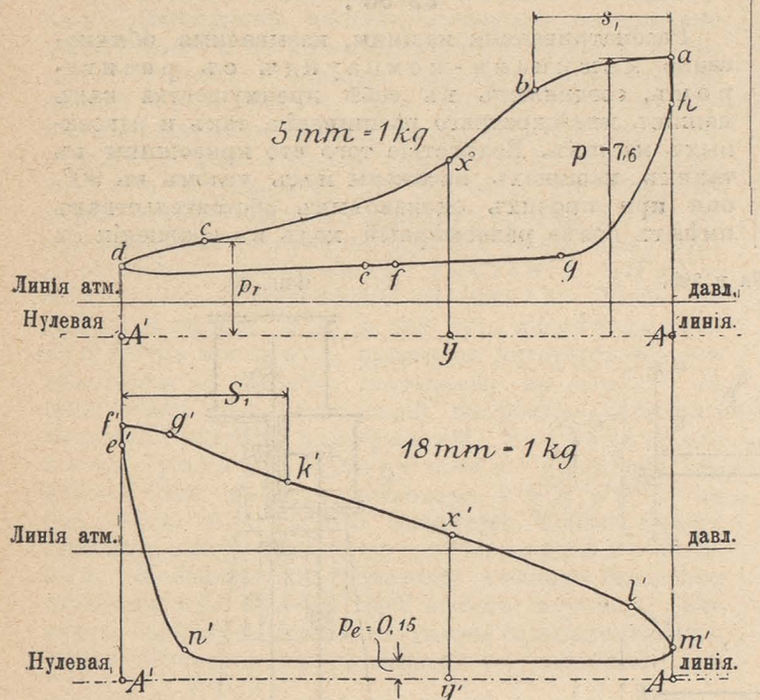
Распредѣленіе пара и давленій въ машинѣ-компаундъ съ двумя цилиндрами и кривошипами подъ угломъ въ 90°.

Разсматриваемыя машины, называемыя обыкновенно машинами-компаундъ съ ресивером, соединяютъ въ себѣ преимущества какъ машинъ многократнаго расширенія, такъ и сдвоенныхъ машинъ. Вслѣдствіе того что кривошипы въ такихъ машинахъ насажены подъ угломъ въ 90°, они при прочихъ одинаковыхъ обстоятельствахъ имѣютъ болѣе равномѣрный ходъ въ сравненіи съ машинами многократнаго расширенія предыдущаго параграфа, такъ какъ касательныя усилія для обоихъ кривошиповъ, какъ было показано для сдвоенныхъ машинъ, при сложеніи, даютъ кривую касательныхъ усилій, которая отклоняется значительно менѣе отъ прямой постоянной нагрузки вала, чѣмъ это имѣетъ мѣсто въ машинахъ, въ которыхъ кривошипы насажены на главный валъ подъ угломъ въ 0° или 180°, для которыхъ эти силы слагаются крайне невыгодно.

Кромѣ того компаундъ-машины съ ресивером можно пускать въ ходъ при какомъ угодно положеніи. За то машины двойного расширенія съ кривошипами подъ угломъ въ 90°, какъ и машины Вульфа съ кривошипами подъ угломъ въ 180° имѣютъ тотъ недостатокъ, что для машинъ безъ охлажденія пара, въ которыхъ рабочее давленіе, вслѣдствіе высокаго противодавленія, очень мало и при большой скорости поршня, ускореніе массъ штангъ можетъ превысить движущее давленіе. Если въ такомъ случаѣ линія давленій силъ инерціи пересѣкаетъ кривую впуска пара подъ значительнымъ угломъ, то почти невозможно достигнуть свободнаго отъ толчковъ хода, тѣмъ болѣе, что въ такомъ случаѣ линія рабочихъ давленій пересѣкаетъ кривую давленій силъ инерціи не одинъ, а нѣсколько разъ и, слѣдовательно, во время одного хода поршня происходятъ нѣсколько разъ измѣненіе давленія и удары. Поэтому какъ въ тѣхъ, такъ и въ другихъ машинахъ надо стремиться къ тому, чтобы въ боль-

шомъ цилиндрѣ штанги выходили по возможности легкими, прицѣпляя, напримѣръ, воздушный насосъ, въ случаѣ надобности въ немъ, не къ цилиндру низкаго давленія, а къ цилиндру высокаго давленія и дѣлая поршень перваго цилиндра пустотѣлымъ, съ незначительною толщиною стѣнокъ и т. д.

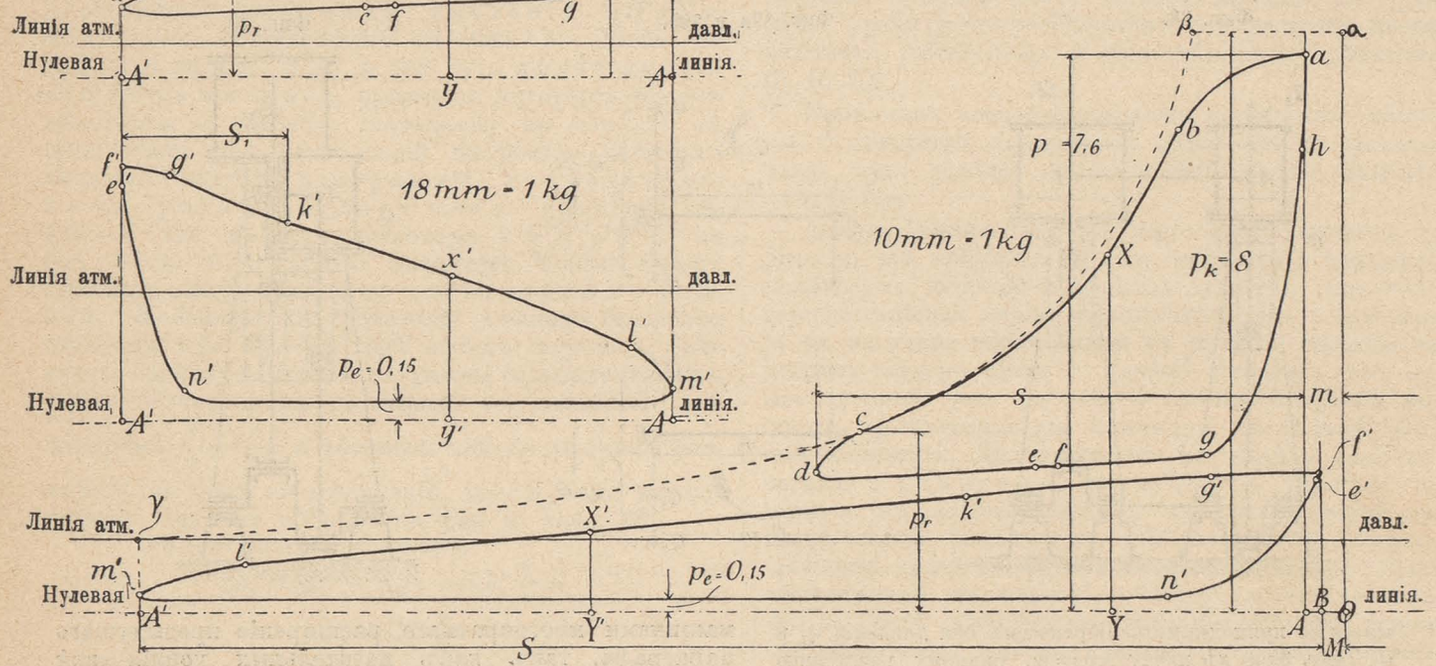
Фиг. 41 и 42.



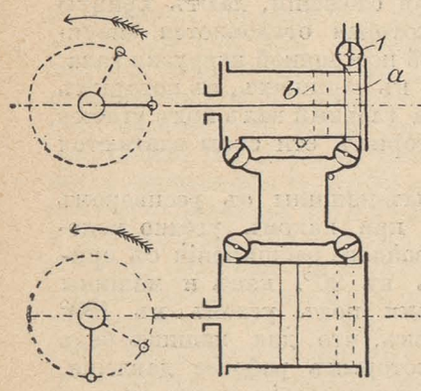
Періоды парораспредѣленія въ машинѣ-компаундъ съ ресиверомъ опять лучше всего прослѣдить по индикаторной діаграммѣ ея. Фиг. 41 и 42 текста представляютъ діаграммы подобной машины съ холодильникомъ, построенной фирмою Märky, Bromovsky & Schulz въ Прагѣ по слѣдующимъ даннымъ.

Діаметръ малаго цилиндра = 680 mm,
» большого » = 1060 mm,
общій ходъ = 1260 mm,
величина вреднаго пространства малаго цилиндра, отнесенная къ площади его поршня = 8% хода,
величина вреднаго пространства большого цилиндра, отнесенная къ площади его поршня = = 2% хода,

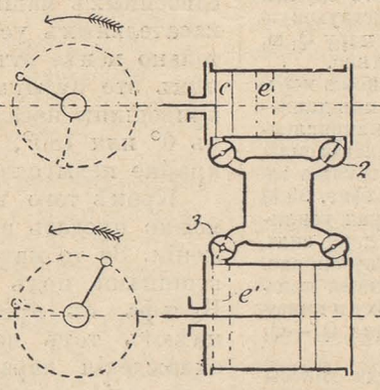
Фиг. 43.



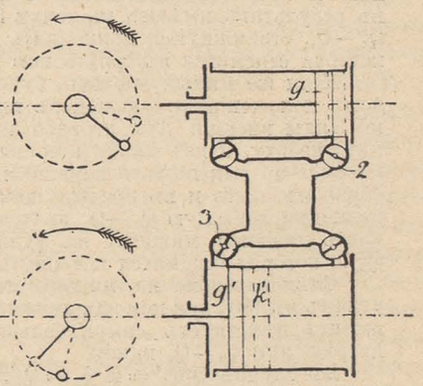
Фиг. 44.



Фиг. 45.



Фиг. 46.



Если, даже при возможномъ уменьшеніи массы штангъ въ мертвыхъ положеніяхъ машины невозможно достигнуть, чтобы давленіе силъ инерціи было меньше давленія пара, что можетъ случиться при большой скорости поршня, и если, слѣдовательно, невозможно избѣгнуть большаго угла пересѣченія между линіею давленій силъ инерціи и линіею рабочихъ давленій, то можно рекомендовать устройство компенсаціонняго механизма, какъ это предложено Миссонгомъ (Missong) въ Zeitschrift deutsch. Ingen. Jahrgang 1893, стр. 1084, для уравниванія силъ инерціи. На продолженіи поршневаго штока цилиндра низкаго давленія насаживается второй поршень, при помощи котораго ускореніе массъ штангъ во вторую половину хода поршня идетъ на сжатіе газа, давленіе котораго въ первую часть хода дѣйствуетъ на массы штангъ ускоряющимъ образомъ.

отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{V}{v} = \frac{1060^2}{680^2} = 2{,}43$,

давленіе пара при впускѣ = 7,6 атм. и
давленіе пара при выпускѣ = 0,15 атм.

Въ діаграммѣ малаго цилиндра (фиг. 41 текста) 1 kg соотвѣтствуетъ 5 mm, въ діаграммѣ большого (фиг. 42) 1 kg соотвѣтствуетъ 18 mm, а основаніе діаграммъ равно 75 mm. Въ дополненіе къ этимъ діаграммамъ на фиг. 44, 45 и 46 показаны важнѣйшія положенія поршней, причемъ соотвѣтственныя положенія поршней на этихъ фигурахъ и на діаграммахъ обозначены одинаковыми буквами.

Вступающій подъ поршень малаго цилиндра свѣжій паръ остается въ машинѣ въ продолженіи трехъ съ половиною ходовъ.

Первый ходъ поршня. Сзади малаго поршня происходитъ слѣдующее:

Впускъ пара по линіи ab (фиг. 41). Въ концѣ впуска, при положеніи поршня b, показаннаго на фиг. 44 пунктиромъ, паровпускное окно 1 съ правой стороны цилиндра закрывается.

Расширеніе свѣжаго пара по линіи bc (фиг. 41), въ концѣ котораго, при положеніи поршня c, показаннаго на фиг. 45 сплошными линіями, открывается паровыпускное окно 2 правой стороны цилиндра въ ресиверъ. Для того, чтобы при этомъ не происходило паденія давленія, въ ресиверѣ должно быть тоже самое давленіе p_r, какъ и въ концѣ расширенія пара сзади малаго поршня.

Въ данной діаграммѣ это условіе не исполнено и въ ресиверѣ, въ моментъ сообщенія его съ малымъ цилиндромъ, какъ увидимъ дальше давленіе ниже давленія въ концѣ расширенія.

Предвареніе выпуска пара по линіи cd (фиг. 41); во время него, вслѣдствіе упомянутаго болѣе низкаго давленія пара въ ресиверѣ, происходитъ одновременное расширеніе сзади малаго поршня и въ ресиверѣ до мертваго положенія перваго.

Второй ходъ поршня.

Въ первую половину этого хода происходитъ слѣдующее.

Сжатіе передъ малымъ поршнемъ и въ ресиверѣ по линіи de на фиг. 41. Въ точкѣ e, при положеніи малаго поршня e, показаннаго на фиг. 45 пунктиромъ, большой поршень находится недалеко отъ своего лѣваго мертваго положенія e′, показаннаго на фиг. 45 пунктиромъ и соотвѣтствующаго точкѣ e′ на фиг. 42. Для послѣдняго поршня, въ этой точкѣ, начинается предвареніе впуска пара, такъ какъ открывается паровпускное окно 3 съ лѣвой стороны большого цилиндра въ ресиверъ. Для того, чтобы при этомъ онять не происходило паденія давленія, паръ впереди большого поршня долженъ быть сжатъ до давленія пара въ точкѣ e фиг. 41.

Предвареніе впуска пара въ большомъ цилиндрѣ при одновременномъ сжатіи пара впереди малаго поршня по линіи ef (фиг. 41), въ ресиверѣ и впереди большого поршня по линіи e′f′ (фиг. 42).

Во вторую половину второго хода происходитъ вначалѣ сжатіе, а затѣмъ расширеніе пара по линіи fg (фиг. 41) или по линіи f′g′ (фиг. 42) впереди малаго поршня, сзади большого и въ ресиверѣ. Въ началѣ этого періода происходитъ сжатіе, потому что объемъ впереди малаго поршня, который находится по серединѣ своего хода, вслѣдствіе большей скорости его уменьшается быстрѣе, чѣмъ объемъ сзади большого поршня, ибо послѣдній только что вышелъ изъ мертваго положенія и имѣетъ, слѣдовательно, незначительную скорость. Впослѣдствіе увеличеніе объема сзади большого поршня возьметъ перевѣсъ надъ уменьшеніемъ объема впереди малаго поршня, вслѣдствіе бо́льшаго поперечнаго сѣченія большого цилиндра, почему и будетъ происходить расширеніе пара. Въ точкѣ g, которой соотвѣтствуетъ положеніе малаго поршня g на фиг. 46, показаннаго сплошными линіями, закрывается паровыпускное отверстіе 2 съ правой стороны малаго цилиндра. Теперь впредь до праваго мертваго положенія малаго поршня, впереди него, происходитъ

сжатіе по линіи gh на фиг. 41 и

предвареніе впуска пара по линіи ha.

Одновременно до средины хода большого поршня происходитъ

расширеніе сзади большого поршня и въ ресиверѣ по линіи g′k′ на фиг. 42. При этомъ положеніи поршня k′, показанному на фиг. 46 пунктиромъ, закрывается паровпускное окно 3 съ лѣвой стороны большого цилиндра. Теперь ресиверъ отдѣленъ отъ обоихъ цилиндровъ и въ немъ очевидно долженъ находиться паръ вышеупомянутаго давленія p_r для того, чтобы вступившій въ малый цилиндръ съ лѣвой стороны свѣжій паръ, въ концѣ своего расширенія (соотвѣтствующаго точкѣ c на діаграммѣ) могъ перейти въ ресиверъ безъ паденія давленія. Въ представленныхъ на фиг. 41 и 42 діаграммахъ это условіе не выполнено и поэтому между малымъ цилиндромъ и ресиверомъ происходитъ потеря давленія.

Расширеніе сзади большого поршня по соотвѣтственной части линіи k′l′.

Третій и половина послѣдняго хода.

Сзади большого поршня до его праваго мертваго положенія происходитъ:

Расширеніе, которое есть продолженіе предыдущаго періода, по линіи k′l′ и

предвареніе выпуска пара по линіи l′m′ на фиг. 42.

Наконецъ впереди большого поршня совершаются слѣдующіе періоды:

выпускъ пара по линіи m′n′,

сжатіе по n′e′ и

предвареніе впуска пара по e′f′ на фиг. 42.

Фиг. 43 текста представляетъ ранкинизированныя діаграммы фиг. 41 и 42. Ранкинизированіе сдѣлано по 2 способу, приведенному на стр. 43. На фиг. 43 ходъ малаго цилиндра $s = 66$ mm, ходъ большого $S = \frac{V}{v} s = 2{,}43 \cdot 66 = \sim 160$ mm и соотвѣтственно этому

линейная величина вреднаго пространства малаго цилиндра $m = 0{,}08 \cdot 66 = 5{,}3$ mm,

а линейная величина вреднаго пространства большаго цилиндра $M = 0{,}02\ S = 0{,}02.160 = 3{,}2$ mm. Масштабъ силъ принятъ 10 mm = 1 kg. Такимъ образомъ напр. абсцисса $\overline{AY}$ на фиг. 43

соотвѣтствуетъ значенію $\frac{66}{75} \overline{Ay}$ на фиг. 41,

ордината $\overline{XY}$ на фиг. 43 соотвѣтствуетъ

значенію $\frac{10}{5} \overline{xy}$ на фиг. 41,

абсцисса $\overline{BY'}$ на фиг. 43

значенію $\frac{160}{75} \overline{A'y'}$ на фиг. 42,

ордината $\overline{X'Y'}$ на фиг. 43

значенію $\frac{10}{18} \overline{x'y'}$ на фиг. 42 и т. д.

Кривая расширенія $\beta\gamma$ теоретической діаграммы проведена черезъ точку c и вычерчена до конечнаго давленія въ котлѣ $p_k = 8$ атм.. Степень полноты, т. е. отношеніе сложенныхъ площадей діаграммъ abcdefgha и f′g′k′l′m′n′e′f′ къ площади теоретической діаграммы $\alpha\beta\gamma A'O\alpha$, получается приблизительно равнымъ 0,65.

Для построенія индикаторной діаграммы проектируемой машины-компаундъ съ ресиверомъ можно опять примѣнить приведенныя на стр. 50 два пріема, какъ это сдѣлано въ нижеслѣдующихъ примѣрахъ. Пусть даны для проектируемой машины-компаундъ съ холодильникомъ о двухъ кривошипахъ подъ угломъ въ 90°

давленіе пара при впускѣ $p = 8{,}4$ атм.,

давленіе пара при выпускѣ $p_e = 0{,}2$ атм.,

давленіе пара въ концѣ расширенія его $p_x = 0{,}55$ атм.,

величины вредныхъ пространствъ $m = 0{,}03\,s$ и $M = 0{,}05\,S$ и

объемъ ресивера $R = 0{,}53\,V$.

Для опредѣленія приближеннаго отношенія объемовъ цилиндровъ построена согласно указаніямъ на стр. 45, теоретическая діаграмма одноцилиндровой машины (фиг. 1, табл. 29), пренебрегая вредными пространствами. Основаніе этой діаграммы $S = 100$ mm, масштабъ силъ выбранъ 10 mm = 1 kg. Горизонтальною линіею fg діаграмма раздѣлена на двѣ равновеликія площади, изъ которыхъ и опредѣлено отношеніе объемовъ цилиндровъ

$$\frac{V}{v} = \frac{S}{s} = \frac{100}{35{,}5} = \sim 2{,}8,$$

точно также какъ и степень наполненія малаго цилиндра

$$\frac{s_1}{s} = \frac{6}{35{,}5} = \sim \frac{1}{6}.$$

Болѣе точныя величины можно опредѣлить разсчетомъ. При $p_x = 0{,}55$ и $p = 8{,}4$ общая степень наполненія будетъ

$$\varepsilon = \frac{s_1}{S} = \frac{p_x}{p} = \frac{0{,}55}{8{,}4} = \frac{1}{1{,}53}$$

и изъ уравненія 38 опредѣлимъ

$$\ln \frac{S}{s} = \ln \frac{V}{v} = \frac{1}{2}\left(\ln 15{,}3 - 1 + \frac{0{,}2 \cdot 15{,}3}{8{,}4}\right) = 1{,}04965,$$

$$\text{или } \frac{S}{s} = \frac{V}{v} = 2{,}85$$

$$\text{и } \frac{s_1}{s} = \varepsilon\frac{V}{v} = \frac{1}{15{,}3}2{,}85 = \frac{1}{5{,}4}.$$

Однако вслѣдствіе того, что ресиверъ имѣетъ конечную величину, работа малаго цилиндра, какъ увидимъ впослѣдствіе, будетъ меньше, чѣмъ при безконечно большомъ ресиверѣ и при горизонтальной линіи раздѣла $\overline{fg}$ (фиг. 1, табл. 29). Поэтому для того, чтобы раздѣлить работу между цилиндрами приблизительно пополамъ, принимая во вниманіе конечную величину ресивера и другія обстоятельства, послѣ нѣсколькихъ попытокъ принято отношеніе цилиндровъ

$$\frac{V}{v} = 2{,}727$$

при наполненіи малаго цилиндра

$$\frac{s_1}{s} = \sim \frac{1}{6}.$$

1. способъ [1]).

Фиг. 2, таблица 29.

На верхней горизонтальной линіи фиг. 2 послѣдовательно отложены отнесенныя къ ходу поршня $S = 100$ mm и къ площади большого поршня величины

$$s = \frac{100}{2{,}727} = 36{,}5 \text{ mm},$$

$$m = 0{,}03\,s = 0{,}03 \cdot 36{,}5 = \sim 1 \text{ mm},$$

$$R = 0{,}53\,S = 0{,}53 \cdot 100 = 53 \text{ mm},$$

$$M = 0{,}05\,S = 0{,}05 \cdot 100 = 5 \text{ mm и}$$

$$S = 100 \text{ mm}.$$

[1]) Принципъ этого способа принадлежитъ проф. Цейнеру, потомъ онъ былъ разработанъ проф. Шрётеромъ и его ассистентомъ Мёнхомъ.

Подъ этою горизонтальною линіею затѣмъ вычерчены кривыя путей поршней ADH и oFM′ по способу, показанному на фиг. 12 стр. 16. Отложивъ далѣе путь наполненія малаго цилиндра $s_1 = \frac{1}{6}s = \frac{1}{6}36{,}5$ mm $= \sim 6$ mm и принимая во вниманіе неизбѣжное мятіе пара сзади малаго поршня при закрытіи паровпускнаго окна, мы далѣе построимъ:

линію впуска пара ab,

линію расширенія пара bc, которая есть кривая Маріотта, построенная изъ вершины O. Объ измѣненіи объема пара во время этого расширенія можно судить по измѣненію горизонталей между вертикалью черезъ O_1 и частью BC кривой пути поршня. Если давленіе p_r сзади малаго поршня въ точкѣ c равно давленію въ ресиверѣ, то до прихода поршня въ мертвое положеніе безъ паденія давленія происходитъ

предвареніе выпуска пара по линіи cd, которую можно построить соотвѣтственно измѣненію горизонталей между вертикалью черезъ O_1 и частью CD кривой хода поршня на глазъ. При обратномъ ходѣ малаго поршня происходитъ

общее сжатіе впереди малаго поршня и въ ресиверѣ по линіи de, причемъ объемъ пара уменьшается какъ горизонтали между частью DE кривой хода малаго поршня и между вертикалью черезъ O_2.

Линія de есть кривая Маріотта, построенная изъ вершины O_2. Для положенія поршня, напримѣръ, въ A_2 вертикаль черезъ эту точку въ пересѣченіи съ горизонталью, проходящей черезъ точку d, дастъ точку B_2. Лучъ $\overline{O_2 B_2}$ далѣе пересѣчетъ вертикаль черезъ d въ точку y_2, а горизонталь черезъ эту точку въ пересѣченіи съ линіей $\overline{A_2 B_2}$ даетъ точку x_2 кривой.

Въ точкѣ e начинается предвареніе впуска пара впереди большого поршня, который уже недалекъ отъ своего лѣваго мертваго положенія, такъ что въ это время оба цилиндра соединены съ ресиверомъ и составляютъ объемъ, равный горизонтали $\overline{EE'}$ діаграммы объемовъ. Если теперь, какъ въ данномъ случаѣ, давленіе въ концѣ сжатія въ точкѣ e′ впереди большого поршня не равно давленію пара въ точкѣ e впереди малаго поршня и въ ресиверѣ, то происходитъ паденіе давленія, которое показано на діаграммѣ малаго цилиндра подъ точкою e. Далѣе до лѣваго мертваго положенія большого поршня (или до положенія малаго поршня по серединѣ хода) происходитъ

сжатіе въ обоихъ цилиндрахъ и въ ресиверѣ по линіи ef въ маломъ и по e′f′ въ большомъ цилиндрѣ, причемъ линія e′f′ одновременно представляетъ предвареніе впуска пара впереди большого поршня. Это сжатіе продолжается также и послѣ того, какъ большой поршень выходитъ изъ мертваго положенія, а малый изъ средняго, но потомъ переходитъ въ расширеніе, какъ это уже было объяснено выше, послѣ того какъ возростаніе объема пара сзади большого поршня начнетъ превосходить убываніе объема пара впереди малаго. Этотъ періодъ — вначалѣ сжатіе а потомъ расширеніе въ обоихъ цилиндрахъ и въ ресиверѣ — происходитъ по линіи fg въ маломъ цилиндрѣ и по линіи f′g′ въ большомъ.

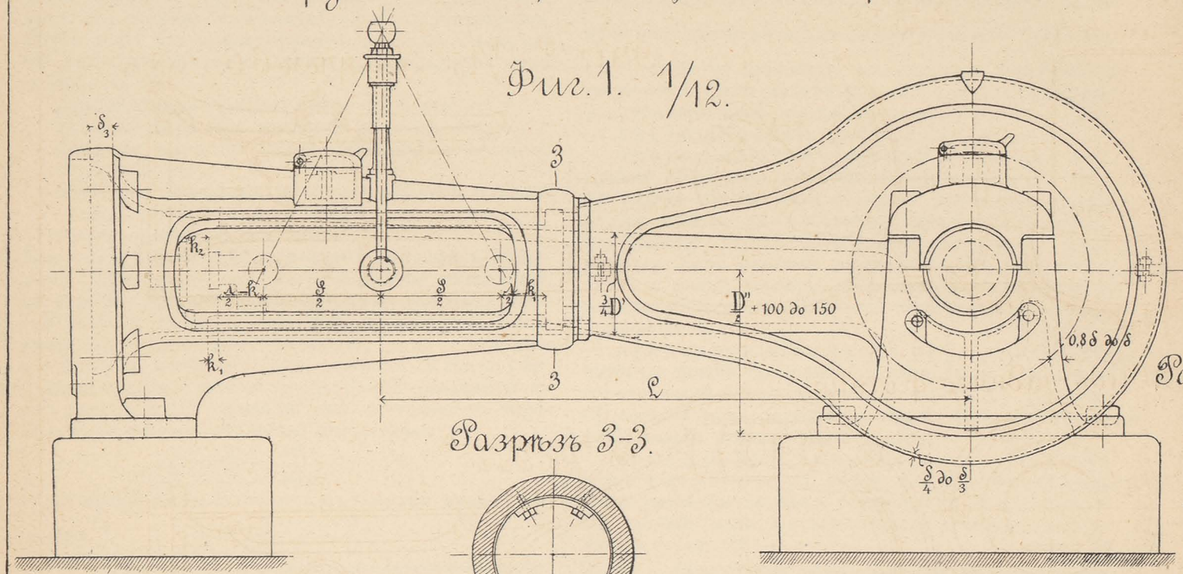
Эти линіи можно построить слѣдующимъ образомъ. Въ началѣ разсматриваемаго періода объемъ пара $v_4 = F\overline{F'} = A_4\overline{A'_4}$. Для какого либо положенія поршня A_5 малаго или A'_5 большого объемъ пара v_5 опредѣлится изъ діаграммы объемовъ, если провести вертикали черезъ эти точки до встрѣчи съ соотвѣтствую-

Станины съ круглыми направляющими для горизонт. машинъ.

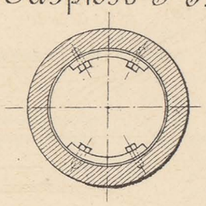
$\frac{k_1}{}$ = 10 до 15 $\frac{k_2}{}$ = 50 до 100

$\frac{\delta}{}$ $\frac{\vartheta}{40}$ + 5

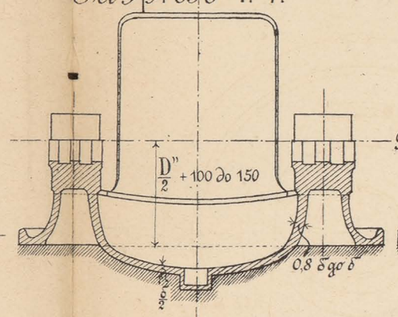
Фиг. 1. 1/12.



Разрѣзъ 3-3.

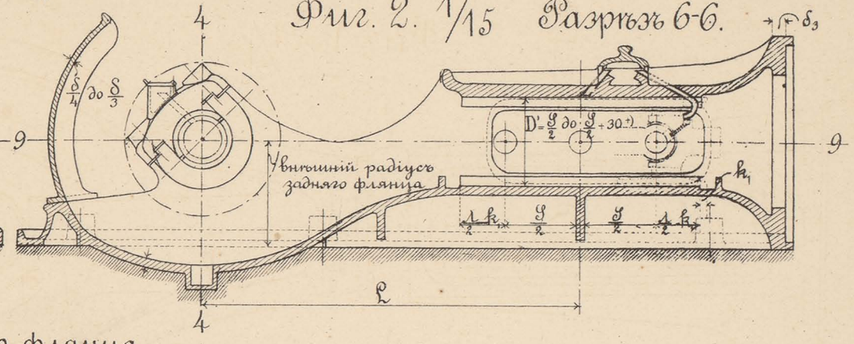


Разрѣзъ 4-4.

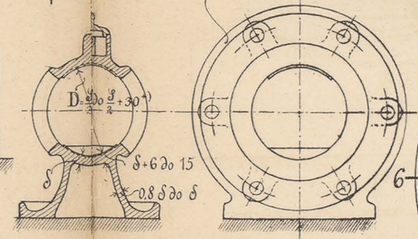


Фиг. 2. 1/15

Разрѣзъ 6-6.

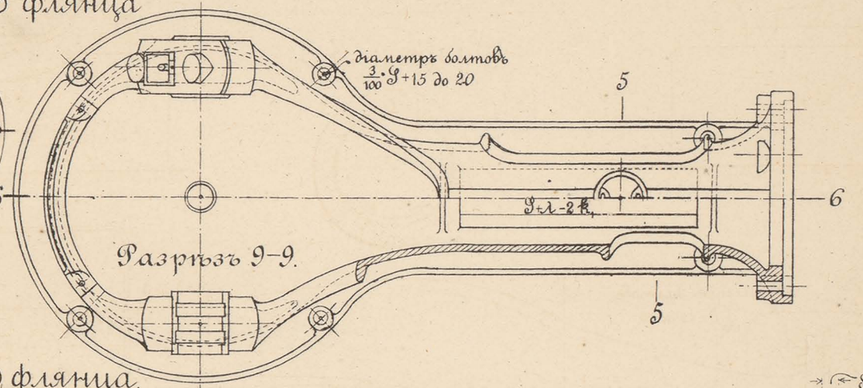


Разрѣзъ 5-5.

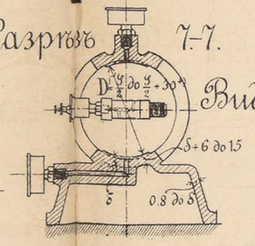


Видъ задняго фланца

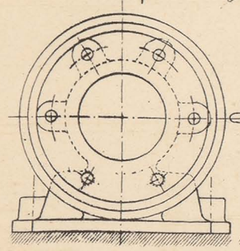
Разрѣзъ 9-9.



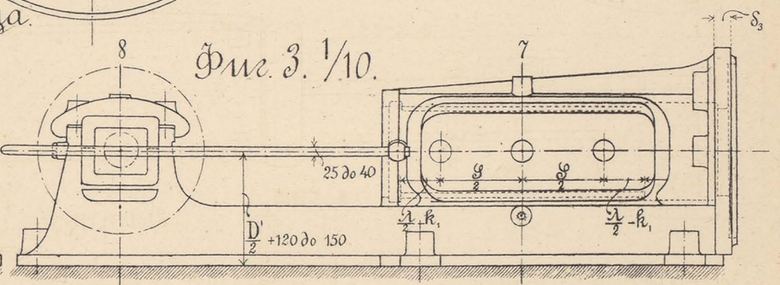
Разрѣзъ 7-7.



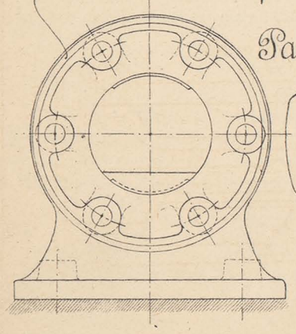
Видъ задняго фланца.



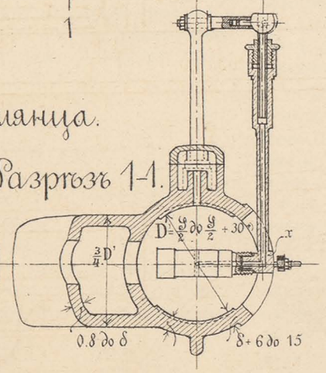
Фиг. 3. 1/10.



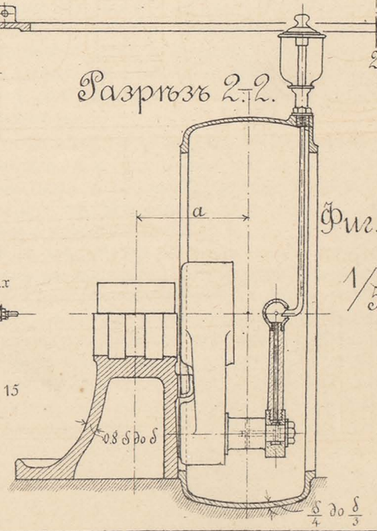
Видъ задняго фланца.



Разрѣзъ 1-1.

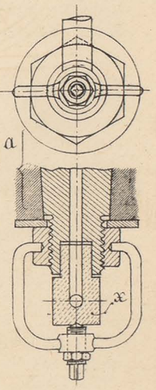


Разрѣзъ 2-2.



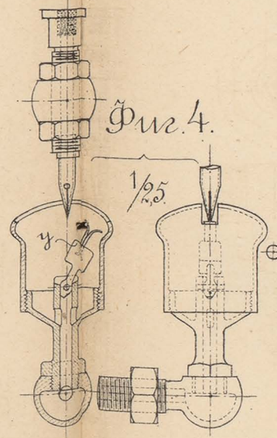
Фиг. 1a

1/5

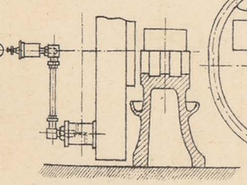


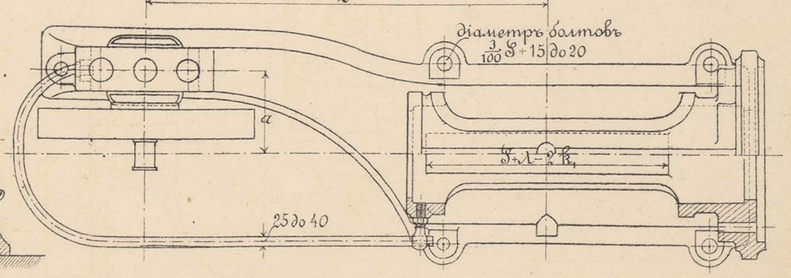
Фиг. 4.

1/2.5



Разрѣзъ 8-8.

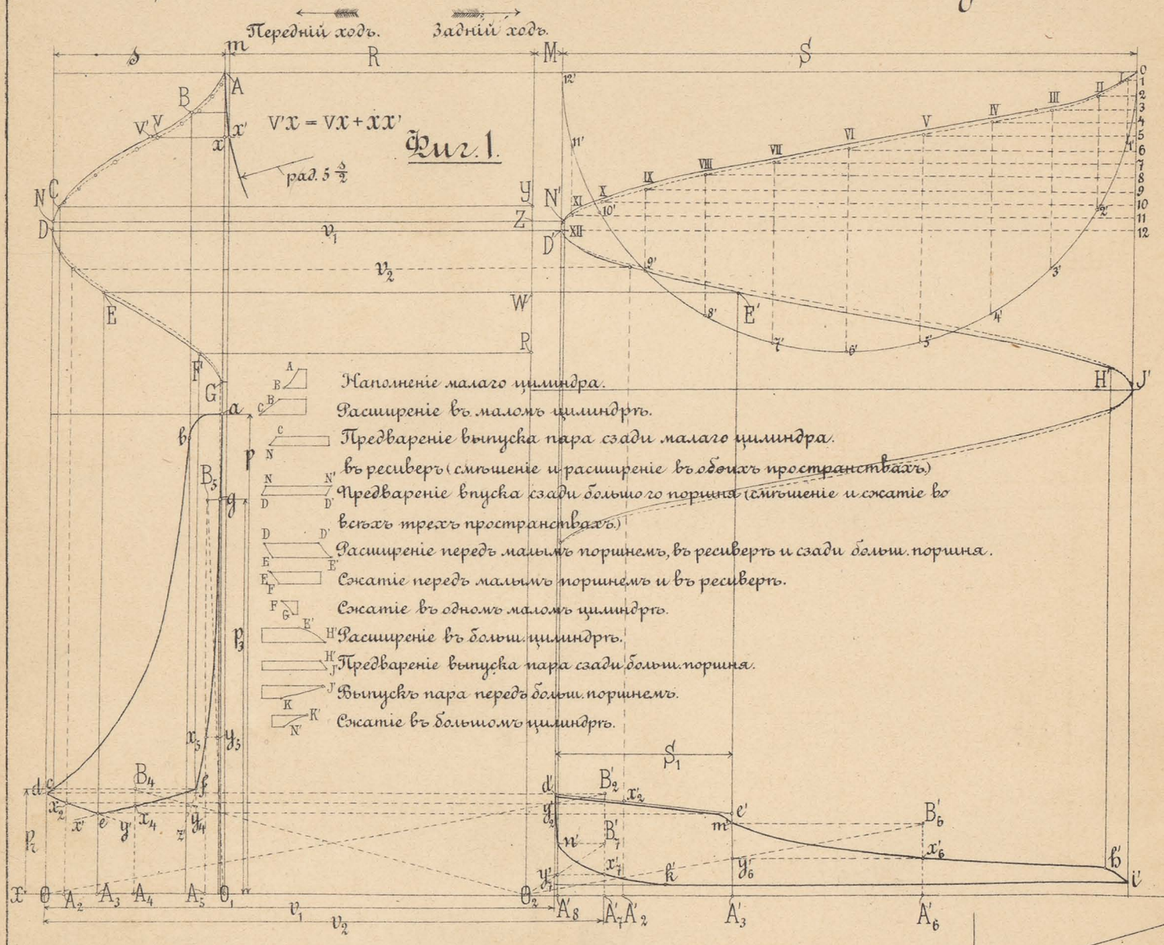




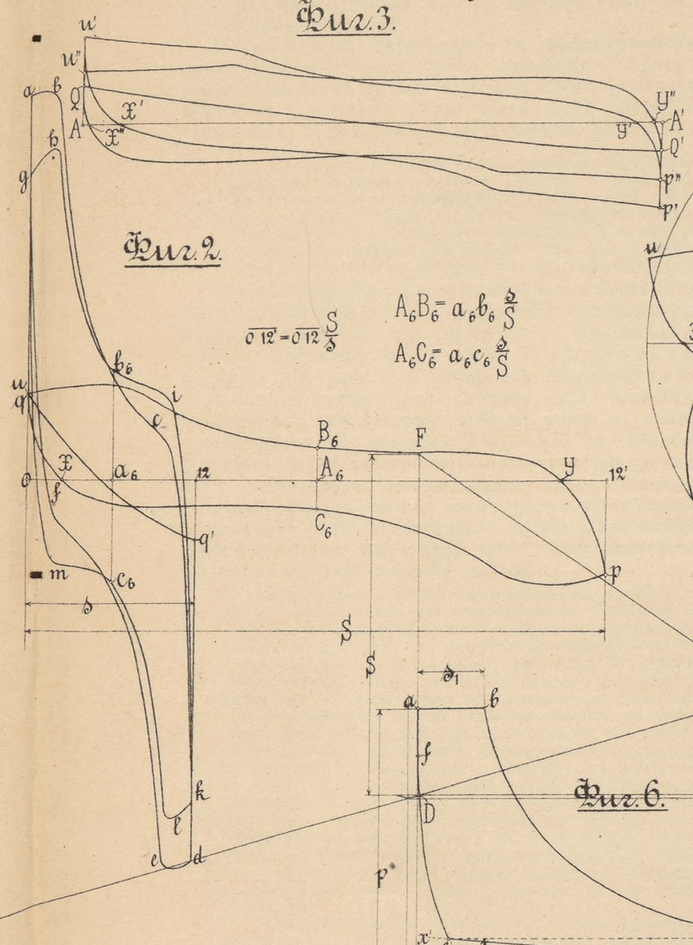
*) D для машинъ многократнаго расширенія равно минимуму діаметру малаго цилиндра.

Діаграммы работъ и давленій машины двойного расширенія (кривошипы подъ угломъ въ 0°)

Фиг. 1.

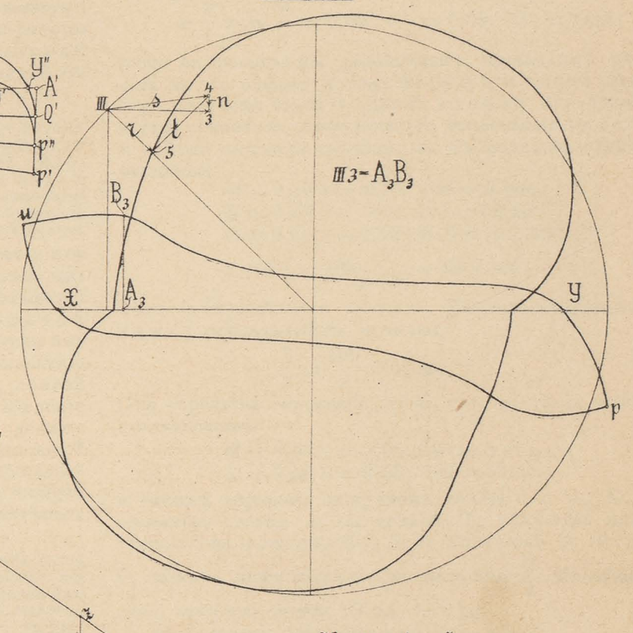


Фиг. 3.



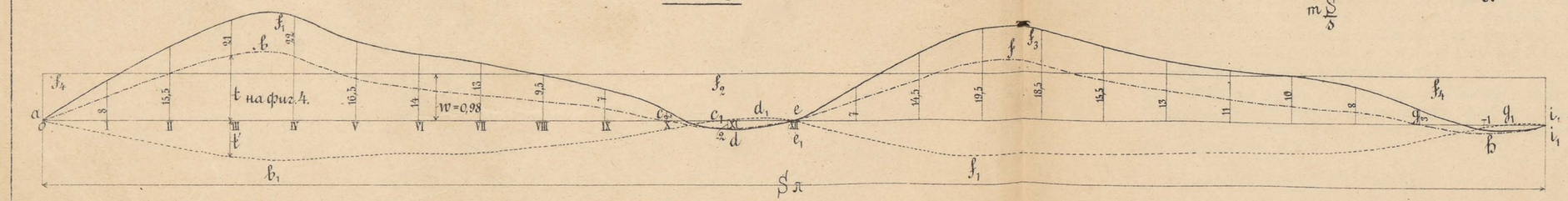
Фиг. 2.

Фиг. 4.



Фиг. 6.

Фиг. 5.



Къ фиг. 1 до 5.

Большой цилиндръ:
Ходъ поршня S = 100 mm.
Вредное пространство M = 0,05 S = 5 mm.
Малый цилиндръ
Ходъ поршня δ = 30 mm.
Вредное пространство m = 0,035 = 0,9 mm.
Масштабъ силъ 10 mm. = 1 kg.
R = 53 mm.

Къ фиг. 6.

Большой цилиндръ:
Ходъ поршня S = 60 mm.
Вредное простран. M = 0,05 S = 3 mm.
Малый цилиндръ:
Ходъ поршня δ = 18 mm.
Вредное простран. m = 0,03 δ = 0,54 mm.
Масштабъ силъ 6 mm. = 1 kg. R = 32 mm.

Къ фиг. 1 до 6 { Отношеніе объемовъ цилиндровъ V/v = 3,33.
Объемъ ресивера = 0,183 cbm.

Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

щими частями кривыхъ путей поршней. Если этотъ объемъ отложить на нижнемъ основаніи отъ точки A_4, то получимъ точку C_5. Проведя черезъ эту точку вертикаль и черезъ точку f′ горизонталь получимъ въ пересѣченіи точку B_5, а прямая $\overline{A_4B_5}$ дастъ при своемъ продолженіи точку y_5 на вертикали черезъ точку A'_4. Перенося эту точку въ горизонтальномъ направленіи на вертикали черезъ A_5 и A'_5 получимъ точки x_5 и x'_5 искомыхъ кривыхъ.

Точки g и g′, гдѣ кончается разсматриваемый періодъ, опредѣлятся, если построить обратную кривую Маріотта hz′ для сжатія пара впереди малаго поршня. Пересѣченіе этой кривой съ кривою fx′ и дастъ точку g, а потомъ g′.

На фигурѣ 2 давленіе въ концѣ сжатія въ маломъ цилиндрѣ принято равнымъ 7,4 атм., а предвареніе впуска пара малаго цилиндра — $0{,}005\,s = 0{,}005 \cdot 36{,}5 = \sim 0{,}2$ mm. Такимъ образомъ опредѣлена точка h. Отъ этой точки и построена гипербола hz′ изъ вершины O_1, какъ это сдѣлано на фигурѣ, гдѣ для положенія поршня въ точкѣ A_6 найдена точка x_6 кривой Маріотта.

Послѣ закрытія малаго цилиндра въ точкѣ g или соотвѣтствующей ей въ діаграммѣ большого цилиндра точкѣ g′ расширеніе продолжается сзади большого поршня и въ ресиверъ по линіи g′k′. g′k′ есть гипербола, построенная изъ вершины O_1, какъ это сдѣлано для положенія поршня A_7, для котораго найдена точка x_7 кривой расширенія. Расширеніе доводится до давленія p_r (чѣмъ опредѣляется точка k′), которое должно быть въ ресиверѣ, чтобы свѣжій паръ, пущенный съ лѣвой стороны малаго цилиндра, въ концѣ своего расширенія (соотвѣтствующаго точкѣ c для правой стороны того-же цилиндра) могъ быть выпущенъ въ ресиверъ безъ паденія давленія.

Необходимо обратить вниманіе на то, чтобы точка k′ и опредѣленное ею наполненіе S_1 большого цилиндра были выбраны такъ, чтобы этотъ періодъ уже кончился, прежде чѣмъ начнется предвареніе выпуска пара съ лѣвой стороны малаго цилиндра. Въ противномъ случаѣ большой цилиндръ не былъ бы еще отдѣленъ отъ ресивера, тогда, когда послѣдній уже былъ-бы соединенъ съ лѣвою стороною малаго цилиндра, вслѣдствіе чего свѣжій паръ протекалъ бы изъ послѣдняго цилиндра въ большой. Предвареніе выпуска пара съ правой стороны малаго цилиндра въ діаграммѣ объемовъ начинается въ точкѣ C (для лѣвой половины цилиндра будетъ тоже самое). Горизонталь черезъ эту точку пересѣкаетъ перевернутую кривую путей большого поршня въ точкѣ X, а вертикаль черезъ точку k′ пересѣкаетъ эту кривую въ точкѣ Y. Чтобы вышеприведенное условіе было выполнено, очевидно необходимо, чтобы точка Y лежала всегда лѣвѣе точки X.

Линія наполненія большого цилиндра проведена въ діаграммѣ нѣсколько ниже линіи f′k′, чтобы принять во вниманіе потерю давленія пара, происходящую при переходѣ его изъ малаго цилиндра черезъ ресиверъ въ большой.

Наконецъ для большого цилиндра, совершенно какъ для одноцилиндровой машины, построены линія расширенія пара k_1l', которая есть кривая Маріотта (см. построеніе точки x_8 этой кривой изъ вершины O_2 для положенія большого поршня въ A_8),

линія предваренія выпуска пара l′m′,

линія выпуска пара m′n′,

линія сжатія пара n′e′, которая есть кривая Маріотта, построенная изъ вершины O_2 и отъ точки e′ обратно (см. точку x_9, построенная для положенія поршня въ A_9) и

линія предваренія впуска e′f′.

Точка e′ въ діаграммѣ опредѣлена тѣмъ, что давленіе въ концѣ сжатія принято равнымъ 1 атм., а величина предваренія впуска пара—равною $0{,}0075\,S = 0{,}0075 \cdot 100 = 0{,}75$ mm.

2 способъ [1]).

Фиг. 4, таблица 27.

При этомъ способѣ за основаніе обѣихъ діаграммъ выбрана величина хода большого поршня $S = 100$ mm. На линіи X—X вправо отложена величина вреднаго пространства малаго цилиндра, которая по даннымъ на стр. 47 равна

$$m\frac{V}{v} = m\frac{S}{s} = 0{,}03 \quad s\frac{S}{s} = 0{,}03 \cdot 100 = 3 \text{ mm},$$

(если ее отнести къ различнымъ площадямъ поршня но къ одному и тому же ходу), и такимъ образомъ получена точка O. Далѣе кверху отъ лѣваго конца основанія откладываютъ отнесенныя къ одной и той-же площади поршня, но къ разнымъ ходамъ величины

$$M = 0{,}05\,S = 0{,}05 \cdot 100 = 5 \text{ mm},$$
$$R = 0{,}53\,S = 0{,}53 \cdot 100 = 53 \text{ mm},$$
$$m = 0{,}03\,s = 0{,}03 \cdot 36{,}5 = \sim 1 \text{ mm},$$
$$s = S\frac{v}{V} = 100\frac{1}{2{,}727} = 36{,}5 \text{ mm},$$

чѣмъ и опредѣлится точка A. Такимъ-же образомъ книзу откладываютъ величину

$$\frac{S}{2} = \frac{100}{2} = 50 \text{ mm}.$$ [2])

Отъ середины основанія, т. е. отъ точки h, влѣво откладываемъ

$$M = 0{,}05\,S = 0{,}05 \cdot 100 = 5 \text{ mm},$$
$$R = 0{,}53\,S = 0{,}53 \cdot 100 = 53 \text{ mm},$$

и такимъ образомъ получаемъ точки n и O_5. Если соединить точку A съ точкою O_1, лежащею надъ точкою O на величину M + R, то получимъ O_2. Точка O_4 лежитъ подъ точкою h на величину $\frac{S}{2}$. Масштабъ силъ выбранъ опять 10 mm = 1 kg.

Извѣстнымъ уже образомъ получимъ:

линію впуска пара ab сзади малаго поршня,

кривую Маріотта bc изъ вершины O для расширенія свѣжаго пара сзади того-же поршня,

линію cd предваренія выпуска пара и связаннаго съ нимъ расширенія сзади малаго поршня и въ ресиверѣ до лѣваго мертваго положенія перваго. При открытіи ресивера въ точкѣ c паръ въ немъ долженъ имѣть то-же самое давленіе p_r, какъ и сзади малаго поршня, чтобы не происходило паденія давленія,

кривую Маріотта de для сжатія пара впереди малаго поршня и въ ресиверъ. Эта кривая построена изъ вершины O_2.

Во время этого расширенія объемъ пара подъ поршнемъ измѣняется какъ вертикали между наклонною линіею AO_2 и горизонталью черезъ O_2, такъ какъ въ лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня, т. е. въ точкѣ A, эта вертикаль будетъ s + m + R, въ правомъ-только m + R. Но эти вертикали относятся между собою какъ соотвѣтствующія абциссы, считаемыя отъ начала O_2.

Въ точкѣ e произойдетъ небольшое паденіе давленія, такъ какъ впереди поршня большого цилиндра, который въ этой точкѣ соединяется съ ресиверомъ и малымъ цилиндромъ, давленіе не достаточно высоко.

Кривыя efr и kf—12 для сжатія переходящаго потомъ въ расширеніе впереди малаго поршня, въ ресиверъ и вначалѣ впереди (до

[1]) Установленъ директоромъ Готт[illegible] и разработанъ Dr. Прёллемъ (Dr. Pröll) (см. стр. 51).

[2]) Проще откладывать въ масштабѣ объемовъ цилиндровъ и вредн. пространствъ, принимая V за 100 mm. Чр. ред.

ПУБЛИЧ. БИБЛИОТ

лѣваго мертваго положенія какъ предваренiе впуска), затѣмъ сзади большого поршня.

Линіи fr и f12 можно построить слѣдующимъ образомъ. Разстояніе $\overline{hO_4}$ соотвѣтствуетъ половинѣ хода большого поршня, а четверть окружности hv есть путь, описываемый большимъ кривошипомъ во время этой половины хода.

Для какого нибудь положенія кривошипа $\overline{O_4 3}$ объемъ сзади большого поршня пропорціоналенъ вертикали $\overline{34}$ при безконечной длинѣ шатуна. Поэтому объемъ пара во время разсматриваемаго періода измѣняется какъ вертикали между этою четвертью окружности и наклонною $q O_1$. Въ лѣвомъ мертвомъ положеніи большого поршня этотъ объемъ $hq = M + R + m + \frac{1}{2} s$, а при положеніи большого кривошипа $\overline{O_4 3}$ онъ равенъ $\overline{32}$.

Если теперь провести $\overline{h3}$ параллельно $\overline{q2}$, то объемъ пара, а слѣдовательно и давленіе его, въ обоихъ цилиндрахъ и въ ресиверѣ при положеніи кривошипа $\overline{O_4 3}$ должны быть равны объему и давленію въ точкѣ h, такъ какъ $\overline{hq} = \overline{32}$. Но при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, малый поршень находится въ точкѣ 4, большой же въ точкѣ 6, такъ какъ $\overline{h6} = \overline{65} = \overline{43}$ и слѣдовательно надо сдѣлать

$$\overline{14} = \overline{76} = \overline{fh}$$

чтобы получить точки 1 и 7 искомыхъ кривыхъ. Другія точки этихъ кривыхъ можно получить, вычисляя давленіе пара для различныхъ положеній поршней. Такъ напримѣръ, если малый поршень находится подъ точкой r, а слѣдовательно большой въ точкѣ 10, которую получимъ, если провести линіи $\overline{89}$ и $\overline{9-10}$, то объемъ пара пропорціоналенъ отрѣзку вертикали черезъ r или 8 между наклонною $q 0_1$ и четвертью окружности кривошипа. Если этотъ отрѣзокъ обозначимъ черезъ x, то давленіе въ точкѣ 10 будетъ

$$\overline{10-11} = \overline{fh} \frac{\overline{hq}}{x},$$

а точка r должна лежать на горизонтали черезъ точку 11.

Далѣе получимъ кривую wr Маріотта изъ вершины O для сжатія впереди одного малаго поршня.

Точка w опредѣляется величиною періода предваренія впуска пара ($0{,}005\ S = \frac{1}{2}$ mm) и давленіемъ сжатаго пара (7,4 атм.). Кривая сжатія строится отъ точки w въ обратномъ направленіи. Пересѣченія этой кривой съ кривою f1. . . предыдущаго періода даетъ точку r, въ которой малый цилиндръ долженъ быть разобщенъ съ ресиверомъ. Точкѣ r соотвѣтствуетъ точка 11 въ діаграммѣ большого цилиндра.

Кривую 11—12 (или принимая во вниманіе неизбѣжное мятіе пара при закрываніи паровпускного окна и паденіе давленія при протокѣ пара сквозь ресиверъ кривую 11—13) для расширенія пара сзади большого поршня и въ ресиверѣ. Эта кривая есть гипербола, построенная изъ вершины O_5. Продолжительность предыдущаго періода должна быть расчитана такъ, чтобы точка 12 лежала на горизонтали черезъ точку c, дабы не происходило паденія давленія при началѣ предваренія выпуска пара изъ малаго цилиндра въ ресиверъ. Въ ресиверѣ въ такомъ случаѣ послѣ разобщенія съ нимъ большого цилиндра будетъ давленіе p_r.

Линію 13—14 для расширенія пара сзади большого поршня; это есть гипербола, построенная изъ центра n.

Линію предваренія выпуска пара 14—15 съ той-же стороны поршня.

Линію 15—16 для выпуска пара и кривую 16—k для сжатія пара впереди большого цилиндра.

Кривая 16—k строится обратно отъ точки k, которая опредѣляется давленіемъ въ концѣ сжатія (1 атм.) и величиною періода предваренія впуска пара ($0{,}0075\ S = 0{,}75$ mm)

Работы обоихъ цилиндровъ компаундъ-машины съ ресиверомъ въ томъ видѣ, какъ онѣ изображены на діаграммахъ фиг. 4, табл 27, будутъ равны, если площадь діаграммы a b c d e f r w a малаго цилиндра будетъ въ $\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$ разъ больше площади, діаграммы f 13—14—15—16—kf большого цилиндра, потому что при одинаковомъ ходѣ полезная площадь малаго поршня будетъ въ столько же разъ меньше полезной площади большого поршня.

Измѣненіе давленій въ разсматриваемой машинѣ-компаундъ идетъ совершенно также, какъ и въ одноцилиндровой машинѣ; поэтому діаграммы давленій можно строить такимъ образомъ, какъ это было изложено въ § 11.

На табл. 29, напримѣръ, на фиг. 3 a b c d e f a есть діаграмма рабочихъ давленій малаго цилиндра которая построена извѣстнымъ образомъ по соотвѣтственной индикаторной діаграммѣ на фиг. 2. Далѣе при помощи линіи давленій силъ инерціи qq' мы получимъ діаграмму равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій g h i k l m g, абциссы которой надо помножить на отношеніе цилиндровъ $\frac{V}{v} = \frac{S}{s}$, а ординаты дѣлить на это отношеніе, если мы хотимъ эту діаграмму отнести къ полезной площади большого поршня и его ходу. Такимъ образомъ получена діаграмма u Y p X u.

На фиг. 5 $u'Y'p'X'u'$ есть діаграмма рабочихъ давленій, а $u''Y''p''X''u''$ — діаграмма равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій, полученная при помощи линіи силъ инерціи QQ' для большого цилиндра.

На фиг. 6 a b c d e f g h i есть діаграмма касательныхъ усилій для малаго цилиндра a a_1 b_1 c_1 d_1 таковая діаграмма для большого цилиндра, которая сдвинута относительно первой діаграммы на величину $\frac{1}{4} S\pi$ такъ какъ кривошипы насажены подъ угломъ въ 90°. Далѣе ординаты первой діаграммы отложены кверху отъ основанія если они представляютъ двигающія касательныя усилія, въ противномъ-же случаѣ—книзу; при построеніи второй діаграммы сдѣлано обратно. Соединяя обѣ діаграммы мы получимъ наконецъ сплошную кривую касательныхъ усилій, ординаты которой надъ основаніемъ даютъ двигающія, подъ основаніемъ сопротивляющіяся усилія. Площади ограниченныя частями этой кривой, проходящими надъ или подъ прямою линіею постояннаго сопротивленія машины съ ординатою w, и соотвѣтственными частями послѣдней прямой, обозначены черезъ $f_1, \ldots, f_8$ и отнесены къ площади большого поршня. Для индикаторной діаграммы на фиг. 4, табл. 27 построены:

На фиг. 5 этой таблицы діаграмма рабочихъ давленій a b c d e f a и діаграмма равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій g h y k l x g для малаго цилиндра.

При построеніи діаграммы рабочихъ давленій необходимо помнить, что ординаты, взятыя изъ индикаторной діаграммы, должно раздѣлить на отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{V}{v}$, если хотимъ отнести эту діаграмму къ полезной площади большого цилиндра.

На фиг. 6 $u'p'p'w'u'$ представляетъ діаграмму рабочихъ давленій, а $u''Yp''Xu''$—

діаграмму равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій большого цилиндра.

Наконецъ на фиг. 7 смѣшаннымъ пунктиромъ изображена діаграмма касательныхъ усилій abcdefga для малаго цилиндра и простымъ пунктиромъ такая-же діаграмма a′b′c′d′a′ для большого цилиндра, причемъ послѣдняя сдвинута впередъ относительной первой на величину $^1/_4 S\pi$, соотвѣтствующей углу заклиниванія кривошиповъ въ 90°. Сплошная кривая на этой фигурѣ есть соединненная діаграмма касательныхъ усилій обоихъ цилиндровъ по отношенію къ полезной площади большого цилиндра.

Касательныя усилія въ данномъ случаѣ отложены не какъ ординаты надъ выпрямленною окружностью кривошипа, какъ это было до сихъ поръ, но отложены по радіусамъ отъ этой окружности. Этотъ способъ практикуется среди англійскихъ конструкторовъ. Для положенія напримѣръ кривошипа III касательное усиліе малаго кривошипа будетъ $\overline{\text{III}\ 7} = \overline{56}$. Далѣе въ кривыхъ касательныхъ усилій на фиг. 7 радіальныя отрѣзки внѣ окружности кривошипа представляютъ двигающія, отрѣзки направленыя внутрь окружности— сопротивляющіяся усилія. $f_1, \ldots, f_8$ опять обозначаютъ площади избытка или недостатка работы, расположенныя внѣ или внутри окружностью bcfg постоянной нагрузки вала.

§ 20.

Объ измѣненіи давленій и о распредѣленіи пара въ машинахъ тройного расширенія.

Машины тройного расширенія строятся съ двумя или тремя кривошипами. Два кривошипа обыкновенно дѣлаются въ горизонтальныхъ, три—въ вертикальныхъ машинахъ. При двухъ кривошипахъ два цилиндра—высокаго и средняго или высокаго и низкаго давленія—составляютъ машину-тэндемъ и дѣйствуютъ на одинъ кривошипъ, третій, слѣдовательно цилиндръ низкаго или средняго давленія дѣйствуетъ на другой кривошипъ, который обыкновенно составляетъ съ первымъ уголъ 90°. При трехъ кривошипахъ, которые обыкновенно заклиниваются на главномъ валу подъ угломъ 120° другъ къ другу, каждый цилиндръ дѣйствуетъ на отдѣльный кривошипъ. Относительно слѣдованія кривошиповъ другъ за другомъ въ направленіи вращенія машины возможны двѣ комбинаціи, которыя даютъ не одинаковое распредѣленіе пара. При одной изъ комбинацій, которую называютъ комбинаціей съ идущимъ впереди кривошипомъ большого цилиндра, кривошипы слѣдуютъ въ порядкѣ:

кривошипъ малаго, средняго, большого цилиндра.

Въ другой комбинаціи, съ идущимъ впереди кривошипомъ малаго цилиндра, порядокъ слѣдованія такой:

кривошипъ большого, средняго, малаго цилиндра или, что одно и тоже, кривошипъ малаго, большого, средняго цилиндра.

Парораспредѣленіе въ разсматриваемыхъ машинахъ опять можно изслѣдовать по діаграммамъ на таблицѣ 30. Эти діаграммы построены для машины тройного расширенія по даннымъ:

давленіе пара при впускѣ $p = 9{,}8$ атм.,

давленіе пара въ концѣ общаго расширенія пара $p_x = 0{,}5$ атм.,

« « при выпускѣ $p_e = 0{,}2$ атм.,

величины вредныхъ пространствъ $m = 0{,}03s$, $M' = 0{,}03\,S'$ и $M = 0{,}03\,S$

длина перваго ресивера $R = 0{,}2\,S$, длина втораго $R' = 0{,}333\,S$ до $,065\,S$.

1. Машины тройного расширенія съ двумя кривошипами подъ угломъ 90° (фиг. 1, табл. 30).

Для того, чтобы работы, передаваемыя обоими кривошипами на главный валъ, были равны, необходимо, чтобы работа цилиндровъ высокаго и средняго давленія, передаваемая на общій кривошипъ, была равна работѣ цилиндра низкаго давленія, передаваемая на другой кривошипъ. Если мы построимъ теоретическую индикаторную діаграмму одноцилиндровой машины какъ это сдѣлано на фиг. 1 справа на основаніи, равномъ 100 mm и раздѣлимъ ее, для приблизительнаго опредѣленія отношенія объемовъ цилиндровъ, горизонтальною линіею на двѣ равновеликія площади, то мы предварительно получимъ отношеніе объемовъ цилиндровъ низкаго и средняго давленія

$$\frac{V}{V'} = \frac{S}{S'} = \frac{100}{30} = 3{,}33$$

Далѣе, дѣленіемъ площади діаграммы, находящейся надъ S′, на двѣ равновеликія площади опредѣлимъ отношеніе объемовъ

$$\frac{S'}{s} = \frac{V}{v} = \frac{30}{12{,}3} = 2{,}43$$

цилиндровъ средняго и высокаго давленія и

$$\frac{S}{s} = \frac{V}{v} = \frac{100}{12{,}3} = \sim 8{,}1$$

цилиндровъ низкаго и высокаго давленія.

Величину $\frac{S}{S'} = 3{,}33$ можно приблизительно опредѣлить и изъ уравненія 38 [1]) при

$$\varepsilon = \frac{p_x}{p} = \frac{0{,}5}{9{,}8} \text{ и } p_e = 0{,}2,$$

значеніе $\frac{S'}{s} = 2{,}43$ изъ того-же уравненія [1]) при

$$\varepsilon = \frac{p_r'}{p} = \frac{p_x}{p}\frac{S}{S'} = \frac{0{,}5}{9{,}8}\,3{,}33 \text{ и}$$

$$p_e = p_r' = 0{,}5\,\frac{S}{S'} = 0{,}5.\ 3{,}33.$$

Діаграммы объемовъ построены на основаніяхъ

$S = 100$ mm для большого
$S' = 29$ mm « средняго
и $s = 11{,}7$ mm « малаго

} цилиндра.

Индикаторныя діаграммы построены по способу, указанному на стр. (49). Надо замѣтить, что парораспредѣленіе въ маломъ цилиндрѣ и сзади средняго поршня совершается вполнѣ также, какъ и въ машинѣ двойного расширенія съ двумя цилиндрами и кривошипами подъ угломъ 0°; парораспредѣленіе же впереди средняго поршня и въ большомъ цилиндрѣ—какъ въ машинѣ двойного расширенія съ кривошипами подъ угломъ 90°. Поэтому относительно построенія отдѣльныхъ кривыхъ индикаторныхъ діаграммъ можно указать на сказанное въ двухъ предыдущихъ параграфахъ. Перечислимъ здѣсь только отдѣльные періоды парораспредѣленія. Въ діаграммахъ

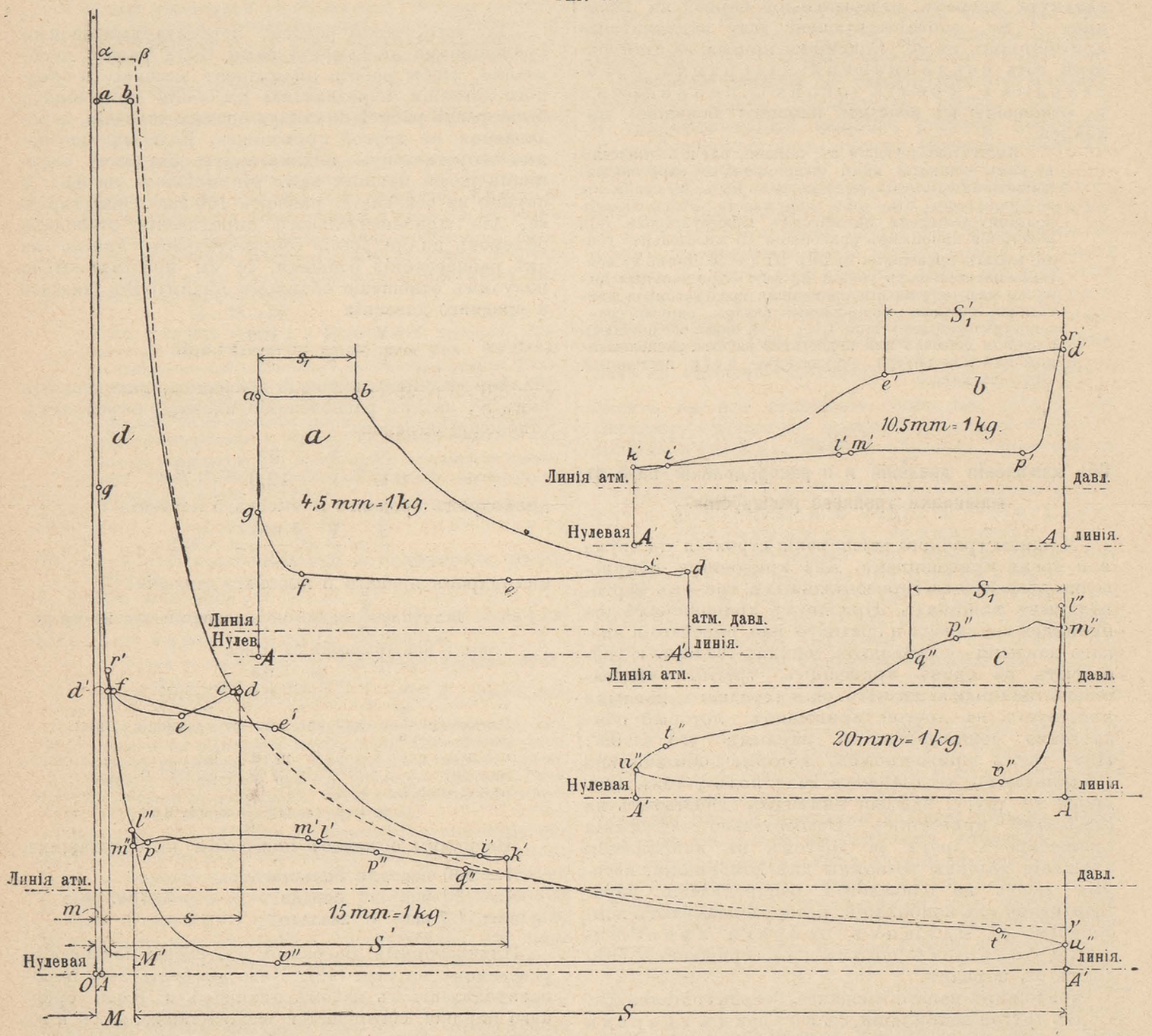
---

[1]) въ которомъ это отношеніе обозначено черезъ $\frac{S}{s}$.

ab представляетъ впускъ пара
bc расширеніе пара
cd предвареніе выпуска пара въ 1-ый ресиверъ, идущее далѣе вмѣстѣ съ r′d′ (см. ниже),
} сзади малаго поршня,

k′l′ сжатіе впереди средняго поршня и во второмъ ресиверѣ,
l′m′ или l″m″—тоже самое сжатіе, соединяющееся съ предвареніемъ впуска пара впереди большого поршня,
m′p′ или m″p″—вначалѣ сжатіе, потомъ расширеніе впереди средняго поршня

Фиг. 47.



de или d′e′ расширеніе впереди малаго поршня, сзади средняго и въ первомъ ресиверѣ,
ef сжатіе впереди малаго поршня и въ первомъ ресиверѣ,
fg сжатіе
ga предвареніе впуска пара
} передъ малымъ поршнемъ,
h′i′ расширѐніе
i′k′ предвареніе выпуска пара во второй ресиверъ
} сзади средняго поршня,

сзади большого и въ второмъ ресиверѣ,
p′q′ сжатіе впереди средняго поршня и во второмъ ресиверѣ,
q′r′ сжатіе только впереди средняго поршня,
r′d′ предвареніе впуска пара впереди средняго поршня соединенное съ концомъ cd (см. выше) сзади малаго поршня.
s″t″ расширеніе
t″u″ предвареніе выпуска пара
} сзади большого поршня

u″v″ выпускъ пара
v″l″ сжатіе »
l″m″ предвареніе впуска пара, соединяющееся съ l′m′ (см. выше)
} впереди большого поршня.

Парораспредѣленіе между среднимъ и большимъ цилиндромъ отличается отъ парораспредѣленія машины-компаундъ на стр. 56 (фиг. 2, табл. 29) только тѣмъ, что на фиг. 1, табл. 30 для достиженія давленія въ ресиверѣ p_r', надо было произвести сжатіе p′q′ впереди средняго поршня и во второмъ ресиверѣ, такъ какъ линія r′q′ пересѣкаетъ кривую m′y′ въ точкѣ соотвѣтствующей нисшему давленію, чѣмъ p_r', между тѣмъ какъ на фиг. 2, табл. 29 для достиженія давленія пара въ ресиверѣ p_r паръ долженъ былъ еще расшириться сзади большого поршня и въ ресиверѣ.

На фиг. 47 a, b и c текста даны діаграммы [1]) машины-компаундъ съ тремя цилиндрами и двумя кривошипами, построенныя по слѣдующимъ даннымъ:

абсолютное давленіе пара при впускѣ
$p = 10{,}45$ атм.
діаметры цилиндровъ $= 282$, 450 и 700 mm,
отношенія объемовъ цилиндровъ 1 : 2, 73 : 6,63 [2]) и
ходъ поршней $= 1000$ mm.

a есть діаграмма малаго, b діаграмма средняго и c діаграмма большого цилиндра. Ранкинизированная діаграмма d построена по 2 способу на стр. 43, принимая величину вредныхъ пространствъ

$$m = 0{,}05\,s,\ M' = 0{,}04\,S' \text{ и } M = 0{,}04\,S.$$

Линія расширенія βγ теоретической діаграммы проведена черезъ конечную точку c расширенія пара въ маломъ цилиндрѣ. Степень полноты при абсолютномъ давленіи пара въ котлѣ, равному 11 атм., опредѣляется въ 0,825. Линія расширенія пара малаго цилиндра проходитъ какъ видно изъ ранкинизированной діаграммы, подъ теоретическою линіею расширенія βγ, линія расширенія средняго цилиндра надъ нею, а линія расширенія большого—частью подъ, частью надъ нею. Это показываетъ, что въ маломъ цилиндрѣ происходило сгущеніе пара, въ среднемъ цилиндрѣ—вторичное испареніе, между тѣмъ какъ въ большомъ (всѣ цилиндры подогрѣвались въ паровыхъ рубашкахъ свѣжимъ паромъ изъ котла) цилиндрѣ подогрѣваніе вызывало испареніе образующейся въ немъ конденсаціонной воды.

Отдѣльные періоды парораспредѣленія діаграммы на фиг. 47 текста обозначены тѣми-же буквами, какъ и соотвѣтствующія имъ на фиг. 1, табл. 30. p″q″ представляетъ расширеніе сзади большого поршня и во второмъ ресиверѣ на фиг. 47.

2. Машины тройного расширенія съ тремя кривошипами, заклиненными подъ угломъ 120° другъ къ другу.

Для приблизительнаго опредѣленія отношенія объемовъ цилиндровъ можно здѣсь примѣнять уравненіе 39. Изъ него имѣемъ при

$$p = 9{,}8,\ p_x = 0{,}5,\ p_e = 0{,}2 \text{ и } \varepsilon = \frac{p_x}{p} = \frac{0{,}5}{9{,}8},$$

$$\ln \frac{S}{s} = \ln \frac{V}{v} = \frac{1}{3}\left(2 \ln \frac{9{,}8}{0{,}5} - 1 + \frac{0{,}2}{0{,}5}\right) = 1{,}7837,$$

$$\frac{S}{s} = \frac{V}{v} = 5{,}95,$$

а также

$$\ln \frac{S}{S'} = \ln \frac{V}{V'} = \frac{1}{3}\left(\ln \frac{9{,}8}{0{,}5} - 2 + 2\,\frac{0{,}2}{0{,}5}\right) = 0{,}592 \text{ и}$$

$$\frac{S}{S'} = \frac{V}{V'} = 1{,}81.$$

При основаніи $S = 100$ mm мы имѣемъ

$$s = \frac{100}{5{,}95} = \sim 16{,}8 \text{ mm и } S' = \frac{100}{1{,}81} = \sim 55{,}3 \text{ mm}.$$

Діаграмма на фиг. 31, стр. 43 съ основаніемъ $S = 87$ mm даетъ для предыдущихъ соотношеній

$$s = 14 \text{ mm},$$

слѣдовательно $\frac{S}{s} = \frac{V}{v} = \frac{87}{14} = 6{,}07$, $S' = 43{,}5$ mm

и $$\frac{S}{S'} = \frac{V}{V'} = \frac{87}{43{,}5} = 2.$$

a. Случай, когда впередъ идетъ кривошипъ цилиндра высокаго давленія (фиг. 2, табл. 30).

Для этого случая діаграммы построены по слѣдующимъ даннымъ:

$S = 100$ mm, $S' = \frac{1}{2}S = 50$ mm, $s = \frac{1}{6}S = \sim 16{,}7$ mm,

$M = 0{,}03\ S = 3$ mm, $M' = 0{,}03\ S' = 1{,}5$ mm, $m = 0{,}03\ S = 0{,}5$ mm

$R' = 0{,}65\ S = 65$ mm и, $R = 0{,}2\ S = 20$ mm.

Далѣе

ab представляетъ впускъ пара
bc расширеніе
} сзади малаго поршня

cd есть предвареніе выпуска пара сзади малаго поршня, которое идетъ совмѣстно со впускомъ пара c′d′, сзади средняго поршня. Слѣдовательно происходитъ общее расширеніе сзади малаго поршня, сзади средняго и въ первомъ ресиверѣ.

Въ точкѣ c (C въ діаграммѣ объемовъ) малый поршень находится недалеко отъ лѣваго мертваго положенія. Средній поршень, кривошипъ котораго идетъ позади кривошипа малаго поршня на 120°, уже вышелъ въ это время изъ своего праваго мертваго положенія и при началѣ хода правая сторона средняго цилиндра находится въ соединеніи съ первымъ ресиверомъ и съ лѣвой стороною малаго цилиндра. Незадолго передъ точкою c лѣвая сторона малаго цилиндра разобщается отъ средняго цилиндра и перваго ресивера и съ ними соединяется правая сторона того-же цилиндра. Во время предыдущаго періода объемъ пара съ правой стороны средняго поршня мѣняется какъ горизонтали между CD и C′D′. Этотъ періодъ совершается по линіи c′d′, причемъ, однако, эта сплошная кривая относится къ лѣвой сторонѣ этого цилиндра, почему и нужно брать соотвѣтствующую ей часть изъ пунктирной діаграммы, относящейся къ правой сторонѣ его.

de или d′e′ есть расширеніе впереди малаго поршня, сзади средняго и въ первомъ ресиверѣ (объемы пара мѣняются какъ горизонтали между DE и D′E′),

ef—сжатіе впереди малаго поршня и въ первомъ ресиверѣ (эта кривая строится изъ вершины O_2),

fg или f′g′—сжатіе впереди малаго поршня, въ первомъ ресиверѣ и впереди средняго поршня и одновременно предвареніе впуска для лѣвой стороны послѣдняго поршня,

gh или g′h′—вначалѣ сжатіе, потомъ расширеніе въ предыдущихъ двухъ цилиндрахъ и ресиверѣ.

---

[1]) Взятыя изъ «Untersuchung e'ner Dreifach-Expansionsmaschine der Maschinenfabrik Augsburg» von Prof. M. Schröter, Zeitschr. deut. Ingenieure ,1890.

[2]) принимая во вниманіе полезную площадь поршней.

Въ точкѣ h правая сторона малаго цилиндра, какъ было показано выше для другой стороны, разобщается съ первымъ ресивероmъ и лѣвою стороною средняго цилиндра.

hi есть сжатіе
ia—предвареніе впуска пара } впереди малаго поршня,

h′c′—расширеніе сзади средняго поршня и въ первомъ ресиверѣ (эта кривая строится изъ вершины O_1).

Въ точкѣ c′, съ лѣвой стороны малаго цилиндра, начинается предвареніе выпуска пара, который потомъ расширяется въ первомъ ресиверѣ и сзади средняго поршня до точки d′ и позже до точки e′, какъ это уже было объяснено выше для другой стороны поршня. Чтобы въ точкѣ c′ было тоже давленіе p_r сзади средняго поршня, какъ и въ точкѣ c сзади малаго поршня, надо точку e выбрать попытками и потомъ строить кривыя efgh или f′g′h′c′ и если предыдущее условіе не будетъ исполнено, надо продолжительность періода de сдѣлать больше или меньше.

m′l′ представляетъ расширеніе сзади одного средняго поршня.

Между среднимъ и большимъ поршнемъ совершаются тѣ-же процессы, какъ и между малымъ и среднимъ, а именно:

по l′n′ или l″n″ происходитъ предвареніе выпуска пара сзади средняго поршня, впускъ пара сзади большого и расширеніе въ нихъ обоихъ и во второмъ ресиверѣ (объемъ пара измѣняется какъ горизонтали между L′N′ и L″N″ въ діаграммѣ объемовъ),

по n′o′ или n″o″ продолженіе предыдущаго расширенія (объемъ пара мѣняется какъ горизонтали между N′O′ и N″O″),

по o′q′ сжатіе впереди средняго поршня и во второмъ ресиверѣ (эта кривая строится изъ вершины O_4),

по q′r′ или q″r″ сжатіе впереди средняго поршня, во второмъ ресиверѣ и впереди большого поршня, а также одновременно предвареніе впуска впереди послѣдняго,

по r′s′ или r″s″ вначалѣ сжатіе, потомъ расширеніе въ вышеупомянутыхъ обоихъ цилиндрахъ и 2 ресиверѣ,

по s′f′ сжатіе впереди средняго поршня,
по o″u″ расширеніе
по u″v″ предвареніе выпуска пара } сзади большого поршня,

по v″w″ выпускъ пара
по w″q″ сжатіе } впереди большого поршня.

Разсматриваемый нами типъ машинъ тройного расширенія, въ которыхъ впередъ идетъ кривошипъ цилиндра высокаго давленія, имѣютъ тотъ недостатокъ, что при малыхъ ресиверахъ нижнія линіи діаграммъ малаго и средняго цилидровъ слишкомъ сильно уклоняются отъ горизонтальной линіи и что періоды g′h′ и cd или c′d′, во время которыхъ первый ресиверъ и пространство сзади средняго поршня соединяются сперва съ одною стороною, а потомъ съ другою стороною малаго поршня (тоже самое относится и ко второму ресиверу и большому поршню по отношенію къ среднему), слишкомъ быстро слѣдуютъ другъ за другомъ. Поэтому лучше и употребительнѣе разсмотрѣнный ниже второй типъ.

b. Случай когда впередъ идетъ кривошипъ цилиндра низкаго давленія (фиг. 3, табл. 30).

Діаграммы построены по даннымъ
S = 100 mm, S′ = 58,3 mm, s = 16 mm,
M = 0,03 S = 3 mm, M′ = 0,03 S′ = 1,7 mm, m = = 0,03 s = 0,48 mm,
R′ = 0,65 S = 65 mm, R = 0,2 s = 20 mm.

Пароораспредѣленіе совершается слѣдующимъ образомъ:

по ab происходитъ впускъ пара
по bc—расширеніе пара } сзади малаго поршня

по cd—предвареніе выпуска пара
по de—сжатіе } сзади (или впереди) малаго поршня и въ первомъ ресиверѣ,

Линія de строится изъ вершины O_2. Въ точкѣ e малый кривошипъ повернулся изъ своего лѣваго мертваго положенія на уголъ немного меньше 30°, а идущій впереди него на 120° средній кривошипъ находится недалеко отъ своего праваго мертваго положенія.

по ef или e′f′ происходитъ сжатіе впереди малаго и средняго поршней, а также и въ первомъ ресиверѣ; это есть, въ тоже время предвареніе впуска впереди средняго поршня,

по fg или f′g′—вначалѣ сжатіе, потомъ расширеніе въ вышеупомянутыхъ трехъ пространствахъ (объемъ пара мѣняется какъ горизонтали между F G и F′ G′ въ діаграммѣ объемовъ).

Линія f′g′, для облегченія построенія, вычерчена сперва для лѣвой, а потомъ уже для правой стороны средняго поршня.

по gh происходитъ сжатіе впереди малаго поршня и въ первомъ ресиверѣ (линія gh строится изъ вершины O_2),

по hi—сжатіе
по ia—предвареніе впуска } впереди малаго поршня.

Чтобы не происходило паденія давленія въ концѣ расширенія пара сзади малаго поршня, когда эта сторона соединяется съ первымъ ресивероmъ, въ точкѣ h должно быть то-же самое давленіе p_r, какъ и въ точкѣ c. Поэтому линію iz′ надо строить обратно отъ выбранной точки i, получить ея точку пересѣченія h съ горизонталью черезъ точку c и уже отъ этой точки построить въ обратномъ направленіи линію hx′. Послѣдняя пересѣчетъ кривую fy′ въ точкѣ g, которая въ точкѣ g′ и опредѣлитъ наполненіе S_1', удовлетворяющее вышеприведенному условію. Однакожъ наполненіе S_1' всегда должно удовлетворять тому условію, чтобы съ нимъ не совпадало предвареніе выпуска малаго цилиндра.

Далѣе
по k′l′ происходитъ расширеніе
по l′m′—предвареніе выпуска } сзади малаго поршня,

по m′o′ сжатіе впереди средняго поршня и во второмъ ресиверѣ (эта линія строится изъ вершины O_4),

по o′q′ или o″q″—тоже самое расширеніе, связанное съ предвареніемъ впуска впереди большого поршня,

по q′r′ или q″r″—вначалѣ сжатіе, потомъ расширеніе впереди средняго поршня, сзади большого и во второмъ ресиверѣ (объемъ пара мѣняется какъ горизонтали между Q′R′ и Q″R″)

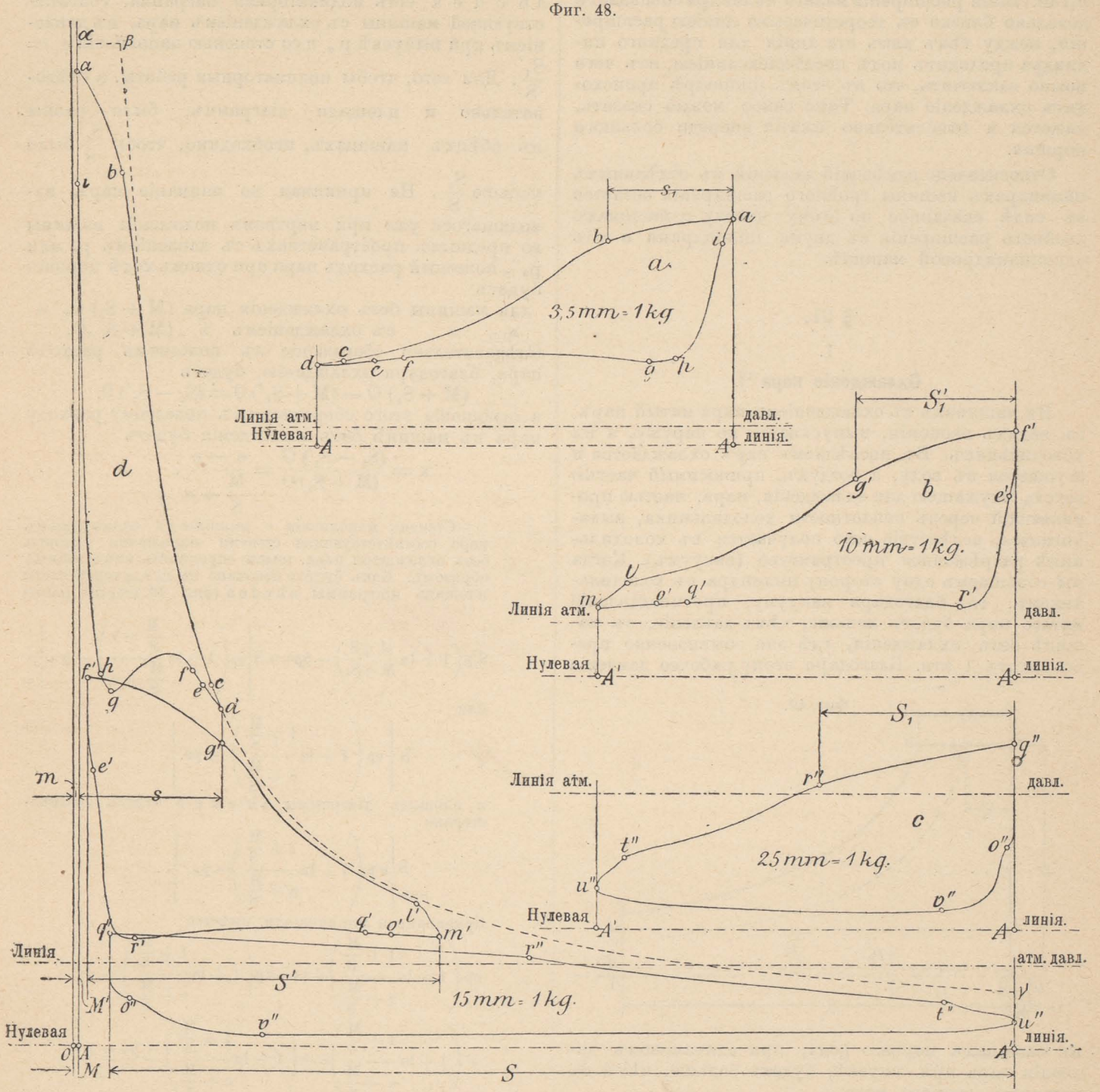
по r′e′—сжатіе
по e′f′—предвареніе впуска } впереди средняго поршня,

по r″ t″ — расширеніе пара
по t″ u″ — предвареніе выпуска
} сзади большого поршня,

Машина была построена на Саксонскомъ машиностроительномъ заводѣ (бывшій Рихарда Гартманна) въ Хемницѣ и имѣетъ слѣдующія размѣры:

Діаметръ малаго цилиндра = 350 mm,

Фиг. 48.



по u″ v″ — выпускъ пара
по v″ s″ — сжатіе
по o″ q″ — предвареніе впуска
} впереди большого поршня.

На фиг. 48 текста даны діаграммы a, b и c вертикальной трехцилиндровой машины съ тремя кривошипами подъ угломъ 120° другъ къ другу съ идущимъ впередъ кривошипомъ большого цилиндра.

діаметръ средняго цилиндра = 550 mm,
діаметръ большого цилиндра = 880 mm,
общій ходъ поршней = 500 mm,

$$\text{отношеніе } \frac{V}{V'} = \frac{\overline{880}^2}{\overline{550}^2} = \sim 2{,}56 \text{ и}$$

$$\text{отношеніе } \frac{V}{v} = \frac{\overline{880}^2}{\overline{350}^2} = \sim 6{,}32.$$

Далѣе у всѣхъ трехъ цилиндровъ золотниковое парораспредѣленіе и машина дѣлаетъ 130 оборотовъ. Различные періоды парораспредѣленія обозначены также какъ и на фиг. 3, табл. 30. d есть ранкинизированная діаграмма, степень полноты которой равна 0,745. Линія расширенія малаго цилиндра совпадаетъ довольно близко съ теоретическою линіею расширенія, между тѣмъ какъ эта линія для средняго цилиндра проходитъ подъ послѣднею линіею, изъ чего можно заключить, что въ этомъ цилиндрѣ происходитъ охлажденіе пара. Тоже самое можно сказать, кажется и относительно сжатія впереди большого поршня.

Относительно измѣненій давленій въ отдѣльныхъ цилиндрахъ машины тройного расширенія остается въ силѣ сказанное по этому поводу о машинахъ двойного расширенія съ двумя цилиндрами и объ одноцилиндровой машинѣ.

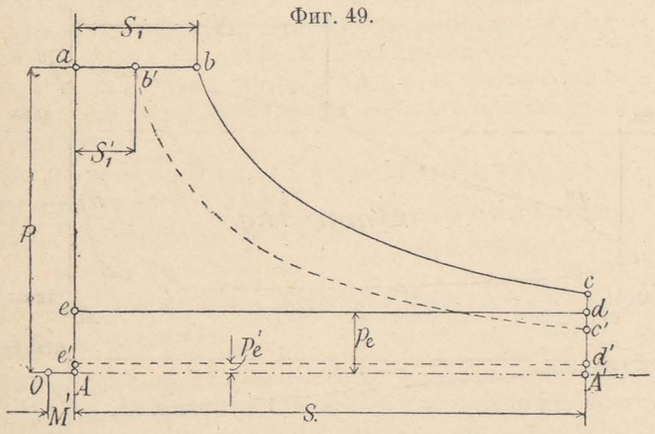
§ 21.

1.

Охлажденіе пара [1]).

Въ машинахъ съ охлажденіемъ пара мятый паръ, въ видахъ экономіи, выпускается не наружу, а въ холодильникъ. Въ послѣднемъ паръ охлаждается и сгущается въ воду, а воздухъ, приносимый частью водою, служащею для охлажденія, пара, частью проникающій черезъ неплотности холодильника, выкачивается, вслѣдствіе чего получается въ холодильникѣ разрѣженное пространство (вакуумъ). Когда мы сообщаемъ одну сторону цилиндра съ холодильникомъ, то, благодаря вакууму, противодавленіе мятаго пара будетъ меньше, чѣмъ давленіе, въ машинѣ безъ охлажденія, гдѣ оно обыкновенно превосходитъ 1 атм. Благодаря этому рабочее давленіе

Фиг. 49.



въ машинахъ перваго рода, при одинаковомъ давленіи пара при впускѣ, будетъ больше, чѣмъ въ машинахъ второго рода.

О томъ, какую **пользу приноситъ охлажденіе пара въ паровыхъ машинахъ**, повышая рабочее давленіе, можно судить по слѣдующему. Прежде всего вслѣдствіе уменьшенія противодавленія уменьшается полезный расходъ пара. Пусть на фиг. 49 текста a b c d e a есть индикаторная діаграмма (для которой не приняты во вниманіе сжатіе, предвареніе впуска и выпуска) машины безъ охлажденія пара съ давленіемъ при выпускѣ p_e и наполненіемъ $e = \frac{S_1}{S}$; a b′ c′ d′ e′ a есть индикаторная діаграмма, соотвѣтствующей машины съ охлажденіемъ пара, съ давленіемъ при выпускѣ p_e' и со степенью наполненія $e' = \frac{S_1'}{S}$. Для того, чтобы индикаторныя работы, а слѣдовательно и площади діаграммъ, были равны въ обѣихъ машинахъ, необходимо, чтобы $\frac{S_1'}{S}$ было меньше $\frac{S_1}{S}$. Не принимая во вниманіе пара, находящагося уже при мертвомъ положеніи машины во вредныхъ пространствахъ съ давленіемъ p_e или p_e', полезный расходъ пара при одномъ ходѣ поршня будетъ

для машины безъ охлажденія пара $(M + S_1)\,O$, а
» » съ охлажденіемъ » $(M + S_1')\,O$.

Слѣдовательно сбереженіе въ полезномъ расходѣ пара, благодаря охлажденію, будетъ

$$(M + S_1)\,O - (M + S_1')\,O = (S_1 - S_1')\,O,$$

а отношеніе этого сбереженія къ полезному расходу пара въ машинѣ безъ охлажденія будетъ

$$x = \frac{(S_1 - S_1')\,O}{(M + S_1)\,O} = \frac{e - e'}{\frac{M}{S} + e}.$$

Степень наполненія e′ машины съ охлажденіемъ пара, соотвѣтствующая степени наполненія машины безъ охлажденія пара, можно опредѣлить слѣдующимъ образомъ. Какъ будетъ показано въ слѣдующей части площадь діаграммы a b c d e a (фиг. 49 текста), равна

$$S_1 p\left(1 + \ln\frac{M + S}{M + S_1}\right) - Sp^e = S\left\{ep\left(1 + \ln\frac{\frac{M}{S} + 1}{\frac{M}{S} + e}\right) - p_e\right\},$$

или

$$S\left\{ep\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e + \frac{M}{S}}\right) - pe\right\},$$

а площадь діаграммы a b′ c′ d′ e′ a будетъ соотвѣтственно

$$S\left\{e'p\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e' + \frac{M}{S}}\right) - p_e'\right\}.$$

Приравнивая эти площади, имѣемъ

$$ep\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e + \frac{M}{S}}\right) - p^e = e'p\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e' + \frac{M}{S}}\right) - p^{e'},$$

$$e'\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e' + \frac{M}{S}}\right) = e\left(1 + \ln\frac{1 + \frac{M}{S}}{e + \frac{M}{S}}\right) - \frac{p_e - p_e'}{p}.$$

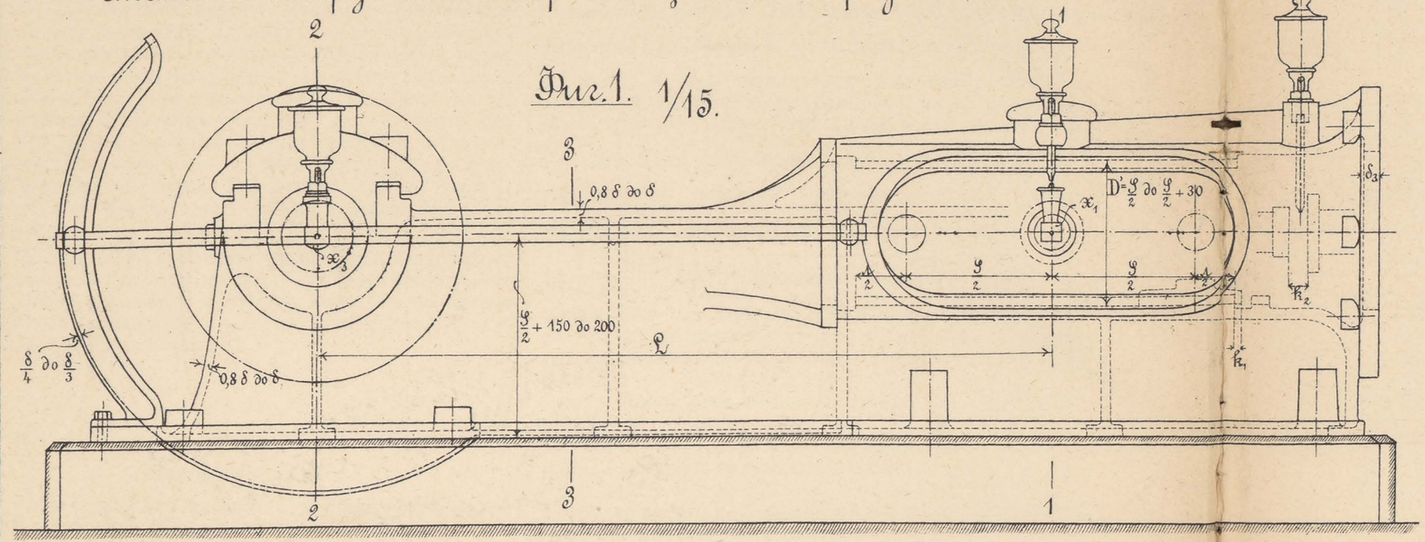
Выраженіе въ лѣвой части этого равенства есть такъ называемый коэффиціентъ давленія, соотвѣтствующій наполненію e′, а подобное же выраженіе правой части равенства —наполненію e. Въ слѣдующемъ отдѣлѣ эти коэффиціенты обозначены черезъ k и для нихъ дана таблица, вычисленная для различныхъ степеней наполненія и значеній $\frac{M}{S}$. Слѣдовательно нужно только взять изъ таблицы величину k для данныхъ e и $\frac{M}{S}$, затѣмъ вычислить выраженіе

$$k - \frac{p_e - p_e'}{p}$$

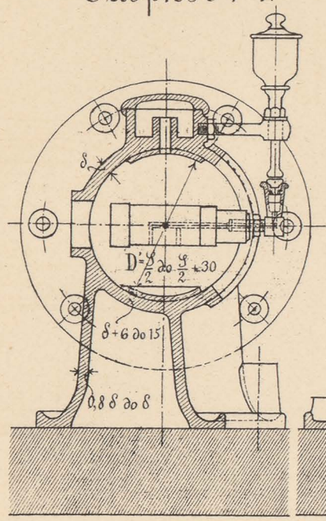
[1]) Авторъ разсматриваетъ вопросъ объ охлажденіи пара съ согласія инженера E. J. Weis'a въ Базелѣ, пользуясь статьями, которыя послѣдній напечаталъ въ Zeischrift deutsch. Ingenieure, 1888 и 1891 гг., которыя много способствовали полному выясненію этого вопроса. Желающимъ поближе познакомиться съ вопросомъ объ охлажденіи пара можно рекомендовать упомянутыя статьи.

Станины съ круглыми направляющими для горизонтальныхъ машинъ.

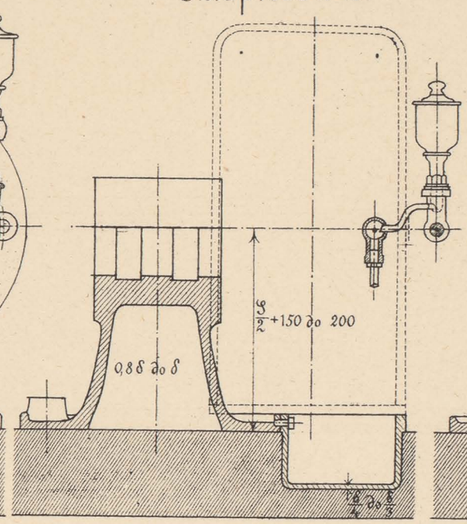
Фиг. 1. 1/15.



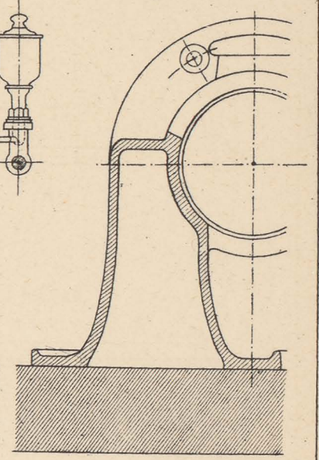
Разрѣзъ 1-1.



Разрѣзъ 2-2.



Разрѣзъ 3-3.

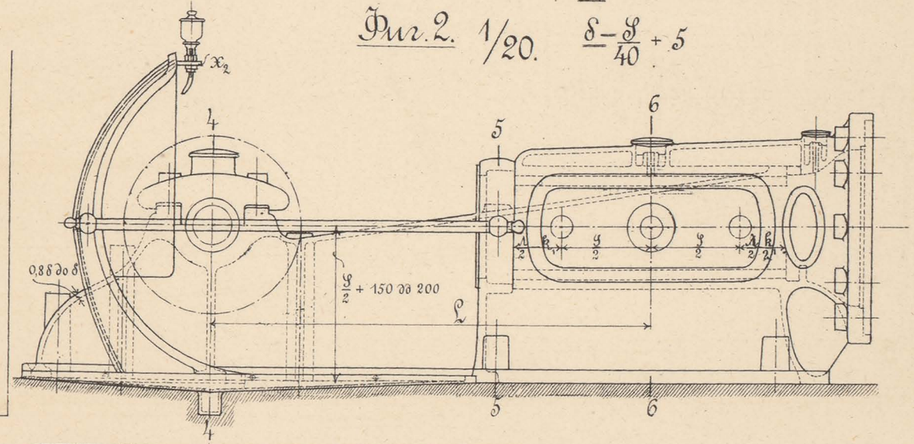


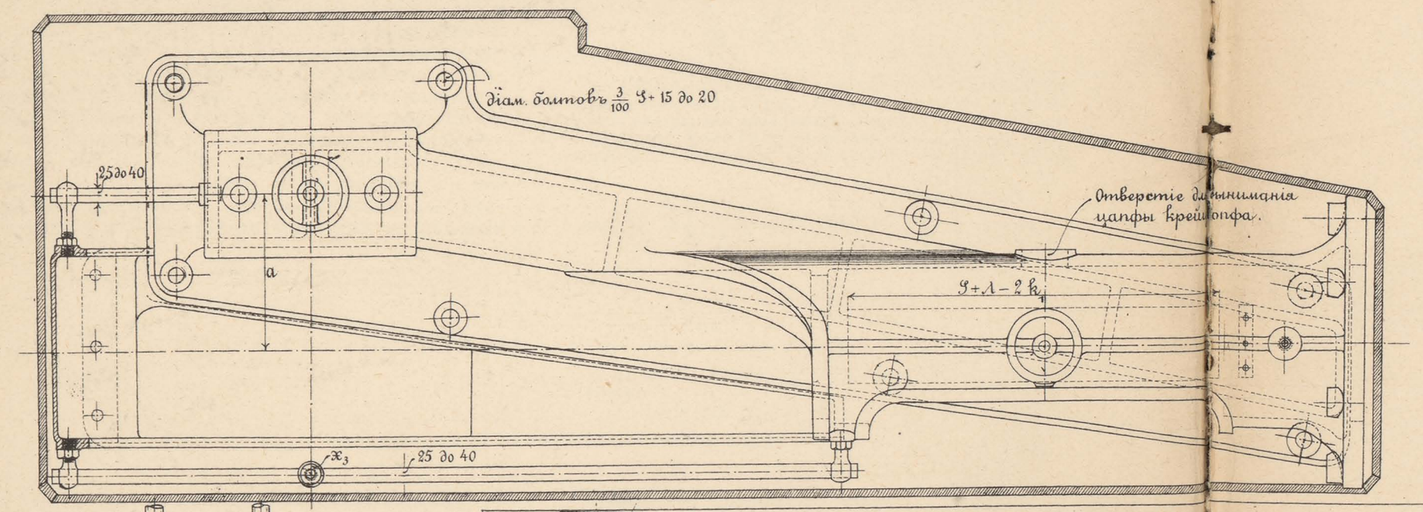
k_2 – 50 до 100

k_1 – 10 до 15

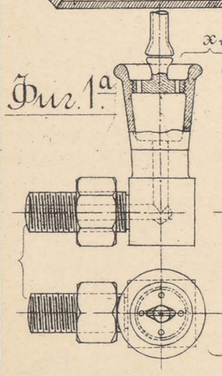
$δ=\frac{g}{40}+5$

Фиг. 2. 1/20.

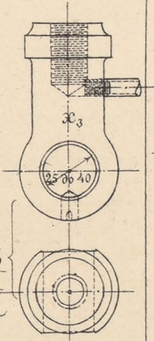




Фиг. 1a.

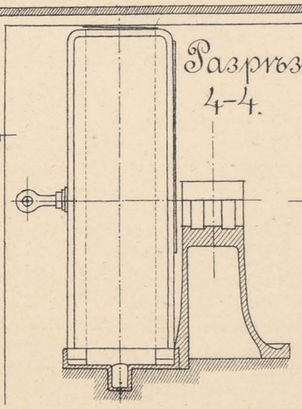


Фиг. 1b.

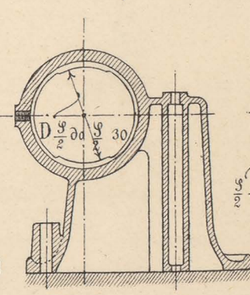


1/5.

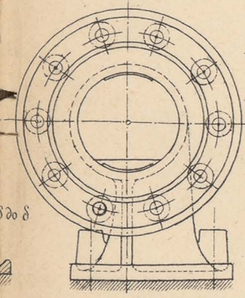
Разрѣзъ 4-4.



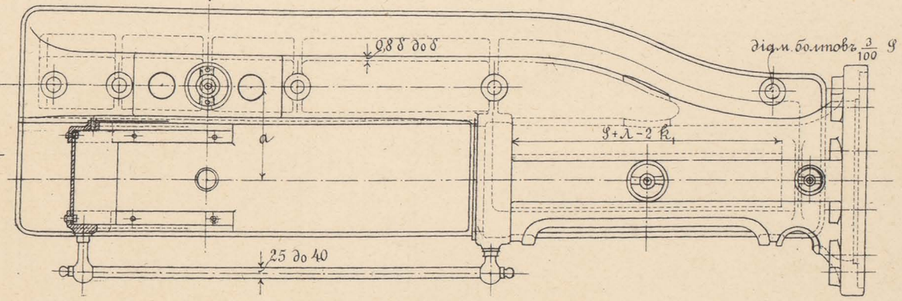
Разрѣзъ 5-5.



Разрѣзъ 6.



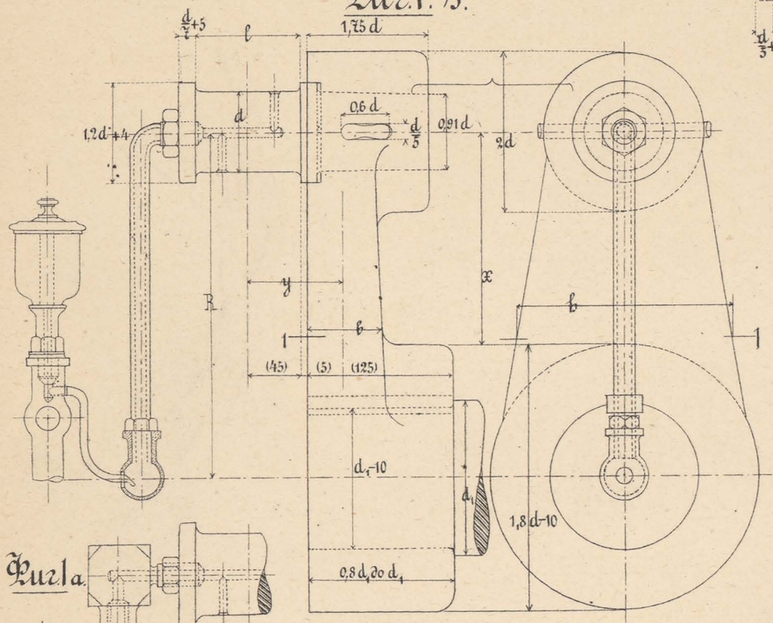
Задній видъ.



Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

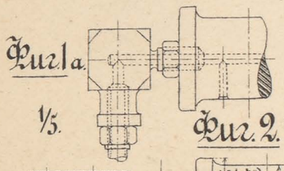
Кривошипы и валы.

Фиг. 1. 1/5.

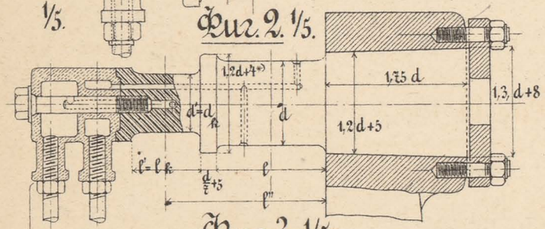


Фиг. 1а.

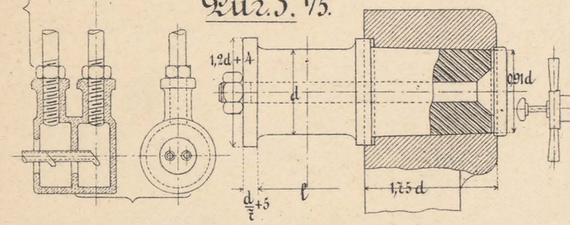
1/5.



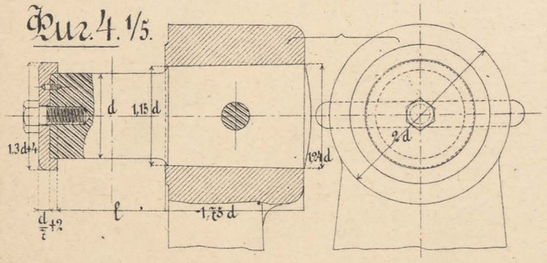
Фиг. 2. 1/5.



Фиг. 3. 1/5.

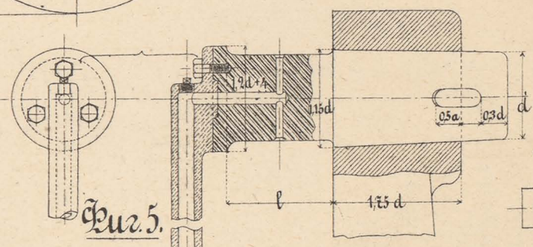


Фиг. 4. 1/5.



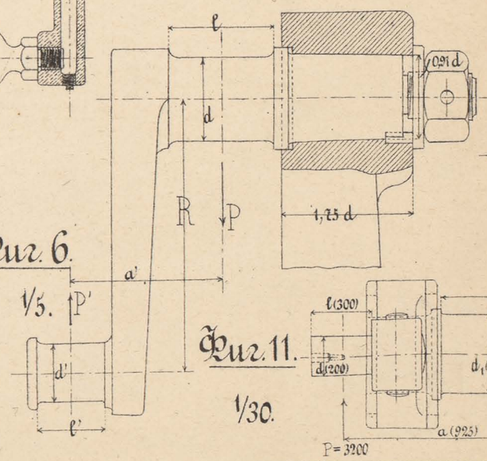
Фиг. 5.

1/5.



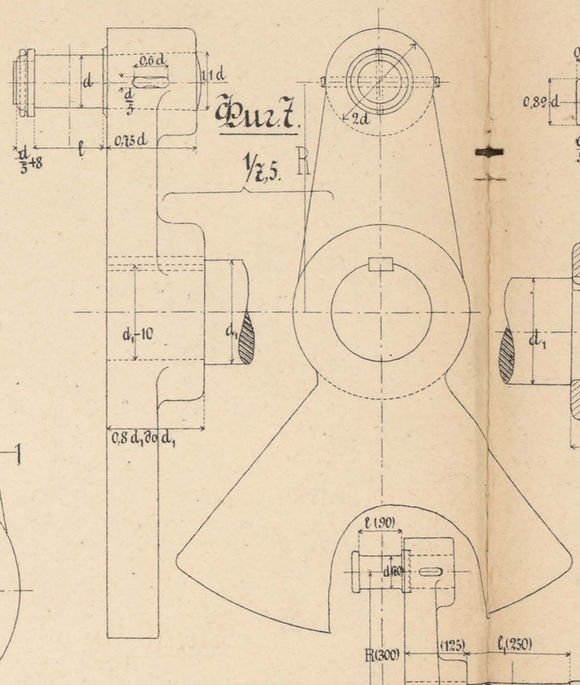
Фиг. 6.

1/5.



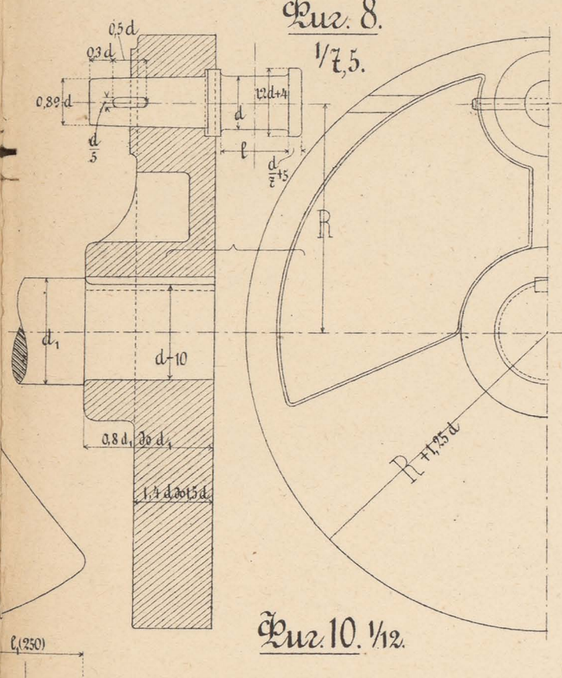
Фиг. 7.

1/2,5.



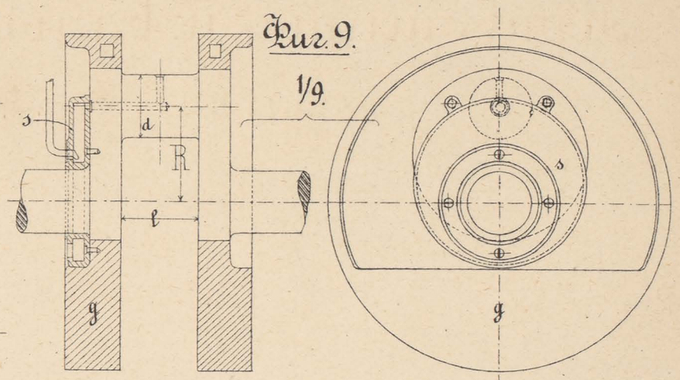
Фиг. 8.

1/7,5.

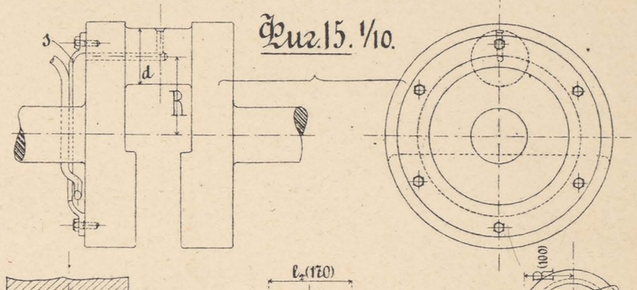


Фиг. 9.

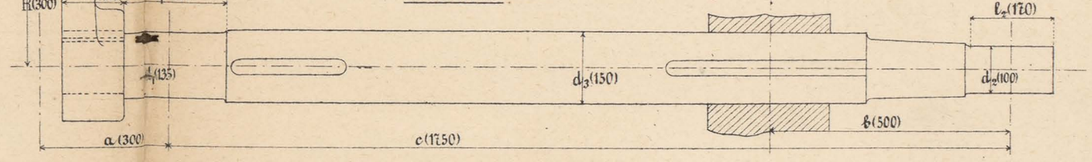
1/9.



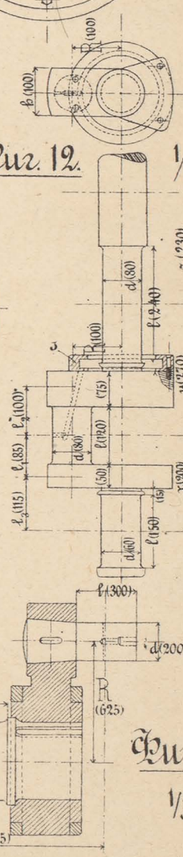
Фиг. 15. 1/10.



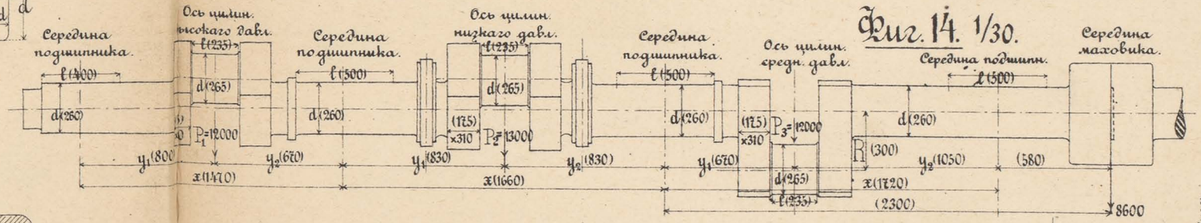
Фиг. 10. 1/12.



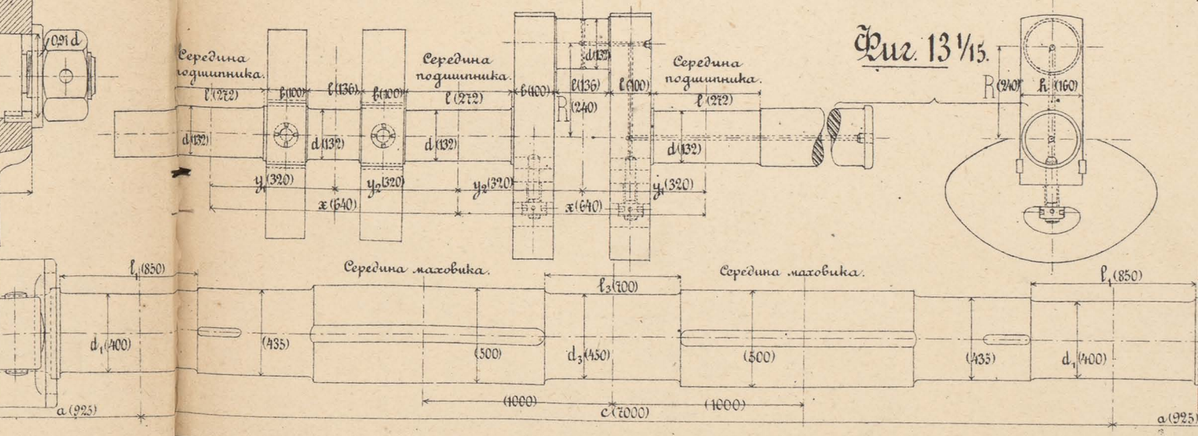
Фиг. 12. 1/12.



Фиг. 14. 1/30.

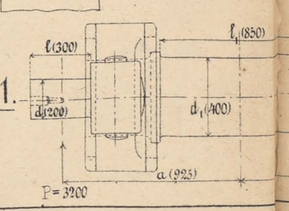


Фиг. 13. 1/15.



Фиг. 11.

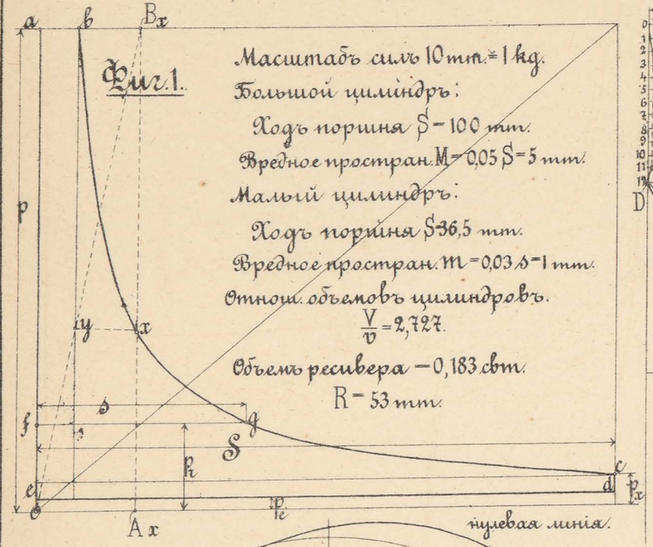
1/30.



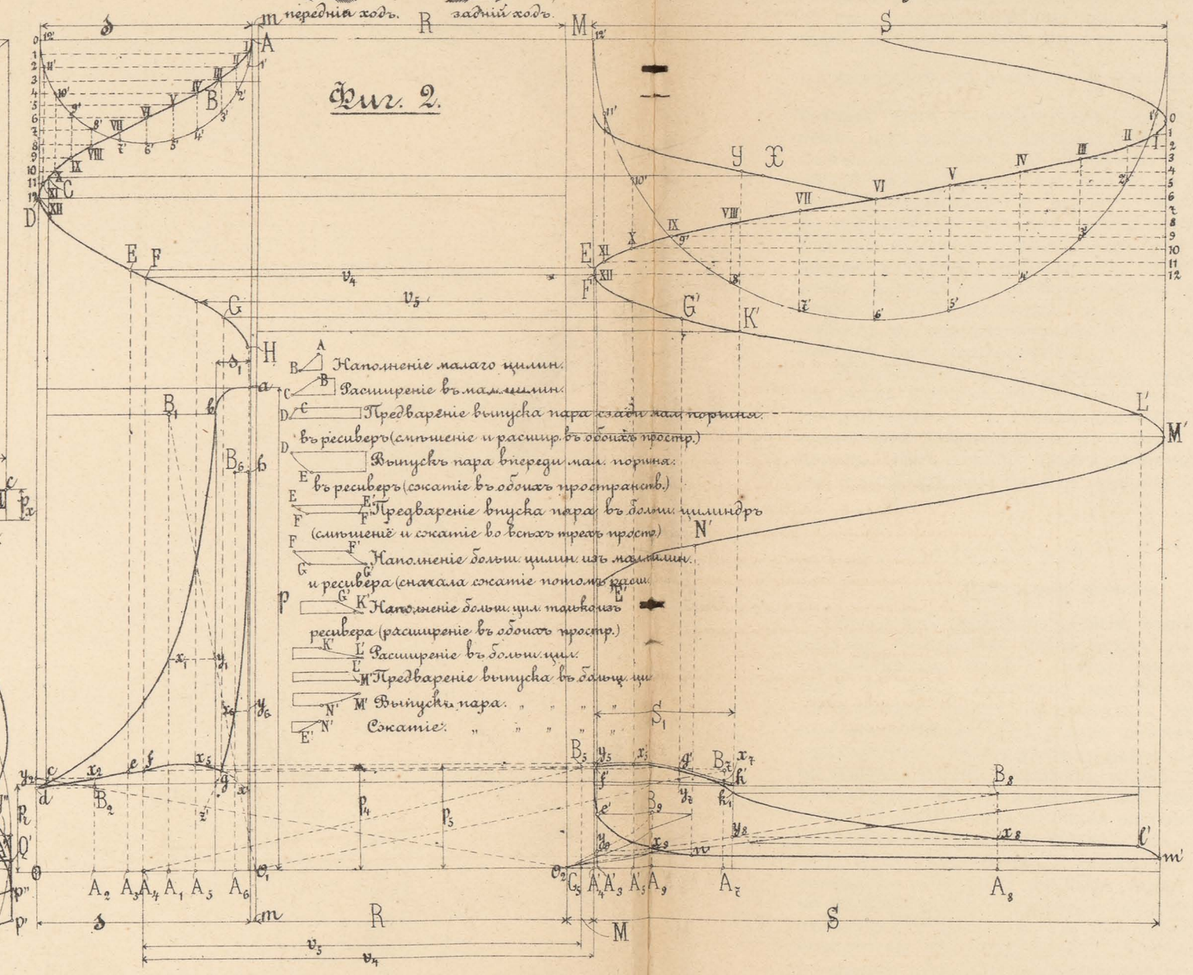
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Діаграммы работъ и давленій машины двойного расширенія (кривошипы подъ угломъ въ 90°).

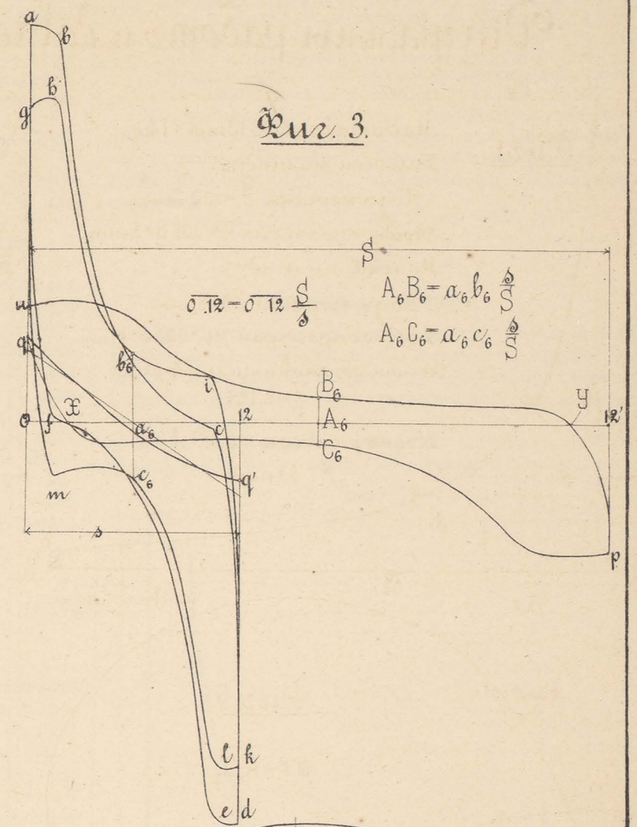
Фиг. 1.



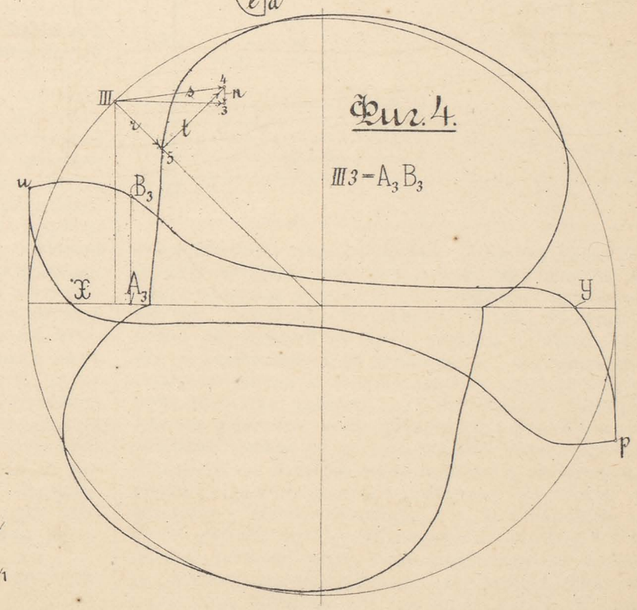
Фиг. 2.



Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.

Фиг. 6.

Для давленія въ холодильникѣ $p' = 0{,}12$ атм. изъ уравненія 41

$$V = \frac{1}{1000}\left\{30 + 1 + \frac{0{,}16 \cdot 30}{0{,}12 - 0{,}072}\right\}300 =$$

$$\frac{31}{1000}300 + \frac{100}{1000}300 = 9{,}3 + 30 \text{ m}^3,$$

гдѣ первое слагаемое выражаетъ количество воды, а второе — количество смѣси воды и воздуха, которыя нужно выкачать насосомъ.

Такъ какъ для вбрызгивающаго холодильника съ противотоками и воздушнымъ насосомъ, при томъ же давленіи въ холодильникѣ $p' = 0{,}12$ атм., t' есть температура охлажденнаго пара и $p'_d = p'$, а по таблицѣ на стр. 67 для 0,12 атм. $t' = 50°$, то изъ уравн. 40а имѣемъ

$$n = \frac{625 - 50}{50 - 20} = 19,$$

$$W = nC = 19 \cdot 300 = 5700 \text{ литр.} = 5{,}7 \text{ m}^3;$$

а изъ уровненія 43 при

$$p_{d^0} = 0{,}031 \text{ атм.}$$

соотвѣтственно для $t_0 = 25°$ (увеличено для безопасности на 5°) будетъ

$$V = \frac{1}{1000}\frac{0{,}16 \cdot 19}{0{,}12 - 0{,}031} = 10{,}04 \text{ m}^3.$$

Это количество воздуха, которое воздушный насосъ долженъ выкачать въ единицу времени.

Сравненіе обоихъ холодильниковъ показываетъ, что при параллельномъ теченіи и мокромъ насосѣ, количество холодной воды будетъ въ $\frac{30}{19} = \sim$ въ 1,56 разъ, а объемъ V въ $\frac{30}{10{,}04} = \sim$ въ 3 раза больше, чѣмъ при противоположномъ теченіи и сухомъ воздушномъ насосѣ, выкачивающемъ только воздухъ.

Работа, затрачиваемая на приведеніе въ дѣйствіе холодильника, состоитъ изъ работы, которую нужно затратить для снабженія холодильника холодною водою и изъ работы, которую необходимо затратить для удаленія изъ него теплой воды и воздуха. Пусть на фиг. 52 текста h_0 означаетъ высоту въ m, на которую насосъ долженъ поднять холодную воду. Работа, которую нужно затратить, въ единицу времени на снабженіе холодильника холодною водою, не принимая во вниманіе побочныхъ сопротивленій, будетъ

$$Wh_0 = n\,Ch_0 \text{ mkg.}$$

На остающуюся до холодильника высоту h_1 вода должна подняться благодаря разности давленія между внѣшнимъ (атмосфернымъ) давленіемъ и давленіемъ въ холодильникѣ, т. е. подъ давленіемъ $1 - p'$ атм. Такимъ образомъ использована также съ выгодою всасывающая способность холодильника, что и выполнено въ ранѣе подробно описанномъ холодильникѣ, представленомъ на фиг. 52.

Если не принимать во вниманіе постороннія сопротивленія, то пока высота $h_0 + h_1$ менѣе высоты водянаго столба въ 10 $(1 - p')$ метровъ, соотвѣтствующемъ давленіи $1 - p'$, нѣтъ надобности ставить насоса для холодной воды. Такимъ образомъ при сдѣланномъ ограниченіи для $p' = 0{,}12$ атм. пришлось бы поставить насосъ только при $10\,(1 - 0{,}12) = 8{,}8$ m. Въ дѣйствительности однако въ холодильникахъ съ параллельными токами и съ мокрымъ насосомъ упомянутую разность давленій вполнѣ использовать нельзя. Поэтому, когда разность высотъ холодильника и уровня воды превышаетъ 5 m, для надежнаго снабженія холодильника водою ставятъ насосъ.

Чтобы далѣе удалить изъ холодильника количество воды $W + C$ или C литровъ при давленіи p' и вывести наружу, подвергая ее болѣе высокому атмосферному давленію, потребуется затрата работы въ холодильникахъ съ смѣшеніемъ

$$(n + 1)\,C\,10\,(1 - p')\text{ mkg,}$$

въ поверхностныхъ холодильникахъ

$$C\,10\,(1 - p')\text{ mkg,}$$

если не принимать во вниманіе постороннія препятствія.

Наконецъ работу, потребную для того, чтобы сжать находящуюся въ холодильникѣ смѣсь воздуха и пара давленія p' до атмосфернаго давленія и удалить ее наружу, можно опредѣлить только приблизительно, такъ какъ неизвѣстно, какъ мѣняется температура и взаимное отношеніе объемовъ газовъ при сжатіи.

Если допустимъ, какъ это сдѣлалъ Вейсъ, для полученія простыхъ выраженій, что температура остается постоянною, т. е. примемъ, что сжатіе идетъ по закону Маріотта [1]), и замѣтимъ, что смѣсь при давленіи p' атм. имѣетъ объемъ, равный $\frac{0{,}16\,nC}{p' - p_d}$ или $\frac{xC}{p' - p_d}$ метр., то теоретически эта работа будетъ

для вбрызгивающихъ холодильниковъ

$$\frac{0{,}16\,nC}{p' - p_d}\,10\,p'\ln\frac{1}{p'}\,\lambda,$$

для поверхностныхъ холодильниковъ

$$\frac{xC}{p' - p_d}\,10\,p'\ln\frac{1}{p'}\,\lambda,$$

гдѣ λ есть поправочный коэффиціентъ, введенный для большей надежности.

Чтобы получить дѣйствительную работу, потребную для приведенія въ дѣйствіе холодильника, слѣдуетъ предыдущія теоретическія выраженія раздѣлить на коэффиціентъ полезнаго дѣйствія φ насосовъ, который колеблется между 0,8 и 0,65. Такимъ образомъ получимъ общую работу въ mkg, потребную для приведенія въ дѣйствіе вбрызгивающаго холодильника, все равно будетъ ли воздушный насосъ сухой или мокрый,

$$L = \frac{1}{\varphi}C\left[nh_0 + 10\,(n+1)\,(1 - p') + \frac{1{,}6\,n}{p' - p_d}p'\ln\frac{1}{p'}\lambda\right]. \quad 46$$

гдѣ $p_d = p'_d$ (соотвѣтственно температурѣ теплой воды t') въ случаѣ параллельнаго теченія и при мокромъ воздушномъ насосѣ, и $p_d = p_{d^0}$ (соотвѣтственно температурѣ холодной воды t_0) въ случаѣ противотоковъ и сухого насоса.

Для поверхностныхъ холодильниковъ эта работа будетъ

$$L = \frac{1}{\varphi}C\left[nh_0 + 10\,(1 - p') + \frac{10x}{p' - p_d}p'\ln\frac{1}{p'}\lambda\right]. \quad 47$$

Изъ примѣра, приведеннаго на стр. 72 для сравненія параллельнаго и противоположнаго теченій въ холодильникахъ, мы имѣемъ, если холодную воду нужно поднять на высоту $h_0 = 2$ m и φ принять равнымъ 0,7, для параллельнаго теченія при $C = 300$, $n = 30$ $p' = 1{,}2$ атм., $t' = 40'$, $p_d = p_{d^0} = 0{,}072$ атм. и $\lambda = 1{,}5$

$$L = \frac{1}{0{,}7}300\left[30.2 + 10(30+1)\,(1 - 0{,}12) + \frac{1{,}6 \cdot 30}{0{,}12 - 0{,}072}0{,}12\ln\frac{1}{0{,}12}1{,}5\right] = 306\,250 \text{ mkg}$$

въ минуту, или

$$\frac{306\,250}{60 \cdot 75} = \sim 68 \text{ лошад. силъ въ секунду;}$$

при противномъ теченіи и $C = 300$, $n = 19$, $p' = 0{,}12$ атм., $t_0 = 25°$, $p_d = p_{d^0} = 0{,}031$ атм., $\lambda = 1{,}5$

$$L = \frac{1}{0{,}7}300\left[19{,}2 + 10\,(19+1)\,(1 - 0{,}12) + \frac{1{,}6 \cdot 19}{0{,}12 - 0{,}031}0{,}12\ln\frac{1}{0{,}12}1{,}5\right] = 147\,580 \text{ mkg}$$

въ минуту, или

$$\frac{147580}{60 \cdot 75} = \sim 33 \text{ лошад. силъ въ секунду.}$$

[1]) Грасгофъ (Grashof) дѣлаетъ это допущеніе только въ случаѣ мокраго воздушнаго насоса.

ич. и румя... БИБ... ТЕ...

Киссельбахъ (Kiesselbach) въ Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1896 опубликовалъ цѣлый рядъ опытовъ изъ которыхъ видно, что обыкновенные вбрызгивающіе холодильники требуютъ затраты на приведеніе въ дѣйствіе отъ 0,6 до 2% всей работы машины, при нормальныхъ условіяхъ круглымъ числомъ 1%, при возвратномъ охлажденіи теплой воды отъ 1 до 3,5%, смотря по температурѣ и количеству израсходованной воды; поверхностные холодильники требуютъ затраты отъ 0,2 до 0,7%, при возвратномъ охлажденіи отъ 0,6 до 2,2%.

Дальнѣйшія указанія для разсчета холодильниковъ будутъ сдѣланы въ слѣдующей части.

4. Холодильники для вторичнаго охлажденія воды.

Если мы хотимъ сохранить выгоды охлажденія пара также и въ тѣхъ случаяхъ, когда не хватаетъ холодной воды для этого охлажденія или тогда, когда доставленіе или удаленіе этой воды сопряжено съ большими расходами и затрудненіями, то одно и то-же количество охлаждающей воды примѣняютъ вновь для охлажденія пара въ холодильникѣ. Каждый разъ эту воду послѣ ея нагрѣванія отъ сгущаемаго пара подвергаютъ въ особомъ сооруженіи — холодильникѣ вторичному или возвратному охлажденію. Въ этомъ холодильникѣ вода приходитъ въ тѣсное соприкосновеніе съ воздухомъ, который у нее съ одной стороны отнимаетъ теплоту вслѣдствіе теплопроводности и лучеиспусканія, а, съ другой стороны, заставляетъ воду испаряться, при чемъ опять необходимая теплота испаренія отнимается отъ воды.

Для вторичнаго охлажденія нагрѣвшейся въ холодильникѣ воды теперь уже рѣдко употребляютъ простыя бассейны или пруды съ холодною водою, въ которые она направляется послѣ выхода изъ холодильника и изъ которыхъ, она послѣ охлажденія, опять накачивается насосомъ въ холодильникъ, такъ какъ эти бассейны, требуя бетонныхъ работъ, обходятся очень дорого. Лѣтомъ, кромѣ того, вода въ нихъ остается слишкомъ теплою, отчего вторичное охлажденіе теплой воды весьма мало.

Площадь этихъ бассейновъ можетъ быть меньше въ тѣхъ случаяхъ, когда теплую воду изъ холодильника можно достаточно поднять надъ бассейномъ и пустить ее въ видѣ дождя, или если, какъ это совѣтуетъ Кёртингъ, эту воду давленіемъ разбрызгивать вверхъ въ видѣ фонтана. Но и въ этихъ случаяхъ расходы на сооруженія весьма значительны и кромѣ того появляется то неудобство, что часть воды уносится вѣтромъ.

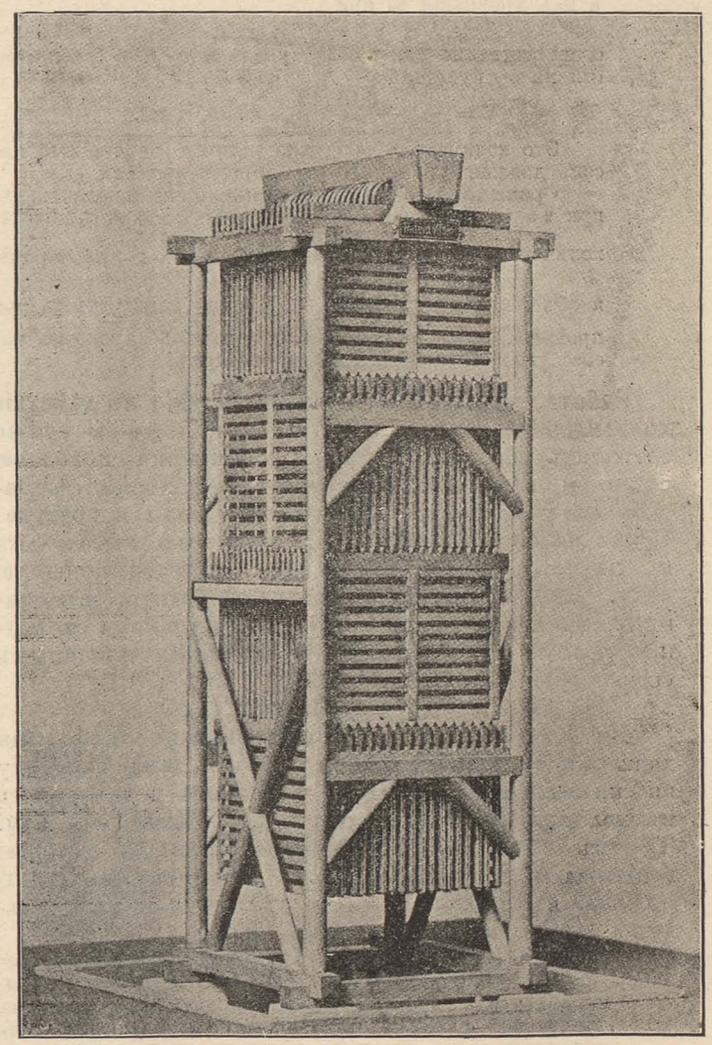
Въ настоящее время обыкновенно примѣняются такъ называемыя градирни. Это высокія башни, которыя сооружаются изъ жердей, досокъ или хвороста, въ которыя теплая вода изъ холодильника пускается сверху, куда она поднимается насосомъ. Вода падаетъ сверху, разбиваясь на мелкія струйки, причемъ воздухъ ее охлаждаетъ. Часто охлаждающее вліяніе воздуха усиливается еще тѣмъ, что онъ направляется въ градирню или особыми мѣхами, или посредствомъ особой вытяжной трубы на встрѣчу водѣ.

На фиг. 56 текста представлена градирня съ естественною тягою машиностроительнаго завода Klein, Schanzlin & Beckerъ въ Франкенталѣ (Frankenthal). Вода спускается по двумъ вертикальнымъ и параллельнымъ стѣнкамъ изъ досокъ. Эти стѣнки составлены изъ двухъ или четырехъ группъ, расположенныхъ другъ надъ другомъ причемъ направленія досокъ двухъ непосредственно слѣдующихъ группъ составляютъ уголъ въ 90°, для того, чтобы, по заявленію фирмы, нижнія токи воздуха при проходѣ черезъ расположенныя надъ ними мокрыя стѣнки, еще разъ поперекъ пронизывались водой. Кромѣ того раздѣленіе градирни на группы нужно еще для того, чтобы вода, переходя изъ одного отдѣленія въ другое, задерживалась и перемѣшивалась, для того чтобы скорость струи не была черезчуръ велика.

Разбрызгиваніе воды вообще слѣдуетъ по возможности предупредить. Высота этихъ градирень бываетъ отъ 8 до 10 m.

На фиг. 57 представлена такая же градирня съ вентиляторомъ. Въ этомъ случаѣ поверхность охлажденія, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ, можетъ быть (приблизительно въ 4 раза) меньше, чѣмъ въ предыдущей градирнѣ безъ вентилятора. Воздухъ проходитъ между досками подъ давленіемъ, измѣряемымъ столбомъ воды высотою 5 mm, со скоростью отъ 6 до 8 m. въ секунду. По даннымъ фирмы на встрѣчу опредѣленному количеству воды должно двигаться приблизительно въ 2000 разъ большее количество воздуха, причемъ испаряется приблизительно 2% воды. Высота этихъ градирень бываетъ отъ 6 до 8 m. Для искусственной тяги нѣкоторые заводы устраиваютъ, вмѣсто вентиляторовъ, особыя вытяжныя трубы. На фиг. 54 текста, стр. 70, было уже описано устройство холодильника съ вытяжною трубой фирмы Balke & Co, въ которомъ для болѣе совершеннаго охлажденія пара трубою производится искусственная тяга. Эта фирма строитъ также холодильники съ искусственною тягою для возвратнаго охлажденія воды, въ видѣ башень вышиною отъ 15 до 20 m, нижняя половина которыхъ нѣсколькими досчатыми рѣшетчатыми настилками раздѣляется на нѣсколько этажей. Сверху башни открыты для выхода испареній, а у основанія они снабжены отверстіями для прохода холоднаго воздуха. Охлаждаемая

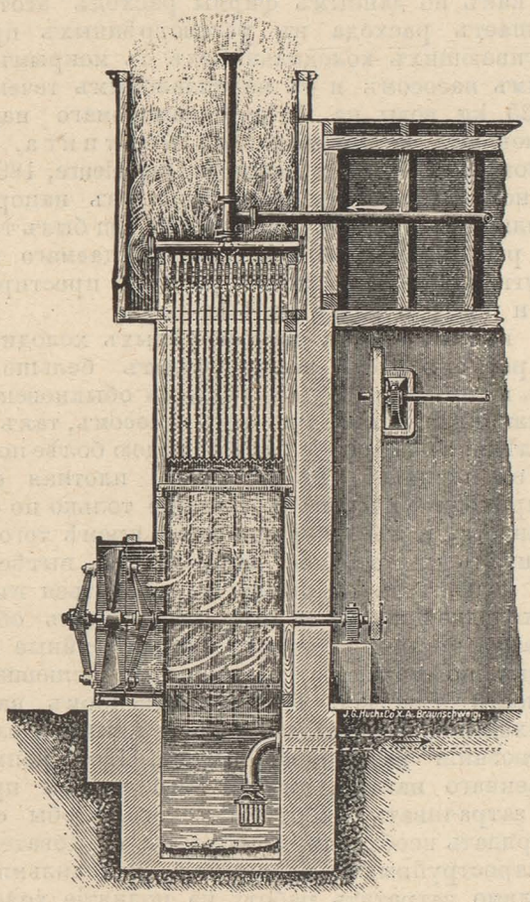
Фиг. 56.



вода вступаетъ непосредственно надъ рѣшетками черезъ широкія трубы въ охладитель, гдѣ она благодаря особымъ приспособленіямъ падаетъ въ видѣ мелкаго дождя съ рѣшетки на рѣшетку, на встрѣчу подымающемуся холодному воздуху. Благодаря трубѣ образующіяся въ такомъ холодильникѣ испаренія уносятся надъ сосѣдними строеніями, которыя такимъ образомъ отъ нихъ избавлены.

Благодаря возвратному охлажденію воды польза, приносимая охлажденіемъ пара, уменьшается, такъ какъ приходится дѣлать затраты на сооруженіе и содержаніе холодильниковъ для вторичнаго охлажденія и приходится гасить эти затраты, и кромѣ того необходимо тратить работу на приведеніе въ дѣйствіе холодильника. Очевидно, что лучшаго устройства будетъ тотъ холодильникъ, въ которомъ получается хорошее

Фиг. 57.



охлажденіе при наименьшей затратѣ капитала и работы. Приходится также принимать во вниманіе площадь, занимаемую холодильникомъ и особенно тогда, когда мѣсто стоитъ очень дорого. Простые бассейны для охлажденія занимаютъ очень много мѣста (на 1 лошад. силу приходится приблизительно площадь въ $3 m^2$ [1]) и требуютъ больш ихъ первоначальныхъ затратъ; но за то такіе бассейны не требуютъ насосовъ и ухода. Градирни изъ досокъ, хвороста и брусковъ съ естественною тягою занимаютъ годаздо меньше мѣста (на 1 лошад. силу при охлажденіи на 20 до 30° приходится 0,3 m^2, при охлажденіи на 10 до 15° приблизительно 0,1 m^2. Меньше-же всего мѣста занимаютъ холодильники съ искусственною тягою (на 1 лошад. силу приходится около 0,035 m^2 [1]), но зато насосы и вентиляторы расходуютъ отъ 4,5 до 6% всей работы машины.

[1]) См. справочн. кн. «Hütte».

Охладительные бассейны съ разбрызгивателями Кёртинга обходятся также очень дорого. Они занимаютъ приблизительно то-же мѣсто, какъ и градирни съ естественною тягою, а между тѣмъ, для приведенія ихъ въ дѣйствіе, приходится затрачивать отъ 3 до 4% всей работы машины.

Поэтому при выборѣ того или другого типа холодильника приходится тщательно взвѣшивать всѣ обстоятельства, при которыхъ придется сооружать его, для достиженія желаемой выгоды. Не надо также забывать, что въ холодильникѣ, точное дѣйствіе котораго напередъ неизвѣстно, вода въ зависимости отъ погоды охлаждается не всегда до одинаковой температуры и что, слѣдовательно, охлажденіе пара производится то болѣе теплою, то болѣе холодною водою. Относительно цѣны, величины и устройства холодильника лучше всего обращаться на заводы, которые занимаются сооруженіемъ холодильниковъ и которые, слѣдовательно, обладаютъ достаточнымъ опытомъ въ этомъ отношеніи.

Въ поверхностныхъ холодильникахъ часть воды, испаряющаяся при вторичномъ охлажденіи ея или потерянная другимъ путемъ, должна быть вновь замѣщена; эта часть воды равна приблизительно количеству питательной воды. Въ холодильникахъ съ вбрызгиваніемъ почти не приходится добавлять воды, такъ какъ испарившаяся часть находящагося въ оборотѣ количества воды постоянно замѣщается охладившимся паромъ.

5. Пароструйные (эжекторные) холодильники.

Эти холодильники, введенные въ употребленіе фирмою Gebr. Körting въ Körtingsdorf'ѣ близъ Ганновера, отличаются отъ разсмотрѣнныхъ нами вбрызгивающихъ холодильниковъ только способомъ удаленія воды и воздуха изъ внутренняго пространства холодильника. Тогда какъ въ обыкновенныхъ холодильникахъ вода и воздухъ доставляются поршневымъ насосомъ, въ пароструйныхъ холодильникахъ для этого примѣняется или скорость вбрызгиваемой воды, или присущая мятому пару живая сила. Для этой цѣли вода съ опредѣленною скоростью направляется въ разрѣженное пространство холодильника, гдѣ она соприкасаясь съ паромъ, смѣшивается съ нимъ и сгущаетъ его. Смѣсь изъ охлаждающей воды, охлажденной воды и попавшаго въ холодильникъ воздуха попадаетъ въ видѣ сплошной струи въ коническое сопло, въ которомъ скорость струи постепенно уменьшается, преодолѣвая внѣшнее давленіе воздуха.

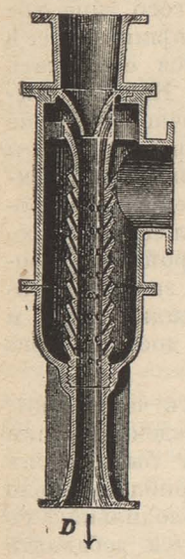
Братья Кёртингъ (Gebr. Körting) выпускаютъ пароструйные холодильники двухъ типовъ.

На фиг. 58 текста представленъ продольный разрѣзъ пароструйнаго холодильника, работающаго съ напоромъ для машинъ съ перемѣнною нагрузкою. Фиг. 59 текста представляетъ установку его при паровой машинѣ.

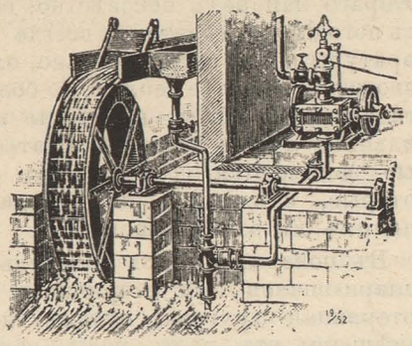
Аппаратъ долженъ быть всегда установленъ вертикально. При W вступаетъ вода подъ напоромъ по меньшей мѣрѣ въ 4 m, считая отъ верхняго края аппарата; она идетъ сначала въ направляющую трубу съ большимъ количествомъ соплообразныхъ отверстій, а потомъ переходитъ въ конической раструбъ. Паропроводная труба примыкаетъ къ боковому флянцу аппарата и паръ черезъ трубчатыя отверстія средней трубы въ видѣ большого числа тонкихъ струекъ приходитъ въ соприкосновеніе съ холодною водою и конденсируется.

Вода и воздухъ выходятъ въ отверстіе D. Напоръ (слѣд. и скорость воды) соотвѣтственно желаемой степени разрѣженности внутри холодильника долженъ быть разсчитанъ такъ, чтобы вода и воздухъ могли преодолѣть внѣшнее атмосферное давленіе при выходѣ изъ холодильника. Если напоръ воды естественный, то выгода,

Фиг. 58.



Фиг. 59.

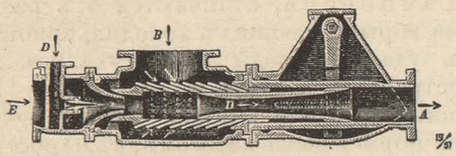


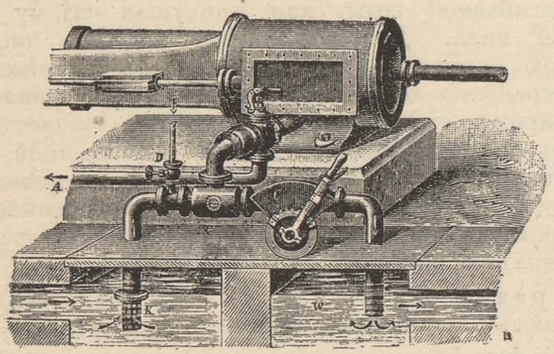
приносимая холодильникомъ, достигается безъ всякой затраты работы.

На фиг. 60 и 61 текста представлены конструкція и установка патентованнаго универсальнаго холодильника Кёртинга, который рекомендуется этою фирмою для машинъ съ постоянною или измѣняющеюся по временамъ нагрузкою.

Аппаратъ долженъ быть установленъ горизонтально, если это только возможно. Холодная вода, которая вступаетъ въ холодильникъ въ E, всасывается, причемъ

Фиг. 60.





Фиг. 61.

высота всасыванія, на которую вода поднимается не должна превышать 3 m. Мятый паръ вступаетъ въ отверстіе B. Въ D примыкаетъ труба для притока свѣжаго пара. Коническое сопло D можетъ перемѣщаться при помощи рычага, благодаря чему мятый паръ будетъ вступать внутрь средней трубы холодильника черезъ большее или меньшее число отверстій. При пускѣ въ ходъ сопло D передвигается при помощи рычага по возможности ближе къ мѣсту вступленія воды, послѣ чего открывается клапанъ и пускается свѣжій паръ при D, который и начнетъ всасывать воду въ холодильникъ. Затѣмъ пускаютъ машину въ ходъ, закрываютъ клапанъ для свѣжаго пара и постепенно передвигаютъ сопло D по направленію выхода воды до тѣхъ поръ, пока не получимъ желательный вакуумъ. Если происходятъ перемѣны въ нагрузкѣ машины или въ расходѣ пара, положеніе сопла D надо соотвѣтственно измѣнить.

Въ разсматриваемыхъ аппаратахъ мятый паръ долженъ ускорять движеніе струи холодной воды, чтобы послѣдняя получила необходимую для выхода воды и воздуха изъ холодильника скорость. Необходимая для этого ускоренія разность давленій внутри и внѣ средней трубы понятно уменьшаетъ степень разрѣженности внутри холодильника. Та-же фирма исполняетъ холодильники подобныхъ вышеописаннымъ универсальнымъ (но безъ передвижного сопла) для воды, уровень которой находится ниже машины и для машинъ съ постоянною нагрузкою.

Что касается расхода холодной воды въ пароструйныхъ холодильникахъ Кёртинга, то данныя относительно этого значительно расходятся. Между тѣмъ какъ по даннымъ фирмы расходъ этотъ не превышаетъ расхода въ разсмотрѣнныхъ прежде вбрызгивающихъ холодильникахъ съ мокрымъ воздушнымъ насосомъ и съ параллельнымъ теченіемъ, т. е. 25 kg воды на 1 kg охлаждаемаго пара и даже меньше, (по докладу г. Е. Кёртинга, напечатанному въ Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1892 г.), въ одномъ случаѣ расходъ воды въ напорномъ холодильникѣ при вакуумѣ въ 490 mm былъ только въ 11 разъ больше количества охлаждаемаго пара, по другимъ даннымъ этотъ расходъ простирается до 35 и даже до 55 kg на 1 kg пара.

Въ всасывающихъ пароструйныхъ холодильникахъ расходъ воды всегда будетъ больше при одномъ и томъ же вакуумѣ, чѣмъ въ обыкновенныхъ холодильникахъ съ воздушнымъ насосомъ, такъ какъ въ послѣднихъ смѣшеніе пара съ водою болѣе полное, чѣмъ въ первыхъ, въ которыхъ плотная струя воды приходитъ въ соприкосновеніе только по своей поверхности, и въ которыхъ паръ кромѣ того долженъ имѣть достаточное давленіе для вытѣсненія теплой воды. Если же можно не стѣсняться въ расходѣ холодной воды, то при нѣкоторыхъ обстоятельствахъ можно предпочитать пароструйные холодильники по причинѣ ихъ простоты, дешевизны и надежности дѣйствія. При естественномъ напорѣ не приходится затрачивать работу какъ въ случаѣ существованія воздушнаго насоса. При неимѣніи естественнаго напора, вмѣсто этой работы приходится затрачивать работу для того, чтобы струѣ воды придать необходимую скорость; слѣдовательно, при пароструйныхъ напорныхъ холодильникахъ необходимо затратить работу на поднятіе холодной воды (для полученія напора); при всасывающихъ пароструйныхъ холодильникахъ работа, необходимая для ускоренія струй, производится охлаждаемымъ паромъ на счетъ уменьшенія вакуума.

6. Сообщеніе холодильника съ цилиндромъ.

Для того, чтобы по возможности полнѣе использовать получаемый въ холодильникѣ вакуумъ, необходимо, чтобы онъ передавался въ цилиндръ по возможности полнѣе и имѣлъ бы мѣсто во все время выпуска пара, такъ какъ польза, приносимая холодильникомъ, опредѣляется не давленіемъ въ послѣднемъ, а давленіемъ въ цилиндрѣ.

Поэтому необходимо вкратцѣ указать на тѣ обстоятельства, которыя имѣютъ вліяніе на уменьшеніе полученнаго въ холодильникѣ вакуума, при сообщеніи его съ цилиндромъ.

Уменьшеніе вакуума въ цилиндрѣ можетъ произойти отъ неплотностей въ трубахъ, отъ ча-

стыхъ и крутыхъ изгибовъ ихъ, отъ недостаточности поперечныхъ сѣченій трубъ, каналовъ и парораспредѣлительныхъ приборовъ и вообще отъ всѣхъ тѣхъ обстоятельствъ, которыя увеличиваютъ треніе и сопротивленіе движенію на пути между холодильникомъ и цилиндромъ. Для того чтобы вакуумъ получался въ цилиндрѣ своевременно, онъ долженъ существовать уже въ мертвомъ положеніи поршня. Этого возможно достигнуть только при достаточномъ предваренiи выпуска, при не слишкомъ высокомъ давленіи въ концѣ расширенія, а также при достаточно широкой пароотводной трубѣ. По мнѣнію-же многихъ инженеровъ, это условіе въ большинствѣ случаевъ неисполнимо, такъ какъ мятый паръ долженъ пріобрѣсть необыкновенно большую скорость для того, чтобы въ короткій промежутокъ времени между началомъ предваренія выпуска и мертвымъ положеніемъ, передъ поршнемъ получился полный вакуумъ.

ЧАСТЬ IV.

Разсчетъ паровыхъ машинъ.

§ 22.

Опредѣленіе работы и главныхъ размѣровъ паровой машины.

Пусть въ дальнѣйшемъ для паровой машины

N_n означаетъ полезную или эффективную работу (измѣренная на главномъ валу),

N_i индикаторную работу машины (измѣренная въ цилиндрѣ) въ лошадиныхъ силахъ,

$\eta = \frac{N_n}{N_i}$ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія,

O полезную площадь поршня въ cm^2,

D діаметръ цилиндра въ cm,

S ходъ поршня въ m,

n число оборотовъ въ минуту,

c_m среднюю скорость поршня въ m въ секунду; это есть воображаемая равномѣрная скорость, съ которой поршень совершилъ бы одинъ ходъ въ тоже самое время какъ и съ дѣйствительною, неравномѣрною скоростью,

p_i среднее индикаторное давленіе. т. е. такое воображаемое постоянное давленіе, которое при одномъ ходѣ поршня можетъ совершить ту-же работу, что и дѣйствительное перемѣнное рабочее давленіе пара,

p_k обсолютное давленіе пара въ котлѣ въ атмосферахъ,

p абсолютное давленіе пара при впускѣ къ началу хода поршня въ атм.,

p_x абсолютное давленіе пара въ концѣ расширенія въ атм. (причемъ предполагается, что расширеніе идетъ до конца хода поршня),

p_e обсолютное давленіе при выпускѣ пара въ атм.,

p_3 абсолютное давленіе пара въ концѣ сжатія въ атм.,

$e = \frac{S_1}{S}$ степень наполненія машины, отнесенная въ случаѣ многоцилиндровой машины къ большому цилиндру,

M величину вреднаго пространства, отнесенную къ полезной площади поршня O.

Работа паровой машины опредѣляется изъ уравненія

$$N_n = \eta N_i = \eta \frac{O p_i c_m}{75} \quad \ldots\ldots \quad 50$$

Это уравненіе годится какъ для одноцилиндровой, такъ и для многоцилиндровыхъ машинъ, причемъ для сдвоенныхъ машинъ O будетъ означать полезную площадь обоихъ поршней, для компаундъ-машинъ O будетъ площадь большого поршня. p_i будетъ индикаторное давленіе всѣхъ цилиндровъ вмѣстѣ, отнесенное къ полезной площади и ходу большого поршня.

При помощи основного уравненія 50, разрѣшаются всѣ вопросы, встрѣчающіяся въ практикѣ при разсчетѣ паровыхъ машинъ въ тѣхъ предѣлахъ, въ которыхъ онъ (разсчетъ) приводится въ настоящемъ параграфѣ. Эти вопросы можно свести главнымъ образомъ къ слѣдующимъ двумъ задачамъ.

a) Нужно опредѣлить работу паровой машины по даннымъ ея размѣрамъ и условіямъ дѣйствія.

Для этого можно примѣнить уравненіе 50. Данными въ этомъ случаѣ нужно считать D, S, n, а также и p_k или p, p_e и e. Тогда при помощи первыхъ трехъ данныхъ можно опредѣлить η, O и c_m, при помощи послѣднихъ трехъ p_i, какъ это будетъ показано болѣе подробно въ дальнѣйшемъ.

b) Нужно опредѣлить главные размѣры проектирующейся машины, которая при опредѣленномъ давленіи пара въ котлѣ или при впускѣ должна совершить требуемую работу.

Данными въ этомъ случаѣ нужно считать p_k или p и N_n. Тогда изъ уравненія 50 опредѣлимъ полезную площадь поршня O

$$O = 75 \frac{N_n}{\eta p_i c_m} = 75 \frac{N_i}{p_i c_m}, \quad \ldots\ldots \quad 51$$

выбравъ предварительно η, c_m и опредѣливъ p_i, какъ это будетъ показано впослѣдствіе. По площади O опредѣлимъ тогда діаметръ цилиндра D, а по выбранному отношенію хода поршня къ діа-

метру $\frac{100\,S}{D}$ и по выбранному числу оборотовъ n опредѣлимъ ходъ поршня S, о чемъ ниже также сдѣланы надлежащія указанія.

1. Среднее индикаторное давленіе P_i.

Это давленіе можно опредѣлить или вычисленіемъ, или какъ среднюю ординату индикаторной діаграммы.

Для вычисленія p_i примѣнимъ равенство

$$p_i = kp - k'p_e, \quad \ldots\ldots \quad 52$$

если k есть коэффиціентъ средняго давленія kp сзади поршня, а k′ коэффиціентъ средняго давленія $k'p_e$ впереди поршня.

Пренебрегая предвареніемъ впуска и выпуска и принимая для расширенія и сжатія пара законъ Маріотта, мы имѣемъ приблизительное равенство

$$k = \alpha e + \beta\left(e + \frac{M}{S}\right) \ln \frac{1 + \frac{M}{S}}{e + \frac{M}{S}}\ ^{1}) \quad \ldots \quad 53_a$$

по которому составлена таблица II на стр. 81 при $\alpha = 0{,}96$ и $\beta = 0{,}92$. Также имѣемъ:

$$k' = 1 + \frac{M}{S} + \frac{p_3}{p_e}\,\frac{M}{S}\left(\ln \frac{p_3}{1{,}1\,p_e} - 0{,}9\right) \quad \ldots \quad 53_b$$

по которому составлена таблица II на стр. 81.

Уравненіе 53 a получается слѣдующимъ образомъ.

Приходящаяся на 1 cm^2 полезной площади поршня работа пара во время впуска будетъ

$$\alpha p S_1,$$

если αp есть среднее давленіе пара во время впуска.

Во время расширенія пара отъ давленія его βp при объемѣ $M + S_1$ до объема $M + S$ работа будетъ по уравненію 10

$$\beta p (M + S_1) \ln \frac{M + S}{M + S_1},$$

такъ что работа пара сзади поршня во время одного хода его будетъ

$$\alpha p S_1 + \beta p (M + S_1) \ln \frac{M + S}{M + S_1}.$$

Если бы давленіе пара позади поршня во все время хода было постоянно, то работа, совершенная этимъ давленіемъ во время одного хода была бы

$$kpS.$$

Приравнивая полученныя величины, имѣемъ равенство

$$kpS = \alpha p S_1 + \beta p (M + S_1) \ln \frac{M + S}{M + S_1},$$

или

$$k = \alpha e + \beta\left(e + \frac{M}{S}\right) \ln \frac{1 + \frac{M}{S}}{e + \frac{M}{S}}.$$

Для передней стороны поршня работа, приходящаяся на 1cm^2 площади его, во время выпуска на пути S_3 будетъ

$$p_e S_3.$$

Во время сжатія отъ начальнаго давленія $1{,}1\,p_e$ (округлено) при объемѣ $M + S - S_3$ до давленія p_3 при объемѣ M работа пара будетъ

$$1{,}1\,p_e (M + S - S_3) \ln \frac{M + S - S_3}{M},$$

а вся работа впереди поршня во время одного хода его будетъ

$$p_e S_3 + 1{,}1\,p_e (M + S - S_3) \ln \frac{M + S - S_3}{M},$$

или такъ какъ ихъ

$$1{,}1\,p_e (M + S - S_3) = p_3 M$$

$$S_3 = M + S - \frac{p_3 M}{1{,}1\,p_e}$$

и

$$\frac{M + S - S_3}{M} = \frac{p_3}{1{,}1\,p_e},$$

то вышеприведенное выраженіе работы будетъ

$$p_e\left(M + S - \frac{p_3}{1{,}1\,p_e} M\right) + p_3 M \ln \frac{p_3}{1{,}1\,p_e}$$

$$= p_e (M + S) + p_3 M \left(\ln \frac{p_3}{1{,}1\,p_e} - 0{,}9\right).$$

На преодолѣваніе воображаемаго средняго постояннаго давленія пара $k'p_e$ впереди поршня во время одного хода пришлось-бы затратить работу

$$k'p_e S$$

и мы имѣли бы равенство

$$k'\,p_e S = p_e (M + S) + p_3 M \left(\ln \frac{p_3}{1{,}1\,p_e} - 0{,}9\right)$$ или

$$k' = 1 + \frac{M}{S} + \frac{p_3}{p_e}\,\frac{M}{S}\left(\ln \frac{p_3}{1{,}1\,p_e} - 0{,}9\right).$$

При примѣненіи уравненій 52 и 53 для опредѣленія p_i надо руководствоваться слѣдующими указаніями.

Величину получаемую изъ уравненія 52 надо помножить еще на нѣкоторый коэффиціентъ въ виду тѣхъ отклоненій отъ дѣйствительнаго парораспредѣленія, которыя были допущены при вычисленіи, а при многоцилиндровыхъ машинахъ еще въ виду того, что происходятъ потери работы вслѣдствіе паденія давленія пара при переходѣ изъ одного цилиндра въ другой. Этотъ коэффиціентъ можетъ быть опредѣленъ только приблизительно и колеблется:

для одноцилиндровыхъ машинъ между 0,9 и 0,96,
для машинъ двойного расширенія между 0,83 и 0,92,
для тройного расширенія между 0,8 и 0,9.

Если давленіе при впускѣ p неизвѣстно, а извѣстно давленіе въ котлѣ p_k, то можно принять для разсчета

$p = 0{,}87\,p_k - z$ для машинъ съ постоянною отсѣчкою, въ которыхъ регуляторъ дѣйствуетъ на клапанъ въ паропроводѣ,

$p = 0{,}92\,p_k - z$ для машинъ, въ которыхъ регуляторъ дѣйствуетъ на парораспредѣлительный приборъ,

гдѣ z означаетъ паденіе давленія въ паропроводѣ.

Профессоръ Гутермутъ (Gutermuth) даетъ для опредѣленія величины паденія давленія въ паропроводѣ формулу

$$z = \frac{15}{10^6}\,\gamma\,\frac{l}{d}\,v,^2$$

гдѣ γ есть вѣсъ въ kg 1 m^3 пара при существующемъ въ паропроводѣ среднемъ давленіи (см. таблицу на стр. 11),
l есть длина паропровода въ m,
d діаметръ его въ cm и
v средняя скорость пара въ паропроводѣ въ секунду въ m.

При не очень длинныхъ паропроводахъ z не должно превышать $^1/_2$ атм.

Давленіе пара при выпускѣ будетъ въ среднемъ
$p_e = 1{,}1$ до $1{,}2$ атм. для машинъ безъ охлажденіи пара и
$p_e = 0{,}15$ до $0{,}3$ атм. для машинъ съ охлажденіемъ пара.

---

[1]) На стр. 64 при разсматриваніи охлажденія пара для простоты опредѣленія k было положено $\alpha = \beta = 1$, а вмѣсто $e + \frac{M}{S}$ въ скобкахъ было взято e.

Величины k и k′ въ уравненіяхъ 53a и 53b требуютъ поправки, если расширеніе (или сжатіе) пара въ одноцилиндровой машинѣ совершается не по закону Маріотта. Принимая во вниманіе сказанное на стр. 24 и 26 эта поправка для расширенія можетъ быть сдѣлана такимъ образомъ, что степень наполненія e и отношеніе $\frac{M}{S}$ для машинъ съ паровою рубашкою или съ высокимъ сжатіемъ немного увеличиваютъ, для машинъ безъ паровой рубашки немного уменьшаютъ противъ дѣйствительности. Для сжатія эта поправка можетъ быть произведена, если для машинъ съ паровою рубашкою или высокимъ сжатіемъ при разсчетѣ немного увеличить отношеніе $\frac{p_3}{p_e}$.

Коэффиціенты α и β въ уравненіи 53a вводятся для того, чтобы принять во вниманіе происходящее при впускѣ мятіе пара. Приблизительно

$$\beta = 0{,}85 \text{ до } 0{,}96 \text{ и } \alpha = 0{,}5\ (1-\beta),$$

смотря по величинѣ сѣченія паровпускныхъ оконъ и по быстротѣ закрыванія этихъ оконъ. Таблица I на стр. 81 даетъ k при $\alpha = 0{,}96$ и $\beta = 0{,}92$, что должно, при хорошихъ клапанныхъ парораспредѣленіяхъ, близко подходить къ истинѣ.

Коэффиціентъ $\frac{M}{S}$ вреднаго пространства для машинъ съ нормальнымъ ходомъ поршней будетъ приблизительно

5 до 8% при плоскихъ золотникахъ и клапанахъ
2 до 4% при круглыхъ золотникахъ и
7 до 10% при поршневыхъ золотникахъ.

Для машинъ-же съ короткимъ ходомъ поршня (быстроходныхъ) этотъ коэффиціентъ можетъ возрасти раза въ $1^1/_2$.

Коэффиціентъ наполненія e для проектирующейся машины выгодно выбрать соотвѣтственно указаннымъ въ § 15 наилучшимъ, нормальнымъ величинамъ. На стр. 81, для выбора нормальныхъ наполненій дана таблица 3, въ которой бо́льшія значенія нужно брать для небольшихъ машинъ и дешеваго топлива, а наименьшія—для большихъ машинъ и въ случаѣ дорогого топлива. Одновременно въ этой таблицѣ даны соотвѣтствующія значенія давленій расширеннаго пара p_x.

Давленіе p_i опредѣляется какъ **средняя ордината** изъ индикаторной діаграммы, снятой съ существующей машины, слѣдующимъ образомъ. Основаніе $\overline{AA'}$ діаграммы (фиг. 62 текста) дѣлятъ на 10 равныхъ частей (вообще на n) и измѣряютъ ординаты $y_1, y_2 \ldots y_{10}$ (y_n) посрединѣ каждой изъ этихъ 10 (n) частей. Тогда въ выбранномъ масштабѣ силъ имѣемъ

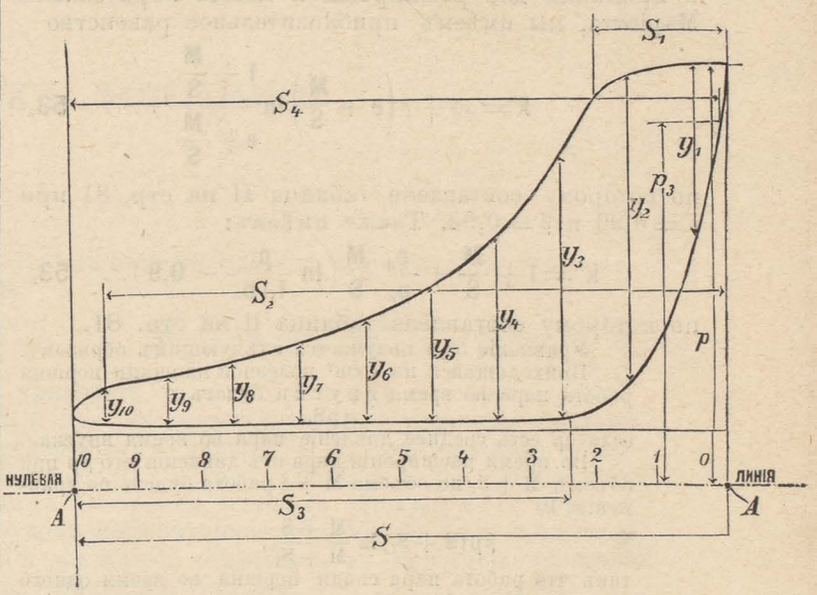
$$p_i = \frac{y_1 + y_2 + \ldots + y_{10}\ (\text{соотв. } y_n)}{10\ (\text{соотв. n})}$$

Если $y_0, y_1, y_2 \ldots y_{10}$ будутъ ординаты діаграмы въ 10 точкахъ дѣленія, то по формулѣ Симпсона будетъ

$$p_i = \frac{1}{30}[y_0 + y_{10} + 4(y_1 + y_3 + y_5 + y_7 + y_9) + 2(y_2 + y_4 + y_6 + y_8)].$$

Если для данной машины готовой діаграммы не имѣется, то также какъ и для вновь проектирующейся, строятъ идеальную индикаторную діаграмму. О построеніи этихъ діаграммъ уже было сказано въ § 10 для одноцилиндровыхъ машинъ и въ § 18 до § 20 для многоцилиндровыхъ машинъ. Если при этомъ не дано давленіе пара при впускѣ, то его можно опредѣлить по давленію въ котлѣ p_k, какъ это было указано выше. Далѣе для новой машины надо принять величину наполненія S_1, или давленіе въ концѣ расширенія p_x изъ таблицы 3 на стр. 81. Относительно давленія въ концѣ сжатія p_3 было уже сказано въ § 10 и 14. Затѣмъ остается только опредѣлить величины предваренія впуска и выпуска пара. Эти величины при двойныхъ золотникахъ и при отдѣльныхъ для впуска и выпуска парораспредѣлительныхъ приборахъ составляютъ 0,025 до 1% для предваренія впуска и 3 до 6%

Фиг. 62.



для предваренія выпуска, то есть пути поршня, означенные на прежнихъ фигурахъ и на фиг. 62, чрезъ S_4 и S_2 будутъ равны:

$$S_4 = 0{,}998 \text{ до } 0{,}99\ S \text{ и}$$
$$S_2 = 0{,}97 \text{ до } 0{,}94\ S.$$

Для машинъ съ общимъ парораспредѣлительнымъ приборомъ для впуска и выпуска относительно продолжительности указанныхъ сейчасъ періодовъ невозможно сдѣлать какихъ либо общихъ указаній, такъ какъ эти величины опредѣляются величинами другихъ періодовъ и въ свою очередь обусловливаютъ продолжительность этихъ послѣднихъ. Полученное изъ идеальной діаграммы значеніе p_i необходимо, для надежности, еще при разсчетѣ помножить на нѣкоторый коэффиціентъ, который долженъ соотвѣтствовать потерямъ въ площади идеальной діаграммы, могущимъ оказаться при сравненіи съ дѣйствительною діаграммою. Этотъ коэффиціентъ можетъ быть опредѣленъ только гадательно и его слѣдуетъ брать нѣсколько выше раньше указанной соотвѣтствующей величины; примѣрно онъ равенъ:

0,93 до 0,98 для одноцилиндровыхъ,

0,85 до 0,95 для двухцилиндровыхъ компаундъ-машинъ и

0,82 до 0,92 для трехцилиндровыхъ машинъ.

Таблица III.

Значенія $k=0{,}96e+0{,}92\left(e+\frac{M}{S}\right)\ln\frac{1+\frac{M}{S}}{e+\frac{M}{S}}$

Наполненіе e	Вредное пространство $\frac{M}{S}$						
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	0,12
0,05	0,220	0,236	0,251	0,264	0,301	0,323	0,343
0,06	0,245	0,259	0,273	0,286	0,321	0,341	0,360
0,07	0,268	0,282	0,295	0,307	0,339	0,359	0,377
0,08	0,290	0,303	0,315	0,326	0,358	0,377	0,394
0,09	0,312	0,324	0,335	0,346	0,375	0,393	0,410
0,10	0,332	0,344	0,354	0,365	0,393	0,410	0,425
0,11	0,352	0,363	0,373	0,383	0,409	0,426	0,441
0,12	0,371	0,381	0,391	0,400	0,425	0,441	0,455
0,13	0,389	0,399	0,408	0,417	0,441	0,456	0,470
0,14	0,407	0,416	0,425	0,433	0,456	0,471	0,484
0,15	0,424	0,433	0,411	0,449	0,471	0,485	0,497
0,16	0,441	0,449	0,457	0,465	0,486	0,499	0,511
0,17	0,457	0,465	0,473	0,480	0,500	0,512	0,524
0,18	0,473	0,480	0,487	0,494	0,513	0,525	0,536
0,19	0,488	0,495	0,502	0,508	0,527	0,538	0,549
0,20	0,502	0,509	0,516	0,522	0,540	0,551	0,561
0,225	0,538	0,544	0,549	0,555	0,571	0,581	0,590
0,25	0,570	0,576	0,581	0,586	0,600	0,609	0,617
0,275	0,601	0,606	0,610	0,615	0,627	0,635	0,643
0,30	0,629	0,634	0,638	0,642	0,653	0,660	0,667
0,33	0,661	0,665	0,669	0,672	0,682	0,688	0,694
0,35	0,681	0,685	0,688	0,691	0,700	0,706	0,711
0,375	0,705	0,708	0,711	0,714	0,722	0,727	0,732
0,40	0,727	0,730	0,732	0,735	0,742	0,747	0,751
0,45	0,767	0,769	0,771	0,773	0,779	0,783	0,786
0,50	0,802	0,804	0,806	0,807	0,812	0,815	0,817
0,55	0,833	0,834	0,836	0,837	0,840	0,843	0,845
0,60	0,860	0,861	0,862	0,863	0,865	0,867	0,869
0,65	0,883	0,884	0,884	0,885	0,887	0,888	0,889
0,70	0,903	0,903	0,904	0,904	0,906	0,906	0,907
0,75	0,919	0,920	0,920	0,920	0,921	0,922	0,922
0,80	0,933	0,933	0,933	0,933	0,934	0,934	0,934
0,85	0,943	0,943	0,944	0,944	0,944	0,944	0,944

Таблица IV.

Значенія $k'=1+\frac{M}{S}+\frac{p_з}{p_e}\frac{M}{S}\left(\ln\frac{p_з}{1{,}1\ p_e}-0{,}9\right)$

Сжатіе $\frac{p_з}{p_e}$	Вредное пространство $\frac{M}{S}$						
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,08	0,10	0,12
1,5	1,002	1,003	1,004	1,005	1,009	1,012	1,014
2,	1,008	1,012	1,016	1,020	1,032	1,040	1,047
2,5	1,016	1,024	1,032	1,040	1,064	1,080	1,096
3,	1,026	1,039	1,052	1,065	1,105	1,131	1,157
3,5	1,038	1,057	1,076	1,095	1,152	1,190	1,228
4,	1,051	1,077	1,103	1,128	1,205	1,256	1,308
4,5	1,066	1,099	1,132	1,164	1,263	1,329	1,395
5,	1,081	1,122	1,163	1,203	1,326	1,407	1,488
5,5	1,098	1,147	1,196	1,245	1,392	1,490	1,588
6,	1,116	1,173	1,231	1,289	1,462	1,578	1,693
6,5	1,134	1,201	1,268	1,335	1,536	1,670	1,804
7,	1,153	1,230	1,306	1,383	1,612	1,765	1,919
7,5	1,173	1,259	1,346	1,432	1,692	1,865	2,038
8,	1,193	1,290	1,387	1,484	1,774	1,967	2,161
8,5	1,215	1,322	1,429	1,536	1,858	2,073	2,288
9,	1,236	1,354	1,473	1,591	1,945	2,182	2,418
9,5	1,259	1,388	1,517	1,647	2,034	2,293	2,552
10,	1,281	1,422	1,563	1,704	2,126	2,407	2,689
10,5	1,305	1,457	1,610	1,762	2,219	2,524	2,829
11	1,329	1,493	1,657	1,821	2,314	2,643	2,971

Таблица V.

Нормальныя значенія величинъ e и p_x:
для одноцилиндровыхъ машинъ:
безъ охлажденія пара и съ паровой рубашкой

$$p_x=1{,}5 \text{ и } e=\frac{1{,}45}{p} \text{ до } \frac{1{,}55}{p},$$

для машинъ безъ охлажденія пара и безъ паровой рубашки e будетъ приблизительно на 3% больше,
съ охлажденіемъ пара и съ паровой рубашкой

$$p_x=0{,}6 \text{ а } e=\frac{0{,}6}{p} \text{ до } \frac{0{,}63}{p},$$

съ охлажденіемъ пара и безъ паровой рубашки e будетъ приблизительно на 5% больше,
для машинъ:
съ двумя цилиндрами и безъ охлажденія пара

$$p_x=1{,}4 \text{ и } e=\frac{1{,}4}{p} \text{ до } \frac{1{,}45}{p},$$

съ двумя цилиндрами и охлажденіемъ пара

$$p_x=0{,}5 \text{ до } 0{,}55 \text{ и } e=\frac{0{,}45}{p} \text{ до } \frac{0{,}53}{p},$$

съ тремя цилиндрами и охлажденіемъ пара

$$p_x=0{,}4 \text{ до } 0{,}45 \text{ и } e=\frac{0{,}3}{p} \text{ до } \frac{0{,}4}{p}$$

2. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η.

Для существующей машины по вычисленному давленію p_i коэффиціентъ η можетъ быть опредѣленъ изъ уравненія 37 § 15 и будетъ

$$\eta=\frac{1}{1+\mu}\left(1-\frac{p_o+p_c}{p_i}\right) \quad \ldots\ldots 54$$

Для встрѣчающихся въ этой формулѣ величинъ μ, p_o и p_c Храбакъ (Hrabák) [1]) и Вернеръ (Werner) [2]) изъ цѣлаго ряда опытовъ надъ машинами вывели слѣдующія эмпирическія формулы.

Храбакъ полагаетъ

$$\mu=\frac{10}{60+D} \text{ и } \mu=\frac{40}{540+D}, \quad \ldots 55_a$$

при $D \leqq 100$ cm при $D>100$ cm

а также для одноцилиндровыхъ машинъ
безъ охлажденія пара

$$p_o=0{,}042\sqrt{p}+\frac{2{,}5}{D} \text{ и } p_c=0,$$

съ охлажденіемъ пара

$$p_o+p_c=0{,}025+0{,}05\sqrt{p}+\frac{4{,}5}{D};$$

для компаундъ-машинъ
съ двумя цилиндрами и безъ охлажденія пара

$$p_o=0{,}042\sqrt{p}+\frac{4}{D} \text{ и } p_c=0, \quad \ldots 55_b$$

съ двумя цилиндрами и съ охлажденіемъ пара

$$p_o+p_c=0{,}025+0{,}05\sqrt{p}+\frac{6}{D},$$

для машинъ съ тремя цилиндрами и охлажденіемъ пара

$$p_o+p_c=0{,}025+0{,}05\sqrt{p}+\frac{7{,}5}{D}.$$

Вернеръ же принимаетъ:
для одноцилиндровыхъ машинъ
безъ охлажденія пара

$$\mu=0{,}1,\ p_o=\frac{10}{12+D} \text{ и } p_c=0,$$

а изъ цѣлаго ряда опытовъ надъ быстроходными машинами

$$\mu=0{,}1,\ p_o=\frac{8}{26+D} \text{ и } p_c=0 \quad \ldots 56$$

и съ охлажденіемъ пара

$$\mu=0{,}11,\ p_o+p_c=\frac{13}{12+D}.$$

[1]) Hilfsbuch für Dampfmaschinentechniker von Josef Hrabàk
[2]) Zeitschrift deutscher Ingenieure 1884 и 1887.

Для вновь проектируемой машины заданной силы μ предварительно опредѣляется приблизительно и послѣ, когда опредѣлится діаметръ D, провѣряется по вышеприведеннымъ равенствамъ. Для предварительнаго опредѣленія μ Hrabák предлагаетъ слѣдующую формулу и данныя къ ней.

$$\mu = x + \frac{N_n}{yc} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 57$$

Таблица VI.

	Значенія $\frac{1}{y}$ для машинъ всѣхъ родовъ.	Значенія x для одноцилиндровыхъ машинъ: безъ охлажденія пара.	Значенія x для одноцилиндровыхъ машинъ: съ охлажденіемъ пара.	Значенія x для многоцилиндр. машинъ: безъ охлажденія пара.	Значенія x для многоцилиндр. машинъ: съ охлажденіемъ пара.
$\frac{Nn}{c} \leqq 25$	500	0,75	0,7	0,69	0,67
$\frac{Nn}{c} = 26$ до 95	1500	0,785	0,755	0,745	0,725
$\frac{Nn}{c} = 100$ до 400.	10000	0,835	0,815	0,805	0,785

3. Средняя скорость поршня, ходъ поршня и число оборотовъ машины.

Для существующей машины средняя скорость поршня находится по данному ходу S и числу оборотовъ n изъ уравненія 22 и будетъ

$$c_m = \frac{Sn}{30} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 58$$

Для проектируемой машины среднею скоростью поршня c_m надо задаться, послѣ чего изъ уравненія 51 опредѣляется полезная площадь поршня O и діаметръ цилиндра D. Послѣ этого или задаются отношеніемъ хода поршня къ діаметру и опредѣляютъ ходъ S и число оборотовъ n изъ уравненія 58, или же выбираютъ n и опредѣляютъ S изъ уравненія 58.

Машины, служащія для различныхъ производствъ, можно по отношенію къ разсматриваемымъ величинамъ подраздѣлить преимущественно на двѣ группы, а именно на нормальныя паровыя машины и быстроходныя машины. Въ первой группѣ необходимо различить машины съ обыкновеннымъ и машины съ большимъ ходомъ поршня. Машины съ большимъ ходомъ поршня, благодаря небольшой величинѣ вредныхъ пространствъ, строятся Фрикартомъ (Frikart), братьями Зульцеръ (Sulzer) и нѣкоторыми бельгійскими фирмами, не смотря на дороговизну ихъ.

Нормальныя паровыя машины.

Число оборотовъ

$n \leqq 90$ при пароораспредѣленіяхъ Корлисса и клапанами,

$n \leqq 130$ при золотниковыхъ пароораспредѣленіяхъ (плоскіе и поршневые золотники),

скорость поршня

$c_m = 1{,}5$ до $2{,}5$ m для горизонтальныхъ машинъ съ обыкновеннымъ ходомъ, а также для вертикальныхъ машинъ,

$c_m = 2{,}2$ до 4 m для горизонтальныхъ машинъ съ большимъ ходомъ поршня.

Таблица VII.

Величина отношенія хода поршня къ діаметру цилиндра $\frac{100\,S}{D}$ [1]).

	Горизонтальныя машины: съ обыкновеннымъ ходомъ.	Горизонтальныя машины: съ большимъ ходомъ.	Вертикальныя машины.
Одноцилиндровыя машины	1,8 до 2,1	2,2 до 2,5	1 до 1,5
Машины двойного расширенія	1,1 „ 1,4	1,5 „ 1,9	0,6 „ 0,8
Машины тройного расширенія	0,9 „ 1,2	1,3 „ 1,5	0,5 „ 0,7

Быстроходныя машины.

Число оборотовъ $n = 140$ до 300 (для малыхъ машинъ даже до 500),

Скорость поршня $c_m = 2$ до 3 m,

Таблица VIII.

Величина отношенія $\frac{100\,S}{D}$.

	Горизонтальныя машины.	Вертикальныя машины.
Одноцилиндровыя машины	0,9 до 1,3	0,8 до 1,2
Машины двойного и тройного расширенія	0,9 „ 1,3	0,5 „ 0,8

4. Полезная площадь поршня O.

Для существующей машины эта площадь опредѣлится изъ уравненія

$$\left.\begin{array}{l} O = D^2\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}\triangle\frac{2\pi}{4} \text{ когда штокъ не сквозной} \\ \text{и } O = D^2\frac{\pi}{4} - \triangle\frac{2\pi}{4} \text{ когда штокъ сквозной} \end{array}\right\} \quad . \quad 59$$

гдѣ $\triangle$ есть діаметръ поршневого штока въ cm. Обыкновенно берутъ

$$O = 0{,}97 \text{ до } 0{,}98\ D^2\frac{\pi}{4} \quad \ldots\ldots \quad 60$$

Для проектируемой машины, для которой $\triangle$ пока неизвѣстно, можно O опредѣлить изъ уравненія 51 и положить

$$D^2\frac{\pi}{4} = 1{,}02 \text{ до } 1{,}03\ O \quad \ldots\ldots \quad 61$$

---

[1]) S въ m, D въ cm какъ на стр. 78.

5. Отношеніе объемовъ цилиндровъ въ компаундъ-машинахъ.

Точно опредѣлить отношеніе объемовъ цилиндровъ въ компаудъ-машинахъ, какъ уже было сказано на стр. 45, возможно только попытками, при помощи индикаторныхъ діаграммъ. Во многихъ случаяхъ однако, а именно при предварительномъ разсчетѣ компаундъ-машины, является желательнымъ принять приблизительно такую величину этого отношенія, чтобы работы въ отдѣльныхъ цилиндрахъ были равны. Для этой цѣли могутъ служить слѣдующія указанія.

Инженеръ Фрикартъ (Frikart) совѣтуетъ брать для компаундъ-машинъ съ двумя цилиндрами

$$\frac{V}{v} = 2{,}25,$$

при давленіи въ котлѣ не выше 7 атмосферъ и

$$\frac{V}{v} = 2{,}77,$$

при давленіи въ котлѣ отъ 7 до 9 атмосферъ.

Въ этихъ предѣлахъ дѣйствительно всегда заключается значеніе $\frac{V}{v}$ для большинства строящихся на различныхъ заводахъ машинъ.

Для компаундъ-машинъ съ тремя цилиндрами величина отношенія объемовъ малаго и средняго цилиндровъ, а также отношеніе объемовъ средняго и большого цилиндровъ будутъ имѣть такія же величины т. е. (см. стр. 46)

$$\frac{V'}{v} \text{ и } \frac{V}{V'} = 2{,}25 \text{ до } 2{,}77.$$

Наполненіе большого цилиндра въ машинахъ двойного расширенія можно принять приблизительно равнымъ $\frac{v}{V}$, наполненіе средняго и большого цилиндра—равнымъ $\frac{v}{V'}$ и $\frac{V'}{V}$.

6. Примѣры.

1. Индикаторная діаграмма на фиг. 91 текста снята съ машины съ клапаннымъ парораспредѣленіемъ съ паровою рубашкою и работающей безъ охлажденія пара. Діаметръ цилиндра равенъ 425 mm, а ходъ поршня 850 mm. Масштабъ силъ для діаграммы принятъ 7,5 mm = = 1 kg. Какую работу въ лошад. сил. доставляетъ машина при 70 оборотахъ въ минуту, если принять діаграмму одинаковою для обѣихъ сторонъ поршня?

Для разрѣшенія вопроса примѣнимъ уравненіе 50. Среднее индикаторное давленіе p_i опредѣлимъ изъ діаграммы, на которой ординаты $y_1 = 25$, $y_2 = 41{,}5$, $y_3 = 35{,}5$, $y_4 = 24{,}5$, $y_5 = 18$, $y_6 = 14$, $y_7 = 11$, $y_8 = 8{,}5$, $y_9 = 6{,}5$, $y_{10} = 5$ mm и, слѣдовательно, при принятомъ масштабѣ силъ

$$p_i = \frac{1}{10}(25 + 41{,}5 + 35{,}5 + 24{,}5 + 18 + 14 + 11 + 8{,}5 + 6{,}5 + 5) = 18{,}95 \text{ mm},$$

или

$$p_i = \frac{18{,}95}{7{,}5} = \sim \mathbf{2{,}51 \text{ kg}}.$$

Еслибъ мы захотѣли опредѣлить p_i изъ уравненій 52, 53a и 53b то, такъ какъ по діаграммѣ

$p = 7{,}5$, а $e = \frac{S_1}{S} = \frac{16{,}5}{85} = 0{,}19$ и $p_e = 1{,}15$ и принимая

$\frac{M}{S} = 0{,}06$, $\alpha = 0{,}96$, $\beta = 0{,}92$, имѣли-бы

$$k = 0{,}96 \cdot 0{,}19 + 0{,}92\,(0{,}19 + 0{,}06) \ln \frac{1 + 0{,}06}{0{,}19 + 0{,}06} = \sim 0{,}515.$$

Эту-же величину получили-бы интерполированіемъ и изъ таблицы III на стр. 81. Для опредѣленія k′ изъ уравненія 53 b надо замѣтить, что давленіе въ концѣ сжатія p_3 въ діаграммѣ на фиг. 91 будетъ выше, чѣмъ давленіе, получаемое по закону Маріотта, такъ какъ машина снабжена паровою рубашкою. Поэтому въ уравненіе 53 b нужно внести уменьшенное значеніе p_3. Если мы возьмемъ $p_3 = 4{,}5$, причемъ работа, совершаемая при сжатіи въ діаграммѣ, будетъ приблизительно равна работѣ, получаемой для этого сжатія по закону Маріотта, то получимъ

$$k' = 1 + 0{,}06 + \frac{4{,}5}{1{,}15} 0{,}06 \left(\ln \frac{4{,}5}{1{,}1 \,.\, 1{,}15} - 0{,}9 \right) = \sim 1{,}15,$$

величину, которую также можно опредѣлить интерполированіемъ изъ табл. IV на стр. 81.

Наконецъ изъ уравненія 52 имѣетъ

$$p_i = 0{,}515 \,.\, 7{,}5 - 1{,}15 \,.\, 1{,}15 = \sim 2{,}54.$$

Для запаса примемъ

$$p_i = 0{,}96 \,.\, 2{,}54 = \mathbf{2{,}44 \text{ kg}}.$$

согласно сказанному на стр. 79,—значеніе, которое близко подходитъ къ величинѣ p_i, полученной изъ діаграммы.

При сквозномъ поршневомъ штокѣ, діаметръ котораго 7 cm, полезная площадь поршня опредѣлится изъ уравненія 59 и будетъ

$$O = \overline{42{,}5}^2 \frac{\pi}{4} - 7^2 \frac{\pi}{4} = \sim \mathbf{1380 \text{ cm}^2}.$$

Средняя скорость поршня опредѣлится изъ уравненія 58

$$c_m = \frac{0{,}85 \cdot 70}{30} = \sim \mathbf{2 \text{ m}}.$$

Коэфиціентъ полезнаго дѣйствія η_i опредѣлится изъ уравненія 54, пользуясь равенствами 55 a и 55 b

$$\mu = \frac{10}{60 + 42{,}5} = \sim 0{,}1, \quad p_o = 0{,}042 \sqrt{7{,}5} + \frac{2{,}5}{42{,}5} = 0{,}175, \text{ и } p_c = 0.$$

Тогда

$$\eta = \frac{1}{1 + 0{,}1}\left(1 - \frac{0{,}175}{2{,}51}\right) = \sim \mathbf{0{,}84}.$$

Опредѣливъ такимъ образомъ всѣ неизвѣстныя величины, входящія въ уравненіе 50, получимъ

$$N_n = 0{,}84 \frac{1380 \cdot 2{,}51 \cdot 2}{75} = \sim \mathbf{77{,}5 \text{ лошад. силъ}}.$$

2. Опредѣлить работу, которую доставляетъ машина тройного расширенія, упомянутая на стр. 63? Діаметры цилиндровъ ея равны 350, 550 и 880 mm, ходъ поршня — 500 mm, число оборотовъ въ минуту 130. Для разсчета средняго индикаторнаго давленія p_i могутъ служить индикаторныя діаграммы этой машины на фиг. 48 текста.

Раздѣлимъ основаніе $\overline{AA'}$ трехъ діаграммъ на 10 равныхъ частей и опредѣлимъ ординаты діаграммъ по серединѣ каждой отдѣльной части. Средняя ордината діаграммы a будетъ

$$\frac{1}{10}(13{,}5 + 24{,}5 + 22{,}5 + 19 + 13{,}5 + 8{,}25 + 4{,}75 + 2{,}5 + 1{,}25 + 0{,}75) = 11{,}05 \text{ mm},$$

или въ принятомъ масштабѣ силъ (3,5 mm = 1 kg)

$$\frac{11{,}05}{3{,}5} = 3{,}157 \text{ kg},$$

средняя ордината діаграммы b равна

$$\frac{1}{10}(26{,}5 + 30{,}5 + 27 + 23{,}5 + 18{,}75 + 13{,}5 + 10{,}25 + 7 + 5{,}5 + 3) = 16{,}55 \text{ mm},$$

или, такъ какъ здѣсь 10 mm = 1 kg, она будетъ

$$\frac{16,55}{10} = 1,655 \text{ kg},$$

средняя ордината діаграммы c будетъ

$$\frac{1}{10}(26 + 28,5 + 27,25 + 25,75 + 23,5 + 20 + 16 + 13 + 10,5 + 6) = 19,65 \text{ mm},$$

а такъ какъ здѣсь 25 mm = 1 kg, то она будетъ

$$\frac{19,65}{25} = 0,786 \text{ kg}.$$

Для опредѣленія средняго индикаторнаго давленія p_i (въ уравненіе 50), слѣдуетъ полученныя выше среднія давленія малаго и средняго цилиндровъ отнести къ площади поршня большого цилиндра, для чего ихъ слѣдуетъ помножить на обратныя отношенія объемовъ цилиндровъ. По даннымъ на стр. 63 отношеніе

$$\frac{V}{v} = \frac{\overline{880}^2}{\overline{350}^2} = 6,32 \text{ и } \frac{V}{V'} = \frac{\overline{880}^2}{\overline{550}^2} = \sim 2,56,$$

слѣдовательно давленіе на малый поршень, отнесенное къ площади большого будетъ

$$3,157 \frac{1}{6,32} = \sim 0,5 \text{ kg},$$

и давленіе на средній поршень, отнесенное къ площади большого поршня, будетъ

$$1,655 \frac{1}{2,56} = \sim 0,646 \text{ kg}.$$

и наконецъ $p_i = 0,5 + 0,646 + 0,786 = \mathbf{1,932}$ **kg**.

Если бы мы захотѣли вычислить p_i, то мы должны были бы поступить слѣдующимъ образомъ. Изъ діаграммы a на фиг. 48 текста

$$\frac{s_1}{AA'} = \frac{22}{75}.$$

Слѣдовательно, машина работаетъ со степенью наполненія, отнесенною къ объему большого цилиндра

$$e = \frac{22}{75}\frac{v}{V} = \frac{22}{75 \cdot 6,32} = \sim 0,05.$$

Далѣе изъ діаграммы d на фиг. 48 имѣемъ

$$\frac{m}{s} = \frac{1}{25} = 0,04,$$

а слѣдовательно величина вреднаго пространства малаго цилиндра, отнесеннаго къ большому цилиндру, согласно сказанному на стр. 45, будетъ

$$\frac{m}{S} = \frac{0,04}{6,32} = \sim 0,0065$$

величина, которую надо внести въ уравненіе 53 вмѣсто $\frac{M}{S}$. Тогда при $\alpha = 0,96$ и $\beta = 0,92$ имѣемъ изъ этого уравненія

$$k = 0,96 \cdot 0,05 + 0,92\,(0,05 + 0,0065)\ln\frac{1 + 0,0065}{0,05 + 0,0065} = \sim 0,2.$$

Такъ какъ вліяніе k′ на p^i при маломъ давленіи выпуска ($p_e = 0,15$ атм.) весьма незначительно, то k′ принимаемъ равнымъ 1,3. Тогда при $p = 11,8$ атм. уравненіе 52 даетъ

$$p_i = 0,2 \cdot 11,8 - 1,3 \cdot 0,15 = \sim 2,165 \text{ kg}.$$

Принимая во вниманіе потери давленія между отдѣльными цилиндрами, это значеніе, какъ уже было замѣчено на стр. 80, слѣдуетъ еще помножить на нѣкоторый коэффиціентъ, принятый на той-же страницѣ равнымъ 0,8 до 0,9. Въ данномъ случаѣ этотъ коэффиціентъ слѣдуетъ принять равнымъ

$$\frac{1,932}{2,165} \sim 0,9$$

для того, чтобы получить давленіе, опредѣленное изъ діаграммы.

Полезная площадь большого поршня опредѣлится изъ уравненія 60 и будетъ

$$O = 0,97 \text{ до } 0,98 \cdot \overline{88}^2\frac{\pi}{4} = \sim \mathbf{5930} \text{ cm}^2.$$

Средняя скорость получится изъ уравненія 58

$$c_m = \frac{0,5 \cdot 130}{32} = \sim \mathbf{2,167} \text{ m}.$$

Для приблизительнаго опредѣленія коэффиціента полезнаго дѣйствія машины можетъ служить уравненіе 54. Опредѣливъ изъ уравненій 55 a и 55 b

$$\mu = \frac{10}{60 + 88} = \sim 0,07, \; p_o + p_c = 0,025 + 0,05\sqrt{11,8 + \frac{7,5}{88}} = 0,282,$$

мы получимъ

$$\eta = \frac{1}{1 + 0,07}\left(1 - \frac{0,282}{1,932}\right) = \sim \mathbf{0,8}.$$

Если, наконецъ, подставить найденныя выше величины въ уравненіи 50, то получимъ

$$N_n = 0,8\,\frac{5930 \cdot 1,932 \cdot 2,167}{75} = \sim \mathbf{265} \text{ лош. силъ}.$$

3. Опредѣлить главные размѣры горизонтальной одноцилиндровой машины съ паровою рубашкою и регуляторомъ, дѣйствующимъ на пораспредѣленіе Ридера. Машина работаетъ при 7 атм. абсолютнаго давленія въ котлѣ, безъ охлажденія пара, дѣлаетъ 90 оборотовъ; полезная работа ея $N_n = 25$ лошад. силъ.

Для разсчета возьмемъ уравненіе 51. Въ немъ прежде всего надо опредѣлить среднее индикаторное давленіе p_i, для чего можно вычертить идеальную индикаторную діаграмму. Эта діаграмма вычерчена на фиг. 1, табл. 26 по способу, указанному на стр. 26 (масштабъ 10 mm = 1 kg, основаніе $\overline{AA'} = 100$ mm) по слѣдующимъ даннымъ.

Давленіе пара при впускѣ $p = 6,15$ kg, такъ какъ согласно стр. 79, при

$z = 0,5$, $p = 0,95$, $p_k - z = 0,95 \cdot 7 - 0,5 = \sim 6,15$ kg,

давленіе пара при выпускѣ $p_e = 1,1$ kg,

вредное пространство $M = 0,05\,S$,

давленіе при началѣ расширенія (въ точкѣ c) $\beta p = 0,9\,p$ давленіе; при концѣ расширенія $p_x = 1,5$ kg (стр. 80),

$$\left(\text{соотвѣтствующее наполненіе } e = \frac{1,55}{p} = \frac{1,55}{6,15} = 0,25\right),$$

продолжительность опереженія выпуска 4%, слѣдовательно $S_2 = 0,96\,S$,

продолж. предваренія впуска $^1/_2$%, слѣдовательно $S_4 = 0,995\,S$ и

давленіе въ концѣ сжатія $p_3 = 4,3$ kg.

Раздѣливъ основаніе діаграммы $\overline{AA'}$ на 10 равныхъ частей и опредѣливъ ординаты по серединѣ каждой части, мы получимъ для средней ординаты

$$\frac{1}{10}(37 + 48 + 41,5 + 29 + 21 + 15,5 + 11,5 + 9 + 6,5 + 4,5) = 22,35,$$

или

$$p_i = \frac{22,35}{10} = 2,235 \text{ kg},$$

причемъ для безопасности слѣдуетъ при разсчетѣ положить

$$p_i = 0,95 \cdot 2,235 = \sim \mathbf{2,12} \text{ kg},$$

какъ уже было замѣчено на стр. 80.

Индикаторныя діаграммы на фиг. 2 и 3, табл. 26 для передняго и задняго хода построены, принимая во вниманіе конечную длину шатуна, для стараго способа установки золотника не при равныхъ наполненіяхъ, а при равныхъ предвареніяхъ впуска и выпуска. Однакоже сумма площадей обѣихъ діаграммъ, а слѣдовательно и работа машины при ходѣ поршня впередъ и назадъ, будетъ такая же, какъ еслибъ діаграмма на фиг. 1 годилась какъ для передняго, такъ и для задняго хода. Полученная изъ фиг. 2 и 3 діаграмма рабочихъ

давленій a b c d e f a (фиг. 4, табл. 26), площадь которой равна площади обѣихъ діаграммъ (см. стр. 29), даетъ среднюю ординату (основаніе здѣсь раздѣлено на 15 равныхъ частей),

$$\frac{1}{15}\{(49{,}5-19{,}5)+(50-3)+(50+4)+(48{,}5+6)+(40{,}5+8)+(32+10)+(26+12)+(21{,}5+15)+(18+19)+(15+24)+(12{,}5+30)+(10{,}5+40{,}5)+(8{,}5+49)+(5+50)+(49-9)\}=44{,}8\ \text{mm}.$$

величина, въ два раза большая противъ полученной выше ординаты 22,35.

Величина p_i опредѣлится изъ уравненія 52 при помощи уравненія 53 путемъ вычисленія для

$k=0{,}586$ (см. табл. III стр. 81 при

$$\frac{M}{S}=0{,}05,\ e=0{,}25),$$

$k'=1{,}164$ (см. табл. IV стр. 81 при

$$\frac{M}{S}=0{,}05 \text{ и } \frac{p_3}{p_e}=\frac{4{,}3}{1{,}1}=\sim 4,$$

принимая же во вниманіе, что p_3 въ дѣйствительности будетъ больше, послѣднюю величину полезно увеличить до 4,5).

Тогда имѣемъ

$$p_i=0{,}586\ .\ 6{,}15-1{,}164\ .\ 1{,}1=\sim 2{,}324\ \text{kg}.$$

или, принимая во вниманіе сказанное на стр. 80, точнѣе

$$p_i=0{,}93\ .\ 2{,}324=\sim 2{,}16,\ \text{kg},$$

эта величина только на 0,04 kg больше полученнаго ранѣе значенія p_i.

Далѣе для уравненія 51 слѣдуетъ выбрать величины c_m и η. По даннымъ на стр. 82 среднюю скорость поршня можно положить

$$c_m=\mathbf{1{,}8\ m},$$

а коэффиціентъ полезнаго дѣйствія опредѣлить изъ уравненія 57, откуда

$$\eta=0{,}75+\frac{25}{500\ .\ 1{,}8}=\sim \mathbf{0{,}775}$$

Полезную площадь поршня O можно найти изъ уравненія 51

$$O=75\frac{25}{0{,}775\ .\ 2{,}12\ .\ \sqrt{1{,}8}}=\sim 633\ \text{cm}^2,$$

а діаметръ цилиндра изъ уравненія 61

$$D^2\frac{\pi}{4}=1{,}03\ O=1{,}03\ .\ 633=\sim 652\ \text{cm}^2.$$

$D=28{,}8$ cm, или кругло

$$D=\sim \mathbf{30\ cm=300\ mm}.$$

Провѣримъ при помощи этой величины D коэффиціентъ полезнаго дѣйствія η. Изъ уравненія 55a и 55b имѣемъ

$$\mu=\frac{10}{60+30}=\frac{10}{90}=0{,}11$$

$$p_0=0{,}042\sqrt{6{,}15}+\frac{2{,}5}{30}=0{,}186,\text{ и } p_c=0,$$

изъ уравненія 55 a и b получимъ

$$\eta=\frac{1}{1+0{,}11}\left(1-\frac{0{,}186}{2{,}12}\right)=\sim 0{,}82,$$

Это значеніе, превышаетъ выбранное нами раньше только на 4%.

Ходъ поршня опредѣлится изъ уравненія 58 и будетъ

$$S=\frac{30c_m}{n}=\frac{30\ .\ 1{,}8}{90}=\mathbf{0{,}6\ m},$$

а отношеніе хода поршня къ діаметру цилиндра

$$\frac{100\,S}{D}=\frac{100\ .\ 0{,}6}{30}=\mathbf{2}.$$

Такъ какъ мы округлили значеніе D и приняли его равнымъ 30 cm, то полезная площадь поршня измѣнится и будетъ

$$O=0{,}97\ .\ \overline{30}^2\frac{\pi}{4}=\sim \mathbf{685\ cm^2},$$

Вслѣдствіе этого, при найденной поправленной величинѣ коэффиціента полезнаго дѣйствія $\eta=0{,}82$, машина при наполненіи 0,25 доставитъ работу, немного большую, чѣмъ 25 лош. силъ, а именно

$$N_n=0{,}82\frac{685\ .\ 2{,}12\ .\ 1{,}8}{75}=\sim 28{,}6\text{ лошад. силъ}.$$

Если наибольшее наполненіе машины принять 0,6, то, взявъ по табл. III на стр. 81 $k=0{,}863$ при

$$\frac{M}{S}=0{,}05\text{ и }e=0{,}6,$$

а

$$p_i=0{,}863\ .\ 6{,}15=1{,}164\ .\ 1{,}1=4{,}017\ \text{kg},$$

наибольшая работа машины будетъ

$$N_n=0{,}82\frac{685\ .\ 4{,}017\ .\ 1{,}8}{75}=\sim \mathbf{54}\text{ лош. силъ}.$$

4. Съ какимъ наполненіемъ должна работать быстроходная вертикальная машина, у которой діаметръ цилиндра безъ паровой рубашки равенъ 200 mm, а ходъ поршня — 200 mm, если эта машина при абсолютномъ давленіи въ котлѣ въ 7 атм. и 300 оборотахъ должна доставить полезную работу въ 12,5 лош. силъ? Наполненія для различныхъ сторонъ поршня слѣдуетъ, принимая во вниманіе вѣсъ штангъ, выбрать различными для того, чтобы достичь по возможности равномѣрнаго хода.

Для разрѣшенія этого вопроса опредѣлимъ прежде всего среднее индикаторное давленіе p_i изъ уравненія 50, такъ какъ отъ него зависитъ величина коэффиціента наполненія.

$$p_i=\frac{75\,N_n}{\eta O c_m}.$$

Подставивъ въ него изъ уравненія 60 величину полезной площади поршня

$$O=0{,}98\ .\ \overline{20}^2\frac{\pi}{4}=\sim \mathbf{308\ cm^2},$$

полученную изъ уравненія 58 среднюю скорость поршня

$$c_m=\frac{0{,}2\ .\ 300}{30}=\mathbf{2\ m},$$

а также найденный изъ уравненія 57 коэффиціентъ полезнаго дѣйствія

$$\eta=0{,}75+\frac{12{,}5}{500\ .\ 2}=\sim \mathbf{0{,}763},$$

будемъ имѣть

$$p_i=\frac{75\ .\ 12{,}5}{0{,}763\ .\ 308\ .\ 2}=\sim \mathbf{1{,}99\ kg}.$$

Для того, чтобы при ходѣ поршня внизъ равнодѣйствующее давленіе изъ рабочаго давленія пара и вѣса штангъ было равно такому-же давленію при ходѣ поршня вверхъ, очевидно должно быть

$$p_i=1{,}99-\frac{1}{2}\frac{G}{O}\text{ для хода внизъ}$$

и

$$p_i=1{,}99+\frac{1}{2}\frac{G}{O}\text{ для хода вверхъ},$$

гдѣ $\frac{G}{O}$ есть вѣсъ штангъ, приходящійся на 1 cm^2 полезной площади поршня. По даннымъ слѣдующаго параграфа (см. уравненіе 62) для машинъ съ хо-

домъ меньше 0,7 m и работающихъ при высокомъ давленіи

$$\frac{G}{O} = 0{,}28 \text{ kg.}$$

Тогда для верхней стороны поршня будетъ

$$p_i = 1{,}99 = 0{,}14 = \mathbf{1{,}85 \text{ kg}},$$

для нижней

$$p_i = 1{,}99 + 0{,}14 = \mathbf{2{,}13 \text{ kg}},$$

Изъ уравненія 52

$$p_i = kp - k'p_e,$$

или, принимая во вниманіе сказанное на стр. 80, лучше взять

$$p_i = 0{,}93\ (kp - k'p_e)$$

откуда

$$k = \frac{1}{p}\left(\frac{p_i}{0{,}93} - k'p_e\right).$$

По даннымъ на стр. 79 при $z = \frac{1}{2}$ и

$$p = 0{,}95 \,.\, 7 - 0{,}5 = 6{,}15 \text{ kg},$$

k' можно принять равнымъ 1,3,

по даннымъ же на стр. 79 p_e приблизительно равно 1,2 атм.

Слѣдовательно для верхней стороны поршня при $p_i = 1{,}85$

$$k = \frac{1}{6{,}15}\left(\frac{1{,}85}{0{,}93} + 1{,}3 \,.\, 1{,}2\right) = \sim \mathbf{0{,}578},$$

для нижней же, при $p_i = 2{,}13$

$$k = \frac{1}{6{,}15}\left(\frac{2{,}13}{0{,}93} + 1{,}3 \,.\, 1{,}2\right) = \sim \mathbf{0{,}611}.$$

Полагая $\frac{M}{S} = 0{,}08$, причемъ, въ виду отсутствія паровой рубашки, мы намѣренно примемъ вредное пространство меньше, чѣмъ оно будетъ въ дѣйствительности при маломъ ходѣ поршня, какъ въ данномъ случаѣ, изъ табл. V на стр. 81 получимъ

для верхней стороны поршня при $k = 0{,}578$
коэфиціентъ наполненія $e = \sim \mathbf{0{,}24}$
для нижней — при $k = 0{,}611$
коэфиціентъ наполненія $e = \sim \mathbf{0{,}26}$.

На табл. 27 фиг. 1, 2 и 3 построены діаграммы машины при этихъ коэфиціентахъ наполненія для провѣрки разсчета. При переднемъ ходѣ для средней ординаты изъ фиг. 2 получаютъ значеніе

$$\frac{1}{20}\{(47-23) + (48-8{,}5) + (48-05) + 47 + 41 + 37 + 29 + 24{,}5 + 20{,}5 + 17 + 15 + 13 + 11 + 9 + 7{,}5 + 5 + 1\} =$$

$$= 19{,}42 \text{ mm},$$

или среднее индикаторное давленіе

$$0{,}95 \,.\, 19{,}42 = \mathbf{1{,}845 \text{ kg}}\ ^1).$$

При обратномъ ходѣ поршня для средней ординаты получимъ величину

$$\frac{1}{20}\{(48-26) + (48-11{,}5) + (48-4) + 48 + 47 + 42 + 38{,}5 + 30 + 26 + 22{,}5 + 19{,}5 + 17 + 15 + 13 + 11{,}5 + 8{,}5 + 4{,}5\} = 22{,}27 \text{ mm},$$

или среднее индикаторное давленіе,

$$0{,}95 \,.\, 2{,}227 = \mathbf{2{,}115 \text{ kg}}\ ^1).$$

Оба давленія довольно близко подходятъ къ полученнымъ по разсчету и отличаются другъ отъ друга на величину

$$\frac{G}{O} = 2{,}115 - 1{,}845 = 0{,}27 \text{ kg}.$$

---

[1]) Если ввести коэфиціентъ 0,95.

5. Опредѣлить главнѣйшія величины для компаундъ-машины съ двумя кривошипами подъ угломъ въ 90°. Машина работаетъ съ охлажденіемъ пара и должна доставить полезную работу въ 150 лошад. силъ. Паръ вступаетъ въ цилиндръ высокаго давленія при абсолютномъ давленіи въ 8,4 атм.

Теоретическія индикаторныя діаграммы на фиг. 2, табл. 29 построены по способу, который былъ подробно изложенъ на стр. 56, причемъ обращено особое вниманіе на то, чтобы работы обоихъ цилиндровъ были по возможности одинаковы. Изъ діаграммы малаго цилиндра по извѣстному способу опредѣляемъ среднюю ординату

$$\frac{1}{10}(51{,}5 + 65 + 35{,}5 + 21{,}5 + 14 + 9{,}5 + 5{,}5 + 4 + 2 + 0{,}5) = 20{,}9 \text{ mm},$$

или такъ какъ 10 mm = 1 kg, то среднее индикаторное давленіе будетъ

$$\frac{20{,}9}{10} = 2{,}09 \text{ kg}.$$

Это давленіе отнесено къ полезной площади большого поршня и къ ходу s. Для того, чтобы его отнести къ ходу S, предыдущую величину слѣдуетъ помножить на обратное отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{V}{v} = 2{,}727$, послѣ чего и получимъ

$$2{,}09\,\frac{1}{2{,}727} = \sim 0{,}766.$$

Изъ діаграммы большого цилиндра такимъ же образомъ получимъ среднюю ординату

$$\frac{1}{10}(12{,}75 + 14{,}25 + 12{,}75 + 8{,}5 + 6{,}5 + 5{,}5 + 4 + 3 + 2{,}75 + 2{,}5) = 7{,}25$$

а среднее индикаторное давленіе будетъ

$$0{,}725 \text{ kg}.$$

Такимъ образомъ оба давленія въ маломъ и большомъ цилиндрѣ отличаются только на величину

$$0{,}766 - 0{,}725 = 0{,}041 \text{ kg}.$$

Это показываетъ, что согласно діаграммамъ, работа машины распредѣляется довольно равномѣрно на оба цилиндра.

Такимъ образомъ нужное для разсчета среднее индикаторное давленіе будетъ

$$0{,}766 + 0{,}725 = 1{,}491 \text{ kg}.$$

Эту величину слѣдуетъ помножить на нѣкоторый коэфиціентъ, равный въ среднемъ равенъ 0,9, какъ уже было замѣчено на стр. 80, въ виду возможныхъ потерь въ работѣ построенной по теоретической діаграммѣ машины.

Такъ что окончательно

$$p_i = 1{,}491 \,.\, 0{,}9 = \sim \mathbf{1{,}342 \text{ kg}}.$$

Для опредѣленія p_i вычисленіемъ, слѣдуетъ прежде всего опредѣлить коэфиціентъ наполненія машины, отнесенный къ объему большого цилиндра. По даннымъ на стр. 81:

$$e = \frac{0{,}45}{p} \text{ до } \frac{0{,}53}{p} = \frac{0{,}45}{8{,}4} \text{ до } \frac{0{,}53}{8{,}4} = \frac{1}{1{,}87} \text{ до } \frac{1}{16}$$

между тѣмъ какъ на стр. 56 при построеніи діаграммъ, наполненіе малаго цилиндра принято было равнымъ $\frac{1}{6}$, слѣдовательно

$$e = \frac{1}{6}\,\frac{v}{V} = \frac{1}{6 \,.\, 2{,}727} = \frac{1}{16{,}362} = \sim \mathbf{0{,}06}.$$

Эта величина довольно близко подходитъ къ полученному изъ діаграммы значенію, такъ что мы его и примемъ для дальнѣйшаго разсчета.

Вредное пространство малаго цилиндра по данным на стр. 56 принято $m = 0{,}03s$, слѣдовательно

$$\frac{M}{S} = 0{,}03\,\frac{1}{2{,}727} = \mathbf{0{,}011}.$$

По опредѣленнымъ величинамъ можно найти изъ табл. III на стр. 81 соотвѣтствующую величину

$$k = 0{,}23.$$

Такъ какъ линія сжатія на діаграммѣ большого цилиндра не составляетъ продолженія линіи сжатія малаго цилиндра, то коэфиціентъ k' можно принять только по соображенію. При $k' = 1{,}5$ и $p_e = 0{,}2$ изъ уравненія 52 имѣемъ

$$p_i = 0{,}23 \,.\, 8{,}4 - 1{,}5 \,.\, 0{,}2 = 1{,}632 \text{ kg}.$$

Помноживъ эту величину на коэфиціентъ 0,85 (см. стр. 80) (этотъ коэфиціентъ здѣсь выбранъ меньше, чѣмъ при опрэдѣленіи p_i изъ діаграммы, такъ какъ при разсчетѣ сдѣлано большее число упущеній) получимъ величину

$$p_i = 0{,}85 \,.\, 1{,}632 = \mathbf{1{,}3872 \text{ kg}},$$

которая на 0,045 kg больше, чѣмъ опредѣленное раньше значеніе.

Среднюю скорость поршня и коэфиціентъ полезнаго дѣйствія слѣдуетъ выбрать. Мы положимъ

$$c_m = \mathbf{2{,}4 \text{ m}}$$

и по уравненію 57

$$\eta = 0{,}725 + \frac{150}{1500 \,.\, 2{,}4} = \sim \mathbf{0{,}765}.$$

Изъ уравненія 51 можно опредѣлить теперь полезную площадь поршня

$$O = 75\,\frac{150}{0{,}765 \cdot 1{,}342 \cdot 2{,}4} = \sim \mathbf{4566 \text{ cm}^2},$$

Діаметръ большого цилиндра D опредѣляется изъ уравненія 61

$$D^2\,\frac{\pi}{4} = 1{,}02.0 = \sim 4657 \text{ cm}^2,$$

откуда

$$D = \mathbf{77 \text{ cm} = 770 \text{ mm}}.$$

Принявъ по даннымъ на стр. 82

$$\frac{100\,S}{D} = 1{,}15,$$

мы получимъ ходъ поршня

$$S = 1{,}15 \cdot 0{,}77 = 0{,}885 \text{ m}.$$

Если положить

$$\mathbf{S = 0{,}9 \text{ m}},$$

то машина должна будетъ дѣлать

$$n = \frac{30\,c_m}{S} = \frac{30 \cdot 2{,}4}{0{,}9} = \mathbf{80 \text{ оборотовъ}}$$

въ минуту.

Полезная площадь малаго поршня будетъ

$$o = \frac{4566}{2{,}727} = \sim \mathbf{1670 \text{ cm}^2},$$

а такъ какъ

$$D_m^{\,2}\,\frac{\pi}{4} = 1{,}03 \cdot 1670 = 1720 \text{ cm}^2,$$

то діаметръ его $D_m = 46{,}8$ cm, или лучше

$$D_m = \mathbf{47 \text{ cm} = 470 \text{ mm}}.$$

Если принять наибольшее наполненіе малаго цилиндра равнымъ 0,3 и опредѣлить для наибольшей работы машины степень наполненія

$$e = \frac{0{,}3}{2{,}727} = \sim 0{,}11,$$

то при $\frac{M}{S} = 0{,}011$ найдемъ изъ табл. III на стр. 81 интерполированіемъ

$$k = \sim 0{,}34.$$

А изъ уравненія 52 при $k' = 1{,}5$ получимъ

$$p_i = 0{,}34 \cdot 8{,}4 = 1{,}5 \cdot 0{,}2 = 2{,}556 \text{ kg}$$

или окончательно

$$p_i = 0{,}85 \cdot 2{,}556 = \mathbf{2{,}173 \text{ kg}}.$$

Принимая во вниманіе, что при томъ же $\eta = 0{,}765$ и $p_i = 1{,}342$ $N_n = 150$, мы получимъ наибольшую работу машины

$$N_n = 150\,\frac{2{,}173}{1{,}342} = \sim 243 \text{ или } = \mathbf{250 \text{ лош. силъ}}.$$

Коэфиціентъ полезнаго дѣйствія η повѣряется по уравненію 54 при помощи величинъ

$$\eta = \frac{10}{60 + 77} = 0{,}073,$$

$$p_o + p_c = 0{,}025 + 0{,}05\,\sqrt{8{,}4 + \frac{6}{77}} = 0{,}25,$$

опредѣленныхъ изъ уравненія 55 и будетъ

$$\eta = \frac{1}{1 + 0{,}073}\left(1 - \frac{0{,}25}{1{,}342}\right) = \sim 0{,}76,$$

т. е. только на $^1/_2\%$ меньше, чѣмъ онъ былъ принятъ нами выше.

§ 24.

Разсчетъ вѣса маховика.

Достаточно точное опредѣленіе вѣса маховика, необходимаго при опредѣленной нагрузкѣ машины, возможно только при помощи діаграммы касательныхъ усилій. Построеніе этой діаграммы для одноцилиндровыхъ и многоцилиндровыхъ машинъ уже было объяснено въ предыдущемъ отдѣлѣ. Для построенія, кромѣ индикаторной діаграммы или діаграммы рабочихъ давленій, необходимо еще знать линію давленій силъ инерціи $q - q'$, слѣдовательно и вѣсъ штангъ G, для того, чтобы изъ уравненій 29 или 30 опредѣлить ординаты этой линіи $q—q'$. Вѣсъ G можно вычислить по опредѣленнымъ размѣрамъ отдѣльныхъ частей, однако, при проектированіи новой машины, онъ обыкновенно опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

По Радингеру [1])

для машинъ, работающихъ при высокихъ давленіяхъ

при ходѣ поршня $S \leqq 0{,}7$ m

$$\frac{G}{O} = \mathbf{0{,}28 \text{ kg}},$$

при ходѣ поршня $S \geqq 0{,}7$ m

$$\frac{G}{O} = \mathbf{0{,}4 \text{ kg}}\ [2]),$$

для машинъ, работающихъ при низкихъ давленіяхъ . . . **62**

при ходѣ поршня $S \leqq 0{,}9$ m

$$\frac{G}{O} = \mathbf{0{,}2 \text{ kg}},$$

при ходѣ поршня $S \geqq 0{,}9$ m

$$\frac{G}{O} = \mathbf{0{,}22 \text{ kg}}\ [3]),$$

гдѣ O есть полезная площадь поршня въ cm^2. При этомъ подъ машинами, работающими при низкихъ давленіяхъ, слѣдуетъ подразумѣвать ту половину компаундъ-машины, которая дѣйствуетъ расширеннымъ паромъ и во всѣхъ случаяхъ движущіяся взадъ и впередъ массы предполагаются безъ воздушныхъ насосовъ и другихъ побочныхъ частей.

---

[1]) Радингеръ. Быстроходныя паровыя машины.

[2]) Здѣсь въ подлинникѣ—ошибка: у Радингера при $S > 0{,}7$

$$\frac{G}{O} = 0{,}4\ S$$

[3]) Тоже ошибка: у Радингера при $S > 0{,}9^{\text{m}}$

$$\frac{G}{O} = 0{,}2\ S$$

Прим Ред.

По Грове (Grove)
для одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія пара
$$G = 20\ kg + 0{,}005\ D^3$$
для одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара
$$G = 25\ kg + 0{,}00625\ D^3 \quad \ldots\ 63$$

Послѣ построенія діаграммы касательныхъ усилій по § 13 слѣдуетъ разность площадей надъ и подъ основаніемъ діаграммы, представляющую работу, переданную на главный валъ машины, обратить въ площадь прямоугольника съ тѣмъ же основаніемъ. Высота этого прямоугольника есть среднее теоретическое сопротивленіе w на главномъ валу, опредѣленное изъ уравненія 33. Части площади діаграммы касательныхъ усилій, расположенныя надъ и подъ верхнимъ основаніемъ упомянутаго прямоугольника представляютъ въ выбранномъ нами масштабѣ силъ избытокъ или недостатокъ переданной на главный валъ движущей работы по сравненію съ работой постояннаго сопротивленія w. Опредѣливъ наибо́льшую изъ площадей f, расположенныхъ надъ и подъ верхнимъ основаніемъ прямоугольника, (причемъ, если число точекъ пересѣченія больше четырехъ, то f опредѣляется по указаніямъ стр. 37) и положивъ, что
a есть измѣреніе 1 mm^2 площади f,
O есть полезная площадь поршня,
δ есть коэфиціентъ неравномѣрности, который выбирается по нижеприведеннымъ даннымъ,
v есть средняя окружная скорость пальца кривошипа въ m въ секунду,
мы можемъ опредѣлить наименьшую потребную массу маховика M, отнесенную къ радіусу R кривошипа изъ уравненія 35, если пренебречь посторонними сопротивленіями, или же вычислить соотвѣтствующій вѣсъ маховика, вводя коэфиціенты полезнаго дѣйствія машины η, чѣмъ будутъ приняты во вниманіе и постороннія сопротивленія. Полагая ускореніе силы тяжести $g = \sim 10$ имѣемъ
$$G_s = gM_s = 10\eta a \frac{f \cdot O}{\delta v^2} \quad \ldots\ 64$$

Если желательно отнести этотъ вѣсъ G къ радіусу R′ маховика, то получимъ
$$G_s' = G_s \frac{R}{R'} = 10\eta a \frac{fO}{\delta v^2} \frac{R}{R'}$$
а такъ какъ скорость v′ на окружности радіуса R′ будетъ
$$v' = \frac{2\pi R' n}{60} = \frac{2\pi R n}{60} \frac{R'}{R} = v \frac{R'}{R},$$
то
$$G_s' = 10\eta a \frac{fO}{\delta v'^2} \quad \ldots\ 65$$

Обыкновенно принимаютъ, что 10% этого вѣса составляютъ ручки маховика, тогда вѣсъ обода долженъ быть только 0,9 вѣса G_s'. Коэфиціентъ неравномѣрности выбирается въ слѣдующихъ предѣлахъ:
для машинъ дѣйствующихъ на приводы въ мастерскихъ $\delta = \frac{1}{35}$ до $\frac{1}{50}$,
для машинъ писчебумажнаго производства и лѣсопилокъ $\delta = \frac{1}{40}$,
для машинъ мукомольныхъ мельницъ $\delta = \frac{1}{50}$,
для машинъ ткацкихъ фабрикъ $\delta = \frac{1}{60}$ до $\frac{1}{100}$,
причемъ первый предѣлъ относится къ машинамъ производящимъ болѣе низкіе, а второй—болѣе высокія нумера пряжи,
для динамомашинъ при ременной передачѣ
$$\delta = \frac{1}{150} \text{ и},$$
при непосредственномъ дѣйствіи паровой машины на динамомашину $\delta = \frac{1}{300}$ и меньше.

Внѣшній радіусъ маховика дѣлается отъ 3 до 5 радіусовъ кривошипа, причемъ однако окружная скорость не должна быть больше 30 m.

Ободъ маховика имѣетъ обыкновенно одно изъ двухъ сѣченій фиг. 92 или фиг. 93, смотря по тому, происходитъ ли передача энергіи ремнемъ или канатами. При передачѣ ремнемъ ширина обода должна быть такова, чтобы ремень могъ передать максимальную полезную работу N_n машины. При передачѣ канатами соотвѣтственно тому же условію должно быть разсчитано число бороздокъ для канатовъ. Пусть
u означаетъ скорость ремня или каната въ m въ секунду,
U—окружную силу въ kg, передаваемую маховикомъ и опредѣляемую изъ
$$U = \frac{75\ N_n}{u} \quad \ldots\ 66$$

k_z — допускаемое напряженіе на $1 mm^2$ ремня или каната.

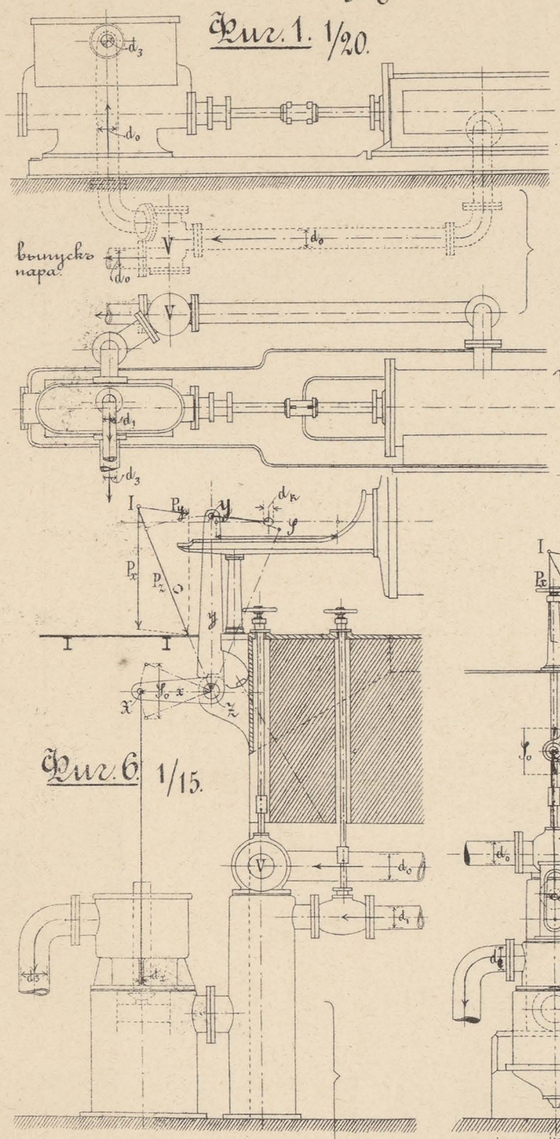
Тогда поперечное сѣченіе q ремня или всѣхъ канатовъ въ mm^2 опредѣлится изъ слѣдующаго равенства
$$q = \frac{2U}{k_z} \quad \ldots\ 67$$
если принять, какъ это обыкновенно дѣлаютъ, наибольшее напряженіе ремня или канатовъ равнымъ 2U. Здѣсь
$k_z = 0{,}22$ до $0{,}32$ при одиночномъ ремнѣ,
$k_z = 0{,}16$ до $0{,}23$ при двойномъ ремнѣ и
$k_z = 0{,}125$ до $0{,}165$ для пеньковыхъ канатовъ.

Изъ поперечнаго сѣченія ремня q получимъ ширину его, раздѣливъ q на толщину ремня, которая дѣлается
при одиночномъ ремнѣ отъ 4 до 8 mm,
при двойномъ — больше 8 mm.
Число канатовъ опредѣлится, если q раздѣлить на поперечное сѣченіе одного каната, діаметръ котораго дѣлается отъ 50 до 60 mm. Наконецъ, при ременной передачѣ ширину обода дѣлаютъ равною 1,1 ширины ремня + 15 до 25 mm. При передачѣ канатами число бороздокъ дѣлаютъ равнымъ числу канатовъ + 1 до 2.

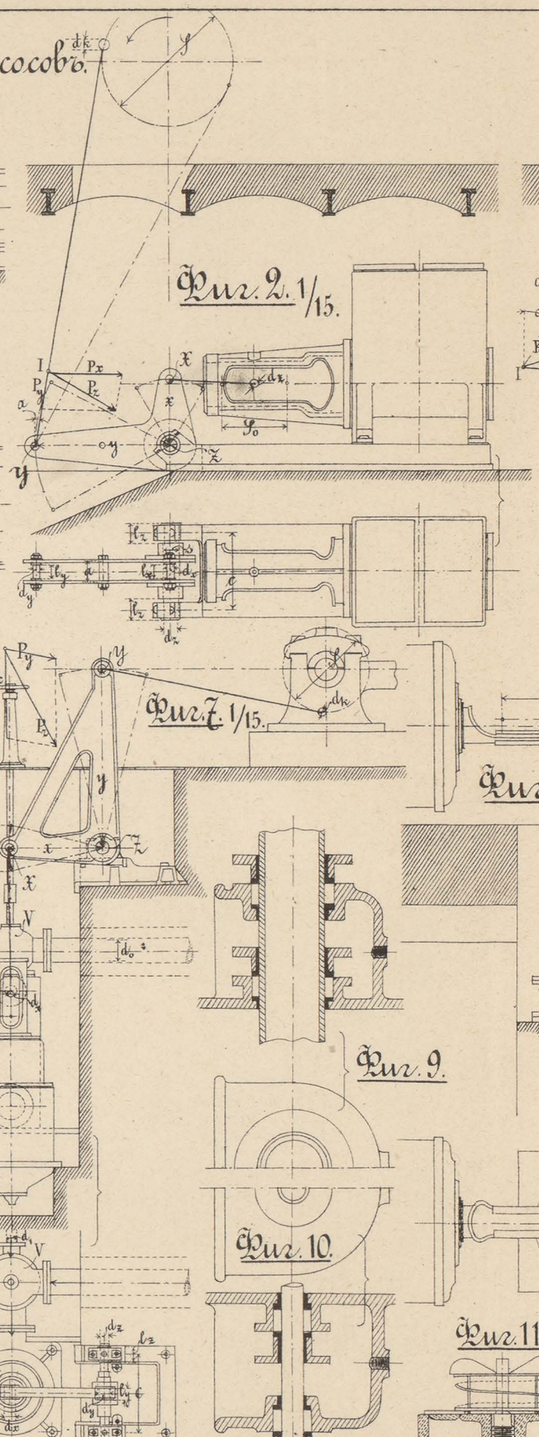
Помощью вычисленій вѣсъ маховика можно опредѣлить только приблизительно. При проектированіи машины съ полезною силою N_n и числомъ оборотовъ n въ минуту, для предварительнаго разсчета, вѣсъ маховика можно вычислить изъ
$$G' = 5000 \frac{Nn}{\delta v'^2 n} \gamma \left(1 + \frac{0{,}1}{e}\right) \quad \ldots\ 68$$
гдѣ для одноцилиндровой машины безъ охлажденія пара
при $c_m = 1$ m . . $\gamma = 1{,}3$ до $1{,}25$,
при $c_m = 2$ m . . . $\gamma = 1{,}15$ до $1{,}1$,
при $c_m = 3$ m . . . $\gamma = 0{,}95$ до $0{,}88$,

Установка и детали воздушных насосов.

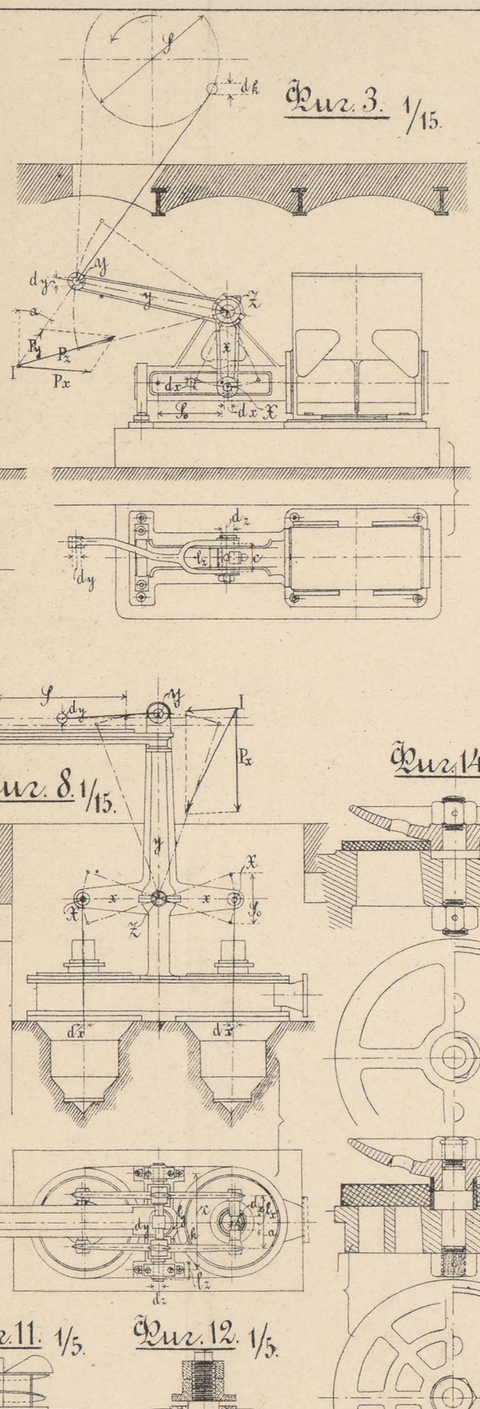
Фиг. 1. 1/20.



Фиг. 2. 1/15.

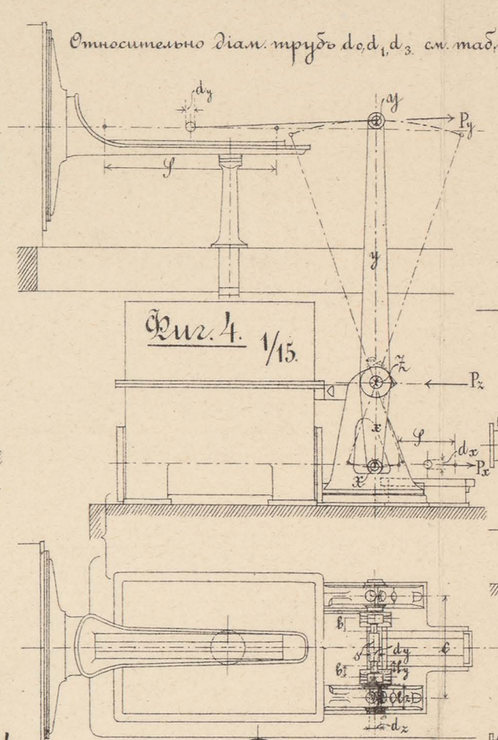


Фиг. 3. 1/15.



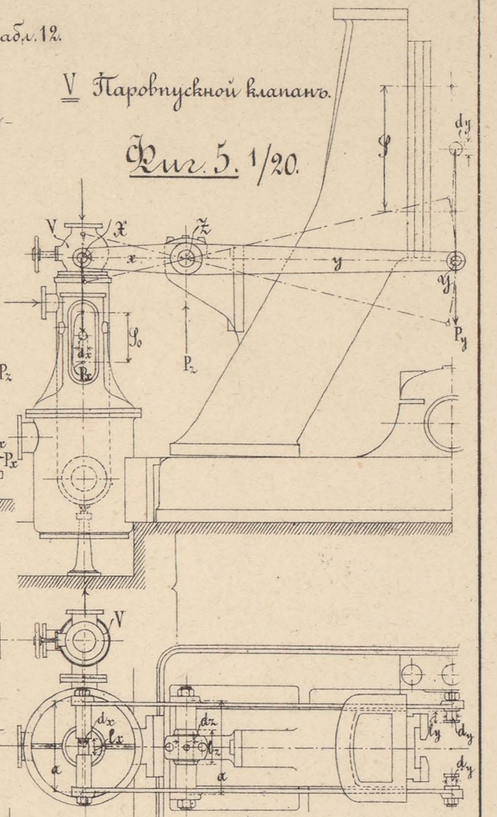
Относительно диам. трубъ d_0, d_1, d_3 см. табл. 12.

Фиг. 4. 1/15.



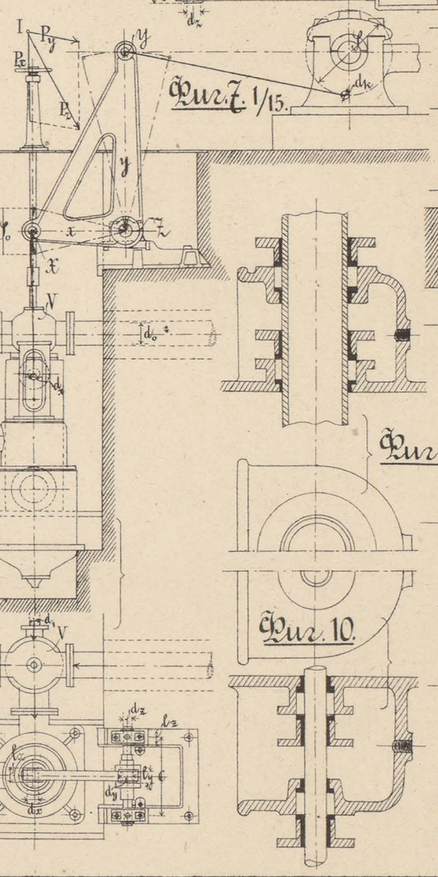
V Паровпускной клапанъ.

Фиг. 5. 1/20.

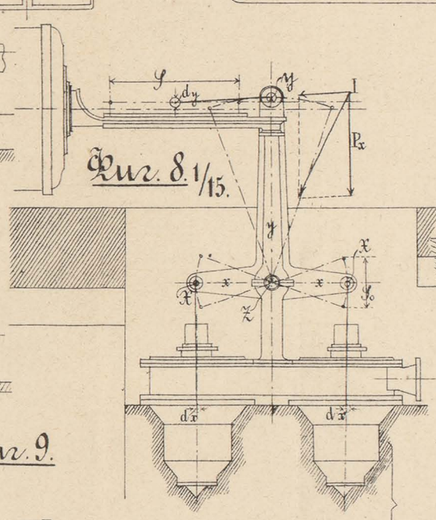


Фиг. 6. 1/15.

Фиг. 7. 1/15.



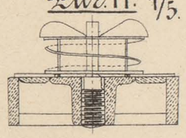
Фиг. 8. 1/15.



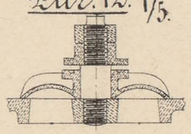
Фиг. 9.

Фиг. 10.

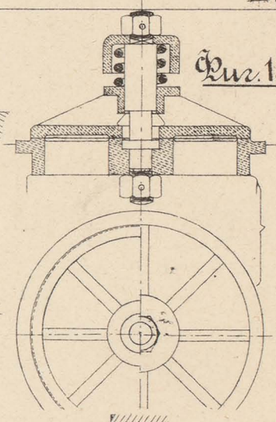
Фиг. 11. 1/5.



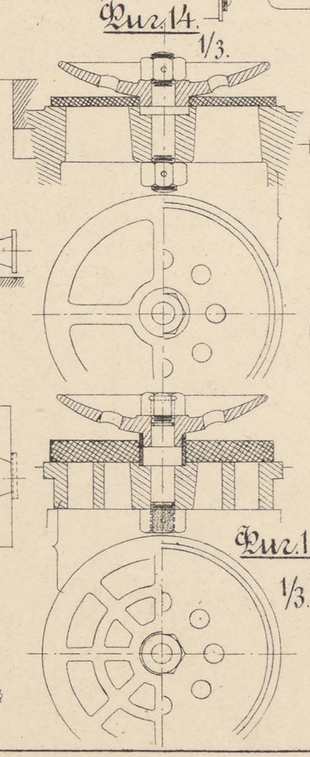
Фиг. 12. 1/5.



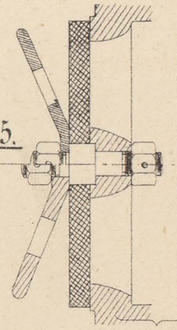
Фиг. 13. 1/3.



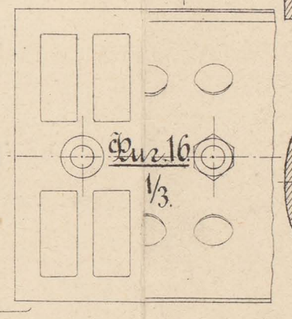
Фиг. 14. 1/3.



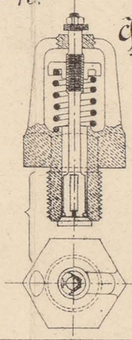
Фиг. 15. 1/3.



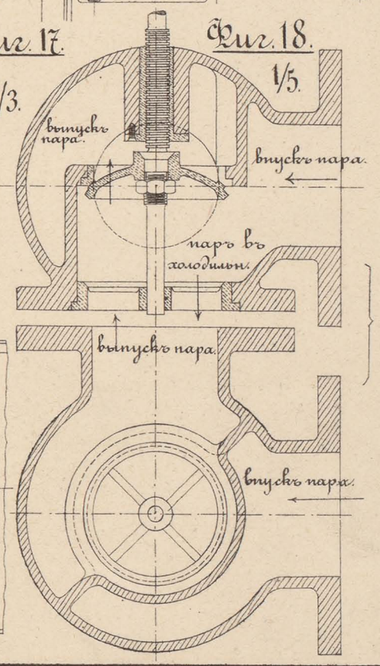
Фиг. 16. 1/3.



Фиг. 17. 1/3.



Фиг. 18. 1/5.



Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Парораспредѣленіе Геффнера (Höffner) D.R.P. 23642.

Фиг. 1. 1/3.

Наибольш. подъемъ клапана.

Высшее полож. при наибольш. напомненіи.

вправо.

влѣво.

наибольш. напомненіе.

к регулятору.

Разрѣзъ 1-1.

Фиг. 2. 1/3.

Разрѣзъ 2-2.

Фиг. 3. 1/3.

Фиг. 4. 1/15.

410 до середины цилиндра.

30% наполненіе.

Фиг. 5. 1/3

6% предварения выпуска.

6% сжатія.

22% сжатія.

Разрѣзъ 3-3.

Мертвое положеніе главнаго вала.

Фиг. 1. 1/3.

760 до середины цилиндра.

*) По чертежу саксонскаго машиностроит. зав., vorm. Rich. Hartman, Chemnitz.

Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

При этомъ предполагается такая средняя величина сжатія, при которой конечное давленіе сжатаго пара равно приблизительно половинѣ давленія при впускѣ ($p_3 = 0{,}5$ р). Для машинъ, въ которыхъ сжатіе незначительно, γ нужно брать на 5 до 10% меньше, для машинъ съ высокимъ сжатіемъ, γ слѣдуетъ увеличить на 5 до 10% (e есть степень наполненія). Бо́льшія значенія γ слѣдуетъ брать для большихъ наполненій, мѣньшія — для малыхъ наполненій. Наконецъ значенія γ приняты въ предположеніи, что машины работаютъ съ наполненіями и сжатіемъ, по обѣ стороны поршня приблизительно равными. Если этого въ дѣйствительности нѣтъ, то γ, смотря по величинѣ скорости поршня, слѣдуетъ увеличить на 10 до 30%.

Для сдвоенныхъ машинъ и машинъ-компаундъ съ кривошипами подъ угломъ 90°, для которыхъ e есть коэфиціентъ наполненія машины, отнесенный къ большому цилиндру, въ уравненіи 68 можно положить приблизительно для всѣхъ скоростей поршня

$\gamma = 03{,}3$ до $0{,}25$ для машинъ перваго рода и

$\gamma = 0{,}4$ до $0{,}6$ для машинъ второго рода.

Для тэндемъ-машинъ и для новѣйшихъ машинъ Вульфа γ будетъ такое-же, какъ и въ одноцилиндровыхъ машинахъ.

Примѣры.

1. Разсчитать вѣсъ маховика и опредѣлить поперечное сѣченіе обода его для разсмотрѣнной въ примѣрѣ 3 на стр. 84 паровой машины безъ охлажденія пара, дѣлающей въ минуту 90 оборотовъ и доставляющей нормально при наполненіи 0,25 работу въ 28,6 лошад. силъ, а наибольшую работу (при наполненіи 0,6) въ 54 лош. силъ. Машина служитъ для приведенія въ дѣйствіе динамо-машины при помощи ременной передачи.

Къ разсматриваемой машинѣ относятся діаграммы на табл. 26. Если принять для разсчета діаграмму на фиг. 2 для передняго хода поршня и діаграмму на фиг. 3 для обратнаго хода его, т. е. для различныхъ сторонъ поршня принять равныя предваренія впуска, но неравныя наполненія и сжатія, то на фиг. 4 получимъ діаграмму рабочихъ давленій.

> При одинаковомъ наполненіи и приблизительно равныхъ сжатіяхъ при ходѣ поршня впередъ и назадъ можно было-бы, какъ уже было замѣчено на стр. 29, принять діаграмму на фиг. 1 для обѣихъ сторонъ поршня при построеніи діаграммы рабочихъ давленій.

Площадь діаграммы на фиг. 4, табл. 26 будетъ

$$100 \cdot 44{,}8 = 4480 \text{ mm}^2,$$

такъ какъ средняя ордината ея была опредѣлена на стр. 85 и равнялась 44,8 mm. На діаграмму рабочихъ давленій нанесена линія давленія силъ инерціи, принимая во вниманіе конечную длину шатуна. Эта линія строится при помощи прямой линіи давленій силъ инерціи, проведенной черезъ точку A_5 въ предположеніи безконечной длины шатуна, по пріему, указанному на стр. 29 и 30. Если положить, по уравненію 62 вѣсъ штангъ

$$\frac{G}{O} = 0{,}28 \text{ kg}$$

и принять во вниманіе, что при радіусѣ кривошипа $R = 0{,}3$ m и числѣ оборотовъ разсматриваемой машины $n = 90$, скорость пальца кривошипа будетъ

$$v = \frac{\pi \cdot 0{,}3 \cdot 90}{30} = \sim 2{,}83 \text{ m},$$

то для обоихъ мертвыхъ положеній ($\cos\omega = \pm 1$) при безконечной длинѣ шатуна. Принимая $g = \sim 10$, получимъ изъ уравненія 29 давленіе силы инерціи

$$\pm \frac{v^2 G}{RgO} = \pm \frac{\overline{2{,}83}^2}{0{,}3} \frac{0{,}28}{10} = \sim 0{,}75 \text{ kg},$$

а такъ какъ 1 kg соотвѣтствуетъ 10 mm въ діаграммахъ на табл. 26, то ординаты проходящей черезъ A_5 линіи давленій силъ инерціи въ точкахъ A и A′ будутъ

$$10 \cdot 0{,}75 = 7{,}5 \text{ mm}.$$

Принимая отношеніе $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, мы имѣемъ согласно примѣчаніямъ къ уравненію 30 величину

$$z = \frac{R}{L} \frac{v^2}{R} \frac{C}{gO} = \frac{1}{5} \; 0{,}75 = 0{,}15 \text{ kg},$$

а въ выбранномъ масштабѣ

$$10 \cdot 0{,}15 = 1{,}5 \text{ mm}.$$

При помощи этой величины и соотвѣтствующихъ ординатъ проходящей черезъ A_5 прямой давленій силъ инерціи опредѣляются ординаты линіи $q - q'$. Напр. по сказанному на стр. 29 при

$\omega = 0°$ получится ордината $\overline{Aq} = 7{,}5 + 1{,}5 = 9$ mm,

$\omega = 180°$ » » $\overline{A'q'} = 7{,}5 - 1.5 = 6$ mm.

и т. д.

По діаграммѣ рабочихъ давленій и линіи давленій силы инерціи построена на табл. 26, фиг. 7, по объясненному въ предыдущей части способу, діаграмма касательныхъ усилій. Площадь діаграммы, т. е. разность площадей, расположенныхъ надъ и подъ основаніемъ ея, какъ уже было сказано на стр. 30, должна быть равна площади діаграммы рабочихъ давленій. Въ дѣйствительности это условіе и выполнено довольно точно, такъ какъ взятыя изъ фиг. 7 (положительныя или отрицательныя) ординаты даютъ среднюю ординату

$$\frac{1}{24}\Big(12{,}5 + 25 + 36 + 37{,}5 + 27{,}5 + 20 + 15{,}5 + 11{,}5 + 7{,}5 + 1{,}5 - 2 + 0 + 8{,}5 + 18 + 27{,}5 + 30{,}5 + 22{,}5 + 16{,}5 + 12{,}5 + 10 + 8 + 1 - 5 + 0\Big) = 14{,}23 \text{ mm}.$$

Слѣдовательно, если основаніе діаграммы будетъ $100\pi = 314$ mm, то площадь ея будетъ

$$F = 14{,}23 \cdot 314 = \sim 4468 \text{ mm}.$$

Эта средняя ордината, не принимая во вниманіе посторонних сопротивленій въ машинѣ, есть величина постояннаго сопротивленія на главномъ валу, которое мы ранѣе уже обозначили черезъ w и въ выбранномъ масштабѣ силъ будетъ

$$w = \frac{14{,}23}{10} = \mathbf{1{,}423 \text{ kg}}.$$

На фиг. 7 это сопротивленіе принято равнымъ 1,4 kg. Приведенная на разстояніи 14,23 mm отъ основанія діаграммы горизонталь пересѣкаетъ діаграмму касательныхъ усилій, причемъ наибольшая изъ отсѣкаемыхъ ею площадей f принята для разсчета вѣса маховика. Изъ діаграммы опредѣляемъ $f_1 = 985$ mm², $f_2 = 785$ mm², $f_3 = 540$ mm² и $f_4 = 740$ mm², такъ что наибольшая площадь

$$f = f_1 = \mathbf{985 \text{ mm}^2}.$$

Политех. и румынская библиотека

Для повѣрки, при опредѣленіи площадей f_1 до f_4, можетъ служить то обстоятельство, что сумма площадей, расположенныхъ надъ упомянутою горизонталью, должна быть равна суммѣ площадей, расположенныхъ подъ нею, т. е.

$f_1+f_3=f_2+f_4$ или $985+540=785+740=1525$ mm².

Чтобы теперь опредѣлить вѣсъ маховика G_s изъ уравненія 65, необходимо знать еще слѣдующія величины.

Величина a работы въ mkg, соотвѣтствующая 1mm² площади діаграммы касательныхъ усилій, опредѣляется слѣдующимъ образомъ. Основаніе діаграммы равно развернутой длинѣ окружности, описываемой пальцемъ кривошипа. Такъ какъ основаніе діаграммы принято 100π mm, длина же упомянутой окружности равна $0{,}6\pi$ m, то 1 mm соотвѣтствуетъ $\frac{0{,}6\pi}{100\pi} = 0{,}006$ m.

Масштабъ силъ, какъ уже было сказано, принятъ 10 mm = 1 kg, слѣдовательно 1 mm соотвѣтствуетъ $\frac{1}{10} = 0{,}1$ kg. Поэтому

$$a = 1\text{mm}^2 = 0{,}006 \cdot 0{,}1 = \mathbf{0{,}0006\ m\ kg}.$$

Коэфиціентъ неравномѣрности, по даннымъ на стр. 88, въ данномъ случаѣ можно принять

$$\delta = \frac{1}{\mathbf{150}}.$$

Окружная скорость v′ центра тяжести поперечнаго сѣченія обода маховика, расположеннаго въ разстояніи R′ отъ оси вращенія, если принять $R' = 1{,}35$ m, будетъ

$$v' = \frac{2\pi R'n}{60} = \frac{2{,}7\pi \cdot 90}{60} = \mathbf{12{,}72\ m}.$$

Полезная площадь поршня O будетъ

$$O = 0{,}97 \cdot \overline{30}^2 \frac{\pi}{4} = \sim \mathbf{685\ cm^2},$$

а коэфиціентъ полезнаго дѣйствія

$$\eta = \mathbf{0{,}82}.$$

Теперь изъ уравненія 65 можно опредѣлить вѣсъ маховика G'_s, отнесенный къ центру тяжести поперечнаго сѣченія обода маховика

$$G'_s = 10 \cdot 0{,}82 \cdot 0{,}0006 \frac{985 \cdot 685 \cdot 150}{12{,}72^2} = \sim \mathbf{3080\ kg}.$$

Не строя діаграммы касательныхъ усилій для $N_n = 28{,}6$ лошад. силъ, $e = 0{,}25$, $\gamma = 1{,}25$, при средней скорости поршня 1,8 m, и давленіи въ концѣ сжатія выше $p_3 = \frac{1}{2}$, для $\delta = \frac{1}{150}$ и $v' = 12{,}72$, можно опредѣлить вѣсъ G′ изъ уравненія 68

$$G'_s = 5000 \frac{28{,}6 \cdot 150}{12{,}72^2 \cdot 90} 1{,}25\,(1 + 0{,}4) = \sim 2580.$$

Этотъ вѣсъ однако годится только для приблизительно равныхъ наполненій и сжатій по ту и другую сторону поршня; при неравенствѣ же наполненій и сжатій при ходѣ поршня впередъ и при ходѣ его назадъ, какъ было принято при построеніи діаграммы на табл. 26, эту величину слѣдуетъ увеличить на 10 до 30%. Вычисленный раньше вѣсъ $G'_s = 3080$ kg получится, если только что полученную цифру увеличить на 19,4%, такъ какъ

$$1{,}194 \cdot 2580 = \sim 3080\ \text{kg}.$$

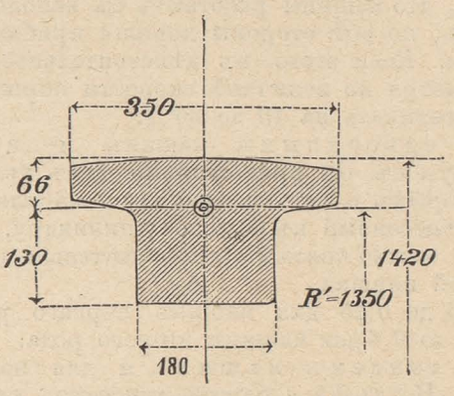
Если принять что $\frac{1}{10}$ этого вѣса доставляютъ ручки маховика, то вѣсъ самаго обода будетъ

$$0{,}9 \cdot 3080 = \mathbf{2772\ kg}.$$

Этотъ вѣсъ можно получить съ избыткомъ, если придать ободу поперечное сѣченіе, показанное на фиг. 63. Чтобы опредѣлить ширину обода, слѣдуетъ разсчитать ремень, нужный для передачи динамо-машинѣ наибольшей работы въ 54 лошад. силъ. На фиг. 63 внѣшній радіусъ маховика равенъ 1,42 m, а слѣдовательно скорость ремня

$$u = \frac{2 \cdot 1{,}42 \cdot \pi \cdot 90}{60} = \sim \mathbf{13{,}38\ m}.$$

Фиг. 63.



Этой скорости по уравненію 65 соотвѣтствуетъ сила на окружности

$$U = \frac{75 \cdot 54}{13{,}38} = \sim \mathbf{300\ kg}.$$

Если теперь принять, что наибольшее натяженіе въ ведущей вѣтви ремня будетъ

$$2U = 2 \cdot 300 = 600\ \text{kg}$$

и допустить нагрузку въ 0,3 kg на 1 mm² поперечнаго сѣченія ремня, то послѣднее опредѣлится изъ равенства 67 и будетъ

$$q = \frac{600}{0{,}3} = \mathbf{2000\ mm^2}$$

Этому сѣченію соотвѣтствуетъ ремень шириною **300 mm** и толщиною **7 mm**.

Ширину обода дѣлаютъ обыкновенно

$$1{,}1 \cdot 300 + 15 \text{ до } 25 = \sim \mathbf{350\ mm}.$$

Принимая остальныя размѣры обода произвольно какъ на фиг. 63, получимъ вѣсъ его

$(3{,}5 \cdot 0{,}66 + 1{,}8 \cdot 1{,}3)\,2 \cdot 1{,}35\,\pi \cdot 7{,}3 = \sim \mathbf{2885\ kg}$,

если удѣльный вѣсъ чугуна принять равнымъ 7,3. Такимъ образомъ при выбранныхъ нами размѣрахъ обода мы достигаемъ желательной равномѣрности хода машины.

2. Опредѣлить размѣры обода маховика машины-компаундъ съ ресиверомъ, разсчитанной на стр. 86 въ примѣрѣ 5, для нормальнаго дѣйствія въ 150 лош. силъ и наибольшаго — въ 250 лош. силъ, передаваемыхъ при помощи пеньковыхъ канатовъ приводамъ бумагопрядильни съ пряжею высокихъ номеровъ?

Теоретическія діаграммы этой машины построены на табл. 29. Средняя ордината, отнесенная къ полезной площади и ходу большого поршня обѣихъ индикаторныхъ діаграммъ, была опредѣлена на стр. 86, гдѣ она равнялась

$$10 \cdot 1{,}491 = 14{,}91\ \text{mm}.$$

Слѣдовательно площадь обѣихъ діаграммъ, одинаковыхъ какъ для передняго, такъ и для задняго хода, или равная имъ площадь діаграммы рабочихъ давленій съ основаніемъ, равнымъ 100 mm, будетъ

$$2 \cdot 14{,}91 \cdot 100 = 2982\ \text{mm}^2.$$

Для построенія діаграммъ горизонтальныхъ давленій были примѣнены слѣдующія величины давленій силъ инерціи.

Изъ 62 равенства $\frac{G}{O} = 0{,}4$. При помощи уравненія 29 при $\omega = 0°$ и $\omega = 280°$ и при

$$R = 0{,}45\text{ m},\ v = \frac{0{,}9\pi \cdot 80}{60} = 3{,}77\text{ m},\ \pm \frac{v^2 G}{R_g O} =$$

$$= \frac{\overline{3{,}77}^2 \cdot 0{,}4}{0{,}45\ 10} = \pm 1{,}26\text{ kg},$$

а также на основаніи замѣчаній подъ уравненіемъ 30 при $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$

для малаго цилиндра находимъ

$$Z = \frac{R}{L}\frac{v^2}{R}\frac{G}{gO} = \frac{1}{5}1{,}26 = 0{,}252\text{ kg}.$$

Отсюда, при масштабѣ 10 mm = 1 kg, опредѣлимъ ординаты

$\overline{Oq} = +(1{,}26 + 0{,}252)\ 10 = 15{,}12$ mm,

$\overline{12q'} = -(1{,}26 - 0{,}252)\ 10 = -10{,}08$ mm и т. д.

Для большого цилиндра, при $\frac{G}{O} = 0{,}2$, изъ равенства 62 для $\omega = 0°$ и 180°

$$\pm\frac{v^2}{R}\frac{G}{gO} = \pm\frac{\overline{3{,}77}^2 \cdot 0{,}2}{0{,}45\ .\ 10} = \pm 0{,}632\text{ kg}$$

и

$$Z = \frac{R}{L}\frac{v^2}{R}\frac{G}{gO} = \frac{1}{5} \cdot 0{,}632 = 0{,}126\text{ kg}.$$

Отсюда опредѣлимъ ординаты на фиг. 5, табл. 29

$\overline{AQ} = +(0{,}632 + 0{,}126)\ 10 = 7{,}58$ mm,

$\overline{A'Q'} = -(0{,}632 - 0{,}126)\ 10 = -5{,}06$ mm.

Діаграмма касательныхъ усилій на фиг. 6, табл. 29 построена по обѣимъ діаграммамъ горизонтальныхъ давленій по способу, объясненному въ предыдущей части и отнесена къ полезной площади поршня большого цилиндра и общему ходу S'. Основаніе этой діаграммы равно 100 π, а средняя ордината

$$\frac{1}{24}(3{,}5+12+18{,}5+21{,}5+13{,}5+7{,}5+4+6+8+9{,}5+$$
$$+8+5+6{,}5+10{,}5+15+18+14+7{,}5+4{,}5+4{,}5+7+$$
$$+9{,}5+8+4) = 9{,}4\text{ mm}.$$

Слѣдовательно среднее теоретическое сопротивленіе на главномъ валу будетъ

$$w = 0{,}94 \text{ или } \sim \mathbf{0{,}95\ kg},$$

а площадь діаграммы касательныхъ усилій будетъ

$$9{,}5 \cdot 100\ \pi = 2984{,}5\text{ mm}^2,$$

т. е. она будетъ равна площади вычисленныхъ выше обѣихъ индикаторныхъ діаграммъ или діаграммъ рабочихъ давленій для хода поршня впередъ и назадъ.

Линія средняго теоретическаго сопротивленія отсѣкаетъ отъ діаграммы касательныхъ усилій площади, расположенныя надъ нею

$$f_1 = 350,\ f_3 = 0{,}5,\ f_5 = 242 \text{ и } f_7 = 0\text{ mm}^2$$

и площади, расположенныя подъ нею

$$f_2 = 150,\ f_4 = 120,\ f_6 = 186{,}5 \text{ и } f_8 = 136\text{ mm}^2.$$

Сумма первыхъ площадей равна суммѣ вторыхъ площадей, равна именно 592,5 mm_2. Чтобы получить площадь f, необходимую для разсчета маховика, слѣдуетъ (см. стр. 38) найти наибольшія положительную и отрицательную сумму площадей отъ f_1 до f_8. Если f_1, f_3, f_5 и f_7 будутъ положительныя площади, а f_2, f_4, f_6 и f_8 — отрицательныя, то имѣемъ

$f_1 = +\mathbf{350}$, $f_1 - f_2 = +200$, $f_1 - f_2 + f_3 = +200{,}5$,
$f_1 - f_2 + f_3 - f_4 = +80{,}5$, $f_1 - f_2 + f_3 - f_4 + f_5 = +322{,}5$,
$f_1 - f_2 + f_3 - f_4 + f_5 - f_6 = +136$, $f_1 - f_2 + f_3 - f_4 +$
$+ f_5 - f_6 + f_7 = +136$, $f_1 - f_2 + f_3 - f_4 + f_5 - f_6 +$
$+ f_7 - f_8 = 0$,

такъ что согласно стр. 38

$$f' = f_1 = 350 \text{ и } f'' = 0,$$

$$\text{а } f = f' + f'' = \mathbf{350\ mm^2}.$$

Чтобы получить входящую въ уравненіе 65 величину a, надобно замѣтить, что ходъ поршня, который былъ вычисленъ на стр. 87, равенъ 0,9 m и что, слѣдовательно, длина окружности, описываемой пальцемъ кривошипа въ дѣйствительности равна 0,9 π, а не 100 π, какъ мы приняли при построеніи діаграммъ. Слѣдовательно 1 mm, по длинѣ, соотвѣтствуетъ

$$\frac{0{,}9\pi}{100\pi} = 0{,}009\text{ m},$$

а въ вышину 1 mm соотвѣтствуетъ

$$0{,}1\text{ kg}$$

$$\text{и } 1\text{ mm}^2 = a = 0{,}009 \cdot 0{,}1 = \mathbf{0{,}0009\ m\ kg}.$$

Полезная площадь большого поршня (см. стр. 87) будетъ

$$O = \mathbf{4566\ mm^2},$$

коэфиціентъ полезнаго дѣйствія (см. стр. 87) будетъ

$$\eta = \mathbf{0{,}76}.$$

Степень равномѣрности, по указаніямъ на стр. 88, въ данномъ случаѣ нужно принять

$$\delta = \frac{1}{\mathbf{100}}$$

Разстояніе центра тяжести поперечнаго сѣченія обода отъ оси вращенія можно принять $R' = 2$ m. Слѣдовательно скорость на окружности для этой точки при $n = 80$ оборотовъ въ минуту будетъ

$$v' = \frac{2R'\pi \cdot n}{60} = \frac{4\pi \cdot 80}{60} = \sim \mathbf{16{,}75\ m}.$$

Теперь изъ уравненія 65 получимъ вѣсъ маховика

$$G'_s = 10 \cdot 0{,}76 \cdot 0{,}0009\ \frac{350 \cdot 4566 \cdot 100}{\overline{16{,}75}^2} = \sim \mathbf{4000\ kg},$$

или, полагая $\frac{1}{10}$ этого вѣса на ручки маховика, вѣсъ обода будетъ

$$\mathbf{3600\ kg}.$$

Если желательно опредѣлить вѣсъ маховика безъ помощи діаграммъ, то кромѣ величинъ δ, n и v' въ уравненіе 68 слѣдуетъ еще ввести $N_n = 150$, степень наполненія $e = 0{,}06$, отнесенную къ большому цилиндру и $\gamma = 0{,}4$ до $0{,}6$. Принимая $\gamma = 0{,}45$ имѣемъ

$$G'_s = 5000\ \frac{150 \cdot 100}{\overline{16{,}75}^2 \cdot 80}\ 0{,}45\left(1 + \frac{0{,}1}{0{,}06}\right) = \sim \mathbf{4000\ kg}.$$

При опредѣленіи числа дорожекъ для канатовъ надо принимать во вниманіе наибольшую работу машины $N_n = 250$. Если на фиг. 64 текста радіусъ маховика до центра каната будетъ 2045 mm, и, слѣдовательно, скорость каната будетъ

$$\frac{2 \cdot 2{,}045 \cdot \pi \cdot 80}{60} = \sim 17{,}15\text{ mm},$$

то сила на окружности, которую нужно передать съ маховика, будетъ

$$U = \frac{75 \cdot 250}{17{,}15} = \sim \mathbf{1100\ kg}.$$

Если теперь принять, что наибольшее натяженіе каната будетъ $2 \cdot 1100 = 2200$ kg и допустить наибольшую нагрузку на 1 mm² поперечнаго сѣченія каната $k_z = 0{,}14$ kg, причемъ діаметръ канатовъ принимаемъ равнымъ 50 mm, то поперечное сѣченіе всѣхъ канатовъ будетъ

$$q = \frac{2 \cdot 1100}{0{,}14} = \sim 15700 \text{ mm}^2,$$

а число канатовъ будетъ

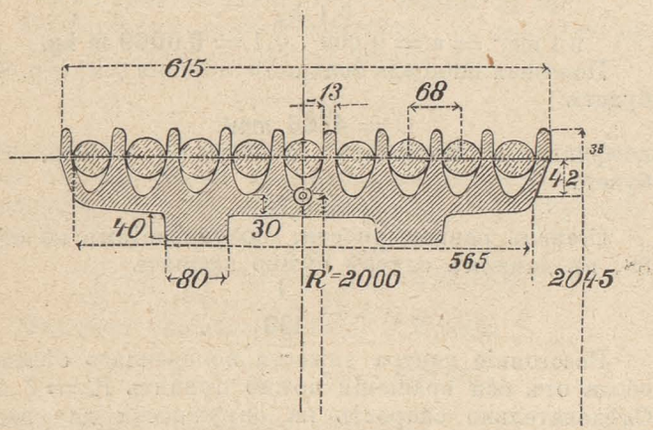
$$\frac{15700}{50^2 \frac{\pi}{4}} = \frac{15700}{1964} = \sim 8.$$

Допустивъ одну запасную дорожку, на ободѣ маховика получимъ девять дорожекъ.

При размѣрахъ обода, показанныхъ на фиг. 64, вѣсъ его приблизительно будетъ

$$\left\{5{,}65 \cdot 0{,}3 + 9\left(0{,}13 \cdot 0.38 + 0{,}42 \cdot 0{,}3\right) + 2 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}8\right\} 40\,\pi \,.\, 7{,}3 = \sim \mathbf{3600\ kg}.$$

Фиг. 64.



§ 25.

Опредѣленіе размѣровъ штоковъ, шатуновъ, цапфъ и валовъ.

Для разсчета поршневыхъ штоковъ, цапфъ крейцкопфовъ и кривошиповъ, главныхъ валовъ и т. д. существенное значеніе имѣетъ равнодѣйствующее горизонтальное давленіе. Это давленіе, отнесенное на 1 cm² полезной площади поршня, легко можно опредѣлить изъ соотвѣтствующей діаграммы равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій, построенной, какъ уже было объяснено, по діаграммамъ рабочихъ давленій и давленій силъ энерціи, причемъ, строго говоря, нужно принимать во вниманіе только ту часть давленія силъ энерціи, которая развивается въ частяхъ движенія, располагающихся между поршнемъ и разсчитываемою частью. Въ практикѣ обыкновенно, когда діаграммы давленій не строятся, равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, отчасти для простоты, отчасти для безопасности, полагается равнымъ наибольшему рабочему давленію пара на поршень. Если слѣдовательно,

P будетъ наибольшее полное давленіе на разчитываемую часть въ kg,

p_r будетъ наибольшее равнодѣйствующее горизонтальное давленіе, взятое изъ діаграммы, въ атм.,

p_u будетъ дѣйствующее на поршень наибольшее рабочее давленіе въ атм., какъ напр. разность между давленіемъ свѣжаго пара при впускѣ p и давленіемъ мятаго пара при выпускѣ p_e въ одноцилиндровой машинѣ,

O будетъ какъ и раньше полезная площадь поршня въ cm² и

D діаметръ цилиндра въ cm,

то обыкновенно берутъ

$$\left.\begin{aligned} P &= p_r O \ ^1) \\ \text{или} \quad P &= p_u O = \sim p_u D^2 \frac{\pi}{4} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots \quad \mathbf{69}$$

Если вводить въ разсчетъ собственный вѣсъ разсчитываемыхъ частей и другія на нихъ вліяющія силы, то получаются слишкомъ сложныя формулы. Поэтому въ дальнѣйшемъ эти величины приняты во вниманіе только въ нѣкоторыхъ случаяхъ.

1. Поршневой штокъ.

Поршневой штокъ, подъ вліяніемъ силы P, подвергается растяженію, сжатію и продольному изгибу во всѣхъ машинахъ, въ горизонтальныхъ-же машинахъ онъ подвергается еще изгибу вслѣдствіе собственнаго вѣса и вѣса поршня.

Въ малыхъ и среднихъ горизонтальныхъ а также и во всѣхъ вертикальныхъ машинахъ наиболѣе неблагопріятное вліяніе оказываетъ продольный изгибъ. Обозначивъ черезъ

$\triangle$ діаметръ штока въ **mm**,

L_0 длину его отъ середины поршня до середины крестовины въ **mm**,

E модуль упругости металла штока на 1 **mm²**,

α запасъ прочности,

мы имѣемъ для продольнаго изгиба

$$\alpha P = \pi^2 \frac{\frac{\pi}{64} \triangle^4 E}{L_0^2},$$

откуда, при $E = 20000$ и $L_0^2 = 1300\ S$, полагая **S** въ **m**, получимъ

$$\left.\begin{aligned} \triangle &= 3{,}6 \sqrt[4]{\alpha P S^2} \\ \text{причемъ } \alpha &= \mathbf{15\ до\ 20} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad \mathbf{70}$$

Таблица X.

Діаметръ штоковъ поршней $\triangle$ въ mm.

	Діам. цилиндра. D въ cm	Наибольшее рабочее давленіе p_u = 2	3	4	5	6	7	8	9
$\frac{100\,S}{D} = 1$	20	—	—	30	30	30	30	30	30
	30	—	30	30	32	34	35	36	38
	40	35	38	40	43	45	47	48	50
	50	43	48	52	54	56	60	60	62
	60	52	57	62	65	67	70	73	75
	70	60	67	72	75	78	82	85	87
	80	70	76	82	86	90	94	97	100
	90	77	86	92	97	102	105	110	112
	100	86	95	102	107	112	117	120	125
$\frac{100\,S}{D} = 2$	20	—	—	—	30	32	33	34	35
	30	36	40	42	45	47	48	50	52
	40	48	53	56	60	63	65	67	70
	50	60	66	70	75	78	82	84	87
	60	72	80	85	90	94	97	102	104
	70	83	93	100	105	110	113	118	122
	80	95	106	113	120	125	130	135	138
	90	107	120	127	135	140	146	152	156
	100	120	132	142	150	156	162	168	173

Значенія $\triangle$ меньше 30 mm увеличены до 30 mm.

[1]) Въ машинахъ—тэндемъ слѣдуетъ понятно принимать во вниманіе давленіе на оба поршня и относить его къ одной изъ двухъ площадей поршней.

Полагая $\alpha = 20$ мы изъ предыдущаго уравненія при помощи равенствъ 69, получимъ среднія величины при отношеніи хода поршня къ діаметру цилиндра

$$\left.\begin{aligned} \frac{100S}{D} &= 1 \;..\; \triangle = 0{,}72\,D\sqrt[4]{p_u} \\ \frac{100S}{D} &= 2 \;..\; \triangle = D\sqrt[4]{p_u} \end{aligned}\right\} \quad . \; 71$$

По этимъ формуламъ составлена табл. X. Въ практикѣ очень часто діаметръ штока опредѣляютъ по эмпирической формулѣ

$\triangle = \frac{1}{6}$ до $\frac{1}{7}$D, гдѣ D есть діаметръ цилиндра.

Въ большихъ горизонтальныхъ машинахъ съ тяжелыми поршнями діаметръ штока $\triangle$ по Баху [1]) слѣдуетъ брать такъ, чтобы прогибъ штока не былъ больше 1 до 1,5 mm. Обозначивъ черезъ L_0' длину сквознаго поршневого штока отъ середины передней до середины задней крестовины въ mm,

G_1 вѣсъ поршневого штока и

G_2 вѣсъ поршня въ kg,

найдемъ что прогибъ штока опредѣлится изъ теоріи сопротивленія матеріаловъ какъ прогибъ балки, опирающейся въ двухъ концахъ на опоры, разстояніе между которыми будутъ L_0', и нагруженной въ серединѣ вѣсомъ G_2, а по своей длинѣ — равномѣрно распредѣленнымъ грузомъ G_1, и будетъ

$$f = \frac{G_1}{E\frac{\pi}{64}\triangle^4}\,\frac{5L_0'^3}{384} + \frac{G_2}{E\frac{\pi}{64}\triangle^4}\,\frac{L_0'^3}{48},$$

а при $E = 20000$ и $L_0' = 2600$ S,

гдѣ S есть ходъ поршня въ m

$$f = \sim 366000\,\frac{S^3}{\triangle^4}\left(\frac{5}{8}G_1 + G_2\right) \quad . \; . \; 72$$

При разсчетѣ лучше всего выбрать $\triangle$, опредѣлить затѣмъ вѣсъ G_1 и затѣмъ провѣрить, получается ли при выбранномъ нами $\triangle$ величина f изъ предыдущаго уравненія меньше 1,5 mm. Понятно, что величина $\triangle$ должна также удовлетворить уравненію 70 и 71.

2. Цапфа и ползуны крестовины (крейцкопфа).

При разсчетѣ діаметра d и длины l въ mm цапфы крестовины исходною точкою служитъ то условіе, чтобы удѣльное давленіе между цапфою и вкладышами не достигало такой величины при которой смазочный матеріалъ уже не можетъ все время держаться между прикасающимися поверхностями.

Пусть p означаетъ допускаемое въ такомъ смыслѣ давленіе на 1 mm^2 проекціи цапфы. Тогда полное давленіе, проектирующееся на цапфу, будетъ

$$P = ldp = \frac{l}{d}d^2p$$

откуда

$$\left.\begin{aligned} d &= \sqrt{\frac{P\,d}{p\,l}} \\ &\text{гдѣ принимается } p = 0{,}7 \text{ до } 0{,}8 \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; . \; . \; 73$$

При $p = 0{,}7$ и при помощи соотношенія 69 имѣемъ

$$\left.\begin{aligned} &\text{для } \frac{l}{d} = 1{,}25 \;.\; d = \sim 0{,}9\;D\sqrt{p_u} \\ &\text{для } \frac{l}{d} = 2 \;..\; d = \sim 0{,}75\,D\sqrt{p_u} \end{aligned}\right\} \quad . \; . \; 74$$

[1]) См. Бахъ. Детали машинъ.

По этимъ формуламъ составлена слѣдующая таблица.

Таблица XI.

Величины діаметра цапфы d крестовины въ mm.

	Діам. цилиндра въ cm.	Наибольшее рабочее давленіе p_u = 2	3	4	5	6	7	8	9
Длина цапфы $l = 1{,}25d$.	20	—	—	36	40	44	48	51	54
	30	—	47	54	60	66	71	77	81
	40	51	62	72	80	88	95	102	108
	50	64	78	90	100	110	120	127	135
	60	76	94	108	120	132	142	153	162
	70	90	110	126	140	154	166	178	190
	80	100	125	144	160	176	190	203	215
	90	114	140	162	180	198	214	230	242
	100	127	156	180	200	220	237	255	270
Длина цапфы $l = 2d$.	20	—	—	30	34	37	40	42	45
	30	—	39	45	50	55	60	64	68
	40	42	52	60	67	73	80	85	90
	50	53	65	75	84	91	100	106	113
	60	63	78	90	100	110	120	127	135
	70	74	91	105	117	128	140	148	158
	80	84	104	120	133	147	158	170	180
	90	95	117	135	150	165	178	190	205
	100	105	130	150	167	182	198	210	225

Если допустить, что давленіе P на цапфу равномѣрно распредѣлено по всей длинѣ ея, то изъ теоріи сопротивленія матеріаловъ имѣемъ равенство

$$P\frac{l}{8} = 0{,}1\,d^3k_b,$$

гдѣ k_b есть допускаемое напряженіе матеріала цапфы на изгибъ. При $k_b = 5$ (литая сталь) изъ этого равенства имѣемъ

$$d = \sqrt{\frac{P}{0{,}8k_b}\frac{l}{d}} = 0{,}5\sqrt{P\frac{l}{d}}$$

Изъ уравненія 73 при $p = 0{,}7$ имѣемъ

$$d = 1{,}2\sqrt{P\frac{d}{l}}$$

Приравнивая оба значенія d другъ другу, увидимъ, что послѣднее равенство доставляетъ бо́льшія размѣры, пока

$$\frac{l}{d} < \frac{1{,}2}{0{,}5} < 2{,}4,$$

что всегда имѣетъ мѣсто.

Ползуны разсчитываютъ такъ, чтобы удѣльное давленіе на ихъ поверхность не превосходило 0,01 до 0,02 kg на mm^2. О причинахъ такого допущенія будетъ сказано при описаніи частей машины. Нормальное давленіе, которымъ прижимается крестовина къ направляющимъ, достигаетъ своей наибольшей величины приблизительно тогда, когда направленія шатуна и кривошипа составляютъ прямой уголъ. Принимая, что въ отношеніи радіуса кривошипа къ длинѣ шатуна $\frac{R}{L}$ обѣ величины въ одинаковыхъ мѣрахъ, мы для нормальнаго давленія получимъ

$$N = P\frac{R}{L}.$$

Пусть λ будетъ длина, β ширина ползуновъ въ mm (при четырехъ ползунахъ β есть ширина обѣихъ ползуновъ вмѣстѣ); тогда имѣемъ

$$N = 0{,}01 \text{ до } 0{,}02\;\lambda\beta = P\frac{R}{L},$$

а такъ какъ обыкновенно принимаютъ $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, то

$$\beta\lambda = 10 \text{ до } 20\ P. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 75$$

Принимая во вниманіе соотношенія 69, имѣемъ окончательно

$$\lambda\beta = \sim 8 \text{ до } 16\ D^2 p_u. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 76$$

3. Шатунъ.

Шатунъ подвергается дѣйствію весьма различныхъ силъ. Подъ давленіемъ P онъ подвергается поперемѣнно то растяженію, то продольному изгибу, собственный же вѣсъ и развивающаяся въ одной части шатуна центробѣжная сила стремятся его прогнуть и т. д. При этомъ давленіе P при наклонномъ положеніи шатуна еще увеличивается.

Не усложняя разсчета, всѣ эти обстоятельства принять во вниманіе невозможно. Поэтому разсчитываютъ шатунъ при наиболѣе неблагопріятныхъ условіяхъ, т. е. когда онъ подвергается продольному изгибу подъ давленіемъ P, а остальныя силы принимаютъ во вниманіе, вводя достаточной величины коэфиціентъ безопасности.

Обозначивъ черезъ

L длину шатуна отъ центра одного до центра другого вкладыша въ mm,

α коэфиціентъ безопасности,

E модуль упругости матеріала шатуна на 1 mm^2,

H діаметръ круглаго, или высоту, прямоугольнаго или I—образнаго поперечнаго сѣченія стержня шатуна, посерединѣ, въ mm,

B ширину сѣченія въ случаѣ прямоугольнаго или I—образнаго сѣченія шатуна,

H′ и B′ высоту и ширину шейки двутавроваго сѣченія (фиг. 12 до 17, табл. 18),

будемъ имѣть соотношеніе:

$$J = \frac{\alpha P L^2}{\pi^2 E},$$

гдѣ для круглаго сѣченія

$$J = \sim \frac{H^4}{20},$$

для прямоугольнаго сѣченія

$$J = \frac{B^3 H}{12} \text{ и}$$

для двутавроваго сѣченія

$$J = \frac{B^3 H - B'^3 H'}{12}.$$

Вводя эти значенія J и принимая E = 20000 и $\pi^2 = \sim 10$ получимъ

для круглаго сѣченія шатуна

$$H = 0{,}1 \sqrt[4]{\alpha P L^2} \text{ и}$$

для прямоугольнаго сѣченія

$$H = 0{,}15 \sqrt[4]{\alpha P L^2} \text{ при } B = 0{,}5\ H \quad . \quad . \quad . \quad 77$$

Коэфиціентъ безопасности α берутъ изъ слѣдующей таблицы:

Таблица XII.

Значенія α.

Діам. цилиндра D въ ст.	Число оборотовъ въ n маш. въ минуту.					
	50	80	100	150	200	300
20	—	15	15	15	20	40
30	15	15	15	20	40	50
40	15	15	20	40	50	60
50	15	20	30	50	60	—
60	15	20	40	60	—	—
70	15	25	50	—	—	—

Отношеніе радіуса кривошипа къ длинѣ шатуна $\frac{R}{L} = \frac{1}{4}$ до $\frac{1}{6}$, обыкновенно берутъ среднюю величину $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, такъ что L = 5 (1000 R) = 2500 S, гдѣ L въ mm, а R и S въ m;

при отношеніи же хода поршня (въ m) къ діаметру цилиндра (въ cm)

$$\frac{100\,S}{D} = x, \text{ откуда } S = \frac{x\,D}{100}, \quad L = 25\ x\ D$$

равенства 77, при помощи формулы 69, будутъ для круглаго сѣченія шатуна

$$H = 0{,}47\ D \sqrt[4]{\alpha\ x^2\ p_u}$$

для прямоугольнаго сѣченія

$$H = 0{,}7\ D \sqrt[4]{\alpha\ x^2\ p_u} \text{ при } B = 0{,}5\ H \quad . \quad . \quad . \quad 78$$

По этимъ формуламъ составлена слѣдующая таблица, причемъ принято $\alpha = 25$, какъ средняя величина, подходящая въ большинствѣ случаевъ.

Таблица XIII.

Размѣры H шатуновъ.

Верхнія числа относятся къ круглому сѣченію, нижнія—къ прямоугольному, причемъ ширина послѣдняго = 0,5 H.

	Діам. цилинд. D въ см.	Наиб. рабочее давленіе p_u =							
		2	3	4	5	6	7	8	9
Отношеніе $x = \frac{100\,S}{D} = 1$	20	—	—	30	32	33	34	36	37
		—	—	45	47	49	51	53	54
	30	—	42	45	47	50	51	53	55
		—	62	67	70	74	77	79	81
	40	50	55	60	63	66	68	71	73
		75	82	89	94	98	102	105	108
	50	63	69	75	79	82	86	89	91
		93	103	110	117	123	127	132	135
	60	75	83	89	94	99	103	106	109
		112	123	133	140	147	153	158	163
	70	88	97	104	110	115	119	124	127
		130	144	155	163	171	178	184	189
	80	100	110	119	125	131	137	142	145
		149	165	177	187	196	204	210	216
	90	113	124	134	141	148	154	159	164
		167	185	200	210	220	230	237	244
	100	125	138	150	157	164	170	172	182
		186	206	222	233	245	255	264	270
Отношеніе $x = \frac{100\,S}{D} = 2$	20	36	39	42	45	47	48	50	52
		53	57	63	66	69	72	75	77
	30	53	59	63	67	70	73	75	77
		79	88	94	99	104	108	112	115
	40	71	78	84	89	93	97	100	103
		105	116	125	132	138	144	149	153
	50	89	98	105	111	116	121	125	129
		132	145	156	165	173	180	186	192
	60	106	117	126	133	140	145	150	155
		158	175	187	199	208	216	224	230
	70	124	137	147	156	163	169	175	180
		184	203	218	231	242	252	261	268
	80	142	156	168	178	186	193	200	206
		210	233	250	265	276	288	296	307
	90	159	176	189	200	210	217	225	232
		237	262	281	297	311	324	335	345
	100	177	196	210	222	232	241	250	257
		264	290	312	330	346	360	372	383

4. Главный валъ съ однимъ кривошипомъ.

Фиг. 1 и 2, табл. 20.

Форма этихъ валовъ, примѣняющихся большею частью въ горизонтальныхъ одноцилиндровыхъ машинахъ и машинахъ-тэндемъ, представлена схематически на фиг. 2. Валъ имѣетъ двѣ цапфы, изъ которыхъ находящуюся вблизи кривошипа принято

называть переднею, другую заднею. Кривошипъ снабженъ также цапфою, носящею названіе цапфы или пальца кривошипа.

Для опредѣленія размѣровъ цапфъ служатъ слѣдующія три условія.

1. Упругость и прочность цапфы должны быть достаточны, чтобы она была предохранена отъ поломки и цапфа должна равномѣрно налегать на вкладышъ по всей его длинѣ.

2. Удѣльное давленіе между поверхностями прикасанія цапфы и вкладыша никогда не должно достигать такой величины, при которой смазочный матеріалъ уже не можетъ держаться между этими поверхностями.

3. Для того чтобы цапфа не грѣлась, она должна быть въ состояніи отвести ту теплоту, въ которую превращается бо́льшая часть работы тренія.

Если **d** есть діаметръ пальца кривошипа, а **l** длина его въ mm то для 1. условія имѣемъ равенство

$$P\frac{l}{2_1} = 0{,}1d^3k_b,$$

гдѣ k_b есть допускаемое напряженіе на изгибъ на mm^2. Изъ 2. условія имѣемъ, если p есть допускаемое на mm^2 проэкціи цапфы на плоскость, проходящую черезъ ея ось, соотношеніе

$$P = ldp.$$

Связывая оба равенства, получимъ наилучшее отношеніе, удовлетворяющее обоимъ первымъ условіямъ

$$\frac{l}{d} = \sqrt{\frac{0{,}2k_b}{p}},$$

принимая же $k_b = 5$ для литой стали, $p = 0{,}6$ въ среднемъ (наибольшее значеніе $p = 0{,}7$) имѣемъ

$$\frac{l}{d} = \sim 1{,}3 \ldots\ldots 79.$$

Представивъ второе изъ вышеприведенныхъ равенствъ въ видѣ

$$P = \frac{l}{d}d^2p$$

и присоединяя къ нему равенство 69 получимъ соотношеніе

$$D^2\frac{\pi}{4}p_u = \frac{l}{d}d^2p,$$

вмѣстѣ съ которымъ равенство 79 даетъ для

$$\left.\begin{array}{l} n < \dfrac{7000}{\sqrt{P}} \\ \text{или} \\ n < \dfrac{8000}{D\sqrt{p_u}} \end{array}\right\} \quad \left\{\begin{array}{l} d = \sim 1{,}15\sqrt{P} \text{ или } d = \sim D\sqrt{p_u} \\ \text{и} \\ l = 1{,}3d \end{array}\right\} \ldots 80.$$

Длина цапфы l должна удовлетворять 3. условію. Если коэфиціентъ тренія будетъ $\frac{1}{20}$, то работа тренія, развиваемая въ секунду удѣльнымъ давленіемъ p, будетъ

$$A = \frac{4}{\pi}\frac{1}{20}p\frac{d\pi n}{1000 \cdot 60} = \frac{4}{\pi}\frac{1}{20}\frac{P}{ld}\frac{d\pi n}{1000 \cdot 60} = \frac{Pn}{3000001} \text{ mm kg}.$$

Какъ выясняется изъ практики количество теплоты, отводимое при вращеніи пальца кривошипа, не можетъ быть больше нѣкоторой величины A_z, выраженной въ единиц. работы. Дабы работа A не превосходила этого предѣла, необходимо чтобы

$$l \geqq \frac{Pn}{300000\,A_z}.$$

Для разсматриваемыхъ цапфъ кривошиповъ въ среднемъ принимаютъ $A_z = 0{,}0155$, самое большое 0,018. Вводя первое значеніе A_z получимъ

$$l \geqq \frac{Pn}{4650}.$$

Уравненіе-же 80, напротивъ, доставляетъ

$$l = 1{,}3d = 1{,}3 \cdot 1{,}15\sqrt{P} = \sim 1{,}5\sqrt{P}.$$

Сравнивая оба выраженія для l, увидимъ, что первое даетъ большія длины цапфъ, чѣмъ второе, пока

$$\frac{Pn}{4650} > 1{,}5\sqrt{P},$$

или пока

$$n > \frac{7000}{\sqrt{P}}$$

иначе, пользуясь равенствомъ 69, пока

$$n > \frac{8000}{D\sqrt{pu}}.$$

Слѣдовательно, если число оборотовъ n меньше приведенныхъ значеній, размѣры пальцевъ кривошипа опредѣляются изъ равенствъ 80, но ихъ надо расчитывать по слѣдующимъ формуламъ, если

$$\left.\begin{array}{l} n > \dfrac{7000}{\sqrt{P}} \\ \text{или} \\ n > \dfrac{8000}{D\sqrt{pu}} \end{array}\right\} \quad \left\{\begin{array}{l} \text{то} \\ l \geqq \dfrac{Pn}{4650} \text{ или } l \geqq \dfrac{D^2p_u n}{6000} \quad \text{и} \\ d = \sqrt[3]{Pl} \text{ или } d = \sim 0{,}92\sqrt[3]{D^2p_u l} \end{array}\right\} \ldots 81.$$

Здѣсь величина d получается изъ равенства

$$P\frac{l}{2} = 0{,}1d^3k_b$$

при $k_b = 5$. Слѣдующая дальше таблица даетъ размѣры пальцевъ кривошиповъ, высчисленные изъ равенствъ 80.

Таблица XIV.

Діаметръ пальцевъ кривошипа d въ mm

при $n < \frac{8000}{D\sqrt{p_u}}$

	Діам. цилинд. D въ cm.	Наиб. рабочее давленіе p_u= 2	3	4	5	6	7	8	9
Длина цапфы l=1,3	20	—	—	40	45	50	53	57	60
	30	—	52	60	67	74	80	85	90
	40	57	69	80	90	98	106	113	120
	50	71	87	100	112	123	132	142	150
	60	85	104	120	134	147	159	170	180
	70	100	121	140	157	172	185	198	210
	80	113	139	160	179	196	211	226	240
	90	127	156	180	201	220	238	254	270
	100	142	173	200	224	245	265	283	300

При числѣ оборотовъ $n > \frac{8000}{D\sqrt{p_u}}$ размѣры пальцевъ слѣдуетъ вычислять по равенствамъ 81.

На переднюю цапфу главнаго вала, когда кривошипъ образуетъ съ шатуномъ прямой уголъ, дѣйствуетъ крутящій моментъ PR и изгибающій моментъ Pa въ kg/mm, если R есть радіусъ кривошипа въ mm и a есть горизонтальное разстояніе между серединою пальца кривошипа и серединою передняго подшипника (см. фиг. 26, табл. 20) въ mm.

Въ этомъ легко убѣдиться, если представить себѣ, что въ плоскости вращенія шатуна, въ точкѣ O (фиг 1a, табл. 20) приложена два раза въ противоположныхъ направленіяхъ сила P, дѣйствующая на палецъ кривошипа, что не вызоветъ никакого измѣненія въ состоя-

ніи равновѣсія силъ. Тогда сила P въ точкѣ A и сила P въ O составятъ (вращеніе по направленію часовой стрѣлки) моментъ P. OA = PR, между тѣмъ какъ другая сила P въ точкѣ O подвергаетъ цапфу изгибу и моментъ ея будетъ Pa.

Если d_1 будетъ діаметръ передней цапфы, а l_1 ея длина въ mm, то по теоріи сопротивленія матеріаловъ имѣемъ

$$0{,}1\, d_1^3 k_b = \frac{3}{8} Pa + \frac{5}{8}\sqrt{(Pa)^2 + (PR)^2};$$

или, при $k_b = 5$ для литой стали,

$$d_1^3 = \frac{1}{4}\left(3a + 5\sqrt{a^2 + R^2}\right),$$

а принимая $a = \alpha R$ имѣемъ

$$d_1 = \sim 0{,}63 \sqrt[3]{PR\,(3\alpha + 5\sqrt{1 + \alpha^2})}, \quad . \quad . \quad 82$$

гдѣ R конечно надо подставлять въ **mm**.

Обыкновенно, когда ходъ поршня равенъ двойному діаметру цилиндра, a почти равно R, а слѣдовательно $\alpha = 1$ и при этомъ имѣемъ

$$d_1 = \sim 1{,}35 \sqrt[3]{PR}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 83$$

въ связи же съ равенствомъ 69 и при

R (въ mm) = 10D (въ cm)

$$d_1 = \sim 2{,}7D \sqrt[3]{p_u} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 84$$

Для передней цапфы главнаго вала обыкновенно принимаютъ

$$l_1 = 1{,}7 \text{ до } 2{,}2\, d_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 85$$

Полученныя такимъ образомъ размѣры надо провѣрить на допускаемую величину удѣльнаго давленія p и на работу тренія. Для этого необходимо знать давленіе R_1 на переднюю цапфу вала. Это давленіе слагается изъ силы P, приложенной въ O (фиг. 1a, табл. 20), направленіе которой для дальнѣйшаго принято горизонтальнымъ, и изъ вѣса маховика, который здѣсь для простоты обозначимъ черезъ G. Вызываемая въ переднемъ подшипникѣ давленіемъ P реакція въ горизонтальной плоскости будетъ (фиг. 2b и 2c, табл. 20)

$$H_1 = P\frac{a + c}{c} = P\left(1 + \frac{a}{c}\right),$$

гдѣ c есть разстояніе отъ середины до середины подшипниковъ вала. Въ вертикальной плоскости вѣсъ G вызываетъ въ переднемъ подшипникѣ давленіе

$$V_1 = G\frac{b}{c},$$

гдѣ b есть разстояніе отъ середины маховика до середины задняго подшипника. Натяженіемъ ремня или канатовъ при разсчетѣ обыкновенно пренебрегаютъ. Складывая горизонтальную и вертикальную составляющія H_1 и V_1, получимъ равнодѣйствующую

$$R_1 = \sqrt{H_1^2 + V_1^2} = \sqrt{P^2\left(1 + \frac{a}{c}\right)^2 + G^2\left(\frac{b}{c}\right)^2} \quad . \quad . \quad 86$$

Принимая во вниманіе натяженіе ремня или канатовъ D, которое можно положить равнымъ тройной величинѣ силы U въ уравненіи 66, получимъ для передняго хода (фиг. 2b)

$$H_1 = \frac{P\,(a + c) + Db}{c},$$

для задняго хода (фиг. 2c)

$$H_1 = \frac{P\,(a + c) - Db}{c}$$

Соединяя, какъ и выше, эту горизонтальную составляющую съ вертикальною V_1, получимъ R_1 различное для двухъ мертвыхъ положеній.

Если **p** есть опять допускаемое удѣльное давленіе на mm^2, то разсчитанному на прочность діаметру d_1 должна соотвѣтствовать длина

$$l_1 = \frac{R_1}{d_1 p}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 87$$

или, полагая $p = 0{,}13$ kg (p можно увеличивать до 0,15 kg),

$$l_1 = 7{,}7\frac{R_1}{d_1} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 88$$

Принимая во вниманіе нагрѣваніе отъ тренія и называя теплоту, которую цапфа еще можетъ проводить не грѣясь, буквою A_z, получимъ подобно тому, какъ для пальца кривошипа,

$$l_1 \geqq \frac{R_1 n}{300000\, A_z}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 89$$

а такъ какъ для хорошихъ машинъ $A_z = 0{,}007$ до 0,0125 mm/kg, то, вводя въ это равенство среднюю величину $A_z = 0{,}008$, получимъ

$$l_1 \geqq \frac{R_1 n}{2400} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 90$$

На заднюю цапфу главнаго вала дѣйствуютъ реакціи (фиг. 2a и 2c, табл. 20)
въ горизонтальной плоскости

$$H_2 = P\frac{a}{c} \quad \text{и}$$

въ вертикальной плоскости

$$V_2 = G\frac{c - b}{c} = G\left(1 - \frac{b}{c}\right),$$

если не принимать во вниманіе натяженіе ремня или канатовъ.

Равнодѣйствующая этихъ реакцій будетъ

$$R_2 = \sqrt{H_2^2 + V_2^2} = \sqrt{P^2\left(\frac{a}{c}\right)^2 + G\left(1 - \frac{b}{c}\right)^2} \quad . \quad . \quad 91$$

Принимая во вниманіе натяженіе ремня или канатовъ D, для передняго хода будетъ (фиг. 2b)

$$H_2 = \frac{D\,(c - b) - Pa}{c},$$

а для задняго (фиг. 2c)

$$H_2 = \frac{D\,(c - b) + Pa}{c}$$

Соединяя эту составляющую съ вертикальною, получимъ равнодѣйствующую R_2 для каждаго изъ мертвыхъ положеній различную.

При діаметрѣ d_2 и длинѣ l_2 въ mm условіе прочности, для этой цапфы, будетъ

$$R_2\frac{l_2}{2} = 0{,}1\, d_2^3 k_b.$$

Относительно же допускаемаго на mm^2 плоскостей соприкасанія давленія p имѣемъ

$$R_2 = l_2\, d_2\, p,$$

а условіе, чтобы цапфа могла съ успѣхомъ проводить теплоту, развивающуюся отъ работы тренія, не грѣясь, доставитъ

$$l_2 = \frac{R_2 n}{300000\, A_z}.$$

При средней величинѣ

$$l_2 = 1{,}7 \text{ до } 2d_2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 92$$

и при $p = 0{,}15$ (литая незакаленная сталь, по бронзѣ) второе равенство даетъ

$$d_2 = \sim 2 \text{ до } 1{,}8\sqrt{R_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 93$$

Первое равенство при $k_b = 5$ (литая сталь) даетъ всегда меньшія величины. Изъ третьяго равенства при $A_z = 0{,}005$ имѣемъ длину цапфы

$$l_2 = \frac{R_2 n}{1500}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 94$$

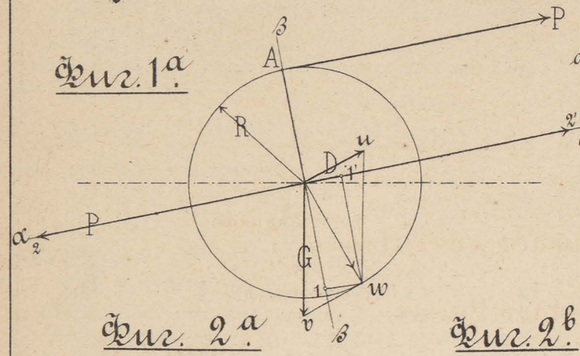
которая больше длины, разсчитанной изъ равенствъ 92 и 93, только въ томъ случаѣ, когда

$$\frac{R_2 n}{1500} > 1{,}7 \,.\, 2 \text{ до } 1{,}8 \,.\, 2\sqrt{R_2}$$

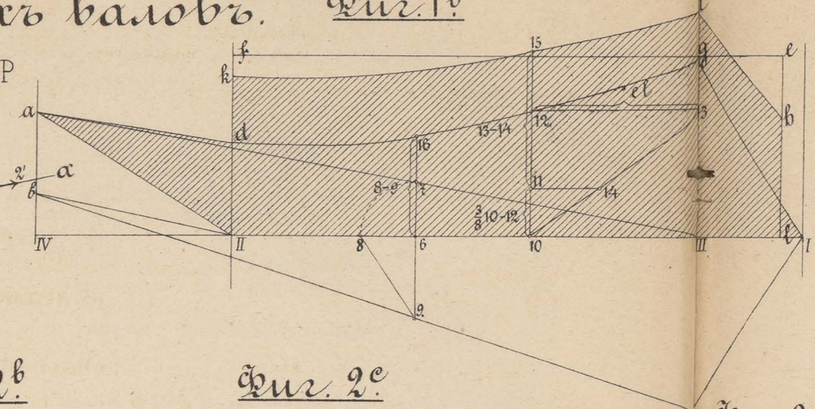
или, когда

Разсчетъ главныхъ валовъ.

Фиг. 1a.

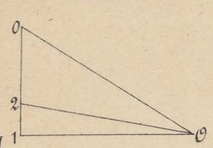


Фиг. 1b



Фиг. 1c

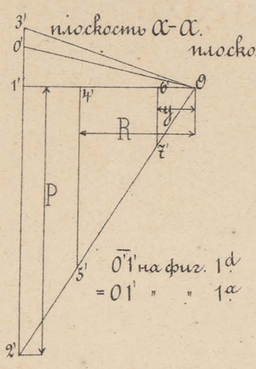
плоскость β-β.



01 на фиг. 1e = 01 " " 1a

Фиг. 1d

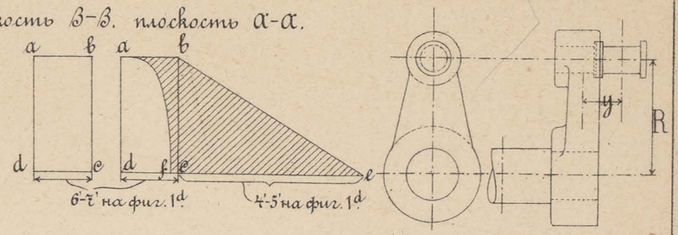
плоскость α-α.



0'1' на фиг. 1d = 01' " " 1a

Фиг. 1e

плоскость β-β. плоскость α-α.



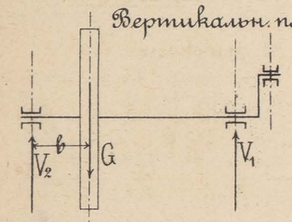
6-7' на фиг. 1d 4'-5' на фиг. 1d

Масштабъ силъ: 1 mm = 25 kg на фиг. 1 / 25 " " " 3 / 300 " " " 4

Масштабъ длины = 1:15 на фиг. 1 / 1:5 " " 3 / 1:22,5 " " 4

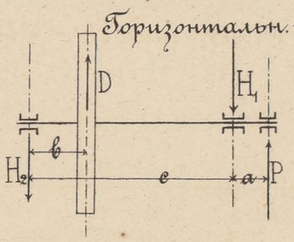
Фиг. 2a.

Вертикальн. плоск.



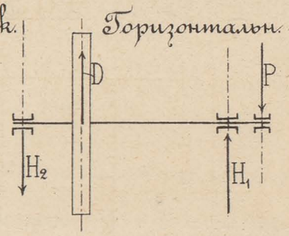
Фиг. 2b.

Горизонтальн. плоск.

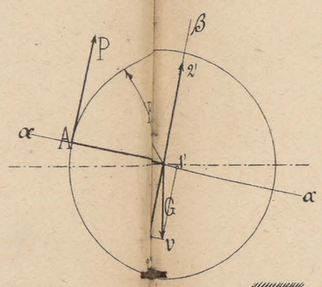


Фиг. 2c.

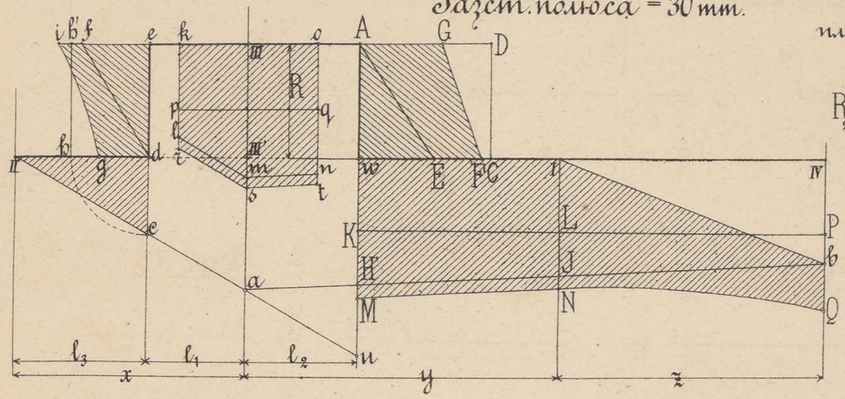
Горизонтальн. плоск.



Фиг. 3a.



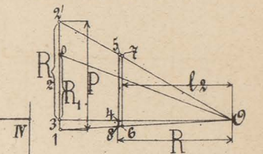
Фиг. 3b.



Разст. полюса = 30 mm.

Фиг. 3c.

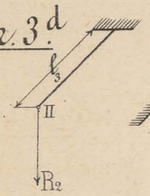
плоскость β-β.



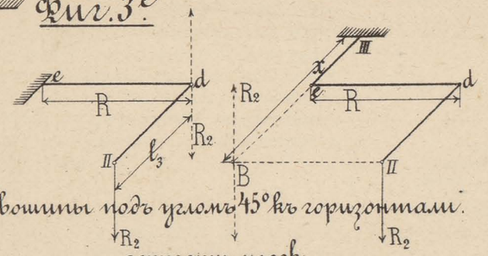
01 на фиг. 3c = 01 " " 3a

1'2' на фиг. 3c = 0 2' " " 3a

Фиг. 3d.

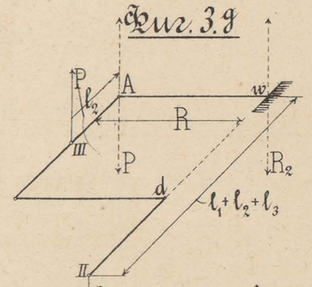


Фиг. 3e.

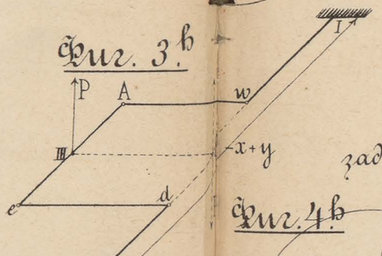


Фиг. 3f.

Фиг. 3g.



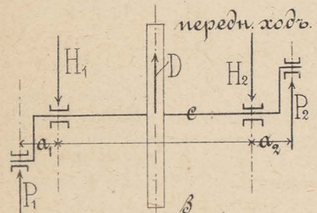
Фиг. 3h.



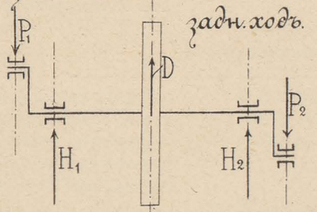
Кривошипы подъ угломъ 45° къ горизонтали.

горизонт. плоск.

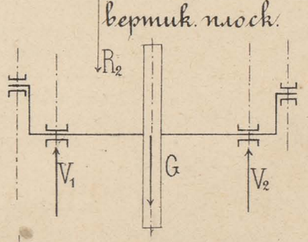
передн. ходъ.



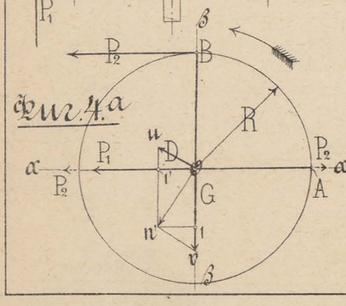
задн. ходъ.



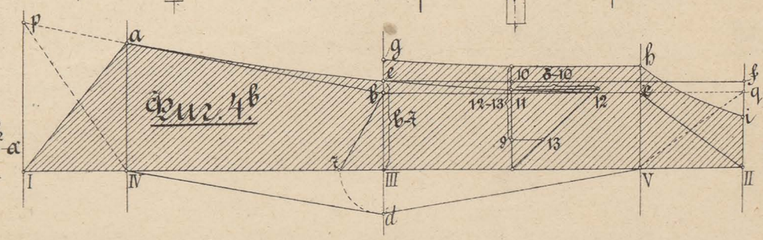
вертик. плоск.



Фиг. 4a.

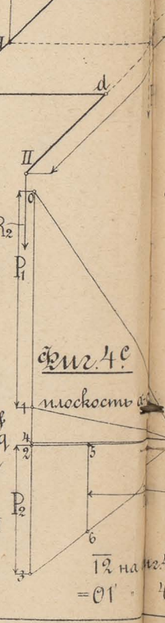


Фиг. 4b.



Фиг. 4c.

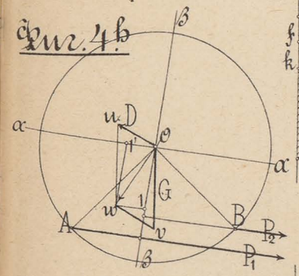
плоскость α-α.



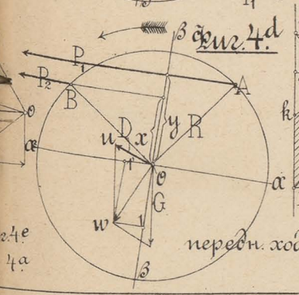
1'2' на фиг. 4e = 01' " " 4a

задн. ходъ.

Фиг. 4h.

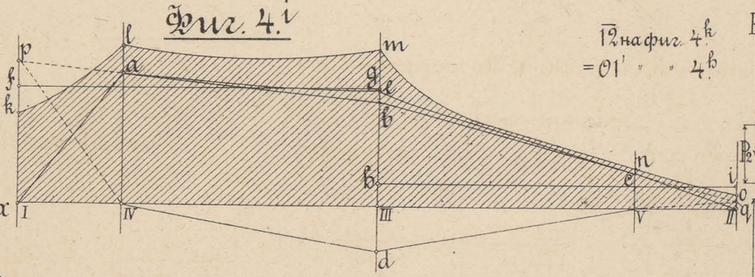


Фиг. 4d.



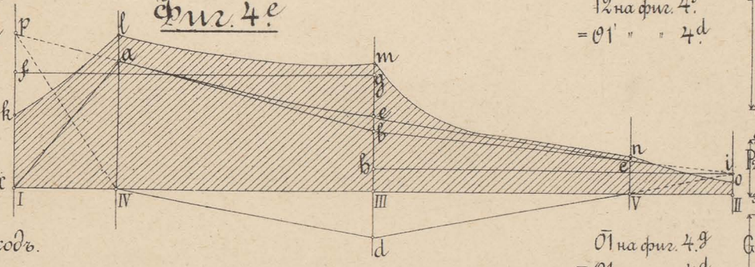
передн. ходъ.

Фиг. 4i.



1'2' на фиг. 4k = 01' " " 4b

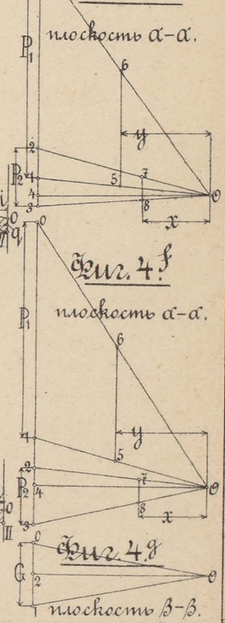
Фиг. 4e.



01 на фиг. 4g = 01 " " 4d

Фиг. 4k.

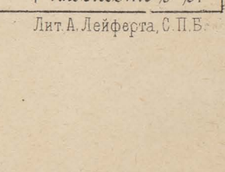
плоскость α-α.



Фиг. 4f.

плоскость α-α.

Фиг. 4g.

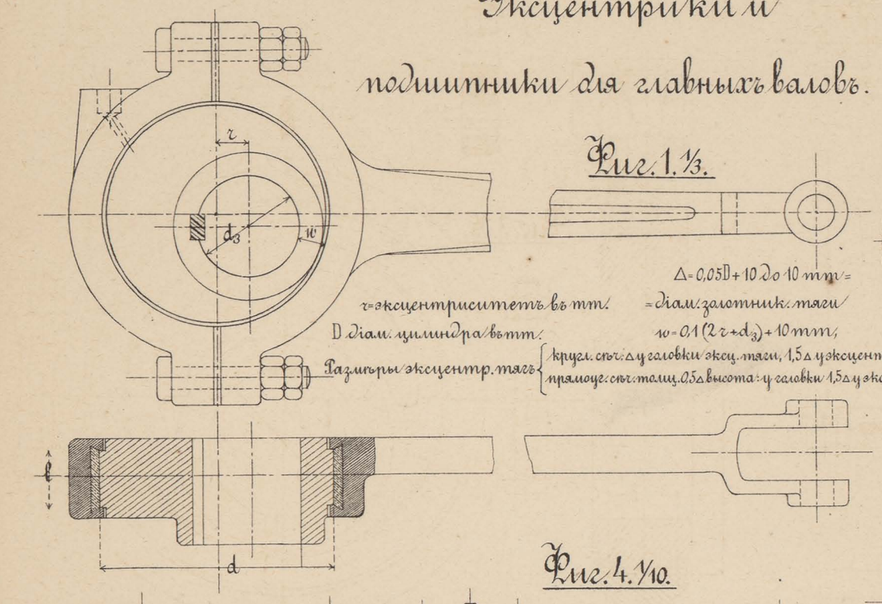


плоскость β-β.

Лит. А. Лейферта, С. П. Б.

Эксцентрики и подшипники для главных валов.

Фиг. 1. 1/3.



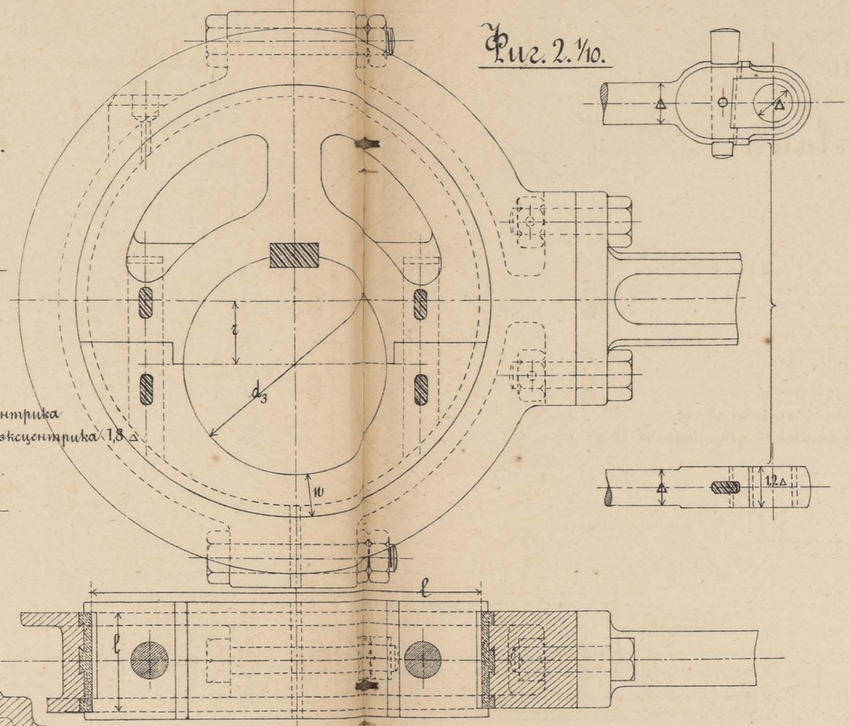
r=эксцентриситетъ въ mm. = діам. залотник. тяги

D діам. цилиндра въ mm. $w = 0{,}1(2r + d_3) + 10$ mm;

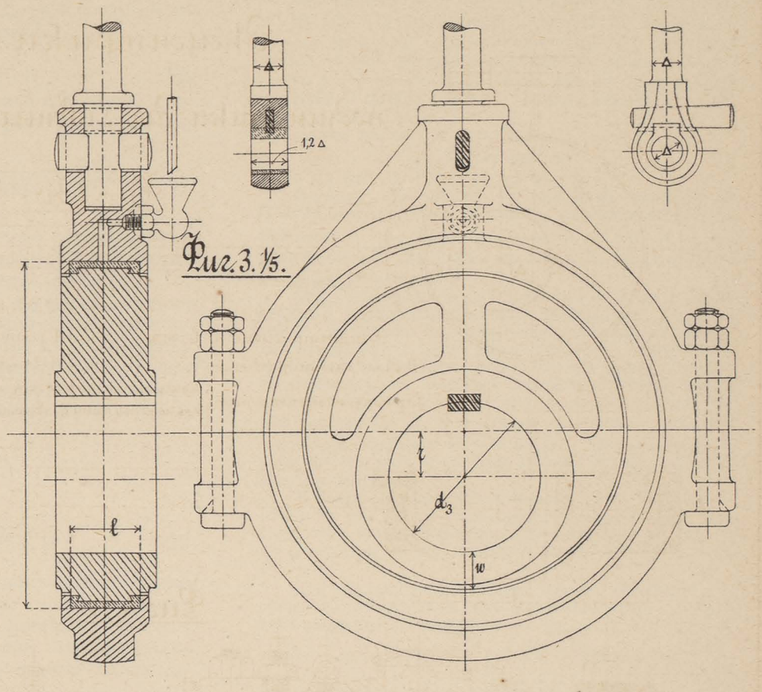
Размѣры эксцентр. тяги { кругл. сѣч. Δ у головки эксц. тяги, 1,5 Δ у эксцентрика
прямоуг. сѣч. толщ. 0,5 Δ высота: у головки 1,5 Δ у эксцентрика 1,8 Δ

$\Delta = 0{,}05D + 10$ до 10 mm

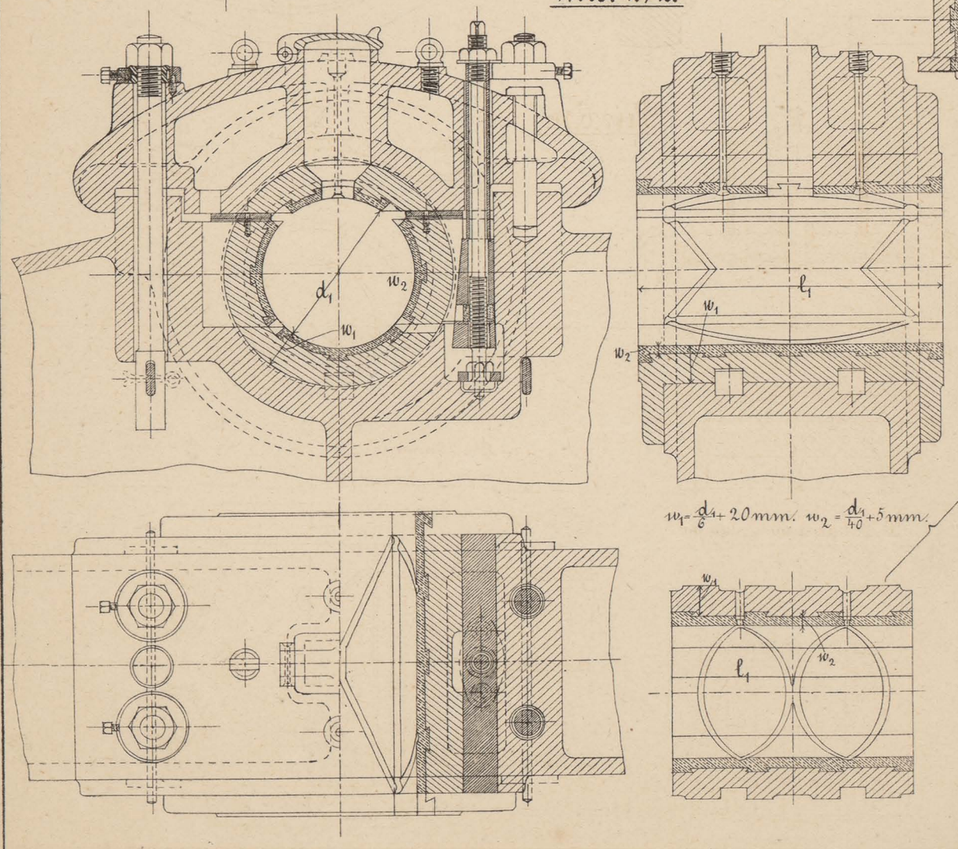
Фиг. 2. 1/10.



Фиг. 3. 1/5.

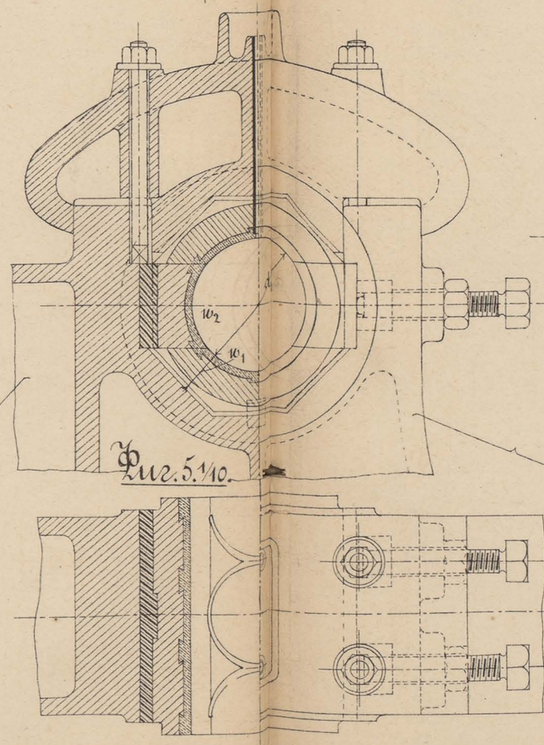


Фиг. 4. 1/10.

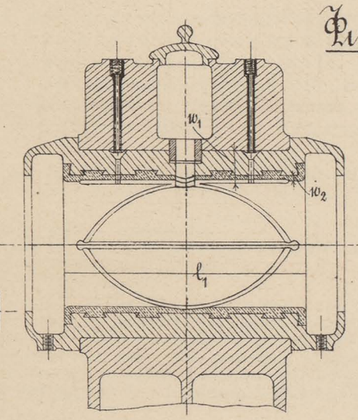


$w_1 = \frac{d_1}{6} + 20$ mm. $w_2 = \frac{d_1}{40} + 5$ mm.

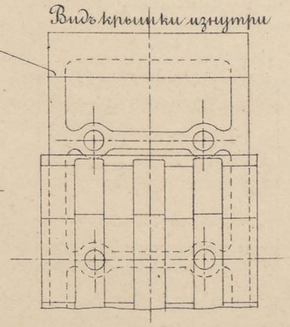
Фиг. 5. 1/10.

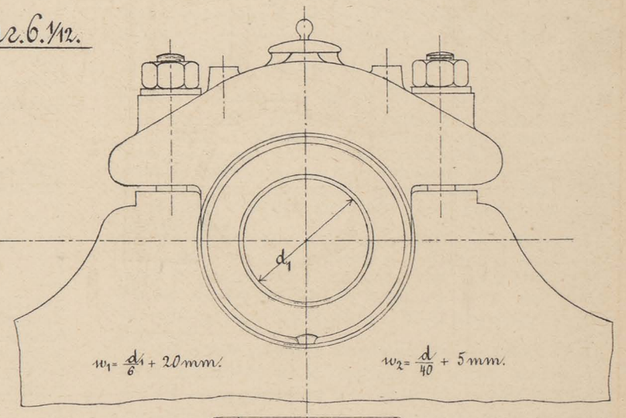


Фиг. 6. 1/12.

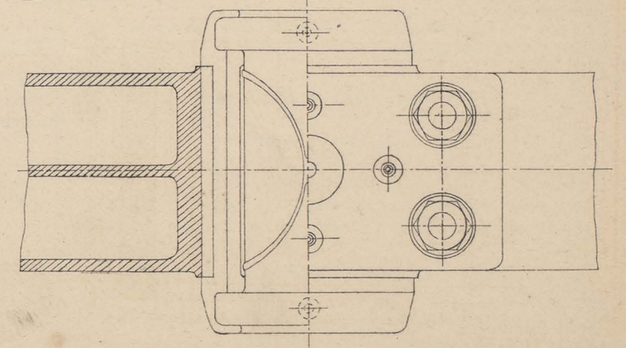


Видъ крышки изнутри





$w_1 = \frac{d_1}{6} + 20$ mm. $w_2 = \frac{d}{40} + 5$ mm.



Лит. Лейферта. СПБ

$$n > \frac{5100}{\sqrt{R_2}} \text{ до } \frac{5400}{\sqrt{R_2}} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 95$$

Въ такомъ случаѣ при длинѣ l_2, разсчитанной по уравненію 94, имѣемъ діаметръ цапфы

$$d_2 = \sqrt[3]{R_2\, l_2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 96$$

Въ томъ мѣстѣ, гдѣ насаживается маховикъ, діаметръ главнаго вала d_3 въ **mm** разсчитывается по формулѣ

$$d_3 = \sqrt[3]{0{,}75\, R_2\, b + 1{,}25\, \sqrt{(R_2 b)^2 + (PR)^2}} \quad . \quad 97$$

при $k_b = 5$.

Размѣры плеча кривошипа лучше всего сперва выбрать эмпирически, а потомъ ихъ подвергнуть повѣркѣ при помощи разсчета. Если (фиг. 1, табл. 19) **y** есть разстояніе отъ середины пальца кривошипа до середины плеча кривошипа, **b** толщина и **h** ширина плеча кривошипа въ нѣкоторомъ сѣченіи его, удаленномъ на разстояніе **x** отъ оси пальца, то изгибающій плечо кривошипа моментъ будетъ Px, а крутящій его моментъ будетъ Py и потому

$$\frac{b h^2}{6} k_b = \frac{3}{8} Px + \frac{5}{8} \sqrt{(Px)^2 + (Py)^2},$$

или

$$k_b = 0{,}75 \frac{P}{b h^2} (3x + 5 \sqrt{x^2 + y^2}) \quad . \quad . \quad . \quad 98$$

Это уравненіе и можетъ служить для повѣрки выбранныхъ размѣровъ, которые можно считать удовлетворительными, если для кривошиповъ изъ литой стали получится $k_b \leqq 6$, для кривошиповъ изъ коваинаго желѣза — $k_b \leqq 4$. P можно опять замѣнить изъ равенствъ 69.

Для лицъ, знакомыхъ съ графическими пріемами, графическій разсчетъ главныхъ валовъ представляетъ многія выгоды. Фиг. 1a, 1b, 1c, 1d и 1e, табл. 20 представляютъ графическій разсчетъ простыхъ валовъ въ томъ видѣ, какъ онъ былъ предложенъ Эбелемъ (Ebel) [1]) и Германомъ (Hermann) [2]).

На фиг. 1a показано положеніе кривошипа $\overline{OA}$, положенное въ основаніе разсчета. Далѣе на фиг. 1b означаетъ

I середину пальца кривошипа,
III середину передняго подшипника главнаго вала,
IV середину задняго подшипника и
II середину маховика.

Въ точкѣ O на фиг. 1a и въ точкѣ I на фиг. 1b два раза отложено давленіе P на палецъ кривошипа въ противоположныхъ направленіяхъ. A есть вѣсъ маховика, D—натяженіе ремня или канатовъ, которое принимается равнымъ тройной окружной силѣ U (см. уравненіе 66). Складывая G и D получимъ равнодѣйствующую $\overline{Ow}$.

Пара силъ P. $\overline{AO}$ стремится скручивать валъ отъ точки I до точки II (фиг. 1b) и моментъ крученія будетъ PR, гдѣ R есть радіусъ кривошипа.

Далѣе валъ изгибается въ плоскости $\alpha - \alpha$ (фиг. 1a) силою $P = \overline{02'}$ и составляющею $\overline{01'}$ равнодѣйствующей $\overline{Ow}$, а въ плоскости $\beta - \beta$ только другою составляющею $\overline{01}$ равнодѣйствующей $\overline{Ow}$.

Фиг. 1d представляетъ многоугольникъ силъ, расположенныхъ въ плоскости $\alpha - \alpha$, фиг. 1c — многоугольникъ силъ, расположенныхъ въ плоскости $\beta - \beta$, причемъ разстояніе полюса $\overline{01'} = \overline{01}$. Далѣе на фиг. 1d $\overline{0' - 1'} = \overline{01'}$ и $\overline{1' - 2'} = P = \overline{02'}$ на фиг. 1a; на фиг. 1b $\overline{Ic} \parallel \overline{02'}$ и $\overline{IIb} \parallel \overline{00'}$ на фиг. 1d.

Отсюда получимъ линію $\overline{bc}$ на фиг. 1b, которой на фиг. 1d проведена параллельная линія $\overline{03'}$. I II b c I на фиг. 1b есть площадь изгибающихъ моментовъ плоскости $\beta - \beta$, $\overline{3' - 2'}$ и $\overline{3' - 0'}$ на фиг. 1d суть реакціи передней и задней цапфъ, т. е. возникающія на фиг. 1b въ точкахъ III и IV.

Далѣе на фиг. 1c отложено

$\overline{0 - 1} = \overline{01}$ на фиг. 1a

и на фиг. 1b $\overline{IIa} \parallel \overline{00}$ на фиг. 1c.

Проведя aIII на фиг. 1b, получимъ площадь III II a III моментовъ изгибающихъ, расположенныхъ въ плоскости $\alpha - \alpha$. Проведя наконецъ на фиг. 1c $\overline{02}$ параллельно, aIII, получимъ въ точкѣ III реакцію $\overline{1-2}$, а въ точкѣ IV реакцію $\overline{2-0}$.

Обѣ упомянутыя площади, расположенныя въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ, должно теперь соединить въ одну площадь равнодѣйствующихъ моментовъ. Для этого ординаты обѣихъ площадей надо разсматривать какъ катеты прямоугольнаго треугольника, въ которомъ гипотенуза будетъ равнодѣйствующая ордината. Такъ напримѣръ, (фиг. 1b) обѣ ординаты $\overline{6-9}$ и $\overline{6-7} = \overline{6-8}$ даютъ равнодѣйствующую ординату $\overline{8-9} = \overline{6-16}$. Такимъ образомъ получена на фиг. 1b площадь I II adg I равнодѣйствующихъ моментовъ.

Площадь крутящихъ моментовъ пары PR представлена на фиг. 1b въ видѣ прямоугольника III fel. Высоту этого прямоугольника получимъ, если на фиг. 1d въ разстояніи R отъ плюса O опредѣлить вертикаль $\overline{4' - 5'}$.

Для соединенія соотвѣтствующихъ ординатъ площадей изгибающихъ и крутящихъ моментовъ, которое, какъ извѣстно производится по формулѣ

$$M = \frac{3}{8} M_и + \frac{5}{8} \sqrt{M^2_и + M^2_к},$$

можно примѣнить слѣдующій пріемъ (фиг. 1b). Возьмемъ напримѣръ $M_и = \overline{10-12}$ и соотвѣтственно $M_к = \overline{1e}$; отложивъ отъ точки 12 линію $\overline{1e} = \overline{12-13}$, проведемъ прямую $\overline{10-13}$. Отложивъ $\overline{10-11} = \frac{3}{8} \overline{10-12}$ и проведя $\overline{11-14}$ найдемъ, что $\overline{10-11} + \overline{13-14} = \overline{10-15}$ есть ордината площади идеальныхъ изгибающихъ моментовъ l Hadkihll. Отдѣльныя ординаты этой площади (въ выбранномъ нами масштабѣ силъ), помноженныя соотвѣтственно на разстояніе полюса (взятое въ линейномъ масштабѣ) представляютъ идеальные изгибающія моменты внѣшнихъ силъ для различныхъ сѣченій вала.

Площадь моментовъ кривошипа построена на фиг. 1e.

Здѣсь a b c d есть площадь крутящихъ моментовъ силы P, дѣйствующей на плечо y въ плоскости $\beta - \beta$. Высоту прямоугольника a b c d получимъ изъ фиг. 1d, если провести вертикаль $\overline{6' - 7'}$ въ разстояніи y отъ полюса O.

e b c есть площадь изгибающихъ моментовъ силы P въ плоскости $\alpha - \alpha$, причемъ $\overline{ec}$ равно вертикали $\overline{4' - 5'}$, проведенной на фиг. 1d въ разстояніи R отъ O.

e f a b e есть площадь идеальныхъ изгибающихъ моментовъ, получающаяся по вышеописанному способу соединеніемъ ординатъ обѣихъ предыдущихъ площадей.

5. Главные валы съ двумя кривошипами.

Фиг. 4, табл. 20.

Эти валы обыкновенно встрѣчаются въ горизонтальныхъ машинахъ-компаундъ и имѣютъ два кривошипа, насаженыхъ, внѣ подшипниковъ, подъ угломъ 90°. Если

P_1 есть наибольшее давленіе на палецъ одного кривошипа, а

P_2 — наибольшее давленіе на палецъ другого,

то пальцы кривошиповъ разсчитываются по урав-

[1]) Ebel, Praktische Anleitung zum Gebrauche der graphischen Methoden, Verlag der Herderschen Buchhandlung in Freiburg im Breisgau.

[2]) Weisbach-Herrmann, Die Zwischenmaschinen, Verlag von Vieweg & Sohn, Braunschweig.

неніямъ 79,80 и 81, причемъ для D и p_a нужно подставить соотвѣтствующія величины.

Для опредѣленія размѣровъ обѣихъ цапфъ главнаго вала могутъ служить уравненія 82 до 90, если въ этихъ уравненіяхъ P замѣнить черезъ P_1 или P_2 и опредѣлить R_1 не изъ уравненія 86 а для одной цапфы изъ

$$R_1 = \sqrt{P_1^2\left(1+\frac{a_1}{c}\right)^2+\frac{1}{4}G^2}, \quad \ldots\ldots \text{99a.}$$

для другой изъ

$$R_2 = \sqrt{P_2^2\left(1+\frac{a_2}{c}\right)^2+\frac{1}{4}G^2}, \quad \ldots\ldots \text{99b.}$$

гдѣ a_1, a_2 и c суть указанныя фиг. 4, табл. 20 разстоянія. При этомъ допущено, что одна цапфа совсѣмъ не нагружена въ то время, когда другая подвергается полной нагрузкѣ и что маховикъ сидитъ на валу по серединѣ между обоими подшипниками. Натяженіемъ ремня или канатовъ можно пренебречь.

Гораздо болѣе ясное представленіе о распредѣленіи нагрузки въ различныхъ сѣченіяхъ вала даетъ графическій пріемъ разсчета валовъ, если его примѣнить для нѣсколькихъ положеній кривошиповъ, для которыхъ соотвѣтствующія давленія P_1 и P_2 можно брать изъ діаграммы равнодѣйствующихъ горизонтальныхъ давленій. На табл. 20 этотъ пріемъ примѣняется для трехъ различныхъ положеній обоихъ кривошиповъ, а именно:

фиг. 4a, 4b и 4c: одинъ кривошипъ въ мертвомъ, другой въ вертикальномъ положеніи,

фиг. 4d, 4e и 4f: оба кривошипа подъ угломъ 45° къ вышеупомянутымъ положеніямъ при ходѣ поршня впередъ и

фиг. 4h, 4i и 4k: оба кривошипа подъ угломъ 45° къ тѣмъ-же положеніямъ при ходѣ поршня назадъ.

Для положеній кривошиповъ на фиг. 4d площади моментовъ опредѣляются слѣдующимъ образомъ.

На фиг. 4d P_1 и P_2 суть давленія на оба пальца A и B кривошиповъ. Эти давленія даютъ скручивающіе моменты P_1y и P_2x. Далѣе валъ подвергается изгибу въ плоскости $\alpha-\alpha$ подъ вліяніемъ тѣхъ же силъ P_1 и P_2, а также подъ вліяніемъ составляющей $\overline{O1'}$ равнодѣйствующей $\overline{Ow}$ вѣса маховика G и натяженія ремня или канатовъ D; въ плоскости $\beta-\beta$ валъ изгибается подъ вліяніемъ составляющей $\overline{O1}$.

На фиг. 4e I есть середина пальца одного кривошипа, къ которому приложена сила P_1, II—середина пальца другого кривошипа, къ которому приложена сила P_2. IV и V означаютъ середины обоихъ подшипниковъ, III—середину маховика, т. е. точку приложенія вѣса G и натяженія D.

Фиг. 4f представляетъ многоугольникъ силъ, расположенныхъ въ плоскости $\alpha-\alpha$. На этой фиг. взято $\overline{0-1}=P_1$, $\overline{1-2}$ равнымъ составляющей $\overline{O1'}$ на фиг. 4d, $\overline{2-3}=P_2$, и затѣмъ выбрано положеніе полюса O. Если далѣе на фиг. 4e черезъ точку IV провести линію, параллельную линіи $\overline{O0}$ на фиг. 4f, также

на фиг. 4e $\overline{pb} \parallel \overline{O1}$ на фиг. 4f,
на фиг. 4e $\overline{bi} \parallel \overline{O2}$ на фиг. 4f и
на фиг. 4e $\overline{iV} \parallel \overline{O3}$ на фиг. 4f,

то при удачномъ выборѣ O на фиг. 4f линія $\overline{iV}$ пройдетъ черезъ точку V на фиг. 4e, а слѣдовательно замыкающая линія $\overline{VIV}$ площади изгибающихъ моментовъ IV p bi VIV пойдетъ горизонтально [1]).

Проведенная послѣ этого черезъ O горизонталь дастъ реакцію $\overline{0-4}$ для подшипника IV и реакцію $\overline{4-3}$ для подшипника V.

Фиг. 4g представляетъ многоугольникъ силъ, дѣйствующихъ въ плоскости $\beta-\beta$. На этой фиг. $\overline{0-1}$ равно $\overline{O1}$ на фиг. 4d. При помощи этого многоугольника силъ получается уже извѣстнымъ образомъ на фиг. 4e площадь изгибающихъ моментовъ IV V d IV. Если же провести на фиг. 4g горизонталь $\overline{O2}$, то опредѣлимъ реакцію $\overline{0-2}$ подшипника IV и реакцію $\overline{2-1}$ подшипника V.

Площади крутящихъ моментовъ на фиг. 4e даны въ видѣ прямоугольниковъ I f g III и II i h III II. Высоты этихъ прямоугольниковъ получатся, если на фиг. 4f провести въ разстояніи y и x отъ полюса вертикали $\overline{5-6}$ и $\overline{7-8}$.

Если теперь соединить по способу, указанному на стр. 97 (фиг. 1b, табл. 20), обѣ площади изгибающихъ моментовъ въ равнодѣйствующую площадь IV p a e c i. V IV и послѣднюю въ свою очередь соединить съ площадями крутящихъ моментовъ, то получимъ необходимую для разсчета вала площадь идеальныхъ изгибающихъ моментовъ I h l m n o II I.

Подобнымъ же образомъ получаются фиг. 4b и 4i для положенія кривошиповъ на фиг. 4a и 4h.

6. Колѣнчатые валы съ однимъ колѣномъ.

Фиг. 3, табл. 20.

Эти валы встрѣчаются въ горизонтальныхъ одноцилиндровыхъ машинахъ, въ которыхъ оба подшипника для главнаго вала расположены на рамѣ машины, и во всѣхъ вертикальныхъ одноцилиндровыхъ машинахъ. Передача силы съ этихъ валовъ обыкновенно происходитъ только въ одну сторону, рѣдко въ двѣ. Ниже приведенъ разсчетъ такого вала для вертикальной машины съ передачею силы въ одну сторону. Послѣ этого уже не трудно будетъ разсчитать валъ для горизонтальной машины или для машины съ передачею силы въ обѣ стороны.

Если на фиг. 3b до 3h линія IV I w A III e d II представляетъ ось колѣнчатаго вала, къ которому въ точкѣ III приложено движущее усиліе шатуна P, а въ точкѣ IV вѣсъ маховика G и для котораго точки I и II означаютъ середины подшипниковъ, то для положенія кривошипа на фиг. 3a, при которомъ его направленіе и направленіе шатуна составляютъ прямой уголъ, реакціи R_1 и R_2 обоихъ подшипниковъ опредѣлятся слѣдующимъ образомъ. Въ точкѣ O (фиг. 3a) въ противоположныхъ направленіяхъ два раза откладываютъ силу $P=\overline{O2}=\overline{O2'}$. Вслѣдствіе этого на валъ будутъ дѣйствовать пара силъ P. $\overline{AO}$ (вращающая вправо) и сила P, направленная при ходѣ поршня вверхъ (см. положеніе кривошипа на фиг. 3a) кверху и равная $\overline{O2'}$, при ходѣ его внизъ (положеніе кривошипа діаметрально противоположно предыдущему положенію его на фиг. 3a)—книзу и равная $\overline{O2}$. Если допустить, что послѣднія силы дѣйствуютъ также, какъ вѣсъ маховика въ вертикальной плоскости и если

x есть разстояніе середины пальца кривошипа отъ середины подшипника II,

y есть разстояніе его отъ подшипника III и

z есть разстояніе между серединою подшипника III и серединою маховика,

то при ходѣ поршня вверхъ реакціи будутъ

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{G(x+y+z)-Px}{x+y} \\ R_2 &= \frac{Gz+Py}{x+y} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \text{100}$$

при ходѣ поршня внизъ

$$\left.\begin{aligned} R_1 &= \frac{G(x+y+z)+Px}{x+y}, \\ R_2 &= \frac{Py-Gz}{x+y} \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 101$$

Изъ этихъ величинъ для дальнѣйшаго разсчета, понятно, надо брать всегда бо́льшую.

Чтобы опредѣлить, какія силы дѣйствуютъ на цапфу колѣна, можно себѣ представить (фиг. 3f) что правый конецъ вала неподвижно закрѣпленъ въ стѣнѣ до середины этой цапфы. Если теперь въ точкѣ B приложить два раза въ противоположномъ направленіи реакцію R_2, то легко можно видѣть, что въ сѣченіи Ш валъ будетъ скручиваться парою силъ R_2R и изгибаться моментомъ R_2x. Пусть

d будетъ діаметръ цапфы и

R радіусъ колѣна въ **mm**.

Тогда имѣемъ

$$0{,}1\, d^3 k_b = \frac{3}{8} R_2 x + \frac{5}{8} \sqrt{(R_2x)^2 + (R_2R)^2},$$

откуда

$$d = \sqrt[3]{\frac{R_2}{4}\left(3x + 5\sqrt{x^2+R^2}\right)} \quad \ldots \quad 102$$

Для того, чтобы удѣльное давленіе на цапфу не превосходило допускаемый предѣлъ p, необходимо, чтобы длина ея **l** въ **mm** удовлетворяла условію

$$\left.\begin{aligned} l &\geq \frac{P}{dp}, \\ \text{при } p &= 0{,}6 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 103$$

а чтобы цапфа не грѣлась отъ развивающейся при треніи теплоты необходимо, чтобы

$$\left.\begin{aligned} l &\geq \frac{Pn}{300.000 A_z}, \\ \text{при } A_z &= 0{,}012 \text{ до } 0{,}03 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 104$$

Чтобы опредѣлить прочность вала по серединѣ I его цапфы, мы опять представимъ себѣ (фиг. 3h), что конецъ вала неподвижно закрѣпленъ въ стѣнѣ до середины I этой цапфы. Прилагая въ точкѣ S двѣ равныя и противоположныя силы P найдемъ, что въ разсматриваемомъ сѣченіи I цапфа подвергается крученію отъ пары силъ, моментъ которой $M_k = PR$ и изгибу отъ момента $M_и = R_2(x+y) - Py$. Поэтому при $k_b = 5$ діаметръ **d** этой цапфы въ **mm** опредѣлится изъ

$$d = \sqrt[3]{0{,}75\, M_и + 1{,}25\sqrt{M_и^2 + M_k^2}}. \quad \ldots \quad 105$$

Длина **l** въ **mm** этой цапфы опять должна удовлетворять условіямъ, какъ и выше

$$\left.\begin{aligned} l &\geq \frac{R_1}{pd}, \\ \text{при } p &= 0{,}15 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 106$$

и

$$\left.\begin{aligned} l &\geq \frac{R_1 n}{300000 A_z}, \\ \text{при } A_z &= 0{,}007 \text{ до } 0{,}015 \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad 107$$

Другую цапфу главнаго вала II можно разсчитывать какъ цапфу обыкновеннаго вала. Но въ виду удобства изготовленія валовъ эту цапфу дѣлаютъ такого же діаметра какъ и цапфу I, причемъ она дѣлается развѣ что немного короче послѣдней. Вообще же удобнѣе дѣлать обѣ цапфы одинаковой длины, чтобы оба подшипника были одинаковы. Во всякомъ случаѣ длина l цапфы II должна удовлетворять условіямъ 106 и 107, если въ нихъ вмѣсто R_1 подставить R_2.

Прочность ближняго къ маховику плеча колѣна разсчитывается слѣдующимъ образомъ. Представимъ себѣ, что валъ задѣланъ неподвижно въ стѣну до опаснаго сѣченія w (фиг. 3g) и что въ точкѣ w два раза въ противоположныхъ направленіяхъ приложена сила R_2, а въ точкѣ A два раза тоже въ противоположныхъ направленіяхъ сила P. Тогда крутящій моментъ будетъ

$$M_k = R_2(l_1 + l_2 + l_3) - Pl_2,$$

а изгибающій

$$M_и = PR.$$

Поэтому, если **b** и **h** суть размѣры поперечнаго сѣченія колѣна въ **mm**, то при $k_b = 6$, имѣемъ соотношеніе

$$bh^2 \geq \frac{1}{8}\left(3M_и + 5\sqrt{M_и^2 + M_k^2}\right) \quad \ldots \quad 108$$

Легко видѣть, что для плеча колѣна, расположеннаго дальше отъ маховика, крутящій моментъ будетъ (фиг. 3e).

$$M_k = R_2 l_3$$

а изгибающій $M_и = R_2 R$.

Поэтому размѣры этого колѣна опредѣлятся изъ уравненія 108, если въ него подставить эти значенія $M_и$ и M_k.

Наконецъ на фиг. 3d показано, какія силы дѣйствуютъ на часть вала передъ послѣднимъ колѣномъ. Какъ видно, эта часть вала подвергается изгибу отъ момента $R_2 l_3$.

Графическій пріемъ для опредѣленія размѣровъ разсматриваемыхъ валовъ показанъ на фиг. 3a, 3b и 3c, табл. 20.

Фиг. 3c представляетъ многоугольникъ силъ для плоскости β—β. На этой фигурѣ $\overline{2'-1}$ соотвѣтствуетъ силѣ P и $\overline{1-0}$—составляющей $\overline{01}$ на фиг. 3a. Если выбрать полюсъ O на фиг. 3c и провести

на фиг. 3b $\left\{\begin{aligned} \overline{1b} &\parallel \overline{O0} \\ \overline{ba} &\parallel \overline{O1} \\ \overline{aII} &\parallel \overline{O2'} \end{aligned}\right\}$ на фиг. 3c,

то при надлежащемъ выборѣ O линія $\overline{aII}$ на фиг. 3b пройдетъ черезъ точку II и замыкающая сторона $\overline{II\,I}$ площади изгибающихъ моментовъ I b a II I будетъ направлена горизонтально. Тогда горизонталь черезъ полюсъ на фиг. 3c. доставитъ $\overline{3-0}$ реакцію R_1 подшипника I, направленную кверху и $\overline{3-2'}$ реакцію R_2 подшипника II, направленную книзу.

Площадь изгибающихъ моментовъ плоскости α—α въ виду незначительной величины составляющихъ $\overline{01'}$ на фиг. 3a не принята во вниманіе.

Для части $\overline{IVw}$ вала на фиг. 3b крутящій моментъ будетъ PR и площадь соотвѣтствующая этому моменту будетъ прямоугольникъ IVw KP. Высота послѣдняго опредѣлится, если на фиг. 3c въ разстояніи R отъ полюса O провести вертикаль 5—8. Соединяя площади изгибающихъ и крутящихъ моментовъ на подобіе того, какъ это было указано на стр. 97 фиг. 1b. табл. 20, получимъ для части вала $\overline{IVw}$ площадь идеальныхъ изгибающихъ моментовъ bQNMwIb, заштрихованную на фиг. 3 b.

Крутящій моментъ для цапфы Ш длиною $\overline{Ok}$ (фиг. 3f) будетъ R_2R. Высоту соотвѣтствующей ему прямоугольной площади oqpko (фиг. 3b) получимъ, если на фиг. 3c провести вертикаль 5—4 въ разстояніи R отъ полюса O. Изгибающій моментъ для поперечнаго сѣченія въ точкѣ Ш, какъ видно изъ фиг. 3f, будетъ R_2x. Если поэтому на фиг. 3b отложить $\overline{Ilm} = \overline{III'a}$ и провести $\overline{mn} \parallel \overline{ab}$, а также ml ∥ a II, то onmlko будетъ площадь изгибающихъ моментовъ. Соединяя обѣ площади, получимъ площадь равнодѣйствующихъ моментовъ otsrko.

На правое плечо $\overline{Aw}$ (фиг. 3g) дѣйствуетъ крутящій моментъ $R_2(l_1 + l_2 + l_3) - Pl_2$. Первому произведенію этой разности на фиг. 3b соотвѣтствуетъ величина $\overline{wu}$, второму—вертикаль 6—7, проведенная на фиг. 3c въ разстояніи l_2 отъ полюса O. Такимъ образомъ на фиг. 3b $\overline{wC} = \overline{wu} - 6-7$ и ADCw есть площадь крутящаго момента. Изгибающій моментъ праваго плеча въ сѣченіи w (фиг. 3g) будетъ PR. Поэтому на фиг. 3b линія $\overline{wE}$ равна вертикали 5—4 на фиг. 3c

такъ что треугольникъ A w E есть площадь изгибающаго момента. Площадь идеальныхъ моментовъ будетъ AGFwA.

На лѣвое плечо колѣна будетъ дѣйствовать крутящій моментъ $R_2 l_3$ фиг. 3e), а въ сѣченіи e изгибающій моментъ $R_2 R$. На фиг. 3b $\overline{dh} = \overline{dc}$ будетъ величина, соотвѣтствующая первому, а на фиг. 3c $\overline{5-4}$ величина, соотвѣтствующая послѣднему моменту, а слѣдовательно на фиг. 3b eh'hd будетъ площадь крутящаго момента, efd — площадь изгибающаго момента и eigde—площадь идеальныхъ изгибающихъ моментовъ.

Наконецъ на часть dП вала будетъ дѣйствовать только изгибающій моментъ, площадь котораго будетъ dIIcd.

7. Колѣнчатые валы съ двумя и тремя колѣнами.

Когда эти валы опираются только на два подшипника, то разсчетъ ихъ можно вести точно такимъ же образомъ, какъ разсчетъ одноколѣнчатыхъ валовъ. Въ такомъ случаѣ опредѣляютъ реакціи обоихъ подшипниковъ при положеніи кривошипа, для котораго силы дѣйствуютъ на валъ наименѣе выгодно и представляютъ себѣ послѣдній неподвижно закрѣпленнымъ въ стѣну всегда до того поперечнаго сѣченія, въ которомъ желаютъ опредѣлить размѣры его. Прилагая въ надлежащихъ точкахъ равныя и противоположно направленныя силы, получаемъ пары силъ, скручивающія валъ, а также и изгибающіе его моменты, какъ это уже было показано для одноколѣнчатыхъ валовъ.

Если же, какъ это и бываетъ въ большинствѣ случаевъ, колѣнчатые валы опираются больше, чѣмъ на два подшипника, то точное опредѣленіе реакцій отдѣльныхъ подшипниковъ и точный разсчетъ вала по правиламъ сопротивленія матеріаловъ уже невозможны и приходится прибѣгать къ приблизительному разсчету, принимая во вниманіе наиболѣе невыгодную нагрузку вала и допуская достаточный запасъ прочности. Пусть

N_i будетъ наибольшая индикаторная работа машины въ лошадиныхъ силахъ,

n число оборотовъ ея въ минуту; тогда средняя величина скручивающаго валъ момента будетъ

$$M_k = 716200 \frac{N_i}{n} \text{ kgmm},$$

если же m будетъ множитель, служащій для принятія въ расчетъ колебаній въ величинѣ крутящаго момента въ компаундъ-машинахъ, то наибольшій крутящій моментъ будетъ

$$\left.\begin{aligned} M_k &= 716200 \frac{N_i}{n} m \\ m &= 1{,}2 \text{ до } 1{,}5 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad 109$$

гдѣ

смотря по тому подъ какимъ угломъ другъ къ другу насажены кривошипы и по тому, насколько достигнуто въ различныхъ цилиндрахъ равенство работъ. Пусть далѣе на фиг. 13 и 14, табл. 19

x будетъ разстояніе между двумя сосѣдними подшипниками,

y_1 и y_2—разстоянія плоскостей качанія шатуновъ до этихъ подшипниковъ въ mm и

P—наибольшее давленіе на поршень въ отдѣльныхъ цилиндрахъ. Въ такомъ случаѣ изгибающій моментъ можно приблизительно принять

$$M_b = \frac{P y_1 y_2}{x} \quad \ldots\ldots \quad 110$$

Діаметръ d вала въ mm, цапфы котораго обыкновенно дѣлаются одинаковаго діаметра, опредѣлится тогда изъ равенства

$$0{,}1\, d^3 k_b = \frac{3}{8} M_и + \frac{5}{8} \sqrt{M_и^2 + M_к^2}, \quad \ldots \quad 111$$

гдѣ $k_b = 5$ до 6 для литой стали.

Длину отдѣльныхъ цапфъ опять слѣдуетъ разсчитывать, принимая во вниманіе допускаемое давленіе p на единицу площади подшипника и соблюдая условіе, чтобы цапфа отводила развивающуюся отъ тренія теплоту не грѣясь. Поэтому цапфы кривошиповъ можно разсчитывать по равенствамъ 103 и 104, а цапфы валовъ разсчитываются по равенствамъ 106 и 107, причемъ для послѣднихъ R_1 можетъ быть, понятно, опредѣлено по наибольшему давленію на поршень P и по вѣсу G маховика только приблизительно.

Для опредѣленія размѣровъ поперечнаго сѣченія плечъ колѣнчатаго вала «Hütte» даетъ соотношеніе

$$b\,h \geqq 1{,}1\, d^2 \frac{\pi}{4} \quad \ldots\ldots \quad 112$$

гдѣ b есть ширина, а h—средняя высота плеча въ mm.

8. Эксцентрики.

Эксцентрики, служащія для приведенія въ дѣйствіе золотниковъ, разсчитываются такимъ образомъ чтобы ширина трущейся поверхности эксцентриковаго диска была достаточна для проведенія развивающейся отъ тренія теплоты, т. е. чтобы эксцентрикъ не грѣлся. Пусть

P′ будетъ сопротивленіе въ kg, которое приходится преодолѣвать эксцентрику, т. е. треніе золотника, треніе штока золотника въ направляющихъ, въ сальникахъ и т. д.

l будетъ ширина трущейся поверхности диска эксцентрика въ mm и

n число оборотовъ его въ минуту. Тогда упомянутое условіе согласно даннымъ на стр. 95, выразится въ формулѣ

$$l \geqq \frac{P' n}{300\,000\, A_z}$$

Для $A_z = 0{,}0033$ по Баху, будетъ

$$l \geqq \frac{P' n}{1000} \quad \ldots\ldots \quad 113$$

9. Примѣры.

1. Опредѣлить размѣры частей движенія для машины безъ охлажденія, разсчитанной на стран. 84, діаметръ которой равенъ 300 mm, а ходъ поршня=600 mm.

При разсчетѣ машины давленіе пара принималось при впускѣ p=6,15, при выпускѣ $p_e = 1{,}15$ kg. Такимъ образомъ, наибольшее рабочее давленіе пара на cm^2 полезной площади поршня будетъ

$$p_и = 6{,}15 - 1{,}15 = 5 \text{ kg},$$

а полное наибольшее давленіе на поршень

$$P = 5 \,.\, 30^2 \frac{\pi}{4} = \sim 5 \,.\, 700 = 3500 \text{ kg}.$$

Отношеніе хода поршня къ діаметру цилиндра

$$x = \frac{100\, S}{D} = \frac{100 \,.\, 0{,}6}{30} = 2.$$

Вставляя эти величины въ равенство 71, или по таблицѣ X на стр. 92, находимъ діаметръ штока поршня

$$\triangle = 30 \sqrt[4]{5} = \sim 30 \,.\, 1{,}5 = 45 \text{ mm}.$$

При сквозномъ штокѣ діаметръ его въ передней

части можно принять равнымъ 50 mm, въ задней же равнымъ 40 mm.

Діаметръ цапфы крестовины при отношеніи

$$\frac{l}{d} = 2,$$

особенно пригоднымъ для шатуновъ съ вилкой на концѣ и подшипникомъ въ крестовинѣ, по уравненію 74 или таблицѣ XI на стр. 93 будетъ

$$d = 075 \cdot 30\sqrt{5} = 0{,}75 \cdot 30 \cdot 2{,}24 = \sim \mathbf{50\ mm}.$$

Длина цапфы $l = 2d = 2 \cdot 50 = \mathbf{100\ mm}$.

Если принять ширину ползушекъ крестовины въ проекціи $\beta = \mathbf{160\ mm}$, то длина ихъ опредѣлится изъ уравненія 75

$$\lambda = \left(\frac{20}{160} \text{ до } \frac{10}{160}\right) 3500 = 440 \text{ до } 220,$$

слѣдовательно въ среднемъ

$$\lambda = \mathbf{330\ mm}.$$

Выбирая шатунъ круглаго сѣченія, имѣемъ при коэфиціентѣ прочности $\alpha = 25$ по уравненію 78, или таблицѣ XIII на стр. 94.

$$H = 0{,}47 \cdot 30\sqrt[4]{25 \cdot 2^2 \cdot 5} = \sim 0{,}47 \cdot 30 \cdot 4{,}73 = 67,$$

или кругло примемъ за діаметръ поперечнаго сѣченія шатуна по серединѣ

$$H = 70\ mm.$$

Для разсчета пальца кривошипа можно примѣнить уравненіе 80, такъ какъ число оборотовъ машины 90 удовлетворяетъ неравенству

$$n < \frac{8000}{30\sqrt{5}},\quad n < 119.$$

Это уравненіе, какъ и табл. XIV на стр. 95, доставитъ

$$d = 30\sqrt{5} = 30 \cdot 2{,}24 = \sim 67$$

или кругло $d = \mathbf{70\ mm}$,

длина пальца $l = 1{,}3 \cdot 70 = \sim \mathbf{90\ mm}$.

Главный валъ представленъ на фиг. 10, табл. 19. На чертежѣ

a есть разстояніе отъ середины пальца кривошипа до середины передняго подшипника, равное 300 mm,

c — отъ середины передняго подшипника до середины задняго, равное 1750 mm,

b — отъ середины задняго подшипника до средней линіи маховика, равное 500 mm.

Вѣсъ маховика указанъ на стр. 90 въ 3080 kg. Діаметръ передней цапфы вала опредѣлится изъ равенства 84

$$d_1 = 2{,}7 \cdot 30\sqrt[3]{5} = 2{,}7 \cdot 30 \cdot 1{,}71 = 138,$$

такъ какъ $a = R$, а отношеніе хода поршня къ діаметру цилиндра $x = 2$.

Кругло $d_1 = \mathbf{135\ mm}$.

Если длину передней цапфы вала опредѣлить изъ равенства 85

$$l_1 = 1{,}9 \cdot 135 = \sim \mathbf{250\ mm},$$

то эта длина должна еще удовлетворить равенствамъ 87 до 90. Давленіе на переднюю цапфу, согласно равенству 86, будетъ

$$R_1 = \sqrt{3500^2\left(1 + \frac{300}{1750}\right)^2 + 3080^2\left(\frac{500}{1750}\right)^2} = \sim 4200\ kg.$$

Для полученнаго выше діаметра цапфы 135 mm равенство 88 даетъ длину цапфы

$$l_1 = 7{,}7\,\frac{4200}{135} = \sim 240\ mm,$$

а равенство 90

$$l_1 \geq \frac{4200 \cdot 90}{2400},\quad l_1 \geq 158\ mm.$$

Обоимъ значеніямъ удовлетворяетъ вышеопредѣленная величина $l_1 = 250$ mm.

Необходимо провѣрить, получитъ-ли втулка кривошипа достаточную длину при $a = 300$ mm и $l_1 = 250$ mm. Если принять, что промежутокъ между вкладышемъ шатуна и внѣшнею поверхностью кривошипа равенъ 5 mm, то (фиг. 1 и 10, табл. 19) длина втулки будетъ

$$300 - \left(\frac{90}{2} + 5 + \frac{250}{2}\right) = 125\ mm,$$

величина вполнѣ достаточная. Если бы эта величина получилась слишкомъ малою, то пришлось бы увеличить a и произвести еще разъ разсчетъ по предыдущему способу.

Давленіе на заднюю цапфу вала по уравненію 91 будетъ

$$R_2 = \sqrt{3500^2\left(\frac{300}{1750}\right)^2 + 3088^2\left(1 - \frac{500}{1750}\right)^2} = \sim 2280\ kg.$$

Для такого давленія уравненіе 93 даетъ діаметръ цапфы

$$d_2 = 2 \text{ до } 1{,}8\sqrt{2280} = \sim 2 \cdot 48 = \sim \mathbf{100\ mm}$$

при длинѣ ея $l_2 = 1{,}7 \cdot 100 = \sim \mathbf{170\ mm}$.

Уравненія 94 и 96 даютъ меньшія размѣры, такъ какъ число оборотовъ машины меньше

$$n = \frac{5100}{\sqrt{2280}} = \sim 107.$$

Діаметръ вала въ томъ мѣстѣ, гдѣ насаженъ маховикъ, разсчитывается по уравненію 97, въ которомъ $R_2b = 2280 \cdot 500 = 1140000$ и $PR = 3500 \cdot 300 = 1050000$ kgmm; онъ будетъ

$$d_3 = \sqrt{0{,}75 \cdot 1140000 + 1{,}25\sqrt{1140000^2 + 1050000^2}} = \sim 140\ mm.$$

Однако-же діаметръ вала въ этомъ мѣстѣ для удобства его изготовленія и для большей безопасности значительно увеличенъ, а именно

$$d_3 = \mathbf{150\ mm}.$$

На фиг. 1, табл. 20 валъ разсчитанъ графически для слѣдующихъ силъ

$$P = 3150,\ G = 1750 \text{ и } D = 900\ kg.$$

Масштабъ длины выбранъ 1 : 15, а масштабъ силъ 1 mm = 75 kg. Разстояніе полюса на фиг. 1c и 1d равно 30 mm.

Изъ плоскости равнодѣйствующихъ моментовъ I II a d k i h I I имѣемъ, напримѣръ, въ точкѣ III ординату $\overline{III_i} = 39$ mm, въ точкѣ II ординату $IIk = 28$ mm. Для передняго подшипника теоретическій изгибающій моментъ будетъ

$$M_i = 39 \cdot 75 \cdot 30 \cdot 15 = 1316250\ kgmm,$$

для середины маховика онъ будетъ

$$M_i = 28 \cdot 75 \cdot 30 \cdot 15 = 945000\ kgmm.$$

Если подставить оба эти значенія по очереди въ равенство

$$M_i = 0{,}1 d^3 k_b,$$

то при $k_b = 5$ діаметръ передней цапфы будетъ

$$d_1 = \sqrt[3]{\frac{1316250}{0{,}1 \cdot 5}} = \sim 138\ mm.,$$

а діаметръ вала подъ маховикомъ будетъ

$$d_2 = \sqrt[3]{\frac{945000}{0{,}1 \cdot 5}} = \sim 124\ mm.$$

Толщина тѣла кривошипа $b = 60$ mm, а ширина его въ сѣченіи 1—1 (фиг. 1, табл. 19) вблизи внѣшней окружности втулки $h = 200$ mm; діаметръ втулки соотвѣтственно размѣру передней цапфы вала $d_1 = 135$ mm равенъ

$$1{,}8 \cdot 135 - 10 = \sim 230\ mm.$$

Разстояніе отъ середины пальца кривошипа до средней плоскости тѣла кривошипа

$$y = \frac{90}{2} + 5 + \frac{60}{2} = 80\ mm,$$

разстояніе выбраннаго нами сѣченія 1 — 1 отъ центра вращенія кривошипа будетъ

$$x = 300 - \frac{230}{2} = 185\ mm.$$

Если подставить эти значенія, въ равенство 98, то напряженіе на изгибъ въ разсматриваемомъ сѣченіи будетъ

$$k_b = 0{,}75\frac{3500}{60\cdot\overline{200}^2}(3\cdot 185+5\sqrt{\overline{185}^2+\overline{80}^2} = \sim 1{,}7 \text{ kg},$$

что значительно меньше допускаемаго для сварочнаго желѣза напряженія на изгибъ въ 4 kg.

Для опредѣленія ширины l поверхности трепія эксцентрика необходимо знать сопротивленіе P_1, которое оказываютъ при своемъ движеніи золотникъ и его штокъ. Величину P_1 можно опредѣлить только приблизительно. Если ширина золотника будетъ 25 cm, а длина его 30 cm, и если разность давленій пара на золотникъ съ обѣихъ сторонъ будетъ 5 kg, то, принимая ради безопасности коэффиціентъ тренія равнымъ 0,1 (въ дѣйствительности онъ меньше), треніе при движеніи золотника будетъ

$$25\cdot 30\cdot 5\cdot 0{,}1 = 375 \text{ kg}.$$

Если діаметръ штока золотника будетъ 3 cm, длина набивки 7,5 cm, а коэффиціентъ тренія въ сальникѣ опять примемъ 0,1, то треніе въ сальниковой коробкѣ будетъ

$$5\cdot 3\pi\cdot 7{,}5\cdot 0{,}1 = \sim 36 \text{ kg}.$$

Считая, наконецъ, треніе въ направляющихъ золотниковой тяги и сочлененіяхъ ея равнымъ 36 kg, имѣемъ

$$P_1 = 375+36+36 = \sim 450 \text{ kg}.$$

При этомъ значеніи P_1 изъ уравненія 113 слѣдуетъ

$$l \geqq \frac{450\cdot 90}{100} \text{ или } \mathbf{l = 42 \text{ mm}}.$$

2. Фирма Покорный и Виттекиндъ (Pokorny & Wittekind), владѣющая машиностроительнымъ заводомъ въ Бокенгеймѣ (Bockenheim) близъ Франкфурта на Майнѣ, выставила на международной электротехнической выставкѣ въ Франкфуртѣ въ 1891 г. вертикальную быстроходную машину, діаметръ цилиндра которой былъ 200 mm, ходъ поршня тоже 200 mm, и машина дѣлала 400 оборотовъ въ минуту. Опредѣлить размѣры частей движенія и вала этой машины, если абсолютное давленіе впускаемаго въ цилиндръ свѣжаго пара равно 6 атм.?

Машина работаетъ безъ холодильника. Поэтому наибольшее рабочее давленіе пара на 1 cm² полезной площади поршня будетъ

$$p_u = 6-1{,}15 = 4{,}85 \text{ kg}.$$

Если это давленіе при ходѣ поршня внизъ, когда оно увеличивается вѣсомъ частей движенія, положить равнымъ 5 kg, а при ходѣ поршня вверхъ, когда вѣсъ частей движенія уменьшаетъ его—принять равнымъ 4,7 kg, то при діаметрѣ штока поршня въ 40 mm проходящаго только черезъ одну нижнюю крышку, наибольшее общее рабочее давленіе будетъ

при ходѣ поршня внизъ

$$P = 5\cdot\overline{20}^2\frac{\pi}{4} = 1570 \text{ kg},$$

при ходѣ вверхъ

$$P = 4{,}7\left(\overline{20}^2\frac{\pi}{4}-4^2\cdot\frac{\pi}{4}\right) = 1420 \text{ kg}.$$

Діаметръ штока поршня по уравненію 71 или по таблицѣ X на стр. 92 выходитъ

$$\Delta = 20\sqrt[4]{5} = 20\cdot 1{,}5 = 30 \text{ mm},$$

въ дѣйствительности,

$$\Delta = \mathbf{40 \text{ mm}},$$

Діаметръ цапфы крестовины при отношеніи

$$\frac{l}{d} = 1{,}6 \text{ и } p = 0{,}7$$

опредѣлится изъ уравненія 73

$$d = \sqrt{\frac{1570}{0{,}7}\cdot\frac{1}{1{,}6}} = 38, \text{ или кругло} = \mathbf{40 \text{ mm}},$$

а длина цапфы

$$l = 1{,}4d = 1{,}4\cdot 40 = \mathbf{56 \text{ mm}}.$$

Придавая ползушкамъ крестовины ширину $\beta = \mathbf{120 \text{ mm}}$, длину $\lambda = \mathbf{240 \text{ mm}}$, давленіе на 1 mm² площади ползушекъ, при нормальномъ давленіи

$$N = \frac{1570}{5} = 314 \text{ kg},$$

будетъ только

$$\frac{314}{120\cdot 240} = \sim 0{,}011 \text{ kg}.$$

Средній діаметръ шатуна круглаго сѣченія, при коэффиціентѣ безопасности $\alpha = 50$ и при отношеніи хода поршня къ діаметру цилиндра $x = 1$, по уравненію 78, будетъ

$$H = 0{,}47\cdot 20\sqrt[4]{50\cdot 1\cdot 5} = \sim 0{,}47\cdot 20\cdot 4 = 38.$$

Примемъ

$$H = \mathbf{40 \text{ mm}}.$$

Колѣнчатый валъ представленъ на фиг. 12, табл, 19:

x обозначаетъ разстояніе отъ средины цапфы колѣна до средины одного подшипника, равное 200 mm,

y такое же разстояніе до средины другого подшипника, равное 270 mm,

z разстояніе отъ средины маховика до средины ближайшаго подшипника, равное 230 mm.

Вѣсъ маховика при разсчетѣ принятъ равнымъ 1000 kg. Реакціи подшипниковъ, опредѣленныя изъ уравненія 100 будутъ

при ходѣ поршня вверхъ

$$R_1 = \frac{1000(200+270+230)-1420\cdot 200}{200+270} = 885 \text{ kg}.$$

и

$$R_2 = \frac{1000\cdot 230+1420\cdot 270}{200+270} = 1305 \text{ kg},$$

при ходѣ поршня внизъ

$$R_1 = \frac{1000(200+270+230)+1570\cdot 200}{200+270} = 2157 \text{ kg}$$

и

$$R_2 = \frac{1570\cdot 270-1000\cdot 230}{200+270} = 413 \text{ kg}.$$

Принимая во вниманіе значеніе реакціи R_2 какъ наибольшее, діаметръ цапфы колѣна изъ уравненія 102 будетъ

$$d = \sqrt[3]{\frac{1305}{4}\left(3\cdot 200+5\sqrt{\overline{200}^2+\overline{100}^2}\right)} = 82.$$

Примемъ кругло $d = \mathbf{80 \text{ mm}}$.

Длина цапфы опредѣлится изъ равенства 104 при $A_z = 0{,}0175$

$$l \geqq \frac{1570\cdot 400}{300000\cdot 0{,}0175}, \text{ или } l = \mathbf{120 \text{ mm}}.$$

Это значеніе вполнѣ удовлетворяетъ также равенству 103.

Діаметръ цапфы главнаго вала, расположенной ближе къ маховику, можно опредѣлить изъ равенства 105. Придавая силамъ P и R_2 значенія найденныя для хода поршня вверхъ, имѣемъ $M_k = 1420 \cdot 100 = 142000$, $M_и = 1305\,(200+270) - 1420 \cdot 270 = \sim 230000$ kgmm и

$$d = \sqrt[3]{0{,}75 \cdot 230000 + 1{,}25\sqrt{230000^2 + 142000^2}} = \sim \mathbf{80\ mm}.$$

Для хода поршня внизъ, когда $M_k = 1570 \cdot 100 = 157000$ и $M_и = 1570 \cdot 270 - 413\,(200+270) = \sim 230000$ kgmm, уравненіе 105 даетъ тоже значеніе

$$d = \sqrt[3]{0{,}75 \cdot 230000 + 1{,}25\sqrt{230000^2 + 157000^2}} = \sim \mathbf{80\ mm}.$$

Длина цапфы должна удовлетворять равенствамъ 106 и 107.

Изъ послѣдняго равенства при $A_z = 0{,}012$ имѣемъ

$$l \geqq \frac{2157 \cdot 400}{300000 \cdot 0{,}012},\ \text{или}\ l = \mathbf{240\ mm}.$$

Давленіе цапфы на вкладышъ подшипника по раравенству 106 будетъ

$$p = \frac{2157}{80 \cdot 240} = \sim 0{,}112\ \text{kg},$$

величина незначительная.

Въ дѣйствительности, діаметръ цапфы былъ сдѣланъ равнымъ 85 mm, а длина ея—220 mm.

Діаметръ болѣе отдаленной отъ маховика цапфы главнаго вала цѣлесообразно дѣлать также

$$d = \mathbf{80\ mm},$$

но длина ея по равенству 107, при $A_z = 0{,}012$, будетъ

$$l \geqq \frac{1305 \cdot 400}{300000 \cdot 0{,}012}\ \text{или}\ l = \mathbf{150\ mm}.$$

Если принять толщину лѣваго колѣна равною 50, а толщину праваго — 75 mm и ширину кольцевыхъ масленокъ 15 mm, то разстояніе

$$l_2 = \frac{120}{2} + \frac{75}{2} = 97{,}5\ \text{mm} = \sim 100\ \text{mm},$$

$$l_1 = \frac{120}{2} + \frac{50}{2} = 85\ \text{mm}$$

$$l_3 = \frac{150}{2} + 15 + \frac{50}{2} = 115\ \text{mm}\ \text{и}$$

$$l_2 + l_1 + l_3 = 100 + 85 + 115 = 300\ \text{mm}.$$

Тогда для праваго колѣна будетъ
при ходѣ поршня внизъ

$M_k = 1570 \cdot 100 - 413 \cdot 300 = 33100$ kgmm и

и

$M_и = 1570 \cdot 100 = 157000$ kgmm,

при ходѣ поршня вверхъ

$M_k = 1305 \cdot 300 - 1420 \cdot 100 = \sim 250000$ kgmm
$M_и = 1420 \cdot 100 = 142000$ kgmm.

Въ первомъ случаѣ уравненіе 108 доставитъ

$$bh^2 \geqq \frac{1}{8}\left(3 \cdot 157000 + 5\sqrt{157000^2 + 33100^2}\right),$$

$$bh^2 \geqq \sim 158900.$$

Во второмъ случаѣ

$$bh^2 \geqq \frac{1}{8}\left(3 \cdot 142000 + 5\sqrt{142000^2 + 250000^2}\right),$$

$$bh^2 \geqq \sim 233000.$$

Изъ послѣдняго (бо́льшаго) соотношенія при $b = 75$ mm, опредѣлимъ требуемую ширину колѣна

$$h \geqq \sqrt{\frac{233000}{75}}\ \text{или}\ h \geqq 56\ \text{mm}.$$

Для лѣваго колѣна вала имѣемъ

$M_k = 1305 \cdot 115 = \sim 150000$ kgmm

и

$M_и = 1305 \cdot 100 = \sim 130000$ kgmm.

Подставляя эти значенія въ равенства, 108 получимъ

$$bh^2 \geqq \frac{1}{8}\left(3.130\,000 + 5\sqrt{130\,000^2 + 150\,000^2}\right),$$

$$dh^2 \geqq 173\,000.$$

При $b = 50$ mm должно быть

$$h \geqq \sqrt{\frac{160\,000}{50}}\ \text{или}\ h \geqq 60\ \text{mm}.$$

Въ дѣйствительности, для удобства изготовленія, ширина какъ того, такъ и другого колѣна значительно увеличена.

Для провѣрки предыдущаго разсчета можетъ служить графическій разсчетъ вала, данный на фиг. 3 b, табл. 20. Масштабъ силъ принять 1 mm = 75 kg, масштабъ длины 1 : 5, разстояніе полюса равно 30 mm.

Такъ какъ $\overline{\text{III}\,s} = 25$ mm, то теоретическій изгибающій моментъ въ срединѣ III цапфы колѣна будетъ

$$25 \cdot 75 \cdot 30 \cdot 5 = 281\,250\ \text{kgmm},$$

и діаметръ цапфы изъ

$$0{,}1\,d^3 \cdot k^b = 281\,250,$$

при $k^b = 5$ будетъ

$$d = \sqrt[3]{562\,500} = \sim \mathbf{83\ mm}.$$

Въ срединѣ I ближней цапфы главнаго вала теоретическій изгибающій моментъ будетъ почти такой же, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, такъ какъ $\overline{\text{IN}} = 22$ mm. Поэтому діаметръ этой цапфы

$$d = \mathbf{80\ mm}.$$

Въ точкѣ w праваго колѣна ордината $\overline{wF} = 21$ mm, такъ что

$$Mi = 21 \cdot 75 \cdot 30 \cdot 5 = 236\,250\ \text{kgmm}$$

Въ разсчетѣ эта величина была опредѣлена кругло въ 233 000 kgmm.

Точно также въ точкѣ e лѣваго колѣна вала $\overline{ei} = 15$ mm, а

$$Mi = 15 \cdot 75 \cdot 30 \cdot 5 = 168\,750\ \text{kgmm},$$

въ расчетѣ было Mi = 173 000 kgmm.

3. Въ 1888 г. на королевскомъ заводѣ въ Пермѣ (Perm) въ Германіи была выполнена сдвоенная горизонтальная машина—тэндемъ съ холодильникомъ по проекту Dr. P. Пре́лля (Dr. R. Proell) въ Дрезденѣ. Данныя для построенія этой машины (см. Zeitschrift Deutscher Ingenieure за 1888 г.) были:

діаметры малаго и большого цилиндровъ 625 и 1080 mm,

ходъ поршней 1250 mm,

полезная площадь малаго и большого поршней 2900 и 9020 cm^2,

отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{v}{V} = 0{,}321$,

абсолютное давленіе пара при впускѣ $p = 7$ атм.,

число оборотовъ въ минуту $n = 50$,

полезная работа машины $Nn = 800$ лош. силъ и

діаметры двухъ канатныхъ маховиковъ, каждый вѣсомъ въ 9000 kg, равнялись 6000 mm.

Провѣрить діаметры цапфъ, вала и т. д. этой машины по даннымъ и уравненіямъ настоящаго курса?

Чтобы приблизительно опредѣлить рабочія давленія пара въ обоихъ цилиндрахъ, можно принять, что паръ, расширяясь въ большомъ цилиндрѣ приблизительно до конечнаго давленія 0,55 атм., вступаетъ въ этотъ цилиндръ съ давленіемъ

$$0{,}55\,\frac{V}{v} = 0{,}55\,\frac{1}{0{,}321} = \sim 1{,}7\ \text{атм},$$

или, для большей осторожности, принимая во вни-

маніе вредныя пространства, потери давленія и т. д., съ давленіемъ

$$1,7 + 0,5 = 2,2 \text{ атм},$$

Въ такомъ случаѣ наибольшее рабочее давленіе пара въ маломъ цилиндрѣ будетъ

$$7 - 2,2 = 4,8 \text{ kg},$$

а наибольшее рабочее давленіе пара въ большомъ цилиндрѣ, принимая давленіе пара при выпускѣ равнымъ 0,2 атм., будетъ

$$2,2 - 0,2 = 2 \text{ kg}.$$

То же давленіе, отнесенное къ полезной площади малаго цилиндра, было бы равно

$$2\frac{V}{v} = 2\frac{1}{0,321} = \sim 6,24 \text{ kg}.$$

Поэтому, части каждой половины сдвоенной машины —тэндемъ можно разсчитывать, какъ части двухъ одноцилиндровыхъ машинъ, имѣющихъ цилиндры съ діаметромъ

$$D = \mathbf{62,5 \text{ cm}},$$

и работающихъ при наибольшемъ рабочемъ давленіи пара на 1 cm^2 полезной площади поршня

$$p_u = 4,8 + 6,04 = \mathbf{11,04 \text{ kg}},$$

т. е. при полномъ давленіи на всю площадь поршня

$$P = 2900 \cdot 11,04 = \sim \mathbf{32\,000 \text{ kg}}^1).$$

Поршневой штокъ своею среднею частью, которая несетъ оба поршня, ходитъ въ направляющей сальниковой коробкѣ. Эта коробка идетъ отъ крышки одного цилиндра до крышки другого и легко можетъ быть замѣнена. Во избѣжаніе изгиба поршневого штока между поршнями, онъ сдѣланъ въ этомъ мѣстѣ весьма солиднымъ (діаметръ его равенъ 160 mm). Передняя же часть штока разсчитана только на смятіе и такъ какъ отношеніе хода поршня къ діаметру цилиндра

$$x = \frac{100\,S}{D} = 2,$$

то діаметръ штока въ этой части, по равенству 71, будетъ

$$\triangle = 62,5\sqrt[4]{11,04} = 62,5 \cdot 1,823 = \sim \mathbf{115 \text{ mm}}.$$

Въ дѣйствительности, толщина штока сдѣлана равною 130 mm. Діаметръ хвоста поршневого штока принятъ въ 90 mm. Эта часть штока приводитъ въ движеніе только воздушный насосъ; разсчитывая ее на сжатіе, мы получили бы для нея значительно меньшій размѣръ, который увеличенъ съ цѣлью сдѣлать сумму полезныхъ площадей обоихъ поршней по возможности одинаковою какъ для прямого, такъ и для обратнаго хода машины. При принятомъ діаметрѣ хвоста въ 90 mm, передня полезная площадь малаго поршня больше задней на $\left(16^2 - 13^2\right)\frac{\pi}{4}$, а у большого наоборотъ задняя полезная площадь больше передней на $\left(16^2 - 9^2\right)\frac{\pi}{4}$

Діаметръ цапфы крестовины при отношеніи $\frac{l}{d} = 1,33$ и $p = 0,7$, по уравненію 73 будетъ

$$d = \sqrt{\frac{32000}{0,7}\,\frac{1}{1,33}} = \sim \mathbf{185 \text{ mm}}.$$

длина его

$$l = 1,33 \cdot 185 = \sim \mathbf{245 \text{ mm}}.$$

Въ дѣйствительности, діаметръ этой цапфы равенъ 180 mm, а длина ея 240 mm.

---

1) По даннымъ «Zeitschrift deutsch. Ingenieure» въ основаніе разсчета было положено $P = 30000$ kg, соотвѣтственно давленію пара $p = 6,5$ атм.

Ширина и длина ползушекъ $\beta = \mathbf{400}$ mm, а $\lambda = \mathbf{800 \text{ mm}}$; Площадь ихъ

$$\lambda\beta = 400 \cdot 800 = 10 \cdot 32000 = 10P,$$

соотвѣтствуетъ наименьшему значенію, получаемому изъ равенства 75.

Шатунъ круглаго сѣченія имѣетъ длину между центрами головокъ въ пять радіусовъ кривошипа. При $\alpha = 25$ и $x = 2$ равенство 78 даетъ діаметръ его по срединѣ

$$H = 0,47 \cdot 62,5\sqrt[4]{25 \cdot 2^2 \cdot 11,04} = \sim \mathbf{175} \text{ mm},$$

принятый же размѣръ шатуна равенъ 180 mm.

Для цапфы кривошипа принято отношеніе

$$\frac{l}{d} = 1,5,$$

что соотвѣтствуетъ $k_b = 6$ и $p = 0,55$. Напряженіе $k_b = 6$ можно еще допустить для литой стали. Уравненіе 80, которое здѣсь примѣнимо, даетъ размѣръ діаметра для отношенія $\frac{l}{d} = 1,3$. По этому, для настоящаго случая

$$d = 62,5\sqrt{11,04\frac{1,3}{1,5}} = \sim 195 \text{ mm},$$

или же какъ принято

$$d = \sim \mathbf{200 \text{ mm}}$$
$$l = 1,5 \cdot 200 = \mathbf{300 \text{ mm}}.$$

Главный валъ представленъ на фиг. 11, табл. 19. Этотъ валъ, кромѣ двухъ главныхъ подшипниковъ, опирается посерединѣ еще на третій подшипникъ. Однако ему приданы такіе преувеличенные размѣры, что онъ можетъ быть разсматриваемъ какъ валъ съ двумя кривошипами, опирающійся на два подшипника. Разстоянія

a—отъ средины цапфы кривошипа до средины сосѣдняго подшипника равно 925 mm и

c—между средними линіями главныхъ подшипниковъ равно 7000 mm.

Такъ какъ скорость канатовъ будетъ

$$u = \frac{6\pi \cdot 50}{60} = 5\pi = 15,7 \text{ m},$$

а передаваемая по окружности маховика сила по уравненію 66 будетъ

$$U = \frac{75 \cdot 800}{15,7} = \sim 3800 \text{ kg},$$

то натяженіе канатовъ, которымъ въ данномъ случаѣ нельзя пренебречь, будетъ

$$D = 3U = 3 \cdot 3800 = \mathbf{11\,400 \text{ kg}}.$$

Допуская наиболѣе невыгодное положеніе кривошиповъ, когда одинъ изъ нихъ составляетъ съ направленіемъ шатуна прямой уголъ, а другой находится недалеко отъ мертваго положенія, причемъ на первый приходится полное давленіе $P = 32000$ kg, а на другой не будетъ почти никакого давленія, мы можемъ реакціи подшипниковъ опредѣлить какъ въ случаѣ вала съ однимъ кривошипомъ. Въ одномъ подшипникѣ сила P возбуждаетъ реакцію

$$32\,000\,\frac{925 + 7000}{7000} = \sim 36\,300 \text{ kg},$$

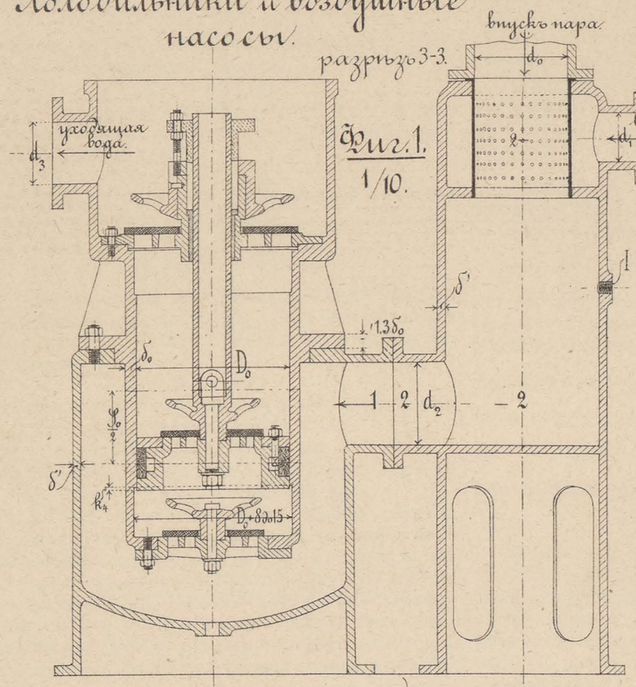
въ другомъ

$$32\,000\,\frac{925}{7000} = \sim 4300 \text{ kg}.$$

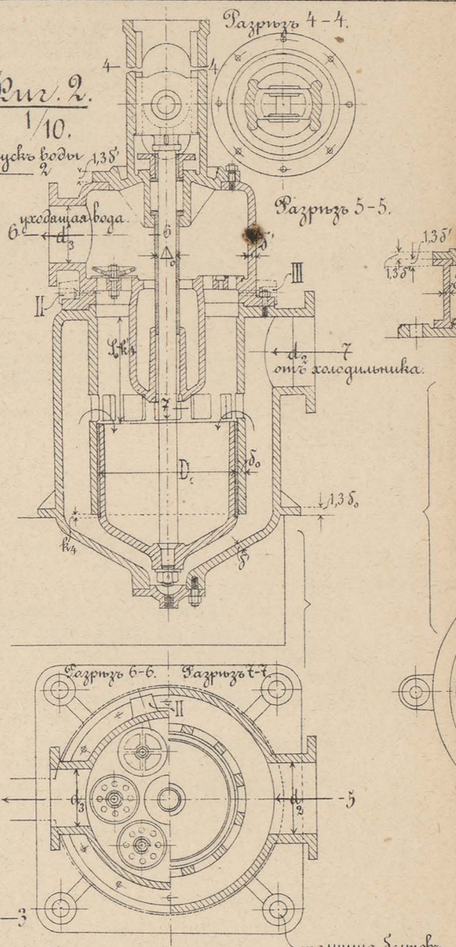
Натяженіе канатовъ распредѣляется поровну на оба подшипника и усиливаетъ при переднемъ ходѣ поршня вызываемую силою P реакцію одного подшипника, при заднемъ ходѣ его—другую. Принявъ направленіе D горизонтальнымъ, получимъ горизонтальную реакцію подшипника вблизи кривошипа,

Холодильники и воздушные насосы.

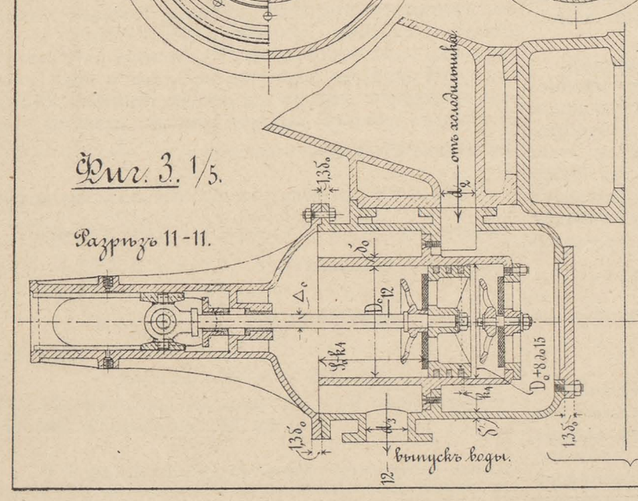
Фиг. 1. 1/10.

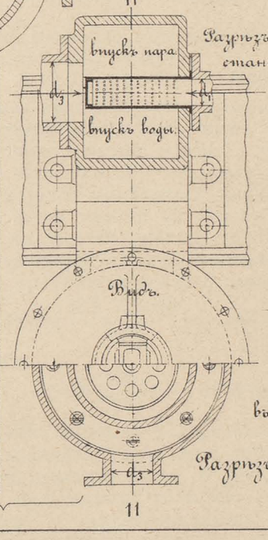


Фиг. 2. 1/10.

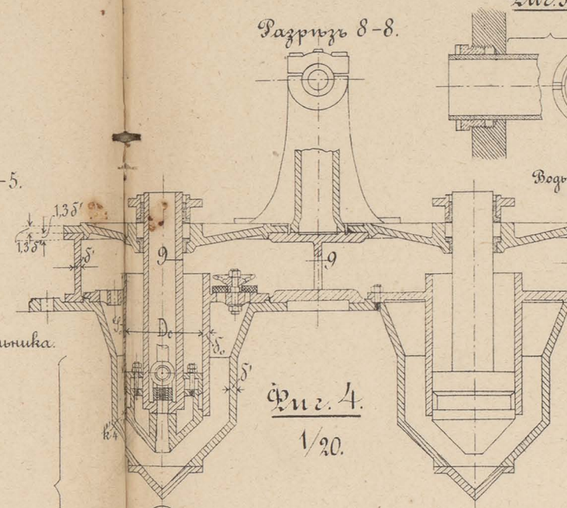


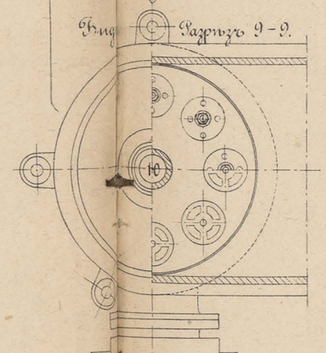
Фиг. 3. 1/5.

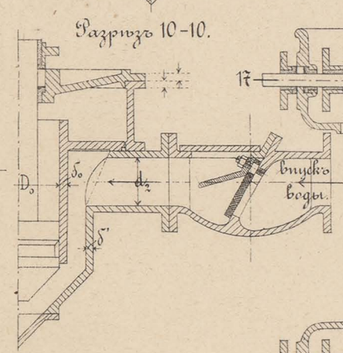




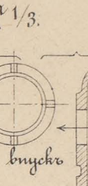
Фиг. 4. 1/20.



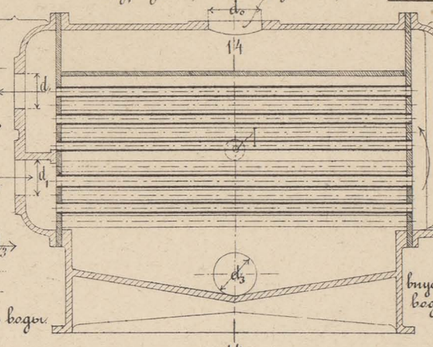


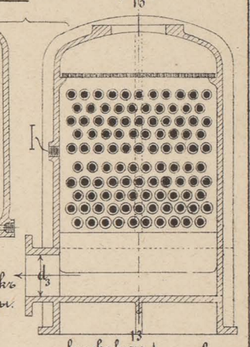


Фиг. 5. 1/3.

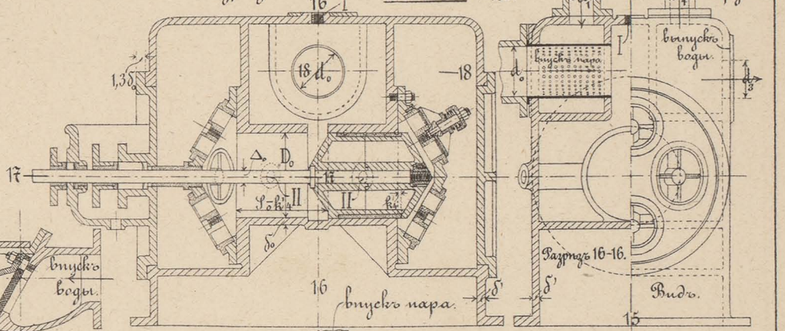


Фиг. 5. 1/20.

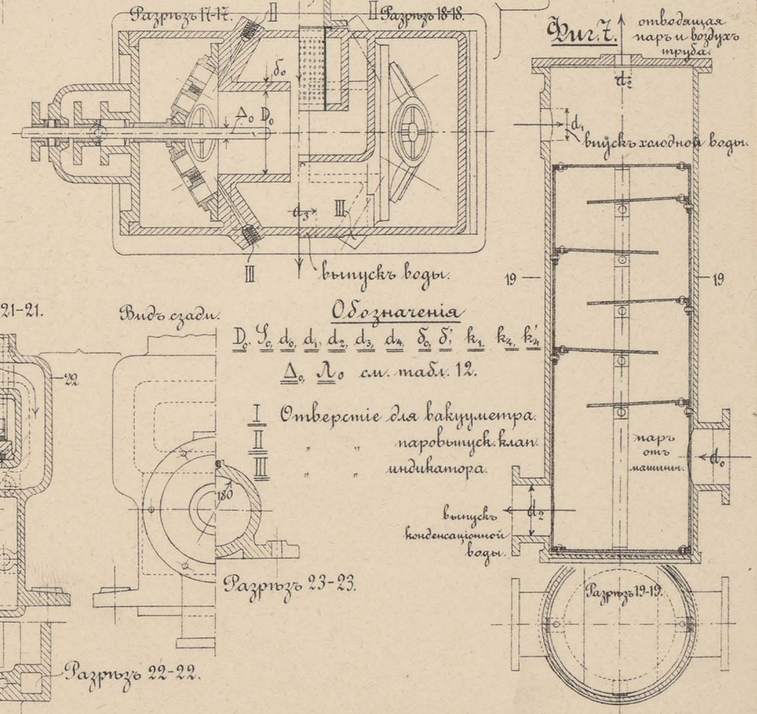




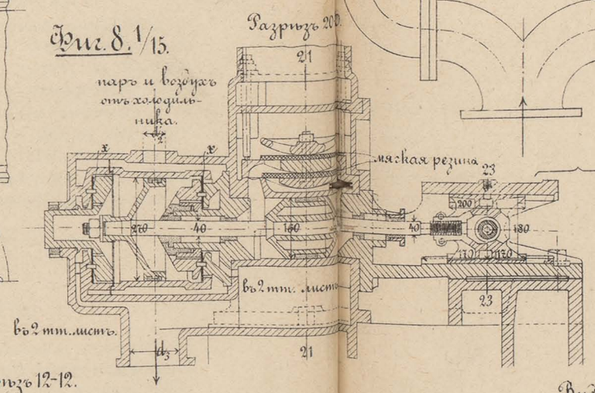
Фиг. 6. 1/20.



Фиг. 7.



Фиг. 8. 1/15.



Обозначенія

D_0 Y_0 d_0 d_1 d_2 d_3 d_4 δ_0 δ' k_1 k_2 k'_2

Δ_0 Λ_0 см. табл. 12.

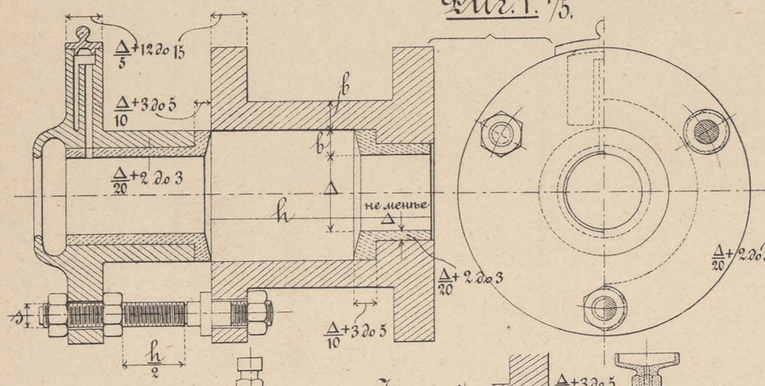
I Отверстіе для вакуумметра.
II " " паровыпускн. клап.
III " " индикатора.

Лит. А. Лейферта С. П. Б.

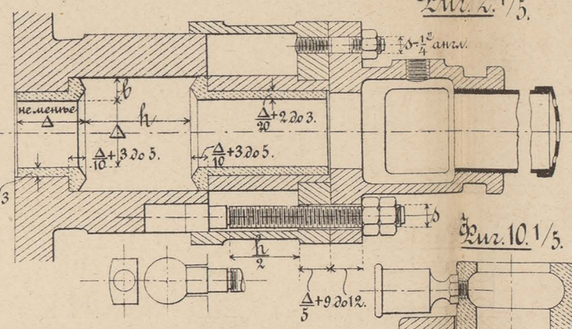
Сальниковыя коробки и направляющія.

Діам. штока:														
$\frac{\Delta}{5}$ =	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150
$\frac{b}{}$ =	0,2 Δ+5 до 7,5				0,2 Δ+3 до 5							0,2 Δ до 0,2 Δ+2		
$\frac{h}{}$ =	Δ+40 до 60				Δ+70 до 80							Δ+80 до 90		
$\frac{\delta}{}$ =	$\frac{1}{2}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{7}{8}$	1	1	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{8}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{4}$" англ.

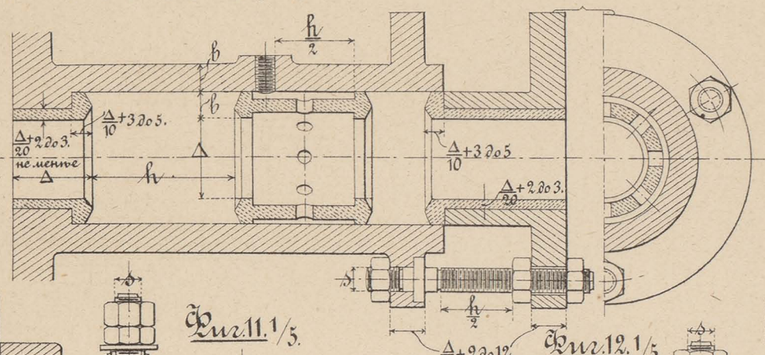
Фиг. 1. 1/5.



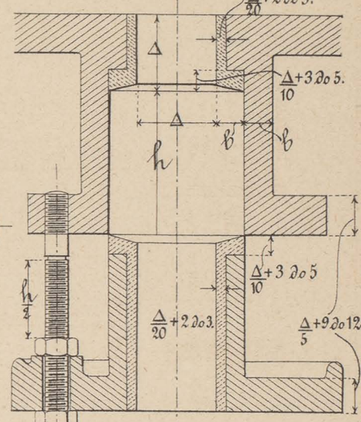
Фиг. 2. 1/5.



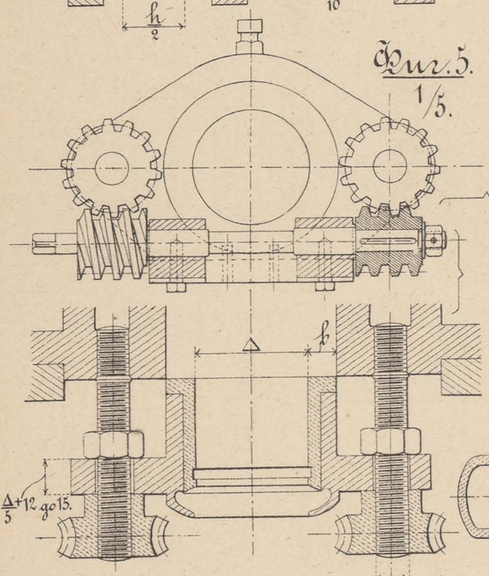
Фиг. 3. 1/5.



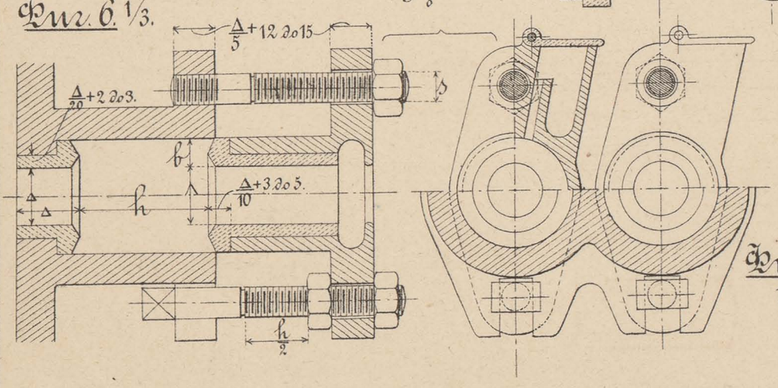
Фиг. 4. 1/5.



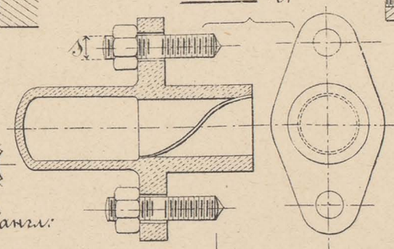
Фиг. 5. 1/5.



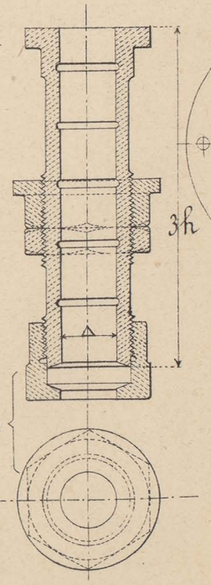
Фиг. 6. 1/3.



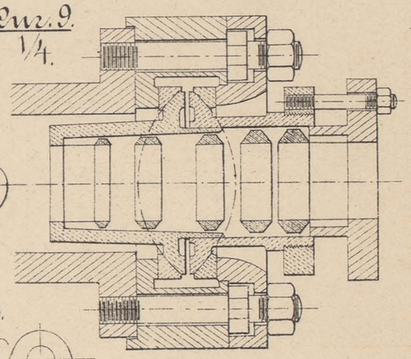
Фиг. 7. 1/3.



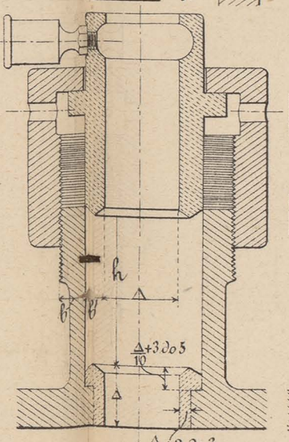
Фиг. 8. 1/3.



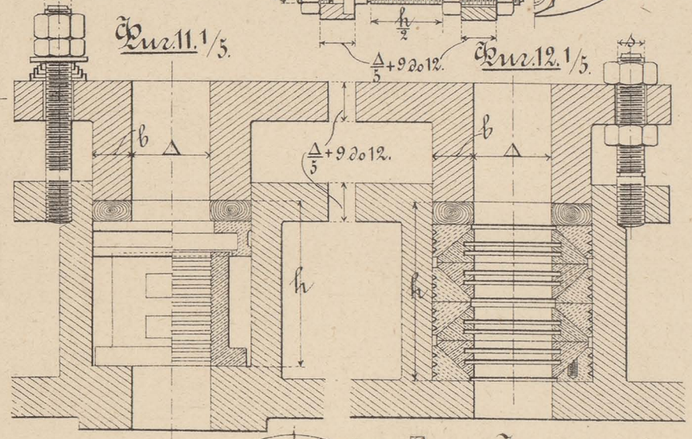
Фиг. 9. 1/4.



Фиг. 10. 1/5.

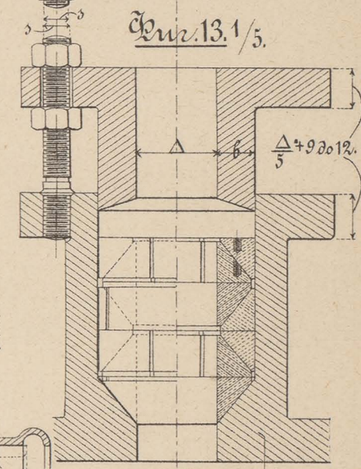


Фиг. 11. 1/5.

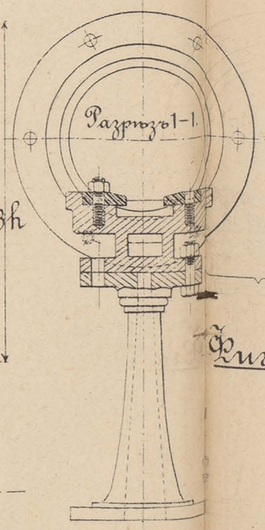


Фиг. 12. 1/5.

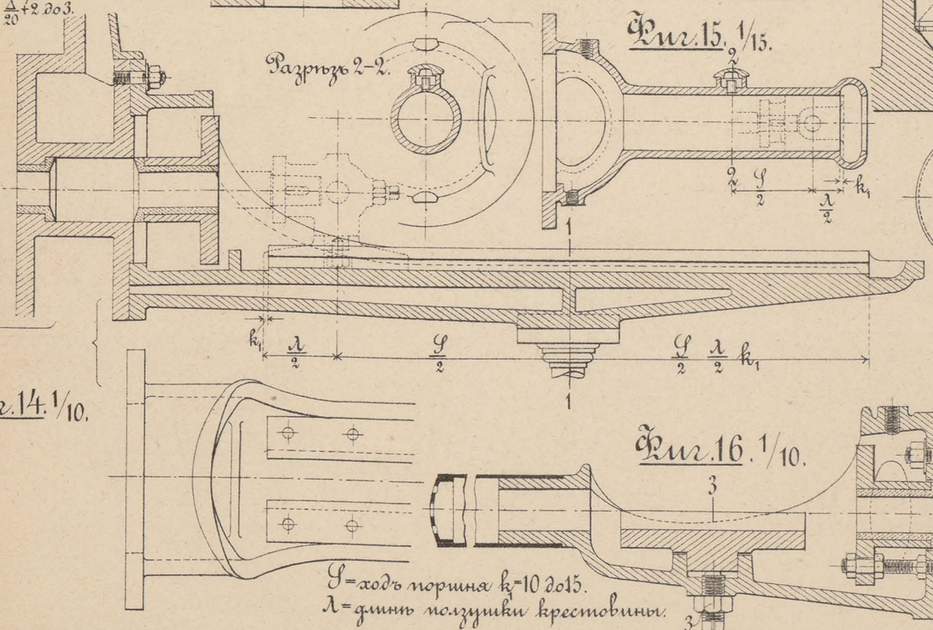
Фиг. 13. 1/5.



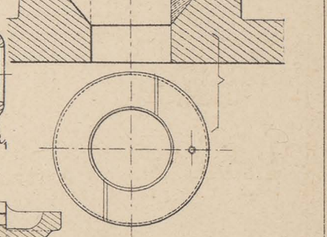
Разрѣзъ 1-1.



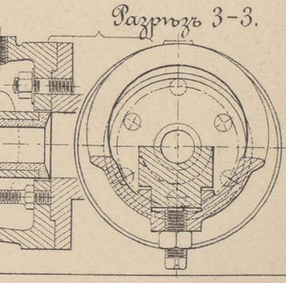
Фиг. 14. 1/10.



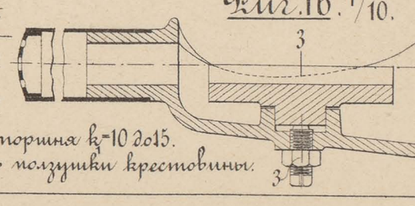
Фиг. 15. 1/15.



Разрѣзъ 3-3.



Фиг. 16. 1/10.

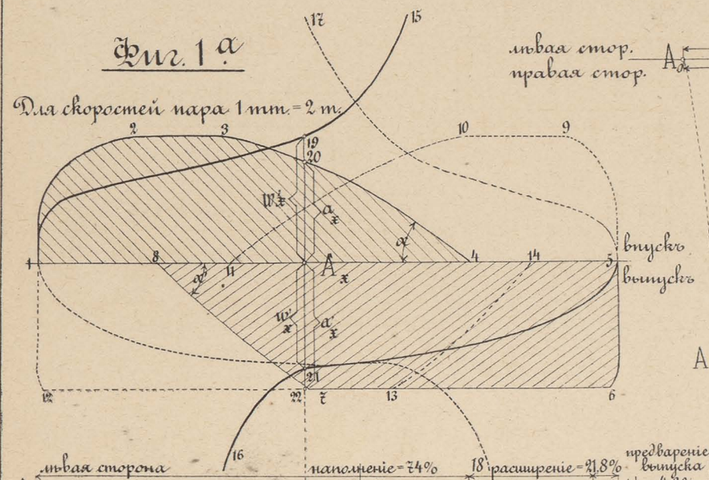


S=ходъ поршня k=10 до 15.
λ=длинѣ ползушки крестовины.

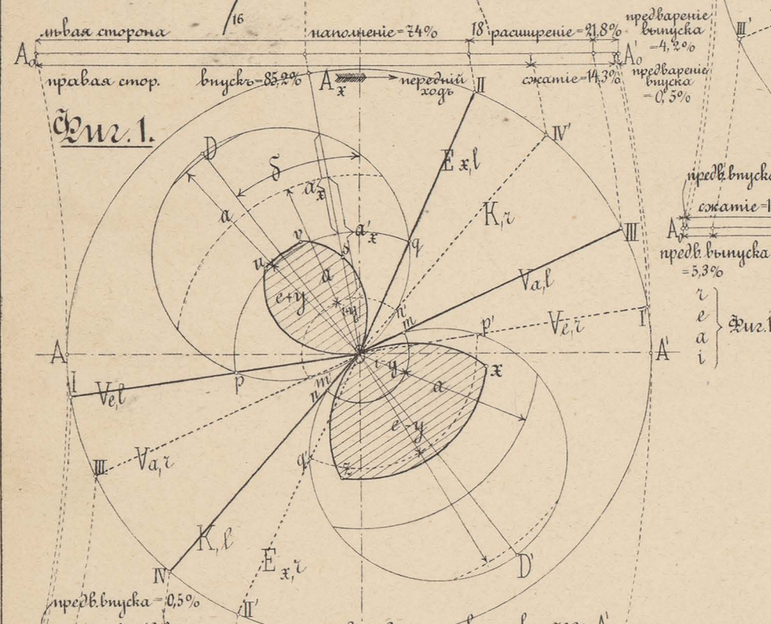
Лит. А. Лейферта, С. П. Б.

Фиг. 1 а

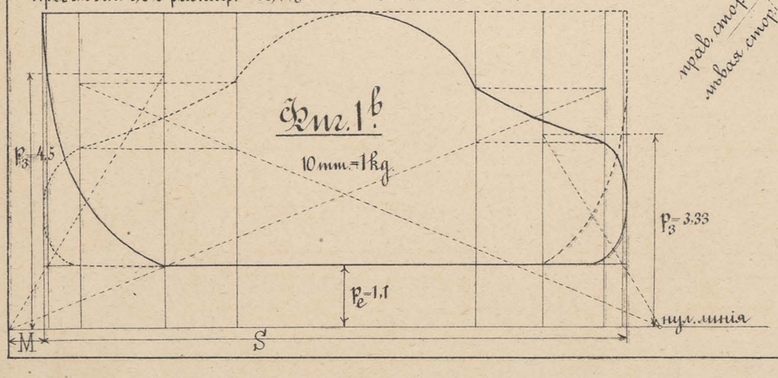
Для скоростей пара 1 mm = 2 m.



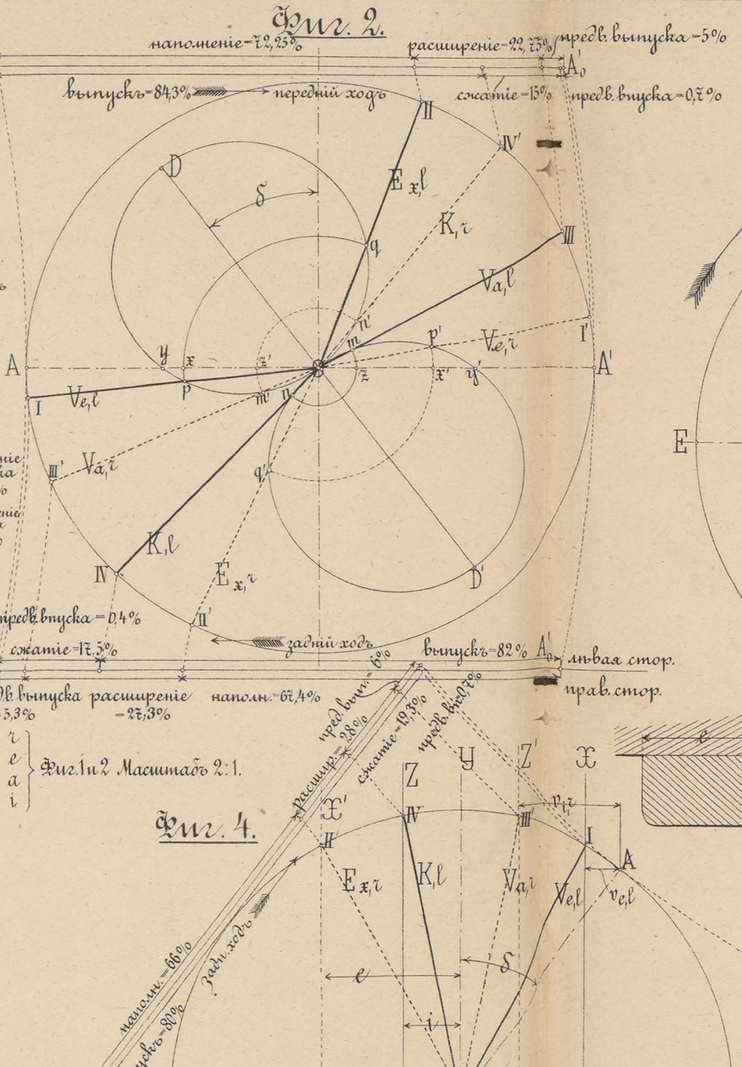
Фиг. 1.



Фиг. 1 в

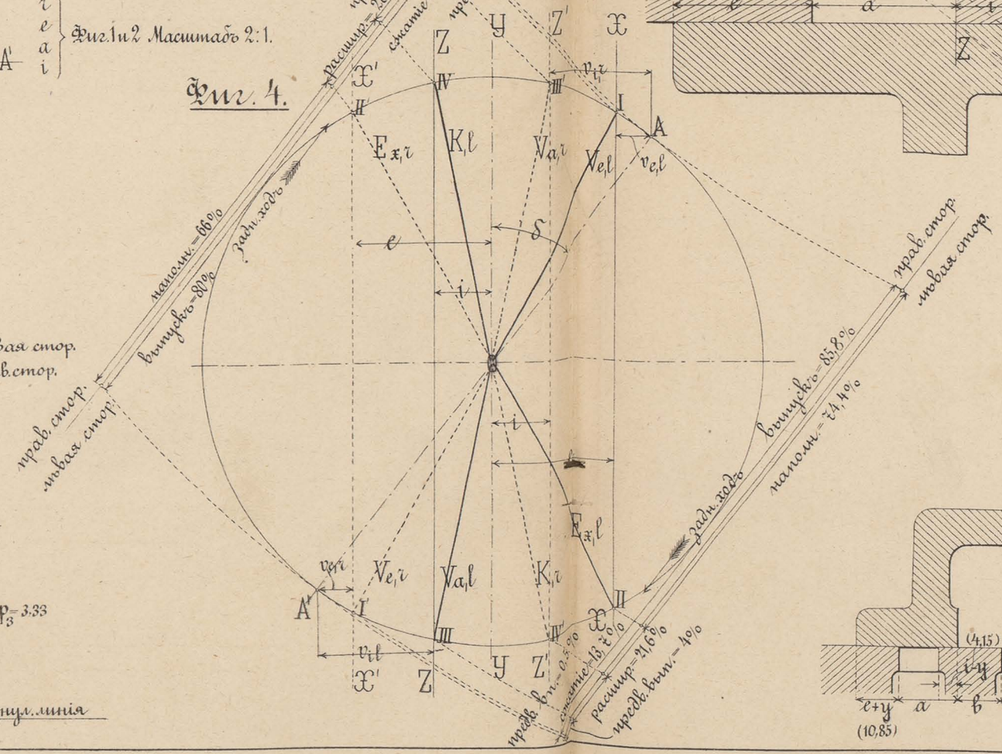


Фиг. 2.

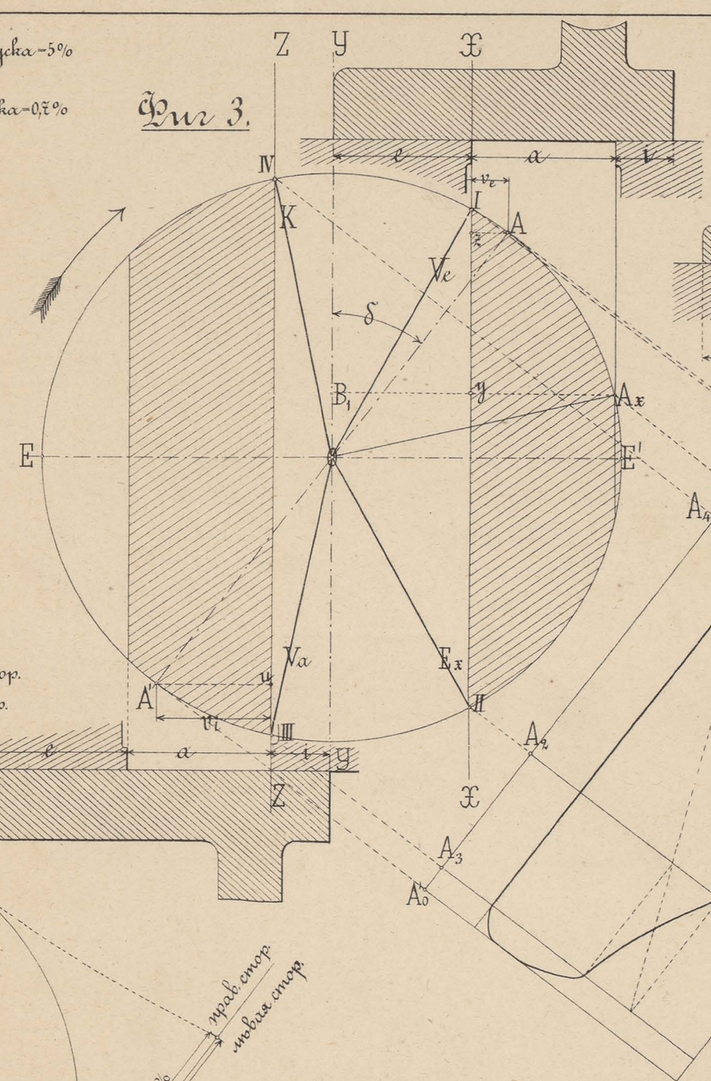


Фиг. 1 и 2 Масштабъ 2:1.

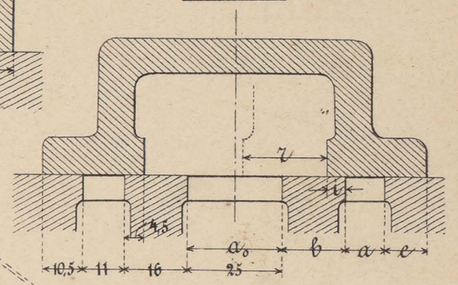
Фиг. 4.



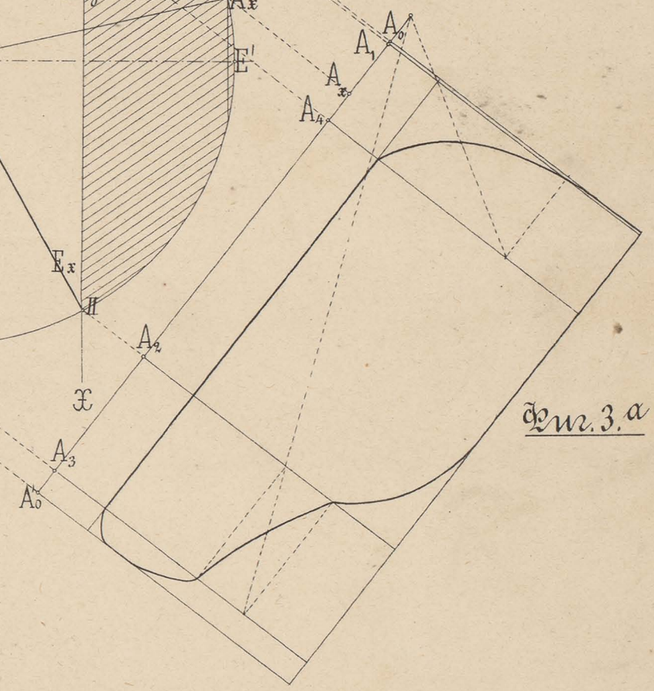
Фиг. 3.



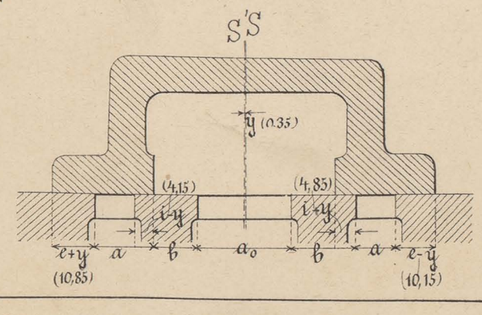
Фиг. 5. 2/3.



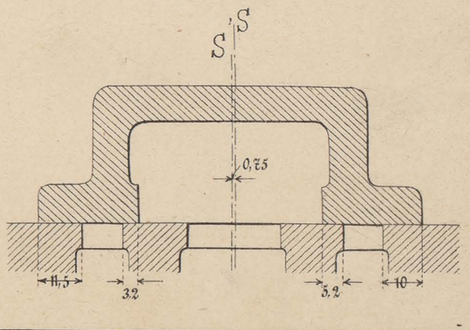
Фиг. 3.а



Фиг. 6. 2/3.



Фиг. 7. 2/3.



Лит. Лейферта С.П.Б.

Парораспредѣленіе Ридера.

D = діам. цилин. въ mm.

δ = толщ. стѣн. цилиндра, δ_2 и δ_4 см. табл. I.

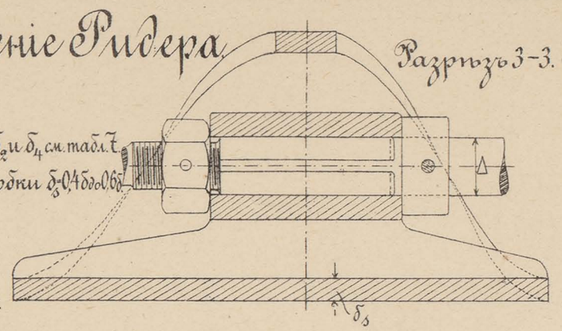
Толщ. стѣн. золотн. коробки δ_3 0,4 до 0,6 δ.

ч и ц. Эксцентр. золотник.

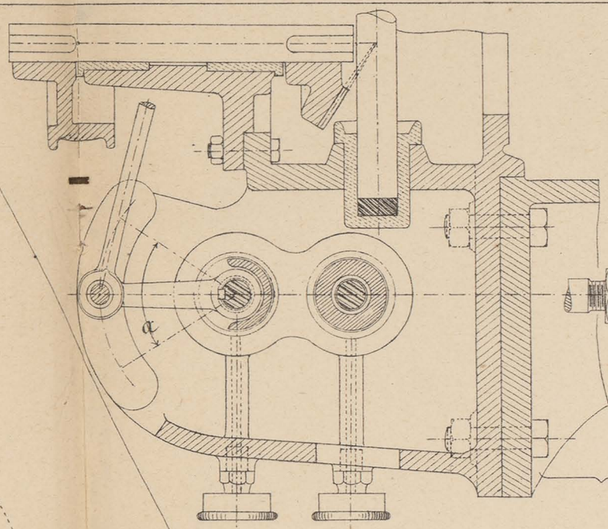
Діаметръ золотн. тяги

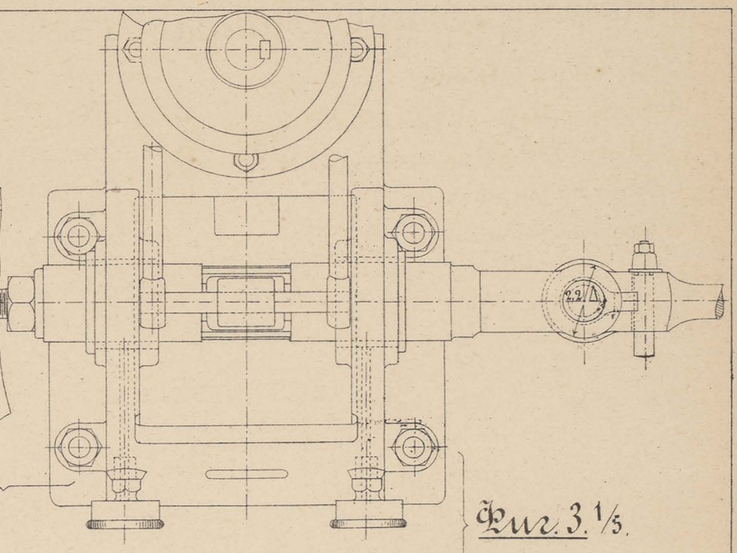
$\Delta = \frac{1}{20} D + 10$ до 14.

Разрѣзъ 3-3.

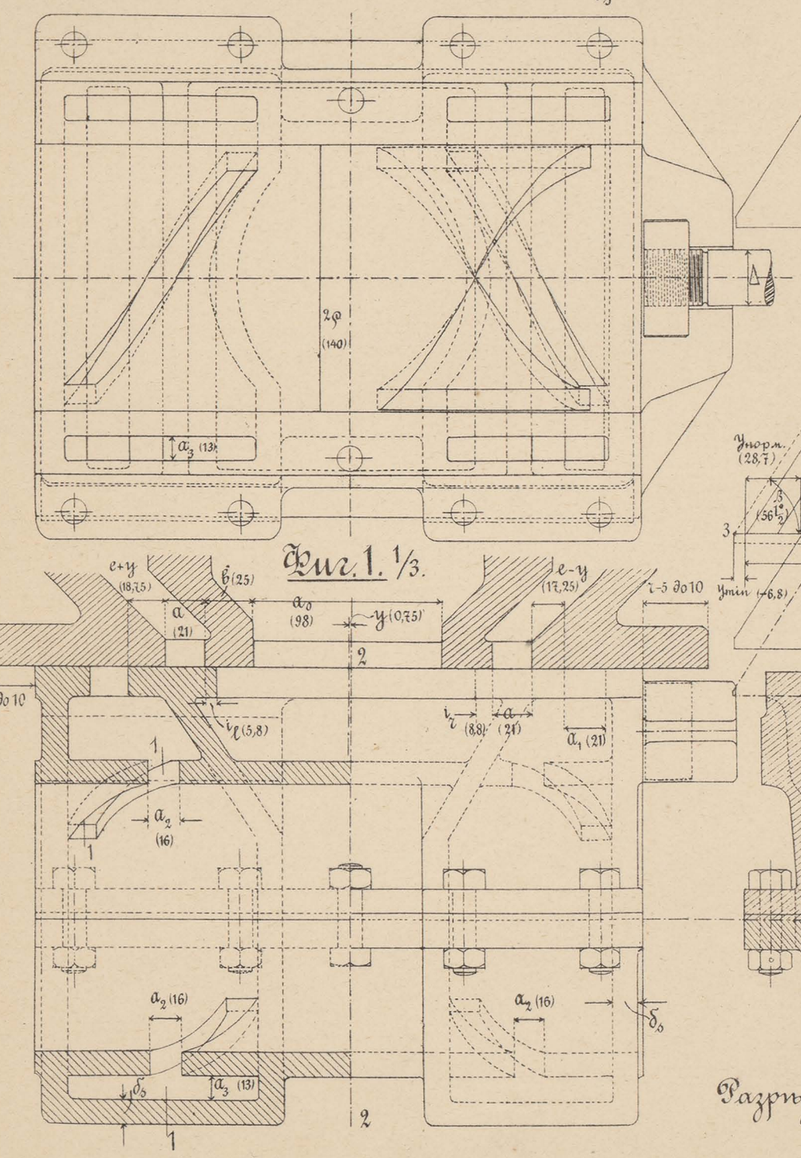


Фиг. 2. 1/3.

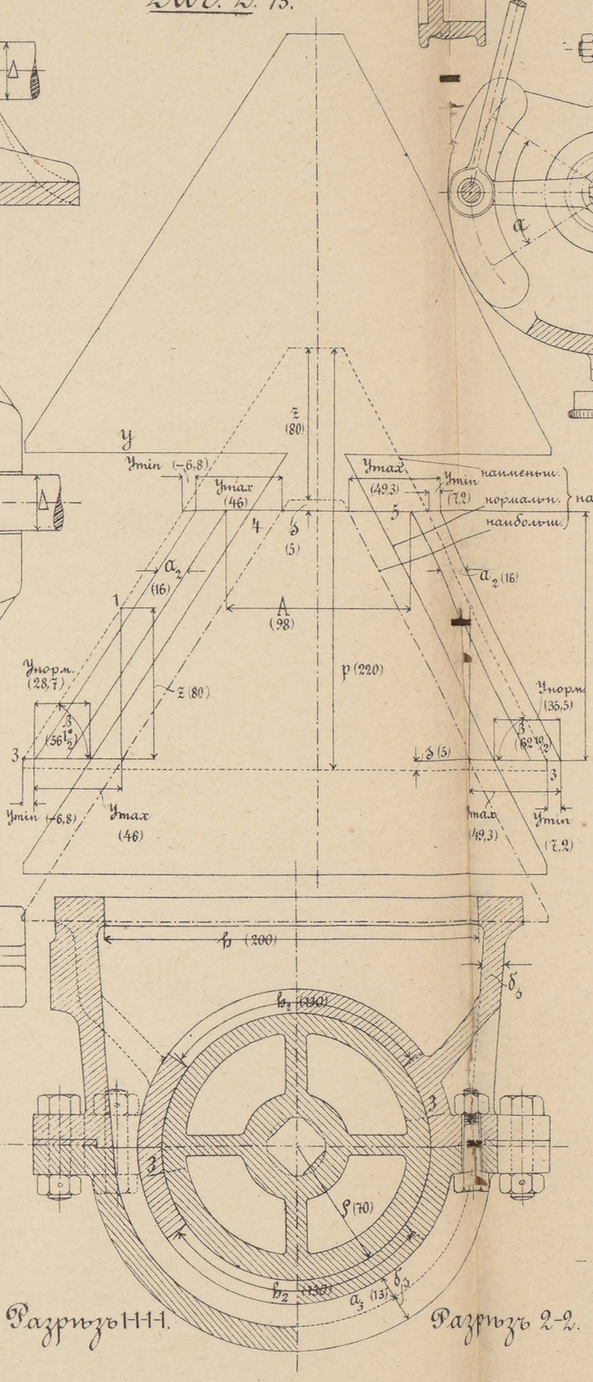




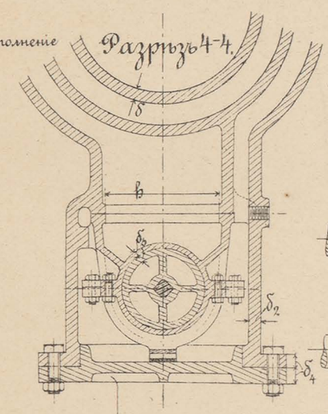
Фиг. 3. 1/3.

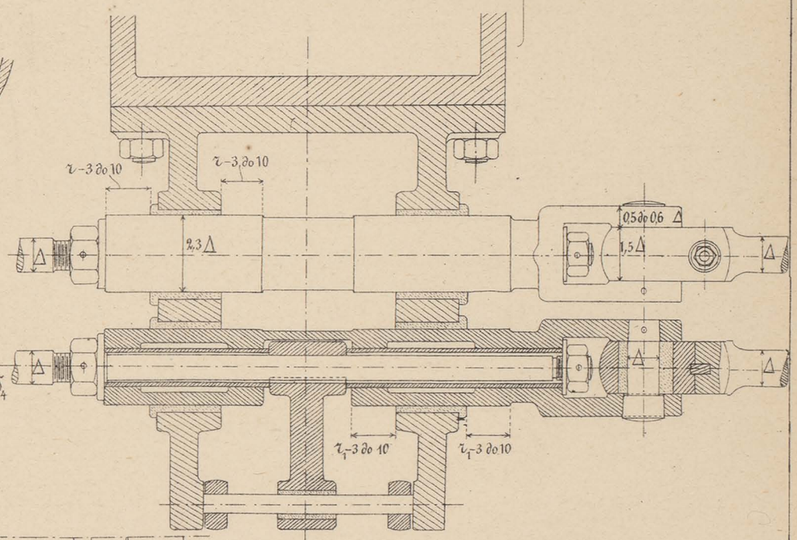


Фиг. 1. 1/3.

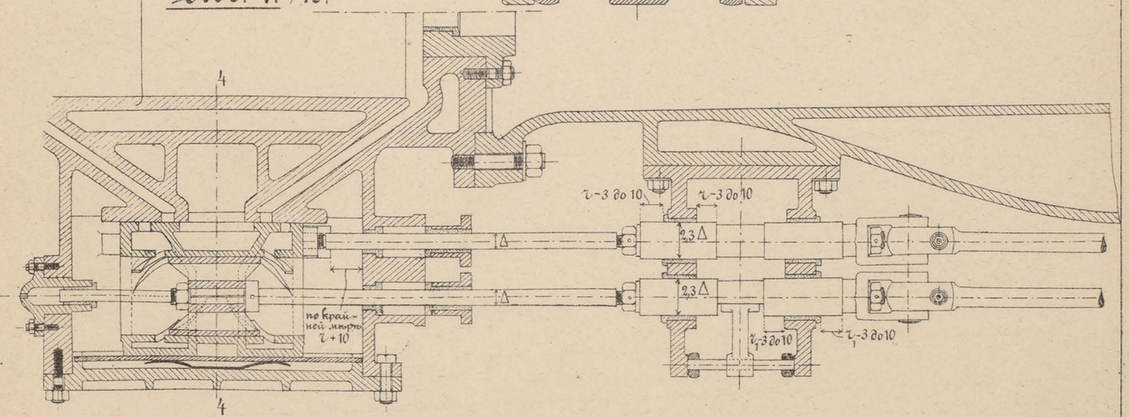


Разрѣзъ 4-4.





Фиг. 4. 1/10.

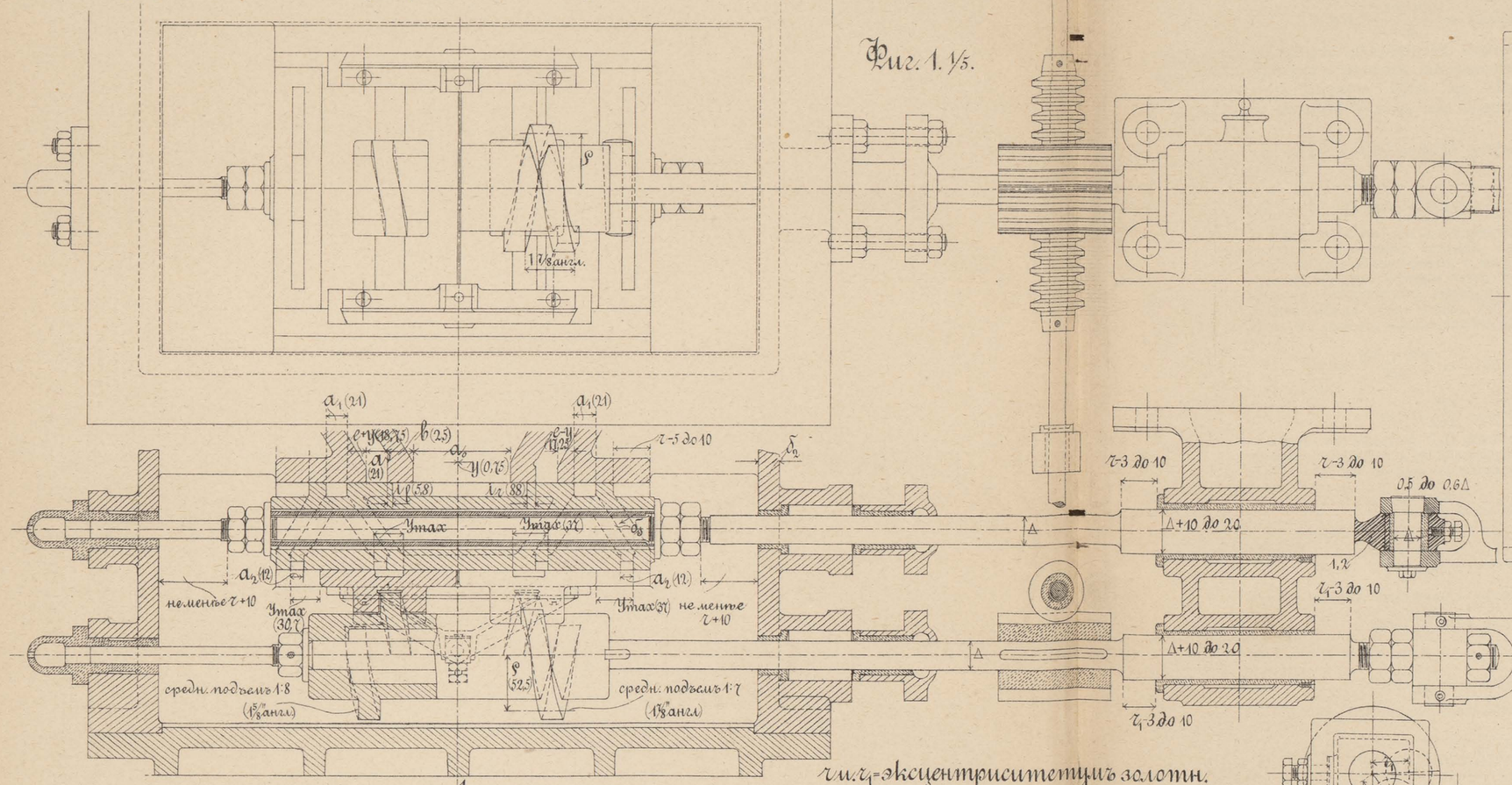


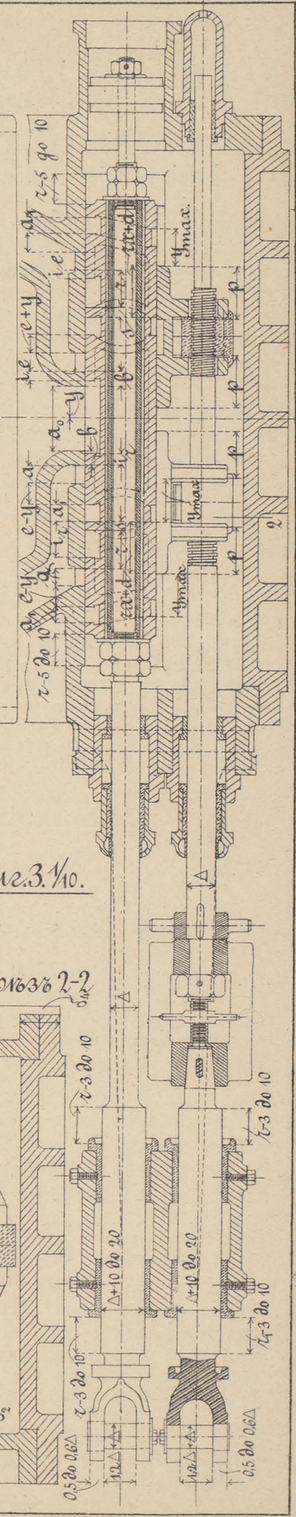
Разрѣзъ 1-1.

Разрѣзъ 2-2.

Парораспредѣленіе Гураудера и Мейера.

Фиг. 1. 1/5.

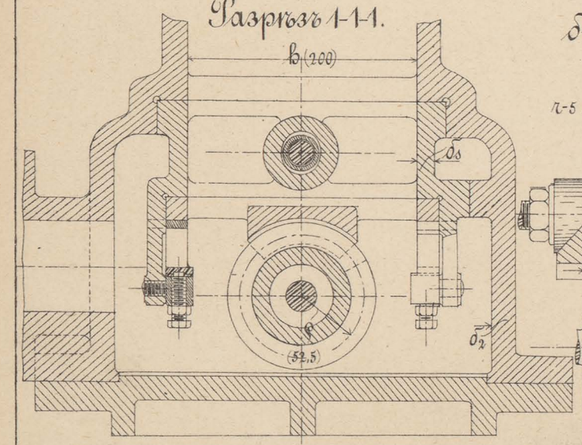


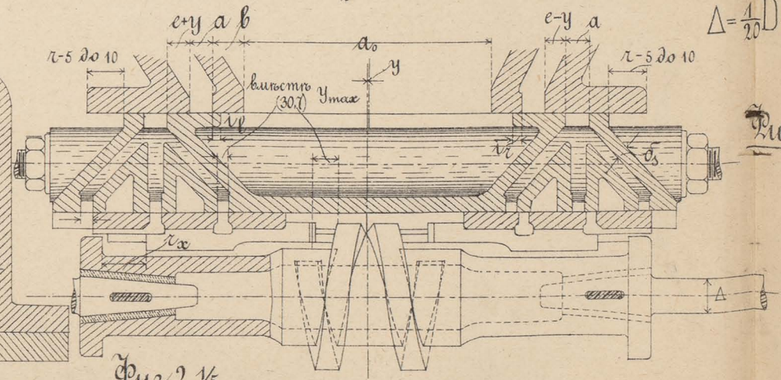


Фиг. 3. 1/10.

Разрѣзъ 2-2.

Разрѣзъ 1-1-1.





Фиг. 2. 1/5.

Фиг. 1a 1/5.

D=діам. цилиндра въ mm.
δ=тащ. стѣн. цилин. δ1 и δ4 см. табл. I. діам. золотник. тяги.
r и r1=эксцентриситеты золотн. тащ. стѣнокъ золотн. δ3=0,4 bis 0,65.
$\Delta = \frac{1}{20}D + 15$ до 17.

Fig. 1 nach Zeichnungen von G. Hubn in Stuttgart.
Fig. 3 nach Zeichnungen der Görlitzer-Maschinenfabrik in Görlitz.

Лит. Лейферта С.П.Б.

Дозволено Цензурою. С.-Петербургъ. 12-го Августа 1901 г.

направленнаго перпендикулярно къ шатуну, равную

$$36\,300 + \frac{11\,400}{2} = 42000 \text{ kg}$$

и горизонтальную реакцію другого подшипника, равную

$$4\,300 + \frac{11\,400}{2} = 10\,000 \text{ kg}.$$

Вѣсъ обоихъ маховиковъ возбуждаетъ въ обоихъ подшипникахъ реакцію, направленную вертикально кверху и равную 9000 kg. Равнодѣйствующая обѣихъ реакцій будетъ для одного подшипника

$$R_1 = \sqrt{42\,000^2 + 9000^2} = \sim \mathbf{43\,000 \text{ kg}},$$

для другого

$$R_2 = \sqrt{10\,000^2 + 9000^2} = \sim \mathbf{13\,450 \text{ kg}}.$$

Предположивъ, что подшипникъ, около котораго находится кривошипъ, стоящій недалеко отъ своего мертваго положенія, снятъ, а вторымъ подшипникомъ служитъ средній, реакціи этихъ подшипниковъ опредѣлятся слѣдующимъ образомъ. Разстояніе между подшипниками равно теперь 3500 mm., сила P возбуждаетъ въ одномъ подшипникѣ горизонтальную реакцію равную

$$32\,000 \frac{925 + 3500}{3500} = \sim 40460 \text{ kg}.$$

въ другомъ

$$32\,000 \frac{925}{3500} = \sim 8460 \text{ kg}.$$

Натяженіе канатовъ $^1/_2$D одного маховика, середина котораго отстоитъ отъ средняго подшипника на 1000 mm, вызываетъ въ одномъ подшипникѣ горизонтальную реакцію

$$\frac{11\,400}{2} \frac{1000}{3500} = \sim 1630 \text{ kg},$$

а въ другомъ

$$\frac{11\,400}{2} \frac{2500}{3500} = \sim 4070 \text{ kg}.$$

Вѣсъ маховика возбуждаетъ вертикальную реакцію

$$9000 \frac{1000}{3500} = \sim 2570 \text{ kg}$$

въ одномъ подшипникѣ и

$$9000 \frac{2500}{3500} = \sim 6430 \text{ kg},$$

въ другомъ. Такимъ образомъ равнодѣйствующія реакціи будутъ

$$R_1 = \sqrt{(4046 + 1630)^2 + 2570^2} = \sim 42\,200 \text{ kg},$$

и

$$R_2 = \sqrt{(8460 + 4070)^2 + 6430^2} = \sim 14\,100 \text{ kg}.$$

Изгибающій моментъ для цапфы вала, около которой находится кривошипъ, направленный перпендикулярно къ шатуну, будетъ

$$M_u = Pa,$$

а крутящій моментъ будетъ

$$M_k = PR,$$

При $\alpha = \frac{a}{R} = \frac{925}{625} = 1{,}48$ и $k_b = 5$, уравненіе 82 даетъ

$$d_1 = 0{,}63 \sqrt[3]{32\,000 \cdot 625 \left(3 \cdot 1{,}48 + 5\sqrt{1 + 1{,}48^2}\right)} =$$

$$= \sim 405 \text{ mm}.$$

или, какъ принято въ дѣйствительности (см. выноску на стр. 104),

$$d_1 = \mathbf{400 \text{ mm}}.$$

Длина цапфы вала должна удовлетворять равенствамъ 85, 87 и 89. При

$$l_1 = \mathbf{850 \text{ mm}},$$

уравненіе 85 даетъ отношеніе

$$\frac{l_1}{d_1} = \frac{850}{400} = \mathbf{2{,}125},$$

уравненіе 87 даетъ давленіе на единицу площади

$$p = \frac{R_1}{l_1 d_1} = \frac{43000}{400 \cdot 850} = \sim \mathbf{0{,}127 \text{ kg}},$$

а уравненіе 89 работу тренія

$$A_z = \frac{R_1 n}{300000 \cdot l_1} = \frac{43000 \cdot 50}{300000 \cdot 850} = \sim \mathbf{0{,}0084 \text{ kgmm}},$$

величины, соотвѣтствующія вполнѣ указаніямъ, сдѣланнымъ на страницѣ 96.

Предполагая, что средній подшипникъ отсутствуетъ, валъ, при разсматриваемомъ положеніи его, подвергался бы въ серединѣ этого подшипника дѣйствію изгибающаго момента реакціи R_2 и крутящаго момента PR. Діаметръ вала въ этомъ мѣстѣ d_3 получится, если въ уравненіе подставить вмѣсто b разстояніе $\frac{7000}{2} = 3500$ mm и если k_b положить равнымъ 5. Такъ при $Py = 32000 \cdot 625 = 20000000$ и $R_2 b = 13450 \cdot 3500 = 47075000$ kgmm, будетъ

$$d_3 = \sqrt[3]{0{,}75 \cdot 47075000 + 12{,}5\sqrt{47075000^2 + 20000000^2}}$$

$$= \sim 460 \text{ mm}.$$

Въ дѣйствительности (см. выноску на стр. 104) этотъ размѣръ принятъ

$$d_3 = \mathbf{450 \text{ mm}}.$$

Давленіе на среднюю цапфу, понятно, опредѣлить нельзя. Однако это давленіе никогда не будетъ болѣе двойной величины $R_2 = 14100$ kg. Такая величина реакціи (двойная) соотвѣтствовала бы двумъ одноцилиндровымъ машинамъ, имѣющимъ общій задній подшипникъ. Принявъ эту величину реакціи, изъ равенствъ 87 и 89 имѣемъ, при длинѣ средней цапфы

$$l_3 = \mathbf{700 \text{ mm}},$$

давленіе на единицу площади

$$p = \frac{28200}{450 \cdot 700} = \mathbf{0{,}09 \text{ kg}},$$

и работу тренія

$$A_z = \frac{28200 \cdot 50}{300000 \cdot 700} = \sim \mathbf{0{,}0067 \text{ kgmm}},$$

если вмѣсто d_1 и l_1 подставить d_3 и l_3, а вмѣсто R_1 подставить величину $2 \cdot 14100 = 28200$ kg. Обѣ полученныя величины менѣе допускаемыхъ предѣловъ.

Въ томъ мѣстѣ, гдѣ сидятъ маховики, діаметръ вала увеличенъ изъ конструктивныхъ соображеній до 500 mm.

4. Опредѣлить діаметръ поршневого штока большого цилиндра компаундъ-машины, приведенной въ примѣрѣ 5 на страницѣ 86, полезная работа которой равна 150 лошад. силъ?

Діаметръ цилиндра равенъ 77 cm. Наибольшее рабочее давленіе пара на 1 cm^2 площади поршня по діаграммамъ на табл. 29 равно

$$p_u = 1{,}5 \text{ kg}.$$

Такъ какъ, при ходѣ S = 0,9 m, отношеніе хода поршня къ діаметру цилиндра будетъ

$$\frac{90}{77} = \sim 1{,}2$$

то, разсчитывая поперечное сѣченіе штока на сопротивленіе сжатію по уравненію 71 (примѣнимому

въ тѣхъ случаяхъ когда величина этого отношенія лежитъ въ предѣлахъ отъ 1 до 2), діаметръ штока будетъ

$$\triangle = \sim 0{,}8 \cdot 62{,}5 \sqrt[4]{1{,}5} = \sim 56 \text{ mm}.$$

Однако при такомъ размѣрѣ штока прогибъ его f, разсчитанный по равенству 72, былъ бы слишкомъ великъ. Чтобы этотъ прогибъ не превосходилъ допускаемаго предѣла отъ 1 до 1,5 mm, необходимо $\triangle$ нѣсколько увеличить. Для

$$\triangle = \mathbf{100 \text{ mm}}$$

вѣсъ штока, при длинѣ его между двумя ползунами $L_0' = 2600\ S$ mm, будетъ

$$G_1 = 1^2 \frac{\pi}{4} 26 \cdot 0{,}9 \cdot 7{,}9 = 145 \text{ kg}.$$

Если принять вѣсъ поршня

$$G_2 = 300 \text{ kg},$$

то изъ равенства 72 получимъ прогибъ

$$f = 366000 \frac{\sqrt[3]{0{,}9}}{\sqrt[4]{100}} \left(\frac{5}{8} 145 + 300 \right) = \sim \mathbf{1 \text{ mm}}.$$

5. Опредѣлить размѣры двуколѣнчатаго вала, представленнаго на фиг. 13, табл. 19, спроектированнаго инженеромъ C. Sondermann въ Штутгартѣ для компаундъ-машины, доставляющей, при абсолютномъ давленіи свѣжаго пара въ 11 атм., наибольшую работу въ 300 лошадиныхъ силъ?

Діаметръ малаго цилин. равенъ 300 mm,
» большого » » 480 »
ходъ обоихъ поршней равенъ 480 mm, число оборотовъ машины въ минуту равно 200.

Чтобы составить себѣ приблизительное понятіе объ измѣненіи давленія на оба поршня, примемъ, что паръ въ большомъ цилиндрѣ можетъ расширяться до 0,8 атм. вслѣдствіе того, что охлажденіе пара производится пароструйнымъ холодильникомъ Кёртинга. Въ такомъ случаѣ, теоретически, давленіе въ началѣ расширенія въ большомъ цилиндрѣ должно бы быть

$$0{,}8 \frac{V}{v} = 0{,}8 \frac{\sqrt[2]{48}}{\sqrt[2]{30}} = \sim 0{,}8 \frac{23}{9} = \sim 2 \text{ атм}.$$

Принимая во вниманіе вліяніе вредныхъ пространствъ и остальныхъ періодовъ парораспредѣленія, въ особенности большихъ предвареній выпуска пара, (которыя здѣсь необходимо будутъ, такъ какъ парораспредѣлительный приборъ одинъ), слѣдуетъ принять давленіе пара при впускѣ въ большой цилиндръ для дальнѣйшаго разсчета кругло равнымъ 3 атм. Въ такомъ случаѣ наибольшее рабочее давленіе пара на малый поршень будетъ 8 атм. или наибольшее общее давленіе на поршень

$$P_1 = \sqrt[2]{30}^2 \frac{\pi}{4} \cdot 8 = \sim 5600 \text{ kg}.$$

На большой поршень при давленіи пара со стороны выпуска въ 0,3 атм. соотвѣтствующее общее давленіе будетъ

$$P_2 = \sqrt[2]{48}^2 \frac{\pi}{4} (3 - 0{,}3) = \sim 4860 \text{ kg}.$$

Для разсчета діаметра вала вычислимъ по уравненію 109 наибольшій скручивающій валъ моментъ при $m = 1{,}35$

$$M_k = 716200 \frac{300}{200} 1{,}35 = \sim 1450000 \text{ kgmm},$$

а по равенству 110, полагая $P = P_1 = 5600$ kg и $y_1 = y_2 = \frac{1}{2} x = 320$ mm, составимъ наибольшій изгибающій моментъ (не принимая во вниманіе вѣса маховика, сидящаго вблизи большого цилиндра)

$$M_и = 5600 \frac{320 \cdot 320}{640} = 896000 \text{ kg}.$$

По этимъ величинамъ и полагая $k = 5$ для литой стали, опредѣлимъ діаметръ вала изъ равенства 111

$$d = \sqrt[3]{0{,}75 \cdot 896000 + 1{,}25 \sqrt{896000^2 + 1450000^2}} = \sim 140 \text{ mm}.$$

Въ дѣйствительности этотъ размѣръ, соотвѣтственно $k_b = 6$, сдѣланъ равнымъ

$$d = 140 \sqrt[6]{\frac{5}{6}} = \mathbf{132 \text{ mm}}.$$

Принимая $A_z = 0{,}028$, что возможно допустить только при весьма тщательномъ выполненіи машины и при хорошемъ уходѣ за ней, получимъ длину цапфы кривошипа изъ уравненія 104, при $P = P_1 = 5600$ kg,

$$l \geqq \frac{5600 \cdot 200}{300000 \cdot 0{,}028} = 133 \text{ mm}.$$

Въ дѣйствительности эта длина взята

$$l = \mathbf{136 \text{ mm}}.$$

Давленіе на единицу площади изъ уравненія 103 при этомъ равно

$$p = \frac{5600}{132 \cdot 136} = \mathbf{0{,}3 \text{ kg}}.$$

Въ главныхъ подшипникахъ наибольшія величины реакцій не будутъ превосходить $P = R_1 = 5600$ kg. Не желая превзойти указанное при равенствѣ 196 предѣльное значеніе для p равное 0,15 kg, длина вкладышей подшипниковъ должна быть

$$l = 2 \cdot 136 = \mathbf{272 \text{ mm}},$$

имѣя въ виду, что діаметръ вала въ этомъ мѣстѣ также равенъ 132 mm. Въ исполненной машинѣ вкладыши дѣйствительно имѣютъ эту длину. По уравненію 106 при $A_z = 0{,}015$, эта длина получается только равною

$$l = \frac{5600 \cdot 200}{300000 \cdot 0{,}015} = \sim 250 \text{ mm}.$$

Поперечное сѣченіе колѣнъ вала изъ уравненія 112

$$bh \geqq 1{,}1 \cdot \sqrt[2]{132}^2 \frac{\pi}{4} 15050 \text{ mm}^2.$$

Полагая толщину $b = \mathbf{100 \text{ mm}}$, имѣемъ ширину колѣна

$$h \geqq \sim 150 \text{ mm}.$$

Въ дѣйствительности взято

$$h = \mathbf{160 \text{ mm}}.$$

6. Машиностроительный заводъ J. A. Maffei въ Мюнхенѣ построилъ для электротехническаго завода этого города вертикальную машину тройного расширенія съ тремя кривошипами, заклиненными подъ угломъ 120° другъ къ другу, имѣющую слѣдующіе главные размѣры:

діаметръ малаго цилиндра равенъ 490 mm.
» средняго » » 800 mm.
» большого » » 1180 mm.
общій ходъ поршней 600 mm и число оборотовъ въ минуту 120.

Машина снабжена холодильникомъ и, при абсолютномъ давленіи свѣжаго пара въ 10 атм., доставляетъ наибольшую индикаторную работу, равную 840 лош. силамъ. Вѣсъ маховика равенъ 8600 kg. Валъ съ тремя колѣнами представленъ на фиг. 14, табл. 19. Опредѣлить размѣры вала?

Для приблизительнаго опредѣленія рабочихъ давленій пара допустимъ, что паръ во всѣхъ трехъ цилиндрахъ расширяется до давленія 0,45 атм. Въ такомъ случаѣ, давленіе пара въ началѣ расширенія въ большомъ цилиндрѣ будетъ

$$0{,}45\frac{V}{V'} = 0{,}45\frac{\overline{118}^2}{\overline{80}^2} = \sim 1 \text{ атм.}$$

Принимая во вниманіе вредныя пространства, потери въ давленіи пара и т. п., мы можемъ принять давленіе пара при впускѣ въ большой цилиндръ равнымъ 1,2 атм. Тогда наибольшее рабочее давленіе пара при давленіи его при выпускѣ, равномъ 0,2 атм., будетъ

$$1{,}2 - 0{,}2 = 1 \text{ атм.}$$

Наибольшее давленіе на рабочую сторону поршня будетъ

$$P_3 = 1 \cdot \overline{118}^2 \frac{\pi}{4} = \sim 11000 \text{ kg.}$$

Далѣе, принявъ давленіе въ концѣ расширенія пара въ среднемъ цилиндрѣ равнымъ 1,5 атм., давленіе въ началѣ расширенія пара будетъ

$$1{,}2\frac{V'}{v} = 1{,}2\frac{\overline{80}^2}{\overline{49}^2} = 3{,}2 \text{ атм.}$$

Подобно предыдущему примемъ давленіе пара при впускѣ въ средній цилиндръ равнымъ 3,7 атм. и соотвѣтственно тому наибольшее рабочее давленіе пара въ среднемъ цилиндрѣ будетъ

$$3{,}7 - 1{,}2 = 2{,}5 \text{ атм,}$$

а полное рабочее давленіе на средній поршень

$$P_2 = 2{,}5 \cdot \overline{80}^2 \frac{\pi}{4} = \sim 12500 \text{ kg.}$$

Рабочее давленіе пара въ маломъ цилиндрѣ будетъ

$$10 - 3{,}7 = 6{,}3 \text{ атм.}$$

и полное рабочее давленіе его

$$P_1 = 6{,}3 \cdot \overline{49}^2 \frac{\pi}{4} = \sim 11900 \text{ kg.}$$

Хотя предыдущія вычисленія и не особенно точны, но они даютъ намъ возможность принять, что наибольшія общія рабочія давленія на поршни малаго и большого цилиндровъ не превосходятъ

$$P_1 = P_3 = \mathbf{12000 \text{ kg}},$$

а на поршень средняго цилиндра

$$P_2 = \mathbf{13000 \text{ kg}}.$$

Для повѣрки могутъ также служить діаграммы (фиг. 3, табл. 30), построенныя для начальнаго давленія пара въ 10 атм. и приблизительно для тѣхъ же отношеній объемовъ цилиндровъ.

Изъ уравненія 109, при $m = 1{,}3$, получимъ наибольшій скручивающій валъ моментъ

$$M_к = 716200\frac{840}{120}1{,}3 = \sim 6517000 \text{ kgmm,}$$

Для опредѣленія наибольшаго изгибающаго валъ момента надо вычислить его сначала для давленія $P_1 = P_3$, а потомъ для давленія P_2, принимая во вниманіе вѣсъ маховика. Въ первомъ случаѣ, изъ уравненія 110, при $y_1 = 800$, $y_2 = 670$ и $x = 1470$ (малый цилиндръ) получимъ

$$M_и = 12000\frac{800 \cdot 670}{1470} = \sim 4375000 \text{ kgmm.}$$

а при $y_1 = y_2 = 830$ и $x = 2.830 = 1660$ mm (большой цилиндръ).

$$M_и = 12000\frac{830 \cdot 830}{1660} = 4980000 \text{ kgmm.}$$

Во второмъ случаѣ, когда принимается во вниманіе средній цилиндръ съ близъ его стоящимъ маховикомъ, имѣемъ изъ уравненія 110 при $P_2 = 13000$ kg, $y_1 = 670$, $y_2 = 1050$ и $x = 1720$ mm величину изгибающаго момента отъ давленія P_2.

$$M_и = 13000\frac{670 \cdot 1050}{1720} = \sim 5300000 \text{ kgmm.}$$

Этотъ моментъ увеличивается моментомъ отъ вѣса маховика. Принимая, что давленіе отъ вѣса маховика передается только на два, расположенные около послѣдняго, подшипника, средины которыхъ отстоятъ отъ средины маховика на 580 и 2300 mm, изгибающій моментъ этого вѣса въ срединѣ колѣна средняго цилиндра будетъ равенъ.

$$8600\frac{580}{1720}670 = \sim 1943000 \text{ kgmm.}$$

Слѣдовательно, общій изгибающій моментъ въ разсматриваемомъ мѣстѣ будетъ

$$M_и = 5300000 + 1943000 \text{ kgmm} = 7243000 \text{ kgmm.}$$

Принимая для вала изъ литой стали $k_b = 5$, діаметръ вала опредѣлится изъ уравненія 111

$$d = \sqrt[3]{0{,}75 \cdot 7243000 + 1{,}25\sqrt{\overline{7243000}^2 + \overline{6517000}^2}} = \sim 260 \text{ mm.}$$

Въ дѣйствительности діаметръ вала въ подшипникахъ взятъ **260 mm**, діаметръ же цапфъ колѣнъ вала принятъ равнымъ **265 mm.**

Длина цапфъ колѣнъ вала опредѣлится изъ уравненія 104, для $P = P_2 = 13000$ kg и $A_z = 0{,}022$ и будетъ

$$l \geqq \frac{13000 \cdot 120}{300000 \cdot 0{,}022}, \text{ или } l \geqq 233 \text{ mm.}$$

Въ дѣйствительности эта длина

$$l = \mathbf{235 \text{ mm}},$$

причемъ давленіе на единицу площади, по уравненію 103, равно

$$p = \frac{13000}{265 \cdot 235} = \sim 0{,}12 \text{ kg.}$$

Давленіе на подшипники также не будетъ превосходить наибольшаго вычисленнаго выше давленія пара 13000 kg. Принимая для подшипниковъ половину вышеопредѣленныхъ значеній A_z и p, длина вкладышей при томъ же діаметрѣ вала должна быть

$$l = 2 \cdot 235 = 470 \text{ mm},$$

въ дѣйствительности же взято

$$l = \mathbf{500} \text{ mm},$$

для всѣхъ подшипниковъ, за исключеніемъ крайняго лѣваго, для втораго $l = 400$ mm.

Толщина колѣнъ взята въ 175 mm. а ширина ихъ—310 mm. такъ что поперечное сѣченіе колѣна будетъ

$$175 \cdot 310 = 54250 \text{ mm}^2,$$

между тѣмъ какъ это сѣченіе, изъ уравненія 112, должно быть равнымъ по меньшей мѣрѣ

$$1{,}1 \cdot \overline{260}^2 \frac{\pi}{4} = 1{,}1 \cdot 53093 = \sim 58400 \text{ mm}^2.$$

§ 26.

Расходъ пара.

Расходъ пара въ паровой машинѣ состоитъ, какъ было уже сказано въ § 14, изъ трехъ частей:

1. изъ полезнаго расхода пара,
2. изъ расхода на потери при охлажденіи и
3. изъ расхода, происходящаго отъ неплотной пригонки частей машины.

Полезный расходъ пара состоитъ изъ количества пара, входящаго въ періодъ впуска въ цилиндръ, и изъ того количества пара, которое идетъ предварительно на заполненіе вреднаго пространства. Будемъ обозначать для одноцилиндровыхъ машинъ, какъ и раньше, черезъ

O — полезную площадь поршня въ **cm²**,
D — діаметръ цилиндра въ **cm**,
S — ходъ поршня въ **m**,
$\mathbf{e} = \frac{S_1}{S}$ — степень наполненія, соотвѣтствующую пути наполненія S_1 въ m,
M — величину вреднаго пространства, отнесенную къ O и
γ — вѣсъ 1 m³ пара при давленіи p при впускѣ въ kg.

Очевидно, при каждомъ простомъ ходѣ поршня въ цилиндръ будетъ впущено на пути поршня S_1, на которомъ происходитъ наполненіе цилиндра,

$$S_1 \frac{O}{10000} \text{ m}^3 \text{ пара}$$

или

$$\frac{S_1}{S} S \frac{O}{10000} \gamma = eS \frac{O}{10000} \gamma \text{ kg пара}.$$

Количество пара, которое впускается при каждомъ простомъ ходѣ поршня во вредное пространство цилиндра для заполненія его свѣжимъ паромъ, будетъ (см. стр. 38)

$$M \frac{O}{10000} \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \text{m}^3$$

или

$$\frac{M}{S} \frac{O}{10000} S \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \gamma \text{ kg},$$

гдѣ p_3 есть конечное давленіе пара при сжатіи.

Такимъ образомъ полезный расходъ пара при каждомъ простомъ ходѣ поршня будетъ

$$eS \frac{O}{10000} \gamma + \frac{M}{S} \frac{O}{10000} S \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \gamma =$$

$$= \frac{O}{10000} S \gamma \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \right\}.$$

Такимъ образомъ при $2n \cdot 60 = 120\,n$ простыхъ ходахъ поршня въ часъ, расходъ пара будетъ

$$120 \frac{O}{10000} S \gamma n \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \right\} \text{ kg}.$$

Полезный расходъ пара обыкновенно выражаютъ посредствомъ количества пара, расходуемаго на 1 индикаторную лошадиную силу. По уравненію 50

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

Если принять во вниманіе, что $c_m = \frac{Sn}{30}$ и раздѣлить выраженіе расхода пара въ часъ на число индикаторныхъ силъ машины, то получимъ для расхода пара на одну индикаторную силу въ часъ слѣдующее выраженіе

$$\mathbf{C_1 = 27 \frac{\gamma}{p_i} \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p}\right) \right\}} \quad \ldots \quad \mathbf{114.}$$

Здѣсь p_i есть среднее индикаторное давленіе; оно опредѣляется какъ было указано въ § 23; γ же можно взять изъ таблицы на стр. 11. Въ случаѣ примѣненія предыдущаго равенства для машинъ двойного расширенія, подъ e и M надо понимать степень наполненія и вредное пространство малаго цилиндра, отнесенныя къ объему большого цилиндра, а подъ p_3 конечное давленіе при сжатіи въ маломъ цилиндрѣ. Такимъ образомъ полезный расходъ пара пропорціоналенъ площади индикаторной діаграммы.

Потери пара отъ охлажденія и неплотной пригонки частей машины можно, понятно, опредѣлить только эмпирически, такъ какъ объ эти потери зависятъ отъ очень многихъ обстоятельствъ, между прочимъ и отъ выполненія машины. Поэтому, объ потери можно оцѣнить только приблизительно вычисленіемъ, опредѣлить же ихъ надо опытнымъ путемъ при помощи наблюденій надъ построенными машинами.

Расходъ пара на потери отъ охлажденія по Hrabák'y (Справочная книга для инженеровъ Hütte), приходящійся въ часъ на одну индикаторную силу, опредѣляется по формулѣ

$$\mathbf{C_2 = \alpha \frac{A}{\sqrt{c_m}}} \quad \ldots \quad \mathbf{115.}$$

гдѣ α и A выбираются по помѣщенной ниже таблицѣ, а c_m есть средняя скорость поршня въ m въ секунду.

Значенія α.

Величина отношенія $\frac{100S}{D}$ =	1	1,25	1,5	2	2,25	3	4
α =	0,82	0,87	0,91	1	1,08	1,15	1,29

Значенія A.

Одноцилиндровыя машины безъ охлажденія пара	A = 6,5 до 6,0.
Одноцилиндровыя машины съ охлажденіемъ пара, безъ паровой рубашки.	A = 5,5 до 5,0.
Одноцилиндровыя машины съ охлажденіемъ пара и съ паровою рубашкою	A = 4,5 до 4,0.
Машины двойного расширенія безъ охлажденія пара	A = 4,5 до 4,0.
Машины двойного расширенія съ охлажденіемъ пара	A = 4,5 до 3,5.
Машины тройного расширенія съ охлажденіемъ пара	A = 3,5 до 3,0.

Меньшія значенія для болѣе совершенныхъ машинъ.

Расходъ пара на потери отъ неплотной пригонки частей машины, приходящейся на одну индикаторную силу въ часъ можно принять по Hrabák'y (данныя «Hütte»), при обыкновенномъ, еще удовлетворительномъ состояніи машины,

$$C_з = \frac{8{,}8}{\sqrt{N_i c_m}} + \frac{1}{2c_m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 116.$$

При хорошо выполненныхъ машинахъ этотъ расходъ уменьшается до половины, иногда же, при сильныхъ протокахъ пара онъ удваивается. Для машинъ двойного расширенія величину расхода пара, по уравненію 116, слѣдуетъ помножить на 0,8, для машинъ тройного расширенія—на 0,64.

Складывая величины C_1, C_2 и C_3 и принимая потери въ паропроводѣ отъ 5 до 10% получимъ величину общаго расхода пара въ часъ на индикаторную силу

$$C_i = 1{,}05 \text{ до } 1{,}1\,(C_1 + C_2 + C_3) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 117.$$

на (дѣйствительную) полезную лошадиную силу

$$C_n = 1{,}05 \text{ до } 1{,}1 \frac{1}{\eta}\,(C_1 + C_2 + C_3) = \frac{C_i}{\eta} \quad . \quad 118.$$

Для приблизительнаго опредѣленія расхода пара могутъ служить также слѣдующія данныя. Считаютъ расходъ на одну индикаторную силу въ часъ, не принимая во вниманіе потерь въ паропроводѣ:

для одноцилиндровыхъ машинъ безъ охлажденія пара и съ малымъ расширеніемъ . . . . . 23 до 33 kg,
для одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара и значительнымъ расширеніемъ . . . . . 12 до 22 kg,
для одноцилиндровыхъ машинъ съ охлажденіемъ пара, при отличномъ выполненіи . . . . . 8 до 9,5 kg,
для машинъ двойного расширенія 6,3 до 8 kg,
для машинъ тройного расширенія 5,4 до 6,2 kg.

Примѣры.

1. Разсчитать расходъ пара приведенной въ примѣрѣ 1 на стр. 83 одноцилиндровой машины безъ охлажденія пара, діаметръ цилиндра которой равенъ 425 mm, а ходъ—850 mm при 70 оборотахъ въ минуту, коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}84$ и полезной работѣ въ 77,5 лошадиныхъ силъ?

По даннымъ на стр. 83:
давленіе пара при впускѣ $p = 7{,}5$ атм.,
давленіе пара въ концѣ сжатія $p_з = 6{,}5$ атм.,
(см. діаграмму на фиг. 91 текста)
среднее индикаторное давленіе $p_i = 2{,}51$ kg,
отношеніе вреднаго пространства къ объему цилиндра $\frac{M}{S} = 0{,}06$ и
средняя скорость поршня $c_m = 2$ m.

Вѣсъ одного m^3 пара при абсолютномъ давленіи 7,5 атм. по таблицѣ на стр. 11 будетъ $\gamma = 3{,}861$ kg.

При этихъ данныхъ полезный расходъ пара въ часъ на индикаторную силу опредѣлится изъ уравненія 114

$$C_1 = 27\,\frac{3{,}861}{2{,}51}\left\{0{,}19 + 0{,}06\left(1 - \frac{6{,}5}{7{,}5}\right)\right\} = \sim 8{,}2 \text{ kg}.$$

Имѣя отношеніе

$$\frac{100S}{D} = \frac{100 \cdot 0{,}85}{42{,}5} = 2,$$

потеря пара отъ охлажденія получится изъ уравненія 115, при $\alpha = 1$ и $A = 6$ и будетъ

$$C_2 = \frac{6}{\sqrt{2}} = \frac{6}{1{,}414} = 4{,}24 \text{ kg}.$$

Число индикаторныхъ силъ доставляемыхъ машиной будетъ

$$N_i = \frac{77{,}5}{0{,}84} = 92{,}26 \text{ лош. силъ},$$

отсюда расходъ пара на потери отъ неплотностей частей машины равенъ

$$C_з = \frac{8{,}8}{\sqrt{92{,}26 \cdot 2}} + \frac{1}{2 \cdot 2} = 0{,}9 \text{ kg}.$$

Принимая потери пара въ паропроводѣ въ 7% общаго расхода $C_1 + C_2 + C_3$, мы получимъ полный расходъ пара въ часъ на одну индикаторную силу изъ уравненія 117

$$C_i = 1{,}07\,(8{,}2 + 4{,}24 + 0{,}9) = \sim 14{,}3 \text{ kg},$$

а расходъ на одну полезную лошадиную силу по уравненію 118

$$C_n = \frac{14{,}3}{0{,}84} = \sim 17 \text{ kg}.$$

2. Опредѣлить расходъ пара машины-компаундъ съ ресиверомъ, разсчитанной въ примѣрѣ 5 на стр. 86?

Какъ было найдено на стр. 86 и 87:
діаметръ большого цилиндра этой машины = 770 mm,
ходъ поршня $S = 0{,}9$ m,
средняя скорость поршня $c_m = 2{,}4$ m, и
число оборотовъ $n = 80$.

При этомъ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\eta = 0{,}765$, полезная работа машины $N_n = 150$ лошадиныхъ силъ. Далѣе, изъ діаграммъ на табл. 29, имѣли
давленіе свѣжаго пара $p = 8{,}4$ kg,
среднее индикаторное давленіе, отнесенное къ полезной площади большого поршня, $p_i = 1{,}342$ kg,
отношеніе вреднаго пространства малаго цилиндра къ его объему $\frac{m}{s} = 0{,}03$,
отношеніе объемовъ цилиндровъ $\frac{V}{v} = 2{,}727$,
наполненіе малаго цилиндра $= \frac{1}{6}$ и
давленіе въ концѣ сжатія въ маломъ цилиндрѣ $p_з = \sim 7$ kg.

Вѣсъ 1 m^3 пара при давленіи $p = 8{,}4$ kg, по таблицѣ на стр. 11, будетъ $\gamma = 4{,}27$ kg. Далѣе степень наполненія и коэффиціентъ вреднаго пространства малаго цилиндра, отнесенныя къ объему большого цилиндра, будетъ

$$e = \frac{1}{6}\,\frac{v}{V} = \sim 0{,}06 \text{ и}$$

$$\frac{M}{S} = 0{,}03\,\frac{v}{V} = 0{,}011.$$

Поэтому, полезный расходъ пара по уравненію 114 будетъ

$$C_1 = 27\,\frac{4{,}27}{1{,}342}\left\{0{,}06 + 0{,}011\left(1 - \frac{7}{8{,}4}\right)\right\} = \sim 5{,}3 \text{ kg}.$$

Расходъ пара на потери отъ охлажденія опредѣляется изъ равенства 115. Въ нашемъ случаѣ

$$\frac{100S}{D} = \frac{100 \cdot 0{,}9}{77} = \sim 1{,}15,$$

$\alpha = 0{,}85$ и предполагая хорошее выполненіе машины $A = 3{,}5$. Отсюда приблизительно

$$C_2 = 0{,}85\,\frac{3{,}5}{\sqrt{2{,}4}} = \sim 1{,}92 \text{ kg.}$$

Потеря пара отъ неплотностей частей машины по равенству 116 для

$$N_i = \frac{150}{0{,}76} = \sim 197 \text{ лош. силъ}$$

будетъ

$$C_3 = 0{,}5 \cdot 0{,}8\left(\frac{8{,}8}{\sqrt{197 \cdot 2{,}4}} + \frac{1}{2 \cdot 2{,}4}\right) = \sim 0{,}25 \text{ kg,}$$

если, какъ это было указано въ примѣчаніи къ равенству 116, принять здѣсь только половинную потерю, въ виду того, что p_i выбрано достаточно малымъ.

Принимая, наконецъ, потерю пара въ паропроводѣ равною 5%, полный расходъ пара въ машинѣ на одну индикаторную силу въ часъ, по уравненію 117, будетъ

$$C_i = 1{,}05\ (5{,}3 + 1{,}92 + 0{,}25) = \mathbf{7{,}85 \text{ kg.}}$$

Расходъ же на одну полезную лошадиную силу, по уравненію 118, равенъ

$$C_n = \frac{7{,}85}{0{,}765} = \sim \mathbf{10{,}3 \text{ kg.}}$$

§ 27.

Опредѣленіе діаметровъ трубъ и размѣровъ паровыхъ оконъ.

Сѣченія пароприводной и пароотводной трубъ, а равно паровыхъ оконъ, черезъ которыя свѣжій паръ входитъ въ цилиндръ и мятый паръ выходитъ изъ цилиндра разсчитываются такъ, чтобы не происходило замѣтнаго тормаженія пара. Всякое тормаженіе свѣжаго пара вызываетъ безполезное паденіе давленія пара **p**, всякое тормаженіе мятаго пара—вредное повышеніе давленія его $\mathbf{p_e}$, такъ что въ обоихъ случаяхъ происходитъ нѣкоторая потеря работы и уменьшеніе площади индикаторной діаграммы.

Тормаженіе пара происходитъ тогда, когда поперечное сѣченіе трубы или окна мало, а скорость пара большая. А чѣмъ меньше сѣченіе, черезъ которое проходитъ паръ, тѣмъ большею скоростью онъ будетъ обладать, тѣмъ слѣдовательно больше будетъ работа, потраченная на развитіе скорости пара, на преодолѣніе тренія о стѣнки, и тѣмъ больше будетъ паденіе давленія пара. По даннымъ справочной книги «Die Hütte» тормаженіе пара и паденіе давленія его становятся тогда замѣтными, когда скорость свѣжаго пара въ секунду въ трубѣ и каналахъ превосходитъ 50—60 m, а скорость мятаго пара превосходитъ 80—100 m — смотря потому выпускается-ли онъ наружу или въ холодильникъ.— Скорость, съ которою паръ будетъ протекать черезъ окно даннаго сѣченія, опредѣляется изъ равенства

$$w_x = \frac{O \cdot c_x}{f_x}, \quad \ldots\ldots 119.$$

гдѣ

O есть полезная площадь поршня,

c_x скорость поршня въ m въ секунду,

f_x данная площадь окна.

Это равенство получается изъ условія равенства объема Oc_x, описаннаго поршнемъ въ секунду, объему $f_x\, w_x$, заполненному паромъ.—

Поперечное сѣченіе паропривводной трубы опредѣляется изъ равенства 119 такъ, чтобы при наибольшей скорости поршня ($c_x = c_{max}$) скорость пара w_x еще не достигала вышеупомянутаго предѣла 50 до 60 m. Такимъ образомъ, при $w_x = 50$ поперечное сѣченіе паропривводной трубы **f** въ $\mathbf{cm^2}$ будетъ

$$f = d^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{O \cdot c_{max}}{50},$$

гдѣ d есть внутренній діаметръ трубы.

Изъ равенства 25 имѣемъ

$$c_{max} = v\left(1 + \frac{R^2}{2L^2}\right),$$

а такъ какъ по равенству 22

$$v = \frac{\pi}{2}\,c_m,$$

то

$$c_{max} = \frac{\pi}{2}\,c_m\left(1 + \frac{R^2}{2L^2}\right).$$

Но чаще всего $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, слѣдовательно

$$c_{max} = \sim 1{,}6\ c_m.$$

Такимъ образомъ вышеприведенное равенство даетъ для площади f слѣдующее выраженіе по средней скорости и полезной площади поршня

$$\mathbf{f = d^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{O \cdot c_m}{30}} \quad \ldots\ldots \mathbf{120}$$

Поперечное сѣченіе пароотводной трубы $\mathbf{f_0}$ въ $\mathbf{cm^2}$, когда паръ выпускается наружу, можно опредѣлить изъ равенства

$$\mathbf{f_0 = d_0^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{O \cdot c_m}{22}} \text{ до } \mathbf{\frac{O \cdot c_m}{25}} \quad \ldots \mathbf{121}$$

гдѣ d_0 есть внутренній діаметръ пароотводной трубы. Когда паръ выпускается въ холодильникъ, то площадь пароотводной трубы можетъ быть опредѣлена по формулѣ

$$\mathbf{f_0 = d_0^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{O \cdot c_m}{15}} \text{ до } \mathbf{\frac{O \cdot c_m}{20}} \quad \ldots \mathbf{122}$$

Однако, хотя нельзя ничего возразить противъ примѣненія этой формулы при разсчетѣ пароотводныхъ трубъ цилиндровъ высокаго и средняго давленія въ компаундъ-машинахъ, такъ какъ въ этихъ случаяхъ паръ вполнѣ расширяется до давленія при выпускѣ, но ее не слѣдуетъ примѣнять для разсчета пароотводныхъ трубъ въ одноцилиндровыхъ машинахъ и для цилиндра низкаго давленія машины тройного расширенія. Какъ правильно замѣчаетъ Ф. Вейсъ (F. I. Weiss) въ Zeitschrift deutsch. Ing. за 1895 г. въ этомъ равенствѣ не принято во вниманіе то расширеніе, которое совершаетъ паръ, когда его давленіе въ концѣ расширенія падаетъ или должно падать до давленія при выпускѣ p_e. Принимая во вниманіе это обстоятельство, мы замѣтимъ, что мятый паръ въ пароотводной трубѣ, разсчитанной по формулѣ 122, получитъ скорость, которая (особенно въ одноцилиндровыхъ машинахъ, если они работаютъ съ большимъ наполненіемъ) часто будетъ превосходить вышеприведенный предѣлъ въ 100 m.

Поэтому будетъ правильнѣе поперечное сѣченіе пароотводной трубы одноцилиндровой машины и цилиндра низкаго давленія многоцилиндровой машины разсчитывать слѣдующимъ образомъ. Пусть будетъ **C** расходъ пара машины въ часъ ($C = C_i N_i = C_n N_n$ по обозначеніямъ предыдущаго параграфа) и слѣдовательно $\frac{C}{3600}$ расходъ

пара въ секунду въ kg и

$\frac{1}{\gamma'}$ будетъ въ m^3 объемъ 1 kg пара давленія p_e при выпускѣ (см. табл. на стр. 11). Тогда берутъ

$$f_0 = d_0{}^2 \frac{\pi}{4} = \frac{10000\,C}{3600 \cdot 100\gamma'} = \sim 0{,}0278 \frac{C}{\gamma'} \quad . \; . \; . \quad 123$$

Для этой формулы сдѣлано допущеніе, что паръ уходитъ изъ цилиндра равномѣрно со среднею скоростью въ 100 m. Хотя въ дѣйствительности это не совсѣмъ такъ, такъ какъ паръ уходитъ тотчасъ по открытіи паровыпускного окна со значительно большею скоростью, однако формула 123 все же ближе удовлетворяетъ условію, чтобы въ паровыпускной трубѣ не происходило замѣтнаго тормаженія пара, чѣмъ предыдущая формула.

Для опредѣленія величины C въ этой формулѣ достаточно взять полезный расходъ пара для средняго коэффиціента наполненія и потери пара принять приблизительно какъ нѣкоторую часть этого расхода. Какъ было указано на стр. 108 полезный расходъ пара будетъ

$$120 \frac{O}{10000} S \gamma n \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p} \right) \right\} \text{ kg}.$$

Вейсъ полагаетъ потери пара равными 40% этой величины въ машинахъ безъ охлажденія пара и 50% въ машинахъ съ охлажденіемъ пара. Такимъ образомъ въ первомъ случаѣ

$$C = 1{,}4 \cdot 120 \frac{O}{10000} S \gamma n \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p} \right) \right\},$$

а такъ какъ

$$c_m = \frac{Sn}{30} \text{ или } Sn = 30\, c_m,$$

то

$$C = 0{,}5\; O c_m \gamma \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p} \right) \right\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 124$$

во второмъ случаѣ

$$C = 1{,}5 \cdot 120 \frac{O}{10000} S \gamma n \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p} \right) \right\},$$

или

$$C = 0{,}54 \cdot O \cdot c_m \gamma \left\{ e + \frac{M}{S} \left(1 - \frac{p_3}{p} \right) \right\} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 125$$

Въ этихъ формулахъ, какъ было принято и раньше,

e есть средняя степень наполненія, при которой работаетъ машина и которую слѣдуетъ выбирать не слишкомъ малой,

O полезная площадь поршня въ cm^2,

n число оборотовъ въ минуту,

γ вѣсъ 1 m^3 пара, соотвѣтствующій давленію p при впускѣ, въ kg (см. табл. на стр. 11),

p_3 давленіе пара въ концѣ сжатія и

$\frac{M}{S}$ коэффиціентъ вреднаго пространства.

При опредѣленіи размѣровъ паровыхъ оконъ слѣдуетъ принимать во вниманіе то обстоятельство, что пораспредѣлительный приборъ рѣдко вполнѣ открываетъ эти окна и рѣдко оставляетъ эти окна вполнѣ открытыми до конца наполненія. Большею частью, смотря по степени наполненія и принятымъ соотношеніямъ частей пораспредѣленія, эти окна открываются только отчасти и закрываются болѣе или менѣе постепенно. Такъ какъ напередъ трудно опредѣлить, на какую величину пораспредѣлительный приборъ будетъ открывать окно и какъ медленно онъ будетъ закрывать это окно, а гораздо легче поставить условія пораспредѣленія въ зависимость отъ величины оконъ, то необходимо величину оконъ разсчитывать такимъ образомъ, чтобы вполнѣ надежно можно было достичь достаточнаго открытія ихъ и тѣмъ избѣжать преждевременнаго тормаженія пара.

Изъ сказаннаго слѣдуетъ, что выборъ величины паровыхъ оконъ довольно неопредѣленъ, соотвѣтственно этому и указанія, даваемыя по этому вопросу, весьма различны между собою.

По Радингеру площадь паровыхъ оконъ берется для золотниковаго пораспредѣленія по формулѣ

$$f = \frac{O \cdot c_m}{30}$$

для клапаннаго по формулѣ

$$f = \frac{O \cdot c_m}{25}.$$

Въ справочной книгѣ «Hütte» для опредѣленія площади оконъ дается формула

$$f = \frac{O \cdot c_{max}}{30} \text{ до } \frac{O \cdot c_{max}}{40}.$$

Если сюда подставить значеніе $c_{max} = 1{,}6\, c_m$, опредѣленное на стр. 110 для отношенія $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$, то получимъ

$$f = \sim \frac{O \cdot c_m}{19} \text{ до } \frac{O \cdot c_m}{25}.$$

Въ дальнѣйшемъ мы будемъ примѣнять для опредѣленія площади паровыхъ оконъ, выраженіе

$$f = \frac{O \cdot c_{max}}{33} \text{ до } \frac{O \cdot c_{max}}{60},$$

которое даетъ величины хорошо согласующіяся съ практикою. Подставляя сюда опять $c_{max} = 1{,}6\, c_m$, имѣемъ

для малыхъ машинъ $f = \frac{O \cdot c_m}{20}$

для большихъ машинъ $f = \frac{O \cdot c_m}{37{,}5}$ . . . . . 126.

При плоскихъ и цилиндрическихъ золотникахъ окна дѣлаются прямоугольными. Если a есть ширина, а h длина окна въ cm, то

$$f = a \cdot h \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 127.$$

Длину h окна выбираютъ

въ плоскихъ золотникахъ и кранахъ $h = 0{,}65$ до 0,75 D,

въ кранахъ Корлисса $h = 0{,}9$ D до D.

Чѣмъ больше выберемъ h, тѣмъ меньше будетъ a, тѣмъ меньше будетъ, какъ увидимъ въ слѣдующей части, ходъ золотника и треніе его, но тѣмъ труднѣе избѣжать утечки пара черезъ золотникъ.

При поршневыхъ золотникахъ окна прорѣзаются по цилиндрической поверхности стола и въ видѣ пояса, причемъ для лучшей связи между собой различныхъ частей вставной втулки весьма часто оставляются въ окнахъ скрѣпляющія ребра.

Пусть d будетъ внѣшній діаметръ поршневого золотника и

a высота цилиндрическихъ оконъ въ cm.

Тогда для сплошныхъ оконъ имѣемъ

$$f = \pi \cdot d \cdot a \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 128_a,$$

для оконъ со скрѣпляющими ребрами, на которыя примемъ $^1/_3$ площади окна, имѣемъ

$$f = 0{,}66\, \pi \cdot d \cdot a \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; 128_b.$$

Діаметръ поршневого золотника берутъ отъ

$$d = 0{,}5\, D \text{ до } 0{,}7\, D.$$

При пораспредѣленіи клапанами со среднимъ діаметромъ d въ cm свободная площадь протока пара будетъ

$$f = x d^2 \frac{\pi}{4}, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; 129_a$$

гдѣ принимаютъ

$x = 0{,}66$ до $0{,}86$ . . . . . **129**$_b$

первое значеніе для малыхъ клапановъ, второе для большихъ.

Діаметръ парововыпускныхъ клапановъ принимаютъ или равнымъ діаметру парововпускныхъ клапановъ или дѣлаютъ его равнымъ 1,1 до 1,2 d.

Примѣры.

1. Опредѣлить площади сѣченія паропроводовъ и размѣры паровыхъ оконъ одноцилиндровой машины, разсчитанной на стр. 84, діаметръ цилиндра которой равенъ 300 mm, ходъ поршня = 600 mm и которая дѣлаетъ 90 оборотовъ въ минуту?

Полезная площадь поршня (см. стр. 85)

$$O = \sim 685 \text{ cm}^2,$$

а средняя скорость поршня

$$c_m = 1{,}8 \text{ m}.$$

Отсюда прежде всего можно опредѣлить поперечное сѣченіе параприводной трубы изъ уравненія 120, которое даетъ

$$f = d^2 \frac{\pi}{4} = \frac{685 \cdot 1{,}8}{30} = 41{,}1 \text{ cm}^2,$$

а діаметръ трубы будетъ

$$d = \sim 7{,}2 \text{ cm или лучше } \mathbf{70\ mm}.$$

Поперечное сѣченіе паропроводной трубы получится изъ уравненія 121 и будетъ

$$f_0 = d_0^2 \frac{\pi}{4} = \frac{685 \cdot 1{,}8}{25} = \sim 50 \text{ cm}^2,$$

а діаметръ этой трубы будетъ

$$d_0 = 8 \text{ cm} = \mathbf{80\ mm}.$$

Такъ какъ машина будетъ среднихъ размѣровъ, то площадь окна, изъ уравненія 126,

$$f = \frac{O \cdot c_m}{29} = \frac{685 \cdot 1{,}8}{29} = 42{,}5 \text{ cm}^2.$$

Имѣя въ виду, что машину предположено снабдить парораспредѣленіемъ Ридера, примѣнимъ равенство 127

$$f = a \cdot h,$$

или, полагая

$$h = 0{,}66\ D = 0{,}66 \cdot 30 = \sim 20 \text{ cm} = \mathbf{200\ mm},$$

имѣемъ

$$a = \frac{42{,}5}{20} = \sim 2{,}1 \text{ cm} = \mathbf{21\ mm}.$$

2. Каковы будутъ поперечное сѣченіе паропроводныхъ трубъ и размѣры оконъ сдвоенной машины-тэндемъ, разсчитанной въ примѣрѣ 3 на стр. 103 и имѣющей на всѣхъ цилиндрахъ клапанное парораспредѣленіе?

Какъ было приведено на стр. 103 полезная площадь поршня малаго цилиндра равна 2900 cm^2, — большого 9020 cm^2. Средняя скорость поршня, при числѣ оборотовъ $n = 56$, для котораго машина была разсчитана, и ходѣ поршней $S = 1{,}25$ m будетъ

$$c_m = \frac{1{,}25 \cdot 56}{30} = \sim 2{,}33 \text{ m}.$$

Отсюда, при помощи уравненія 120, имѣемъ площадь сѣченія параприводной трубы малаго цилиндра

$$f = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{2900 \cdot 2{,}33}{30} = \sim 225 \text{ cm}^2$$

или

$$d = 17 \text{ cm}$$

Въ дѣйствительности этотъ размѣръ принятъ по нормальнымъ размѣрамъ трубъ равнымъ

$$d = 17{,}5 \text{ cm} = \mathbf{175\ mm}.$$

Поперечное сѣченіе паропроводной трубы малаго цилиндра, при помощи которой послѣдній соединяется съ ресиверомъ, получится изъ равенства 122 и будетъ

$$f_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = \frac{2900 \cdot 2{,}33}{17} = \sim 400 \text{ cm}^2;$$

въ дѣйствительности принято

$$d_0 = 22{,}5 \text{ cm} = \mathbf{225\ mm}.$$

Поперечное сѣченіе параприводной трубы большого цилиндра, которая соединяетъ ресиверъ съ послѣднимъ, опредѣлится снова изъ равенства 120 и будетъ

$$f = \frac{\pi}{4} d^2 = \frac{9020 \cdot 2{,}33}{30} = \sim 702 \text{ cm}^2$$

или діаметръ этой трубы будетъ

$$d = 30 \text{ cm} = \mathbf{300\ mm}.$$

Такъ какъ машина работаетъ съ охлажденіемъ пара, то поперечное сѣченіе паропроводной трубы опредѣляется изъ равенства 123. Опредѣляя при этомъ полный расходъ пара машины въ часъ по равенству 125, съ подстановкой въ послѣднее слѣдующихъ значеній:

для давленія пара при впускѣ $p = 7$ атм., при вѣсѣ 1 m^3 пара этого давленія $\gamma = \sim 3{,}62$ kg,

для коэффиціента вреднаго пространства (отнесеннаго къ объему большого цилиндра) $\frac{M}{S} = \frac{m}{s}\frac{v}{V} = 0{,}04 \cdot 0{,}321 = \sim 0{,}013$,

для полезной площади поршня $O = 9020$ cm^2,

для средней величины коэффиціента наполненія $e = \frac{1}{3} 0{,}321 = \sim 0{,}11$ [1]), отнесеннаго къ большому цилиндру

и для давленія въ концѣ сжатія приблизительно $p_3 = 6$ атм., имѣемъ

$$C = 0{,}54,\ 9020 \cdot 2{,}33 \cdot 3{,}62 \left\{0{,}11 + 0{,}013\left(1 - \frac{6}{7}\right)\right\} = \sim 4600 \text{ kg}.$$

Отсюда, вмѣстѣ съ соотвѣтствующимъ $p_e = 0{,}2$ значеніемъ

$$\frac{1}{\gamma'} = \frac{1}{0{,}128},$$

изъ уравненія 123 имѣемъ

$$f_0 = \frac{\pi}{4} d_0^2 = 0{,}0278 \frac{4600}{0{,}128} = \sim 1000 \text{ cm}^2.$$

и діаметръ трубы

$$d_0 = \sim 36 \text{ cm} = \mathbf{360\ mm}.$$

Для опредѣленія діаметровъ паровыхъ клапановъ мы найдемъ предварительно изъ уравненія 126, соотвѣтственно діаметру малаго цилиндра = 625 mm и діаметру большого цилиндра = 1080 mm, площадь живого сѣченія въ клапанахъ малаго цилиндра

$$f = \frac{O \cdot c_m}{31} = \frac{2900 \cdot 2{,}33}{31} = 218 \text{ cm}^2$$

и въ клапанахъ большого цилиндра

---

[1]) Въ виду того, что машины впослѣдствіи всегда нагружаются больше, чѣмъ то было разсчитано, e слѣдуетъ выбирать не слишкомъ малымъ.

$$f = \frac{O \cdot c_m}{37,5} = \frac{9020 \cdot 2,33}{37,5} = 560 \text{ cm}^2.$$

Если согласно равенству 129a принять

$$f = 250 = 0,7 \frac{\pi}{4} d^2,$$

то діаметръ паровыхъ клапановъ малаго цилиндра будетъ

$$d = 20 \text{ cm} = \sim \mathbf{200 \text{ mm}}.$$

Получивъ изъ равенства 129a при $x = 0,85$

$$f = 560 = 0,85 \frac{\pi}{4} d^2,$$

имѣемъ для клапановъ большого цилиндра, діаметръ клапана

$$d = 29 \text{ cm или даже} = \mathbf{300 \text{ mm}}.$$

Въ построенной машинѣ паровпускные клапаны обоихъ цилиндровъ имѣютъ дѣйствительно вышеуказанные діаметры; діаметры же паровыпускныхъ клапановъ приняты для малаго цилиндра въ **230 mm**, а для большого въ **350 mm**.

3. Вертикальная машина компаундъ, приведенная въ примѣрѣ 5. на стр. 106, имѣетъ въ цилиндрѣ высокаго давленія поршневое парораспредѣленіе. Опредѣлить размѣры оконъ для этого цилиндра?

Въ этой машинѣ
діаметръ малаго цилиндра = 300 mm, то есть полезная площадь малаго поршня будетъ

$$O = 0,98 \cdot \overline{30^2} \frac{\pi}{4} = \sim 690 \text{ cm}^2,$$

ходъ поршней = 480 mm,
число оборотовъ въ минуту $n = 200$, слѣдовательно средняя скорость поршней

$$c_m = \frac{S \cdot n}{30} = \frac{0,48 \cdot 200}{30} = 3,2 \text{ m}.$$

Изъ равенства 126 площадь парового окна будетъ

$$f = \frac{O \cdot C_m}{29} = \frac{690 \cdot 3,2}{29} = 76,1 \text{ cm}^2.$$

Если принять, какъ это сдѣлано въ дѣйствительности, внѣшній діаметръ поршневого золотника равнымъ

$$d = \frac{2}{3} D = \frac{2}{3} 30 = 20 \text{ cm},$$

то ширина оконъ, при уменьшеніи ихъ площади скрѣпляющими ребрами на $^1/_3$, изъ равенства 128a будетъ

$$a = \frac{f}{0,66 \cdot \pi \cdot d} = \frac{76,1}{0,66 \cdot \pi \cdot 20} = \sim 1,8 \text{ cm} = \mathbf{18 \text{ mm}}.$$

§ 27.

Разсчетъ холодильниковъ.

Формулы, необходимыя для опредѣленія количества холодной воды, объема воздушнаго насоса и работы, потребной для приведенія его въ дѣйствіе, были уже приведены въ § 21 на стр. 71, 72 и 73. О примѣненіи этихъ формулъ скажемъ здѣсь только слѣдующее.

Послѣ того какъ путемъ нѣсколькихъ подсчетовъ и опредѣленія связанныхъ съ охлажденіемъ пара въ холодильникѣ сбереженій пара, затратъ на установку и содержаніе его (см. стр. 65) мы выберемъ наиболѣе выгодное давленіе пара при выпускѣ p_e и соотвѣтствующее ему давленіе въ холодильникѣ $p' = 0,8\ p_e$, то прежде всего изъ таблицы II на стр. 67 опредѣлимъ соотвѣтствующую p' температуру t охлаждаемаго пара.

При охлажденіи свѣжей водой

$$t_0 = 17 \text{ до } 23^0 \text{ C},$$

при охлажденіи водой, искусственно охлажденной, можно безопасно принять

$$t_0 = 20 \text{ до } 30^0 \text{ C}.$$

Фирма Balke & C°, общество для постройки холодильниковъ въ Бохумѣ, даетъ для своихъ холодильниковъ слѣдующіе взятые изъ практики результаты. Теплая вода при

60° C	охлаждается	вновь	до 25	до 20°
50° C	„	„	„ 24	„ 18°
40° C	„	„	„ 23	„ 17°
30° C	„	„	„ 22	„ 16°

Количество холодной воды n, потребное для охлажденія 1 kg пара, и общее количество ея $W = n C$ опредѣляться изъ уравненій 40 a и 40 b, полагая для вбрызгивающихъ холодильниковъ

съ параллельными токами и мокрымъ воздушнымъ насосомъ $t' = 45$ до 36°,

съ противотоками и сухимъ воздушнымъ насосомъ $t' = t$

для поверхностныхъ холодильниковъ съ противотоками и сухимъ воздушнымъ насосомъ $t' = t$ и t_1 на нѣсколько градусовъ меньше, чѣмъ t.

При ограниченномъ количествѣ свѣжей холодной воды, слѣдовательно, при данныхъ W и n, температура t' при вспрыскивающемъ холодильникѣ и мокромъ воздушномъ насосѣ опредѣляется изъ уравненія 40a (см. примѣръ на стр. 72).

Объемъ воздушнаго насоса, V въ m^3, проходимый поршнемъ его, получается изъ равенствъ 41 до 45, если опять взять изъ таблицы II на стр. 67 давленіе p'_d, соотвѣтствующее температурѣ t' и давленіе $p_d{}^0$, соотвѣтствующее температурѣ $t + 3$ до 6° (увеличено на 3 до 6° ради безопасности) и для поверхностныхъ холодильниковъ, если нѣтъ въ виду другихъ данныхъ, можно принять

$$x = 0,09 \text{ n}.$$

Это значеніе x выбрано согласно значенія для вспрыскивающихъ $x = 0,16$ n холодильниковъ, въ которыхъ количество воздуха, попадающаго вмѣстѣ съ холодною водою въ холодильникъ, было принято равнымъ 0,07 n, а потому количество воздуха, попадающее въ холодильникъ черезъ неплотности его, которое одно должно быть принимаемо въ разсчетъ при поверхностныхъ холодильникахъ, будетъ $0,16\ n - 0,07\ n = 0,09\ n$.

Обозначая черезъ
$\mathbf{D_0}$—діаметръ цилиндра воздушнаго насоса въ **m**,
$\mathbf{S_0}$—ходъ его поршня въ **m**,
$\mathbf{n_0}$—число двойныхъ ходовъ воздушнаго поршня въ минуту,
μ коэффиціентъ полезнаго дѣйствія насоса ($= \sim 0,7$ для мокрыхъ воздушныхъ насосовъ) [1]) и
будемъ имѣть **V** объемъ, подаваемый насосомъ въ минуту въ $\mathbf{m^3}$,

$$\mathbf{V = i\ \mu\ D_0^2 \frac{\pi}{4} S_0\ n_0}, \quad \ldots \quad \mathbf{130.}$$

гдѣ $i = 1$ для насосовъ простого дѣйствія и $i = 2$ для насосовъ двойного дѣйствія.

Если $\mathbf{c_0}$ будетъ средняя скорость поршня воздушнаго насоса въ **m** въ секунду, то ходъ его опредѣлится изъ равенства

$$\mathbf{S_0 = \frac{30\ c_0}{n_0}}. \quad \ldots \quad \mathbf{131.}$$

По даннымъ Jhering'a въ Zeitschr. deutsch. Ingen. за 1895 г. средняя скорость поршня c_0 въ среднемъ будетъ

[1]) Для сухихъ воздушныхъ насосовъ μ лучше всего выбрать согласно данныхъ заводами указаніямъ.

для горизонтальныхъ насосовъ отъ 2 до 3 m,
для вертикальныхъ » » 1 m,
хотя эта скорость какъ въ тѣхъ, такъ и въ другихъ насосахъ можетъ быть и больше и меньше (въ первыхъ насосахъ она доходитъ до 6,5 m, въ вертикальныхъ до 1,3 m) не вызывая тѣмъ ударовъ воды.

Живое сѣченіе клапановъ f′ для мокрыхъ воздушныхъ насосовъ по Ihering'y разсчитывается по условію, чтобы скорость прохода воды черезъ клапанъ была отъ 1 до 1,2 m въ секунду, между тѣмъ какъ по другимъ даннымъ [1]) эта скорость съ успѣхомъ можетъ быть допущена до 1,5 m для маленькихъ насосовъ, со скоростью поршня до 3 m, и до 2 m для насосовъ, со скоростью поршня отъ 3 до 6,5 m.

Что касается скорости теченія воздуха черезъ клапаны сухихъ воздушныхъ насосовъ, то необходимо таковую выбрать по даннымъ соотвѣтственныхъ заводовъ. Обозначая черезъ c_1 скорость теченія воды, а c_2 скорость теченія воздуха черезъ клапаны насоса, площадь клапановъ f′ въ m^2 опредѣлится по формулѣ

$$f' = \frac{V}{60 c_1} \text{ или } f' = \frac{V}{60 c_2} \quad \ldots\ldots \quad 132$$

гдѣ V объемъ удаляемой воды или воздуха въ минуту.

Работа, затрачиваемая на приведеніе въ дѣйствіе холодильника, можетъ быть опредѣлена изъ уравненій 46 и 47, по даннымъ на стр. 73.

Остальныя части холодильниковъ разсчитываются слѣдующимъ образомъ.

Насосъ для холодной воды, если таковой требуется, долженъ подать **W kg** воды; однакожъ выгоднѣе разсчитать его для большей подачи воды, примѣрно для 1,25 W kg. Если насосъ приводится въ дѣйствіе передачею, то въ этомъ случаѣ полезное дѣйствіе его всегда возможно увеличить соотвѣтственнымъ измѣненіемъ числа оборотовъ. Діаметръ цилиндра D_1 насоса, ходъ поршня S_1 въ **m** и число оборотовъ n_1 должны удовлетворять условію

$$0{,}00125\, W = i \mu D_1^2 \frac{\pi}{4} S_1 n_1 \quad \ldots \quad 133$$

гдѣ i и μ (0,85—0,9) имѣютъ значенія, указанныя въ равенствѣ 130, а W есть количество воды въ kg, подаваемое насосомъ въ минуту.

Насосъ для конденсаціонной воды въ поверхностномъ холодильникѣ слѣдуетъ разсчитывать на количество **C kg** охлажденной воды. Если D_2 есть діаметръ цилиндра этого насоса, S_2 ходъ поршня въ **m** и n_2 число оборотовъ, то опять эти размѣры должны удовлетворять условію

$$0{,}001\, C = i \mu D_2^2 \frac{\pi}{4} S_2 n_2 \quad \ldots \quad 134$$

Объемъ холодильника обыкновенно принимается равнымъ отъ 2 до 4 объемовъ воздушнаго насоса $D_0^2 \frac{\pi}{4} S_0$.

Поперечныя сѣченія трубъ надо разсчитать такъ, чтобы скорость воды въ нихъ $c_1 = 1$ до 2 m, а скорость воздуха $c_2 = 4$ до 10 m. Такимъ образомъ, если всѣ размѣры будутъ въ **m**, **W** и **C** будутъ въ **kg** въ минуту, а **V** въ m^3 въ минуту, то діаметръ d_1 трубы для холодной воды (вбрызгивающая труба въ вбрызгивающихъ холодильникахъ) опредѣлится изъ условія

$$d_1^2 \frac{\pi}{4} = \frac{W}{60.1000\, c_1} \quad \ldots\ldots \quad 135.$$

Діаметръ всасывающей трубы мокраго насоса d_2 опредѣлится изъ условія

$$d_2^2 \frac{\pi}{4} = \frac{V}{60\, c_1} \quad \ldots\ldots \quad 136_a$$

Подставляя значеніе V изъ равенства 130, имѣемъ

$$d_2^2 \frac{\pi}{4} = \frac{1}{c_1} i \mu D_0^2 \frac{\pi}{4} \frac{S_0 n_0}{60}.$$

Но такъ какъ средняя скорость c_0 поршня

$$c_0 = \frac{S_0 n_0}{30}, \text{ или } \frac{S_0 n_0}{60} = 0{,}5\, c_0,$$

то

$$d_2 = \sim 0{,}7\, D_0 \sqrt{i \mu \frac{c_0}{c_1}} \quad \ldots\ldots \quad 136_b$$

гдѣ i = 1 для насосовъ простого дѣйствія и i = 2 для насосовъ двойного дѣйствія или двухъ насосовъ простого дѣйствія, а μ есть коэффиціентъ полезнаго дѣйствія насоса.

Діаметръ отводящей трубы для мокраго воздушнаго насоса d_3 опредѣляется изъ равенства

$$d_3^2 \frac{\pi}{4} = \frac{1}{60.1000} (1{,}16\, n + 1) \frac{C}{c_1}, \quad \ldots \quad 137.$$

хотя часто дѣлаютъ $d_3 = d_2$.

Діаметръ d_2 трубы, отводящей воду изъ холодильника Вейса съ противотоками, получается изъ уравненія

$$d_2^2 \frac{\pi}{4} = \frac{W + C}{60.1000.c_1} = (n+1) \frac{C}{60.1000\, c_1} \quad 138$$

Діаметръ d'_2 всасывающей трубы сухого воздушнаго насоса холодильника Вейса съ противотоками опредѣляется изъ равенства

$$d'^2_2 \frac{\pi}{4} = \frac{1}{60.1000} \frac{0{,}16\, n}{p'_d - p_d{}^0} \frac{C}{c_2}, \quad \ldots \quad 139$$

причемъ въ это равенство, въ случаѣ поверхностного холодильника, вмѣсто 0,16 n надо подставить значеніе x = 0,09 и т. д.

Діаметръ d_4 предохранительной трубы мокраго воздушнаго насоса берутъ обыкновенно такъ, что $d_4 \gtrless d_3$.

Движущія части воздушнаго насоса разсчитываются въ предположеніи, что съ одной стороны поршня этого насоса полный вакуумъ, съ другой—полное давленіе воздуха. Если кромѣ того насосъ долженъ поднять воду на h_0 метровъ, то давленіе на cm^2 съ одной стороны поршня будетъ

$$p_x = 1 + 0{,}1\, h_0 \text{ атм.},$$

а полное давленіе на поршень

$$P_x = D_0^2 \frac{\pi}{4} (1 + 0{,}1\, h_0) \quad \ldots \quad 140$$

гдѣ D_0 есть діаметръ насоса въ **cm**.

Если насосъ приводится въ движеніе двуплечимъ рычагомъ (см. фиг. 2 до 8, табл. 14) и если x и y суть длины плечъ его, то давленіе на движущій конецъ рычага будетъ

$$P_y = P_x \frac{x}{y},$$

между тѣмъ какъ валъ, на которомъ вращается этотъ двуплечій рычагъ, подвергается давленію равнодѣйствующей P_z изъ двухъ силъ P_x и P_y.

Цапфы движущихся частей разсчитываются на

[1]) Zeitschr. deutsch. Ingenieure, 1895 г. стр. 1269.

сопротивленіе изгибу и смятію, рычагъ и валъ, на которомъ онъ вращается,—на сопротивленіе изгибу. При этомъ, чтобы получить подходящіе размѣры, допускаемыя напряженія матеріала и давленіе на единицу площади принимаютъ очень малыми; такъ, обыкновенно допускаютъ напряженія для стали—не болѣе 4 kg, для кованаго желѣза—3 kg, для литой стали—2 kg, послѣднее же давленіе не болѣе 0,35 kg на mm^2.

Примѣры.

1. Фирма А. Ридингеръ и К°, (August Riedinger & Co), общество для устройства сооруженій, работающихъ сжатымъ воздухомъ въ Аугсбургѣ, поставила въ Оффенбахѣ двѣ горизонтальныя компаундъ-машины съ холодильникомъ. Діаметръ малаго цилиндра равняется 550 mm, а большого—800 mm, ходъ поршня равняется 1000 mm и каждая машина, при 75 оборотахъ въ минуту, доставляла около 300 индикаторныхъ силъ. Разсчитать для этихъ машинъ вбрызгивающій холодильникъ съ параллельными токами и съ мокрымъ воздушнымъ насосомъ. Для разсчета холодильника опредѣлимъ общій расходъ пара для каждой машины. Съ этой цѣлью, по указаніямъ на стр. 108, примемъ расходъ пара на индикаторную силу въ часъ равнымъ 7,5 kg. Тогда количество пара, которое нужно охладить въ минуту будетъ

$$C = \frac{7{,}5 \cdot 300}{60} = \mathbf{37{,}5\ kg.}$$

Если далѣе давленіе пара при выпускѣ для большого цилиндра примемъ

$$p_e = 0{,}15\ \text{kg},$$

то давленіе въ холодильникѣ будетъ

$$p' = 0{,}8 \cdot 0{,}15 = 0{,}12\ \text{kg}.$$

Если въ распоряженіи имѣется свѣжая холодная вода и притомъ не приходится стѣсняться ея расходомъ, то по даннымъ на стр. 113 можно принять

$$t_0 = 20^\circ \text{ и } t' = 40^\circ\ \text{C}.$$

Тогда изъ уравненія 40а потребное для охлажденія 1 kg пара количество холодной воды будетъ

$$n = \frac{W}{C} = \frac{625-40}{40-20} = 29{,}25 \text{ или } \sim \mathbf{30\ kg},$$

а слѣдовательно общій расходъ воды въ минуту будетъ

$$W = n\,C = 30 \cdot 37{,}5 = \mathbf{1125\ kg.}$$

Для опредѣленія объема воздушнаго насоса въ m_3 можетъ служить равенство 41. При опредѣленномъ выше значеніе p' и при $p_{d'}$=0,072 атм., оно даетъ, соотвѣтственно $t' = 40^\circ$ изъ табл. II на стр. 67, объемъ

$$V = \frac{1}{1000}\left(30 + 1 + \frac{0{,}16 \cdot 30}{0{,}12-0{,}072}\right) 37{,}5 = \mathbf{4{,}9125\ m^3}.$$

Поршень воздушнаго насоса дѣлаетъ столько-же двойныхъ ходовъ въ минуту, сколько машина дѣлаетъ оборотовъ, т. е.

$$n_0 = n = \mathbf{75}.$$

При средней скорости этого поршня $c_0 = 1{,}25$ m, которая здѣсь выбрана столь незначительною въ виду того, что при способѣ приведенія въ дѣйствіе насоса, указанномъ на фиг. 3, табл. 14, бо́льшая скорость не требуется и не представляетъ существенныхъ выгодъ,—ходъ поршня изъ уравненія 131

$$S_0 = \frac{30 \cdot 1{,}25}{75} = \mathbf{0{,}5\ m}.$$

Діаметръ цилиндра насоса двойного дѣйствія при коэфиціентѣ полезнаго дѣйствія $\mu = 0{,}7$ опредѣлится изъ равенства

$$D_0^2 \frac{\pi}{4} = \frac{4{,}9125}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 0{,}5 \cdot 75} = \sim 0{,}0936\ m^2,$$

откуда

$$D_0 = \sim 0{,}346\ \text{m или лучше } D_0 = \mathbf{350\ mm}.$$

Построенная машина, чертежи которой помѣщены въ Zeitschr. deutsch. Ingen. за 1892 г., снабжена холодильникомъ съ противотоками по фиг. 7, табл. 13 и мокрымъ воздушнымъ насосомъ, діаметръ котораго равенъ 350 mm, а ходъ поршня—400 mm. Вода вступаетъ сверху холодильника, мятый паръ—снизу. Мокрый воздушный насосъ долженъ откачать черезъ трубу, расположенную вверху холодильника, воздухъ и несгустившійся паръ, а теплую воду и сгустившійся паръ—черезъ трубу, расположенную внизу. Это устройство предложено I. Schwager'омъ въ Zeitschr. deutsch. Ingen. за 1892 г. Чтобы паръ не могъ попадать въ насосъ черезъ нижнюю трубу, надо бы устроить въ ней гидравлическій затворъ, который однако въ разсматриваемой машинѣ отсутствуетъ. Въ ней ведущая къ насосу водяная труба лежитъ только немного глубже, чѣмъ діаметрально противоположная паровая труба (см. фиг. 7, табл. 13).

Въ холодильникѣ съ противотоками и сухимъ воздушнымъ насосомъ для опредѣленія величины n, соотвѣтствующей температурѣ t', слѣдовало-бы поставить въ уравненіе 40а соотвѣтствующую давленію $p' = 0{,}12$ температуру $t = 50^\circ$ C изъ табл. II на стр. 67.

Если въ данномъ случаѣ, по указаніямъ Schwager'а, примемъ t' меньше t на 6°, т. е. равнымъ 44°, то уравненіе 40а дастъ

$$n = \frac{625-44}{44-20} = \sim \mathbf{25\ kg}.$$

При этомъ расходъ холодной воды въ минуту будетъ

$$W = 25 \,.\, 37{,}5 = \sim \mathbf{940\ kg}.$$

Для опредѣленія объема воздушнаго насоса примѣнимъ уравненіе 41, но вмѣсто выраженія $\frac{0{,}16\,n}{p'-p^0}$, поставимъ въ немъ, согласно равенству 43, для холодильниковъ съ противотоками, выраженіе $\frac{0{,}16\,n}{p^{d'}-p^{d^0}}$, причемъ изъ табл. II на стр. 67 беремъ

соотвѣтственно $t' = 44^\circ$, — $p_{d'} = 0{,}09$ атм. и

соотвѣтственно $t^0 = 20 + 6^\circ$, — $p_{d_0} = 0{,}035$ атм.

Тогда имѣемъ

$$V = \frac{1}{1000}\left(25 + 1 + \frac{0{,}16 \,.\, 25}{0{,}09-0{,}035}\right) 37{,}5 = 3{,}7\ m^3.$$

При $\mu = 0{,}7$, $S_0 = 0.4$ m и средней скорости поршня насоса

$$c_0 = \frac{0{,}4 \,.\, 75}{30} = 1\ \text{m},$$

площадь поршня насоса будетъ

$$D_0^2 \frac{\pi}{4} = \frac{3{,}7}{2 \,.\, 0{,}7 \,.\, 0{,}4 \,.\, 75} = \sim 0{,}088\ m^2,$$

діаметръ его

$$D_0 = 0{,}335\ \text{m},$$

между тѣмъ какъ въ дѣйствительности принято

$$D_0 = \mathbf{350\ mm}.$$

Площадь поперечнаго сѣченія пароотвода изъ большого цилиндра машины въ холодильникъ, изъ уравненія 123, будетъ

$$d_0^2 \frac{\pi}{4} = 0{,}0278 \frac{C}{\gamma}\ cm^2.$$

По таблицѣ на стр. 11, при $p_e = 0{,}15$, дробь $\frac{1}{\gamma'} = \frac{1}{0{,}097}$, и количество пара, отводимаго изъ большого цилиндра въ холодильникъ въ часъ, $C = 60 \cdot 37{,}5 = 2250$ kg. Поэтому

$$d_0^2 \frac{\pi}{4} = 0{,}0278 \frac{2250}{0{,}097} = \sim 645\ cm^2,$$

и

$$d_0 = 28{,}7\ cm.$$

Лучше однако принять находящійся въ сортаментѣ $d_0 = 30$ cm $=$ **300 mm.**

Въ построенной машинѣ этотъ діаметръ принятъ $d_0 = 22{,}5$ cm.

Такъ какъ уравненіе 123 и поперечное сѣченіе трубы въ 645 cm² соотвѣтствуютъ средней скорости мятаго пара въ 100 m, то принятый діаметръ въ 22,5 cm будетъ соотвѣтствовать скорости пара равной

$$100\,\frac{645}{\overline{22{,}5}^2\,\frac{\pi}{4}} = 100\,\frac{645}{397{,}6} = \sim 163 \text{ m}.$$

Діаметръ **вбрызгивающей трубы** опредѣляется изъ уравненія 135 для $c_1 = 1{,}6$ m. Мы имѣемъ

$$d_1^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{1125}{60 \cdot 1000 \cdot 1{,}6} = \sim 0{,}012 \text{ m}^2,$$

откуда

$$d_1 = \sim 0{,}125 \text{ m} = \textbf{125 mm},$$

какъ и принято въ построенной машинѣ.

Если, далѣе, холодильникъ отдѣленъ отъ насоса, то діаметръ **всасывающей трубы**, соединяющей мокрый воздушный насосъ съ холодильникомъ, можетъ быть опредѣленъ изъ уравненія 136 b. При $c_1 = 1{,}6$, онъ будетъ

$$d_2 = 0{,}7 \cdot 0{,}35 \sqrt{2 \cdot 0{,}7\,\frac{1{,}25}{1{,}6}} = 0{,}255 \text{ m},$$

или лучше

$$d_2 = \textbf{250 mm}.$$

Въ построенной машинѣ воздушный насосъ, какъ уже было замѣчено, соединяется съ холодильникомъ водяной трубой и отдѣльною отъ нея воздушною трубою. Черезъ первую трубу изъ холодильника отводится охлаждающая вода и сгустившійся паръ. Принимая для холодильниковъ съ противотоками $n = 25$, а скорость воды $c_1 = 1$ m, найдемъ сѣченіе этой трубы изъ уравненія 138

$$d_2^2\,\frac{\pi}{4} = (25 + 1)\,\frac{3{,}75}{60 \,.\, 1000 \,.\, 1} = 0{,}0162 \text{ mm}^2$$

и ея внутренній діаметръ

$$d_2 = 0{,}144 \text{ m или кругло } \textbf{150 mm}.$$

Поперечное сѣченіе второй, воздушной трубы, при скорости воздуха $c_2 = 7{,}5$ m, изъ уравненія 139, равно

$$d'^2_2\,\frac{\pi}{4} = \frac{0{,}16 \,.\, 25}{0{,}09 - 0{,}035}\,\frac{37{,}5}{60 \,.\, 1000 \,.\, 7{,}5} = \sim 0{,}006 \text{ m}^2,$$

откуда діаметръ этой трубы будетъ

$$d'_2 = \sim 0{,}09 \text{ m} = 90 \text{ mm}.$$

Въ дѣйствительности въ этой машинѣ принято

$$d'_2 = \text{около } 60 \text{ mm}.$$

Діаметръ **отводящей трубы** мокраго воздушнаго насоса опредѣлится изъ равенства 137, принимая опять $c_1 = 1{,}6$ m,

$$d_3^2\,\frac{\pi}{4} = \frac{1}{60 \cdot 1000}(1{,}16 \cdot 30 + 1)\,\frac{37{,}5}{1{,}6} = 0{,}014 \text{ m}^2;$$

онъ равенъ

$$d_3 = \sim 0{,}135 \text{ m},$$

или цѣлесообразнѣе

$$d_3 = \textbf{150 mm}.$$

Живое сѣченіе клапановъ f′ получится изъ равенства 132 при условіи, что скорость прохода воды черезъ клапанъ $c_1 = 1$ до 1,2 m. При скорости $c_1 = 1$ m это сѣченіе будетъ

$$f' = \frac{V}{60 \cdot 1} = \frac{4{,}9125}{60} = \sim 0{,}082 \text{ m}^2.$$

Если съ каждой стороны поршня сдѣлать какъ на фиг. 1, табл. 12 по два прямоугольныхъ клапана, съ шириною сѣдла **130 mm**, и принять съуженіе поперечнаго сѣченія клапана въ сѣдлѣ равнымъ 0,4 f′, то длина каждаго клапаннаго сѣдла будетъ

$$\frac{1{,}4\,f'}{2 \cdot 0{,}13} = \frac{1{,}4 \cdot 0{,}082}{2 \cdot 0{,}13} = \sim 0{,}45 \text{ m} = \textbf{450 mm}.$$

Діаметръ **предохранительной трубы** воздушнаго насоса, согласно указаніямъ на стр. 114, дѣлается равнымъ діаметру отводящей воду трубы т. е.

$$d_4 = \textbf{150 mm}.$$

Объемъ холодильника принимается (см. стр. 114) равнымъ отъ 2 до 4 $D_0^2\,\frac{\pi}{4}\,S_0$. При внутреннемъ діаметрѣ равномъ **450 mm** и при высотѣ равной **1000 mm**, объемъ холодильника будетъ

$$\overline{0{,}45}^2\,\frac{\pi}{4}\,1 = 0{,}159 \text{ m}^3,$$

то есть равенъ

$$\frac{0{,}159}{\overline{0{,}35}^2\,\frac{\pi}{4}\,0{,}5} = \frac{0{,}159}{0{,}048} = \sim 3{,}31$$

объемамъ воздушнаго насоса.

Для разсчета частей, приводящихъ насосъ въ дѣйствіе, устроенныхъ согласно фиг. 3, табл. 14, допустимъ, что насосъ долженъ поднять воду еще на высоту 3 m. Тогда наибольшее рабочее давленіе на поршень насоса будетъ

$$p_x = 1 + 0{,}1 \cdot 3 = 1{,}3 \text{ атм.},$$

а общее рабочее давленіе на поршень будетъ

$$P = \overline{35}^2\,\frac{\pi}{4}(1 + 0{,}1 \cdot 3) = \sim 1250 \text{ kg}.$$

Точное опредѣленіе отношенія $\frac{x}{y}$ обоихъ плечъ колѣнчатаго рычага возможно только при самомъ выполненіи. Для дальнѣйшаго разсчета достаточно принять

$$\frac{x}{y} = \frac{S_0}{S},$$

такъ что для $x = 200$ mm имѣемъ

$$y = 200\,\frac{1}{0{,}5} = 400 \text{ mm}.$$

Наибольшій, изгибающій колѣнчатый рычагъ моментъ будетъ

$$P_x x = P_y y = 1250 \cdot 200 = 250000 \text{ kg mm},$$

откуда сила

$$P_y = \frac{250000}{400} = 265 \text{ kg}.$$

Если колѣнчатый рычагъ сдѣлать изъ литой стали, для которой примемъ для безопасности допускаемое на 1 mm² напряженіе k_b только въ 2 kg, то моментъ сопротивленія обоихъ поперечныхъ сѣченій колѣнъ рычага, который сдѣланъ у оси вращенія двойнымъ, при прямоугольной формѣ сѣченій, опредѣлится изъ равенства

$$2\,\frac{bh^2}{6}\,k_b = 250000,$$

откуда

$$\frac{bh^2}{6} = 62500.$$

Принимая $b = \frac{1}{3}\,h$, имѣемъ

$$h = \sqrt[3]{18 \,.\, 62500} = \sim \textbf{106 mm},$$

и

$$b = \frac{106}{3} = \textbf{35 mm}.$$

Діаметръ поршневого штока воздушнаго насоса можно опредѣлить по эмпирической формулѣ

$$\Delta_0 = \frac{350}{7} = \mathbf{50\ mm}.$$

Діаметръ цапфы крестовины, при отношеніи $\frac{l}{d} = 1{,}5$ и удѣльномъ давленіи на ея поверхность $p = 0{,}35$ kg, найдемъ изъ уравненія 73, куда вмѣсто P надо подставить $P_x = 1250$,

$$d_x = \sqrt{\frac{1250.1}{0{,}35.1{,}5}} = 48\ \text{mm}.$$

Примемъ

$$d_x = \mathbf{50\ mm},$$

тогда

$$l_x = 1{,}5 \cdot 50 = \sim \mathbf{75\ mm}.$$

По разсчету на изгибъ діаметръ цапфы крестовины получился бы значительно меньше. Если k_b для стальной цапфы принять равнымъ 4 и предположить, что сила P_x дѣйствуетъ на цапфу по серединѣ, то при разстояніи $c = 75 + 40 = 115$ (фиг. 3, табл. 14), пользуясь равенствомъ

$$1250 \cdot \frac{115}{4} = 0{,}1\ d_x^3 \cdot 4,$$

получили бы только

$$d_x = 45\ \text{mm}.$$

Болтъ y на концѣ длиннаго плеча рычага разсчитывается на силу P_y. Опять при $\frac{l}{d} = 1{,}5$, изъ равенства 73, имѣемъ

$$d_y = \sqrt{\frac{625 \cdot 1}{0{,}35 \cdot 1{,}5}} = \sim \mathbf{35\ mm}$$

и

$$l_y = 1{,}5 \cdot 35 = \sim \mathbf{52\ mm},$$

хотя можно принять $d_y = d_x$ и $l_y = l_x$.

Болтъ, на которомъ колѣнчатый рычагъ вращается въ гнѣздѣ прилитой къ станинѣ стойки, нагружается равнодѣйствующею силъ P_x и P_y. Если принять эту равнодѣйствующую

$$P_z = P_x + P_y = 1250 + 625 = 1875\ \text{kg},$$

что соотвѣтствуетъ наиболѣе невыгодному положенію рычага, то, при длинѣ гнѣзда $l_z = \mathbf{90\ mm}$ и при давленіи на единицу ея поверхности $p = 0{,}35$, діаметръ болта опредѣлится изъ равенства

$$P_z = l_z\, d_z\, p,$$

откуда

$$d_z = \frac{1875}{90 \cdot 0{,}35} = \sim \mathbf{60\ mm}.\ ^1)$$

При разсчетѣ на изгибъ, полагая $k_b = 4$ и $c = 90 + 40 = 130$, изъ равенства

$$1875\ \frac{130}{4} = 0{,}1\ d_z^3\, 4$$

получили бы только

$$d_z = \sim 53\ \text{mm}.$$

Если длина шатуна, связывающаго цапфу кривошипа съ цапфою Y (фиг. 3, табл. 14), отъ середины до середины гнѣздъ вкладышей будетъ $L' = 2400$ mm, то діаметръ сѣченія шатуна посерединѣ получимъ изъ уравненія 77, подставляя $\alpha = 25$, $P = P_y$ и $L = L'$,

$$H' = 0{,}1 \sqrt[4]{25 \cdot 625 \cdot \overline{2400}^2} = \sim \mathbf{55\ mm}.$$

Устройство цапфы кривошипа машины показано на фиг. 2, табл. 19. Діаметръ передней, болѣе слабой части этой цапфы, на которую надѣвается головка шатуна насоса, при $\frac{l'}{d'} = 1{,}2$ и $P_y = 625$ kg, будетъ въ предположеніи, что давленіе p на 1 mm поверхности цапфы въ данномъ случаѣ не должно быть больше 0,3 kg, равенъ

$$d' = \sqrt{\frac{625 \cdot 1}{0{,}3 \cdot 1{,}2}} = \sim 42 \text{ или лучше } \mathbf{45\ mm},$$

а длина цапфы

$$l' = 1{,}2 \cdot d' = \sim \mathbf{55\ mm}.$$

По сопротивленію матеріаловъ, изъ равенства

$$P_y \frac{l'}{2} = 0{,}1 d'^3 k_b,$$

при $k_b = 4$ и $l' = 1{,}2d'$, діаметръ разсматриваемой части цапфы былъ бы только

$$d' = \sqrt{\frac{625 \cdot 0{,}6}{0{,}1 \cdot 4}} = \sim 31\ \text{mm}.$$

Болѣе толстая часть цапфы кривошипа, которую охватываетъ головка шатуна большого цилиндра, изгибается вопервыхъ моментомъ $P\frac{l}{2}$, вовторыхъ моментомъ $P_y l''$, гдѣ P есть наибольшее давленіе въ этомъ цилиндрѣ, а l'' разстояніе, указанное на фиг. 2, табл. 19. Вліяніе послѣдняго изгибающаго момента однако весьма незначительно по сравненію съ вліяніемъ перваго. Оба момента дѣйствуютъ притомъ въ различныхъ плоскостяхъ. Такъ напр., при лѣвомъ мертвомъ положеніи большого поршня (фиг. 3, табл. 14), моментъ $P\frac{l}{2}$ будетъ дѣйствовать въ горизонтальной плоскости, а моментъ $P_y l''$—въ вертикальной. Если принять это положеніе за разсчетное, то, при наибольшемъ рабочемъ давленіи пара на поршень $p_n = 1{,}6$ атм. и

$$P = \overline{80}^2 \frac{\pi}{4} 1{,}6 = \sim 8000\ \text{kg},$$

имѣемъ діаметръ разсматриваемой части цапфы кривошипа, не принимая во вниманіе воздушный насосъ, изъ уравненія 80,

$$d = 80 \sqrt{1{,}6} = \sim 100\ \text{mm},$$

при длинѣ

$$l = 1{,}3 \cdot 100 = \sim 130\ \text{mm}.$$

Если же принять во вниманіе и вліяніе воздушнаго насоса, то размѣръ цапфы нѣсколько увеличится, но весьма мало. Такъ, сохраняя

$$\mathbf{l = 130\ mm}$$

и принимая ширину буртика, раздѣляющаго палецъ кривошипа на 2 части, равною 17,5 mm, разстояніе

$$l'' = \frac{l'}{2} + 17{,}5 + l = \frac{55}{2} + 17{,}5 + 130 = 175\ \text{mm},$$

а слѣдовательно первый изгибающій моментъ будетъ

$$P\frac{l}{2} = 8000\ \frac{130}{2} = 520000\ \text{kgmm},$$

а второй,

$$P_y l'' = 625 \cdot 175 = \sim 110000\ \text{kgmm}.$$

При расположеніи моментовъ въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ, ихъ равнодѣйствующій моментъ будетъ

$$\sqrt{\overline{520\,000}^2 + \overline{110\,000}^2} = \sim 532\,000\ \text{kgmm}.$$

Такимъ образомъ, діаметръ цапфы по равенству

$$532\,000 = 0{,}1\ d^3\, k_b,$$

при $k_b = 5$, будетъ

$$d = \sqrt[3]{\frac{532\,000}{0{,}1 \cdot 5}} = \sim \mathbf{103\ mm}.$$

---

[1]) Въ подлинникѣ здѣсь ошибка. *Прим. перев.*

Разница въ 3 mm. между этимъ и вычисленнымъ діаметромъ въ 100 mm. относительно весьма мала, а потому можно принять этотъ діаметръ равнымъ 100 мм.

2. Представленный на фиг. 54 текста и описанный на стр. 70 и 71, поверхностный холодильникъ съ противотоками, сухимъ воздушнымъ насосомъ и искусственнымъ охлажденіемъ воды, фирмы Balke & Co. въ Бохумѣ (Bochum), былъ разсчитанъ на расходъ пара въ 10000 kg въ часъ. Опредѣлить главнѣйшіе размѣры этого холодильника.

Примемъ за основаніе разсчета давленіе пара при выпускѣ $p_e = 0{,}2$ атм. и давленіе въ холодильникѣ $p' = 0{,}8 \cdot 0{,}2 = 0{,}16$ атм. (соотвѣтственно вакууму въ 63 cm,—или 83,5%—по табл. II, 2, стр. 67), въ такомъ случаѣ температура охлаждаемаго пара по таблицѣ II на стр. 67 будетъ

$$t = t' = \sim 55^\circ \text{ C}.$$

Для опредѣленія количества холодной воды n, потребнаго для охлажденія 1 kg пара, намъ послужитъ уравненіе 40b, въ которомъ примемъ согласно указаніямъ, приведеннымъ на стр. 113, температуру охлаждающей воды при выходѣ изъ холодильника t_1 на 5° меньше t', т. е. $t_1 = 50^\circ$ и $t_0 = 25^\circ$ C. Тогда получимъ

$$n = \frac{625 - 55}{50 - 25} = \sim \mathbf{24 \text{ kg}}.$$

Имѣя въ виду, что въ минуту нужно охлаждать количество пара

$$C = \frac{10000}{60} = \sim \mathbf{167 \text{ kg}},$$

потребное въ это время количество охлаждающей воды будетъ

$$W = n\,C = 24 \cdot 167 = \sim \mathbf{4000 \text{ kg}}.$$

Если охлаждающее воду приспособленіе будетъ доставлять воду въ холодильникъ съ температурой $t_0 = 35^\circ$ C, то изъ уравненія 40 b, полагая $t_1 = t' - 5^\circ$ при $n = 24$ получимъ

$$24 = \frac{625 - t'}{(t' - 5) - 35}$$

или

$$t' = 63^\circ \text{ C}.$$

Этой температурѣ по табл. II на стр. 67 соотвѣтствуетъ давленіе въ холодильникѣ

$$p' = 0{,}22 \text{ атм.},$$

или по таблицѣ II, 2, вакуумъ въ 57 cm, или

$$\frac{57}{75{,}5} = \sim 0{,}75 = 75\%.$$

Объемъ сухого воздушнаго насоса опредѣляется изъ уравненія 44. При $x = 0{,}09$ n, $p_{d'} = p' = 0{,}16$, $p_{d_0} = 0{,}041$ атм. и соотвѣтственно $t_0 = 30^\circ$ (увеличено здѣсь для безопасности на 5°), этотъ объемъ будетъ

$$V = \frac{1}{1000} = \frac{0{,}09.24}{0{,}16 - 0{,}041}\,167 = \sim 3{,}03 \text{ m}^3.$$

Въ дѣйствительности воздушный насосъ былъ спроектированъ съ такимъ разсчетомъ, чтобы указанный вакуумъ достигался въ холодильникѣ даже при охлажденіи въ 2, 3 раза бо́льшаго количества пара, [1]) т. е. для

$$C = 2{,}3 \cdot 167 = 384 \text{ kg},$$

объемъ его

$$V = 2{,}3 \cdot 3{,}03 = \mathbf{6{,}97 \text{ m}^3}$$

Насосъ для холодильника былъ выбранъ двойного дѣйствія, фирмы Burkhardt & Weiss, гарантирующій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія $\mu = 0{,}9$. При числѣ оборотовъ насоса $n_0 = 140$ въ минуту и средней скорости поршня $c_0 = 1{,}5$ m, ходъ его по уравненію 131

$$S_0 = \frac{30 \cdot 1{,}5}{140} = \sim 0{,}32 \text{ m} = \mathbf{320 \text{ mm}}.$$

Площадь поршня насоса, по уравненію 130,

$$D_0^2 \frac{\pi}{4} = \frac{6{,}97}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}32 \cdot 140} = \sim 0{,}0865 \text{ m}^2,$$

откуда діаметръ

$$D_0 = \sim 0{,}33 \text{ m} = \mathbf{330 \text{ mm}}.$$

Съ цѣлью соотвѣтственнаго уменьшенія работы воздушнаго насоса, при пониженіи расхода пара, охлаждаемаго холодильникомъ, паровая машина приводящая холодильникъ въ движеніе, снабжена регуляторомъ Вейса (Weiss), который допускаетъ измѣненіе числа оборотовъ отъ 60 до 140. Такъ напр., при расходѣ пара въ 167 kg въ минуту, число оборотовъ

$$140 \frac{3{,}03}{6{,}97} = 140 \frac{1}{2{,}3} = \sim 61.$$

Поперечное сѣченіе всасывающей трубы сухого воздушнаго насоса при скорости воздуха $c_2 = 6{,}5$ m, по уравненію 139, будетъ

$$d_2'^2 \frac{\pi}{4} = \frac{V}{60\,c_1} = \frac{6{,}97}{60 \cdot 6{,}5} = 0{,}0179 \text{ m}^2,$$

откуда внутренній діаметръ этой трубы

$$d'_2 = \sim 0{,}15 \text{ m} = \mathbf{150 \text{ mm}}.$$

Насосъ для удаленія конденсаціонной воды долженъ быть разсчитанъ на $C = 384$ kg. въ минуту. Примѣняя два паровыхъ насоса простого дѣйствія съ нырялами, наибольшее число оборотовъ которыхъ не превышаетъ $n_2 = 50$ въ минуту, поперечное сѣченіе каждаго ныряла при ходѣ $S_2 = 0{,}325$ m = $= \mathbf{325 \text{ mm}}$ и коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія насоса $\mu = 0{,}9$, найдется изъ уравненія 134

$$D_2^2 \frac{\pi}{4} = \frac{0{,}001 \cdot 384}{2 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}325 \cdot 50} = \sim 0{,}0132 \text{ m}^2,$$

и діаметръ нырялъ

$$D_2 = \sim 0{,}13 \text{ m} = \mathbf{130 \text{ mm}}.$$

Всасывающая и отводящая воду трубы этого насоса, при скорости воды 0,8 m, будутъ имѣть поперечное сѣченіе

$$\frac{384}{60 \cdot 1000 \cdot 0{,}8} = 0{,}008 \text{ m}^2,$$

откуда внутренній діаметръ этихъ трубъ кругло равенъ **100 mm**.

Насосъ, который подаетъ охлажденную воду изъ бассейна въ холодильникъ, надо разсчитать на

$$W = 4000 \text{ литр.} = 4 \text{ m}^3$$

воды въ минуту. Въ разсматриваемомъ холодильникѣ для этого установленъ центробѣжный насосъ Энке (Enke).

Охлаждающая поверхность поверхностнаго холодильника разсчитана, по указаніямъ фирмы, полагая на каждые 25 до 50 kg пара въ часъ 1 m² охлаждающей поверхности. При наибольшей работѣ холодильника нужно охладить $60 \cdot 384 = 23000$ kg пара въ часъ; считая 50 kg пара на 1 m² охлаждающей поверхности, эта поверхность будетъ

[1]) Установленный холодильникъ работаетъ теперь прекрасно, охлаждая именно это наибольшее количество пара, т. е. 2300 kg въ часъ.

$$\frac{23000}{50} = \sim 460 \text{ m}^2.$$

Охлаждающая поверхность составлена изъ трехъ серій мѣдныхъ трубокъ. Выбирая внѣшній діаметръ этихъ трубокъ въ 100 mm, внѣшняя окружность ихъ будетъ 314 mm = 0,314 m.

Принимая въ разсчетъ при наибольшемъ напряженіи холодильника всю поверхность трубъ, общая длина трубокъ будетъ

$$\frac{460}{0{,}314} = \sim 1465 \text{ m}.$$

Такимъ образомъ на каждую серію трубокъ приходится длина въ

$$\frac{1465}{3} = \sim 488 \text{ m},$$

т. е., при длинѣ трубки въ 25 m, число трубокъ въ каждой серіи

$$\frac{488}{25} = \sim 19.$$

ЧАСТЬ V.

Парораспредѣленія.

§ 28.

Назначеніе парораспредѣленій и подраздѣленіе ихъ.

Для работы паровой машины необходимо, чтобы свѣжій паръ, доставляемый паропроводной трубой, подводился то съ одной стороны поршня, то съ другой, въ то время какъ отработавшій паръ, находящійся съ противоположной стороны поршня, былъ удаляемъ черезъ пароотводную трубу. Это достигается различными системами парораспредѣленій. Въ парораспредѣленіи надо отличать внутреннія и внѣшнія части. Внутреннія части парораспредѣленія служатъ для распредѣленія свѣжаго пара по каналамъ, подводящимъ его къ рабочей сторонѣ поршня, и для сообщенія парового канала съ нерабочей стороны поршня съ пароотводящею трубою. Внѣшнія части парораспредѣленія служатъ для передачи движенія отъ кривошипа или снабженнаго имъ главнаго вала машины внутреннимъ частямъ парораспредѣленія. Парораспредѣленія могутъ быть подраздѣляемы различнымъ образомъ.

Прежде всего ихъ различаютъ по устройству внутреннихъ частей: золотниковыя, крановыя и клапанныя. Далѣе различаютъ парораспредѣленія съ постоянною отсѣчкою и съ перемѣнною отсѣчкою. Въ первыхъ съ рабочей стороны поршня подводится всегда одно и тоже количество свѣжаго пара, во вторыхъ количество впускаемаго свѣжаго пара измѣняется сообразно съ измѣненіемъ нагрузки машины. Измѣненіе отсѣчки въ парораспредѣленіяхъ можетъ быть производимо или отъ руки или автоматически, соотвѣтственно чему различаютъ парораспредѣленія съ измѣненіемъ отсѣчки отъ руки и отъ регулятора. Если внутреннія части парораспредѣленія получаютъ свое движеніе отъ главнаго вала машины при посредствѣ внѣшнихъ частей его только въ началѣ впуска пара до отсѣчки во внѣшнемъ распредѣлительномъ механизмѣ, а послѣ этой отсѣчки кинематическая связь ихъ съ внѣшними частями прерывается и дальнѣйшее движеніе внутреннихъ частей происходитъ уже отъ груза, пружины и т. д., то такое парораспредѣленіе будемъ называть парораспредѣленіемъ со свободной отсѣчкой въ отличіе отъ распредѣленій съ принужденной отсѣчкой [1]), въ которыхъ движеніе внутреннихъ частей парораспредѣленія какъ во время открыванія паровыхъ оконъ, такъ и при ихъ закрываніи, производится передачею отъ главнаго вала. Главными представителями парораспредѣленій перваго рода являются парораспредѣленія Корлиса и Зульцера, а главными представителями парораспредѣленій второго рода — парораспредѣленія Кольмана, Гартунга и т. д. Кромѣ того иногда различаютъ парораспредѣленія съ принужденной отсѣчкой отъ парораспредѣленій съ невполнѣ принужденной отсѣчкой, относя къ первымъ такія распредѣленія (напр. парораспредѣленіе Ридера и подобныя ему), въ которыхъ движеніе внутреннихъ частей находится постоянно въ жесткой кинематической связи съ внѣшнимъ механизмомъ, и разумѣя подъ вторыми (парораспредѣленія Кольмана, Гартунга и др.) такія парораспредѣленія, въ которыхъ закрываніе паровыхъ оконъ производится пружиной, грузомъ и т. п., при чемъ кинематическая связь внутреннихъ частей съ внѣшними достигается взаимнымъ соприкасаніемъ ихъ подъ давленіемъ упомянутой пружины или т. под.

§ 29.

Плоскіе, цилиндрическіе и поршневые золотники съ постоянной отсѣчкой.

Золотники примѣняются почти всегда въ томъ случаѣ, когда впускъ и выпускъ пара по ту и другую сторону поршня желательно производить однимъ и тѣмъ-же парораспредѣлительнымъ приборомъ. Даваемое ими распредѣленіе пара легче всего изслѣдовать для случая постоянной отсѣчки. При этомъ мы ограничимся изученіемъ простого плоскаго золотника и только въ концѣ этого параграфа кос-

[1]) Эти парораспредѣленія называются также свободными или соотвѣтственно связанными. См. Паровыя машины. СПБ. 1897 г. подъ редакціей ад. проф. Г. Ф. Деппа—стр. 267.

Примѣч. ред.

Поршни

Размѣры поршней пружинъ

$b = 0{,}6\sqrt{D}$ до $0{,}7\sqrt{D}$

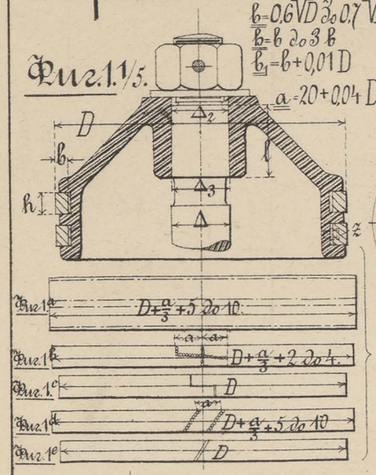
$b_1 = b$ до $3\,b$

$b_2 = b + 0{,}01\,D$

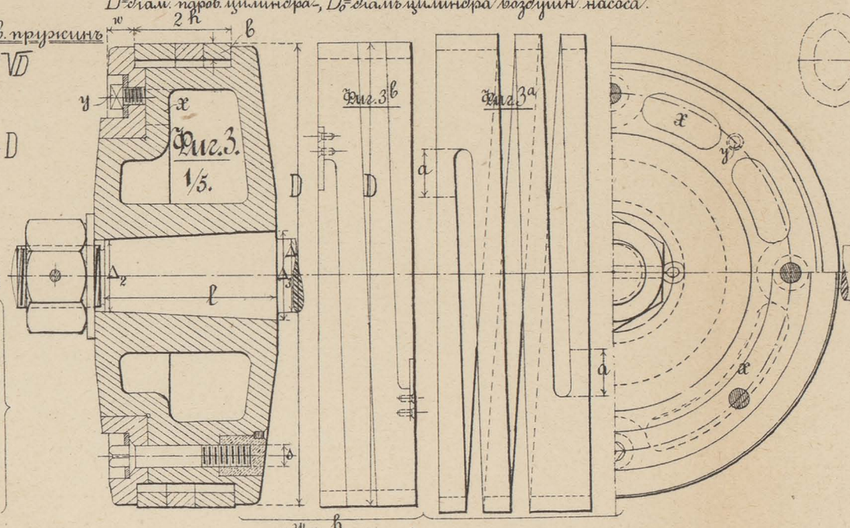
$a = 20 + 0{,}04\,D$

D=діам. паров. цилиндра, D_0=діаметръ цилиндра воздушн. насоса.

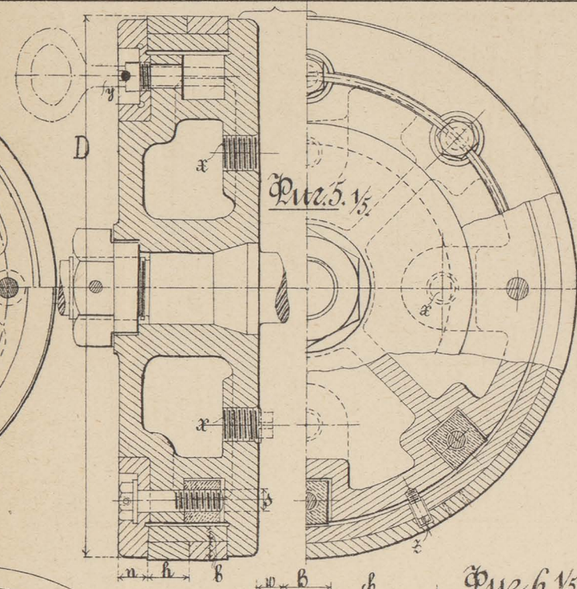
Фиг.1. 1/5.



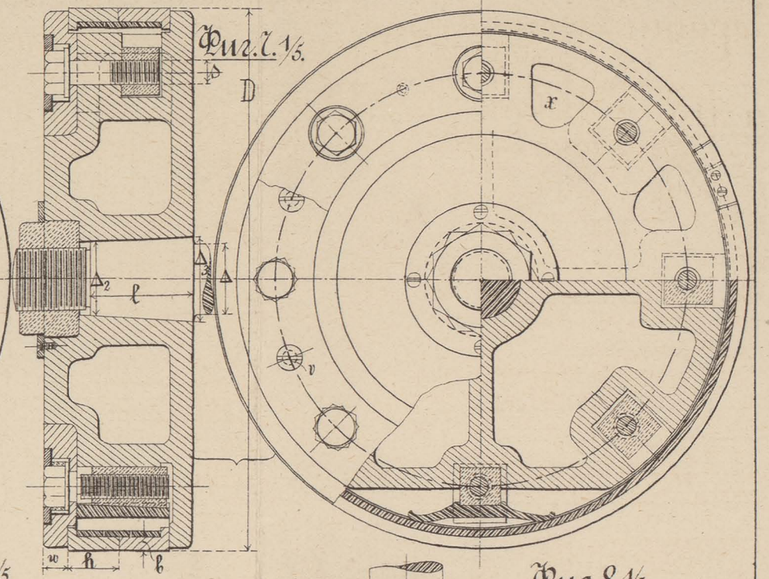
Фиг.3. 1/5.



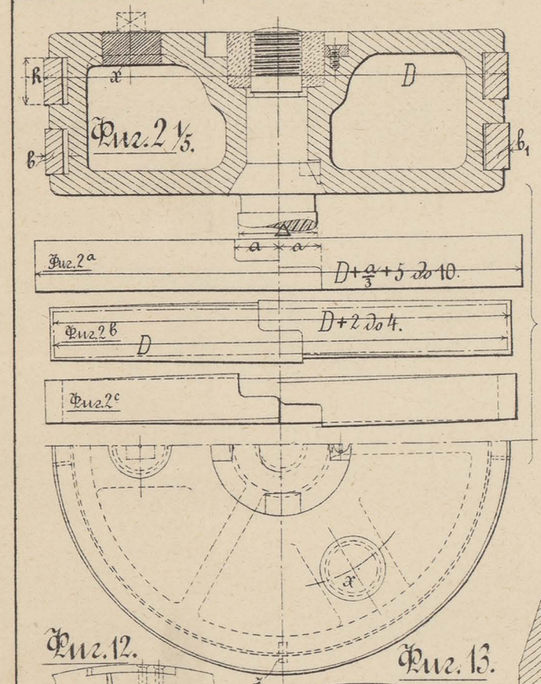
Фиг.5. 1/5.



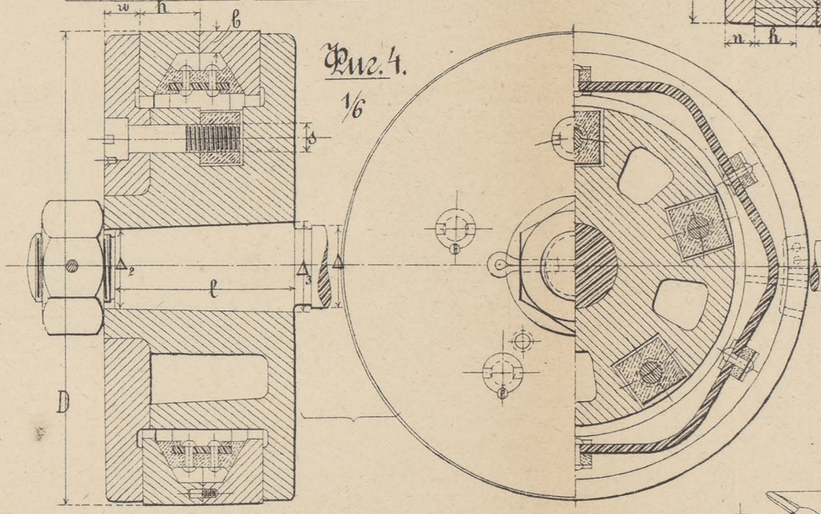
Фиг.7. 1/5.



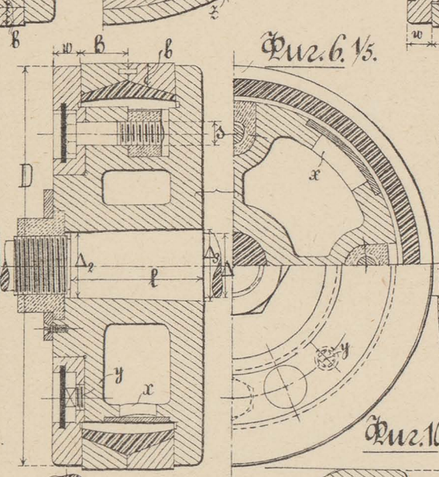
Фиг.2. 1/5.



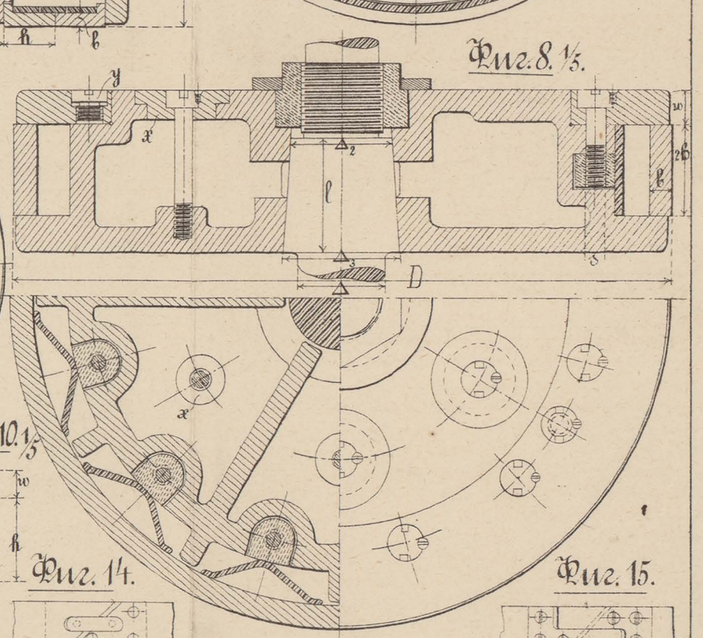
Фиг.4. 1/6



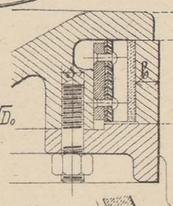
Фиг.6. 1/5.



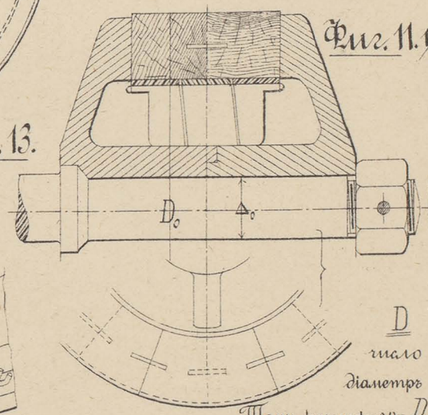
Фиг.8. 1/5.



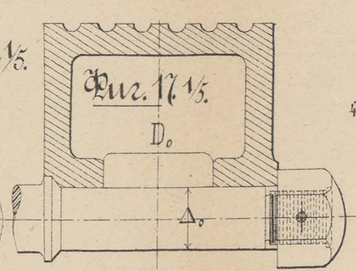
Фиг.10. 1/5



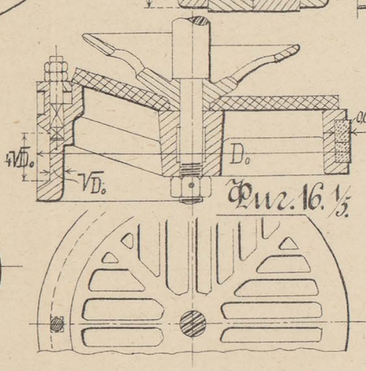
Фиг.11. 1/5.



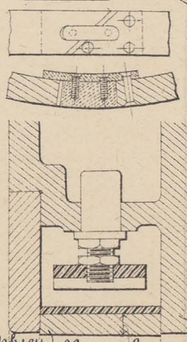
Фиг.17. 1/5.



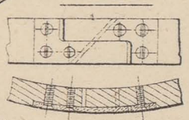
Фиг.16. 1/5.



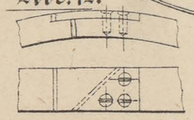
Фиг.14.



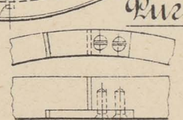
Фиг.15.



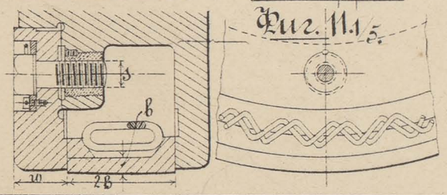
Фиг.12.



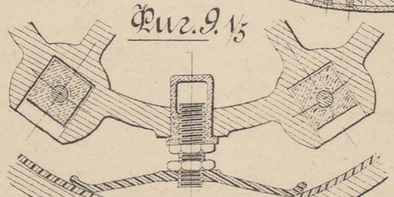
Фиг.13.



Фиг.11. 1/5.



Фиг.9. 1/5



Баты для крышекъ

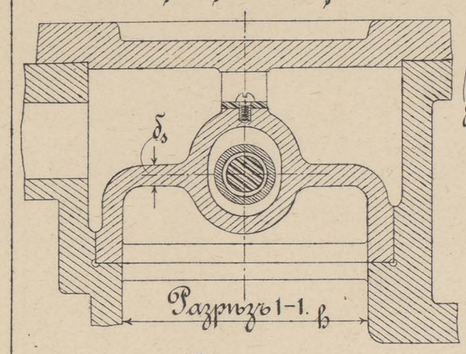
D =	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	
число	4	1/5	6	6	8	8	10	10	12	12	14	16	16	Δ діаметръ штока паров. поршня
діаметръ δ	5/8	3/4	7/8	1	1	1	1 1/8	1 1/8	1 1/8	1 1/4	1 1/4	1 1/4	1 1/4	Δ анг. дюйм. штока поршня воздушн. насоса

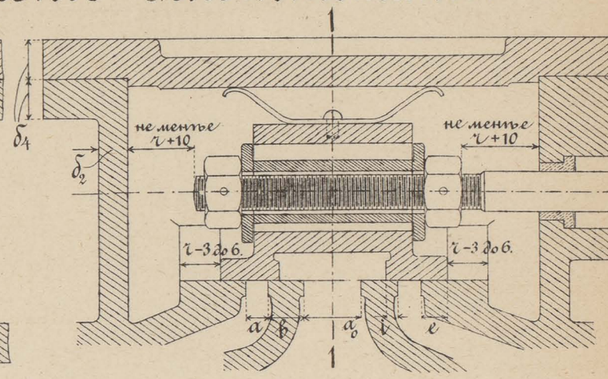
Тащ. крышекъ $w = \frac{D}{60} + 15$ | Δ_2 и Δ_3 = діаметру, l = длинѣ конуса и поршн. штока $\Delta_3 = \Delta_2 + \frac{l}{7}$ | $\Delta_3^2 - \Delta_2^2 \geq \frac{P}{4}$ (P=наибольшее рабочее давлен.)

Меньшій размѣръ для разрѣзныхъ колецъ при цѣльныхъ поршняхъ

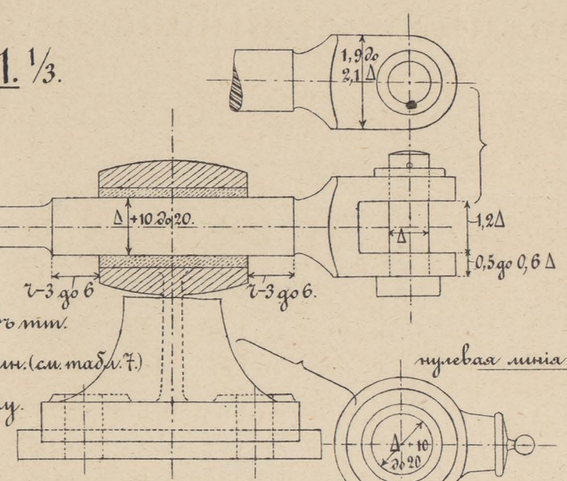
Лит. Пелевота СПБ

Пароораспредѣленіе золотниками.

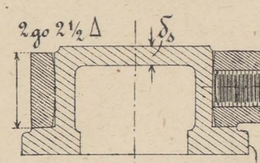




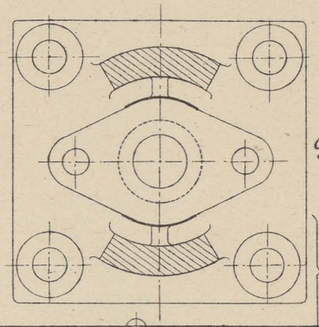
Фиг. 1. 1/3.



D = діам. цилиндра въ mm.
δ = толщ. стѣнк. цилин. (см. табл. 7.)
r = эксцентриситету.
Δ = 1/20 D + 10 до 14.
δ₅ = 0,4 δ до 0,6 δ.
δ₂ и δ₄ см. табл. 7.

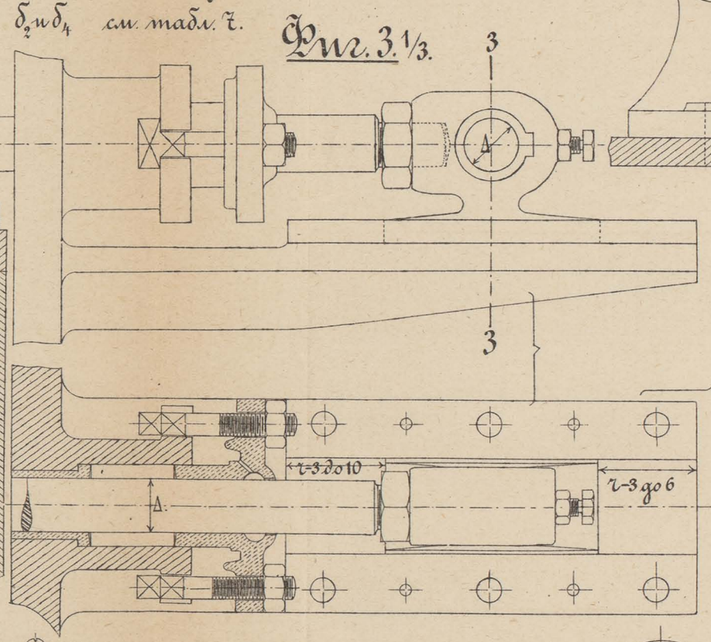


Фиг. 2. 1/3.

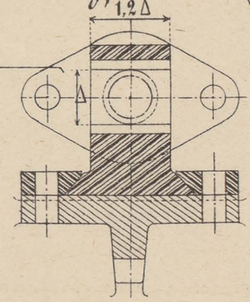


Фиг. 4. 1/3.

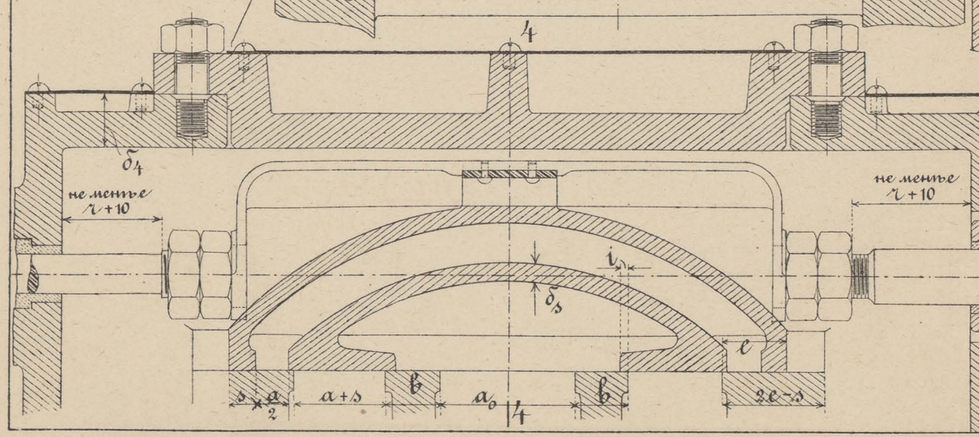
Разрѣзъ 5-5.



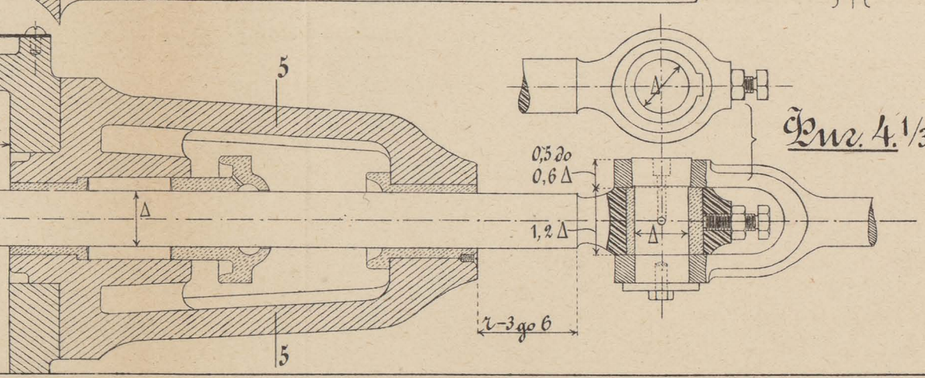
Фиг. 3. 1/3.



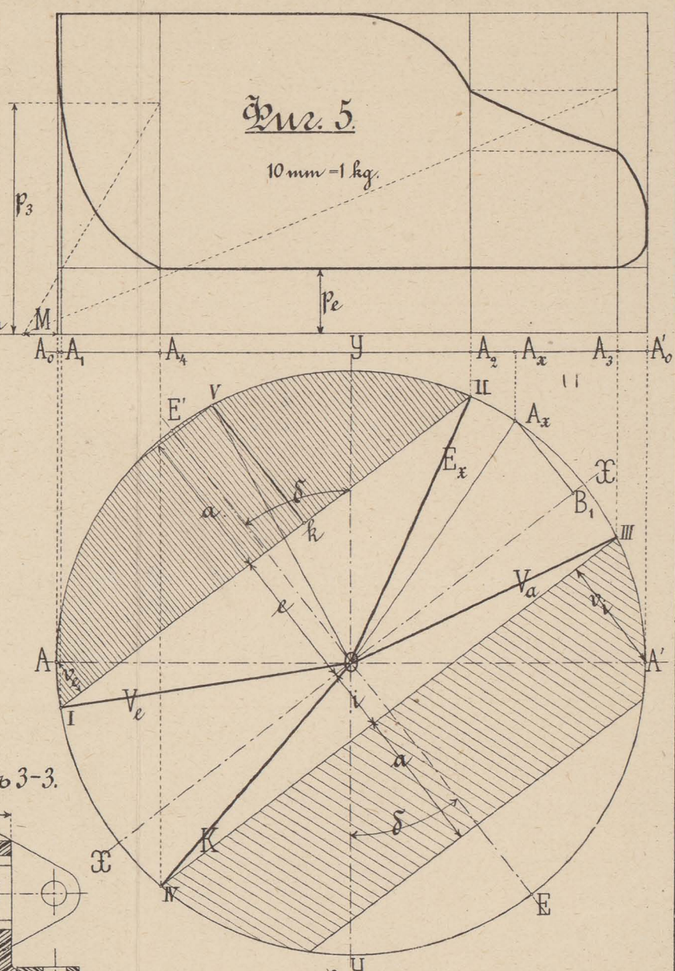
Разрѣзъ 3-3.



Фиг. 4. 1/3.

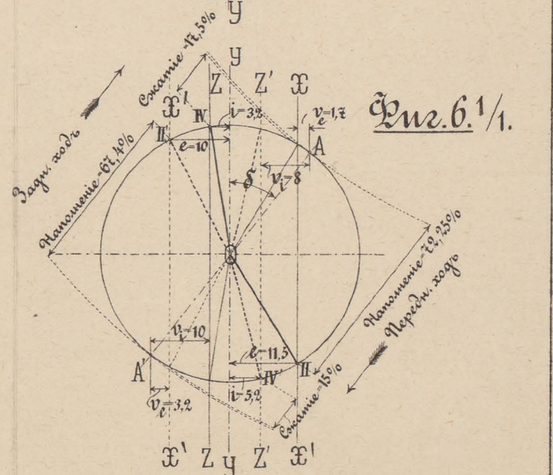


Фиг. 4. 1/3.



Фиг. 5.

10 mm = 1 kg.

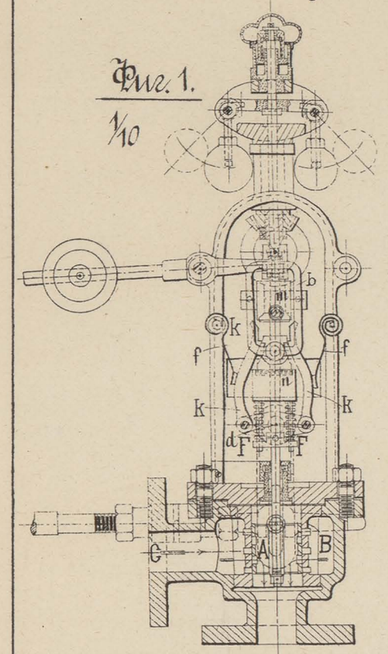


Фиг. 6. 1/1.

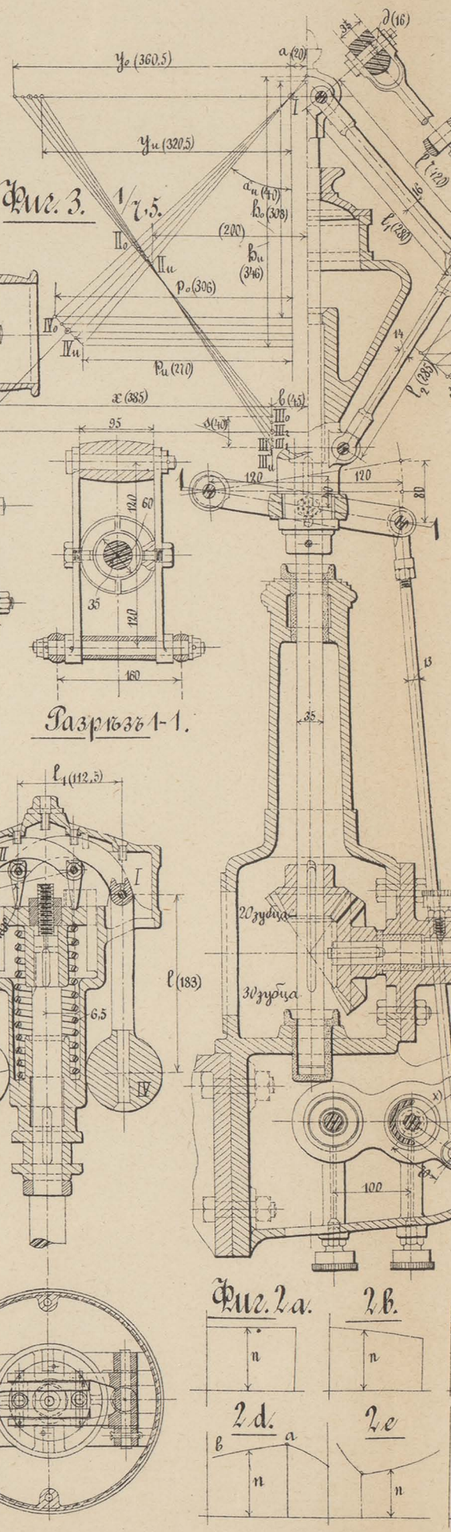
Лит. А. Лейферта, С. П. Б.

Регуляторы.

Фиг. 1. 1/10

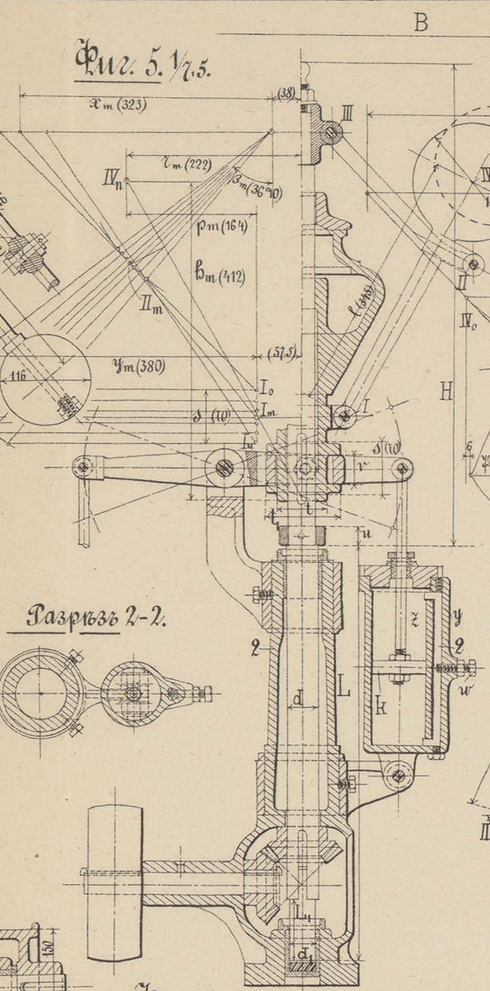


Фиг. 3. 1/7.5.

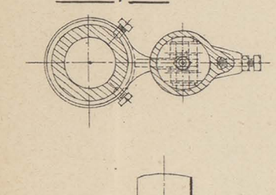


Разрѣзъ 1-1.

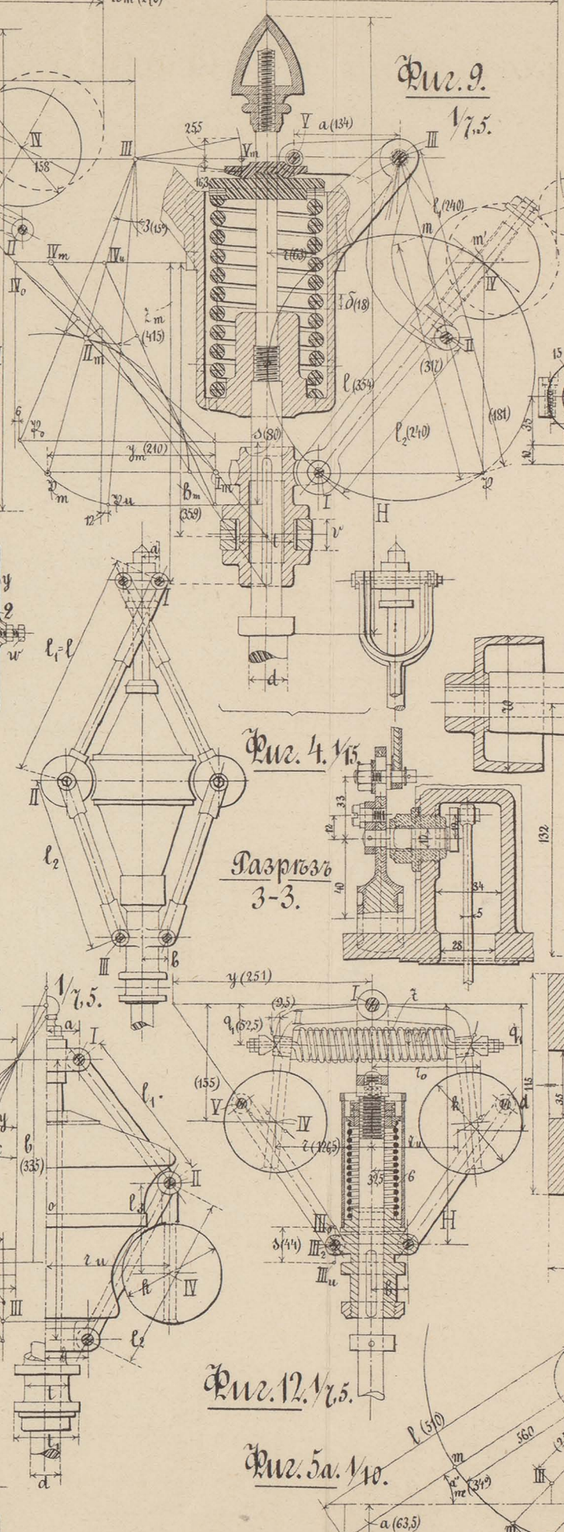
Фиг. 5. 1/7.5.



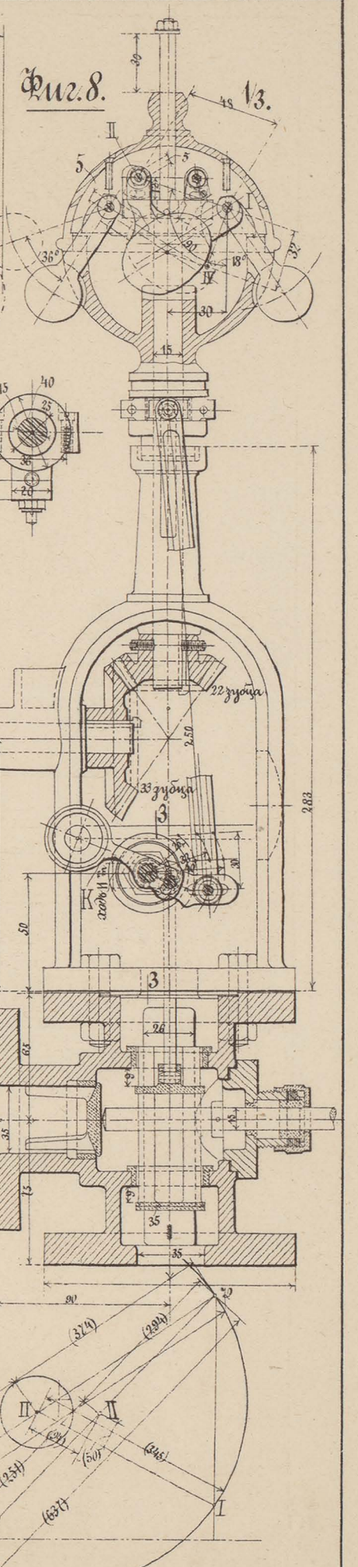
Разрѣзъ 2-2.



Фиг. 9. 1/7.5.



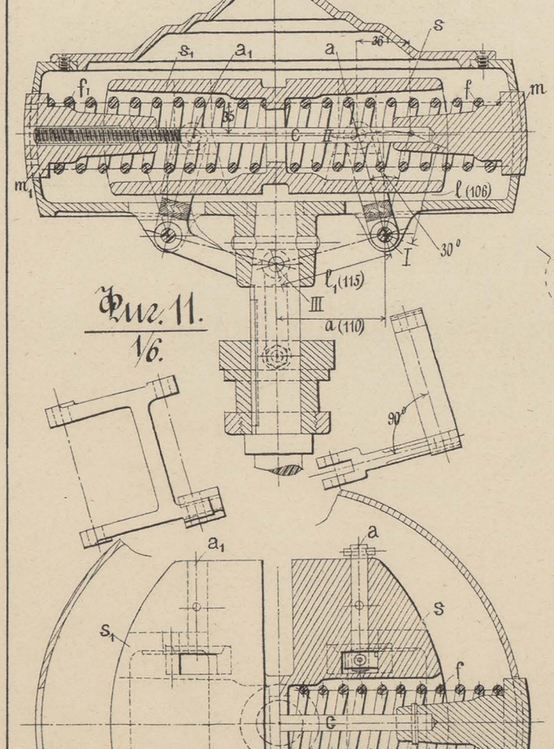
Фиг. 8. 1/3.



Фиг. 4. 1/15.

Разрѣзъ 3-3.

Фиг. 11. 1/6.

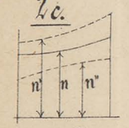


Фиг. 10. 1/6

Фиг. 2a.

2b.

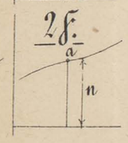
2c.



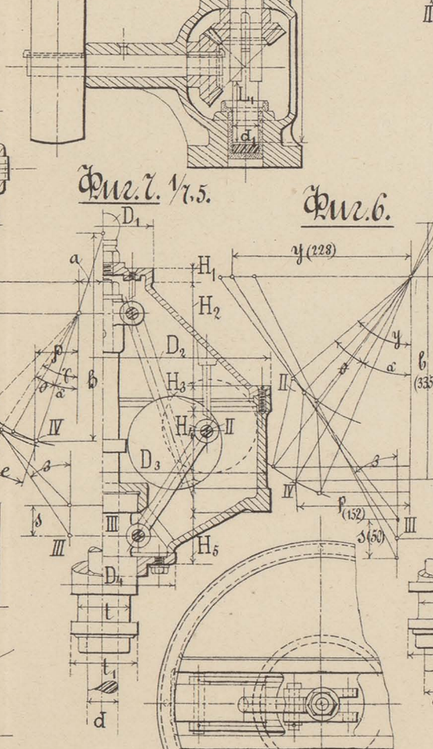
2d.

2e

2f.



Фиг. 7. 1/7.5.



Фиг. 6.

Фиг. 12. 1/7.5.

Фиг. 5a. 1/10.

x) Указанная на стр. 38 фиг. 3 большая длина рычага относится къ астатическому регулятору съ большимъ ходомъ.

Лит. Лейферта С.П.Б.

Дозволено Цензурою. С.-Петербургъ. 12-го Августа 1901 г.

немся цилиндрическихъ и поршневыхъ золотниковъ, которые отличаются отъ плоскихъ золотниковъ по формѣ, но не по даваемому ими распредѣленію пара.

Самый простой плоскій золотникъ имѣетъ форму, показанную на фиг. 1 и 2, табл. 31. Онъ скользитъ по золотниковому столу, съ тремя окнами, изъ которыхъ два боковыхъ, носящихъ названіе паровпускныхъ, соединяютъ золотниковую коробку съ каналами цилиндра, а средній—паровыпускной—соединяетъ одинъ изъ каналовъ цилиндра (съ нерабочей стороны поршня) и внутреннюю полость золотника съ атмосферою или холодильникомъ. Свое движеніе золотникъ получаетъ обыкновенно отъ главнаго вала при помощи эксцентрика, какъ это показано на фиг. 1, табл. 31. Въ дальнѣйшемъ мы будемъ предполагать постоянно, что примѣнено именно это устройство. Такъ какъ эксцентрикъ есть ничто иное какъ кривошипъ радіуса, равнаго эксцентриситету эксцентрика, то обыкновенно различаютъ главный кривошипъ (радіусъ R), получающій движеніе отъ поршня, и эксцентриковый кривошипъ (радіусъ r), приводящій въ движеніе золотникъ. Конструкцію золотника, представленную на фиг. 1 и 2, при которой скользящія по столу лапы равны по величинѣ площадямъ паровпускныхъ оконъ, принято называть золотникомъ безъ перекрыши въ отличіе отъ золотниковъ съ перекрышами — фиг. 3. Лапы золотника, представленнаго на фиг. 3 въ среднемъ положеніи, больше паровпускныхъ оконъ съ внѣшней стороны на величину e, называемую внѣшней перекрышей, а съ внутренней стороны на величину i, называемую внутренней перекрышей. Такимъ образомъ ширина лапы равна $e+a+i$, гдѣ a есть ширина паровпускного окна. Свѣжій паръ начинаетъ поступать въ паровое окно, напр. въ лѣвое окно по направленію стрѣлки, если это окно начинаетъ открываться внѣшнимъ (рабочимъ) ребромъ лѣвой лапы золотника и обратно черезъ него начинаетъ выходить мятый паръ изъ цилиндра по направленію пунктирной линіи, если это окно начинаетъ открываться внутреннею гранью лѣвой лапы золотника. Тѣ же положенія золотника будутъ соотвѣтствовать концу впуска и выпуска пара, если въ дальнѣйшемъ движеніи золотникъ будетъ закрывать, а не открывать окна.

Посмотримъ, какъ слѣдуетъ установить золотникъ относительно поршня, т. е. какъ слѣдуетъ насадить эксцентриковый кривошипъ на главный валъ, для того, чтобы при опредѣленномъ направленіи вращенія машины происходило правильное парораспредѣленіе.

Когда имѣемъ дѣло съ золотникомъ безъ перекрышъ, золотникъ долженъ находиться въ среднемъ положеніи при мертвомъ положеніи поршня, т. е. эксцентриковый кривошипъ O E долженъ опережать главный кривошипъ O K по направленію движенія на 90° (фиг. 2) при безконечно длинной эксцентриковой тягѣ для того, чтобы впускъ и выпускъ пара начинались вмѣстѣ съ началомъ движенія поршня. Если напр. поршень идетъ изъ лѣваго мертваго положенія въ правое, то золотникъ, какъ это видно изъ фиг. 2, также идетъ вправо изъ своего средняго положенія и такимъ образомъ свѣжій паръ поступаетъ въ цилиндръ черезъ лѣвый каналъ, а мятый паръ уходитъ съ правой стороны цилиндра черезъ правый каналъ. Когда же поршень будетъ въ положеніи O K′ (фиг. 2), то золотникъ придетъ въ правое мертвое положеніе, такъ какъ эксцентриковый кривошипъ будетъ въ положеніи O E′. Послѣ этого золотникъ пойдетъ обратно, что необходимо для того, чтобы онъ находился опять въ среднемъ положеніи, когда поршень достигнетъ праваго мертваго положенія.

Въ обыкновенныхъ паровыхъ машинахъ золотникъ безъ перекрышъ почти не примѣняется, преимущественно потому, что онъ не допускаетъ расширенія и сжатія пара въ цилиндрѣ. Такъ напр., когда золотникъ (фиг. 2), двигаясь вправо выходитъ изъ средняго положенія, внѣшняя грань лѣвой его лапы запираетъ, а внутренняя отпираетъ лѣвый каналъ, то есть кончается впускъ пара и тотчасъ-же начинается выпускъ его.

Если, примѣняя золотникъ съ перекрышами (фиг. 3), поставить условіемъ, чтобы при лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня онъ открывалъ лѣвый каналъ для впуска пара, а правый для выпуска пара, то для перваго условія было бы необходимо, чтобы въ этотъ моментъ золотникъ уже передвинулся изъ своего средняго положенія вправо на величину внѣшней перекрыши e, а для второго — на величину внутренней перекрыши i. Для того же, чтобы происходило предвареніе впуска и выпуска пара, необходимо, чтобы при мертвомъ положеніи поршня паровпускное окно уже было открыто на величину v_e, а паровыпускное на величину v_i. Оба эти условія будутъ выполнены, если эксцентриковый кривошипъ O E (фиг. 4, табл. 31) опережаетъ главный кривошипъ на уголъ $(90+\delta^\circ)$ такъ, что при мертвомъ положеніи поршня золотникъ уже передвинулся на величину $\overline{Oa}$ (или $\overline{Oa'}=e+v_e=i+v_i$ (эксцентриковая тяга предполагается безконечно длинною) изъ своего средняго положенія. Отсюда вытекаетъ важное правило:

Простой золотникъ съ перекрышами долженъ быть при мертвомъ положеніи поршня сдвинутъ со средняго своего положенія на величину $e+v_e=i+v_i$ чтобы паровпускное окно было открыто на величину v_e, а паровыпускное на величину v_i и чтобы, слѣдовательно, эксцентриковый кривошипъ опережалъ главный кривошипъ на $(90+\delta^\circ)$. v_e называютъ предвареніемъ впуска (опереженіемъ впуска или внѣшнимъ предвареніемъ), v_i — предвареніемъ выпуска (опережненіемъ выпуска или внутреннимъ предвареніемъ), а δ — угломъ предвареніе.

Если принять во вниманіе конечную длину эксцентриковой тяги, то окажется, что (фиг. 4 табл. 31) золотникъ при лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня сдвинутъ отъ середины стола SS на величину $\overline{Ob}$, при правомъ же мертвомъ положеніи поршня на величину $\overline{Ob'}$. Обѣ эти величины опредѣляются изъ равенства 21 при $\omega=90+\delta$ и будутъ

$$\overline{Ob}=r\sin\delta+\frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta \text{ и}$$

$$\overline{Ob'}=r\sin\delta-\frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta,$$

гдѣ l есть длина эксцентриковой тяги. $\overline{Ob}$ больше на величину

$$\overline{ab}=y=\frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta,$$

a $\overline{Ob'}$ меньше на такую же величину $\overline{a'b'}=\overline{ab}$ величины $\overline{Oa}=\overline{Oa'}=r\sin\delta$, на которую сдвигается золотникъ при безконечно длинной эксцентриковой тягѣ. Такимъ образомъ, если сдѣлать внѣшнія и внутреннія перекрыши обѣихъ лапъ золотника равными, между собою, то при эксцентриковой тягѣ конечной длины въ лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня, вслѣдствіе большаго отклоненія $\overline{Ob}$ золотника вправо, лѣвое паровпускное окно будетъ очевидно открыто для впуска, а правое для выпуска, больше, чѣмъ будутъ открыты эти окна въ правомъ мертвомъ положеніи поршня. Поэтому предвареніе впуска и выпуска для обоихъ сторонъ будутъ различны.

Если мы устроимъ золотникъ такъ, чтобы осью его колебаній была не середина стола S, а ось S′, лежащая влѣво отъ S на величину y, то отклоненія его отъ S вправо и влѣво будутъ одинаковы при мертвыхъ положеніяхъ поршня, а, слѣдовательно, предвареніе впуска и выпуска будутъ равны для обѣихъ сторонъ поршня. Въ этомъ случаѣ при лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня золотникъ будетъ отклоненъ отъ середины S стола вправо на величину $\overline{Ob}-y=r\sin\delta$, при правомъ же мертвомъ положеніи поршня золотникъ будетъ отклоненъ влѣво на величину $\overline{Ob'}+y=r\sin\delta$.

Поэтому, для достиженія при простомъ золотникѣ одинаковыхъ предвареній для обѣихъ сторонъ поршня, необходимо золотникъ установить такимъ

РУМЯН. БИБЛ. ТЕХ.

образомъ, чтобы онъ совершалъ полуразмахъ около оси, лежащей дальше середины стола отъ главнаго вала на величину

$$y = \frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta \quad \ldots\ldots \quad 141$$

Такимъ образомъ золотникъ съ равными лапами съ одной стороны будетъ имѣть перекрыши $e+y$ и $i-y$, а съ другой $e-y$ и $i+y$. Вышеупомянутую установку золотника въ практикѣ достигаютъ тѣмъ, что поршень и главный кривошипъ приводятъ поочередно то въ одно, то въ другое мертвое положеніе и при этомъ измѣняютъ длину эксцентриковой тяги до тѣхъ поръ, пока предваренія впуска (а слѣдовательно и выпуска) для того и другого окна не будутъ равны.

Для остальныхъ положеній золотника можно пренебречь конечною длиною эксцентриковой тяги, которая большею частью въ 20—40 разъ больше эксцентриситета.

Парораспредѣленіе простымъ золотникомъ производится слѣдующимъ образомъ.

Лѣвое паровпускное окно открывается (фиг. 7, табл. 31) или закрывается (фиг. 10) для впуска пара въ тотъ моментъ, когда золотникъ сдвинутъ со средняго своего положенія вправо на величину внѣшней перекрыши. Но въ періодъ открыванія окна (начало предваренія впуска пара) золотникъ удаляется отъ своего средняго положенія, при закрываніи же (начало расширенія пара) онъ возвращается въ среднее положеніе; такимъ образомъ въ первомъ случаѣ отклоненіе золотника отъ средняго положенія увеличивается, во второмъ случаѣ оно уменьшается. Очевидно, что посерединѣ между двумя разсматриваемыми положеніями золотника будетъ находиться правое мертвое его положеніе.

Если, слѣдовательно, на фиг. 5, табл. 31 для лѣвой стороны поршня O I есть положеніе его при началѣ расширенія пара, то по раздѣленіи угла $\omega = \text{I O II}$, образуемаго обоими положеніями кривошиповъ, пополамъ получимъ въ точкѣ K_1 положеніе $O K_1$ главнаго кривошипа, соотвѣтствующее правому мертвому положенію эксцентриковаго кривошипа, т. е. положенію его въ $O E_1$. Но, такъ какъ главный кривошипъ и эксцентриковый кривошипъ между собою постоянно образуютъ уголъ $(90+\delta)$, то очевидно прямая $O K_1$, съ вертикалью Y—Y проведенною черезъ O образуютъ уголъ предваренія δ.

Лѣвое паровпускное окно открываетъ (фиг. 11) или запираетъ (фиг. 14, табл. 31) выпускъ пара въ тотъ моментъ, когда золотникъ сдвинется изъ средняго своего положенія влѣво на величину внутренней перекрыши. При открываніи окна (начало предваренія выпуска пара) золотникъ удаляется изъ своего средняго положенія, при закрываніи же (начало сжатія) онъ возвращается въ него. Если опять раздѣлить уголъ $\text{III O IV} = \omega'$, проходимый пальцемъ кривошипа при переходѣ изъ положенія III (начало предвареніе выпуска) въ другое IV (начало сжатія), пополамъ (фиг. 5, табл. 31), то получимъ положеніе главнаго кривошипа $O K_1'$, соотвѣтствующее лѣвому мертвому положенію эксцентриковаго кривошипа $O E_1'$, которое съ вертикалью У—У опять образуетъ уголъ предваренія δ.

Все вышеизложенное лучше всего запоминается въ слѣдующемъ видѣ, причемъ надо обратить особенное вниманіе на слова напечатанныя жирнымъ шрифтомъ.

Если золотникъ отклоненъ **вправо** отъ своего мертваго положенія на величину **внѣшней** перекрыши лѣвой лапы, то при **увеличеніи** этого отклоненія онъ будетъ **открывать** (начало предваренія впуска), при **уменьшеніи — же закрывать** (начало расширенія) **лѣвое паровпускное окно** для **впуска** пара. Если золотникъ сдвинутъ **влѣво** отъ средняго положенія на величину **лѣвой внутренней** перекрыши, то при **увеличеніи** этого отклоненія онъ **открываетъ** (начало предваренія выпуска), а при **уменьшеніи закрываетъ** (начало сжатія) **лѣвое** паровпускное окно для **выпуска** пара. Для **праваго** паровпускного окна будетъ происходить соотвѣтственно тоже самое, но отклоненія золотника будутъ противоположны только что разсмотрѣннымъ.

Равнодѣлящая угла, образуемаго двумя положеніями кривошипа, занимаемыми имъ при началѣ предваренія впуска и началѣ расширенія, или же при началѣ предваренія выпуска и при началѣ сжатія, образуетъ съ вертикалью уголъ предваренія δ.

Если выбраны положенія главнаго кривошипа, занимаемыя имъ въ начальные моменты трехъ изъ упомянутыхъ періодовъ парораспредѣленія, то этимъ уже опредѣлено вполнѣ и соотвѣтственное положеніе кривошипа для четвертаго періода, а слѣдовательно опредѣлена и общая продолжительность всѣхъ періодовъ парораспредѣленія золотникомъ.

При конечной длинѣ шатуна золотникъ, совершающій свой ходъ около середины золотниковаго стола и устроенный симметрично относительно этой середины, не производитъ одинаковаго парораспредѣленія съ той и другой стороны поршня. Если пренебречь конечною длиною эксцентриковой тяги, то кривошипъ при началѣ одного и того же періода парораспредѣленія при прямомъ ходѣ образуетъ съ мертвымъ положеніемъ его тотъ же самый уголъ, который онъ образуетъ съ другимъ своимъ мертвымъ положеніемъ при обратномъ ходѣ. Между тѣмъ благодаря конечной длинѣ шатуна, при одинаковыхъ углахъ поворота кривошипа, пути пройденные поршнемъ при прямомъ и обратномъ ходѣ не одинаковы, а именно пути проходимыя поршнемъ во время одного и того же періода парораспредѣленія будутъ больше съ задней стороны его при прямомъ ходѣ, и съ передней стороны при обратномъ ходѣ. Такъ напр. путь, проходимый поршнемъ во время наполненія цилиндра, и отсчитываемый всегда сзади поршня, будетъ больше для прямого хода, чѣмъ для обратнаго, между тѣмъ какъ путь, проходимый поршнемъ во время сжатія и отсчитываемый всегда съ передней стороны поршня будетъ больше при обратномъ ходѣ, чѣмъ при прямомъ. (Фиг. 1 табл. 31).

При золотникѣ, устроенномъ симметрично относительно середины золотниковаго стола и ходящемъ около этой середины, наполненіе и сжатіе будутъ больше на той сторонѣ поршня, которая считается задней при прямомъ ходѣ его (на фиг. 1, табл. 31 лѣвая сторона).

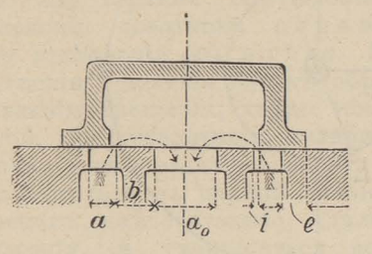
Если мы хотимъ уменьшить неравенство наполненій съ обѣихъ сторонъ поршня, то мы должны увеличить внѣшнюю перекрышу золотника съ той стороны, съ которой происходитъ впускъ при прямомъ ходѣ поршня (на фиг 1, табл. 31, лѣвая лапа) и напротивъ съ другой стороны уменьшить внѣшнюю перекрышу. Такъ поступаютъ потому, что чѣмъ больше внѣшняя перекрыша, тѣмъ позже будетъ открываться соотвѣтствующее паровпускное окно, тѣмъ меньше будетъ предвареніе впуска, а также тѣмъ скорѣе будетъ закрыто это окно, и слѣдовательно, тѣмъ меньше будетъ наполненіе цилиндра и наоборотъ. Указанной разницы во внѣшнихъ перекрышахъ въ большинствѣ случаяхъ достигаютъ измѣненіемъ длины золотниковой тяги, то есть тѣмъ, что сдвигаютъ нѣсколько назадъ, относительно средины стола, ту ось, около которой золотникъ совершаетъ свои размахи, сохраняя при томъ полное равенство въ перекрышахъ золотника по отношенію къ его серединѣ. Однако необходимо имѣть въ виду, при этомъ, что при измѣненіи длины золотниковой тяги измѣняются также линейныя предваренія впуска съ обѣихъ сторонъ поршня.

Такимъ же образомъ получимъ, что неравенство въ сжатіяхъ по обѣ стороны поршня уменьшится, если уменьшить внутреннюю перекрышу со стороны той лапы золотника, которая работаетъ при обратномъ ходѣ поршня (на фиг. 1 лѣвая сторона), и увеличить внутреннюю перекрышу другой лапы,

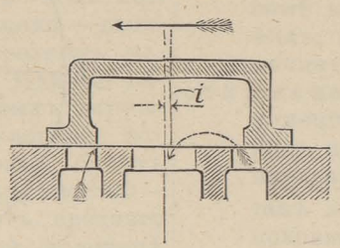
т. е. если придать золотнику неравныя внутреннія перекрыши. Однако надо опять принять во вниманіе, что при этомъ измѣнятся предваренія выпуска съ той и другой стороны поршня.

Итакъ, неравенство въ наполненіяхъ съ обѣихъ сторонъ поршня уменьшится, если измѣнить длину золотниковой тяги, т. е. если сдвинуть ось, около которой золотникъ совершаетъ свои размахи, со середины золотниковаго стола, съ чѣмъ связано измѣненіе внѣшнихъ перекрышъ. Однако при этомъ

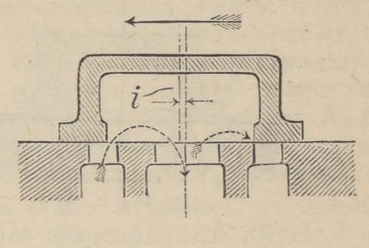
Фиг. 65.



Фиг. 66.



Фиг. 67.



слѣдуетъ принимать во вниманіе, что такая перестановка золотника вызываетъ неравенство предвареній впуска пара и разница въ ихъ величинахъ будетъ тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе будетъ превосходить величина сдвига золотника величину y, опредѣляемую уравненіемъ 141, при помощи которой достигаются равныя предваренія при эксцентриковыхъ тягахъ конечной длины. Неравенство въ сжатіяхъ можно уменьшить еще тѣмъ, что дѣлаютъ внутреннюю перекрышу съ той стороны цилиндра, въ которой происходитъ сжатіе при обратномъ ходѣ поршня, нѣсколько меньше, чѣмъ съ другой стороны, что однако также вызываетъ неравенство въ предвареніяхъ выпуска пара.

Многіе конструкторы устанавливаютъ теперь золотникъ не на равныя предваренія впуска пара, а стараются измѣненіемъ длины золотниковой тяги (т. е. сдвигомъ середины золотника съ середины золотниковаго стола) установить золотникъ, за счетъ нѣкотораго неравенства предвареній и впуска, такъ, чтобы достичь приблизительно равныхъ наполненій цилиндра, изза счетъ неравенства внутреннихъ перекрышъ, достигаютъ приблизительно равныхъ сжатій съ обѣихъ сторонъ поршня.

Значительно легче прослѣдить парораспредѣленіе, производимое простымъ золотникомъ, при помощи такъ называемой золотниковой діаграммы, которая даетъ графически для каждаго разсматриваемаго положенія кривошипа соотвѣтственный ходъ золотника. Въ двухъ слѣдующихъ параграфахъ разсмотрѣны двѣ употребительнѣйшія золотниковыя діаграммы Цейнера и Мюллера. Теперь же разсмотримъ употребительнѣйшія виды простого золотника.

На фиг. 3, табл. 31 обѣ лапы золотника при среднемъ положеніи его перекрываютъ внутренніе края обоихъ паровпускныхъ оконъ цилиндра на величину внутренней перекрыши i. Въ этомъ случаѣ внутреннія кромки золотника при среднемъ положеніи его расположены между внутренними ребрами паровпускныхъ оконъ. Такого рода золотникъ будемъ называть золотникомъ съ положительными внутренними перекрышами, въ отличіе отъ золотника, представленнаго на фиг. 65 текста, въ которомъ внутреннія кромки золотника при среднемъ его положеніи находятся снаружи внутреннихъ реберъ паровпускныхъ оконъ. Послѣдній золотникъ будемъ называть золотникомъ съ отрицательными внутренними перекрышами. Этотъ золотникъ открываетъ, напримѣръ, лѣвое паровпускное окно для выпуска (фиг. 66 текста—начало предваренія выпуска), когда онъ, возвращаясь въ свое среднее положеніе справа еще не дошелъ до него на величину i. Золотникъ закрываетъ лѣвое паровпускное окно для выпуска (начало сжатія) при томъ же положеніи, показанномъ на фиг. 66, т. е. когда онъ сдвинуть вправо отъ средняго положенія на величину i, если онъ удаляется изъ средняго положенія.

Золотникъ съ отрицательными внутренними перекрышами находитъ себѣ иногда примѣненіе въ томъ случаѣ, когда нужно избѣжать слишкомъ сильнаго сжатія.

Особое свойство этого золотника видно изъ фиг. 65 текста. А именно въ этомъ золотникѣ бываетъ, что съ паровыпускнымъ окномъ соединяются одновременно обѣ стороны поршня. Когда напр. золотникъ идетъ справа на лѣво, то очевидно одновременный выпускъ съ обѣихъ сторонъ поршня начинается въ то время, когда золотникъ (фиг. 66) открываетъ лѣвое паровпускное окно съ внутренней стороны и кончается (фиг. 67), когда золотникъ закроетъ изнутри правое паровпускное окно. Необходимо замѣтить по этому поводу слѣдующее.

Простой золотникъ съ отрицательными внутренними перекрышами при каждомъ одиночномъ ходѣ одинъ разъ одновременно открываетъ оба паровпускныхъ окна для выпуска пара. Этотъ періодъ начинается, когда золотникъ начинаетъ открывать одно изъ паровпускныхъ оконъ для выпуска (начало предваренія выпуска съ одной стороны поршня) и кончается, когда золотникъ закрываетъ для выпуска другое паровпускное окно для выпуска (начало сжатія съ другой стороны поршня).

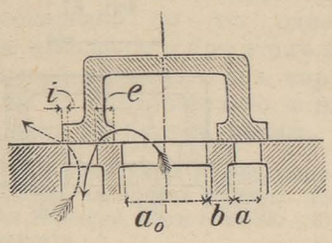
Въ слѣдующемъ параграфѣ это характерное свойство будетъ изслѣдовано въ связи съ діаграммою парораспредѣленія.

До сихъ поръ мы полагали, что впускъ пара производится и регулируется внѣшними кромками золотниковыхъ лапъ, а выпускъ—внутренними кромками этихъ лапъ. Встрѣчается однако и обратный порядокъ парораспредѣленія (фиг. 68), когда внѣшняя перекрыша e устраивается съ внутренней стороны золотника, а внутренняя перекрыша i съ наружной стороны. Такой золотникъ можно назвать золотникомъ съ внутреннимъ впускомъ пара.

Для того, чтобы разсматриваемый золотникъ (фиг. 68) производилъ парораспредѣленіе въ желательномъ смыслѣ, онъ долженъ, при впускѣ пара съ одной и той же стороны поршня, двигаться противоположно обыкновенному золотнику. Поэтому эксцентриковый кривошипъ (эксцентриситетъ) долженъ быть заклиненъ на главномъ валу машины такъ, какъ это указано на фиг. 69 текста, и все, что было сказано раньше относительно впуска и выпуска пара, можетъ быть отнесено и къ этому случаю, считая правое лѣвымъ и наоборотъ.

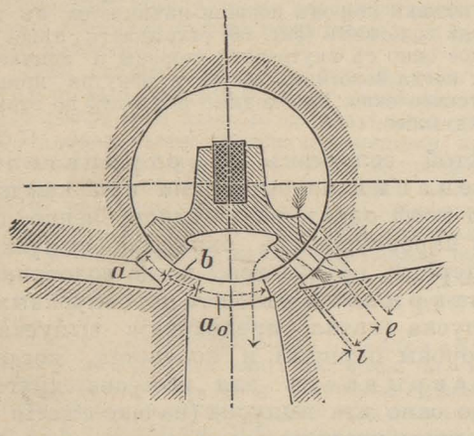
Когда парораспредѣленіе производится золотникомъ со впускомъ пара изнутри, то главный кривошипъ долженъ опережать эксцентриситетъ на уголъ $90-\delta^0$, подразумѣвая подъ δ уголъ, показанный на фиг. 69 текста.

Фиг. 68.



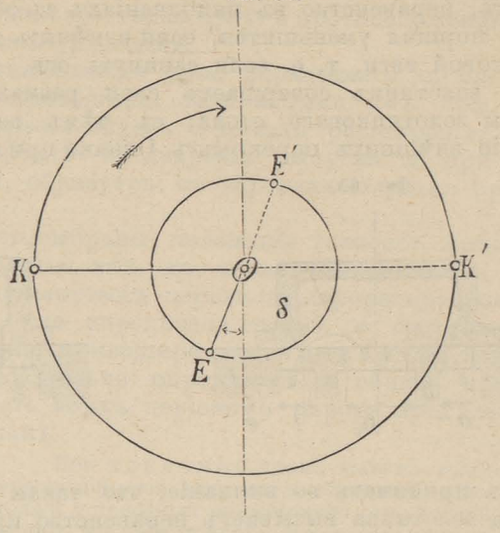
Если представить себѣ, что скользящая поверхность золотника есть не плоскость, а цилиндрическая поверхность (фиг. 70 текста) съ осью, направленной перепендикулярно къ оси цилиндра, то мы будемъ имѣть дѣло съ такъ называемыми круглыми золотниками или кранами. Они совершаютъ только вращательное движеніе около своей оси. Когда одинъ и тотъ же золотникъ производитъ какъ впускъ, такъ и выпускъ пара, какъ на фиг. 70, то его чаще называютъ круглымъ золотникомъ. Въ томъ случаѣ, когда впускъ и выпускъ пара на каждой сторонѣ цилиндра производятся отдѣльными кранами, такъ что въ каждомъ цилиндрѣ имѣется четыре крана, послѣдніе называютъ кранами Корлисса. Если же образовать тѣло вращенія, какъ показано на фиг. 71 текста, съ профилью простого золотника, полученнаго продольнымъ разрѣзомъ его, то получимъ такъ называемый простой цилиндрическій или поршневой золотникъ. Такой золотникъ имѣющій форму поршня, своими цилиндрическими лапами скользитъ по цилиндрическому столу. Ось поршневого золотника располагается параллельно оси цилиндра. Пока поршневой золотникъ плотно ходитъ по столу, онъ совершенно уравновѣшенъ и поэтому для своего движенія требуетъ значительно меньшаго усилія, чѣмъ простой золотникъ.

Фиг. 70.

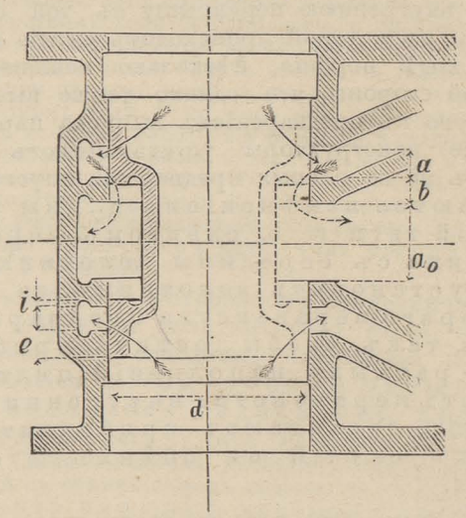


Парораспредѣленіе кранами и поршневыми золотниками производится точно такимъ же образомъ, какъ и простыми золотниками. И здѣсь могутъ встрѣчаться положительныя и отрицательныя внутреннія перекрыши и впускъ пара можетъ происходить какъ снаружи, такъ и изнутри крана или поршневого золотника.

Фиг. 69.



Фиг. 71.



О приготовленіи крановъ, простыхъ и поршневыхъ золотниковъ будетъ сказано въ послѣдней части.

§ 29.

Золотниковая діаграмма Цейнера.

Представимъ себѣ, что на діаметрѣ A—A′ (фиг. 6, табл. 31) описанъ кругъ, представляющій путь пальца кривошипа, съ линіей мертвыхъ точекъ по діаметру AA′. Отложимъ въ сторону, противоположную направленію движенія кривошипа, отъ вертикали Y — Y, при центрѣ O, уголъ опереженія δ простого, круглаго или поршневаго золотника (фиг. 3, табл. 31). На наклонной сторонѣ этого угла и ея продолженіи опишемъ двѣ (касательныхъ въ точкѣ O) окружности съ діаметрами OD = OD′ = = эксцентриситету r. Эти двѣ окружности назы-

ваютъ **золотниковыми окружностями Цейнера**. Тогда при любомъ положеніи кривошипа, изображаемомъ соотвѣтственнымъ радіусомъ круга A A′, одна изъ этихъ окружностей отсѣкаетъ отъ направленія этого радіуса хорду, представляющую величину отклоненія золотника отъ средняго своего положенія, соотвѣтствующую данному положенію кривошипа въ предположеніи, что эксцентриковая тяга безконечно длинна. При направленіи вращенія машины какъ это показано на фигурѣ и при устройствѣ машины, принятомъ на фиг. 1, табл. 31, верхняя окружность даетъ величины отклоненія золотника вправо, нижняя — величины отклоненія его влѣво. При обратномъ направленіи вращенія будетъ обратное. Идя по направленію вращенія, хорды золотниковыхъ окружностей, представляющія величину отклоненія золотника отъ средняго своего положенія, будутъ увеличиваться въ первой половинѣ окружностей — золотникъ, слѣдовательно, удаляется отъ средняго положенія, и уменьшаться во второй половинѣ тѣхъ же окружностей, то есть, золотникъ будетъ возвращаться въ свое среднее положеніе. Чтобы получить положенія поршня, соотвѣтствующія послѣдовательнымъ положеніямъ кривошипа, чертятъ кругъ кривошипа въ уменьшенномъ масштабѣ, и имѣя въ виду, что понадобится измѣрять только отношеніе пройденнаго поршнемъ пути къ полному его ходу, берутъ за радіусъ $OA = OA' = 50$ или 100 mm. Тогда, при безконечно длинномъ шатунѣ, положенія поршня получатся какъ проекціи конечной точки главнаго кривошипа на горизонталь $\overline{A_0 A_0'}$

При положеніи главнаго кривошипа OV на фиг. 6, когда онъ повернулся изъ лѣваго мертваго положенія на уголъ ω, по вышесказанному золотникъ сдвинутъ со средняго своего положенія на величину хорды $\overline{Op_1}$ вправо. Что это справедливо, видно изъ слѣдующаго. При разсматриваемомъ положеніи кривошипа эксцентриситетъ, фиг. 4, табл. 31, будетъ направленъ по OE_1 и при безконечно-длинной эксцентриковой тягѣ золотникъ будетъ сдвинутъ вправо на величину

$$\overline{Ob_1} = r \cdot \sin(\delta + \omega).$$

Переходя къ фиг. 6, видимъ, что величина хорды $\overline{Op_1}$ выражается точно также, такъ какъ изъ прямоугольнаго треугольника Op_1D имѣемъ

$$\overline{Op_1} = \overline{OD} \cdot \sin(\delta + \omega) = r \cdot \sin(\delta + \omega).$$

Далѣе, различные періоды парораспредѣленія, производимыя золотникомъ черезъ лѣвое паровпускное окно и съ лѣвой стороны поршня (предполагая указанное на фиг. 1 расположеніе машины), получаются изъ діаграммы на фиг. 6 слѣдующимъ образомъ. Изъ центра O радіусомъ внѣшней e и радіусомъ внутренней i перекрышъ проводятъ двѣ окружности и разсматриваютъ отъ первой окружности дугу между точками p и q пересѣченія ея съ верхнею окружностью, а отъ второй окружности дугу между точками пересѣченія ея m и n съ нижнею окружностью. Если теперь вспомнить сказанное на стр. 137 относительно открыванія и закрыванія золотникомъ лѣваго паровпускного окна, мы имѣемъ, очевидно, слѣдующее:

Лѣвое паровпускное окно фиг. 6, табл. 31 [1]) открывается для впуска пара [1]) при положеніи кривошипа OI (положеніе поршня A_1, передъ приходомъ въ лѣвое мертвое положеніе, начало предварѣнія впуска, конецъ сжатія), такъ какъ хорда $\overline{Op} = e$ лежитъ въ первой половинѣ верхняго золотниковаго круга и золотникъ, идущій вправо, отклонится въ этомъ направленіи на величину e (фиг. 7) отъ средняго своего положенія;

закрывается для впуска пара [1]) при положеніи кривошипа OII (поршень въ A_2, начало расширенія, конецъ наполненія), такъ какъ хорда $\overline{Oq} = e$ лежитъ во второй половинѣ верхняго золотниковаго круга и золотникъ, идущій влѣво, не дошелъ еще на величину e (фиг. 10) до средняго положенія;

открывается для выпуска пара [1]) при положеніи кривошипа OIII (поршень въ A_3 передъ правымъ мертвомъ положеніемъ, начало предваренія выпуска, конецъ расширенія), такъ какъ хорда $\overline{Om} = i$ лежитъ въ первой половинѣ нижняго золотниковаго круга и золотникъ, идущій влѣво, сдвинутъ влѣво же на величину i (фиг. 11);

закрывается для выпуска пара [1]) при положеніи кривошипа OIV (поршень A_4, начало сжатія, конецъ выпуска), такъ какъ хорда $\overline{On} = i$ лежитъ во второй половинѣ нижняго золотниковаго круга и золотникъ, идущій вправо, не дошелъ еще до средняго положенія на величину i (фиг. 14).

Когда кривошипъ (фиг. 6, табл. 31) совпадаетъ съ направленіемъ $\overline{OD}$, то онъ стоитъ по серединѣ между OI и OII, золотникъ же находится въ правомъ мертвомъ положеніи, такъ какъ $\overline{OD} = r$. Такимъ образомъ подтверждается сказанное на стр. 122, что кривошипъ въ этомъ положеніи составляетъ съ вертикалью уголъ опереженія δ. Тоже самое будетъ, когда кривошипъ будетъ совпадать съ направленіемъ $\overline{OD'}$. Если кривошипъ будетъ направленъ перпендикулярно къ $\overline{DOD'}$, то золотникъ будетъ въ среднемъ своемъ положеніи, такъ какъ хорда равна нулю.

Наконецъ, на фиг. 6, изъ центра O описаны еще двѣ окружности радіусами $e + a$ и $i + a$ (a есть ширина паровпускного окна). Первая окружность пересѣкаетъ верхнюю золотниковую окружность въ точкахъ p_1, q_1, вторая нижнюю золотниковую окружность въ точкахъ m_1, n_1. При любомъ положеніи кривошипа отрѣзокъ изображающаго его вектора, лежащій внутри заштрихованной на верхнемъ золотниковомъ кругѣ площади, будетъ указывать величину открытія лѣваго паровпускного окна для впуска пара. Заштрихованною же площадью нижняго золотниковаго круга будутъ отсѣкаться на векторахъ, изображающихъ направленія кривошипа, отрѣзки, равные величинѣ открытія этого окна для выпуска пара. Такъ, напр., лѣвое окно — при положеніяхъ кривошипа:

AO — будетъ открыто для впуска пара на величину предваренія впуска $\overline{xy} = v_e$ (фиг. 3, табл. 31),

Op_1V — будетъ открыто вполнѣ для впуска пара (фиг. 8, табл. 31),

Oq_1VI — начинаетъ закрываться золотникомъ для впуска (фиг. 9, табл. 31),

OA′ — будетъ открыто на величину предваренія выпуска пара $\overline{zu} = v_i$,

Om_1VII — будетъ открыто вполнѣ для выпуска пара (фиг. 12, табл. 31),

On_1VIII — начинаетъ закрываться для выпуска.

Діаграмма Цейнера на фиг. 15, табл. 31, представляетъ картину различныхъ періодовъ парораспредѣленія, имѣющихъ мѣсто по ту и другую сторону поршня при прямомъ и обратномъ ходѣ его. Положенія кривошипа, указанныя сплошными

[1]) На фигурахъ табл. 31

V_e, l означаетъ предвареніе впуска съ лѣвой стороны цилиндра,

E_x, r — расширеніе справа,

V_a, r — предвареніе выпуска справа,

K, l — сжатіе слѣва и т. д.

вообще прибавленіе буквы I означаетъ лѣвую сторону цилиндра, буквы r — правую сторону.

[1]) Четыре замѣчательныя точки діаграммы Цейнера см. Паровыя машины проф. Котурницкаго. *Примѣч. перев.*

линіями, соотвѣтствуютъ впуску пара при прямомъ ходѣ поршня и выпуску при обратномъ ходѣ его черезъ лѣвое паровпускное окно и съ лѣвой стороны поршня. Положенія кривошипа, показанныя на діаграммѣ пунктиромъ, соотвѣтствуютъ впуску пара при обратномъ и выпуску при прямомъ ходѣ поршня—черезъ правое паровпускное окно и съ правой стороны поршня. Далѣе, соотвѣтственно различнымъ положеніямъ кривошипа, на діаграммѣ показаны положенія поршня, принимая во вниманіе конечную длину шатуна по способу Шорха (Schorch) (см. стр. 14 и 15); положенія поршня, соотвѣтствующія прямому ходу показаны сверху, для обратнаго хода—снизу. Какъ видно изъ діаграммы, одни и тѣ же періоды парораспредѣленія при прямомъ и при обратномъ ходѣ поршня не равны. Такъ напр. наполненіе больше, а сжатіе меньше при прямомъ ходѣ поршня, чѣмъ при обратномъ, т. е. наполненіе и сжатіе съ лѣвой стороны поршня больше, чѣмъ съ правой.

Для того, чтобы уравнять по возможности наполненія по ту и другую сторону поршня, т. е. наполненіе съ лѣвой стороны поршня уменьшить, а наполненіе съ правой его стороны увеличить, очевидно слѣдуетъ на фиг. 15 увеличить радіусъ окружности p — q, а слѣдовательно, и внѣшнюю перекрышу слѣва и уменьшить радіусъ окружности p′ — q′, а слѣдовательно и внѣшнюю перекрышу справа, какъ это уже было указано на стр. 122. Благодаря такому неравенству внѣшнихъ перекрышъ, которое достигается удлиненіемъ золотниковой тяги, симметричный относительно этихъ перекрышъ золотникъ будетъ перемѣщаться симметрично около оси S′, отстоящей отъ главнаго вала дальше, чѣмъ середина золотниковаго стола (фиг. 7, табл. 32), съ другой стороны легко понять изъ фиг. 15, табл. 31, что предвареніе впуска слѣва будетъ при этомъ меньше, чѣмъ предвареніе впуска справа.

Далѣе, сжатіе (фиг. 15, табл. 31) съ лѣвой стороны поршня уменьшится, а съ правой увеличится, если радіусъ окружности m — n и, слѣдовательно, внутреннюю перекрышу слѣва уменьшить, а радіусъ окружности m′ — n′ и, слѣдовательно, внутреннюю перекрышу справа увеличить. Однако, съ этимъ опять связано неравенство предваренія выпуска v_i, которое для лѣваго паровпускного окна будетъ больше, чѣмъ для праваго.

Фиг. 1, табл. 32, представляетъ діаграмму Цейнера для простого золотника, когда онъ устанавливается на равныя предваренія впуска пара, причемъ онъ, слѣдовательно, перемѣщается симметрично около оси (фиг. 6, табл. 32), которая удалена отъ середины стола на величину y, опредѣляемую изъ равенства 141. Въ этомъ случаѣ внѣшнія перекрыши будутъ $e+y$ для лѣваго и $e-y$ для праваго паровпускного окна, а внутреннія перекрыши будутъ $i-y$ слѣва и $i+y$ справа.

Далѣе на фиг. 1 и 1а табл. 32 нанесены кривыя открытія паровпускныхъ оконъ и скоростей пара, соотвѣтствующія различнымъ положеніямъ кривошипа. Величины открытій паровпускного окна можно отъ центра O наносить по соотвѣтственнымъ направленіямъ кривошипа и тогда, напр. на фиг. 1, для лѣваго паровпускного окна получимъ кривую открытій O — u — v — O для впуска и кривую открытій для выпуска O — x — z — O. Величины открытій можно также откладывать какъ ординаты въ соотвѣтствующихъ различнымъ положеніямъ поршня точкахъ и такимъ образомъ получимъ, изображенную на фиг. 1а для впуска черезъ лѣвое паровпускное окно, сплошную кривую 1 — 2 — 3 — 4, для впуска черезъ правое окно пунктирную кривую 5 — 9 — 10 — 11, а для выпуска слѣва кривую 5 — 6 — 7 — 8, и справа- кривую 1 — 12 — 13 — 14. Чѣмъ больше будутъ углы α и α' въ послѣднихъ кривыхъ, тѣмъ быстрѣе происходитъ закрытіе окна при выпускѣ пара, — чѣмъ меньше будутъ эти углы, тѣмъ медленнѣе будетъ оно закрываться. Кривыя скоростей пара 1 — 15 и 5 — 17 для впуска пара и 5 — 16 и 1 — 18 для выпуска получатся, если разсчитать для отдѣльныхъ положеній поршня и кривошипа площадь открытія паровпускного окна f_x (равную величинѣ открытія этого окна a_x или a_x умноженной на длину его h), а также соотвѣтствующую скорость поршня c_x по уравненію 24, и подставить эти величины въ уравненіе 119; тогда

$$w_x = \frac{0c_x}{a_x h} \text{ и } w'_x = \frac{0c_x}{a'_x h} \quad \ldots \quad 142$$

Вычисленныя такимъ образомъ величины w_x откладываютъ въ произвольномъ масштабѣ на ординатахъ, нанося по оси обсциссъ соотвѣтственныя положенія поршня. Въ тѣхъ точкахъ кривыхъ скоростей пара, гдѣ скорость его будетъ больше 50 до 60 m при впускѣ и 80 до 100 m при выпускѣ, по даннымъ на стр. 110, наступаетъ тормаженіе пара.

На фиг. 1, табл. 32, напр., при положеніи кривошипа OA_x открытіе лѣваго паровпускного окна будетъ a_x, для впуска и a'_x для выпуска. Первая величина отложена на упомянутомъ направленіи кривошипа отъ центра O и такимъ образомъ получена точка s кривой открытій окна O — u — v — O. На фиг. 1а отъ точки A_x, въ которой находится поршень, отложено вверхъ $a_x = \overline{A_x - 20}$, а внизъ $a'_x = \overline{A_x - 22}$ и такимъ образомъ получены: точка 20 кривой скоростей пара—при впускѣ пара слѣва и точка 22 кривой скоростей пара—при выпускѣ пара справа. Для того, чтобы опредѣлить скорости пара $\overline{A_x - 19}$ и $\overline{A_x - 21}$ при разсматриваемомъ положеніи поршня A_x, надо подставить въ уравненіе 142 величины a_x и a'_x, взятыя изъ діаграммы.

Многіе конструкторы описываютъ золотниковые круги Цейнера на дѣйствительномъ направленіи эксцентриситета OD или OD′ при лѣвомъ или правомъ мертвомъ положеніи кривошипа (фиг. 16, табл. 31). Чтобы въ этой діаграммѣ получить для различныхъ положеній послѣдняго величину хода золотника, надо слѣдить за движеніемъ не кривошипа – отъ OA, а за движеніемъ его продолженія, отъ OP и притомъ въ сторону противоположную вращенію машины.

Такимъ образомъ, при поворотѣ главнаго кривошипа изъ лѣваго мертваго положенія на уголъ ω (фиг. 16), воображаемый кривошипъ занималъ бы положеніе OP_x. При этомъ уклоненіе золотника вправо отъ средняго положенія будетъ равно величинѣ хорды $\overline{OB_x}$.

Діаграмма Цейнера на фиг. 16, табл. 31 вычерчена такъ, какъ это было предложено Кирхгофомъ (Kirchhoff [1]). Если именно провести на направленіи кривошипа OA при лѣвомъ мертвомъ положеніи его какъ на діаметрѣ окружность, которую можно въ данномъ случаѣ назвать поршневою окружностью, затѣмъ въ верхнемъ золотниковомъ кругѣ провести дуги радіусами i и $i+a$, а въ нижнемъ—дуги радіусами e и $e+a$, и считать воображаемый кривошипъ до точки O положительнымъ, а его продолженіе отъ O отрицательнымъ, то изъ сказаннаго раньше легко вывести слѣдующія правила.

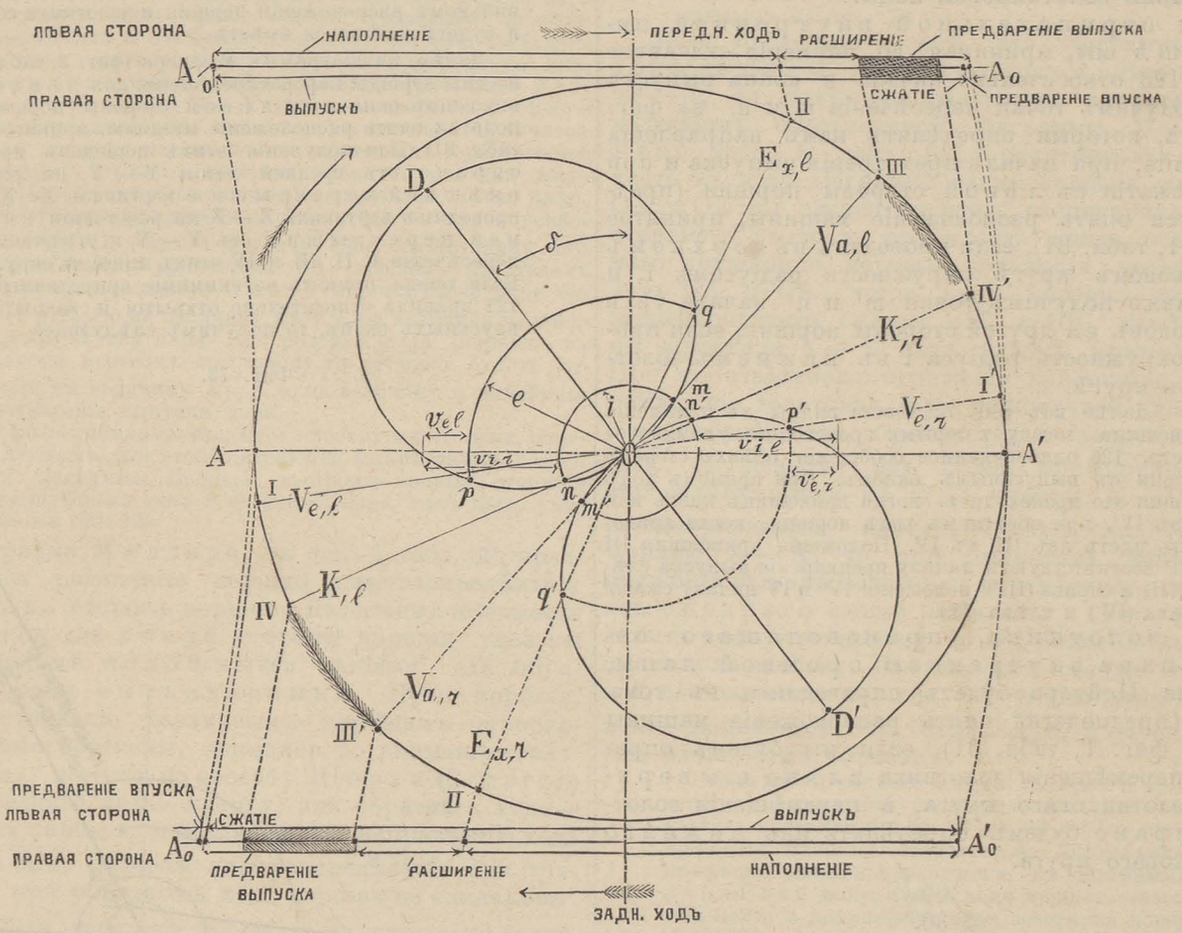
[1]) Kirchhoff, Graphische Behandlung der Schiebersteuerungen.

Поршневая окружность при безконечной длинѣ шатуна отсѣкаетъ на направленіи воображаемаго кривошипа хорды, длина которыхъ отъ центра O представляетъ ходъ поршня изъ средняго его положенія, а именно—вправо, когда эти хорды лежатъ на положительной части воображаемаго кривошипа, и влѣво—когда они располагаются на отрицательной его части. При показанномъ на фиг. вращеніи машины ходъ поршня влѣво увеличивается, пока направленіе воображаемаго кривошипа будетъ находиться въ верхней половинѣ поршневой окружности, когда же его направленіе

Такъ, напр., при направленіи OP_x воображаемаго кривошипа на фиг. 16, правое паровпускное окно открыто для выпуска на $\overline{xy}$ (положительная часть этого кривошипа), лѣвое—для впуска на $\overline{uv}$ (отрицательная часть кривошипа) и оба открытія уменьшаются, такъ какъ направленіе воображаемаго кривошипа OP_x находится во второй половинѣ золотниковой окружности. При этомъ поршень перемѣстился влѣво отъ средняго его положенія на $\overline{OA_x} = \overline{OC_x}$ (отрицательная часть воображаемаго кривошипа) и возвращается въ среднее положеніе (такъ какъ направленіе воображаемаго кривошипа лежитъ въ нижней половинѣ поршневого круга).

Далѣе, если мы захотимъ напр. опредѣлить изъ

Фиг. 72.



будетъ въ нижней половинѣ этой окружности, поршень изъ лѣваго мертваго положенія будетъ возвращаться въ среднее свое положеніе. Если этими величинами хордъ засѣчь изъ O на горизонтали AO отрѣзки, то получимъ величины отклоненій поршня влѣво отъ средняго его положенія по отношенію къ полуходу.

Далѣе площади, ограниченныя пересѣченіемъ обоихъ золотниковыхъ круговъ съ окружностями, описанными изъ центра O радіусами e и e+a съ одной стороны, или радіусами i и i+a съ другой, отсѣкаютъ на положительной части воображаемаго кривошипа соотвѣтственно величины открытія праваго окна для впуска или же выпуска пара, а на отрицательной его части—величины открытій лѣваго окна.

Когда направленіе этого воображаемаго кривошипа находится въ первой половинѣ золотниковаго круга, считая въ направленіи его движенія, то открытіе окна увеличивается, во второй половинѣ—открытіе окна уменьшается.

діаграммы, насколько золотникъ открылъ паровпускныя окна, когда поршень не дошелъ еще на 0,15 своего хода до лѣваго мертваго положенія, то изъ центра O радіусомъ $\overline{AA_4} = 0{,}3\,\overline{AO}$ слѣдуетъ провести дугу кверху (такъ какъ ходъ поршня влѣво будетъ еще увеличиваться) до точки IV. Прямая OIV будетъ изображать при этомъ отрицательную часть воображаемаго кривошипа, такъ какъ поршень идетъ влѣво, и лѣвое окно въ этотъ моментъ закрывается для выпуска, между тѣмъ какъ правое окно уже закрыто для впуска пара.

Изъ діаграммы на фиг. 16 можно, слѣдовательно, усмотрѣть слѣдующіе періоды парораспредѣленія:

положительная часть воображаемаго кривошипа въ 01, поршень находится въ A_1, влѣво отъ средняго своего положенія—начало предваренія впуска слѣва,

положительная часть кривошипа въ 02, поршень находится въ A_2, вправо отъ средняго своего положенія—начало расширенія слѣва,

положительная часть кривошипа въ 03, поршень находится въ A_3, вправо отъ средняго своего положенія—начало предваренія выпуска слѣва,

положительная часть кривошипа въ 04, поршень находится въ A_4, влѣво отъ средняго своего положенія—начало сжатія слѣва и

положительная часть кривошипа въ 01′, поршень находится въ A_1, вправо отъ средняго своего положенія — начало предваренія впуска справа и т. д.

До сихъ поръ при построеніи діаграммы мы предполагали, что простой круглый или поршневой золотники и краны снабжены положительными внутренними перекрышами и что отсѣчка пара производится внѣшнею кромкою золотниковой лапы. Въ дальнѣйшемъ же укажемъ, какія будутъ измѣненія въ діаграммѣ Цейнера въ томъ случаѣ, когда внутренняя перекрыша отрицательна и отсѣчка пара производится внутреннею гранью золотниковой лапы.

При отрицательной внутренней перекрышѣ мы, принимая во вниманіе сказанное на стр. 123 относительно начала и конца выпуска пара, получимъ точки пересѣченія m и n, на фиг. 72 текста, которыя опредѣлятъ намъ направленія кривошипа, при началѣ предваренія выпуска и при началѣ сжатіи съ лѣвой стороны поршня (предполагается опять расположеніе машины, принятое на фиг. 1, табл. 31), если проведемъ въ верхнемъ золотниковомъ кругѣ окружность радіусомъ i, и точно также получимъ точки m′ и n′ начала тѣхъ же періодовъ съ другой стороны поршня, если проведемъ окружность радіуса i въ нижнемъ золотниковомъ кругѣ.

Далѣе изъ фиг. 72 текста видны тѣ положенія кривошипа, между которыми происходитъ упомянутое на стр. 123 одновременное сообщеніе обѣихъ сторонъ поршня съ выпускнымъ окномъ. При прямомъ ходѣ поршня это происходитъ, когда кривошипъ идетъ изъ III въ IV′, при обратномъ ходѣ поршня, когда кривошипъ идетъ изъ III′ въ IV. Положенія кривошипа III и III′ соотвѣтствуютъ началу предваренія выпуска слѣва (III) и справа (III′), положенія IV′ и IV началу сжатія справа (IV′) и слѣва (IV).

Для золотника, производящаго отсѣчку пара внутреннею кромкой лапы, діаграмма Цейнера будетъ справедлива въ томъ случаѣ (предполагая опять расположеніе машины какъ на фиг. 1, табл. 31), если мы будемъ опредѣлять перемѣщенія золотника влѣво изъ верхняго золотниковаго круга, а перемѣщенія золотника вправо будемъ опредѣлять изъ нижняго золотниковаго круга.

Худ.

§ 30.

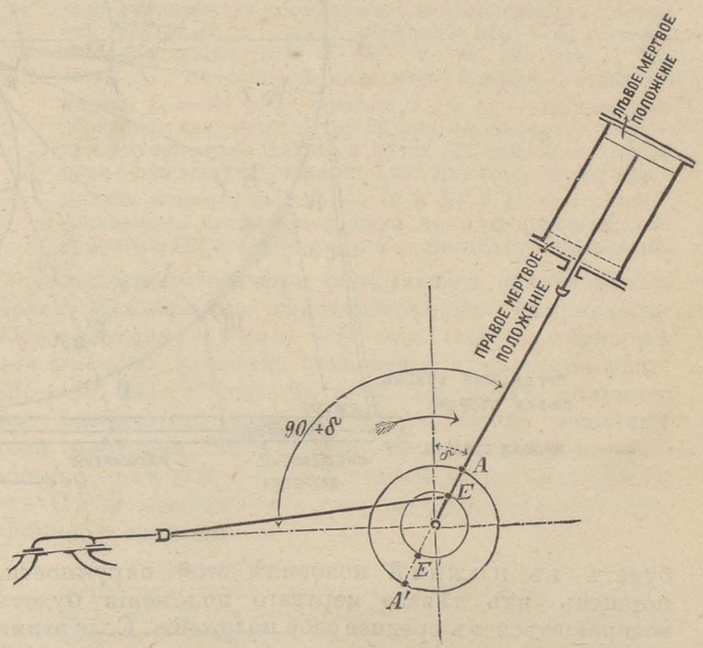
Золотниковая діаграмма Мюллера.

Описанная изъ центра O (фиг. 3, табл. 32) радіусомъ, равнымъ эксцентриситету $OE = OA = r$, окружность представляетъ въ данномъ случаѣ какъ путь эксцентриситета такъ и кривошипа. OE и OE′ принимаются за мертвыя положенія эксцентриситета, между тѣмъ какъ мертвыя положенія кривошипа будутъ OA и OA′, наклоненныя подъ угломъ δ къ вертикали Y — Y. При произвольномъ совмѣстномъ положеніи кривошипа и эксцентриситета въ OA_X, въ случаѣ безконечной длины эксцентриковой тяги, соотвѣтствующее перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія выразится длиною горизонтали $\overline{A_XB_1}$, представляющей разстояніе точки A_X отъ вертикали Y — Y. Смотря по тому, располагается ли эта горизонталь вправо или влѣво отъ вертикали Y — Y, золотникъ также будетъ находиться вправо или влѣво отъ своего средняго положенія. Соотвѣтствующій этому положенію кривошипа OA_X ходъ поршня $\overline{A_0A_X}$ (изъ мертваго положенія) при безконечной длинѣ шатуна найдемъ, спроектировавъ точку A_X на прямую $\overline{AA'}$ или на параллельную ей, равной длины, прямую $\overline{A_0A_0'}$.

На фиг. 4, табл. 31, при безконечной длинѣ золотниковой тяги, перемѣщеніе золотника для произвольнаго положенія эксцентриситета OE_1 будетъ $\overline{Ob_1}$. Но $\overline{Ob_1} = \overline{B_1E_1}$, а это и есть то горизонтальное разстояніе, которое въ діаграммѣ Мюллера на фиг. 3, табл. 32 принято за величину перемѣщенія золотника. Линія направленія хода поршня, на этой фигурѣ лежитъ на продолженіи $\overline{AA'}$, такъ что поршень, крейцкопфъ, шатунъ и кривошипъ, надо представить себѣ повернутыми на уголъ $90 + \delta°$ (какъ изображено на фиг. 73 текста), тогда кривошипъ и эксцентриситетъ при постоянно правильномъ расположеніи поршня и золотника совпадетъ и будетъ двигаться вмѣстѣ.

Далѣе, на діаграммѣ Мюллера (фиг. 3, табл. 32) нанесены періоды парораспредѣленія для лѣваго паровпускного окна и съ лѣвой стороны поршня (предполагая опять расположеніе машины, принятое фиг. 1, табл. 31) Для полученія этихъ періодовъ проводимъ справа отъ средней линіи Y — Y на разстояніи внѣшней перекрыши e вертикаль X—X, слѣва проводимъ вертикаль Z — Z на разстояніи внутренней перекрыши i отъ Y — Y и отмѣчаемъ точки пересѣченіе I, II, III и IV этихъ линій съ окружностью. Если теперь принять во вниманіе приведенные на стр. 122 правила относительно открытія и закрытія паровпускныхъ оконъ, то получимъ слѣдующее

Фиг. 73.



На фиг. 3, табл. 32 лѣвое паровпускное окно открывается для впуска пара при положеніи кривошипа OI, а поршня въ A_1 (начало предваренія впуска, конецъ сжатія), такъ какъ золотникъ при движеніи своемъ вправо сдвинулся въ этомъ направленіи изъ своего средняго положенія на величину внѣшняго перекрытія e;

закрывается для впуска пара при положеніи кривошипа OII, а поршня въ A_2 (начало расширенія пара, конецъ наполненія), такъ какъ золотникъ, идущій влѣво не возвратился еще до средняго своего положенія на величину e внѣшняго перекрытія;

открывается для выпуска пара при положеніи кривошипа OIII, а поршня въ A_3 (начало предваренія выпуска, конецъ расши-

ренія), такъ какъ золотникъ идущій влѣво, сдвинулся въ этомъ направленіи на величину i отъ средняго положенія;

закрывается для выпуска пара при положеніи кривошипа OIV, а поршня въ A_4 (начало сжатія, конецъ выпуска), такъ какъ золотникъ, идущій вправо, не достигъ еще средняго своего положенія на величину i.

На фиг. 3, табл. 32 параллельно вертикали Y — Y проведены двѣ линіи: одна справа на разстояніи e + a, другая слѣва на разстояніи i + a. Величина открытія паровпускного окна изъ этой діаграммы получается слѣдующимъ образомъ. При произвольномъ положеніи кривошипа вправо отъ вертикали Y — Y величина открытія лѣваго паровпускного окна для впуска пара получится, если черезъ конецъ кривошипа провести горизонталь и измѣрить величину, которую отсѣкаетъ на этой горизонтали правая заштрихованная площадь. При произвольномъ положеніи кривошипа влѣво отъ вертикали Y — Y величина открытія лѣваго паровпускного окна для выпуска пара получится, если провести черезъ конецъ кривошипа горизонталь и измѣрить отрѣзокъ, который отсѣкаетъ на этой горизонтали лѣвая заштрихованная площадь. Такъ, напр., при положеніи кривошипа OA_x лѣвое паровпускное окно будетъ открыто для впуска на величину $\overline{A_xy}$. При положеніи кривошипа OA (поршень въ лѣвомъ мертвомъ положеніи) лѣвое паровпускное окно будетъ открыто на величину $\overline{Az}$, т. е. на величину v_e предваренія впуска пара. При положеніи OA' (поршень въ правомъ мертвомъ положеніи) то-же окно будетъ открыто на величину $\overline{A'u}$, т. е. на величину v_i линейнаго предваренія выпуска пара.

По величинамъ открытій паровпускного окна, опредѣленнымъ изъ этой діаграммы, можно также, какъ и изъ діаграммы Цейнера, построить кривыя открытія паровпускного окна и скоростей пара, какъ было указано на стр. 125.

Діаграмма Мюллера, на фиг. 4, табл. 32, представляетъ различные періоды парораспредѣленія для обѣихъ сторонъ поршня. Различныя положенія кривошипа для лѣвой стороны поршня указаны на діаграммѣ сплошными линіями, для правой стороны — пунктирными. Пути поршня, соотвѣтствующіе различнымъ періодамъ парораспредѣленія нанесены, принимая во вниманіе конечную длину шатуна, по способу Шорха (Schorch) для передняго хода—кверху, для обратнаго хода—книзу на линіяхъ, параллельныхъ направленію хода поршня $\overline{AA'}$. Періоды парораспредѣленія при прямомъ и при обратномъ ходѣ поршня не одинаковы.

Такъ, напр., при прямомъ ходѣ, наполненіе будетъ больше, чѣмъ при обратномъ и, наоборотъ, сжатіе будетъ больше при обратномъ ходѣ поршня, т. е., при принятомъ расположеніи машины, съ лѣвой стороны поршня какъ наполненіе, такъ и сжатіе будутъ больше, чѣмъ съ правой стороны. Если желательно по возможности уравнять наполненіе съ той и другой стороны поршня, то необходимо удалить прямую X — X отъ вертикали Y — Y, чтобы оно уменьшилось для прямого хода, и приблизить къ ней прямую X' — X', дабы увеличить наполненіе для обратнаго хода, т. е. внѣшняя перекрыша слѣва должно быть увеличена, а внѣшняя перекрыша справа должна быть уменьшена. Этого можно достигнуть, какъ уже было сказано, тѣмъ, что, измѣнивъ длину золотниковой тяги, заставляютъ золотникъ ходить не около середины золотниковаго стола S, а около оси S', лежащей дальше отъ главнаго вала (фиг. 7, табл. 32). Однако вслѣдствіе неравенства внѣшнихъ перекрышъ, предваренія впуска v_e также будутъ неравны, а именно оно будетъ для лѣвой стороны поршня меньше, для правой — больше.

Для того, чтобы приблизительно уравнять сжатіе съ той и другой стороны поршня, т. е. увеличить его при прямомъ и уменьшить при обратномъ ходѣ поршня, надо вертикаль Z' — Z' удалить отъ средины Y — Y, а вертикаль Z — Z приблизить къ ней, т. е. надо внутреннюю перекрышу слѣва уменьшить, справа — увеличить. Но отъ этого появится неравенство предваренія выпуска v_i, которое слѣва будетъ больше, чѣмъ справа.

Чтобы прослѣдить періоды парораспредѣленія по діаграммѣ Мюллера въ томъ случаѣ, когда простой золотникъ устанавливается на равныя предваренія, надо вертикали X — X, X' — X' и Z — Z, Z' — Z' провести такъ, чтобы внѣшняя перекрыша была слѣва e + y, справа e — y, а внутренняя перекрыша была i — y слѣва и i + y справа, причемъ величина y опредѣляется изъ равенства 141 и есть разстояніе середины хода золотника отъ середины золотниковаго стола S.

Какъ провести вертикали X—X, X'—X', Z—Z и Z'—Z' въ случаѣ золотника съ отрицательными внутренними перекрышами или въ случаѣ золотника, въ которомъ впускъ пара производится съ внутренней стороны его, не трудно сообразить по указаніямъ, сдѣланнымъ на стр. 123.

Если представить себѣ, что діаграмма Мюллера на фиг. 3, табл. 32 повернута влѣво на уголъ $90° + \delta$, то получится діаграмма, извѣстная подъ названіемъ золотниковой діаграммы Мюллера-Рело (фиг. 5, табл. 34). Золотниковая окружность въ этой діаграммѣ также описана радіусомъ $OA = OE = r$ эксцентриситету эксцентрика и представляетъ въ то же время путь конца воображаемаго кривошипа, мертвыя положенія котораго будутъ OA и OA', тогда какъ мертвыя положенія эксцентриситета будутъ OE и OE', наклоненныя къ вертикали Y — Y подъ угломъ предваренія δ. При произвольномъ положеніи кривошипа OA_x перемѣщеніе золотника, при безконечной длинѣ эксцентриковой тяги, будетъ равно перпендикуляру $\overline{A_xB_1}$, опущенному изъ конца кривошипа A_x на перпендикулярную къ EOE' прямую X—X. Когда разсматриваемый перпендикуляръ лежитъ надъ прямою X — X, то при принятомъ направленіи вращенія машины золотникъ перемѣстился вправо отъ средняго своего положенія, когда же онъ лежитъ подъ этою прямою, то перемѣщеніе золотника произошло влѣво. Предполагая шатунъ безконечной длины, ходъ поршня, соотвѣтствующій положенію кривошипа OA_x, будетъ $\overline{A_0A_x}$ и опредѣляется уже извѣстнымъ образомъ.

Въ то время, какъ въ діаграммѣ Мюллера (фиг. 73 текста) поршень, шатунъ и кривошипъ надо себѣ представить повернутыми на уголъ $90 + \delta°$ по направленію вращенія машины относительно неизмѣненнаго направленія движенія золотника, въ діаграммѣ Мюллера-Рело направленіе хода поршня остается неизмѣннымъ, а направленіе хода золотника повернуто на уголъ $90 - \delta°$.

На фиг. 5, табл. 32 опять нанесены для лѣвой стороны поршня тѣ положенія кривошипа OI, OII . . . , которыя характеризуютъ начало или конецъ какого-либо періода парораспредѣленія.

Когда кривошипъ находится въ OE или OE', т. е. когда онъ занимаетъ среднее положеніе между OI (начало предваренія впуска) и OII (начало расширенія) или среднее положеніе между OIII (начало предваренія выпуска) и OIV (начало сжатія), то золотникъ находится въ правомъ (OE) или лѣвомъ (OE') мертвомъ положеніи. При этомъ OE и OE' должны образовать съ вертикалью уголъ δ, какъ это уже было сказано на стр. 122.

Діаграмму Мюллера-Рело лучше всего примѣнять для первоначальнаго проектированія парораспредѣленія, т. е. для предварительнаго опредѣленія главныхъ соотношеній проектируемаго золотника, между тѣмъ какъ отдѣльные періоды парораспредѣленія легче изслѣдуются по діаграммѣ Мюллера.

§ 32.

Опредѣленіе размѣровъ плоскаго, цилиндрическаго или поршневого золотника.

Размѣры золотника всегда опредѣляются въ связи съ индикаторною діаграммою машины. Прежде всего

выбираютъ величины предваренія впуска и предваренія выпуска пара, причемъ первая должна быть не болѣе $1^1/_2{}^0/_0$, вторая же выбирается произвольно и впослѣдствіе согласовывается съ сжатіемъ. Когда затѣмъ будетъ выбранъ третій періодъ (наполненіе или сжатіе), то опредѣлится и четвертый періодъ (сжатіе или наполненіе) парораспредѣленія и уголъ предваренія δ.

Сдѣлавъ выборъ между діаграммой Цейнера фиг. 6, табл. 31 и діаграммой Мюллера-Рело фиг. 5, табл. 34, описываютъ радіусомъ $\overline{OA}$, лучше всего равнымъ 50 mm, окружность, представляющую пути пальца кривошипа, наносятъ пути поршня $\overline{A_0A_1}$ и $\overline{A_0'A_3}$, соотвѣтствующіе періоду предваренія впуска и періоду предваренія выпуска пара и, полагая шатунъ безконечной длины, находятъ соотвѣтствующія положенія кривошипа OI и OIII. Задавшись затѣмъ третьимъ періодомъ, напр. наполненіемъ $\overline{A_0A_2}$ при соотвѣтствующемъ положеніи кривошипа OII, мы опредѣлимъ тѣмъ самымъ и сжатіе $\overline{A_0A_4}$ положеніемъ поршня OIV, такъ какъ линія OD (OE' на фиг. 5, табл. 34) равнодѣлящая угла IOII своимъ положеніемъ OD' (OE на фиг. 5, табл. 34) дѣлитъ уголъ IIOIV пополамъ. Поэтому можно просто отложить уголъ IIOD' (IIOE на фиг. 5, табл. 34) по другую сторону отъ OD' (отъ OE на фиг. 5 табл. 34). Линія DOD' (E'OE фиг. 5, табл. 34) образуетъ съ вертикалью Y—X уголъ предваренія δ.

Пользуясь діаграммой фиг. 16, табл. 31, вмѣсто дѣйствительныхъ положеній кривошипа отыскиваютъ положенія O1, O2, и т. д. фиктивнаго кривошипа.

При помощи найденныхъ четырехъ періодовъ парораспредѣленія слѣдуетъ построить индикаторную діаграмму (см. стр. 24) и оцѣнить на сколько удачно были выбраны эти періоды. Изъ діаграммъ ясно видно, какъ произвести измѣненіе въ томъ или другомъ періодѣ и какое вліяніе эти измѣненія будутъ имѣть на остальные періоды парораспредѣленія.

Допустимъ напр., что сжатіе слишкомъ мало, тогда слѣдуетъ передвинуть положеніе кривошипа OIV (фиг. 6, табл. 31 и фиг. 5, табл. 34), при которомъ начинается сжатіе, еще вправо. Этого можно достичь, если остальные два періода должны оставаться неизмѣнными, уменьшеніемъ предваренія выпуска, или уменьшеніемъ наполненія, или увеличеніемъ предваренія впуска, или же одновременнымъ измѣненіемъ въ упомянутомъ направленіи всѣхъ трехъ періодовъ. Того же самого можно достичь уменьшеніемъ величины вреднаго пространства, какъ это видно изъ фиг. 6а, табл. 31.

Съ другой стороны, при слишкомъ большомъ сжатіи, въ случаѣ, если измѣненіе остальныхъ періодовъ парораспредѣленія является нецѣлесообразнымъ, можно также прибѣгнуть къ увеличенію вреднаго пространства. Въ смыслѣ экономіи такое увеличеніе не принесетъ вреда, такъ какъ невыгодное вліяніе вреднаго пространства уравновѣшивается высокимъ сжатіемъ въ немъ, а охлаждающая поверхность при его увеличеніи увеличится весьма незначительно. Далѣе при слишкомъ большомъ сжатіи можно прибѣгнуть къ уменьшенію внутренней перекрыши, что вызоветъ увеличеніе предваренія выпуска и т. д.

Въ машинахъ съ холодильникомъ слѣдуетъ во всякомъ случаѣ отказаться отъ достиженія достаточно высокаго давленія въ концѣ сжатія, такъ какъ иначе этотъ періодъ будетъ настолько продолжителенъ, что его нельзя будетъ согласовать съ остальными періодами.

Послѣ окончательнаго выбора періодовъ парораспредѣленія надо, принявъ во вниманіе нижеприведенныя указанія, задаться въ діаграммѣ Цейнера (фиг. 6, табл. 31) эксцентриситетомъ r и начертить окружности OD и OD′ въ произвольномъ масштабѣ. Эти окружности отсѣкутъ тогда на OI и OII внѣшнюю перекрышу $e = \overline{Op} = \overline{Oq}$, а на OIII и OIV внутреннюю перекрышу $i = \overline{Om} = \overline{On}$, а на линіяхъ мертвыхъ точекъ OA и OA′ предваренія впуска $v_e = \overline{xy}$ и выпуска $v_i = \overline{zu}$. Нанося затѣмъ окружности радіусами $e + a$ и $i + a$, можно прослѣдить закрытіе окна, прибѣгая къ помощи кривой открытій паровпускного окна. Если окно открывается недостаточно широко или закрывается недостаточно быстро, то надлежащимъ выборомъ эксцентриситета, что дается легко послѣ нѣкотораго навыка, можно достигнуть лучшихъ соотношеній.

Чѣмъ больше эксцентриситетъ r, тѣмъ больше будутъ открываться окна, но зато увеличится и работа тренія и уменьшится коэфиціентъ полезнаго дѣйствія машины.

Относительно выбора эксцентриситета r необходимо обратить вниманіе на слѣдующее. А. Слукки (A d. S l u c k i) въ Zeitschrift deutsch. Ingen. 1893 г. опредѣляетъ эксцентриситетъ для простого золотника, принимая во вниманіе, чтобы средняя скорость пара при впускѣ была не болѣе 50 m въ секунду, по формулѣ

$$r = \sim 0{,}314 \frac{Oc_m}{h} k \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 143$$

причемъ $k = 1{,}15$ при $\delta = 10°$,
„ $k = 2$ „ $\delta = 30°$,
„ $k = 3{,}89$ „ $\delta = 60°$,

O полезная площадь поршня въ cm^2,
c_m средняя скорость поршня въ m, въ секунду и
h длина окна въ cm.

Другіе конструкторы выбираютъ r такъ, чтобы золотникъ при мертвыхъ своихъ положеніяхъ открывалъ окна вполнѣ. Въ этомъ случаѣ необходимо, чтобы

$$r = a + e \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 144$$

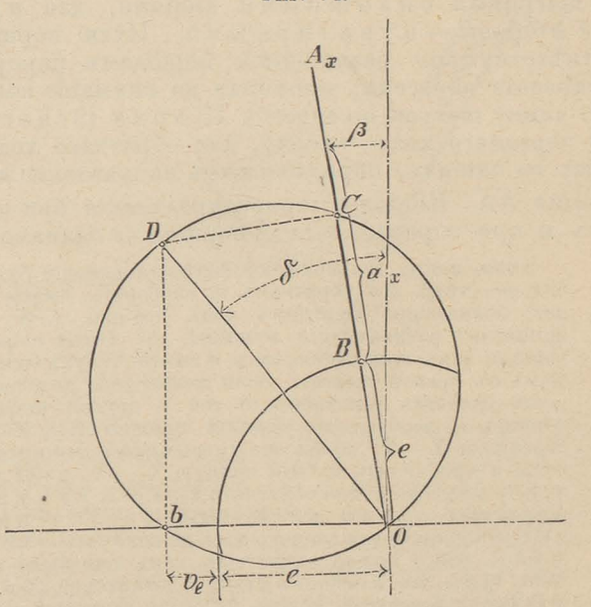
Изъ фиг. 74 текста имѣемъ, что $\overline{Ob} = e + v_e = r \sin \delta$, или $e = r \sin \delta - v_e$. Подставляя это выраженіе въ равенство 144, имѣемъ

$$r = \frac{a - v_e}{1 - \sin \delta} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 145$$

откуда выбравъ v_e (см. ниже) можно опредѣлить r, дающее полное открытіе паровпускныхъ оконъ.

Если при какомъ либо положеніи кривошипа OA_x на фиг. 74 текста должно начаться тормаженіе пара и если

Фиг. 74.



β есть уголъ, составляемый этимъ направленіемъ кривошипа съ вертикалью Y — Y (β положительный уголъ слѣва отъ прямой Y — Y и отрицательный справа), то эксцентриситетъ r при выбранномъ v_e (см. ниже) опредѣлится слѣдующимъ образомъ. Изъ равенства 142 слѣдуетъ прежде всего, при $w_x = 50$ до 60, открытіе паровпускного окна

$$a_x = \frac{Oc_x}{50 \text{ до } 60\, h},$$

гдѣ c_x есть скорость поршня, соотвѣтствующая углу поворота кривошипа $\omega = 90 - \beta°$ (см. равенство 24). Изъ фиг. 74 текста имѣемъ

$$\overline{OC} = a_x + e = \overline{OD} \cdot \cos(\delta - \beta) = r \cos(\delta - \beta),$$

или

$$r = \frac{a_x - e}{\cos(\delta - \beta)}$$

Соединяя это выраженіе съ выраженіемъ

$$e + v_e = r \cdot \sin \delta,$$

получимъ

$$r = \frac{a_x - v_e}{\cos(\delta - \beta) - \sin \delta} \quad \ldots\ldots 146$$

Формулы 145 и 146 могутъ служить для опредѣленія v по v_e, только въ томъ случаѣ, если v_e можетъ быть выбрано произвольно.

Если же, какъ это было принято въ предыдущемъ, положенія кривошипа OV_e и OE_x для предваренія впуска и наполненія уже установлены, то выборъ v_e не произволенъ; въ этомъ случаѣ, имѣя въ виду, что

$$r = a + e$$

и

$$r \cos \varphi = e,$$

гдѣ подъ φ разумѣется $\sphericalangle V_e OD = E_x OD$ на фиг. 6, табл. 31, получимъ взамѣнъ формулы 145, выраженіе

$$r = \frac{a}{1 - \cos \varphi} \quad \ldots\ldots 145\,a$$

и вмѣсто формулы 146 подобнымъ же образомъ получимъ

$$r = \frac{a_x}{\cos(\delta - \beta) - \cos \varphi}; \quad \ldots\ldots 146\,a$$

v_e бываетъ припростомъ золотникѣ обыкновенно 0,2 a до 0,4a, v_a выбирается отъ 2 v_e до 4 v_e.

Если пользуются діаграммой Мюллера-Релo (фиг. 5, табл. 34), то, установивъ окончательно періоды пароораспредѣленія, задаются лучше всего [1]) положеніемъ кривошипа OV, при которомъ должно начаться закрытіе паровпускного окна для впуска пара. Сравнивая затѣмъ принятую такимъ образомъ ширину паровпускного окна a въ діаграммѣ съ величиною a, разсчитанной по § 26, получимъ масштабъ діаграммы, при помощи котораго изъ послѣдней можно опредѣлить эксцентриситетъ r, перекрыши e и i, а также предваренія v_e и v_i.

Наконецъ, можно рекомендовать опредѣлять различные періоды пароораспредѣленія съ обѣихъ сторонъ поршня при помощи діаграммъ, принимая во вниманіе конечную длину шатуна (фиг. 15, табл. 31 и фиг. 4, табл. 32) и затѣмъ повѣрить индикаторныя діаграммы для передняго и обратнаго хода поршня.

Если хотятъ установить золотникъ на равныя предваренія впуска или выпуска, то слѣдуетъ нанести на діаграммѣ окружности радіусами e + y и i — y для лѣвой стороны поршня (предполагая опять расположеніе машины, принятое на фиг. 1, табл. 31), а для правой стороны—радіусами e — y и i + y и затѣмъ опредѣлить періоды пароораспредѣленія, какъ это сдѣлано для Цейнеровской діаграммы на фиг. 1, табл 32.

Если желательно установить золотникъ такъ, чтобы достигать нѣкотораго средняго наполненія и сжатія по ту и другую сторону поршня, за счетъ нѣсколько неодинаковыхъ предвареній, то опредѣляютъ изъ діаграммы, для положеній кривошипа при этомъ среднемъ наполненіи (или сжатіи), внѣшнія и внутреннія перекрыши съ обѣихъ сторонъ поршня. Неравныхъ внѣшнихъ перекрышъ, при симметричномъ золотникѣ, можно достичь измѣненіемъ длины золотниковой тяги, внутреннія же перекрыши въ золотникѣ должны быть сдѣланы неравными.

Высоту промежутка b между окнами слѣдуетъ брать по формулѣ

$$b = \frac{a}{2} + 10 \text{ до } 15 \text{ mm} \quad \ldots\ldots 147$$

Высоту a_o паровыпускного окна слѣдуетъ разсчитать такъ, чтобы это окно при крайнихъ положеніяхъ золотника было открыто по крайней мѣрѣ еще на величину a. Такъ какъ золотникъ отклоняется отъ средняго своего положенія вправо и влѣво на величину эксцентриситета r, то для золотника съ впускомъ пара съ наружной стороны его имѣемъ

$$a_o \geqq i + r + a - b \quad \ldots\ldots 148\,a$$

съ впускомъ пара съ внутренней стороны его

$$a_o \geqq e + r + a - b \quad \ldots\ldots 148\,b$$

Примѣръ.

Разсчитать плоскій золотникъ, дающій 70% наполненія, для машины безъ холодильника, у которой діаметръ цилиндра равенъ 150 mm, а ходъ поршня—200 mm, и которая дѣлаетъ 225 оборотовъ въ минуту. Абсолютное давленіе пара при впускѣ равно 5,5 атм.

Опишемъ, какъ на фиг. 6, табл. 31 или на фиг. 5, табл. 34 радіусомъ OA = 50 mm окружность кривошипа и выберемъ продолжительность періода предваренія впуска равною $^1/_2$% и продолжительность періода предваренія выпуска равною 5%. Этимъ періодамъ при ходѣ поршня, равномъ 100 mm, соотвѣтствуютъ пути поршня $\overline{A_0A_1} = 0{,}5$ mm и $\overline{A_3A'_0} = 5$ mm, при положеніяхъ кривошипа OI и OIII. Требуемому наполненію въ 70% соотвѣтствуетъ путь поршня $\overline{A_0A_2} = 70$ mm и положеніе кривошипа OII. Раздѣляя уголъ IOII линіею OD (OE′ на фиг. 5, табл. 34) пополамъ, получимъ уголъ предваренія

$$\delta = 37^0.$$

Уголъ IIIOD′ (IIIOE на фиг. 5, табл. 34), отложенный по направленію вращенія кривошипа, даетъ положеніе кривошипа OIV и положеніе поршня A_4, соотвѣтствующія началу сжатія.

Если отъ точки A_4 на фиг. 6a, табл. 31 и фиг. 5, табл. 34 при давленіи пара при выпускѣ $p_e = 1{,}1$ атм. построить кривую сжатія индикаторной діаграммы, то при объемѣ вреднаго пространства $\frac{M}{S} = 6\%$ (соотвѣтствующемъ длинѣ M = 6 mm) получимъ давленіе въ концѣ сжатія $p_3 = 4$ атм., которое меньше давленія при впускѣ на 1,5 атм. Если бы сжатіе оказалось слишкомъ большимъ, то слѣдовало бы измѣнить величину періодовъ пароораспредѣленія въ указанномъ раньше смыслѣ, или увеличить вредное пространство.

Полезная площадь поршня (при діаметрѣ штока, равномъ 28 mm и въ предположеніи, что штокъ проходитъ только черезъ одну крышку цилиндра) будетъ

$$O = \overline{15}^2 \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \overline{2{,}8}^2 \frac{\pi}{4} = \sim 173{,}64 \text{ cm}^2,$$

а средняя скорость поршня изъ равенства 22 будетъ

$$c_m = \frac{Sn}{30} = \frac{0{,}2 \cdot 225}{30} = 1{,}5 \text{ m}.$$

Поэтому площадь паровпускного окна, изъ равенства 126, будетъ

$$d_1^2 \frac{\pi}{4} = ah = \frac{Oc}{22} = \frac{173{,}64 \cdot 1{,}5}{22} = \sim 11{,}84 \text{ cm}^2,$$

или

$$d_1 = \sim 4 \text{ cm} = 40 \text{ mm},$$

а, такъ какъ по даннымъ на стр. 111 h принимается равнымъ $0{,}7\,D = 0{,}7 \cdot 150 = 105$ mm, то

[1]) см. „Hütte“, Справочная книга.

$$a = \frac{11,84}{10,5} = \sim 1,1 \text{ cm} = \mathbf{11 mm}.$$

Приступая теперь къ построенію діаграммы Цейнера, надо выбрать эксцентриситетъ r. Такъ напр., изъ уравненія 143 для $k = 2,7$ (при $\delta = 37^0$) имѣемъ

$$r = 0,314 \frac{173,64 \cdot 1,5}{10,5} 2,7 = \sim 21 \text{ mm}.$$

На фиг. 6, табл. 31 золотниковыя окружности $OD = OD'$ описаны въ удвоенномъ масштабѣ радіусомъ

$$r = \mathbf{22 mm}$$

Верхняя окружность на положеніяхъ кривошипа OI и OII отсѣкаетъ внѣшнюю перекрышу

$\overline{Op} = \overline{Oq} = e = \mathbf{10,5 mm}$,

нижняя на OIII и OIV внутреннюю перекрышу

$\overline{Om} = \overline{On} = i = \mathbf{4,5 mm}$;

предваренія впуска и выпуска будутъ

$\overline{xy} = v_e = \mathbf{2,8 mm}$ и $\overline{zu} = v_i = \mathbf{9 mm}$.

На фиг. 15, табл. 31 построены по діаграммѣ періоды парораспредѣленія для лѣвой и правой стороны поршня при длинѣ шатуна въ 5 разъ большей радіуса кривошипа. Для двухъ сторонъ поршня періоды парораспредѣленія получаются неравные, такъ напр., для лѣвой стороны

наполненіе $= 74,4\%$, сжатіе $= 19,3\%$,

для правой стороны

наполненіе $= 66\%$, сжатіе $13,7\%$.

Если желательно установить золотникъ на равныя предваренія, то, удлинивъ золотниковую тягу, устанавливаютъ середину его S′ (фиг. 6, табл. 32) дальше середины золотниковаго стола S отъ главнаго вала на величину y, которая при длинѣ эксцентриковой тяги $l = 20\,r$ опредѣлится изъ равенства 141

$$y = \frac{1}{2} \frac{1}{20} 22 \cos^2 37^0 = \sim \mathbf{0,35 mm}.$$

Тогда внѣшняя перекрыша лѣваго окна будетъ $e + y = \mathbf{10,85 mm}$, а внутренняя $i - y = \mathbf{4,15 mm}$. Внѣшняя перекрыша праваго окна будетъ $e - y = \mathbf{10,15 mm}$, а внутренняя $i + y = \mathbf{4,85 mm}$. При помощи этихъ перекрышъ описаны на діаграммѣ фиг. 1, табл. 32 окружности и опредѣлены періоды парораспредѣленія для обѣихъ сторонъ поршня.

Изъ построенной послѣ этого индикаторной діаграммы для лѣвой стороны поршня на фиг. 1 b, табл. 32 слѣдуетъ давленіе въ концѣ сжатія $p_3 = 4,5$ атм.; это давленіе ниже давленія при впускѣ только на 1 атм. Ординаты для кривыхъ скоростей пара на фиг. 1 a, табл. 32 получаются слѣдующимъ образомъ. При положеніи кривошипа OA_x, которое составляетъ съ лѣвымъ мертвымъ положеніемъ уголъ $\alpha = 80^0$, скорость поршня изъ уравненія 24, при

$$v = \frac{\pi . R . n}{30} = \frac{\pi \cdot 0,1 \cdot 225}{30} = \sim 2,356 \text{ m},$$

по уравненію 22, будетъ

$$c_x = 2,356 \sin 80 \left(1 + \frac{1}{5} \cos 80^0\right) = \sim 2,4 \text{ m}.$$

При этомъ положеніи кривошипа, лѣвое паровпускное окно будетъ, какъ мы видимъ изъ діаграммы, открыто для впуска на величину $a'_x = 8,8$ mm, правое же на величину $a_x' = 11$ mm, т. е. совершенно открыто для выпуска. При этомъ скорость пара при впускѣ, изъ уравненія 142, будетъ

$$w_x = \frac{Oc_x}{a_x h} = \frac{173,64 \cdot 2,4}{0,88 \cdot 10,5} = \sim 45 \text{ m},$$

при выпускѣ

$$w_x' = \frac{Oc_x}{a_x' h} = \frac{173,64 \cdot 2,4}{1,1 \cdot 10,5} = \sim 36 \text{ m}.$$

Для установки золотника на приблизительно равныя наполненія и сжатія съ обѣихъ сторонъ поршня надо поступать слѣдующимъ образомъ. На діаграммѣ на фиг. 2, табл. 32 для лѣвой стороны поршня наполненіе измѣнено на $72,25\%$ (вмѣсто $74,4\%$ на фиг. 15, табл. 31) для правой оно $= 67,4\%$ (вмѣсто 66% на фиг. 15, табл. 31) и отысканы соотвѣтственныя положенія кривошипа OII и OII′. Направленіе OII отсѣкаетъ на верхней золотниковой окружности лѣвую внѣшнюю перекрышу $\overline{Oq} = \mathbf{11,5 mm}$, а направленіе OII′ на нижней золотниковой окружности правую внѣшнюю перекрышу $\overline{Oq'} = \mathbf{10 mm}$. Такое неравенство внѣшнихъ перекрышъ можно достичь, устанавливая удлиненіемъ золотниковой тяги середину S′ золотника, симметричнаго относительно своей средины, дальше середины стола S на величину $\frac{11,5 - 10}{2} = \mathbf{0,75 mm}$ (см. фиг. 7, табл. 32). При этомъ предвареніе впуска v_e при лѣвомъ мертвомъ положеніи будетъ (фиг. 2, табл. 32) $\overline{xy} = 1,7$ mm, при правомъ $\overline{x'y'} = 3,2$ mm, или, принимая еще во вниманіе конечную длину золотниковой тяги, это предвареніе будетъ: при лѣвомъ мертвомъ положеніи $1,7 + y = 1,7 + 0,35 = \mathbf{2,05 mm}$, при правомъ $3,2 - 0,35 = \mathbf{2,85 mm}$.

Далѣе на фиг. 2, табл. 32 сжатіе для лѣвой стороны поршня принято равнымъ $17,5\%$ (вмѣсто $19,3\%$ по фиг. 15, табл. 31), для правой стороны — 15% (вмѣсто $13,7\%$ по фиг. 15, табл. 31). Соотвѣтствующія этимъ сжатіямъ положенія кривошипа OIV и OIV′ отсѣкаютъ на золотниковой окружности лѣвую внутреннюю перекрышу $\overline{On} = \mathbf{3,2 mm}$ и правую $\overline{On'} = \mathbf{5,2 mm}$. Предвареніе выпуска v_i при лѣвомъ мертвомъ положеніи $\overline{z'y} = 8$ mm, при правомъ $\overline{zy'} = 10$ mm, а принимая еще во вниманіе конечную длину эксцентриковой тяги, оно будетъ $8 + y = 8 + 0,35 = \mathbf{8,35 mm}$ при лѣвомъ и $10 - y = 10 - 0,35 = \mathbf{9,65 mm}$ при правомъ мертвомъ положеніи.

Примѣняя діаграмму Мюллера-Рело, послѣ опредѣленія періодовъ парораспредѣленія и соотвѣтствующихъ имъ положеній кривошипа, слѣдуетъ выбрать положеніе кривошипа OV (фиг. 5, табл. 34), при которомъ лѣвое паровпускное окно начинаетъ закрываться для впуска. Тогда отрѣзокъ $\overline{Vk} = 25$ mm представитъ высоту окна $a = 11$ mm. Этимъ опредѣлится масштабъ діаграммы $\frac{25}{11} : 1$ или $2,27 : 1$.

Изъ діаграммы мы имѣемъ

$r = OA = 50$ mm, въ дѣйствительности

$$r = \frac{50}{2,27} = \sim \mathbf{22 mm},$$

$e = 24$ mm, въ дѣйствительности

$$e = \frac{24}{2,27} = \sim \mathbf{10,5 mm},$$

$i = 11$ mm, въ дѣйствительности

$$i = \frac{11}{2,27} = \sim \mathbf{4,5 mm},$$

и т. д.

На фиг. 4, табл. 32, пользуясь полученными размѣрами, построена діаграмма Мюллера и изъ нея опредѣлены періоды парораспредѣленія для обѣихъ сторонъ поршня, принимая во вниманіе

конечную длину шатуна. Если бы мы захотѣли изъ этой діаграммы опредѣлить перекрыши золотника, когда онъ установленъ на приблизительно равныя сжатія и наполненія по обѣ стороны поршня, то слѣдуетъ поступить слѣдующимъ образомъ:

Наполненію, равному съ лѣвой стороны поршня 72,25%, а съ правой — 67,4%, соотвѣтствуютъ напр. положенія кривошипа OII и OII′ и внѣшнія перекрыши

$e = 11{,}5$ mm слѣва и $e = 10$ mm справа. При этомъ при безконечно-длинной эксцентриковой тягѣ предвареніе впуска будетъ

$v_e = 1{,}7$ mm при лѣвомъ и $v_e = 3{,}2$ mm при правомъ мертвомъ положеніи поршня.

Далѣе сжатіе, равное 17,5% съ лѣвой стороны поршня и 15% съ правой стороны, соотвѣтствуетъ положеніямъ кривошипа OIV и OIV′. При этомъ внутреннія перекрыши будутъ

$i = 3{,}2$ mm слѣва и $i = 5{,}2$ mm справа. Въ этомъ случаѣ предвареніе выпуска при безконечно-длинной эксцентриковой тягѣ будетъ

$v_i = 8$ mm при лѣвомъ и $v_i = 10$ mm при правомъ мертвомъ положеніи поршня.

Такія неравныя внѣшнія перекрыши можно достичь тѣмъ, что середину S′ золотника (фиг. 7, табл. 32) ставятъ дальше середины золотниковаго стола S на величину $\frac{11{,}5 - 10}{2} = 0{,}75$ mm.

Чтобы на фиг. 4, табл. 32 получить періоды парораспредѣленія въ томъ случаѣ, когда золотникъ установленъ на равныя предвареніе впуска и выпуска и когда середина золотника S′ отстоитъ отъ середины золотниковаго стола S на величину y (фиг. 6, табл. 32), слѣдуетъ провести вертикали X —X въ разстояніи $e + y$, X′ — X′ въ разстояніи $e - y$, Z—Z въ разстояніи $i - y$ и Z′ — Z′ въ разстояніи $i + y$ отъ Y—Y. Точки пересѣченія этихъ прямыхъ съ золотниковою окружностью дадутъ положенія пальца кривошипа, соотвѣтствующія концу различныхъ періодовъ парораспредѣленія.

Высота a_0 паровыпускного окна должна удовлетворять равенству 148а,т. е. при $i = 4{,}5$ (въ симметричномъ золотникѣ), $r = 22$, $a = 11$, $b = \frac{a}{2} + 10 = \sim 16$ mm (фиг. 5, табл. 32), должно быть

$$a_0 > 4{,}5 + 22 + 11 - 16$$

Этому неравенству вполнѣ удовлетворяетъ

$$a_0 = 25 \text{ mm}$$

даже для несимметричнаго золотника (фиг. 7, табл. 32), у котораго $i = 5{,}2$.

§ 33.

Золотникъ Трика.

Если объ лапы простого плоскаго золотника соединить каналомъ, проходящимъ внутри тѣла золотника, то получимъ золотникъ Трика, представленный на фиг. 1а, табл. 33. На фиг. 1, табл. 41 видно устройство парораспредѣлительнаго крана, а на фиг. 2 и 3, табл. 40 — устройство поршневого золотника съ каналомъ Трика. Въ плоскомъ золотникѣ и кранѣ поперечное сѣченіе канала Трика представляетъ прямоугольникъ, въ поршневомъ золотникѣ — этотъ разрѣзъ представляетъ кольцо.

Цѣль устройства канала Трика заключается въ томъ, чтобы впустить свѣжій паръ въ паровое окно цилиндра одновременно съ обоихъ концовъ золотника и благодаря этому достичь болѣе быстраго открытія и закрытія паровыпускныхъ оконъ. Какъ это достигается видно изъ фиг. 1а до 1с, табл. 33. Фиг. 1а представляетъ золотникъ въ среднемъ положеніи, фиг. 1b при лѣвомъ мертвомъ положеніи поршня и наконецъ, фиг. 1с — при полномъ открытіи лѣваго окна.

Изъ фиг. 1b и 1с видно, что, при открытіи лѣвой лапкой золотника лѣваго паровпускного окна на нѣкоторую величину, промежуточный каналъ Трика съ правой стороны золотника открытъ на ту-же величину и свѣжій паръ поступаетъ одновременно съ лѣвой и правой стороны поршня. Между тѣмъ какъ простой золотникъ при мертвомъ положеніи поршня долженъ быть сдвинутъ изъ средняго своего положенія на величину $e + v_e$, золотникъ Трика для того-же предвареніе впуска v_e долженъ быть сдвинутъ изъ средняго положенія только на величину $e + \frac{v_e}{2}$ (фиг.1b). При полномъ открытіи паровпускного окна сдвигъ золотника Трика будетъ $e + \frac{a}{2}$ (фиг. 1с), между тѣмъ какъ простой золотникъ въ этомъ случаѣ долженъ быть сдвинутъ изъ средняго положенія на величину $e + a$. Когда золотникъ Трика удаленъ изъ средняго положенія на $e + \frac{a}{2}$, то при дальнѣйшемъ ходѣ его въ томъ же направленіи открытіе паровпускного окна будетъ постоянное и равно a, въ чемъ легко убѣдиться изъ фиг. 1с.

До полнаго открытія паровпускного окна золотникъ Трика въ каждую данную минуту открываетъ паровпускное окно на величину въ два раза большую, чѣмъ величина открытія паровпускного окна при простомъ золотникѣ и слѣдовательно, при одномъ и томъ же эксцентриситетѣ, золотникъ Трика по сравненію съ простымъ золотникомъ въ два раза быстрѣе закрываетъ и открываетъ паровое окно.

Размѣры золотника Трика опредѣляются слѣдующимъ образомъ. Если a есть высота паровпускного окна, разсчитанная по § 26, то ширину промежуточнаго канала Трика дѣлаютъ равною $\frac{a}{2}$.

Внѣшней стѣнкѣ золотника придаютъ толщину

$$s = 5 \text{ до } 13 \text{ mm}.$$

Высоту паровпускныхъ оконъ цилиндра въ этомъ случаѣ дѣлаютъ равною $a + s$. Такъ какъ при отклоненіи золотника изъ средняго положенія на величину e, промежуточный каналъ его долженъ открывать уже впускъ пара для того, чтобы достичь двойного открытія паровпускного окна, то высота крайнихъ площадокъ золотниковаго зеркала (см. фиг. 1а, табл. 33, справа) должна быть $2e - s$. Если при этомъ внѣшнія перекрыши не равны, то, очевидно, высота этихъ площадокъ должна быть

$$e_l + e_r - s,$$

гдѣ e_l есть лѣвая перекрыша, а e_r правая.

Уголъ предвареніе δ и перекрыши e и i опредѣляются при помощи золотниковой діаграммы точно такъ же, какъ и въ простомъ золотникѣ, только въ данномъ случаѣ эксцентриситетъ r, благодаря двойному открытію паровпускного окна, можетъ быть соотвѣтственно уменьшенъ, а предвареніе впуска можетъ быть соотвѣтственно увеличено.

Для выбора эксцентриситета r для золотника Трика можно вывести формулы, подобныя формуламъ на стр. 130 и 131 для простого золотника. Если напр. при

крайнемъ положеніи золотника Трика паровпускное окно должно быть открыто вполнѣ, то (соотвѣтственно формуламъ 144 и 145) должно быть

$$r = \frac{1}{2} a + e; \quad \ldots\ldots 149$$

а такъ какъ

$$r = \sin \delta = \frac{1}{2} v_e + e$$

то

$$r = \frac{\frac{1}{2}\left(a - v_e\right)}{1 - \sin \delta} \quad \ldots\ldots 150$$

Если же поставлено условіе, что тормаженіе пара должно начаться при положеніи кривошипа, составляющемъ съ вертикалью уголъ β (фиг. 74 текста), то имѣемъ

$$a_x = \frac{O \cdot c_x}{50 \text{ до } 60 \text{ h}},$$

гдѣ c_x есть скорость поршня, соотвѣтствующая углу поворота

$$\omega = 90^0 - \beta$$

кривошипа изъ мертваго положенія. Далѣе

$$r \cos (\delta - \beta) = \frac{1}{2} a_x + e$$

и

$$r = \sin \delta = \frac{1}{2} v_e + e,$$

откуда (соотвѣтственно формулѣ 146) слѣдуетъ

$$r = \frac{\frac{1}{2}\left(a_x - v_e \right)}{\cos (\delta - \beta) - \sin \delta} \quad \ldots\ldots 151$$

Однакожъ формулы 150 и 151, при предварительномъ выборѣ v_e, могутъ быть примѣняемы для опредѣленія r, при указанныхъ условіяхъ, только въ томъ случаѣ, когда періодъ предваренія впуска или періодъ наполненія, или соотвѣтствующія положенія кривошипа OV_e и OE_x еще не установлены. Если же они выбраны, то для полнаго открытія паровпускныхъ оконъ при крайнихъ положеніяхъ золотника мы получаемъ условіе

$$r = \frac{1}{2} a + e$$

и кромѣ того если φ есть уголъ, образуемый положеніемъ кривошипа OV_e или OE_x съ прямою OD золотниковой окружности, имѣемъ

$$r \cdot \cos \varphi = e,$$

откуда

$$r = \frac{\frac{1}{2} a}{1 - \cos \varphi} \quad \ldots\ldots 150a$$

Соотвѣтственно этому, при условіи, что тормаженіе пара должно начаться при указанномъ на фиг. 74 текста углѣ поворота кривошипа β, будемъ имѣть

$$r \cos (\delta - \beta) = \frac{1}{2} a_x + e$$

и

$$r \cdot \cos \varphi = e$$

откуда

$$r = \frac{\frac{1}{2} a_x}{\cos (\delta - \beta) - \cos \varphi} \quad \ldots\ldots 151a$$

Въ золотниковой діаграммѣ измѣнится только контуръ площади, дающей открытія парового окна для впуска пара; въ остальномъ діаграмма остается той же, какъ и для простого коробчатаго золотника безъ промежуточнаго канала. Для полученія площади, дающей на фиг. 2 и 3, табл. 33 — отрытіе окна для впуска пара при золотникѣ Трика, слѣдуетъ при каждомъ положеніи кривошипа, какъ во время открытія такъ и во время закрытія паровпускного окна откладывать отрѣзокъ между золотниковою окружностью и окружностью радіуса e (фиг. 2) или прямою I II (фиг. 3) внаружу по направленію радіуса (фиг. 2) или горизонтально (фиг. 3). Когда окно будетъ вполнѣ открыто, т. е. когда упомянутый отрѣзокъ будетъ $\frac{a}{2}$, то эту площадь ограничитъ или окружность (фиг. 2), описанная радіусомъ $e + a$, или вертикаль (фиг. 3), проведенная на разстояніи $e + a$ отъ Y—Y

Такъ напр. на фиг. 2 и 3, табл. 33 при лѣвомъ мертвомъ положеніи кривошипа OA отложенъ кнаружу соотвѣтствующій отрѣзокъ $\frac{v_e}{2}$, а для другого произвольнаго положенія—отрѣзокъ $\frac{a_x}{2}$, и построенная площадь заштрихована.

Особое свойство, практическое примѣненіе котораго для достиженія приведенныхъ ниже выгодъ было впервые указано О. Мюллеромъ (Otto H. Mueller) [1]) въ Будапештѣ, сообщается золотнику Трика, въ томъ случаѣ, если промежуточный каналъ его удлинить настолько, чтобы при среднемъ положеніи золотника были открыты оба окна (фиг. 4a, табл. 33). Въ такомъ случаѣ обѣ стороны поршня будутъ сообщены на нѣкоторое время между собою, благодаря чему достигается равенство давленій по ту и другую сторону. Начало и конецъ этого періода легко установить изъ фиг. 4a.

На этой фигурѣ
c_1 есть величина, на которую открыто лѣвое и
c_2—величина, на которую открыто правое паровпускное окно промежуточнымъ каналомъ золотника Трика при среднемъ его положеніи. При ходѣ золотника вправо сообщеніе обѣихъ сторонъ поршня очевидно начнется тогда, когда золотникъ не дошелъ до средняго своего положенія на величину c_1 (фиг. 4b), когда, слѣдовательно, ребра 4 и 5 совпадаютъ, и кончится, когда золотникъ перейдетъ за среднее свое положеніе на величину c_2, когда, слѣдовательно, ребра 6 и 7 совпадаютъ (фиг. 4c). При ходѣ же золотника справа на лѣво упомянутый періодъ начнется, когда золотникъ будетъ занимать указанное на фиг. 4c положеніе, и кончится при положеніи, указанномъ на фиг. 4b,

На фиг. 5, табл. 33 построена діаграмма Цейнера, а на фиг. 6, табл. 33 діаграмма Мюллера для такого золотника Трика. На фиг. 5 окружность, описанная радіусомъ c_2 изъ центра O, пересѣкаетъ верхнюю золотниковую окружность въ точкѣ 1, а окружность радіуса c_1 пересѣкаетъ нижнюю золотниковую окружность въ точкѣ 2. При положеніи кривошипа O1V, когда золотникъ, идущій изъ праваго крайняго положенія, не дошелъ до средняго своего положенія на $\overline{O1} = c_2$ (фиг. 4c, табл. 33), должно начаться сообщеніе обѣихъ сторонъ поршня; при положеніи кривошипа O2VI, когда золотникъ, идущій дальше, перешелъ среднее свое положеніе на величину $\overline{O2} = c_1$ (фиг. 4b, табл. 33), это сообщеніе прекращается. Положенія кривошипа OV и OVI на фиг. 6 получаются, если на разстояніи c_2 справа и на разстояніи c_1 слѣва отъ O провести двѣ вертикали и опредѣлить точки пересѣченія ихъ съ нижней частью золотниковой окружности. На фиг. 5 и 6 сообщеніе обѣихъ сторонъ поршня указано только для передняго хода его; для обратнаго хода читатель можетъ установить этотъ періодъ самъ по сдѣланнымъ выше замѣчаніямъ.

Положенія кривошипа OV и OVI на фиг. 5 и 6, табл. 33 совпадаютъ съ періодомъ расширенія позади и періодомъ сжатія впереди поршня. Изъ соотвѣтственныхъ индикаторныхъ діаграммъ на фиг. 5a и 6a, табл. 33 мы видимъ, что при началѣ со-

[1]) Zeitschrift deutscher Ingenieure, 1889.

общенія обѣихъ сторонъ поршня давленіе при расширеніи пара позади поршня будетъ p', давленіе при сжатіи пара впереди поршня будетъ p''. Объему пара сзади поршня соотвѣтствуетъ длина $M+S'$, а объему пара впереди поршня длина $M+S''$. Давленіе p_x, которое устанавливается по обѣ стороны поршня вслѣдствіе сообщенія ихъ, можно опредѣлить изъ равенства

$$p_x\,(M+S'+M+S'')=p'\,(M+S')+p''\,(M+S'');$$

такъ какъ

$$M+S'+M+S''=2M+S,$$

то имѣемъ

$$p_x=\frac{p'(M+S')+p''(M+S'')}{2M+S}$$

Выгоды, которыя достигаются такимъ смѣшеніемъ пара съ обѣихъ сторонъ поршня состоятъ по О. Мюллеру (O. H. Mueller) въ слѣдующемъ:

1. При высокомъ давленіи p впуска предвареніе выпуска усиливается, такъ какъ большее давленіе p' падаетъ до давленія p_x (фиг. 5a и 6a, табл. 33) при переходѣ пара съ одной по другую сторону поршня, и въ то же время сжатіе увеличивается, такъ какъ меньшее давленіе p'' поднимается до давленія p_x. Высокое сжатіе при простомъ золотникѣ съ небольшимъ наполненіемъ достигается только благодаря слишкомъ большому предваренію выпуска, чего, какъ видимъ, не потребуется при золотникѣ Трика съ промежуточнымъ каналомъ.

2. При низкомъ давленіи впуска p и маломъ наполненіи предупреждается слишкомъ большое сжатіе, т. е. превышеніе конечнымъ давленіемъ сжатія p_3 величины p, что могло бы вызвать поднятіе золотника. Съ другой стороны кривая расширенія не можетъ упасть ниже линіи выпуска, что влекло бы за собою образованіе на діаграммѣ петли, сопровождающееся потерей работы пара. Дѣйствительно, при небольшомъ давленіи во время впуска p и незначительномъ наполненіи давленіе p' будетъ очень мало, а давленіе p'', напротивъ, относительно высоко. Такимъ образомъ, при сообщеніи между собой обѣихъ сторонъ поршня давленіе p_x будетъ больше p' и меньше p''.

3. Золотникъ Трика съ промежуточнымъ каналомъ, сообщающимъ между собою обѣ стороны поршня, представляетъ, слѣдовательно, ту выгоду, что допускаетъ работу съ незначительными степенями наполненія и значительнымъ сжатіемъ въ такихъ паровыхъ машинахъ, въ которыхъ регуляторъ дѣйствуетъ на клапанъ въ паровпускной трубѣ, и въ которыхъ при малой нагрузкѣ машины давленіе при впускѣ, вслѣдствіе тормаженія пара, становится малымъ и такимъ образомъ увеличиваетъ экономію въ производствѣ.

Величины c_1 и c_2 надо выбрать соотвѣтственно желаемой степени уравненія давленій по ту и другую сторону поршня. Однакожъ онѣ должны быть всегда меньше соотвѣтствующихъ имъ внутреннихъ перекрышъ, т. е. согласно фиг. 4a, табл. 33 c_1 должна быть меньше лѣвой, c_2 меньше правой внутренней перекрыши. Толщина s въ этомъ случаѣ по большей части бываетъ больше, чѣмъ то было указано выше.

Примѣры.

Въ примѣрѣ 2 на стр. 102 приведена машина завода Покорный и Виттекиндъ (Pokorny & Wittekind) въ Бокенгеймѣ около Франкфурта на М., діаметръ цилиндра которой равенъ 200 mm, а ходъ поршня тоже 200 mm, и которая дѣлаетъ 400 оборотовъ. Парораспредѣленіе въ ней совершается поршневымъ золотникомъ съ промежуточнымъ каналомъ Трика и съ постоянной отсѣчкой. Наполненіе цилиндра при ходѣ поршня внизъ равно 35%, при ходѣ же вверхъ оно принято въ 40%, въ виду вѣса штангъ и уменьшенія полезной площади поршня сѣченіемъ штанги. Паръ вступаетъ въ цилиндръ при давленіи не большемъ 6 атм. Регуляторъ дѣйствуетъ на поворотный клапанъ. Опредѣлить размѣры золотника съ внутреннимъ впускомъ пара?

Прежде всего мы опредѣлимъ площадь паровпускного окна изъ уравненія 126. Такъ какъ полезная площадь поршня, котораго діаметръ штока равенъ 4 cm, будетъ

$$O=20^2\frac{\pi}{4}-\frac{1}{2}4^2\frac{\pi}{4}=314{,}16-\frac{1}{2}12{,}566=\sim 308\ \text{cm}^2,$$

а средняя скорость поршня будетъ

$$c_m=\frac{Sn}{30}=\frac{0{,}2\cdot 400}{30}=\sim 2{,}67\ \text{m},$$

то эта площадь будетъ согласна съ дѣйствительностью, если примемъ

$$f_k=\frac{O\cdot c_m}{30}=\frac{308\cdot 2{,}67}{30}=\sim 27{,}4\ \text{cm}^2.$$

Діаметръ золотника, представленнаго на фиг. 2, табл. 40, равенъ

$$d=9{,}6\ \text{cm}=96\ \text{mm},$$

а слѣдовательно окружность сплошныхъ цилиндрическихъ паровпускныхъ оконъ будетъ

$$\pi d=\pi\cdot 9{,}6=30{,}16\ \text{cm}.$$

Для полученія вышеопредѣленной площади паровпускного окна, ширина его должна быть

$$a=\frac{27{,}4}{30{,}16}=\sim 0{,}9\ \text{cm}=\mathbf{9\ mm}.$$

Площадь поперечнаго сѣченія пароприводной трубы, согласно уравненія 120, должна бы быть

$$f=\frac{\pi d^2}{4}=27{,}4\ \text{cm}^2,$$

которой соотвѣтствуетъ принятый въ дѣйствительности діаметръ

$$d=\sim 6\ c_m=\mathbf{60\ mm}.$$

Площадь поперечнаго сѣченія паровпускной трубы по уравненію 121 должна быть

$$f_0=d_0^2\frac{\pi}{4}=\frac{O\cdot c_m}{22}=\frac{308\cdot 2{,}67}{22}=37{,}4\ \text{cm}^2,$$

чему и удовлетворяетъ діаметръ трубы, принятый въ дѣйствительности

$$d_0=\sim 7\ \text{cm}=\mathbf{70\ mm}.$$

Для того, чтобы найти уголъ предваренія δ эксцентрицитета на фиг. 2a табл. 40 нанесено положеніе кривошипа, соотвѣтствующее наполненію сверху поршня въ 35%, причемъ принимая во вниманіе конечную длину шатуна. Если выбрать затѣмъ предвареніе впуска съ этой стороны поршня равнымъ 0,15% [1]) и отыскать затѣмъ соотвѣтствующее ему положеніе кривошипа, то бисектрисса угла между упомянутыми двумя положеніями кривошипа (по прежнимъ обозначеніямъ $V_e\,OE_x$, не указаннымъ на чертежѣ) даетъ уголъ предваренія

[1]) На чертежѣ это предвареніе равно 0,3%.

$$\delta = 58^0.$$

Продолженіе бисектриссы за центръ O должно съ положеніемъ кривошипа (на діаграммѣ показанномъ пунктиромъ), соотвѣтствующимъ наполненію съ нижней стороны поршня въ 40%, образовать тотъ-же уголъ, какой образуетъ эта бисектрисса съ положеніемъ кривошипа (тоже показаннымъ пунктиромъ), соотвѣтствующимъ началу предваренія впуска пара съ этой стороны поршня. Послѣдній такимъ образомъ опредѣляется періодомъ предваренія впуска пара, принятымъ по другую сторону поршня, (или угломъ опереженія) при данныхъ наполненіяхъ, и будетъ по діаграммѣ равенъ 2,5%. Въ случаѣ, если такая величина періода предваренія впуска окажется неудачною, необходимо измѣнить выбранный періодъ предваренія впуска съ верхней стороны поршня, что, однако, въ данномъ случаѣ неудобно, такъ какъ предваренія, меньшія 0,15%, уже не слѣдуетъ допускать; увеличеніе же этого періода еще болѣе увеличитъ предвареніе впуска съ нижней стороны поршня при тѣхъ же наполненіяхъ въ 35% и 40%.

Имѣя въ виду, что впускъ пара производится изнутри золотника, кривошипъ, какъ уже было сказано на стр. 124 и указано на діаграммѣ (фиг. 2b, табл. 40) долженъ опережать эксцентриситетъ на уголъ

$$90^\circ - \delta = 90^\circ - 58 = 32^\circ.$$

Для того, чтобы теперь опредѣлить остальные періоды парораспредѣленія, слѣдуетъ выбрать эксцентриситетъ r. Послѣдній выбранъ въ дѣйствительности такъ, чтобы золотникъ въ своемъ верхнемъ крайнемъ положеніи совершенно открывалъ верхнее паровпускное окно. Для этого необходимо (стр. 134), чтобы

$$r = \frac{1}{2}a + e.$$

Если φ есть уголъ, образуемый положеніями кривошипа при началѣ предваренія впуска пара или при началѣ расширенія съ средней линіей соотвѣтствующею золотниковаго круга діаграммы, то

$$r \cdot \cos\varphi = e.$$

Соединяя оба равенства, находимъ уравненіе 150a, а именно

$$r = \frac{\frac{1}{2}a}{1 - \cos\varphi}.$$

Въ разсматриваемомъ случаѣ для верхней стороны поршня $\varphi = 35^0$, такъ что

$$r = \frac{\frac{1}{2}9}{1 - 0{,}819} = \sim \mathbf{25\ mm}\ ^1)$$

Внѣшняя верхняя перекрыша будетъ

$$e_1 = r - \frac{1}{2}a = 25 - 4{,}5 = \mathbf{20{,}5\ mm}.$$

а величина предвареніе впуска будетъ

$$\frac{1}{2}v_e = r \cdot \sin\delta - e_1 = 25 \cdot 0{,}848 - 20{,}5 = \mathbf{0{,}7\ mm}.$$

Если далѣе на діаграммѣ (фиг. 2a, табл. 40) описать нижнюю золотниковую окружность на діаметрѣ, равномъ 25 mm, то точки пересѣченія этой окружности съ пунктирными положеніями кривошипа при началѣ расширенія и предварения впуска опредѣлятъ нужную внѣшнюю перекрышу

$$e_2 = \mathbf{15\ mm},$$

а также величину предварения впуска снизу

$$\frac{1}{2}v_e = r \cdot \sin\delta - e_2 = 25 \cdot 0{,}848 - 15 = \mathbf{6{,}2\ mm}.$$

Если изслѣдовать условія тормаженія пара въ разсматриваемомъ парораспредѣленіи, то находимъ, что при поворотѣ кривошипа изъ верхняго его мертваго положенія на уголъ

$$\omega = 50^0$$

открытіе паровпускного окна изъ діаграммы будетъ

$$a_x = 2 \cdot 3{,}25 = 6{,}5\ mm = 0{,}65\ cm.$$

Тогда кривошипъ образуетъ съ равнодѣлящей линіею верхняго золотниковаго круга уголъ, равный $50^0 - (90^0 - \delta) = 50^0 - 32^0 = 18^0$, и имѣемъ $\frac{1}{2}a_x = r \cdot \cos 18^0 - e_1 = 25 \cdot 0{,}951 - 20{,}5 = 3{,}25$ mm. Далѣе при

$$\frac{R}{L} = \frac{1}{5} \text{ и } v = \frac{\pi}{2}c_m$$

соотвѣтствующая скорость поршня будетъ

$$c_x = \frac{\pi}{2}2{,}67 \sin 50^0\left(1 + \frac{1}{5}\cos 50^0\right) = \sim 3{,}62\ m.$$

Такимъ образомъ скорость пара, при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, изъ уравненія 142 будетъ

$$w_x = \frac{308 \cdot 3{,}62}{0{,}65 \cdot 30{,}16}\ ^1) = \sim 57\ m.$$

При такой скорости уже должно было бы начаться тормаженіе свѣжаго пара, поступающаго сверху поршня.

Для обратнаго хода поршня (вверхъ) имѣемъ соотвѣтственно при $\omega = 74^\circ$ скорость поршня

$$c_x = \frac{\pi}{2}c_m \sin 74^\circ\left(1 - \frac{1}{5}\cos 74^\circ\right) = \sim 3{,}8\ m$$

При этомъ положеніи кривошипа средняя линія нижняго золотниковаго круга образуетъ съ нимъ уголъ $74^\circ - (90^\circ - \delta) = 74 - 32 = 42^\circ$. При этомъ перемѣщеніе золотника изъ средняго своего положенія будетъ

$$r \cos 42^\circ = 25 \cdot 0{,}743 = \sim 18{,}6\ mm.$$

и открытіе паровпускного окна будетъ

$$a_x = 2 \cdot (18{,}6 - 15) = 7{,}2\ mm.$$

Скорость свѣжаго пара при этихъ значеніяхъ, изъ уравненія 142, будетъ

$$w_x = \frac{3{,}08 \cdot 3{,}8}{0{,}72 \cdot 30{,}16} = \sim 54\ m,$$

такъ что при этомъ положеніи кривошипа должно бы начаться тормаженіе пара.

Согласно діаграммѣ (фиг. 2 табл. 40) и указаніямъ, приведеннымъ на стр. 133, при построеніи золотника высота золотниковаго канала была принята

$$\frac{a}{2} = \frac{9}{2} = \mathbf{4{,}5\ mm}\ (\text{на чертежѣ } 5\ mm),$$

толщина внутренней стѣнки этого канала

$$s = \mathbf{5\ mm},$$

высота верхняго цилиндрическаго паровпускного окна

$$a + s = 9 + 5 = \mathbf{14\ mm},$$

высота нижняго цилиндрическаго паровпускного окна

$$a + s + 6 = 9 + 5 + 6 = \mathbf{20\ mm},$$

что, очевидно, сдѣлано въ виду того, что измѣненіе давленія въ нижнемъ мертвомъ положеніи поршня требуетъ большаго мертваго пространства съ нижней стороны цилиндра;

высота золотниковаго зеркала между крайнимъ и среднимъ окномъ принята

$$e_1 + e_2 - s = 20{,}5 + 15 - 5 = \mathbf{30{,}5\ mm},$$

что необходимо для того, чтобы промежуточный

---

1) На фиг. 2 b, табл. 40 r равно 24 mm.

1) Въ разсматриваемомъ поршневомъ золотникѣ размѣръ $h = \pi d$.

каналъ своевременно открывался для впуска пара; ширина средняго окна изъ уравненія 148b, въ которое здѣсь вмѣсто a слѣдуетъ подставить $\frac{1}{2}$ a, будетъ

$a_0 \geqq 20{,}5 + 25 + 4{,}5 - 30{,}5$ или $a_0 \geqq$ **19,5 mm** [1])

Внутреннія перекрыши должны быть выбраны такъ, чтобы давленіе въ концѣ сжатія не превосходило наименьшаго давленія пара при впускѣ. Въ дѣйствительности сдѣланы

верхняя внутренняя перекрыша $i_l =$ **4 mm**,

нижняя внутренняя перекрыша $i_r =$ **12 mm**,

при этомъ съ верхней стороны поршня получается

сжатіе = 34,7%,

предвареніе выпуска = 14%,

а для нижней стороны поршня

сжатіе = 38,5%

предвареніе выпуска = 8%.

На индикаторныхъ діаграммахъ фиг. 2a, табл. 40 конечныя давленія при сжатіи по кривымъ Маріотта, построеннымъ для вредныхъ пространствъ 15 и 18% будутъ

$p_3 =$ **3,9 и 3,4 kg**.

Такъ какъ паровыпускная труба находится вверху золотниковой коробки, то паръ, уходящій съ нижней стороны поршня, долженъ проходить кверху внутри поршневого золотника. Поэтому внутреннее поперечное сѣченіе золотника для протока пара должно быть по крайней мѣрѣ равно поперечному сѣченію, ранѣе разсчитанному для впуска пара, т. е.

$f_k = 27{,}4$ cm²

Въ дѣйствительности это такъ и есть, ибо внутренній діаметръ золотника на фиг. 2, табл. 40, равенъ 60 mm = = 6 cm, что соотвѣтствуетъ поперечному сѣченію

$$6^2 \frac{\pi}{4} = 28{,}27 \text{ cm}^2$$

2. Вертикальная машина — тэндемъ, имѣетъ діаметръ малаго цилиндра — 260 mm, діаметръ большого цилиндра — 400 mm, общій ходъ поршней — 200 mm и дѣлаетъ 300 оборотовъ въ минуту. Парораспредѣленіе малаго цилиндра совершается плоскимъ золотникомъ Трика, который долженъ давать въ среднемъ наполненіе, равное 0,4. Паръ, вступающій въ большой цилиндръ, долженъ имѣть абсолютное давленіе въ 4,5 атм. Опредѣлить размѣры такого золотника при условіи, что онъ будетъ установленъ на приблизительно равныя наполненія и сжатія по ту и другую сторону поршня, а также и на приблизительно равныя предваренія впуска и выпуска?

Поршень большого цилиндра имѣетъ не сквозной штокъ, діаметромъ 50 mm, такъ что полезная площадь его будетъ

$$O = \overline{40}^2 \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} 5^2 \frac{\pi}{4} = \sim 1247 \text{ cm}^2;$$

средняя скорость поршня будетъ

$$c_m = \frac{Sn}{30} = \frac{0{,}2 \cdot 300}{30} = 2 \text{ m}.$$

При этихъ величинахъ площадь паровпускного окна будетъ по уравненію 126

$$f_k = \frac{Oc_m}{30} = \frac{1247 \cdot 2}{30} = \sim \mathbf{83 \text{ cm}^2}.$$

Если ширину этого окна принять равною

$h = 35$ cm = **350 mm**,

то высота паровпускного окна будетъ

$$a = \frac{83}{35} = \sim 2{,}4 \text{ cm} = \mathbf{24 \text{ mm}}.$$

На фиг. 75a текста построена діаграмма Мюллера-Рело для золотника Трика. Золотниковая окружность, которая представляетъ одновременно и окружность кривошипа, описана радіусомъ равнымъ 50 mm. Положеніе кривошипа OII соотвѣтствуетъ наполненію въ 40%, положеніе его OI — предваренію впуска, равному 0,75% при безконечно длинномъ шатунѣ. Бисектрисса $\overline{OD}$ угла IOII образуетъ съ вертикалью Y — Y уголъ предваренія эксцентрика

$\delta = \sim$ **56°**

Для опредѣленія эксцентриситета надо выбрать положеніе кривошипа OV, при которомъ золотникъ начнетъ открывать окно для впуска пара. Если принять, что OV образуетъ съ горизонтальною линіею уголъ въ 45° и изъ точки V опустить перпендикуляръ $\overline{Vk}$ на хорду $\overline{I\,II}$, то $\overline{Vk}$ представитъ половину высоты a промежуточнаго канала Трика. Изъ чертежа имѣемъ

$\overline{Vk} = 13$ mm,

въ дѣйствительности же

$$\frac{1}{2} a = \frac{1}{2} 24 = 12 \text{ mm}.$$

Такимъ образомъ 1 mm діаграммы соотвѣтствуетъ $\frac{12}{13}$ mm дѣйствительности. Эксцентриковая окружность описана радіусомъ, равнымъ 50 mm, слѣдовательно истинный эксцентриситетъ будетъ

$$r = 50 \frac{12}{13} = \sim \mathbf{46 \text{ mm}}.$$

Далѣе для опредѣленія внѣшнихъ перекрышъ при приблизительно равныхъ наполненіяхъ по обѣ стороны поршня, на діаграммѣ 75a построено вверху слѣва наполненіе, соотвѣтствующее положенію кривошипа OII, а внизу справа—наполненіе соотвѣтствующее положенію кривошипа OII′ въ предположеніи что длина шатуна превышаетъ въ пять разъ радіусъ кривошипа. Такимъ образомъ при переднемъ ходѣ поршня получается наполненіе въ 45%, при обратномъ ходѣ—наполненіе въ 35%. Сближая между собою эти наполненія такъ, чтобы первое составляло 42%, второе 38%, отмѣтимъ соотвѣтствующія имъ при конечной длины шатуна положенія кривошипа OE_x,l и OE_x,r и изъ точекъ E_x,l и E_x,r опустимъ перпендякуляры на $\overline{OD}$ и $\overline{OD'}$. Тогда мы получимъ не только положенія кривошипа OV_e,l и OV_e,r соотвѣтствующія началу предваренія впуска пара, но и необходимыя внѣшнія перекрыши $\overline{O1}$ и $\overline{O1'}$ и величины $\overline{A2}$ и $\overline{A'2'}$ для предваренія впуска $\frac{1}{2} v_e$. Изъ діаграммы получаемъ

$\overline{O1} = 37{,}5$ и $\overline{O1'} = 34{,}5$ mm,

$\overline{A2} = 4{,}5$ и $\overline{A'2'} = 8$ mm,

а слѣдовательно

верхняя внѣшняя перекрыша будетъ

$$e_l = 37{,}5 \frac{12}{13} = \mathbf{34{,}6 \text{ mm}},$$

нижняя внѣшняя перекрыша будетъ

$$e_r = 34.5 \frac{12}{13} = \mathbf{31{,}8 \text{ mm}}.$$

[1]) Въ дѣйствительности, какъ показано на чертежѣ, этотъ размѣръ почему то принятъ въ 14 mm.

Принимая во вниманіе конечную длину эксцентриковой тяги $\left(\frac{r}{l} = \frac{1}{20}\right)$ предвареніе впуска по уравненію 141 будетъ

сверху поршня

$$v_{e,l} = 2 \cdot 4{,}5 \cdot \frac{12}{13} + \frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta = 9 \cdot \frac{12}{13} + \frac{1}{2}\frac{1}{20}46 \cdot \overline{0{,}559}^2$$

$$= \sim \mathbf{8{,}7\ mm},$$

снизу поршня

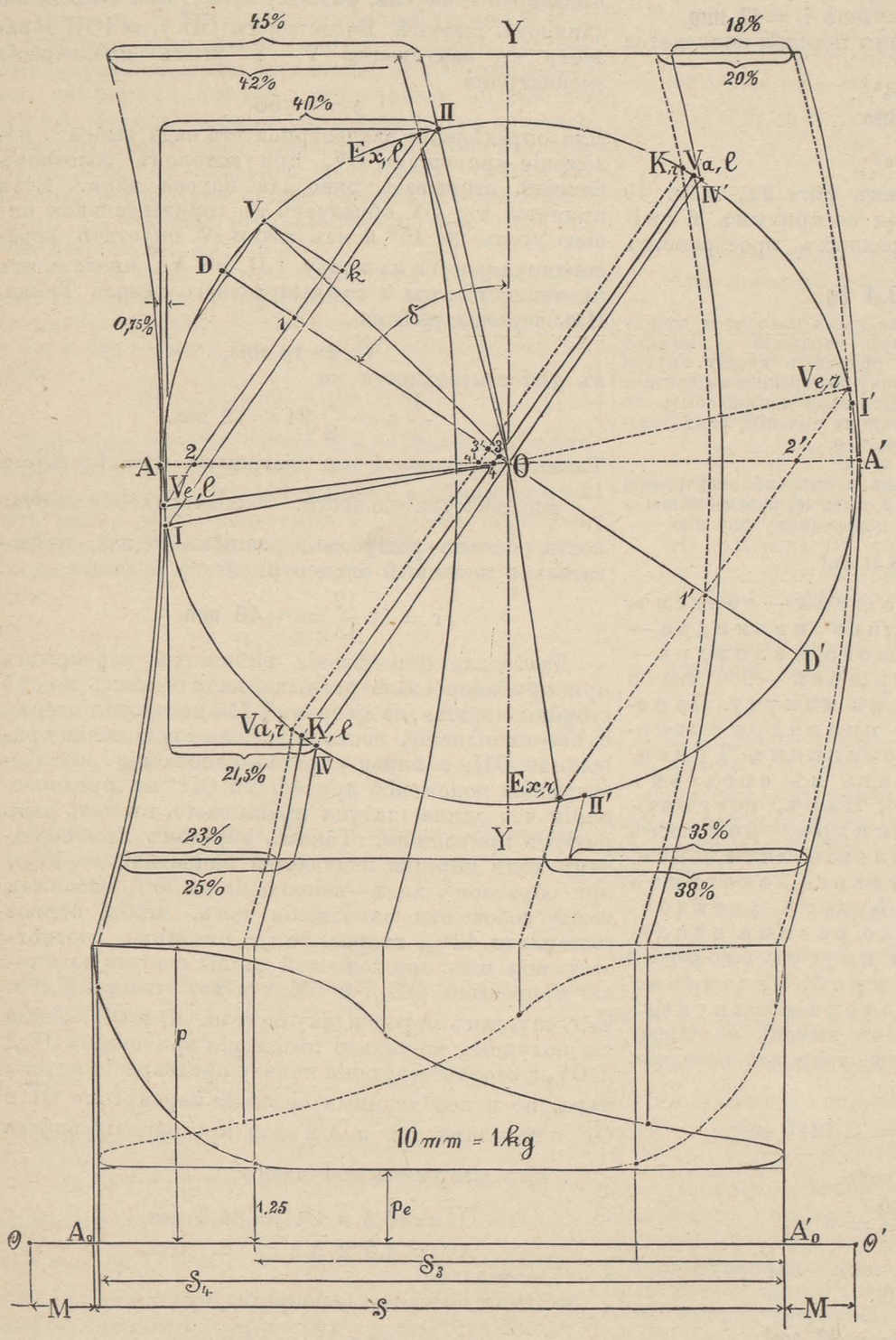
Для установки симметричнаго относительно своей середины золотника на разсчитанныя выше внѣшнія перекрыши, надо расположить его средину выше средины золотниковаго стола на величину (фиг. 75c)

$$y = \frac{e_l - e_r}{2} = \frac{34{,}6 - 31{,}8}{2} = \mathbf{1{,}4\ mm}.$$

Высота промежуточнаго канала будетъ

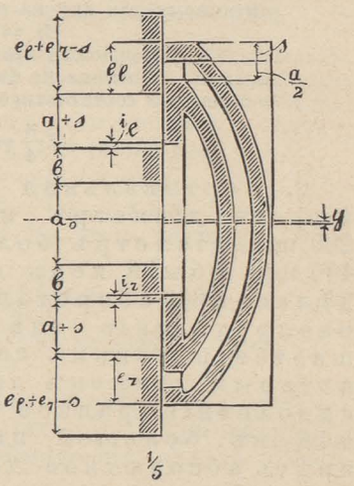
$$\frac{1}{2}\,a = \frac{1}{2}\,24 = \mathbf{12\ mm}.$$

Фиг. 75a.



Фиг. 75b.

Фиг. 75c.



$$v_{e,r} = 2 + 8 \cdot \frac{12}{13} - \frac{1}{2}\frac{r^2}{l}\cos^2\delta = 16\,\frac{12}{13} - \frac{1}{2}\frac{1}{20}46 \cdot \overline{0{,}559}^2$$

$$= \sim \mathbf{14{,}4\ mm}.$$

При толщинѣ внѣшней стѣнки золотника

$$s = \mathbf{12\ mm}$$

высота паровпускныхъ оконъ будетъ

$$a + s = 24 + 12 = \mathbf{36\ mm}$$

высота крайнихъ площадокъ золотниковаго стола будетъ (фиг. 75c)

$$e_l + e_r - s = 34{,}6 + 31{,}8 - 12 = \mathbf{54{,}4\ mm}$$

высота площадокъ между окнами

$$b = \frac{1}{2}a + 12 = \frac{1}{2}24 + 12 = \mathbf{24\ mm}.$$

Для опредѣленія внутреннихъ перекрышъ золотника служатъ величины сжатія и предваренія выпуска. Давленіе, при которомъ паръ вступаетъ въ большой цилиндръ, равно 4,5 kg. Если пожелаемъ доводить сжатіе до давленія $p_3 = 3{,}25$ kg, то путь $S - S_3$, проходимый поршнемъ отъ начала сжатія до прихода въ мертвое положеніе, при величинѣ вреднаго пространства $M = 10$ mm (основаніе индикаторной діаграммы $S = 100$ mm) и при давленіи при выпускѣ и въ началѣ сжатія $p_e = 1{,}25$ kg, опредѣлится изъ равенства

$$p_3\,(M + S - S_4) = p_e\,(M + S - S_3);$$

здѣсь $S - S_4$ выражаетъ путь, проходимый поршнемъ отъ мертваго положенія до начала предваренія впуска пара; онъ принятъ здѣсь въ предположеніи безконечно длиннаго шатуна равнымъ 0,75 mm. Вводя въ предыдущее равенство данныя величины, имѣемъ

$$3{,}75\ (10 + 0{,}75) = 1{,}25\ (10 + S - S_3)$$

откуда

$$S - S_3 = \frac{3{,}75\ (10 + 0{,}75)}{1{,}25} - 10 = 22{,}25\ \text{mm},$$

и величина сжатія будетъ

$$22{,}25 - 0{,}75 = 21{,}5\%.$$

Эта величина, приложенная къ величинѣ предваренія впуска дастъ на діаграммѣ при безконечно длинномъ шатунѣ два положенія кривошипа OIV и OIV′; эти же положенія при указанной выше конечной длинѣ шатуна дадутъ на верхней сторонѣ поршня (фиг. 75a текста) сжатіе, равное 25%, на нижней—сжатіе, равное 18%.

Для того, чтобы приблизить величины сжатія по ту и другую сторону поршня другъ къ другу до 23 и 20%, слѣдуетъ отыскать положенія кривошипа OK_l и OK_r, соотвѣтствующія этимъ новымъ величинамъ, принимая во вниманіе конечную длину шатуна. Опуская изъ точекъ K_l и K_r перепендикуляры на $\overline{DOD'}$, получимъ верхнюю внутреннюю перекрышу

$$i_l = \overline{O3}\,\frac{12}{13} = 1{,}8\,\frac{12}{13} = \sim \mathbf{1{,}7\ mm},$$

которая въ данномъ случаѣ отрицательна и нижнюю внутреннюю перекрышу

$$i_r = \overline{O3'}\,\frac{12}{13} = 4\,\frac{12}{13} = \sim \mathbf{3{,}7\ mm}.$$

Величина предваренія выпуска получается изъ діаграммы равною $\overline{A4'}$ при верхнемъ и $\overline{A'4}$ при нижнемъ мертвомъ положеніи кривошипа. Такъ какъ обѣ эти величины больше высоты паровпускного окна a, то окна при мертвыхъ положеніяхъ уже вполнѣ открыты для выпуска. Опущенные изъ K_l и K_r перепендикуляры на $\overline{DOD'}$ при продолженіи своемъ пересѣкаютъ окружность эксцентрика или кривошипа въ точкахъ, которыя опредѣляютъ положенія кривошипа OV_a,l и OV_a,r при началѣ предваренія выпуска по ту и другую сторону поршня.

Высота a_0 паровыпускного окна опредѣляется изъ соотношенія 148a. Необходимо чтобы

$$a_0 \geqq 3{,}7 + 46 + 24 - 24,$$

или

$$a_0 \geqq 49{,}7\ \text{mm}$$

Въ данномъ случаѣ принято

$$a_0 = \mathbf{55\ mm}.$$

3. Вертикальная машина—компаундъ съ двумя кривошипами, заклиненными подъ угломъ 90° другъ къ другу, имѣетъ у большого цилиндра золотникъ съ промежуточнымъ каналомъ Трика, перепускающій періодически паръ съ одной стороны поршня по другую. Машина работаетъ съ холодильникомъ и имѣетъ слѣдующіе размѣры:

діаметръ малаго цилиндра = 300 mm,
» большого цилиндра = 520 mm,
общій ходъ поршней = 520 mm,
число оборотовъ въ минуту = 180 и
абсолютное давленіе пара при впускѣ въ малый цилиндръ = 11 атм.

Опредѣлить размѣры упомянутаго золотника?

Полезная площадь большого поршня при несквозномъ поршневомъ штокѣ, діаметръ котораго равенъ 65 mm, будетъ

$$O = \overline{52}^2\,\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}\,\overline{6{,}5}^2\,\frac{\pi}{4} = \sim 2107\ \text{cm}^2,$$

а средняя скорость поршней будетъ

$$c_m = \frac{Sn}{30} = \frac{0{,}52 \cdot 180}{30} = 3{,}12\ \text{m}.$$

Площадь паровпускного окна изъ уравненія 126 будетъ

$$f_k = \frac{Oc_m}{32} = \frac{2107 \cdot 3{,}12}{32} = \sim 205{,}4\ \text{cm}^2.$$

Если сдѣлаемъ для уменьшенія высоты паровпускного окна, ширину его

$$h = 52\ \text{cm} = \mathbf{520\ mm},$$

то высота окна будетъ

$$a = \frac{205{,}4}{52} = \sim 4\ \text{cm} = \mathbf{40\ mm}.$$

Для опредѣленія наполненія и кривой впуска пара въ большой цилиндръ, слѣдуетъ построить ранкинизированныя діаграммы, какъ это было указано въ III части и на табл. 29. Получающаяся такимъ образомъ кривая наполненія нанесена на фиг. 76b текста и наполненіе большого цилиндра будетъ

$$\frac{S_1}{S} = 0{,}33.$$

Съ цѣлью уравненія работы пара по ту и другую сторону поршня, это наполненіе принято какъ для передняго такъ и для обратнаго хода поршня. Соотвѣтствующія этому наполненію положенія кривошипа OE_x,l и OE_x,r нанесены на золотниковой діаграммѣ (фиг. 76a текста), принимая во вниманіе конечную длину шатуна. Если выбрать предвареніе впуска сверху поршня равнымъ $\frac{1}{2}$% и опредѣлить соотвѣтствующее ему положеніе кривошипа OV^e,l, то бисектрисса $\overline{OD}$ угла $V_e,l\,OE_x,l$ составитъ съ вертикалью Y—Y уголъ предваренія эксцентрика

$$\delta = \sim \mathbf{61^0}.$$

Этимъ самымъ опредѣляется предвареніе впуска и съ нижней стороны поршня. Для этого слѣдуетъ только провести $\overline{OD'}$ продолженіе $\overline{OD}$ и отложить

уголъ E_x,r OD' уже отъ OD'. Тогда получимъ положеніе кривошипа OV_e,r и величину предваренія впуска пара, равную $\sim 2{,}5\%$.

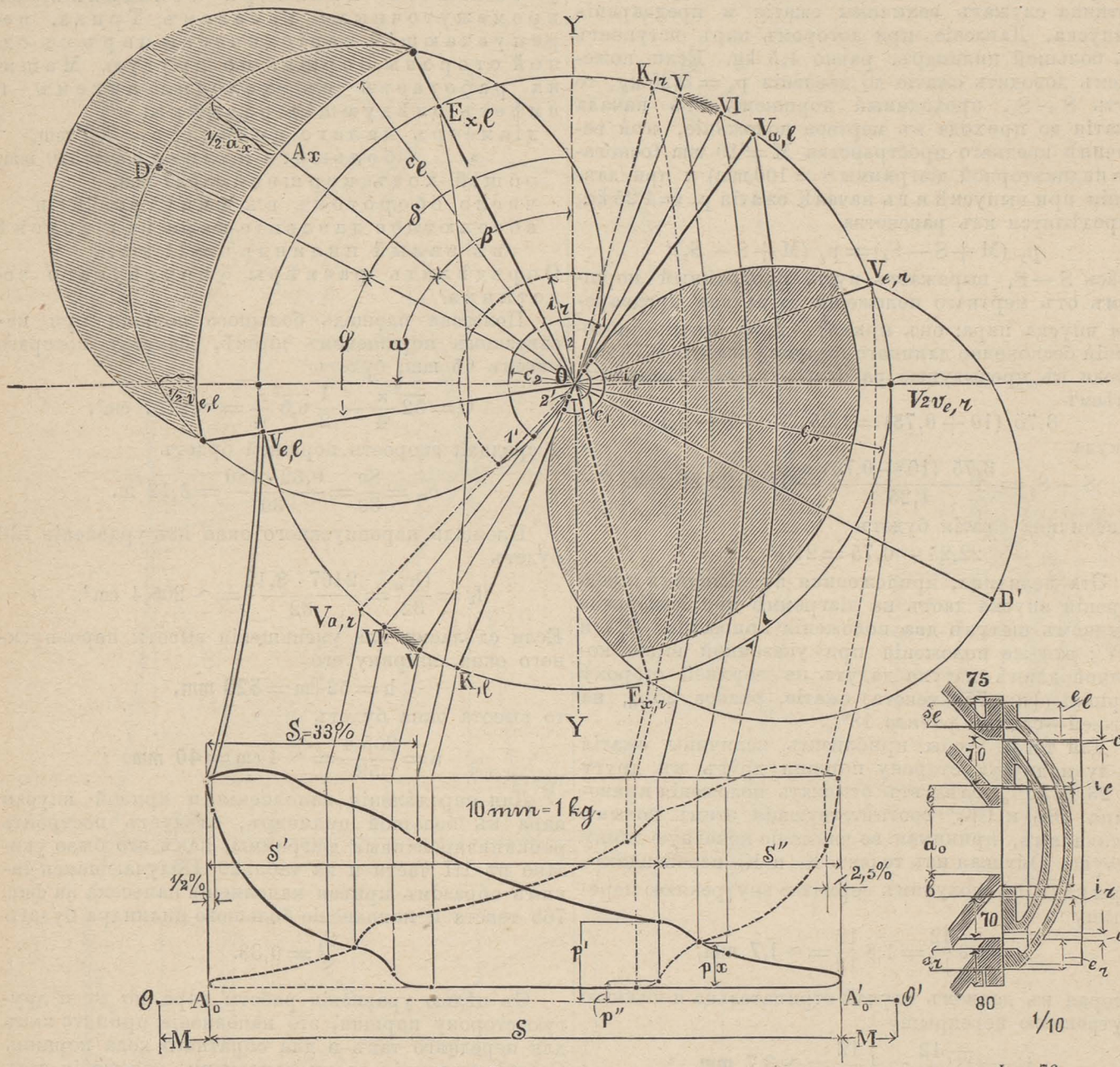
Эксцентриситетъ r, на которомъ какъ на діаметрѣ описываются золотниковыя окружности, опредѣляется при помощи уравненія 151a. Въ послѣднемъ β есть уголъ, образуемый кривошипомъ OA_x (фиг. 76a

Необходимое открытіе паровпускного окна a_x, принимая, что скорость пара при началѣ тормаженія $w_x = 55$ m, будетъ

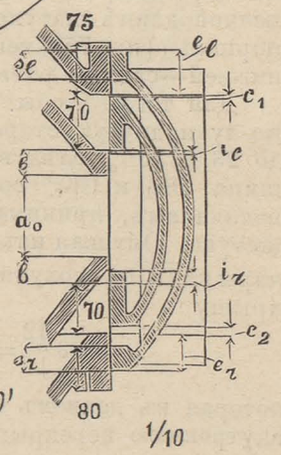
$$a_x = \frac{Oc_m}{55h} = \frac{2107 \cdot 3{,}63}{55 \cdot 52} = \sim 2{,}7 \text{ cm} = 27 \text{ mm}.$$

Уголъ φ изъ діаграммы 76a текста равенъ 36° 40'.

Фиг. 76a.



Фиг. 76b.



Фиг. 76c.

текста) съ вертикалью Y — Y при началѣ тормаженія пара и уголъ V_e,l OD = E_x,l OD. Если принять $\beta = 50°$, то скорость поршня при положеніи кривошипа OA_x, составляющемъ съ мертвымъ его положеніемъ уголъ $\omega = 40°$, опредѣлится изъ уравненія 24 или 22 и при $\frac{R}{L} = \frac{1}{5}$ будетъ

$$c_x = \frac{\pi}{2} c_m \sin 40° \left(1 + \frac{1}{5} \cos 40°\right) = \frac{\pi}{2} 3{,}12 \cdot 0{,}643 \left(1 + \frac{1}{5} 0{,}766\right) = \sim 3{,}63 \text{ m}.$$

При помощи этихъ величинъ равенство 151a даетъ

$$r = \frac{\frac{1}{2} 27}{\cos(61° - 50°) - \cos 36° 40'} = \frac{13{,}5}{0{,}9816 - 0{,}8021} = \sim \mathbf{75 \text{ mm}}.$$

При такомъ эксцентриситетѣ верхняя внѣшняя перекрыша будетъ

$$e_1 = r \cos(\delta - \beta) - \frac{1}{2} a_x = 75 \cos(61° - 50°) - \frac{1}{2} 27 = \mathbf{60 \text{ mm}},$$

а верхнее предваренiе впуска будетъ

$$\frac{1}{2} v_{e,l} = r \sin \delta - e_l = 75 \sin 61^0 - 60 = \sim \mathbf{5{,}6\ mm}$$

Эти же величины получаются и изъ діаграммы, если описать верхнюю золотниковую окружность на діаметрѣ $r = 75$ mm. Нижняя золотниковая окружность отсѣкаетъ на положенiи кривошипа $OE_{x,V}$ нижнюю внѣшнюю перекрышу

$$e_r = \mathbf{50\ mm},$$

а на нижнемъ мертвомъ положенiи кривошипа нижнее предваренiе впуска, равное

$$\frac{1}{2} v_{e,r} = \sim \mathbf{15{,}6\ mm}.$$

Наибольшее открытiе верхняго окна для впуска пара будетъ

$$2(r - e_l) = 2(75 - 60) = 30\ \text{mm},$$

нижнее-же паровпускное окно открывается вполнѣ, такъ какъ

$$2(r - e_r) = 2(75 - 50) = 50\ \text{mm}.$$

Относительно протока пара съ одной стороны поршня по другую надо замѣтить, что при среднемъ положенiи золотника, нижнее паровпускное окно сообщается съ промежуточнымъ каналомъ Трика отверстiемъ

$$c_2 = 10\ \text{mm},$$

а верхнее— отверстiемъ

$$c_1 = 3\ \text{mm}.$$

Если описать радiусомъ $c_2 = \overline{O1} = \overline{O1'}$ изъ O окружность въ верхнемъ золотниковомъ кругѣ и радiусомъ $c_1 = \overline{O2} = \overline{O2'}$ изъ того-же центра O окружность въ нижнемъ золотниковомъ кругѣ, то увидимъ, что при положенiяхъ кривошипа OV и OV' начинается, а при положенiяхъ его OVI и OVI' кончается протокъ пара при ходѣ поршня внизъ и соотвѣтственно вверхъ. Если отыскать напр. при положенiи кривошипа OV соотвѣтствующее положенiе поршня, то увидимъ, что ордината линiи расширенiя пара, или давленiе пара сверху поршня, въ разсматриваемый моментъ будетъ (фиг. 76b)

$$p' = 1{,}25\ \text{kg}.$$

Ордината кривой сжатiя пара снизу поршня при разсматриваемомъ его положенiи можно принять соразмѣрною давленiю пара

$$p'' = 0{,}25\ \text{kg},$$

если только внутреннiя перекрыши золотника будутъ немного больше c_1 и c_2. Какъ видно изъ индикаторной діаграммы паръ сверхъ поршня имѣетъ объемъ, соотвѣтствующiй пути

$$S' = 71{,}5\ \text{mm},$$

а снизу поршня объемъ, соотвѣтствующiй пути

$$S'' = 28{,}5\ \text{mm}.$$

При величинѣ вреднаго пространства

$$M = 8\ \text{mm}$$

давленiе, образующееся при протокѣ пара черезъ каналъ Трика, опредѣлится изъ равенства, приведеннаго на стр. 135, т. е.

$$p_x = \frac{1{,}25(8 + 71{,}5) + 0{,}25(8 + 28{,}5)}{2{,}8 + 100} = \sim 0{,}94\ \text{kg}.$$

Это давленiе нанесено въ діаграммѣ какъ ордината, соотвѣтствующая положенiю поршня при положенiи кривошипа OVI. Отъ полученной такимъ образомъ точки можно уже строить въ индикаторной діаграммѣ кривую расширенiя пара до начала предваренiя выпуска, а кривую сжатiя до начала предваренiя впуска.

Величины c_1 и c_2 можно опредѣлить только попытками. Лучше всего построить линiю сжатiя, начиная отъ избраннаго давленiя p_3 въ концѣ сжатiя въ обратномъ направленiи какъ линiю расширенiя. Затѣмъ выбираютъ положенiе поршня, соотвѣтствующее положенiю кривошипа OVI. Этимъ самымъ будетъ опредѣлено p_x. Далѣе положенiе поршня при положенiи кривошипа OV выбираютъ ощупью до тѣхъ поръ, пока при помощи полученныхъ такимъ образомъ p', S' и S'' и выбранной величины p'' не получится изъ вышеприведеннаго условiя желательная величина p_x.

Внутреннiя перекрыши золотника сдѣланы немногимъ больше величинъ c_1 и c_2, а именно

верхняя внутренняя перекрыша $i_l = \mathbf{5\ mm}$,

нижняя „ „ $i_r = \mathbf{17\ mm}$.

Высота промежуточнаго канала можетъ быть сдѣлана, какъ было указано, равною $\frac{1}{2}a$, но здѣсь эта высота принята равною

$$\frac{1}{2}a + c_2 = \frac{1}{2}40 + 10 = \mathbf{30\ mm}$$

для того, чтобы не увеличивать чрезмѣрно толщину стѣнокъ s золотника и высоту оконъ $a + s$.

При этомъ крайнее ребро промежуточнаго канала сверху отстоитъ отъ крайняго ребра паровпускного окна на 25 mm $(30 - c_1)$ (фиг. 76c) снизу на 20 mm $(30 - c_2)$. Отсюда длина верхней лапы золотника будетъ

$$s_l = e_l - 25 = 60 - 25 = \mathbf{35\ mm}.$$

нижней

$$s_r = e_r - 20 = 50 - 20 = \mathbf{30\ mm};$$

высота нижняго паровпускного окна будетъ

$$a + s_r = 40 + 30 = \mathbf{70\ mm},$$

верхняго

$$a + s_l = 40 + 35 = \mathbf{75\ mm}.$$

Однако высота обоихъ оконъ принята равною **70 mm**, такъ какъ верхнее окно не вполнѣ открывается золотникомъ. Для правильнаго распредѣленiя впуска пара въ цилиндръ черезъ промежуточный каналъ надо, чтобы высота крайней верхней площадки золотниковаго стола была

$$e_l + e_r - s_l = 60 + 50 - 35 = \mathbf{75\ mm},$$

нижней

$$e_r + e_l - s^r = 50 + 60 - 30 = \mathbf{80\ mm}.$$

Высота площадокъ золотниковаго стола между окнами

$$b = \frac{a}{2} + 15 = 20 + 15 = \mathbf{35\ mm};$$

высота паровпускного окна опредѣляется изъ соотношенiя 148a

$$a_0 \geqq 17 + 75 + 40 - 35$$

или

$$a_0 = \mathbf{110\ mm}.$$

§ 34.

Золотникъ Вейса.

Въ то время какъ золотникомъ Трика достигается двойное открытiе паровпускныхъ оконъ для притока свѣжаго пара, золотникъ, патентованный инженеромъ Вейсомъ (F. I. Wiess), даетъ двойное открытiе паровыпускного окна. Этотъ золотникъ представленъ на фиг. 7b и 7c, табл. 33, гдѣ онъ служитъ основнымъ золотникомъ парораспредѣленiя двойными золотниками, о которомъ будетъ сказано впослѣдствiе. Въ основномъ золотникѣ паръ можетъ поступать только черезъ паровпускные каналы, устроенные въ концахъ его. Въ остальномъ вступающiй паръ распредѣляется основнымъ золотникомъ также, какъ и простымъ золотникомъ.

Чтобы получить двойное открытіе для выпуска пара, золотникъ снабженъ простѣнкомъ, а золотниковый столъ имѣетъ видъ, показанный на фиг. 7 b, табл. 33. Если представить себѣ, что золотникъ сдвинутъ влѣво изъ средняго своего положенія, то увидимъ, что паръ, выходящій изъ лѣваго паровпускного окна, будетъ уходить въ паровпускное отверстіе по двумъ направленіямъ, указаннымъ пунктирными стрѣлками, какъ только сдвигъ золотника влѣво будетъ равенъ внутренней перекрышѣ i.

На золотниковой діаграммѣ площадь, представляющая выпускъ пара, получится слѣдовательно удвоеніемъ соотвѣтствующихъ открытій паровыпускного окна до тѣхъ поръ, пока величина удвоеннаго открытія не достигнетъ ширины a окна. На фиг. 7, табл. 33 это удвоеніе открытій $\frac{a_x}{2}$ произведено по направленію радіусовъ, а на фиг. 8 по горизонтальному направленію наружу, до тѣхъ поръ, пока не получилась величина a.

Преимущества, которыя достигаются такимъ двойнымъ открытіемъ паровыпускного окна, главнымъ образомъ заключаются въ томъ, что открытіе окна совершается гораздо быстрѣе, чѣмъ въ обыкновенномъ золотникѣ и что при мертвомъ положеніи поршня, и даже до этого, паровыпускное окно уже вполнѣ открыто. Послѣднее обстоятельство можетъ быть достигнуто и въ обыкновенномъ золотникѣ, однако только при условіяхъ, вызывающихъ ухудшеніе парораспредѣленія въ другихъ отношеніяхъ. Если предвареніе выпуска при мертвыхъ положеніяхъ кривошипа равно высотѣ окна, то давленіе пара можетъ своевременно понизиться до давленія при выпускѣ, чѣмъ устраняется возможность тормаженія его при началѣ выпуска. Закрытіе паровыпускного окна въ разсматриваемомъ золотникѣ происходитъ также быстро какъ и открытіе его. Кромѣ того въ золотникѣ на фиг. 7 b, табл. 33 паръ въ теченіе короткаго промежутка времени можетъ переходить съ одной стороны поршня по другую, такъ какъ при помощи этого золотника обѣ стороны поршня періодически сообщаются между собою. Это происходитъ при среднемъ положеніи золотника, когда оба окна открыты внутренними ребрами золотника на величину c. Такимъ образомъ сообщеніе обѣихъ сторонъ поршней очевидно начинается, когда золотникъ, возвращаясь въ среднее свое положеніе, не дошелъ до него на величину c (фиг. 7 c, когда золотникъ идетъ справа налѣво), и прекращается, когда золотникъ, идущій въ томъ же направленіи, перешелъ за среднее свое положеніе на величину c. Чтобы получить соотвѣтственныя положенія кривошипа на фиг. 7, табл. 33 слѣдуетъ радіусомъ c описать окружность около центра O и отмѣтить точки пересѣченія ея съ золотниковыми окружностями. На фиг. 8, табл. 33 вправо и влѣво отъ Y — Y, на разстояніи c слѣдуетъ провести вертикали и отмѣтить ихъ точки пересѣченія съ золотниковою окружностью (или, что тоже, съ окружностью кривошипа). Тогда мы увидимъ, что при переднемъ ходѣ поршня напр. протокъ пара начинается при положеніи кривошипа O V и прекращается при положеніи его O VI. Понятно, что при протокѣ пара происходитъ смѣшеніе его съ обѣихъ сторонъ поршня. Если такимъ образомъ на фиг. 7 a и 8 a при началѣ протока

p' есть давленіе позади, p'' — давленіе впереди поршня,

S' есть ходъ поршня изъ лѣваго, а S'' ходъ его до праваго мертваго положенія,

то давленіе p_x смѣшаннаго пара, какъ уже было упомянуто въ предыдущемъ параграфѣ, опредѣлится изъ равенства

$$p'(M+S')+p''(M+S'')=p_x(2M+S)$$

и будетъ

$$p_x=\frac{p'(M+S')+p''(2M+S'')}{2M+S}.$$

Благодаря протоку пара съ одной стороны поршня на другую, достигается значительное улучшеніе выпуска пара, вмѣстѣ съ высокимъ сжатіемъ, которое иначе могло бы быть достигнуто только при большомъ предвареніи выпуска пара.

По даннымъ F. I. Weiss'a, размѣры разсматриваемаго золотника опредѣляются, въ предположеніи двойного парораспредѣленія, слѣдующимъ образомъ.

Установивъ, какъ было указано выше, высоту a паровпускного окна и замѣтивъ, что отверстіе c для протока пара всегда должно быть менѣе внутренней перекрыши i, выбираютъ такъ называемую безопасную перекрышу, т. е. разность

$$d=i-c.$$

Въ малыхъ машинахъ она дѣлается равною 2 mm; для бо́льшихъ машинъ эта величина увеличивается, доходя до 6 mm въ самыхъ большихъ машинахъ. Тогда отверстіе c для протока пара будетъ

$$c=\frac{a}{4}-\frac{d}{2}.$$

Однако не слѣдуетъ, даже въ самыхъ малыхъ машинахъ, дѣлать c менѣе 3 mm, а во всѣхъ болѣе или менѣе быстроходныхъ машинахъ полученную изъ приведеннаго равенства величину c слѣдуетъ увеличивать приблизительно на одну треть.

Внутренняя перекрыша при этомъ будетъ

$$i=c+d.$$

Высоту площади золотниковаго стола между окнами рекомендуется брать по формулѣ

$$b=0{,}3a+10\text{ mm}.$$

Для внѣшней перекрыши Вейса даетъ формулу $e=0{,}7a+0{,}6d$ въ машинахъ безъ холодильника и $e=0{,}9a+0{,}6d$ „ „ съ холодильникомъ.

Высота a_1 золотниковаго канала, проводящаго свѣжій паръ (см. двойные золотники) дѣлается

$$a_1=0{,}8a \text{ до } 0{,}85a.$$

Для опредѣленія эксцентриситета r основного золотника служитъ условіе [1])

$$r=a_1+e,$$

а для опредѣленія угла предваренія [1]) служитъ равенство

$$\sin\delta=\frac{e+v^e}{r},$$

причемъ предвареніе v_e берется

$$v_e=\frac{1}{4}a \text{ до } \frac{1}{3}a.$$

При этихъ условіяхъ увидимъ, что при предвареніи выпуска равномъ 6 до 8% хода поршня паровыпускное окно будетъ уже открыто вполнѣ, когда кривошипъ еще не дошелъ до мертваго положенія на 10° до 15°.

Примѣръ.

Разсчитать основной золотникъ Вейса для паровой машины, діаметръ ци-

[1]) См. также указанія, сдѣланные далѣе при разборѣ пароraспредѣленій двойными золотниками.

линдра которой равенъ 260 mm, а ходъ поршня 400 mm, и которая въ минуту дѣлаетъ 140 оборотовъ?

По указаніямъ Ф. Вейса этотъ золотникъ разсчитывается слѣдующимъ образомъ.

При несквозномъ поршневомъ штокѣ діаметромъ 45 mm, полезная площадь поршня будетъ

$$O = \overline{26}^2 \frac{\pi}{4} - \frac{1}{2} \overline{4{,}5}^2 \frac{\pi}{4} = 531 - 8 = 523 \text{ cm}^2.$$

Средняя скорость поршня будетъ

Безопасная перекрыша золотника для разсматриваемой машины можетъ быть принята

$$d = \mathbf{3 \text{ mm}}.$$

Тогда отверстіе для протока пара должно бы быть

$$c = \frac{a}{4} - \frac{d}{2} = \frac{24}{4} - \frac{3}{2} = 4{,}5 \text{ mm},$$

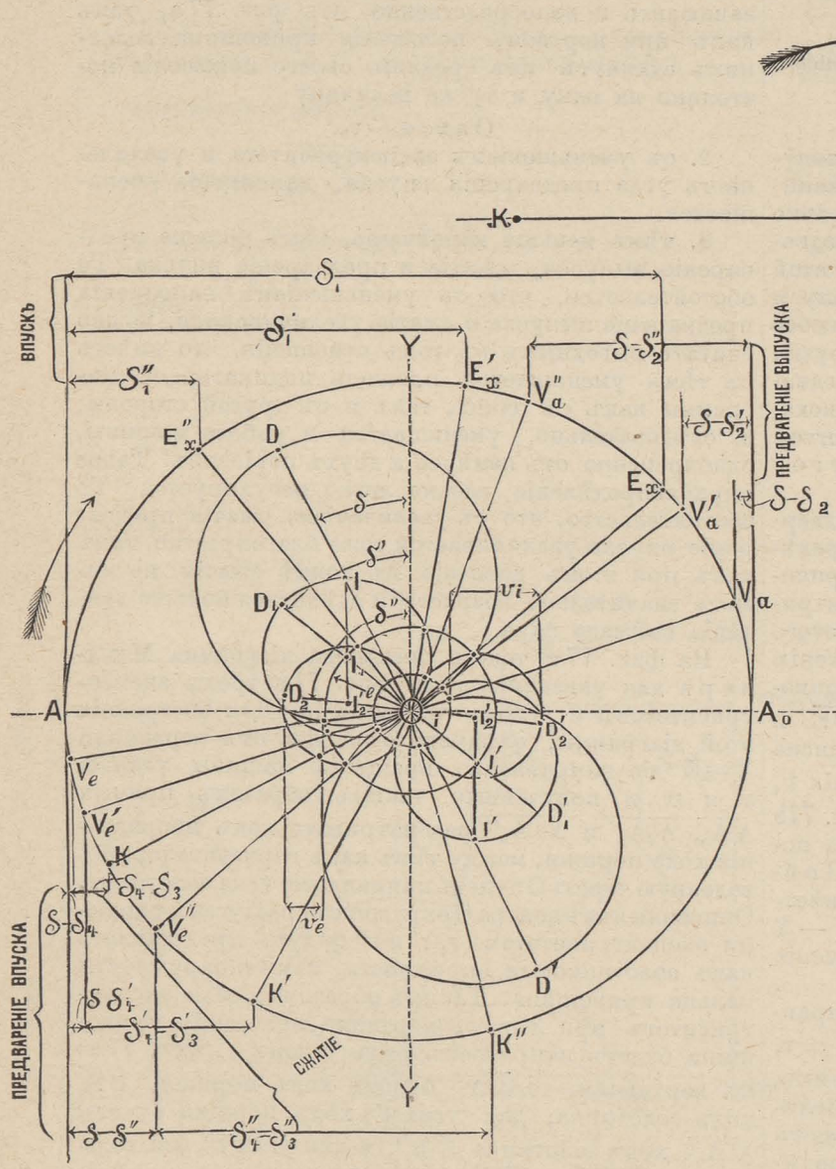
но въ виду быстраго хода машины принято

$$c = \mathbf{6 \text{ mm}}.$$

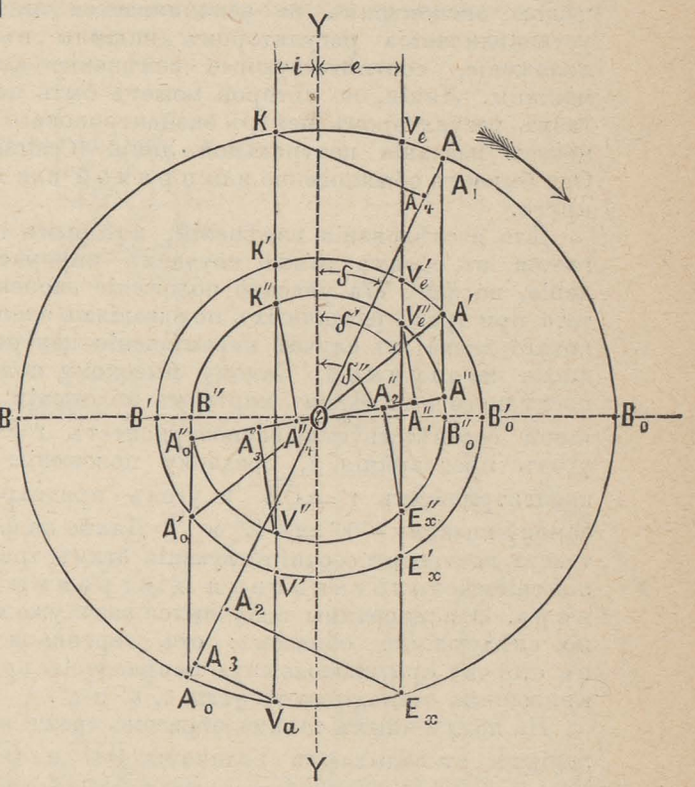
Внутренняя перекрыша

$$i = c + d = 6 + 3 = \mathbf{9 \text{ mm}}.$$

Фиг. 77a.



Фиг. 77b.



Фиг. 77c.

$$c_m = \frac{S\,n}{30} = \frac{0{,}4 \cdot 140}{30} = \sim 1{,}87 \text{ m}.$$

При этомъ площадь паровпускного окна изъ уравненія 126 будетъ

$$f_k = \frac{O \cdot c_m}{28} = \frac{523 \cdot 1{,}87}{28} = \sim 35 \text{ cm}^2.$$

Принимая ширину паровпускного окна

$$h = 15 \text{ cm} = \mathbf{150 \text{ mm}},$$

высота его будетъ

$$a = \frac{35}{15} = 2{,}35 \text{ cm} \text{ или } \sim 2{,}4 \text{ cm} = \mathbf{24 \text{ mm}}.$$

Высота b площадки золотниковаго стола между окнами будетъ

$$b = 0{,}3\,a + 10 = 0{,}3 \cdot 24 + 10 = \sim \mathbf{18 \text{ mm}}.$$

Если машина работаетъ безъ холодильника, то внѣшняя перекрыша золотника будетъ

$$e = 0{,}7\,a + 0{,}6\,d = 0{,}7 \cdot 24 + 0{,}6 \cdot 3 = \sim \mathbf{19 \text{ mm}}.$$

Высота же канала золотника для притока свѣжаго пара будетъ

$$a_1 = 0{,}8\,a \text{ до } 0{,}85\,a = 0{,}8 \cdot 24 \text{ до } 0{,}85 \cdot 24 =$$
$$= 19{,}3 \text{ до } 20{,}4 = \sim \mathbf{20 \text{ mm}}.$$

Эксцентриситетъ опредѣлится изъ равенства

$$r = a_1 + e = 20 + 19 = \mathbf{39 \text{ mm}}.$$

Наконецъ, при величинѣ предваренія впуска

$$v_e = \frac{1}{4}a \text{ до } \frac{1}{3}a = \frac{1}{4}24 \text{ до } \frac{1}{3}24 = 6 \text{ до } 8 \text{ mm}$$

или въ среднемъ

$$v_e = 7 \text{ mm},$$

уголъ опереженія эксцентрика опредѣлится изъ равенства

$$\sin\delta = \frac{e + v_e}{r} = \frac{19 + 7}{39} = 0{,}666$$

и будетъ

$$\delta = \sim 42^0.$$

§ 35.

Плоскіе и поршневые золотники и краны съ перемѣннымъ наполненіемъ.

Плоскіе и поршневые золотники и краны допускаютъ измѣненіе наполненія (измѣненіе отсѣчки) въ достаточно широкихъ предѣлахъ, если только можно измѣнять эксцентриситетъ и уголъ предваренія движущаго золотникъ эксцентрика. Съ этой цѣлью эксцентрикъ не заклинивается на валу и устанавливается регуляторомъ машины въ любое положеніе, соотвѣтствующее измѣненію нагрузки машины. Линія, по которой можетъ быть передвигаемъ регуляторомъ центръ эксцентриковаго диска, носитъ названіе центральной линіи (Centralkurve). Она бываетъ обыкновенно или прямой или дугой круга.

Для изслѣдованія измѣненій, которымъ подвергается въ обоихъ этихъ случаяхъ пароораспредѣленіе, на фиг. 77a указано положеніе эксцентриситета при трехъ различныхъ положеніяхъ эксцентриковаго диска, въ случаѣ перемѣщенія центра этого диска по прямой. Самому высокому положенію послѣдняго при лѣвомъ мертвомъ положеніи кривошипа соотвѣтствуетъ эксцентриситетъ $r = \overline{OE}$ и уголъ предварнія δ, среднему положенію диска эксцентриситетъ $r' = \overline{OE'}$ и уголъ предваренія δ', самому низкому — $r'' = \overline{OE''}$ и δ''. Далѣе на фиг. 77b текста построены соотвѣтствующія этимъ тремъ положеніямъ золотниковыя діаграммы Цейнера. Эти діаграммы получаются какъ уже извѣстно слѣдующимъ образомъ: отъ вертикали Y — Y въ сторону противоположную направленію вращенія кривошипа откладываютъ углы δ, δ' и δ''.

На полученныхъ такимъ образомъ трехъ направленіяхъ откладываютъ величины $\overline{OD}$ и $\overline{OD'} = r$, $\overline{OD_1}$ и $\overline{OD_1'} = r'$ и $\overline{OD_2}$ и $\overline{OD_2'} = r''$ и на нихъ, какъ на діаметрахъ описываютъ окружности. Величины эксцентриситетовъ r, r' и r'' откладываютъ вдвойнѣ, такъ что прямыя $I\,I_1\,I_2$ и $I'\,I_1'\,I_2'$, соединяющія центры эксцентриковыхъ окружностей, представляютъ линіи перемѣщенія центра эксцентриковаго диска. Если затѣмъ на фиг. 77 b около центра O описать радіусами, равными внѣшней e и внутренней i перекрышамъ, двѣ окружности, то этимъ опредѣлятся всѣ важнѣйшія положенія кривошипа, которыми характеризуются различныя періоды пароораспредѣленія. На діаграммѣ главныя положенія кривошипа проведены только для лѣвой стороны поршня (предполагая опять прежнее расположеніе машины) и обозначены черезъ OV_e, OE_x, OV_a и OK для наибольшаго, черезъ OV_e', OE_x', OV и OK' для средняго и черезъ OV_e'', OE_x'', OV_a'' и OK'' для наименьшаго эксцентриситета на фиг. 77 b. Далѣе, на той же діаграммѣ построены періоды пароораспредѣленія для лѣвой стороны поршня въ предположеніи безконечно длиннаго шатуна и опять, сообразно тремъ величинамъ эксцентриситета, обозначаетъ: S_1, S_1', S_1'' — впускъ пара, $S - S_2$, $S - S_2'$, $S - S_2''$ предвареніе выпуска пара, $S_4 - S_3$, $S_4' - S_3'$, $S_4'' - S_3''$ — сжатіе пара и $S - S_4$, $S - S_4'$, $S - S_4''$ предвареніе впуска.

Изъ діаграммы 77 b мы видимъ, что

1. при перемѣщеніи центра эксцентриковаго диска по прямой линіи величины предваренія впуска v_e и выпуска v_i остаются постоянными при всякой величинѣ эксцентриситета. Это можно было заключить и непосредственно изъ фиг. 77 a, такъ какъ при мертвомъ положеніи кривошипа золотникъ сдвинутъ изъ средняго своего положенія постоянно на одну и ту-же величину

$$\overline{Oa} = e + v_e.$$

2. съ уменьшеніемъ эксцентриситета и увеличеніемъ угла предваренія впуска, наполненіе уменьшается.

3. чѣмъ меньше наполненіе, тѣмъ больше предвареніе выпуска, сжатіе и предвареніе впуска. То обстоятельство, что съ уменьшеніемъ наполненія предвареніе выпуска и сжатіе увеличиваются, можно считать выгоднымъ въ томъ отношеніи, что вмѣстѣ съ тѣмъ уменьшается площадь индикаторной діаграммы какъ съ одной, такъ и съ другой стороны, а, слѣдовательно, уменьшается и работа машины, одновременно отъ измѣненія двухъ періодовъ. Такое пароораспредѣленіе весьма легко регулируется. То обстоятельство, что съ увеличеніемъ сжатія предвареніе впуска увеличивается тоже благопріятно, такъ какъ при этомъ давленіе въ концѣ сжатія не можетъ значительно возрасти и сдѣлаться больше давленія свѣжаго пара.

На фиг. 77 c текста построена діаграмма Мюллера для указанныхъ на фиг. 77 a трехъ эксцентриситетовъ и угловъ предваренія. Для построенія этой діаграммы, слѣдуетъ отложить отъ вертикали Y — Y по направленію вращенія машины углы δ, δ' и δ'' и полученныя такимъ образомъ прямыя $\overline{A\,A_0}$, $\overline{A'\,A_0'}$ и $\overline{A''\,A_0''}$ разсматривать какъ направленія хода поршня, между тѣмъ какъ горизонталь, проведенную черезъ O будетъ направленіе хода золотника. Описанныя изъ центра O окружности радіусами равными эксцентриситетамъ r, r' и r'' будутъ представлять какъ золотниковыя окружности, такъ и окружности пальца кривошипа. Такимъ образомъ, если эксцентриситетъ при лѣвомъ мертвомъ положеніи кривошипа будетъ направленъ подъ угломъ δ (фиг. 77 a) къ вертикали, то $\overline{A\,A_0}$ будетъ ходъ поршня, $\overline{B\,B_0}$ ходъ золотника; для угла δ' ходъ поршня будетъ $\overline{A'\,A_0'}$, ходъ золотника $\overline{B'\,B_0'}$, а для угла δ'' эти ходы будутъ $\overline{A''\,A_0''}$ и $\overline{B''\,B_0''}$. Эксцентриситеты r, r' и r'' на діаграммѣ 77 c отложены въ два раза больше, чѣмъ на діаграммѣ 77 a и двѣ прямыя $\overline{A\,A'\,A''}$ и $\overline{A_0\,A_0'\,A_0''}$ параллельны центральнымъ кривымъ, по которымъ перемѣщается центръ эксцентриковаго диска. Далѣе вертикали, проведенныя въ разстояніи e и i отъ Y — Y, въ точкахъ пересѣченія съ упомянутыми тремя окружностями даютъ главныя положенія кривошипа для различныхъ періодовъ пароораспредѣленія, а перпендикуляры, опущенные изъ этихъ-же точекъ пересѣченія на соотвѣтственное направленіе хода поршня, опредѣлятъ и величину этихъ періодовъ при трехъ упомянутыхъ выше положеніяхъ эксцентриситета. Такъ, напримѣръ, для положенія

эксцентриситета, опредѣляемаго величинами r и ϑ, главныя положенія кривошипа будутъ O V, O E_x, O V_a и O K [1]) для лѣвой стороны поршня. Величина же

предваренія впуска будетъ $\frac{\overline{A_1 A}}{\overline{A A_0}}$,

наполненія будетъ $\frac{\overline{A A_2}}{\overline{A A_0}}$

предваренія выпуска будетъ $\frac{\overline{A_3 A_0}}{\overline{A_4 A_0}}$

и сжатія будетъ $\frac{\overline{A_4 A_1}}{\overline{A A_0}}$.

Для положенія эксцентриситета, опредѣляемаго величинами r″ и ϑ″, соотвѣтственно имѣемъ

предваренiе впуска $\frac{\overline{A'' A''}}{\overline{A'' A_0''}}$,

наполненiе $\frac{\overline{A'' A_2''}}{\overline{A'' A_0''}}$

предваренiе выпуска $\frac{\overline{A_3'' A_0''}}{\overline{A'' A_0''}}$ и

сжатiе $\frac{\overline{A_4'' A_1''}}{\overline{A'' A_0''}}$.

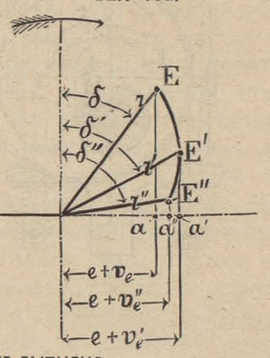
Однако по діаграммѣ Мюллера нельзя такъ ясно прослѣдить измѣненія, происходящія въ пораспредѣленіи при сдвигѣ эксцентриковаго диска, какъ по діаграммѣ Цейнера.

Фиг. 78 a текста показываетъ перемѣщеніе центра эксцентриковаго диска по дугѣ круга. Для этого случая на фиг. 78 b текста построена діаграмма Цейнера, а на фиг. 78 c діаграмма Мюллера, На всѣхъ этихъ фигурахъ сохранены тѣ же обозначенія, какъ и на фиг. 77 a, b и c. Въ этомъ примѣрѣ внутренняя перекрыша i принята отрицательною, и поэтому окружность, описанная ею около O на фиг. 78 b и вертикаль, проведенная въ разстояніи i отъ Y — Y находятся съ той же стороны, гдѣ построена окружность радіуса e и вертикаль на разстояніи e.

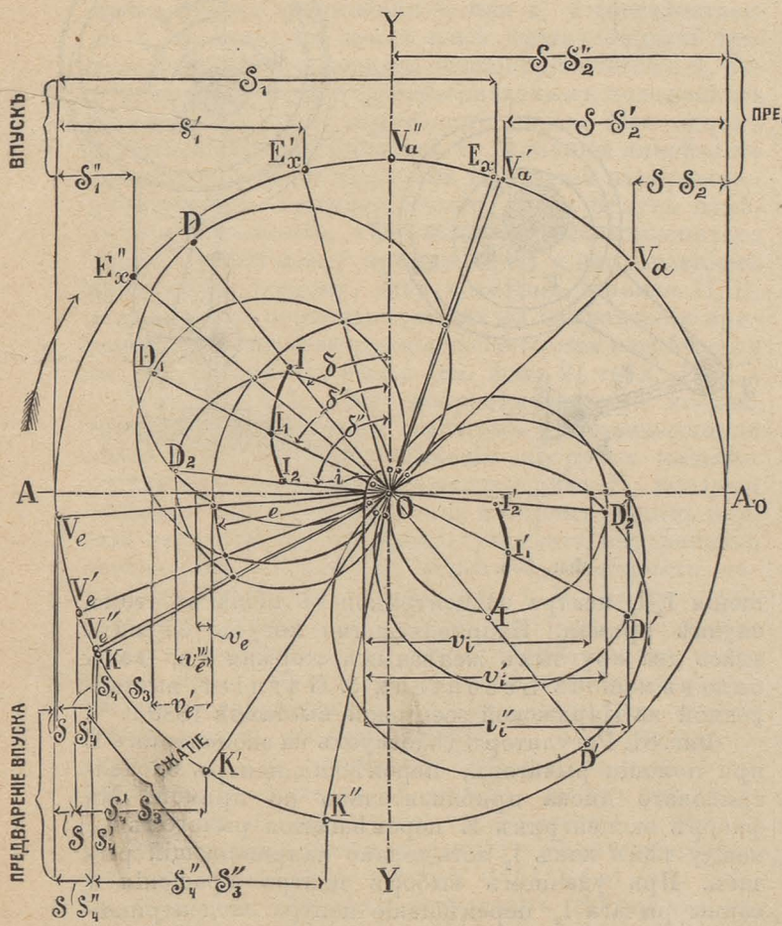
Изъ фиг. 78 a, b и c видно, что

1. предваренія впуска v_e и выпуска v_i, при перемѣщеніи центра эксцентриковаго диска измѣняются и это измѣненіе будетъ тѣмъ значительнѣе, чѣмъ меньше будетъ радіусъ кривой разсматриваемаго перемѣщенія, чѣмъ значительнѣе будетъ отклоненіе линіи, проведенной черезъ точки I, I_2, отъ вертикали на направленіе кривошипа. Въ то

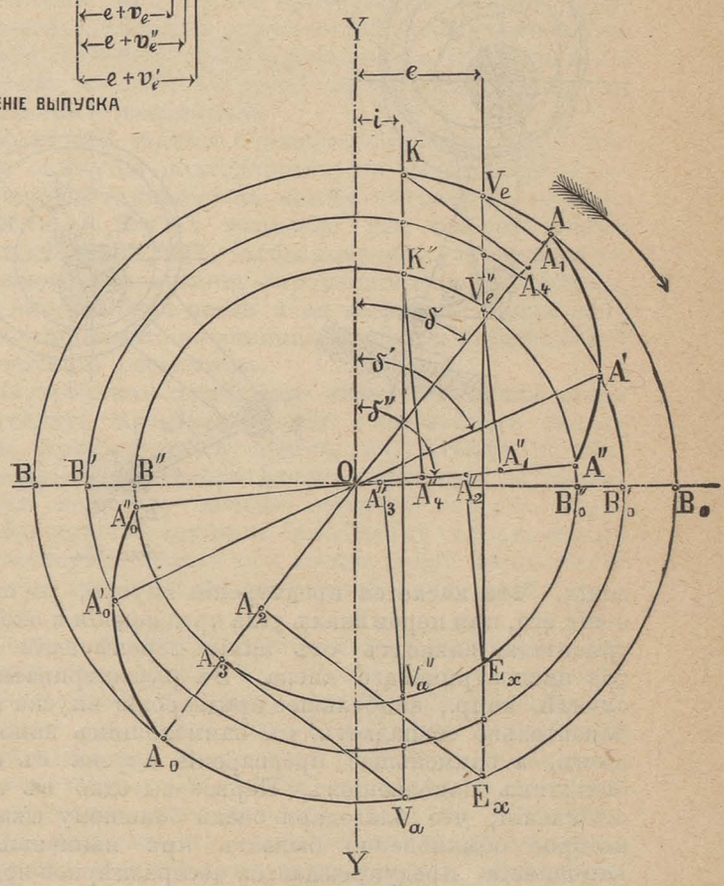
Фиг. 78a.



Фиг. 78b.



Фиг. 78c.



[1]) Для ясности чертежа эти положенія на немъ не показаны.

время какъ прежде постоянство величины предваренія впуска и выпуска считалось безусловно

необходимымъ, употребительныя нынѣ конструкціи разсматриваемыхъ парораспредѣленій и ихъ регуляторовъ большей частью допускаютъ измѣненіе этихъ предвареній при измѣненіи величины эксцентриситета. Во всякомъ случаѣ кажется цѣлесообразнымъ допускать измѣненіе въ величинѣ предварения только въ довольно тѣсныхъ предѣлахъ, т. е. выбирать кривую, перемѣщенія центра эксцентриковаго диска возможно плоскою такъ, чтобы точки I, I_2 составляли линію, близко подходящую къ вертикали.

2. наполненіе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше эксцентриситетъ и чѣмъ меньше уголъ предварения.

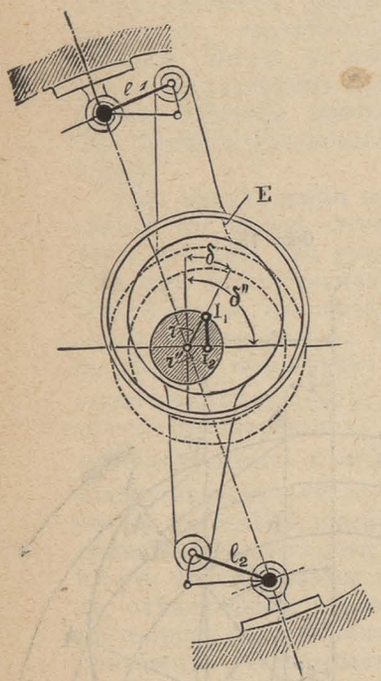
3. съ уменьшеніемъ наполненія сжатіе и предвареніе выпуска увеличиваются, а слѣдовательно и въ этомъ случаѣ происходитъ уменьшеніе индикаторной діаграммы какъ сверху, такъ и снизу, что выгодно въ смыслѣ регулированія парораспредѣленія. Что касается предвареніе впуска, то измѣненіе его, при перемѣнахъ угла предвареніе и эксцентриситета, зависитъ отъ линіи перемѣщенія центра эксцентриковаго диска. Въ разсматриваемомъ случаѣ, напр., наибольшее предвареніе впуска приблизительно совпадаетъ съ наименьшимъ наполненіемъ, а наименьшее предвареніе впуска съ наибольшимъ наполненіемъ. Первое выгодно въ томъ отношеніи, что благодаря очень большому сжатію, которое обыкновенно бываетъ при наименьшемъ наполненіи, предупреждается несоразмѣрное поднятіе давленія въ концѣ сжатія; второе обстоятельство до нѣкоторой степени можетъ быть уравновѣшено тѣмъ, что заставляютъ золотникъ давать достаточное открытіе окна при мертвомъ положеніи кривошипа во время работы наибольшимъ наполненіемъ, т. е. дѣлаютъ v_e достаточно большимъ.

Для пониманія дальнѣйшихъ примѣровъ, необходимо познакомиться, какимъ образомъ въ наиболѣе употребительныхъ случаяхъ происходитъ перемѣщеніе эксцентриковаго диска при помощи регулятора, хотя, собственно говоря, о регуляторахъ будетъ сказано только въ VI части. На фиг. 78 до 83 [1]) текста показано, какимъ образомъ въ наиболѣе употребительныхъ конструкціяхъ происходитъ перемѣщеніе золотниковаго эксцентрика при измѣненіи нагрузки машины.

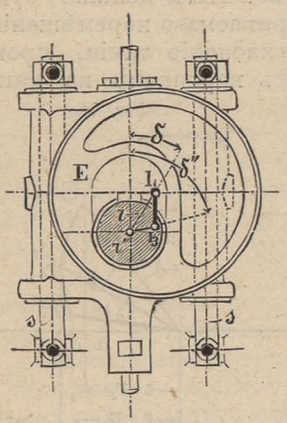
Фиг. 79. Эксцентрикъ E перемѣщается регуляторомъ въ прямыхъ направляющихъ, перпендикулярно къ направленію кривошипа. Линія перемѣщенія I_1 I_3 центра эксцентриковаго диска въ этомъ случаѣ прямая. Направляющими могутъ служить здѣсь два круглыхъ желѣзныхъ стержня s,s; какъ было въ машинѣ Lecouteux & Garnier, выставленной на Парижской всемірной выставкѣ 1889 г. [2]).

Фиг. 81. Регуляторъ дѣйствуетъ на эксцентрикъ E при помощи рычаговъ, перемѣщая центръ эксцентриковаго диска приблизительно по прямой. На фигурѣ эксцентрикъ E перемѣщается рычагомъ l_3, между тѣмъ какъ l_2 есть только направляющій рычагъ. При удачномъ выборѣ центра вращенія и длины рычага l_2 перемѣщеніе центра эксцентрико-

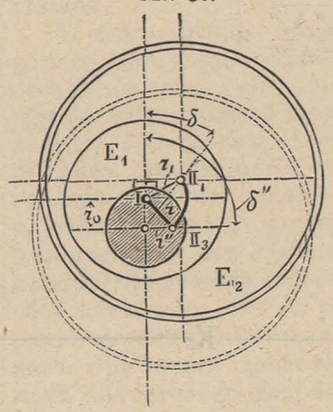
Фиг. 81.



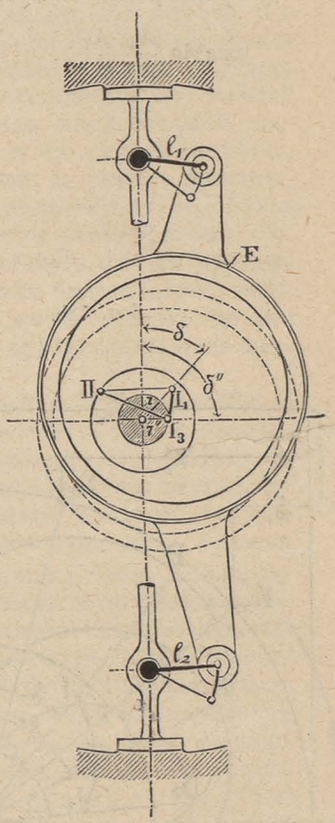
Фиг. 79.



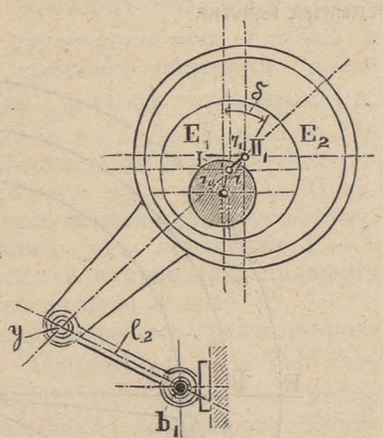
Фиг. 80.



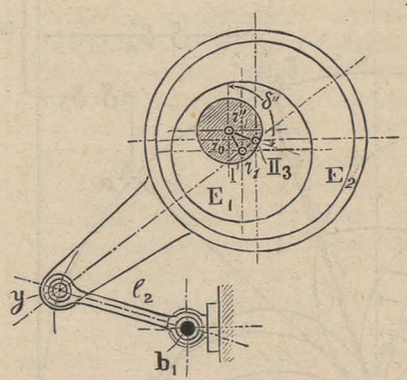
Фиг. 82.



Фиг. 83a.



Фиг. 83b.



[1]) Конечныя точки линіи перемѣщенія центра эксцентриковаго диска обозначены здѣсь иначе, чѣмъ на фиг. 77 и 78 текста, соотвѣтственно принятому на таблицахъ.

[2]) См. „Salomon, die Dampfmaschinen der Pariser Weltausstellung 1889“, Zeitschr. deutsch. Ing. 1890.

ваго диска происходитъ приблизительно по прямой $I_1 I_2$. Такое устройство встрѣчается напр. въ регуляторѣ Штейна въ Берлинѣ (см. фиг. 3 a, табл. 40), тогда какъ устройство рычажнаго механизма въ регуляторѣ Armington & Sims нѣсколько отлично отъ описаннаго.

Фиг. 82. Регуляторъ дѣйствуетъ на эксцентрикъ E при помощи обоихъ рычаговъ l_1 и l_2. Центръ эксцентриковаго диска перемѣщается по дугѣ круга I_1 и I_3 съ центромъ въ точкѣ II и радіуса $l_1 = l_2$. Такимъ образомъ дѣйствуетъ, напр., регуляторъ Зондермана (C. Sondermann) въ Штутгартѣ (фиг. 1a, табл. 40), а также регуляторъ Вестингауза (Westinghouse). На фиг. 82 текста центръ II кривой перемѣщенія $I_1 I_3$ лежитъ на прямой, проведенной черезъ точку I_1 параллельно направленію кривошипа. Предвареніе, которое въ данномъ случаѣ мѣняется при измѣненіи эксцентрисисета, заключалось бы въ болѣе тѣсныхъ предѣлахъ, если бы прямая, соединяющая точки I_1 и I_3, была по указанному перпендикулярна къ направленію кривошипа, т. е. если бы центръ II лежалъ на прямой, проведенной черезъ середину линіи $I_1 I_3$ параллельно кривошипу.

Фиг. 80. На главномъ валу заклиненъ эксцентриковый дискъ E_1, а на немъ сидитъ свободно другой, производящій парораспредѣленіе, эксцентриковый дискъ E_2, поворачиваемый регуляторомъ. Линія $\Pi_1 \Pi_3$ перемѣщенія центра эксцентриковаго диска здѣсь представляетъ дугу круга, описанную изъ центра I неподвижнаго эксцентрика E_1 радіусомъ, равнымъ эксцентриситету r_1 подвижного диска E_2. Замѣняющій оба эксцентрика равнодѣйствующій эксцентрикъ съ эксцентриситетомъ r и соотвѣтствующимъ угломъ опереженія δ, или r'' и соотвѣтственно δ'', получается всегда какъ третья сторона треугольника, составленнаго эксцентриситетомъ r_0 неподвижнаго диска и разсматриваемымъ положеніемъ эксцентриситета r_1 подвижного диска. При одномъ и томъ же эксцентриситетѣ r_1 величины линейныхъ предвареній для отдѣльныхъ положеній парораспредѣлительнаго эксцентриковаго диска будутъ измѣняться тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе будетъ отклоняться отъ 90° уголъ между прямою $\Pi_1 \Pi_3$ и направленіемъ кривошипа; поэтому, если возможно, прямая $\Pi_1 \Pi_3$ должна быть перпендикулярна къ направленію кривошипа. Такая конструкція эксцентрика встрѣчается въ регуляторѣ Прёлля (см. фиг. 2, табл. 41).

Фиг. 83a и b. Парораспредѣлительный эксцентрикъ E_2 направляется рычагомъ l_2, вращающимся около точки b_1. При измѣненіи нагрузки машины регуляторъ поворачиваетъ эксцентрикъ E_1, который свободно сидитъ на валу и на которомъ сидитъ первый эксцентрикъ E_2. Эксцентриситетъ внутренняго эксцентрика обозначенъ черезъ r_0, внѣшняго черезъ r_1. Точки II, на фиг. 83a и Π_3 на фиг. 83b суть точки линіи перемѣщенія центровъ эксцентриковыхъ дисковъ. Равнодѣйствующій эксцентриситетъ r или r'' получится, если принять во вниманіе, что разстояніе точекъ I и y, изъ которыхъ первая всегда лежитъ на дугѣ радіуса l_2, а вторая — на дугѣ радіуса R_0, описанной изъ центра вала, — не мѣняется, и что точка Π_1 или Π_3, лежитъ всегда на прямой Iy въ разстояніи r_1 отъ точки I. Такое устройство встрѣчается въ регуляторѣ машиностроительнаго завода Эрликонъ (Örlikon) (см. фиг. 1a, табл. 42) у котораго регуляторъ дѣйствуетъ на эксцентрикъ расширительнаго золотника парораспредѣленія двойнымъ золотникомъ.

Чтобы разсчитать золотникъ съ измѣненіемъ отсѣчки отъ регулятора, поступаютъ слѣдующимъ образомъ. Предварительно расчитываютъ золотникъ по указаннымъ выше правиламъ для того положенія, которое будетъ соотвѣтствовать обычной работѣ машины, выбираютъ предвареніе впуска, дѣлятъ пополамъ уголъ между двумя положеніями кривошипа, соотвѣтствующими началу этого предвареніе и началу расширенія, и строятъ золотниковую окружность Цейнера. Привыборѣ радіуса этой окружности, т. е. средняго эксцентриситета, обыкновенно удовлетворяютъ тому условію, чтобы золотникъ при разсматриваемомъ наиболѣе встрѣчающемся наполненіи открывалъ въ своемъ мертвомъ положеніи впускное окно если не вполнѣ, то почти вполнѣ, т. е. примѣняютъ уравненіе 145a или 150a на стр. 134 для опредѣленія упомянутаго эксцентриситета, или опредѣляютъ его попытками для указаннаго условія. Центръ проводимой золотниковой окружности, точки пересѣченія которой съ упомянутыми положеніями кривошипа должны доставить внѣшнюю перекрышу золотника, лежитъ тогда на линіи перемѣщенія центра экцентриковаго диска. Послѣдняя выбирается предварительно въ зависимости отъ устройства регулятора прямою или дугою круга.

Послѣ этого, какъ для наибольшаго и наименьшаго, такъ и для любого наполненія легко провести соотвѣтствующія золотниковыя окружности, если принять во вниманіе, что центры ихъ должны лежать на линіи перемѣщенія эксцентриковаго диска и что каждая изъ нихъ должна проходить какъ черезъ центръ O, такъ и черезъ точку пересѣченія окружности радіуса l съ положеніемъ кривошипа, при которомъ начинается расширеніе для даннаго наполненія. При помощи проведенныхъ такимъ образомъ золотниковыхъ окружностей можно далѣе опредѣлить величины предвареніе впуска и предвареніе выпуска, а также открытій паровпускного окна для отдѣльныхъ наполненій.

Если всѣ такимъ образомъ опредѣленныя величины окажутся подходящими, то линію перемѣщенія центра эксцентрика можно сохранить, въ противномъ же случаѣ возможно уже выбрать новую линію центровъ такъ, чтобы получить улучшенное въ желаемомъ направленіи парораспредѣленіе. Однако, при выборѣ этой линіи и ея величины всегда слѣдуетъ принимать во вниманіе свойства примѣняемой конструкціи регулятора.

Внутреннюю перекрышу золотника лучше всего опредѣлить такъ, чтобы при наименьшемъ наполненіи, при которомъ будетъ наибольшее сжатіе, давленіе въ концѣ послѣдняго было еще на надлежащую величину меньше давленія свѣжаго пара. Въ большинствѣ случаевъ послѣднему условію можно удовлетворить только при весьма малой положительной или даже при отрицательной внутренней перекрышѣ.

Если и въ этомъ случаѣ хотимъ установить золотникъ такъ, чтобы съ обѣихъ сторонъ поршня получить приблизительно равныя наполненія, то неравныя въ этомъ случаѣ внѣшнія перекрыши нужно взять изъ діаграммы и установить симметричный золотникъ такъ, чтобы его середина отстояла отъ середины золотниковаго стола на величину, равную полуразности этихъ внѣшнихъ перекрышъ. Установка золотника на точно равныя наполненія по обѣ стороны поршня возможно только при одной опредѣленной степени наполненія. За такую степень понятно слѣдуетъ выбрать принятую за нормаль-

ную. Однако, въ практикѣ въ разсматриваемыхъ парораспредѣленіяхъ золотникъ не устанавливается на равныя или приблизительно равныя наполненія, такъ какъ въ этомъ случаѣ предваренія впуска по ту и другую сторону поршня имѣютъ разную величину. Наоборотъ въ практикѣ стремятся большею частью достичь приблизительно равныя сжатія по обѣ стороны поршня при неравныхъ внутреннихъ перекрышахъ.

Для того, чтобы разсчитать разсматриваемыя парораспредѣленія при помощи діаграммы Мюллера, прежде всего надо построить діаграмму Релло и изъ нея извѣстнымъ уже образомъ опредѣлить уголъ предваренія, эксцентриситетъ и внѣшнюю перекрышу для принятой за нормальную степени наполненія и соотвѣтственно ей выбранному предварению впуска. При помощи этихъ величинъ можно вычертить діаграмму Мюллера для упомянутой степени наполненія, а выбравъ линію перемѣщенія центра эксцентрика и для всякой другой степени наполненія (фиг. 77c текста). Если парораспредѣленіе при разныхъ углахъ предваренія и разныхъ эксцентриситетахъ удовлетворяетъ поставленнымъ требованіямъ, то кривую перемѣщенія можно сохранить. Въ противномъ случаѣ ее легко исправить. Внутренняя перекрыша выбирается и здѣсь въ зависимости отъ давленія въ концѣ наибольшаго сжатія, которое будетъ имѣть мѣсто при наименьшемъ наполненіи.

Примѣры.

1. Для вертикальной быстроходной машины, діаметръ цилиндра которой равенъ 250 mm, ходъ поршня—250 mm и которая дѣлаетъ 240 оборотовъ въ минуту, разсчитать поршневой золотникъ съ промежуточнымъ каналомъ Трика и съ измѣненіемъ отсѣчки отъ регулятора Прёлля. Паръ вступаетъ въ цилиндръ при абсолютномъ давленіи 6 атм.

Опредѣлимъ площадь паровпускного окна изъ уравненія 126

$$f_k = \frac{O\,c_m}{25}.$$

При одностороннемъ поршневомъ штокѣ, толщиною 45 mm,

$$O = \overline{25}^2\,\frac{\pi}{4} - \frac{1}{2}\,\overline{4{,}5}^2\,\frac{\pi}{4} = 491 - 8 = 483\ \text{cm}^2,$$

средняя скорость поршня будетъ

$$c_m = \frac{S\,n}{30} = \frac{0{,}25 \cdot 240}{30} = 2\ \text{m},$$

такъ что

$$f_k = \frac{483 \cdot 2}{25} = \sim 38{,}6\ \text{cm}^2.$$

Если принять діаметръ золотника равнымъ

$$d = 11\ \text{cm} = \mathbf{110\ mm},$$

то высота паровпускныхъ оконъ золотника, не стѣсняемыхъ перегородками, будетъ

$$a = \frac{38{,}6}{11 \cdot \pi} = \sim 1{,}1\ \text{cm} = \mathbf{11\ mm}.$$

За нормальную (среднюю) степень наполненія можно принять экономически наивыгоднѣйшую, которая приблизительно (см. стр. 81) [1]) будетъ

$$\frac{1{,}5}{p} = \frac{1{,}5}{6} = 0{,}25.$$

Предвареніе впуска пара цѣлесообразно будетъ для этой отсѣчки принять равнымъ $1^1/_2\,\%$. На фиг. 84b текста радіусъ окружности, описываемой пальцемъ кривошипа, принятъ равнымъ 50 mm и найдены положенія кривошипа OE'_x и OV'_e, соотвѣтствующія вышеприведеннымъ двумъ періодамъ. Бисектрисса угла $E'_x\,O\,V'_e$ съ вертикалью Y—Y доставляетъ соотвѣтствующій принятому наполненію уголъ предваренія

$$\delta' = \mathbf{67^0}.$$

Эксцентриситетъ r′ выбранъ такъ, чтобы золотникъ при мертвыхъ своихъ положеніяхъ открывалъ паровпускные окна на 10,3 mm, т. е. почти совсѣмъ. Подставляя это значеніе a = 10,3 въ уравненіе 150a, имѣемъ

$$r' = \frac{\frac{1}{2}\,10{,}3}{1 - \cos 37^0} = \sim \mathbf{25{,}65\ mm}$$

такъ какъ изъ чертежа уголъ $V'_e\,O\,D_1 = \varphi = 37^0$.

Впрочемъ, это значеніе r′ могло бы быть опредѣлено и попытками. Золотниковая окружность $O\,D_1$, описанная на діаграммѣ радіусомъ 25,65 mm, отсѣкаетъ на положеніи кривошипа OE'_x величину внѣшней перекрыши

$$e = 25{,}65 - \frac{1}{2}\,10{,}3 = \mathbf{20{,}5\ mm}.$$

Предвареніе впуска для даннаго наполненія будетъ далѣе

$$v'_e = \sim \mathbf{6\ mm}.$$

Принимая во вниманіе конечную длину шатуна, которая равна пятикратному радіусу кривошипа, наполненіе съ верхней стороны поршня будетъ, какъ это видно изъ фиг. 84b, не 25%, а 29%, наполненіе съ нижней стороны—21%.

Теперь надо провести линію перемѣщенія центра эксцентрика черезъ центръ II_2 окружности $O\,D_1$. Для примѣняемаго въ данномъ случаѣ регулятора Прёлля эта линія, согласно фиг. 80, будетъ дугой круга, центръ котораго I совпадаетъ съ центромъ заклиненнаго на валу эксцентрика E_1, и радіусъ котораго равенъ эксцентриситету подвижного эксцентрика E_2. На фиг. 84b радіусъ кривой перемѣщенія центра эксцентрика равенъ 23,5 mm, а центръ ея I лежитъ по вертикали на 18 mm выше центра вала O. Соотвѣтственно этому эксцентриситетъ и уголъ предваренія неподвижнаго эксцентрика E_1 (фиг. 84c) будутъ

$$r_0 = \mathbf{12\ mm},\ \delta = \mathbf{90^0},$$

для подвижного же эксцентрика E_2

$$r_1 = \mathbf{23{,}5\ mm}.$$

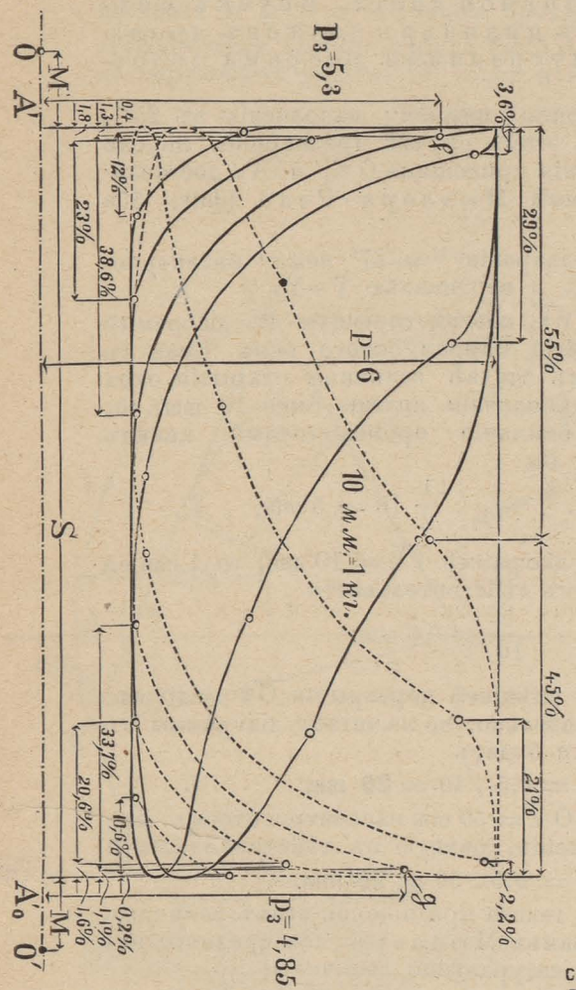
Наибольшее наполненіе съ верхней стороны поршня предлагается здѣсь въ 55%, наименьшее—3,6%, это послѣднее, при устраненіи протока пара, можно считать достаточнымъ для хода машины порожнемъ. Соотвѣтствующія этимъ двумъ наполненіямъ положенія кривошипа будутъ $O\,E_x$ и $O\,E''_x$. Если отыскать точки пересѣченія m_1 и m_2 послѣднихъ съ окружностью внѣшнихъ перекрышъ e, то легко найдемъ центръ II_1 золотниковой окружности O D при наибольшемъ наполненіи, такъ какъ эта окружность должна проходить черезъ точки O и m и центръ ея долженъ лежать на линіи перемѣщенія центровъ эксцентрика; точно также золотниковая окружность $O\,D_2$, соотвѣтствующая наименьшему наполненію, имѣетъ центръ II_3 также на упомяну-

[1]) Указанная тамъ для машинъ безъ паровой рубашки прибавка въ 3% здѣсь не введена, такъ какъ машина должна быть приспособлена и для работы при болѣе высокомъ давленіи пара при впускѣ.

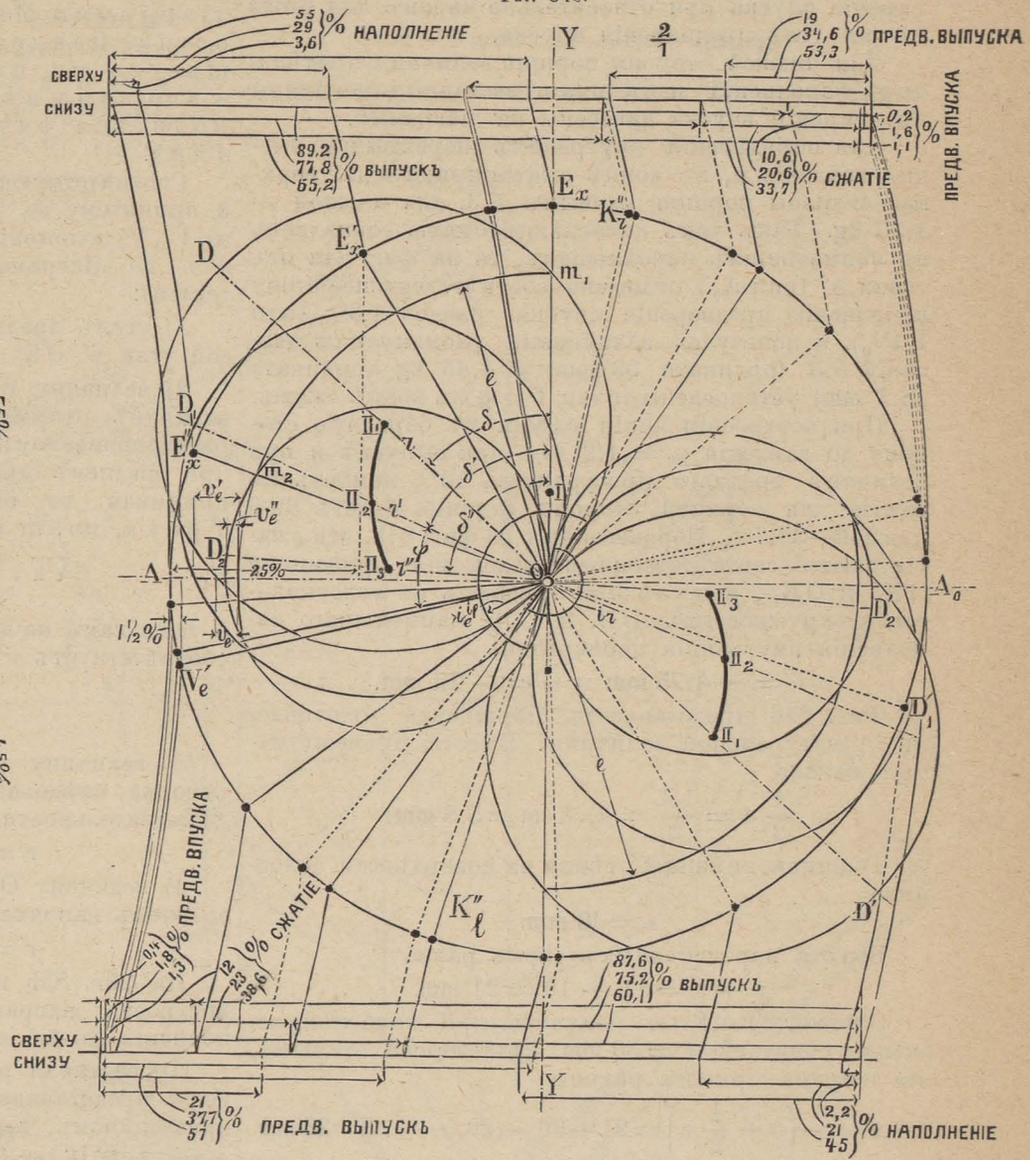
той линіи и должна проходить черезъ точки O и m_2. Имѣя эти двѣ окружности можно теперь опредѣлить для обоихъ предѣльныхъ наполненій линейное предвареніе впуска. Для верхней стороны поршня оно будетъ

шемъ—1,3% [1]) и линейное предвареніе указанныхъ трехъ наполненій колеблется между 6 и 1,5 mm. Разница въ величинахъ линейнаго опереженія была бы еще менѣе, если бы прямая, соединяющая точки II_1 и II_3, была перпендикулярна къ направленію кри-

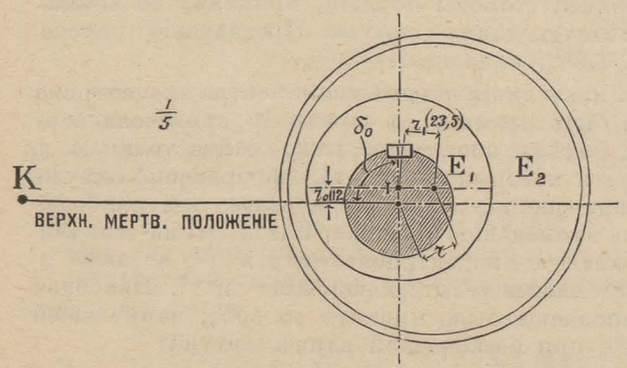
Фиг. 84a.



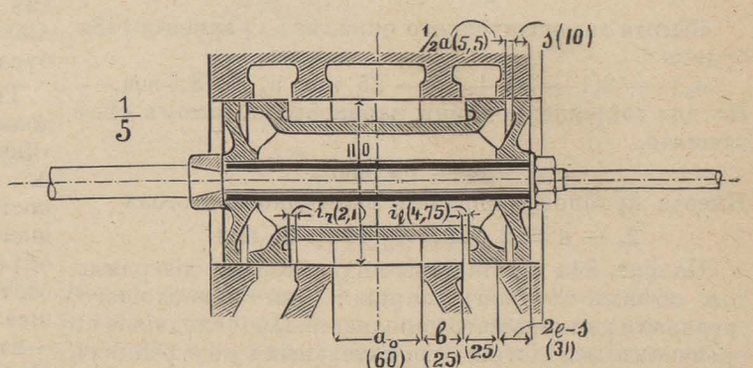
Фиг. 84b.



Фиг. 84c.



Фиг. 84d.



$$v_e = 3 \text{ mm} \text{ и } v''_e = 1{,}5 \text{ mm},$$

такъ что періодъ предваренія впуска при наибольшемъ наполненіи достигаетъ 0,4%, при наимень-

[1]) При среднемъ наполненіи предваренія впуска, вслѣдствіе конечной длины шатуна, равно 1,8%.

вошипа, если бы точка I лежала на прямой, параллельной направленію кривошипа и проходящей черезъ середину кривой перемѣщенія центра эксцентрика. На діаграммѣ эта точка I расположена немного выше, для того, чтобы получить для наибольшаго наполненія достаточно большое линейное предвареніе впуска при относительно маломъ для этого случая углѣ предварепія впуска.

Для нижней стороны поршня величины предѣльныхъ наполненій и съ ними связанные величины предвареній впуска нанесены на діаграммѣ.

Для опредѣленія внутреннихъ перекрышъ высшее давленіе p_3 въ концѣ сжатія принято для верхней стороны поршня равнымъ 5,3, для нижней — 4,85 kg. Такъ какъ наибольшее сжатіе совпадаетъ съ наименьшимъ наполненіемъ, то на фиг. 84a отъ точки A′ (или A_0') отложено соотвѣтствующее этому наполненію предвареніе впуска, равное 1,3% (или 1,1%), и пользуясь величинами упомянутыхъ давленій 5,3 (ордината 53 mm) и 4,85 kg (ордината 48,5 mm) установлены точки **f** и **g** въ концѣ сжатія.

При построеніи линіи сжатія въ обратную сторону до давленія $p_e = 1{,}2$ атм. при выпускѣ и при величинѣ вреднаго пространства 10% наибольшее сжатіе для верхней стороны поршня будетъ 38,6 нижней—33,7%. Перенесенныя на фиг. 84b, эти сжатія даютъ соотвѣтственныя положенія кривошипа OK_l'' и OK_r'', а послѣднія отсѣкаютъ на золотниковыхъ окружностяхъ OD_2 и OD_2' наименьшаго наполненія внутреннія перекрыши

$$i_l = -\mathbf{4{,}75\ mm} \text{ и } i_r = -\mathbf{2{,}1\ mm}.$$

Фиг. 84d представляетъ поршневой золотникъ въ $^1/_5$ натуральной величины. Высота промежуточнаго канала

$$\frac{1}{2}\,a = \frac{1{,}1}{2} = 0{,}55\ \text{cm} = \mathbf{5{,}5\ mm}.$$

Толщина внѣшней стѣнки на поверхности золотника

$$s = \mathbf{10\ mm}.$$

Высота паровпускныхъ оконъ равна

$$a + s = 11 + 10 = 21\ \text{mm}.$$

Однако, съ цѣлью получить при наибольшемъ эксцентриситетѣ $r = 30$ mm надлежащее открытіе, эта ширина принята равною

$$a + s + r - \left(e + \frac{1}{2}\,a\right) = 21 + 30 - (20{,}5 + 5{,}5) = \mathbf{25\ mm}.$$

Высота площадки золотниковаго стола между паровпускнымъ и паровыпускнымъ окнами

$$b = \frac{25}{2} + 12{,}5 = \mathbf{25\ mm}.$$

Высота паровыпускного окна, изъ уравненія 148a, будетъ

$a_0 > -2{,}1 + 30 + 11 - 25$ или $a_0 > 13{,}5$ mm.

Но для сокращенія длины каналовъ на самомъ дѣлѣ принято

$$a_0 = \mathbf{60\ mm}.$$

Высота крайней площадки золотниковаго стола

$$2_e - s = 2 \,.\, 20{,}5 - 10 = \mathbf{31\ mm}\ ^1).$$

На фиг. 84a текста даны индикаторныя діаграммы для обѣихъ сторонъ поршня для наибольшаго, средняго и наименьшаго наполненій. Происходящее по временамъ вслѣдствіе отрицательныхъ внутреннихъ перекрышъ одновременное сообщеніе обѣихъ сторонъ поршня съ паровыпускнымъ окномъ (см. стр. 123 и 128) не было принято во вниманіе при построеніи діаграммы.

2. Разсчитать поршневой золотникъ приведенной въ предыдущемъ примѣрѣ одноцилиндровой машины при помощи діаграммы Мюллера и для того случая, когда центръ эксцентрика перемѣщается по прямой линіи. Впускъ свѣжаго пара въ цилиндръ долженъ производиться внутренними ребрами золотника.

Соотвѣтствующія среднему наполненію въ 25% и принятому въ этомъ случаѣ предвареніе впуска въ $1^1/_2$% положенія кривошипа OE_x' и OV_e' доставляютъ по діаграммѣ Мюллера-Рело (фиг. 85a текста):

1) уголъ предварепія $\delta' = 37^0$ между бисектриссой угла $V_e' O E_x'$ и вертикалью Y—Y;

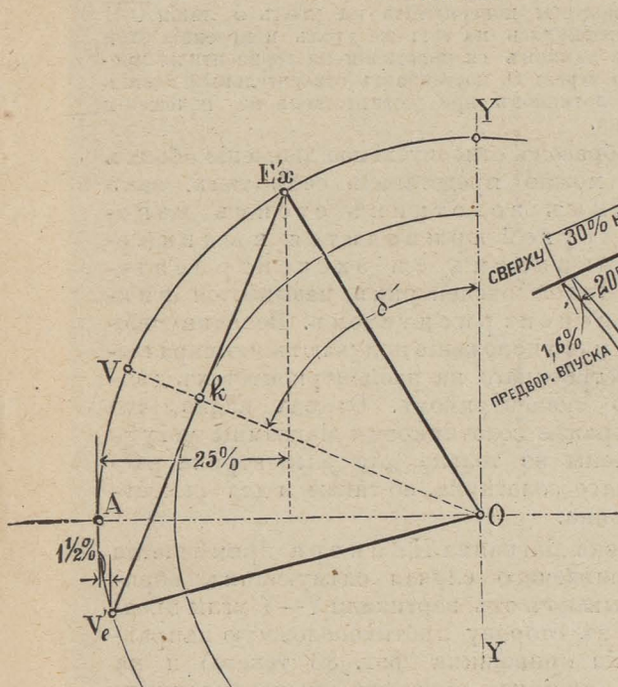
2) величину $\overline{Vk}$, соотвѣтствующую въ діаграммѣ величинѣ открытія паровпускного окна. Если въ разсматриваемомъ случаѣ величина открытія окна при среднемъ наполненіи должна быть 10 mm, то, принимая во вниманіе промежуточный каналъ Трика, имѣли бы

$$\overline{Vk} \,.\,.\,.\

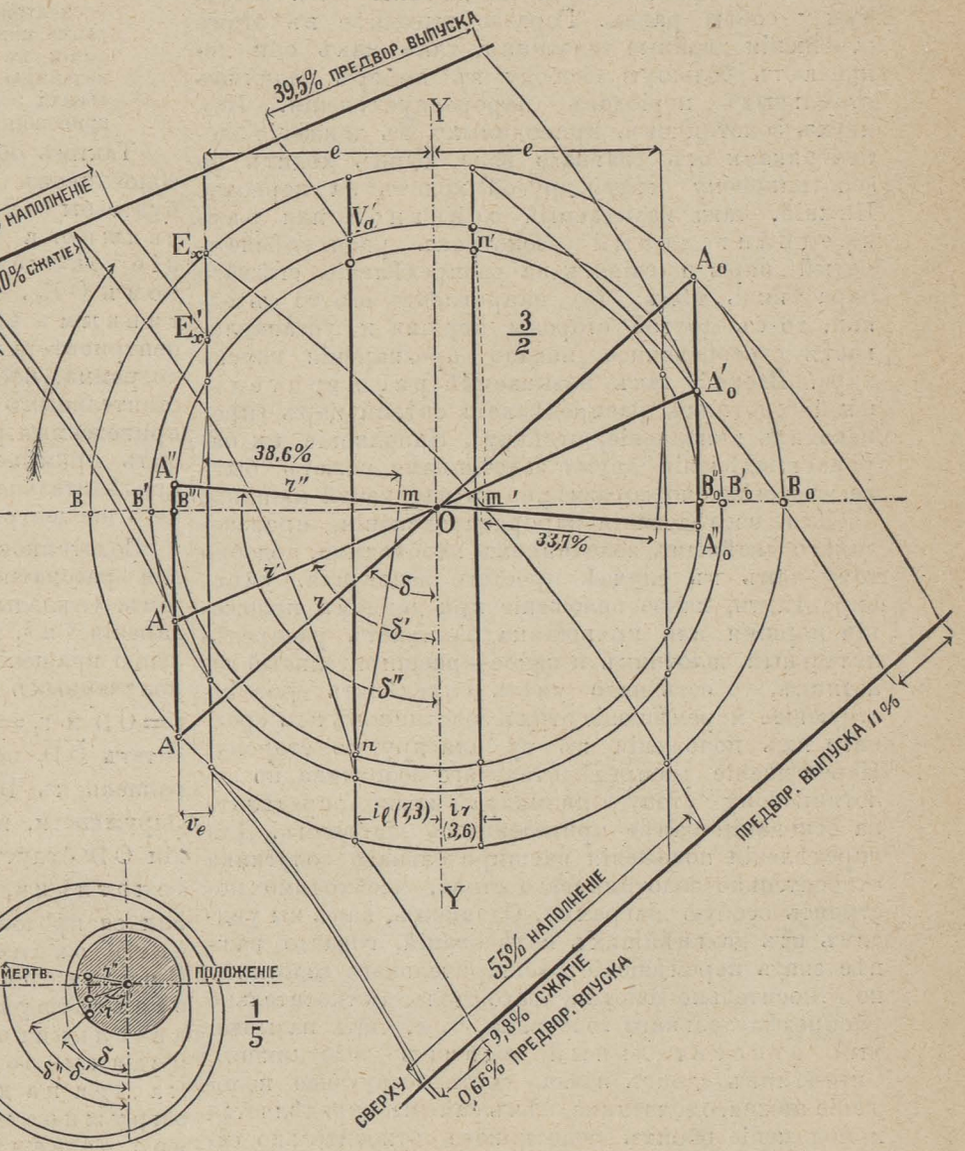
полненіе (55%) и соотвѣтствующее ему предвареніе впуска (0,66%) для верхней сторбны поршня, принимая во вниманіе конечную длину шатуна.

Для опредѣленія внутреннихъ перекрышъ, принято, какъ въ предыдущемъ примѣрѣ, соотвѣтствующее наименьшему наполненію сжатіе для верхней стороны поршня равнымъ 38,6%, для нижней — 33,7%. Отложивъ эти величины отъ предвареній впуска по линіи $\overline{A''\,A''_0}$, то получимъ точки **m** и **m'**, а изъ этихъ точекъ длиною шатуна ($= 5\,\overline{A''\,O}$) засѣкаемъ на окружности радіуса r''' точки **n** и **n'**. Проведен-

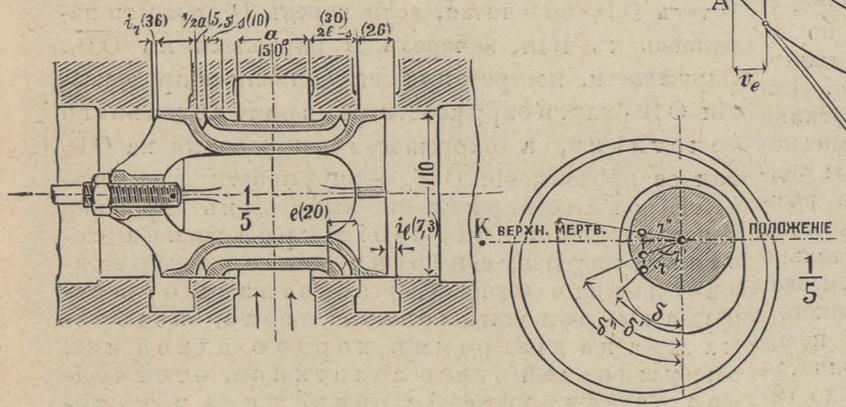
Фиг. 85a.



Фиг. 85b.



Фиг. 85c.



Фиг. 85d.

$$a + s + r - \left(e + \frac{1}{2}\,a\right) = 11 + 10 + 30 - (20 + 5{,}5) =$$

$$= \sim \mathbf{26\ mm};$$

высота площадокъ золотниковаго стола между окнами равна

$$2e - s = 2 \,.\, 20 - 10 = \mathbf{30\ mm};$$

Подставляя въ равенство 148b, $\frac{a}{2}$ вмѣсто a и $b = 2e - s$, высота средняго окна будетъ

$$a_0 > e + r + \frac{a}{2} - (2e - s),\quad a_0 > 20 + 30 + 5{,}5 - 30,$$

$$a_0 = \mathbf{50\ mm}.$$

Эксцентрикъ показанъ на фиг. 85d. Такъ какъ золотникъ распредѣляетъ свѣжій паръ своими внутренними ребрами, то эксцентриситетъ долженъ слѣдовать за кривошипомъ подъ угломъ $90 - \delta$ (δ' или δ'') (см. стр. 124).

ные черезъ эти точки вертикали будутъ удалены отъ вертикали Y—Y на

$$i_l = \mathbf{-7{,}3\ mm} \text{ и } i_r = \mathbf{-3{,}6\ mm}.$$

Фиг. 85c представляетъ поршневой золотникъ въ $^1/_5$ натуральной величины. Высота промежуточнаго канала его равна

$$\frac{1}{2}\,a = \frac{1}{2}\,1{,}1 = 0{,}55\ \text{cm} = \mathbf{5{,}5\ mm};$$

высота паровыпускныхъ оконъ при $s = \mathbf{10\ mm}$ равна какъ и въ предыдущемъ примѣрѣ

§ 36.

Діаграмма парораспредѣленія двойными золотниками.

Парораспредѣленіе однимъ золотникомъ имѣетъ тотъ недостатокъ, что величины отдѣльныхъ періодовъ его зависятъ другъ отъ друга. Такъ при одномъ золотникѣ малое наполненіе, какъ показали предыдущія діаграммы, достигается только при большомъ сжатіи или при значительномъ предваренiи выпуска и впуска, такъ какъ углы поворота кривошипа ($E_x O V_a$ и $K O V_e$) за періодъ расширенія пара и за періодъ сжатія его должны быть всегда между собою равны. Гораздо выгоднѣе въ этомъ отношеніи двойные золотники, такъ какъ они допускаютъ бо́льшую свободу въ выборѣ величинъ отдѣльныхъ періодовъ парораспредѣленія. Изъ двухъ золотниковъ, приводимыхъ въ движеніе эксцентриками отъ главнаго вала, одинъ ходитъ по золотниковому столу, другой ходитъ на первомъ. Нижній, такъ называемый основной или распредѣлительный золотникъ распредѣляетъ мятый паръ и вліяетъ на распредѣленіе свѣжаго пара лишь тѣмъ, что направляетъ его то съ одной, то съ другой стороны поршня и устанавливаетъ своевременное начало предваренія впуска пара. Второй, такъ называемый расширительный золотникъ, распредѣляетъ свѣжій паръ (производитъ наполненіе, отсѣчку). Наполненіе въ парораспредѣленіи двумя золотниками можетъ быть легко измѣняемо соразмѣрно съ нагрузкой машины.

Для изслѣдованія парораспредѣленія, производимаго двойнымъ золотникомъ необходимо, подобно тому какъ въ случаѣ простого золотника, умѣть опредѣлять, какое положеніе при данномъ положеніи поршня или кривошипа занимаетъ распредѣлительный золотникъ и какое—расширительный золотникъ, то есть надо умѣть опредѣлять соотвѣтствующее перемѣщеніе этихъ золотниковъ изъ средняго ихъ положенія въ ту или другую сторону. Перемѣщеніе распредѣлительнаго золотника по золотниковому столу цилиндра можно опредѣлять на основаніи ранѣе приведенныхъ діаграммъ. Для опредѣленія положенія расширительнаго золотника относительно золотниковаго стола, необходимо построить особую діаграмму. Однакожъ, какъ мы увидимъ изъ дальнѣйшихъ изслѣдованій, гораздо важнѣе знать перемѣщеніе расширительнаго золотника не относительно золотниковаго стола, а относительно распредѣлительнаго золотника, т. е. такъ называемый относительный сдвигъ золотниковъ. Опредѣливъ сдвигъ и зная соотвѣтствующее положеніе нижняго золотника, тѣмъ самымъ опредѣляется и положеніе обоихъ золотниковъ относительно середины золотниковаго стола.

Относительный сдвигъ золотниковъ между собою можетъ быть легко опредѣленъ, вводя понятіе о фиктивномъ эксцентреситетѣ.

Если на фиг. 1, табл. 35 $\overline{OE} = r$ будетъ эксцентриситетъ, а δ — уголъ предваренія распредѣлительнаго золотника, $\overline{OE_1} = r_1$ и δ_1 будутъ соотвѣтственныя величины для расширительнаго золотника, то увидимъ, что при лѣвомъ мертвомъ положеніи кривошипа и безконечно длинной эксцентриковой тягѣ середина распредѣлительнаго золотника, или короче, распредѣлительный золотникъ сдвинутъ на величину $\overline{OB}$, расширительный золотникъ на $\overline{OB_1}$—вправо отъ середины золотниковаго стола. Такимъ образомъ, середина расширительнаго золотника расположена на величину

$$\overline{OB_1} - \overline{OB} = \overline{BB_1}$$

правѣе середины распредѣлительнаго золотника; слѣдовательно $\overline{BB_1}$ есть относительный сдвигъ золотниковъ другъ къ другу при лѣвомъ мертвомъ положеніи кривошипа. Если построить теперь параллелограммъ OE_1E_rO на обоихъ эксцентриситетахъ OE и OE_1, то увидимъ, что проекція $\overline{OB_r}$ отрѣзка OE_r на горизонталь, проведенную черезъ O, равна относительному сдвигу $\overline{BB_1}$.

При поворотѣ кривошипа изъ лѣваго мертваго положенія на уголъ ω эксцентриситеты придутъ въ положеніе $\overline{OE'}$ и $\overline{OE'_1}$ и относительный сдвигъ обоихъ золотниковъ будетъ $\overline{CC_1}$. Если и для этихъ эксцентриситетовъ построить параллелограммъ $OE'E'_1E_rO$ то опять $\overline{OC_r}$ проекція $\overline{OE'_r}$ будетъ равна относительному сдвигу золотниковъ. Слѣдовательно въ то время какъ эксцентриситеты повернулись на уголъ ω линія $\overline{OE}$ также повернулась на тотъ-же уголъ и проекція этой линіи въ данномъ ея положеніи на горизонталь, проведенную черезъ O, доставляетъ относительный сдвигъ обоихъ золотниковъ при соотвѣтственномъ положеніи кривошипа.

Такимъ образомъ относительное движеніе обоихъ золотниковъ можно представить себѣ такъ, какъ будто бы одинъ золотникъ стоитъ неподвижно, а другой приводится въ движеніе эксцентрикомъ съ эксцентриситетомъ OE_r. Такой эксцентрикъ называется фиктивнымъ эксцентриситетомъ. Величину эксцентриситета и его положеніе получаютъ изъ параллелограмма, построеннаго на эксцентриситетахъ дѣйствительныхъ эксцентриковъ. Отсюда видно, что приведенныя ранѣе золотниковыя діаграммы могутъ быть примѣнены не только для эксцентрика распредѣлительнаго золотника, но также и для фиктивнаго эксцентрика.

Золотниковая діаграмма Цейнера примѣняется для разсматриваемаго случая слѣдующимъ образомъ. Откладываютъ отъ вертикали Y—Y углы предваренія δ и δ_1 въ сторону противоположную направленію вращенія кривошипа (фиг. 86 текста) и на полученныхъ линіяхъ наносятъ экспентриситеты $r = \overline{OD}$ и $r_1 = \overline{OD_1}$; тогда относительный эксцентриситетъ $\overline{OD_r}$ получится, если черезъ O провести параллель къ DD_1, а черезъ D параллель къ $\overline{OD_1}$. Окружности, построенныя на $\overline{OD}$ или ея продолженіи $\overline{OD'}$ будутъ окружности распредѣлительнаго золотника, а окружности построенныя на $\overline{OD_r}$ или ея продолженіи $\overline{OD'_r}$ — окружности фиктивнаго эксцентрика и мы имѣемъ правило: При любомъ положеніи кривошипа соотвѣтствующее перемѣщеніе распредѣлительнаго (основного) золотника отъ середины золотниковаго стола, изображается на діаграммѣ хордою одной изъ окружностей этого золотника, отсѣченной на направленіи кривошипа и въ тоже время хорда, отсѣченная одною изъ окружностей фиктивнаго эксцентрика на томъ же направленіи кривошипа есть величина относительнаго перемѣщенія золотниковъ, т. е. сдвигъ расширительнаго золотника относительно распредѣлительнаго. Если опять принять расположеніе машины, указанное на фиг. 1, табл. 31 и разсматривать передній ходъ то верхняя золотниковая окружность распредѣлительнаго золотника отсѣкаетъ на направленіи кривошипа величины перемѣщенія этого золотника, вправо, а нижняя — влѣво отъ середины золотниковаго стола, тогда какъ, наоборотъ, верхняя золотниковая окружность относительнаго движенія золотниковъ отсѣ-

Инжекціонныя холодильники.

D_0 и S = діаметръ и ходъ поршня воздушн. насоса.
d_0 = внутр. діам. паров. трубы у паров. цилиндра +)
d_1 " " " " трубы, подводящей воду
d_2 " " " " ,сообщающей холодильн. и возд. нас. ++)
d_2' " " " " ,отводящ. воду изъ холодильн.
d_3 " " " " предохранит. трубы. выходъ воды

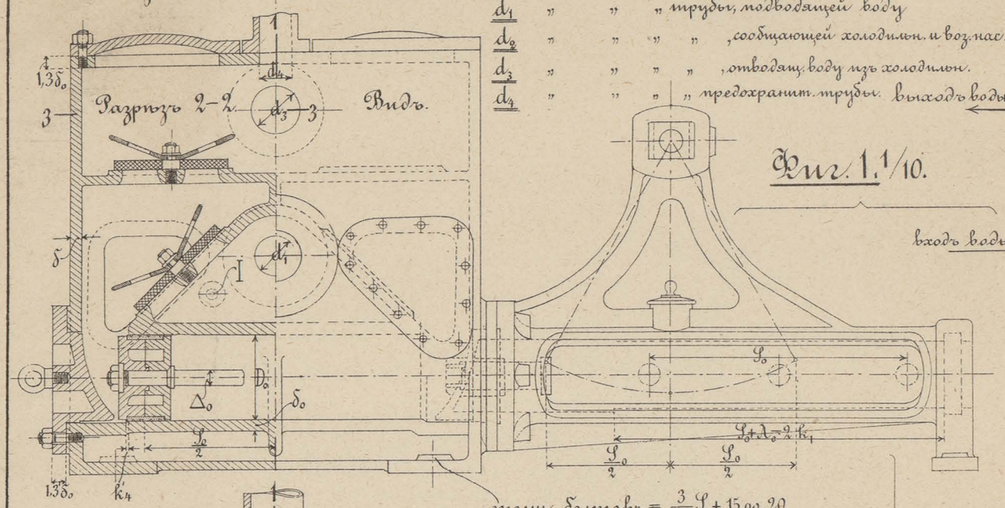
Толщина стѣнъ
горизонт. $\delta_0 = \frac{D_0}{50} + 16$ вертикал. $\delta_0 = \frac{D}{60} + 13$.
возд. насос. $\delta' = 0{,}7\,\delta_0$ до $0{,}8\,\delta_0$ возд. насос. $\delta' = 0{,}8\,\delta_0$ до $0{,}9\,\delta_0$

$k_1 = 10$ до 15.
$k_4 = 1$ до 3.
$k_4' = 10$ до 15.

$\Delta_0 = \frac{D_0}{6}$ до $\frac{D_0}{7}$ для гориз. возд. нас. } = Діам.
$\Delta_0 = \frac{D_0}{7}$ до $\frac{D_0}{10}$ " верт. " " } штока поршня нас.
λ_0 = длина ползушекъ крейцкопфа возд. нас.

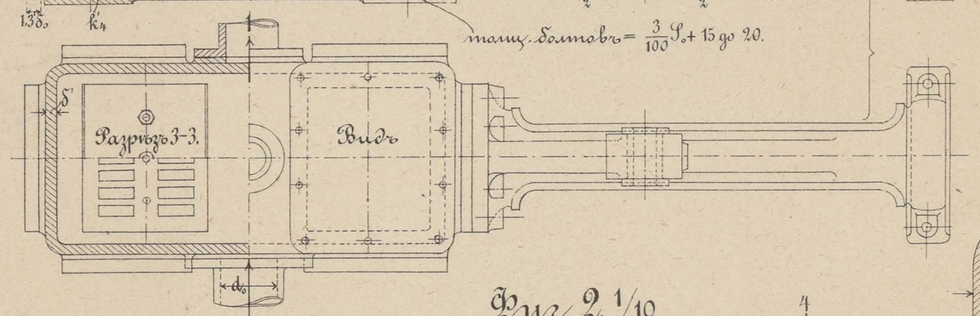
Фиг. 1. 1/10.

Разрѣзъ 2-2. Видъ.

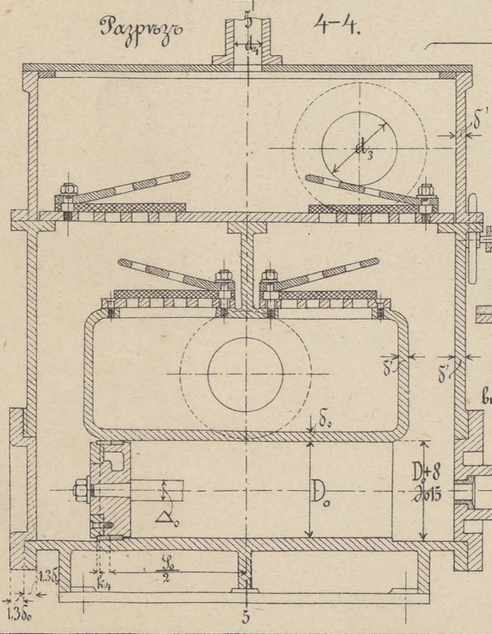


Фиг. 2. 1/10.

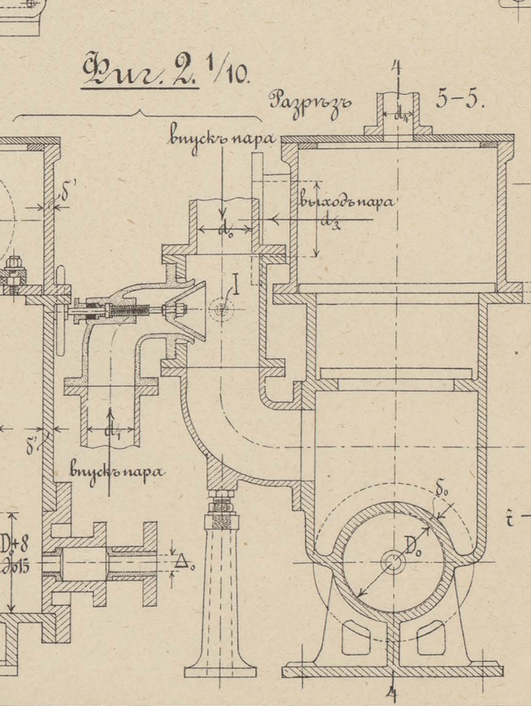
Разрѣзъ 3-3. Видъ



Разрѣзъ 4-4.

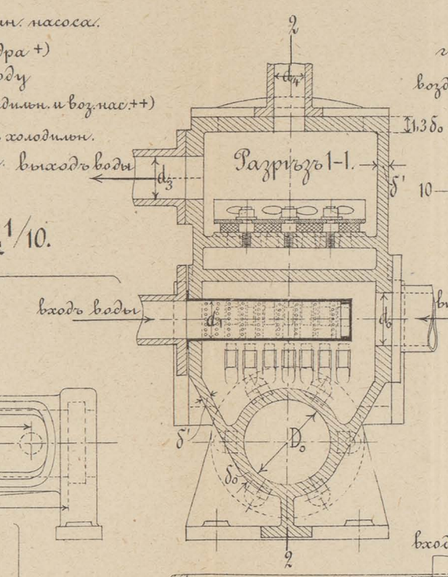


Разрѣзъ 5-5.

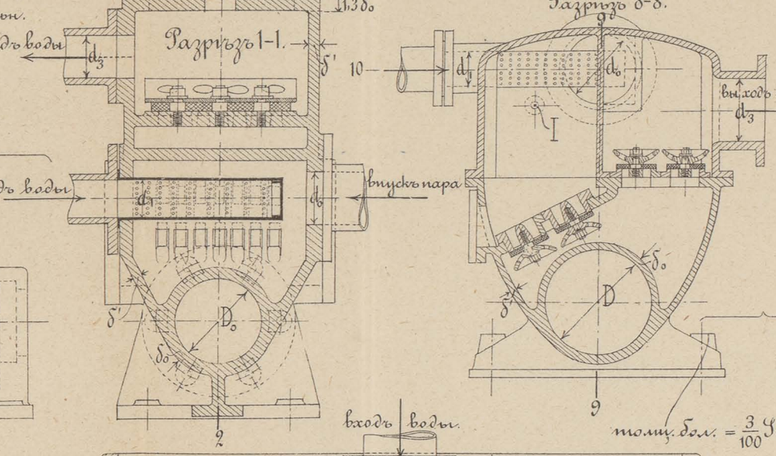


Фиг. 3. 1/10.

Разрѣзъ 1-1.

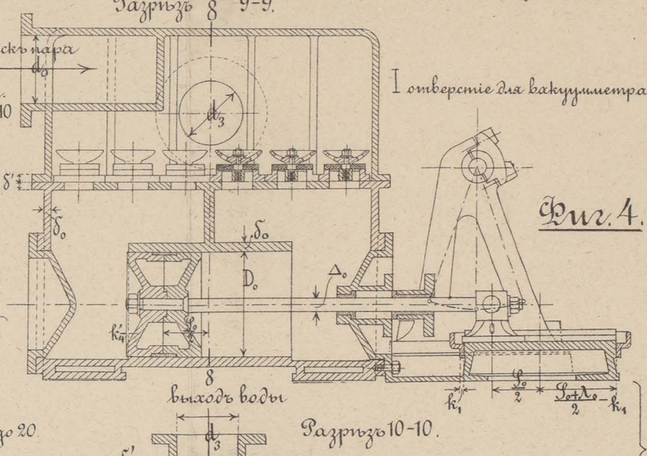


Разрѣзъ 8-8.



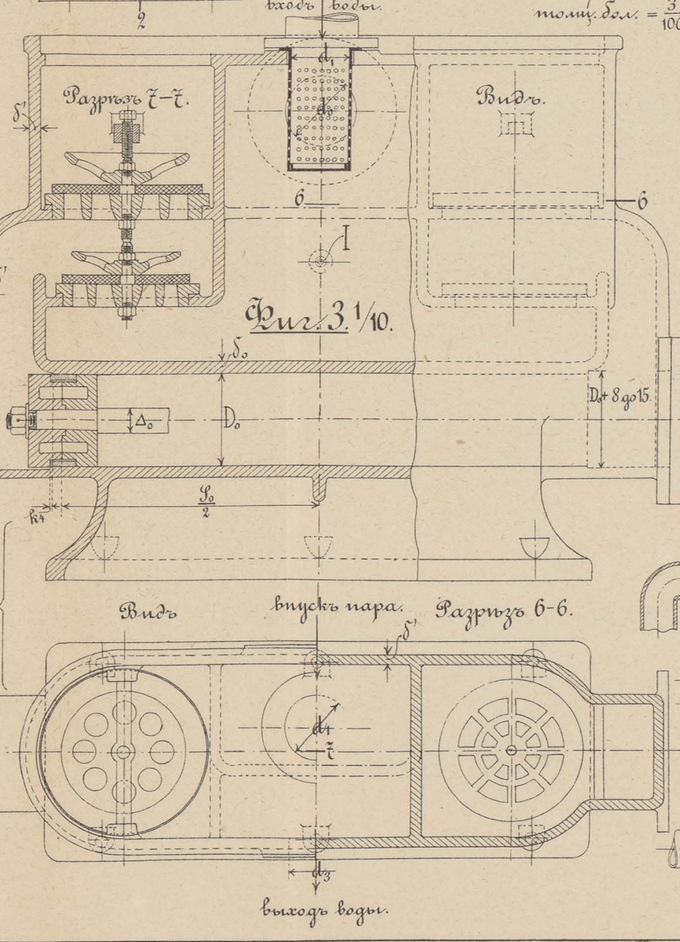
толщ. бол. $= \frac{3}{100} S + 15$ до 20.

Разрѣзъ 9-9.



Фиг. 4. 1/15.

Разрѣзъ 7-7.

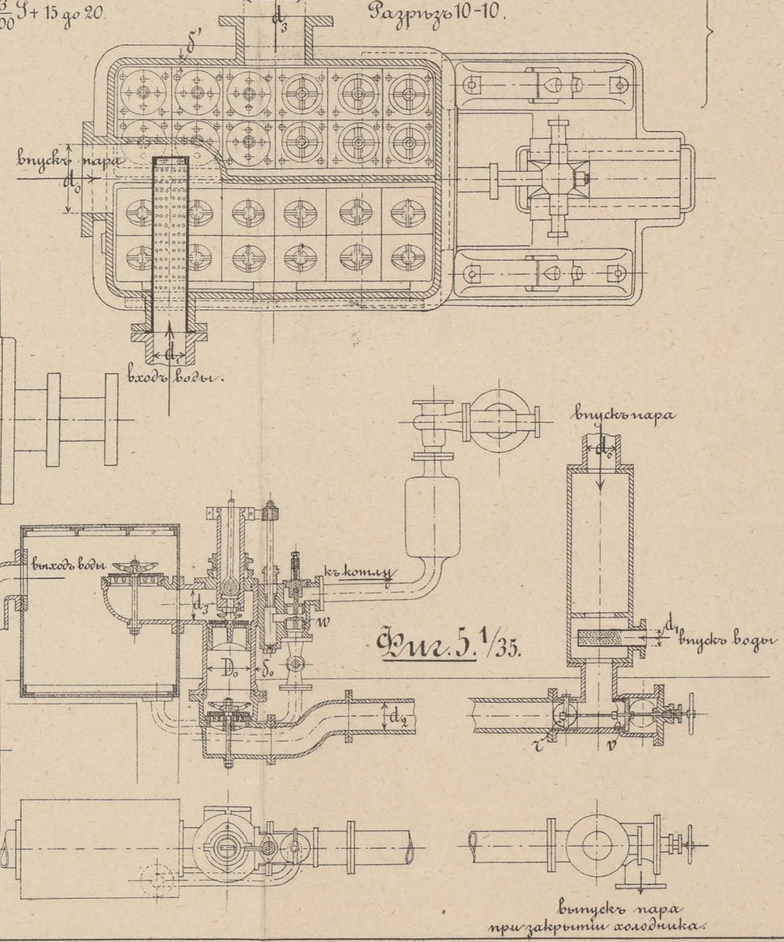


Видъ

Разрѣзъ 6-6.

Фиг. 5. 1/35.

Разрѣзъ 10-10.

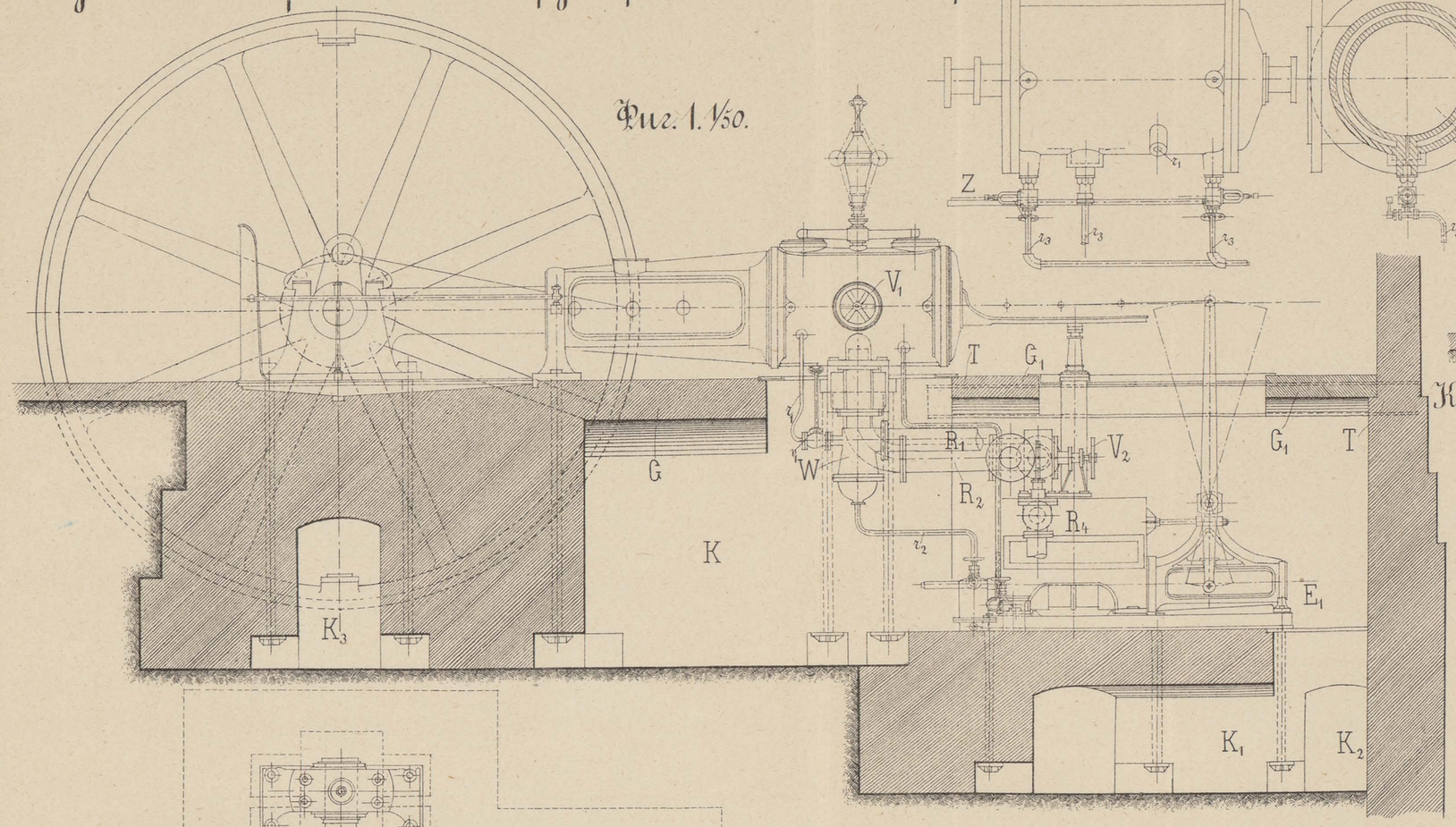


+) При машин. многократн. расшир. у цилиндр. низкаго давленія ++) Когда вода и паръ и воздухъ отводятся отдѣльно, то d_2 для воды, d_2' для пара и воздуха.

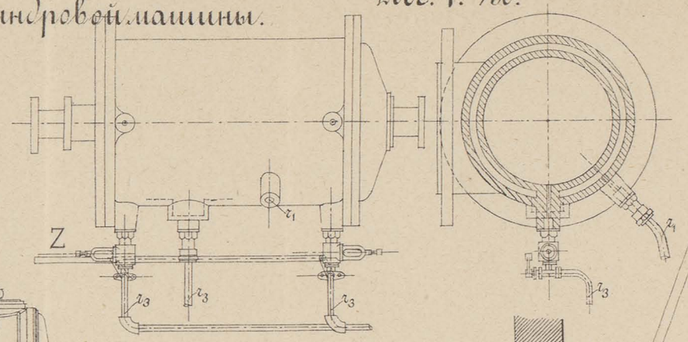
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Фундаменты и расположение труб горизонтальной одноцилиндровой машины.

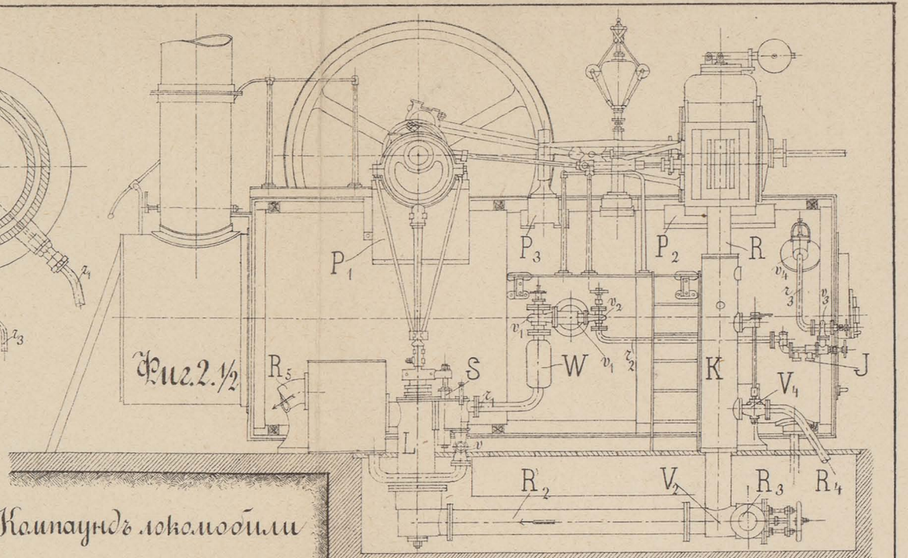
Фиг. 1. 1/50.



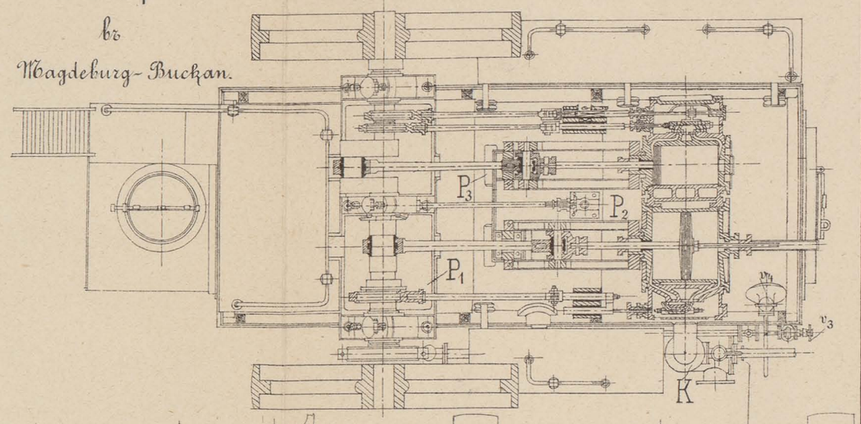
Фиг. 1.a 1/50.

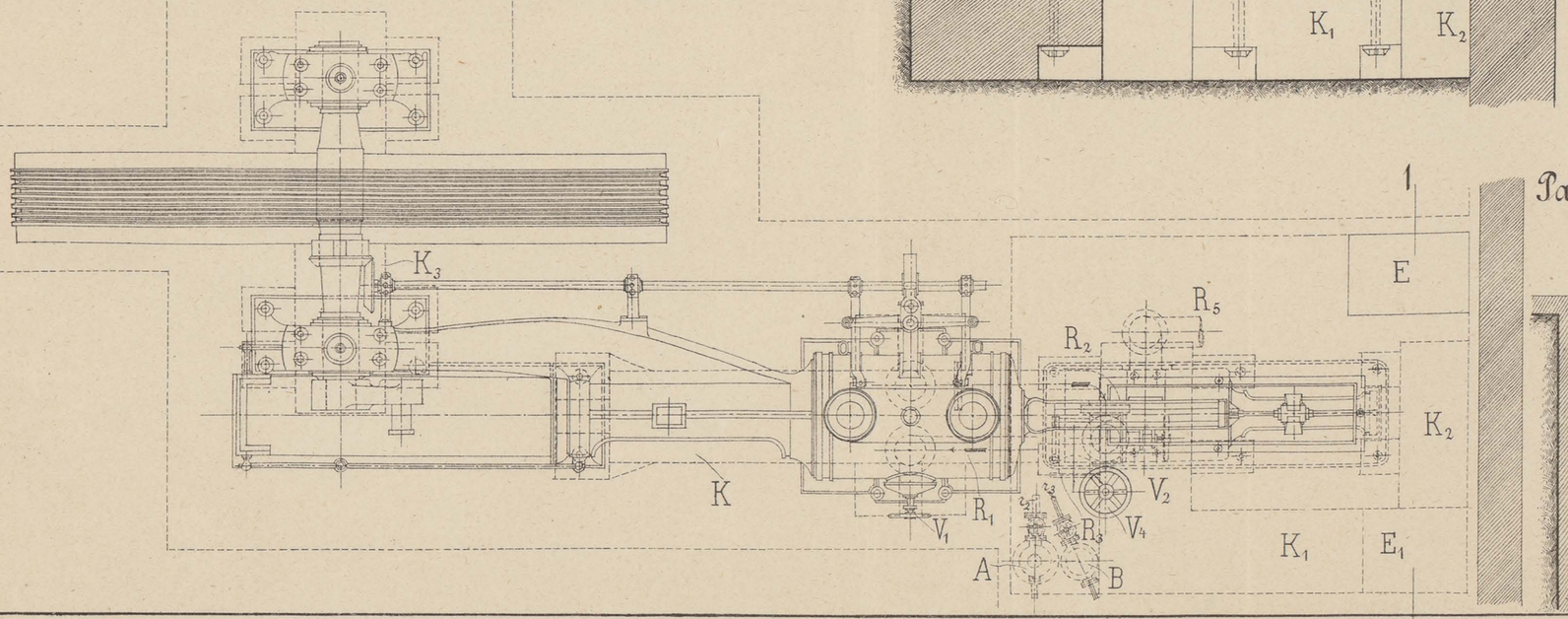


Фиг. 2. 1/2

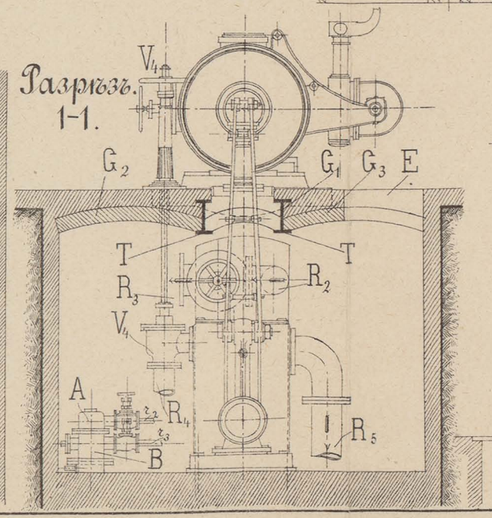


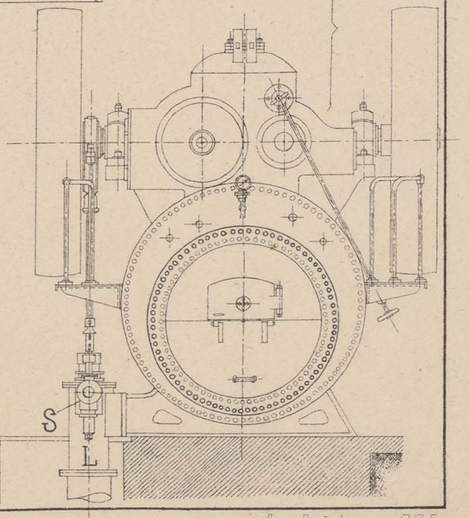
Компаунд локомобили
Р. Вальфа.
въ
Магдебург-Букау.





Разрезъ 1-1.

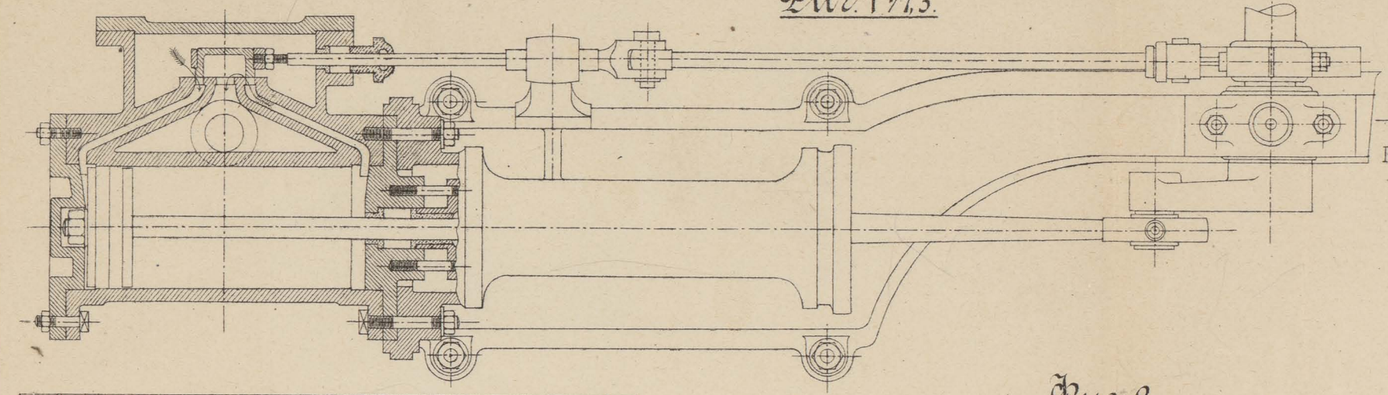




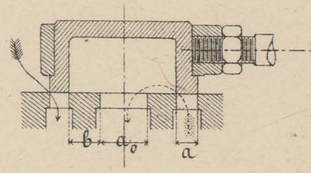
Лит. Лейферта СПБ.

Діаграмма коробчатаго золотника.

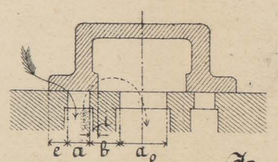
Фиг. 1 1/7,5.



Фиг. 2.

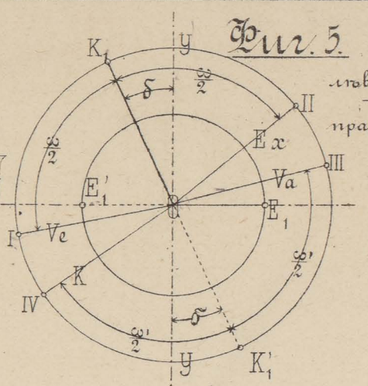


Фиг. 3.

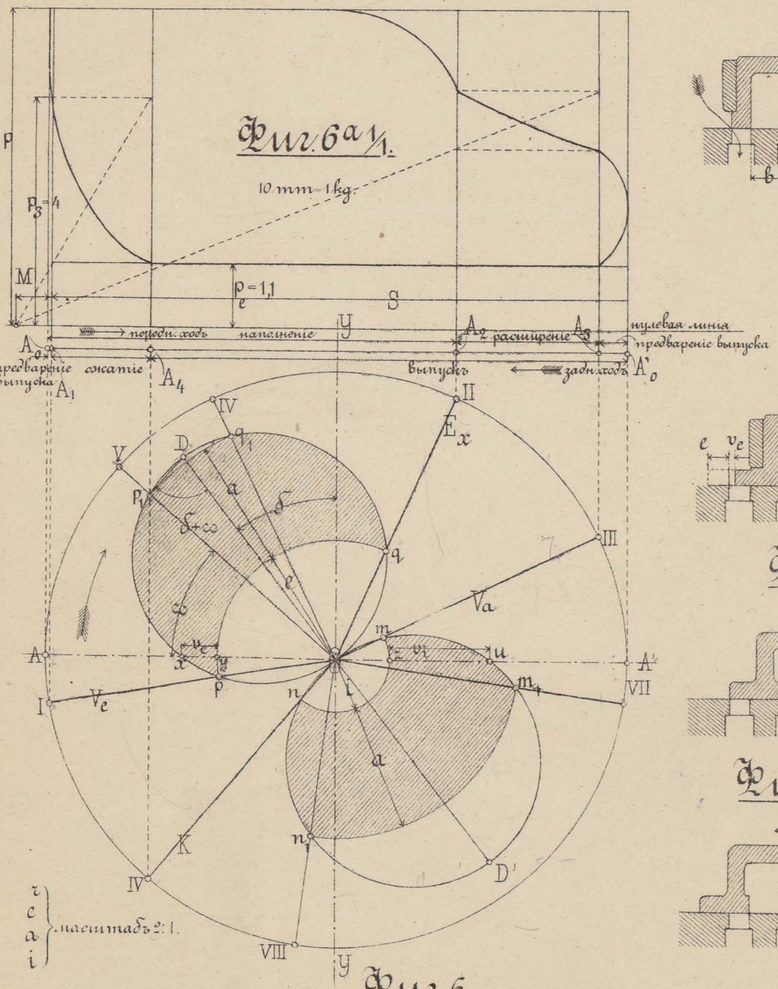


Фиг. 4.

Фиг. 5.

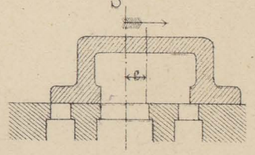


Фиг. 6 a 1/1.

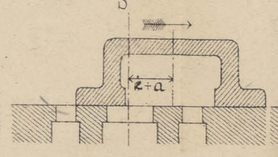


Фиг. 6

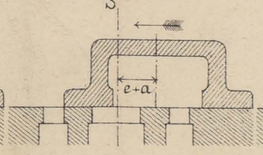
Фиг. 7.



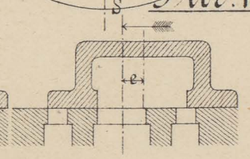
Фиг. 8.



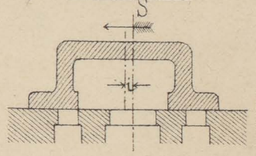
Фиг. 9.



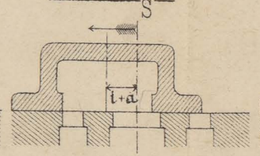
Фиг. 10.



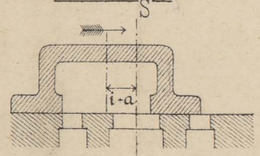
Фиг. 11.



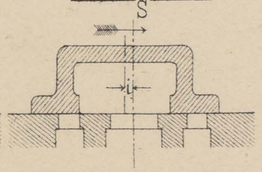
Фиг. 12.



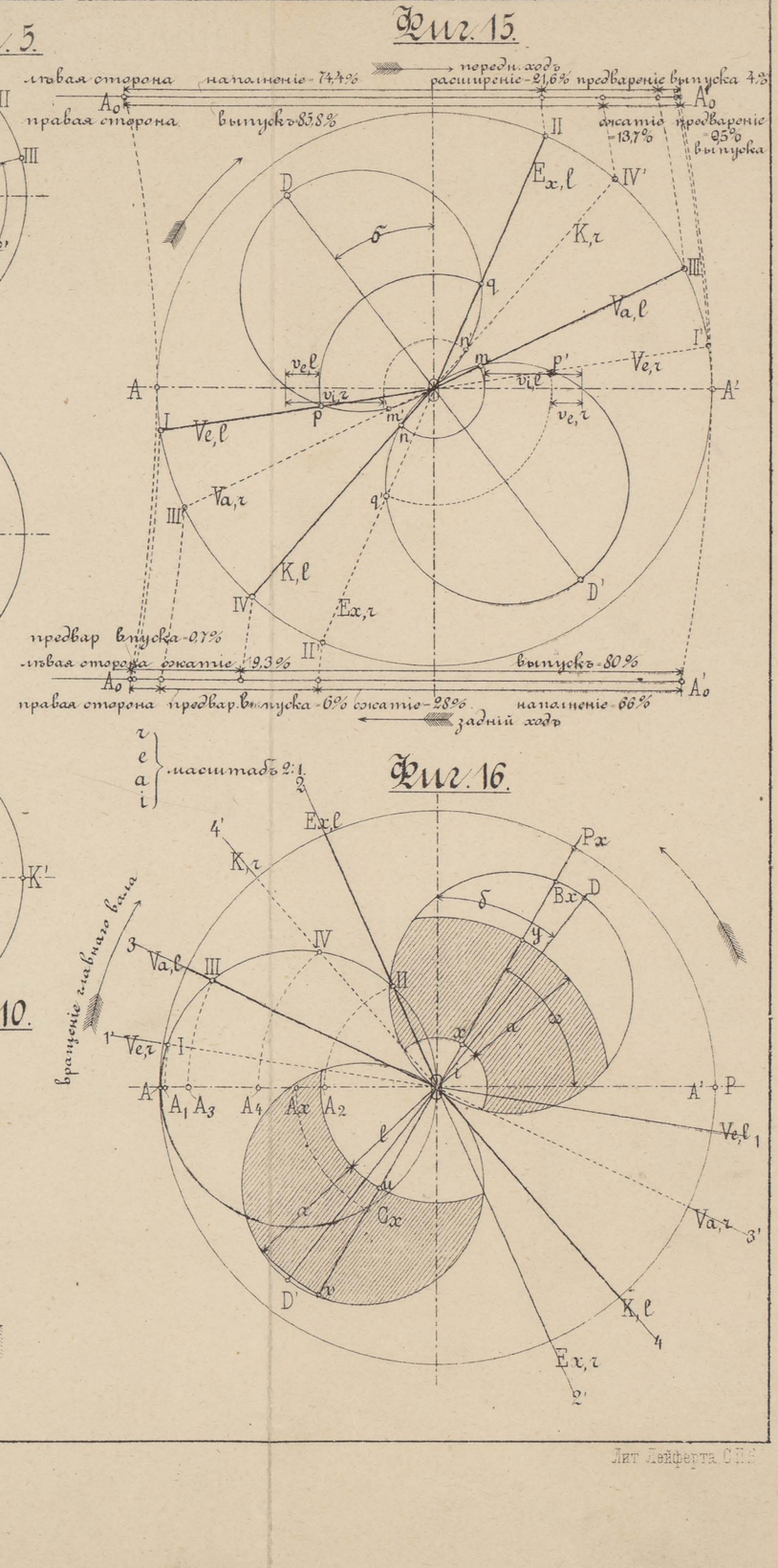
Фиг. 13.



Фиг. 14.



Фиг. 15.

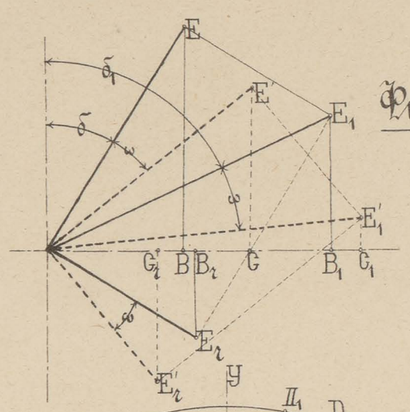


Фиг. 16.

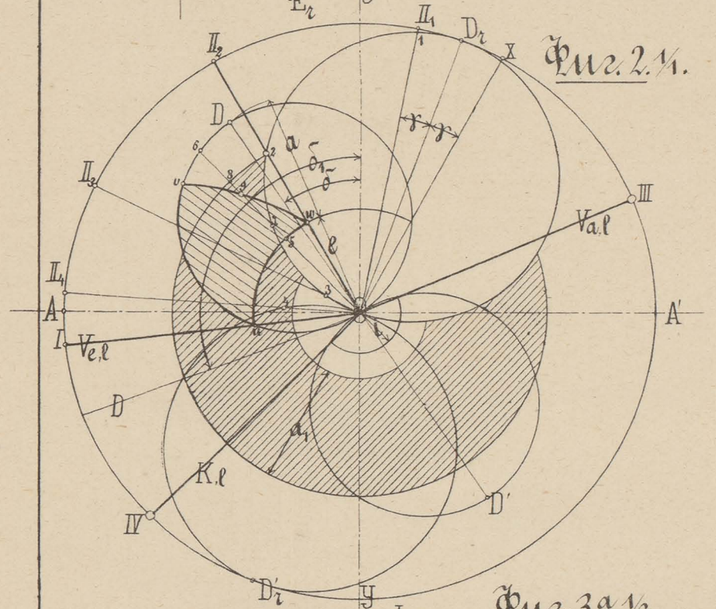
Лит Лейферта СПБ

Діаграммы парораспредѣленія Мейера.

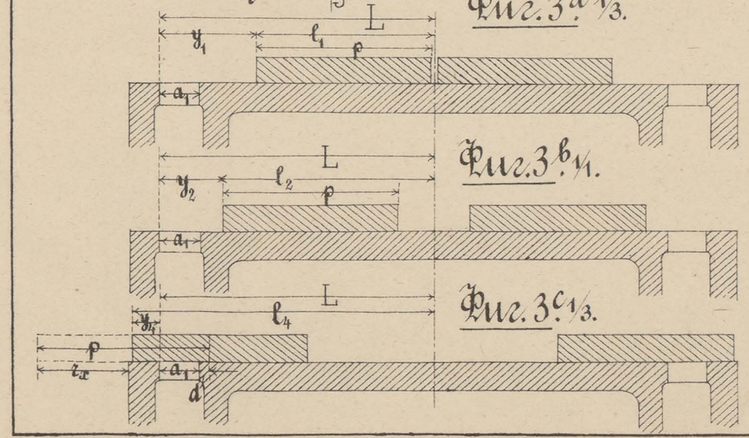
Фиг. 1.



Фиг. 2. 1/1.



Фиг. 3a 1/3.

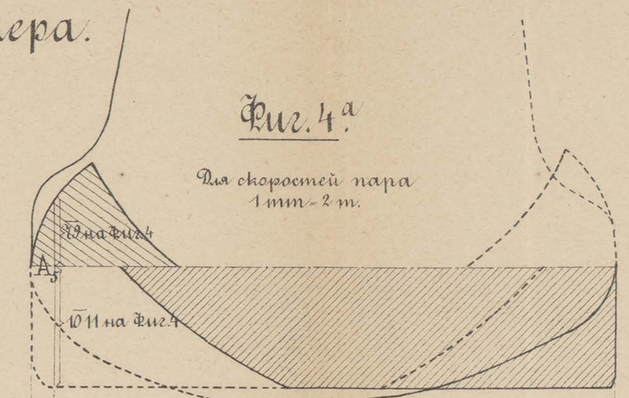


Фиг. 3b 1/1.

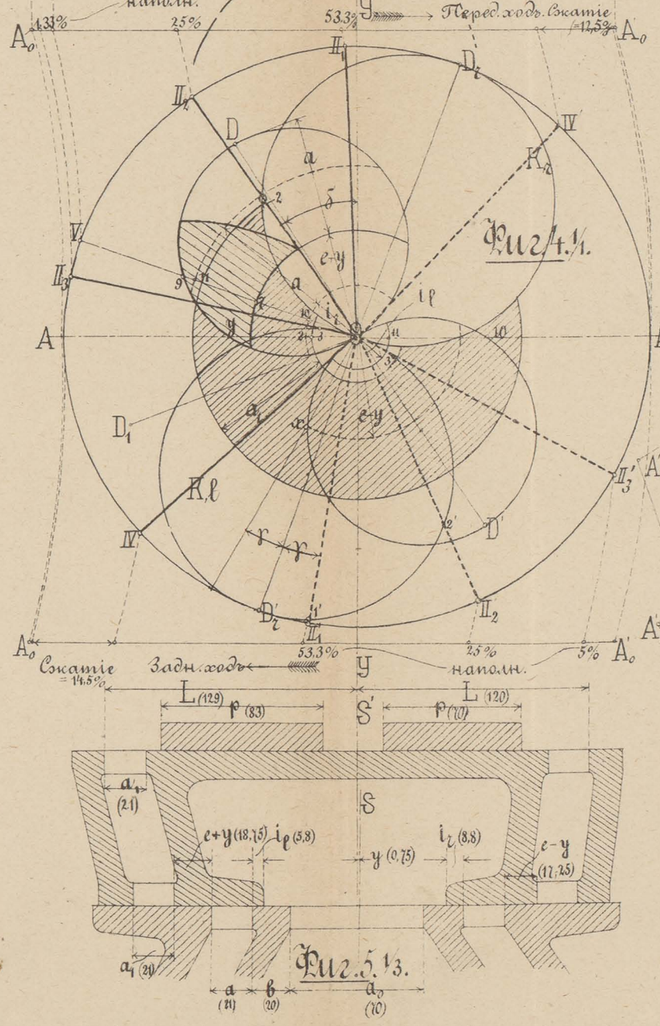
Фиг. 3c 1/3.

Фиг. 4a.

Для скоростей пара 1 mm = 2 m.

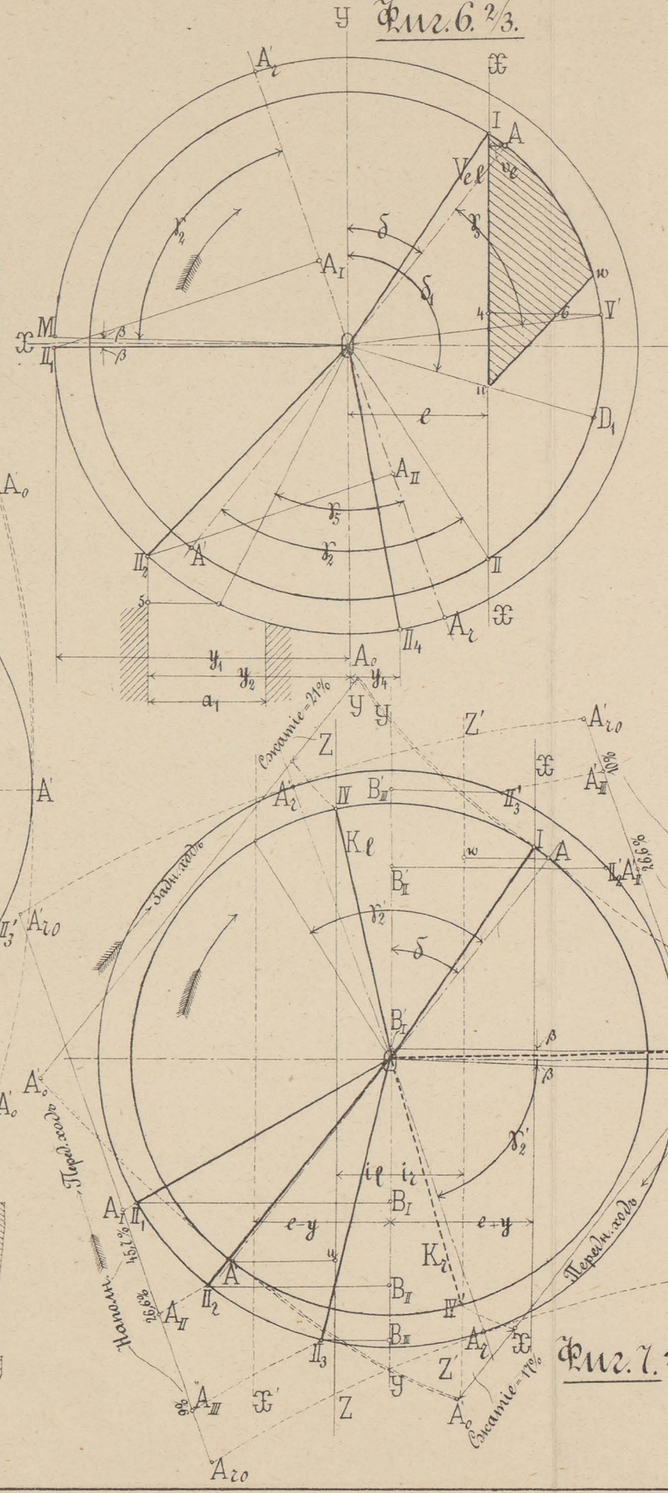


Фиг. 4. 1/1.



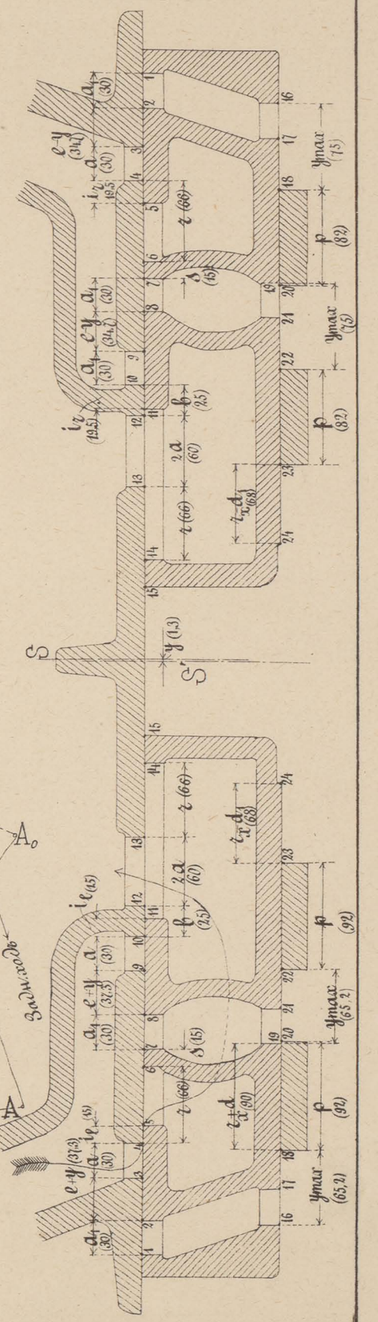
Фиг. 5. 1/3.

Фиг. 6. 2/3.



Фиг. 7. 2/3.

Фиг. 8. 1/5.



Лит. Лемерлова С.П.Б.

Пароораспредѣлительные Мейера.

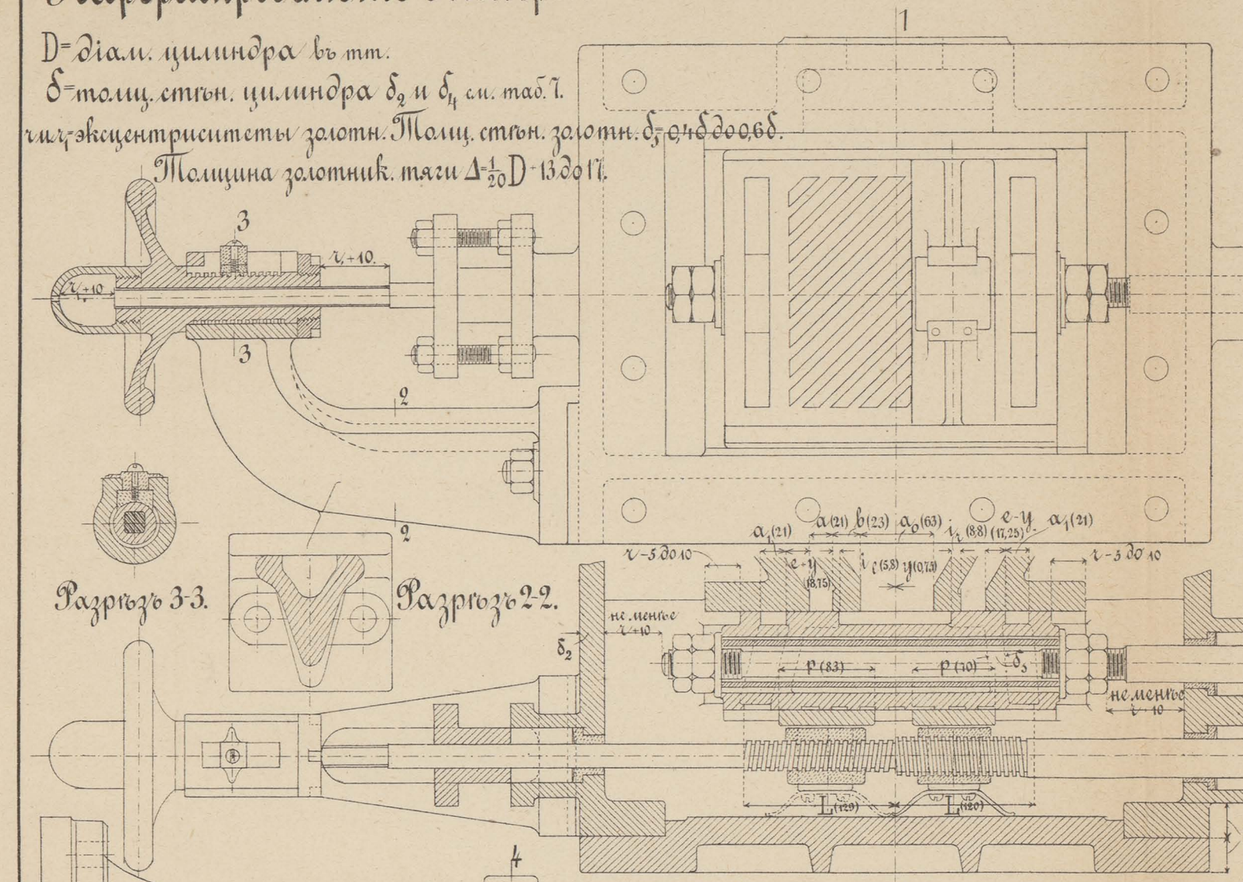
D=діам. цилиндра въ mm.

δ=толщ. стѣнъ цилиндра δ_2 и δ_4 см. таб. 7.

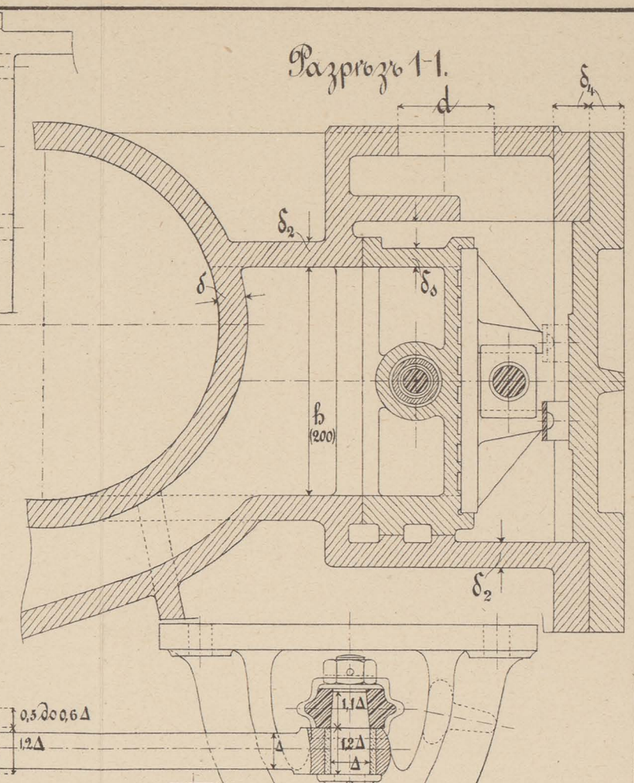
r и r₁=эксцентриситеты золотн. Толщ. стѣнъ золотн. δ_3=0,4δ до 0,6δ.

Толщина золотник. тяги $\Delta=\frac{1}{20}D$+13 до 17.

Фиг. 1. 1/5.

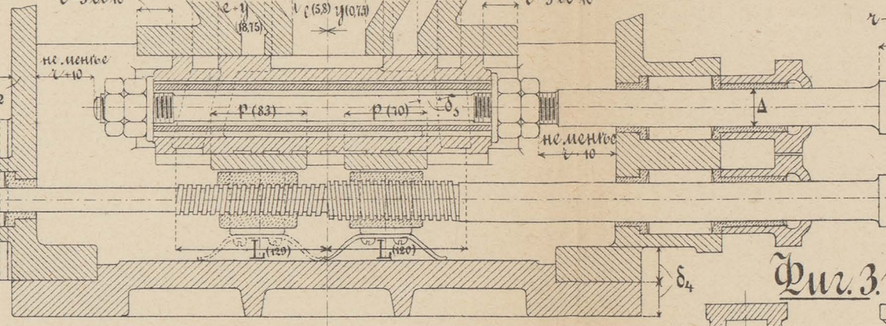


Разрѣзъ 1-1.

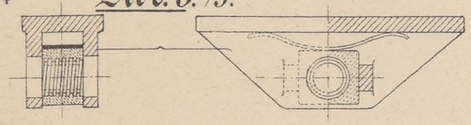


Разрѣзъ 3-3.

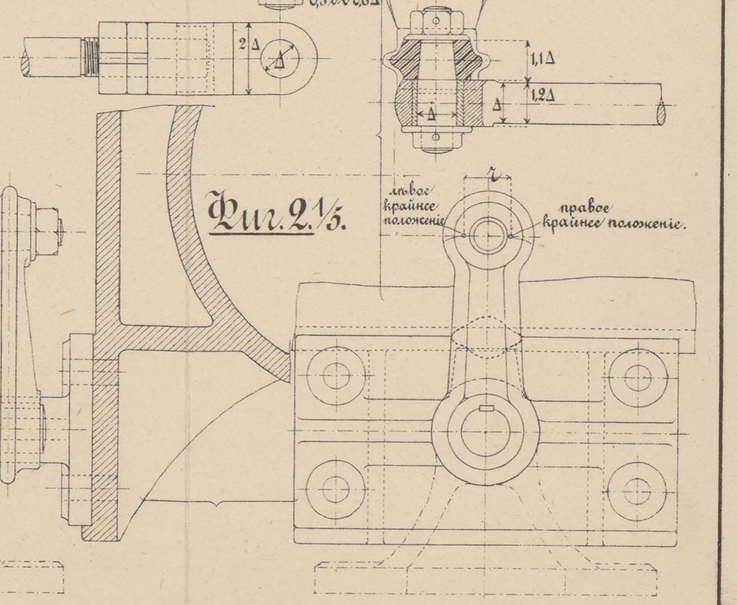
Разрѣзъ 2-2.



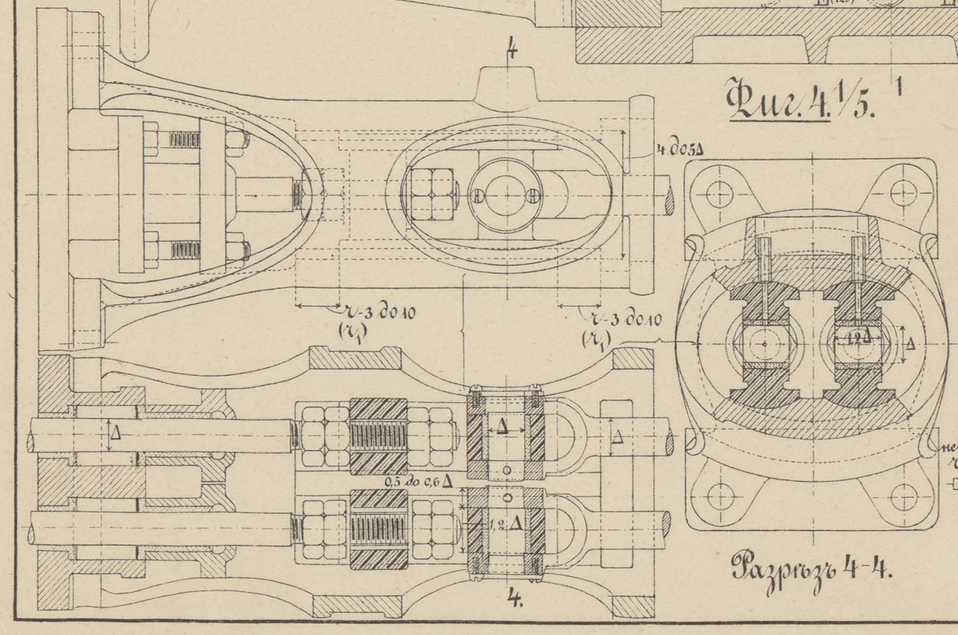
Фиг. 3. 1/5.



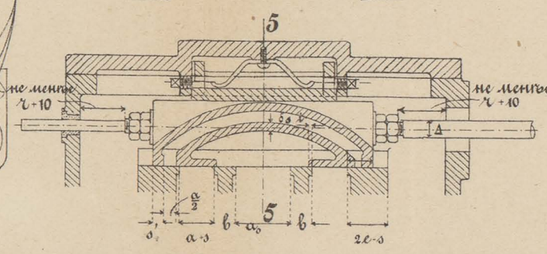
Фиг. 2. 1/5.



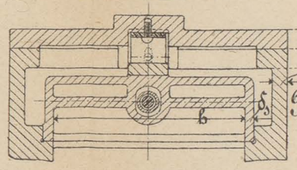
Фиг. 4. 1/5.



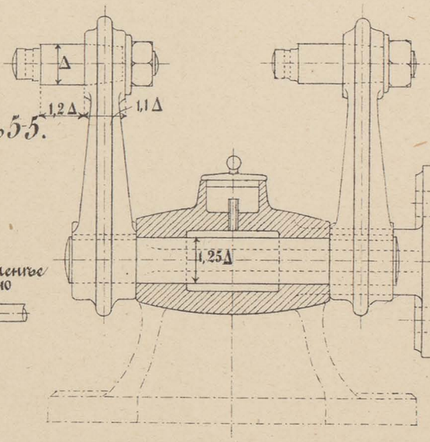
Разрѣзъ 4-4.



Фиг. 5. 1/1,5.

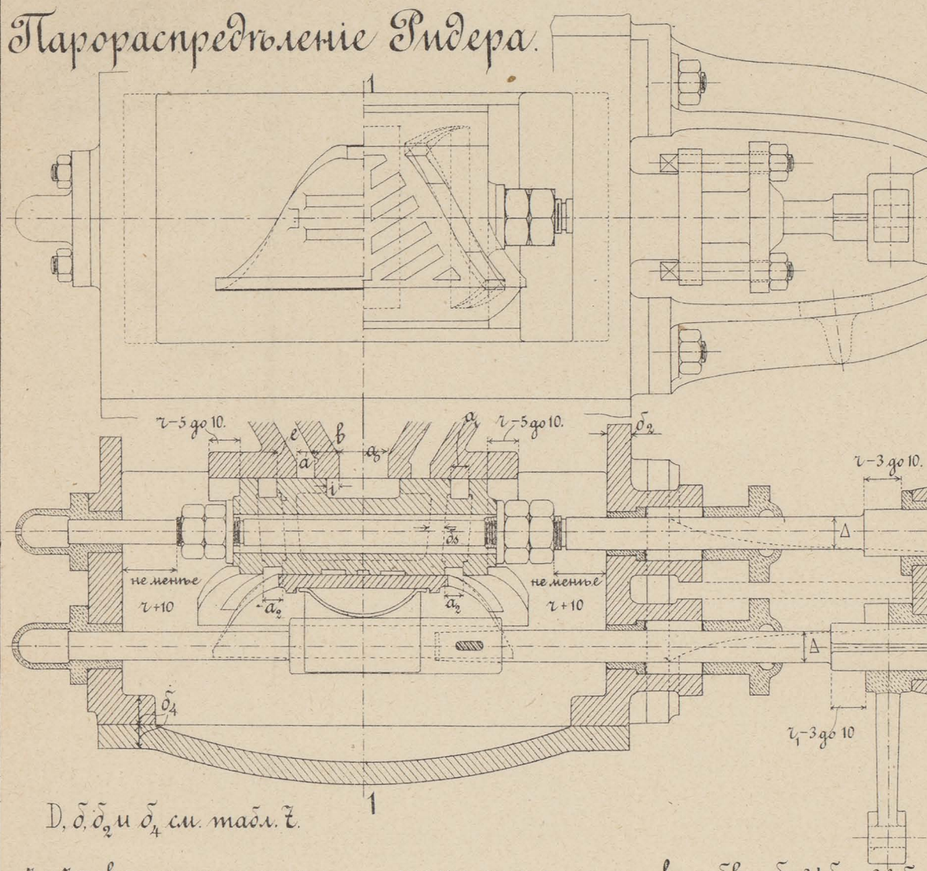


Разрѣзъ 5-5.

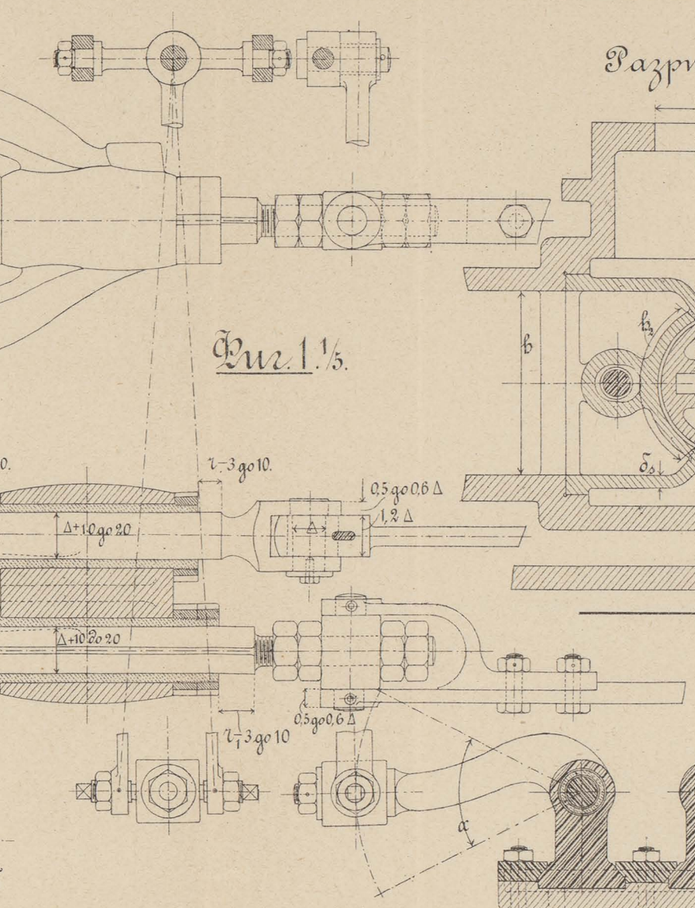


Лит Лейферта С.П.Б

Парораспредѣленіе Ридера.



Фиг. 1. 1/5.

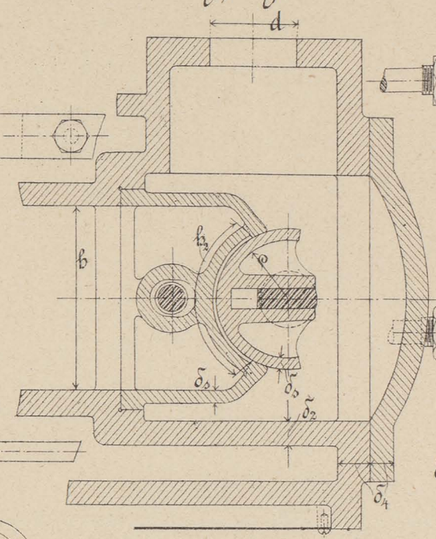


D, δ, δ₂ и δ₄ см. табл. 7.

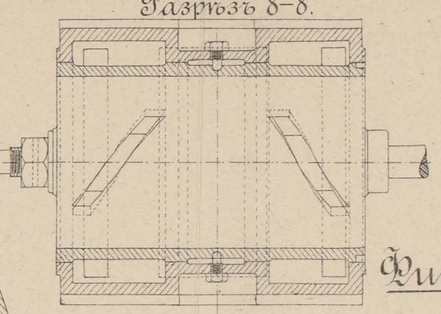
τ и τ₁ = эксцентриситеты. толщ. стѣнк. золот. коробки $\delta_5 = 0{,}4\,\delta$ до $0{,}6\,\delta$.

діам. золотн. мяч. $\Delta = \frac{1}{20} D + 10$ до 14.

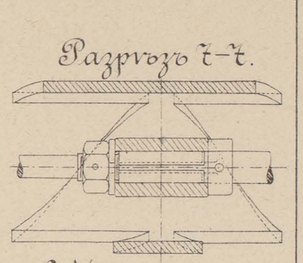
Разрѣзъ 1−1.



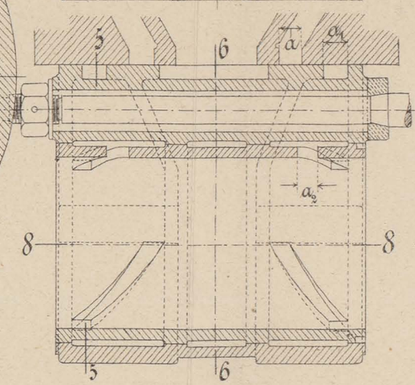
Разрѣзъ 8−8.



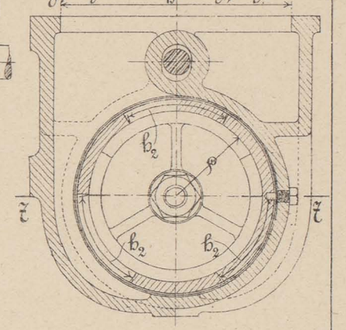
Разрѣзъ τ−τ.



Фиг. 3 1/5.

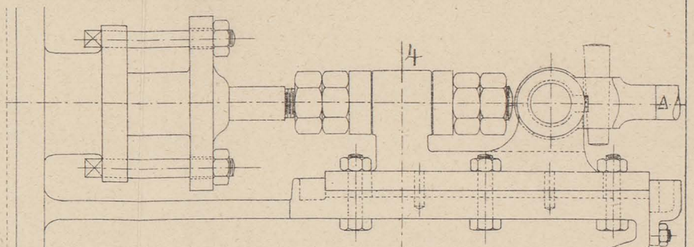


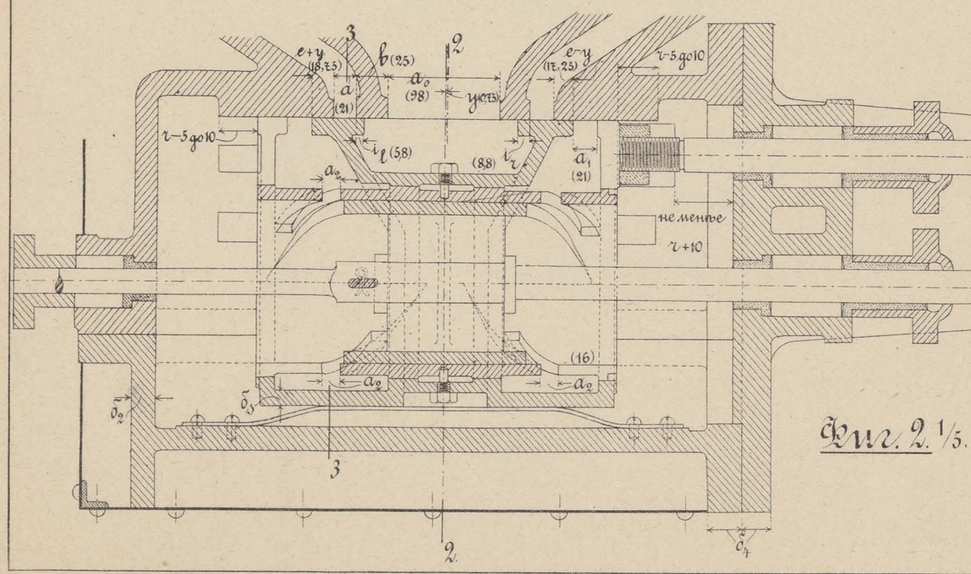
Разрѣзъ 5−5. Разрѣзъ 6−6.



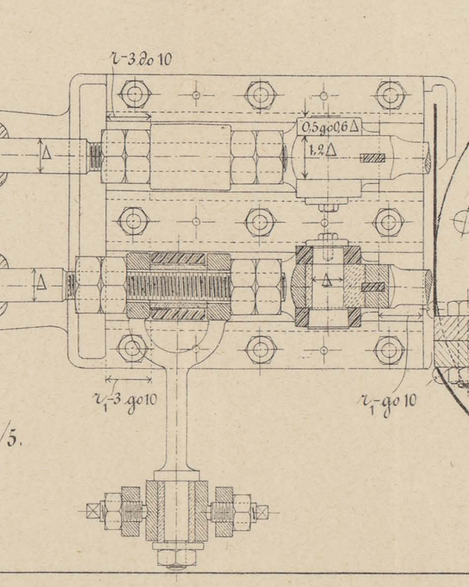
Фиг. 2. 1/5.

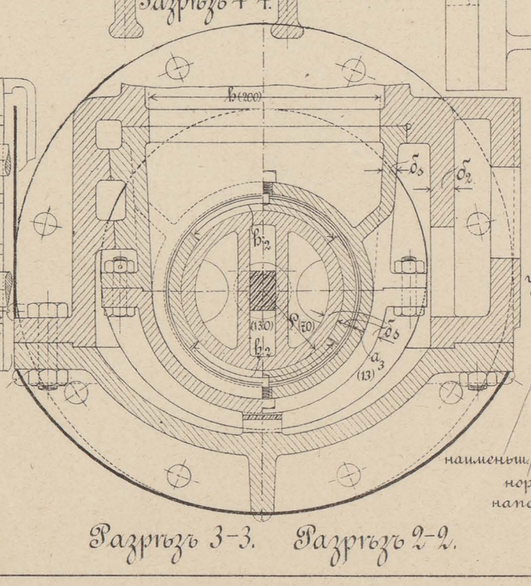
Разрѣзъ 4−4.



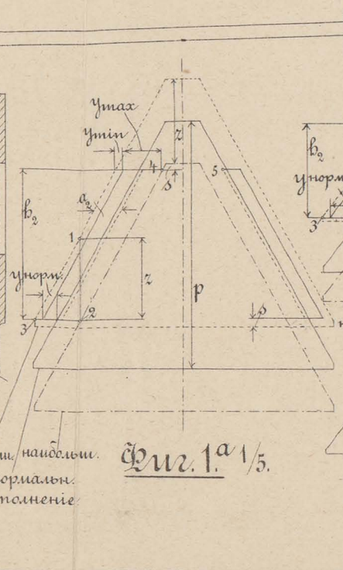


Фиг. 2. 1/5.

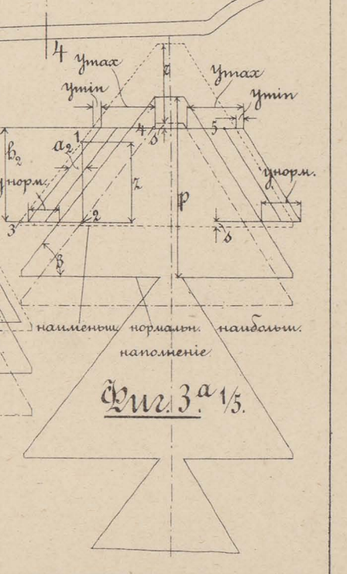




Разрѣзъ 3−3. Разрѣзъ 2−2.



Фиг. 1.а 1/5.



Фиг. 3.а 1/5.

Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Пароспредѣленіе поршневыми золотниками.

Фиг. 1. 1/3.

$OI_1 = 24$
$OI_2 = 16,3$
$OI_1 = 12$
} Эксцентрисит. соотвѣтствующій наложеніямъ 1, 2, 3 грузовъ G.

Фиг. 1b 1/1

наполненіе 60% — предвареніе впуска 2%
32% — 4,5% — 2,8% — 1,5% — 20%
вправо — влѣво — предв. впуска

Фиг. 1c 1/1.

выпускъ 80% — 19,5% — предвар. выпуска
61,5% — 12,5% — 30,5% — 40,5%
39% — 32% — 18,3% — 65% — 9% — 82,7%
вправо — влѣво — предв. выпуска — выпускъ

$a = 6$
$e = 11,5$
$i_1 = 2,5$
$i_2 = 4,5$

Разрѣзъ 4-4.

Фиг. 1a 1/3.

Фиг. 4. 1/1.

лѣвая стор. / правая
напол.-35% — передн. ходъ — расшир.-51% — предв. вып.-14%
выпускъ-59% — сжатіе-38,5% — предв. впуск.-2,5%
предв. впуск.-0,3% — сжатіе-34,7%
предв. вып.-8% — расшир.-52% — напол.-40% — обратн. ходъ
6,7 mm-1kg.
p_3-3,9 — p_e-1,2 — p_3-3,4 — p-6
M -0,15 S — A — S — A' — M -0,18 S

Разрѣзъ 1-1.

Разрѣзъ 2-2.

Фиг. 2.

1/5.

Фиг. 2a 1/1.

Фиг. 2b

напол.-22% — расширеніе 73% — предвар. выпуска -5%
лѣвая стор. / правая
впускъ-74% — сжатіе -25% — предв. впуска-1%
предв. впуска-1,3% — сжатіе-25% — выпускъ-73,5%
предв. вып. -3,5% — расшир. = 68,5% — напол. = 28%
δ-58° — r-24 — 90° δ
кривошипъ — эксцентрисит.

Фиг. 3. 1/25.

Разрѣзъ 3-3.

$OI_1 = 32$
$OI_2 = 20$
} Эксцентрис. соотвѣтств. положен. 1, 2 рычаговъ b_1 b_2 l_2

62,5% наполненія — 30% напол.

Фиг. 3a 1/1.

Фиг. 3a 1/25

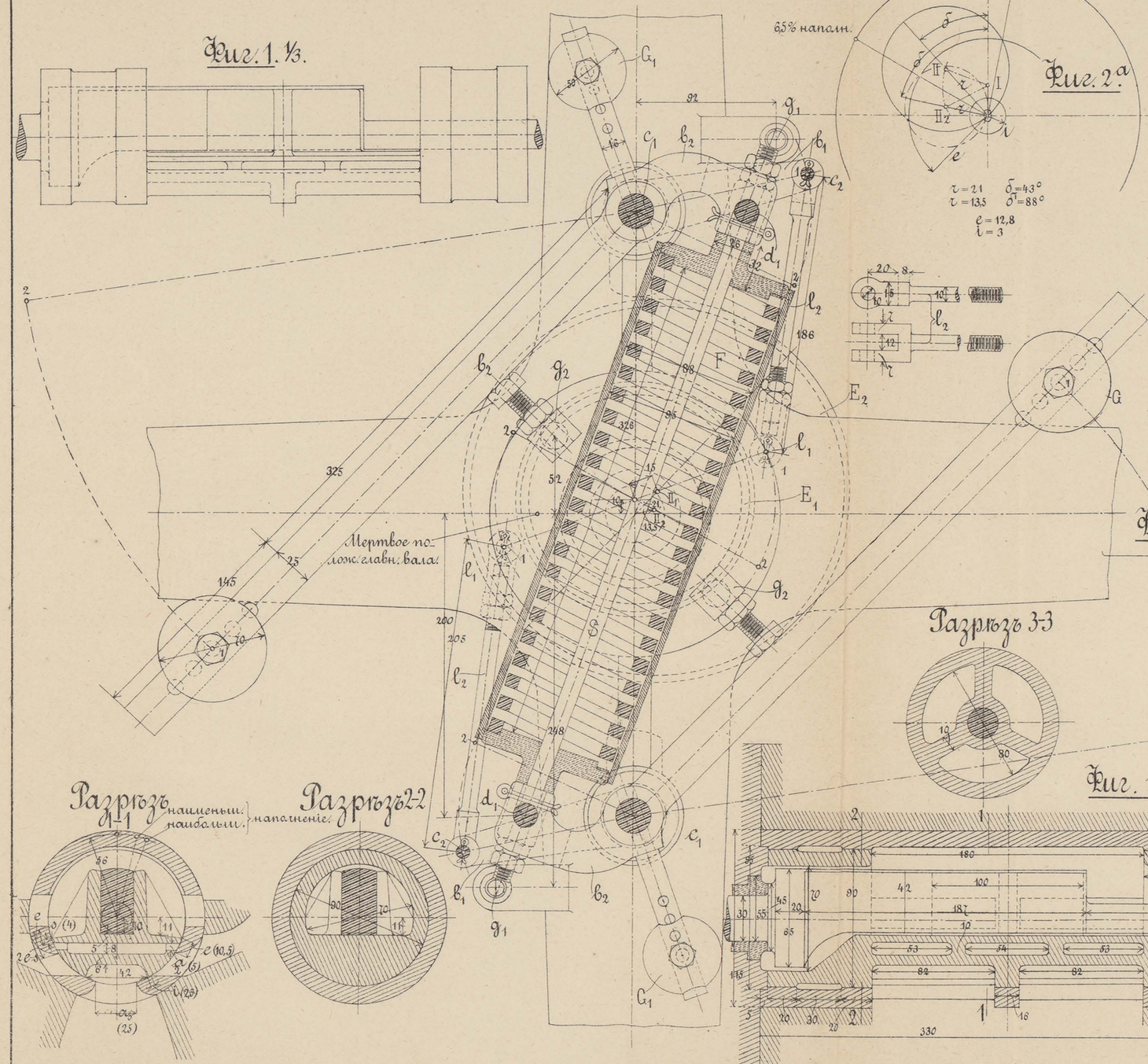
мертвое положеніе кривошипа

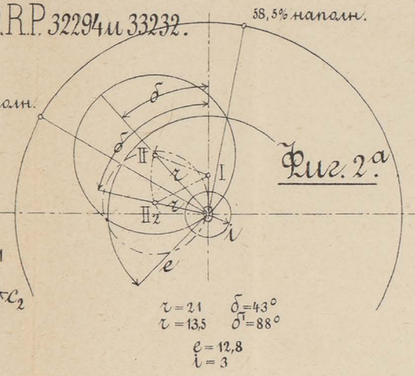
Фиг. 1 и 1a Парораспредѣленіе и регуляторъ Зондерманъ Штуттгартъ. (Regulator D. R. P. 52350.) Фиг. 2 по чертежамъ завода Покорный и Виттекиндъ.
„ 3 и 3a „ „ „ „ „ Б. Штейна, Берлинъ.

Лит. А. Лефферта С.П.Б.

Парораспредѣленіе и регуляторъ Дэрфеля и Прёлля D.R.P. 32294 и 33232.

Фиг. 1. 1/3.





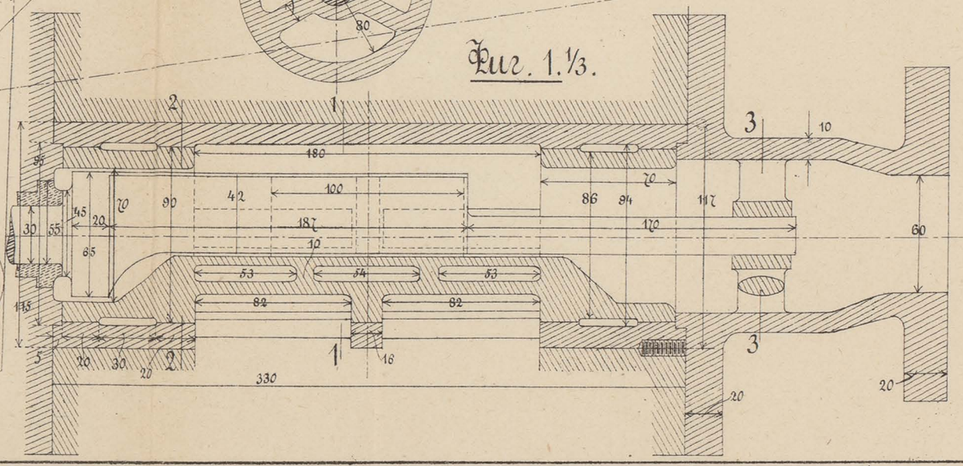
Фиг. 2. а.

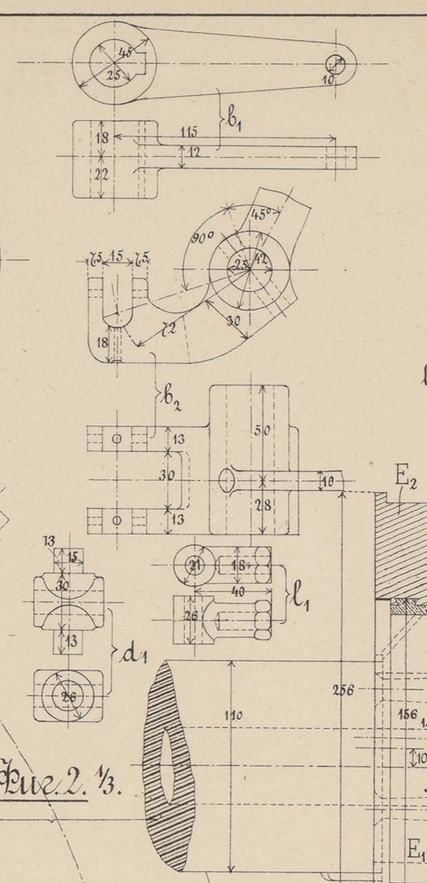
Разрѣзъ 1-1 { наименьш. напол. / наибольш. }

Разрѣзъ 2-2 { напаненіе }

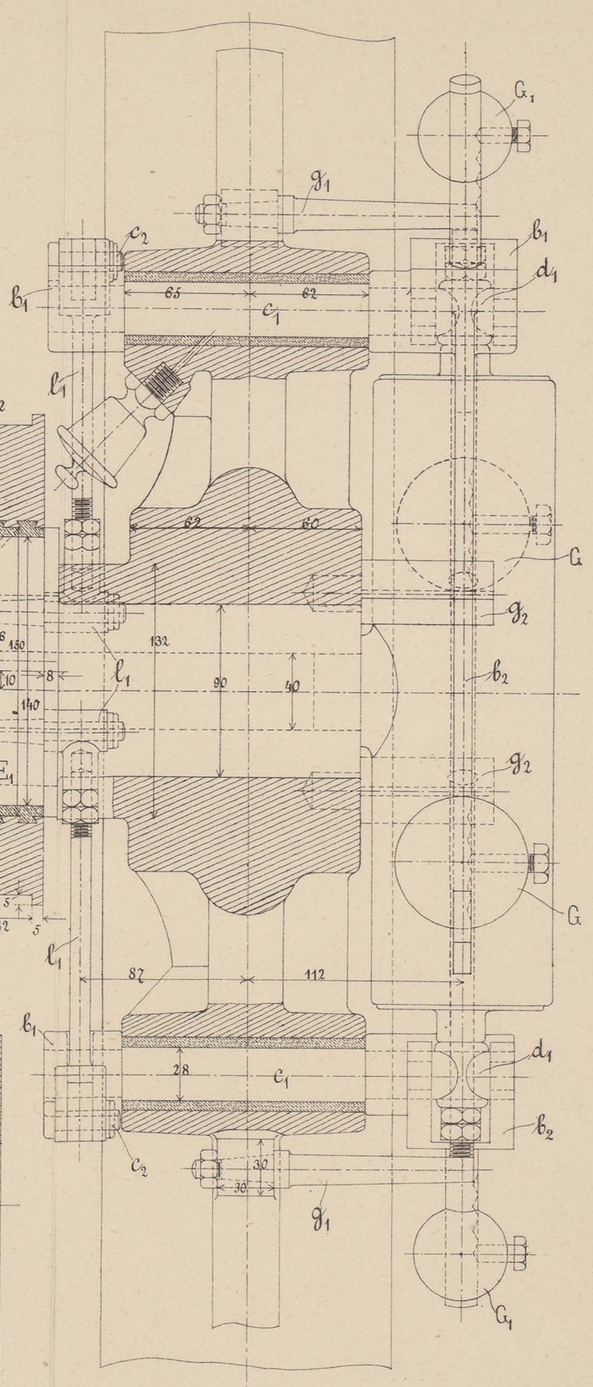
Разрѣзъ 3-3

Фиг. 1. 1/3.





Фиг. 2. 1/3.



Лит. Лейферта, С.П.Б.

Фиг. 1. 1/5.

Фиг. 1.a 1/5.

Фиг. 1.b 1/3.

Положение разширительнаго золотника при начале предвар. впуска

Фиг. 2.a 1/10.

направл. вращен.

направл. хода

Угол предвар. главн. золотн.

центр. эксцентрика E.

центр. эксцентрика E_2

центр. эксцентрика E_1

Угол предвар. расширительнаго золотн.

O_1-30 = эксцентриситет E

$O_1 O_2 O_3$-20 = эксцентриситет E_1

$O\Pi_1$-31, $O\Pi_2$-23, $O\Pi_3$-10 = эксцентриситет E_2

Парораспределение поршневыми золотниками.

Фиг. 1.e 2/3.

2% напан.

Фиг. 1.d 2/3.

13% напан.

Фиг. 1.c 2/3.

42% напан.

Разрезъ 2-2

Разрезъ 1-1-1

Фиг. 2. 1/10.

$\delta, \delta_2, \delta_4$ см. табл. 7.

Тащ. стѣн. золот. коробки δ_5=0.4 до 0.6 δ.

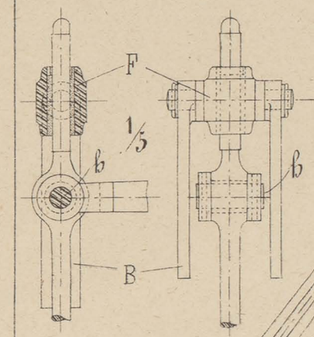
Fig 1a nach Zeichnung von der Maschinenfabrik Örlikon in Örlikon. Regulator D.R.P. 47751.

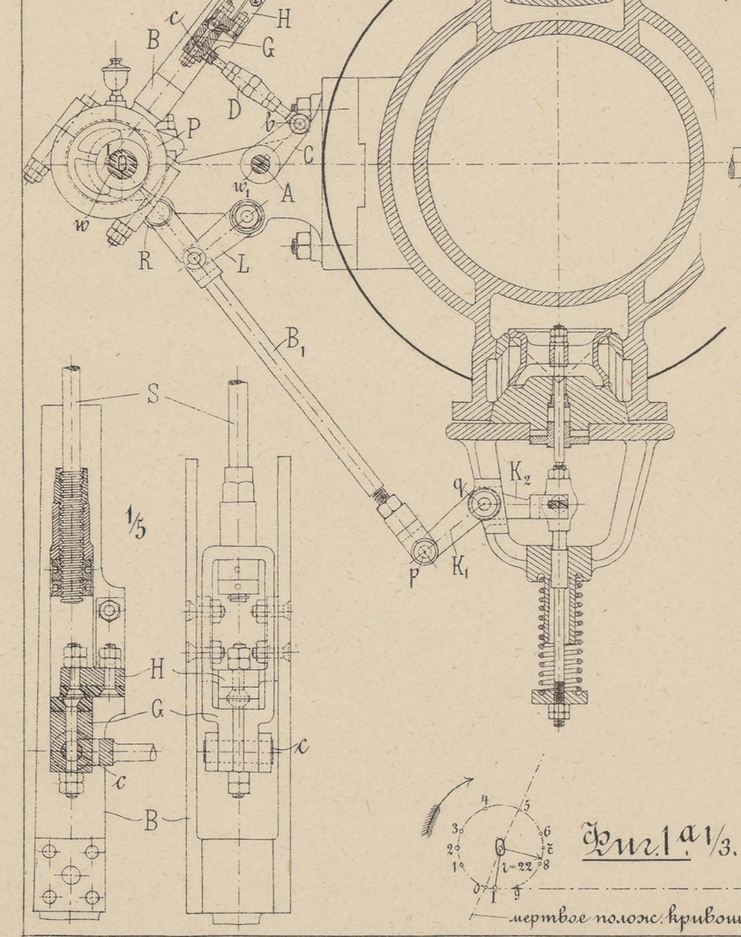
2 " " " " " " " " " von J. A. Maffei in München.

Лит. Лейферте С.П.Б.

Парораспредѣленіе Зульцера.

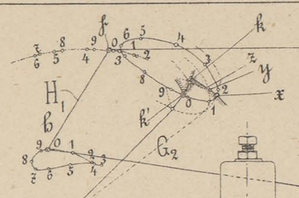
(патентъ)



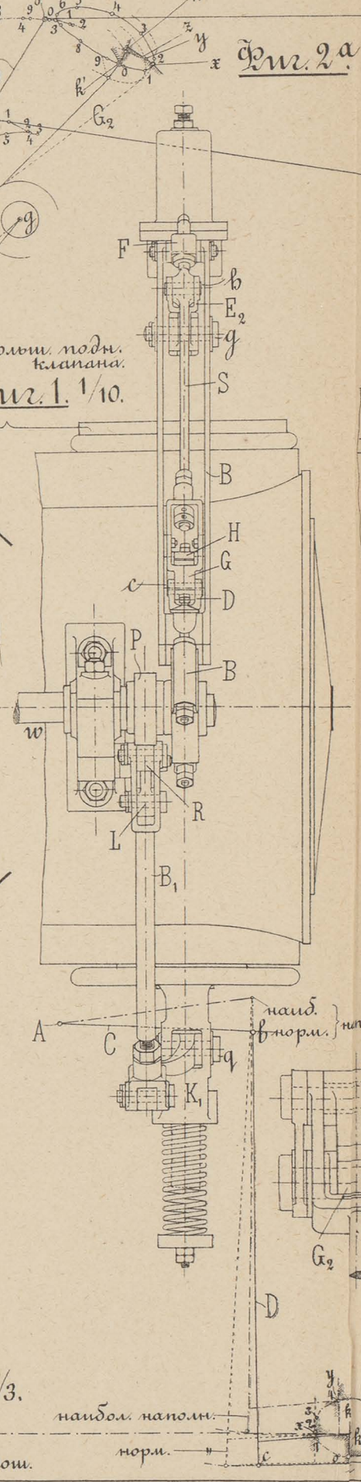


наибольш. подн. клапана.

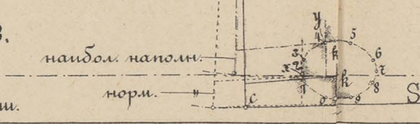
Фиг. 1. 1/10.



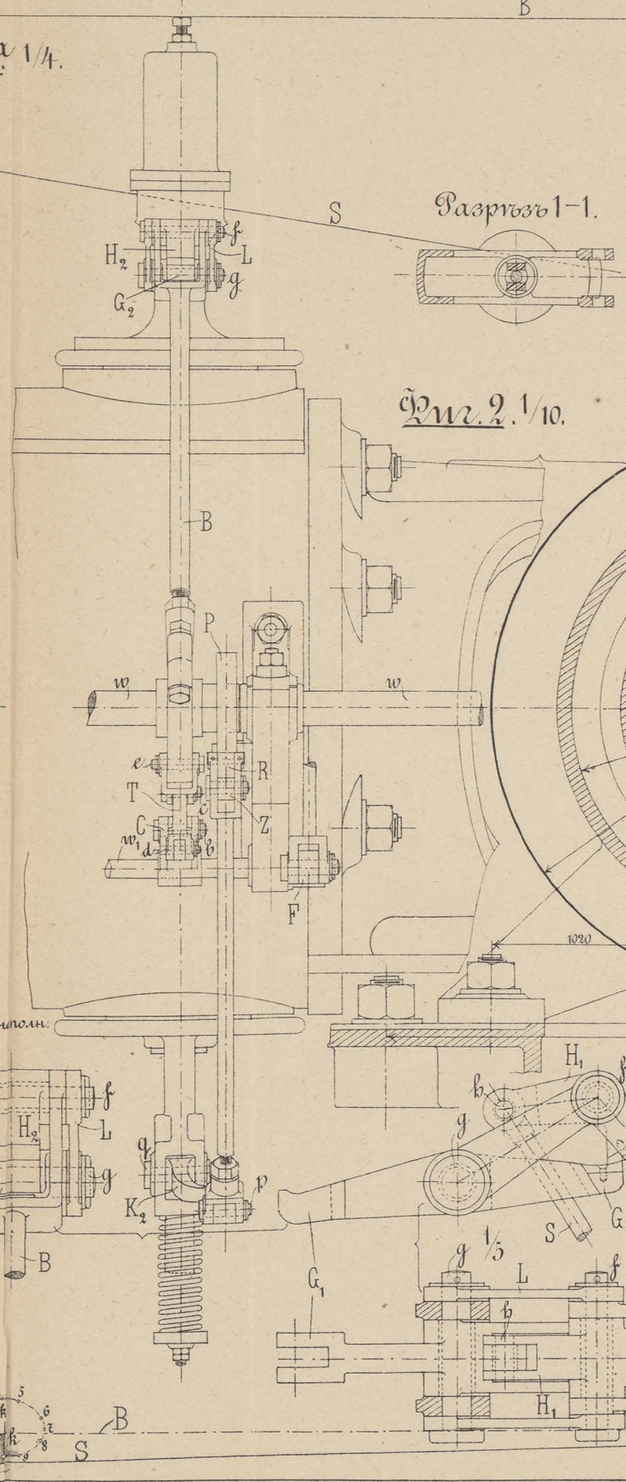
Фиг. 2a 1/4.



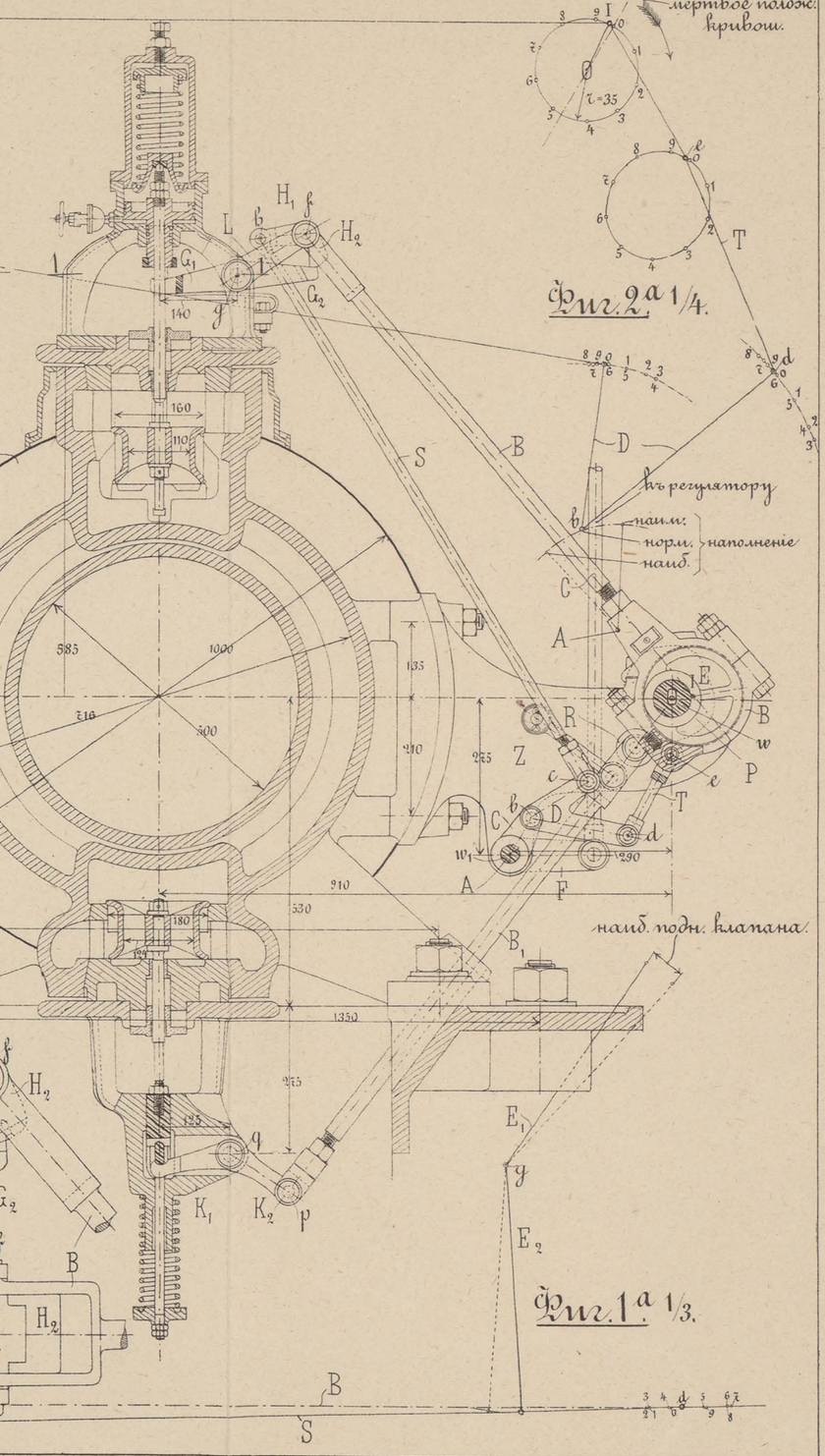
Фиг. 1a 1/3.

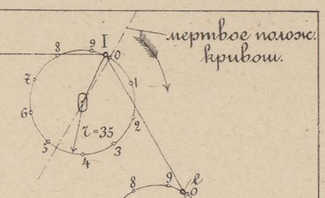


Разрѣзъ 1–1.



Фиг. 2. 1/10.





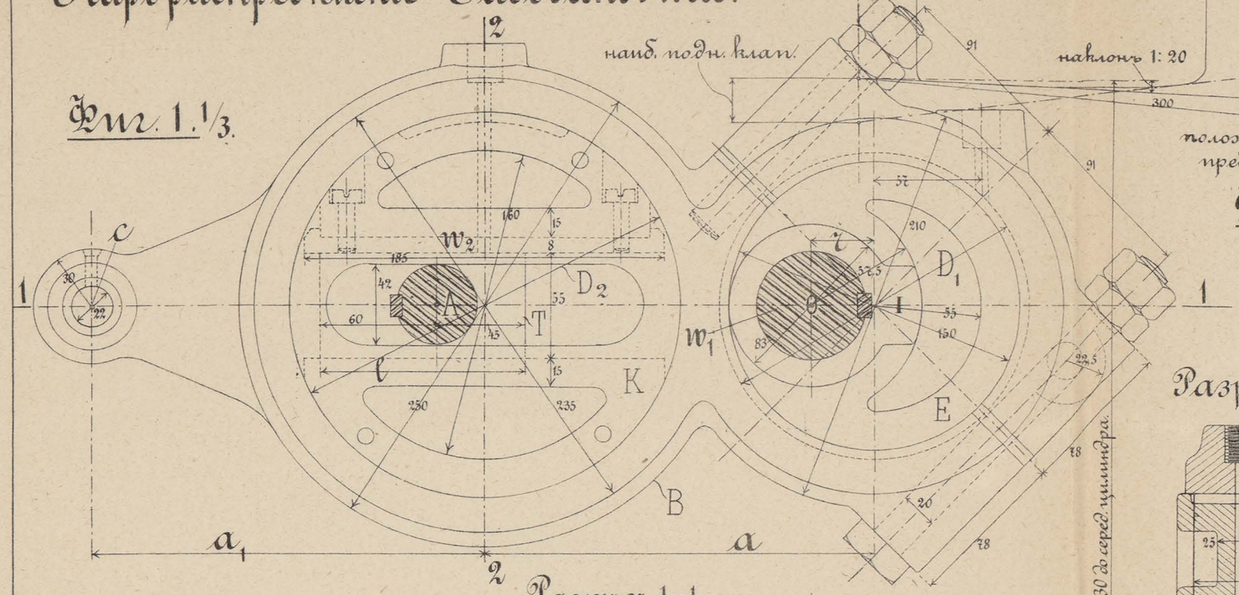
Фиг. 2a 1/4.

Фиг. 1a 1/3.

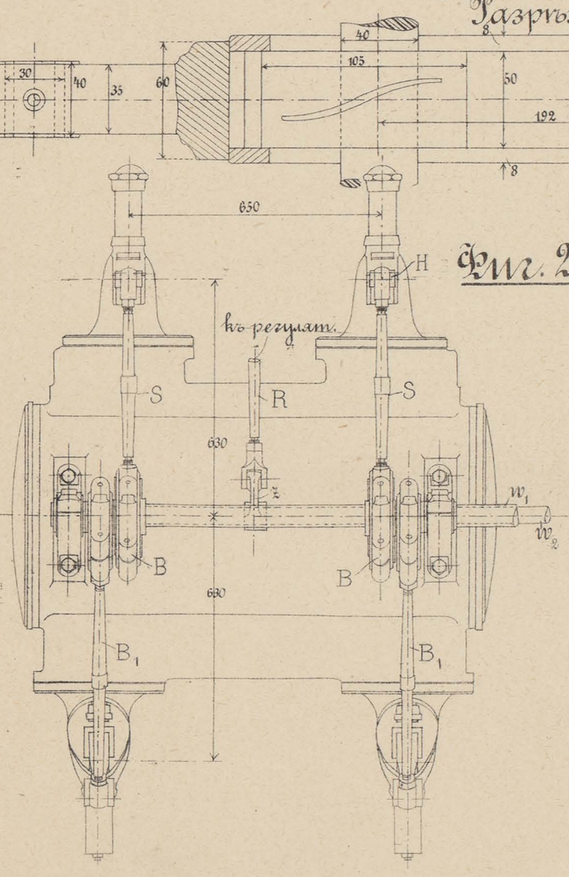
Лит. А. Лейферта, С. П. Б.

Парораспредѣленіе Радовановича.

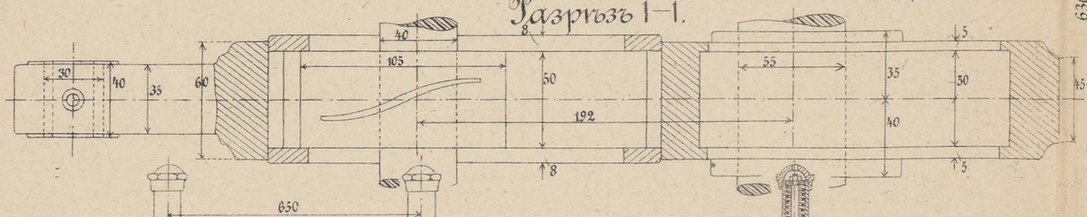
Фиг. 1. 1/3.



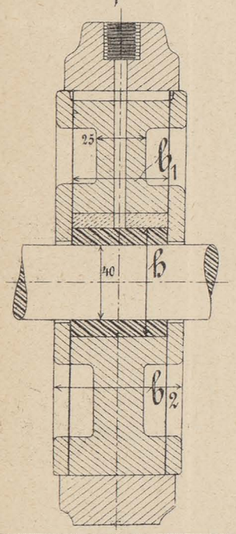
Фиг. 2. 1/15.



Разрѣзъ 1–1.

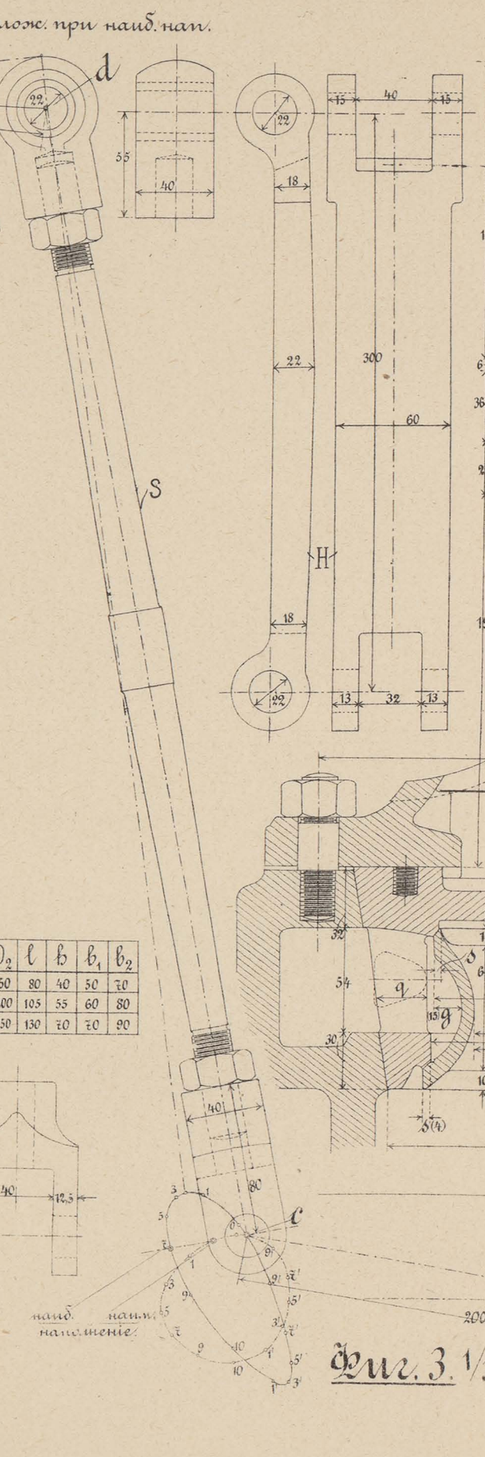


Разрѣзъ 2–2.

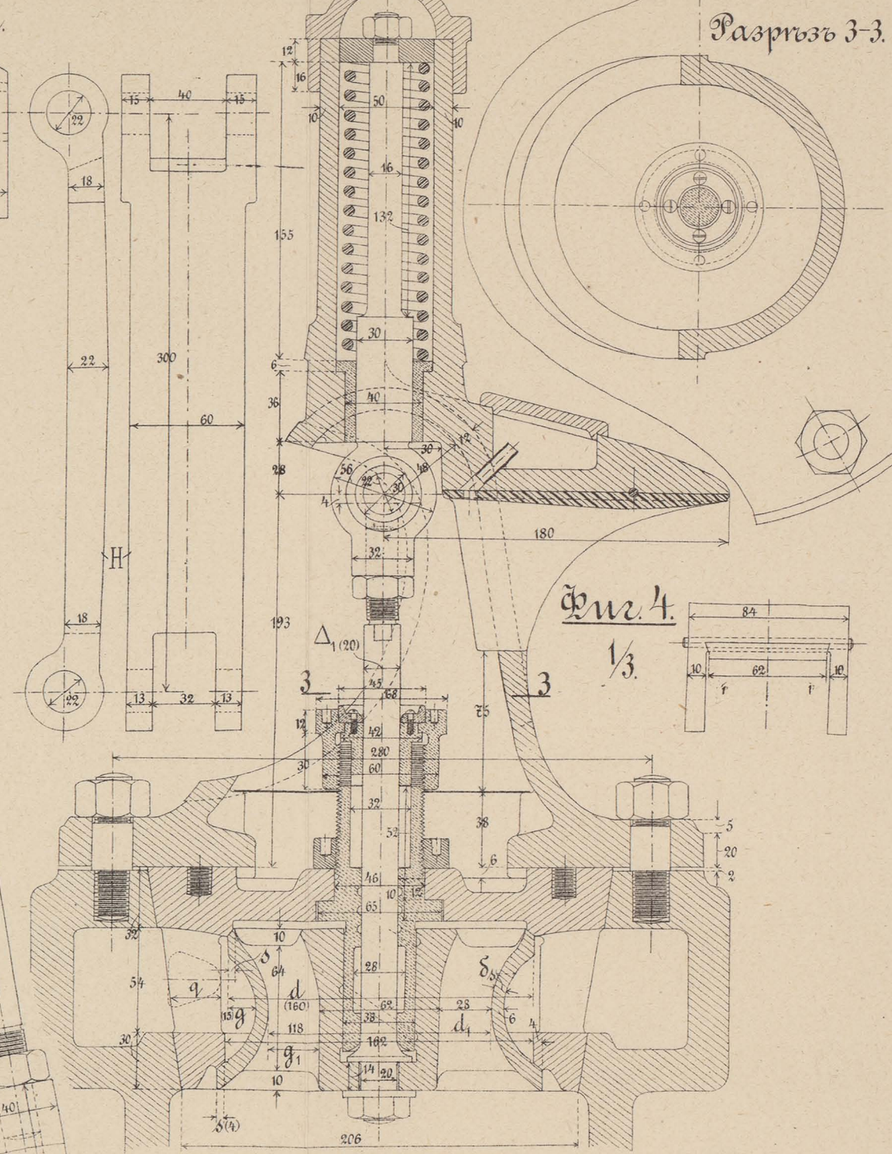


N	Диам. цил.	r	a	a1	w1	D1	w2	D2	l	b	b1	b2
1	300 – 380	25	150	150–200	40	120	30	150	80	40	50	70
2	400 – 460	33	200	200–250	55	160	40	200	105	55	60	80
3	500 – 600	42	250	250–300	65	200	50	250	130	70	70	90

Фиг. 3. 1/3.



Разрѣзъ 3–3.

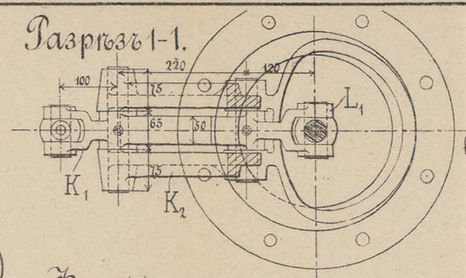


Фиг. 4. 1/3.

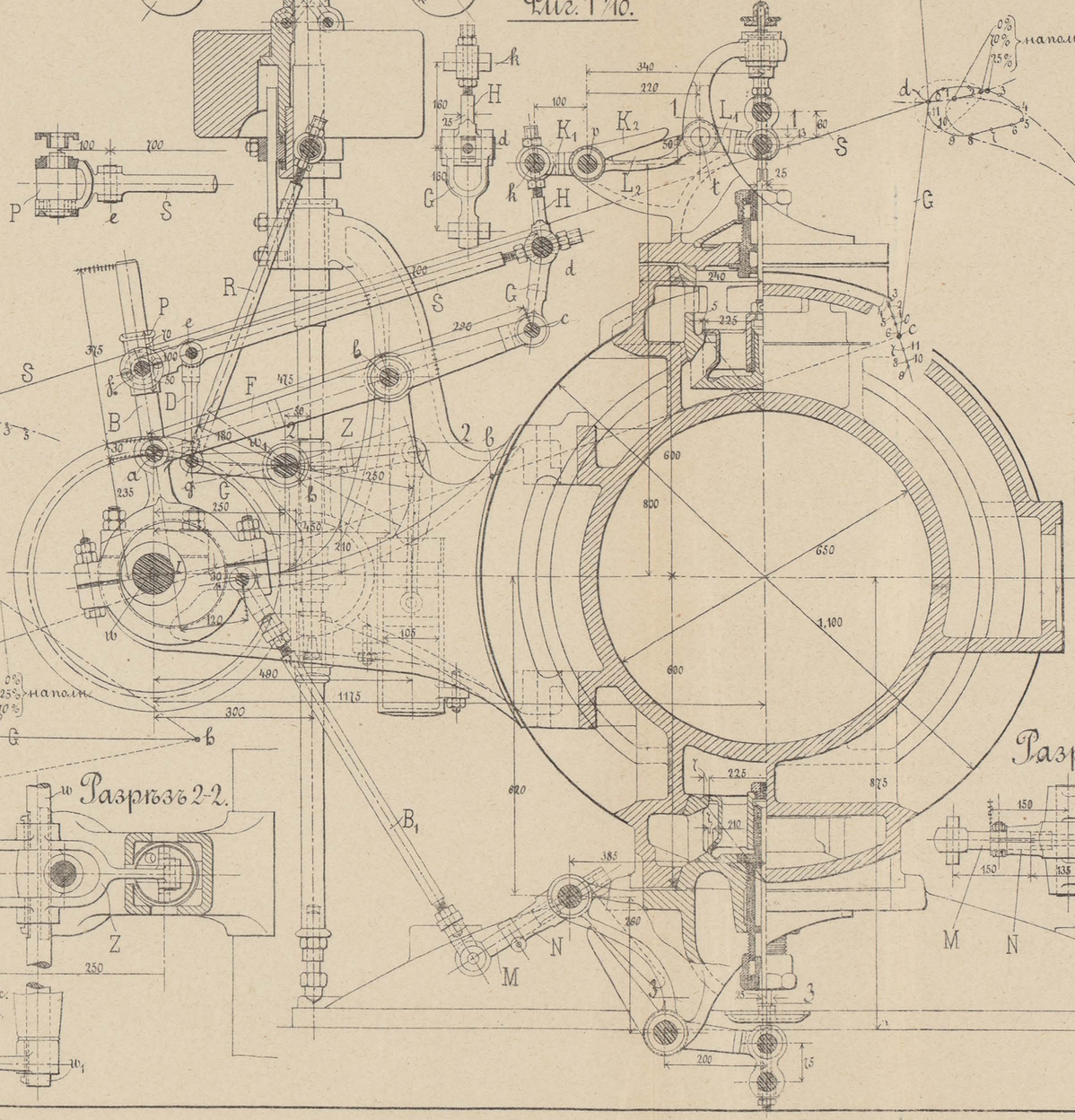
Лит. А. Лейферта, С.П.Б.

Старое Пароораспредѣленіе Кольмана.

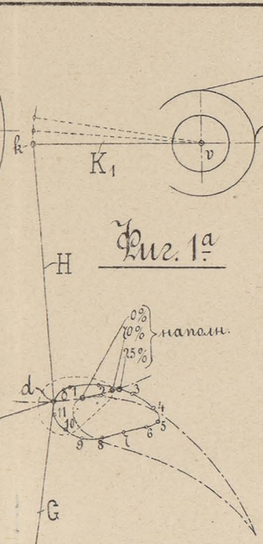
Разрѣзъ 1-1.

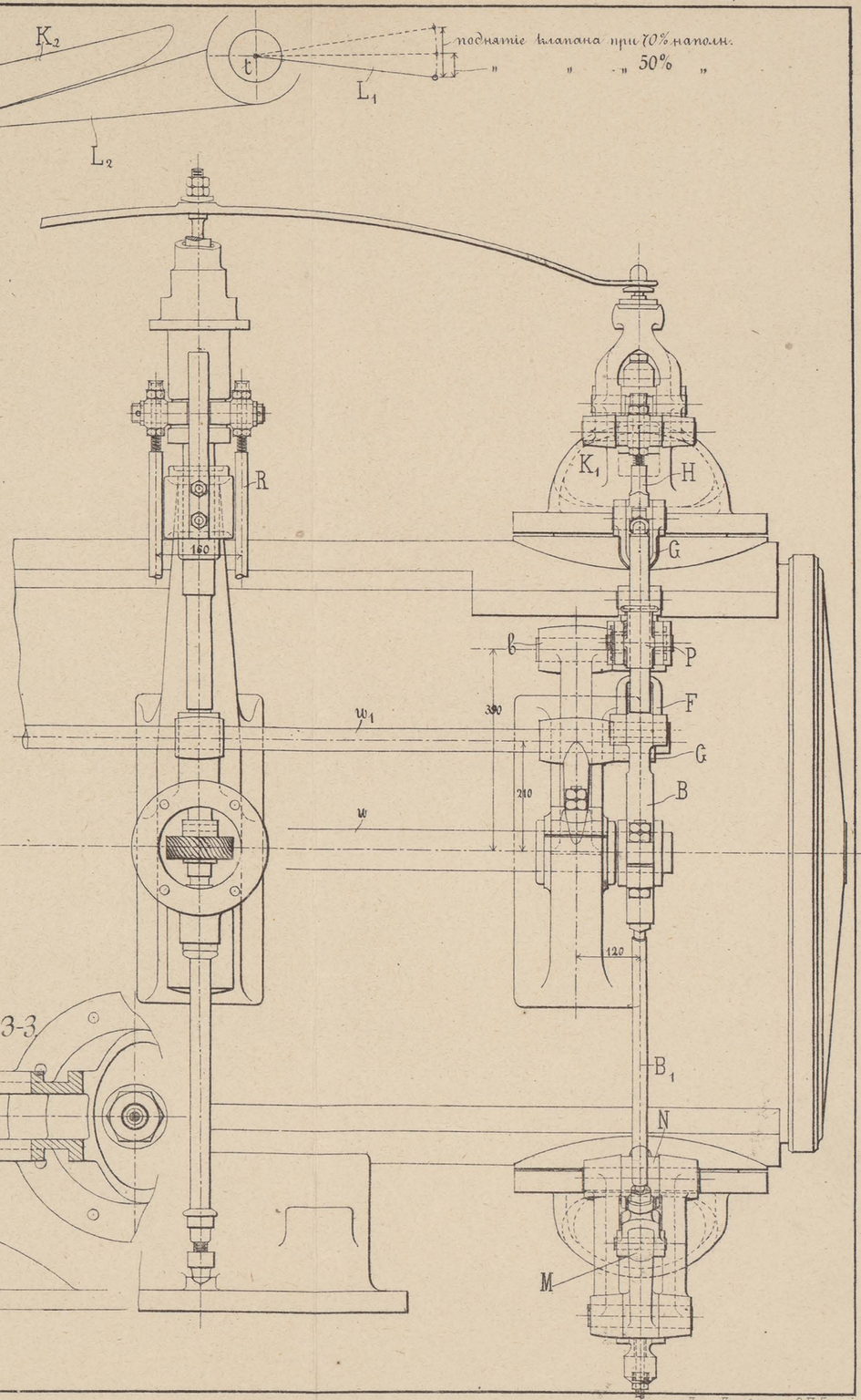


Фиг. 1/10.

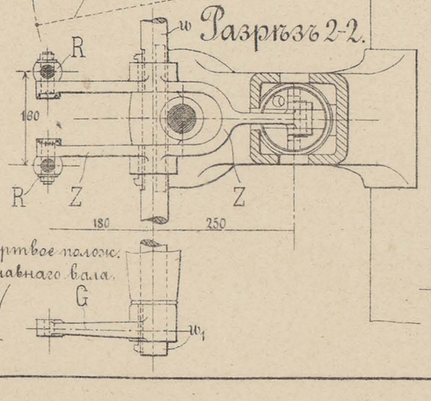


Фиг. 1a

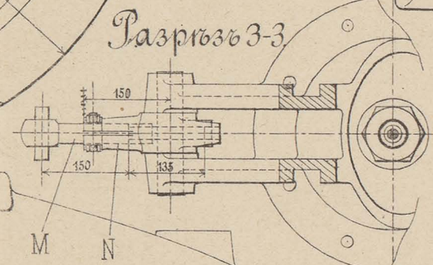




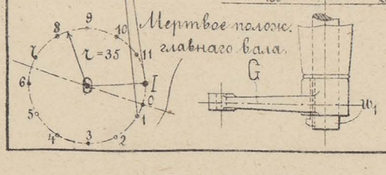
Разрѣзъ 2-2.



Разрѣзъ 3-3.



Фиг. 1a



Лит. Лемферта С.П.Б.

Новое парораспредѣленіе Кальмана

Фиг. 1. 1/5.

Фиг. 1а. 1/3.

Фиг. 1в. 1/3.

Фиг. 2. 1/5.

Фиг. 3.

Фиг. 4. 1/5.

Фиг. 5. 1/5.

Фиг. 6. 1/18.

Фиг. 6а. 1/3.

Парораспредѣленіе Кухенбекера.

Фиг. 7. 1/6.

Фиг. 8. 1/6.

Парораспредѣленіе Видмана.

Фиг. 9. 1/6.

Фиг. 10. 1/12.

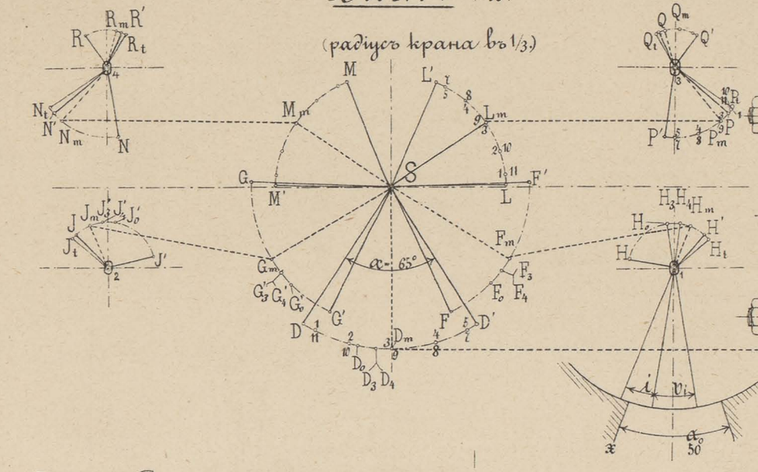
Фиг. 10а. 1/9.

Лит. Лехсовета С.П.Б.

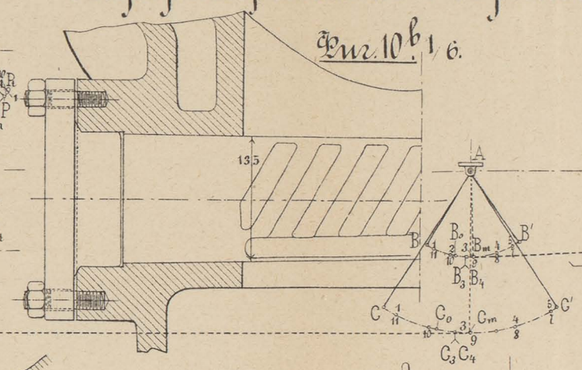
Парораспредѣленіе Кормисса.

Фиг. 1.b 1/15.

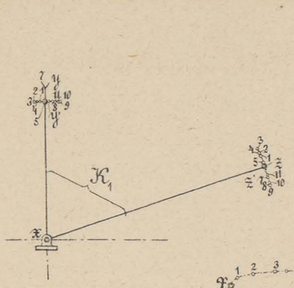
(радіусъ крана въ 1/3)



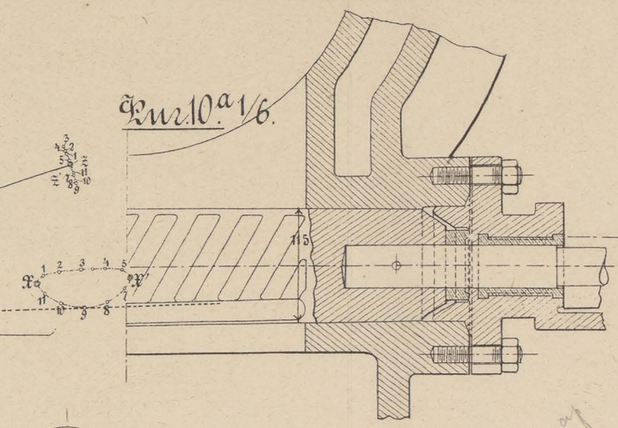
Фиг. 10.b 1/6.



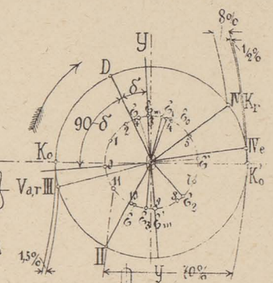
Фиг. 1.a 1/15.



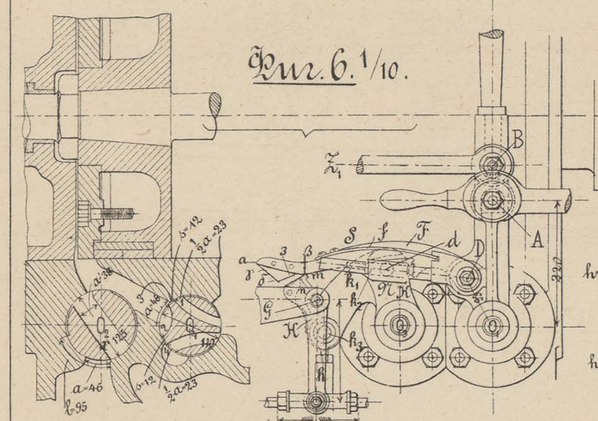
Фиг. 10.a 1/6.



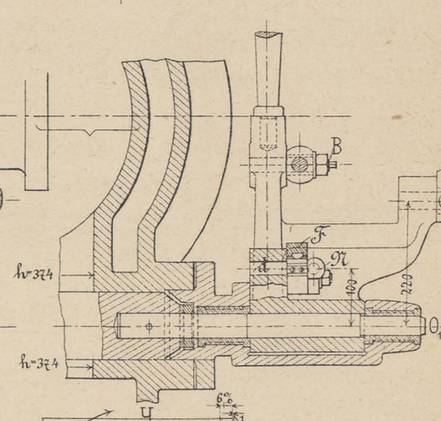
Фиг. 1. 1/15.

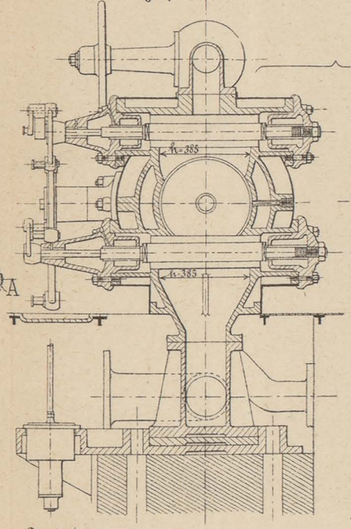


Фиг. 6. 1/10.

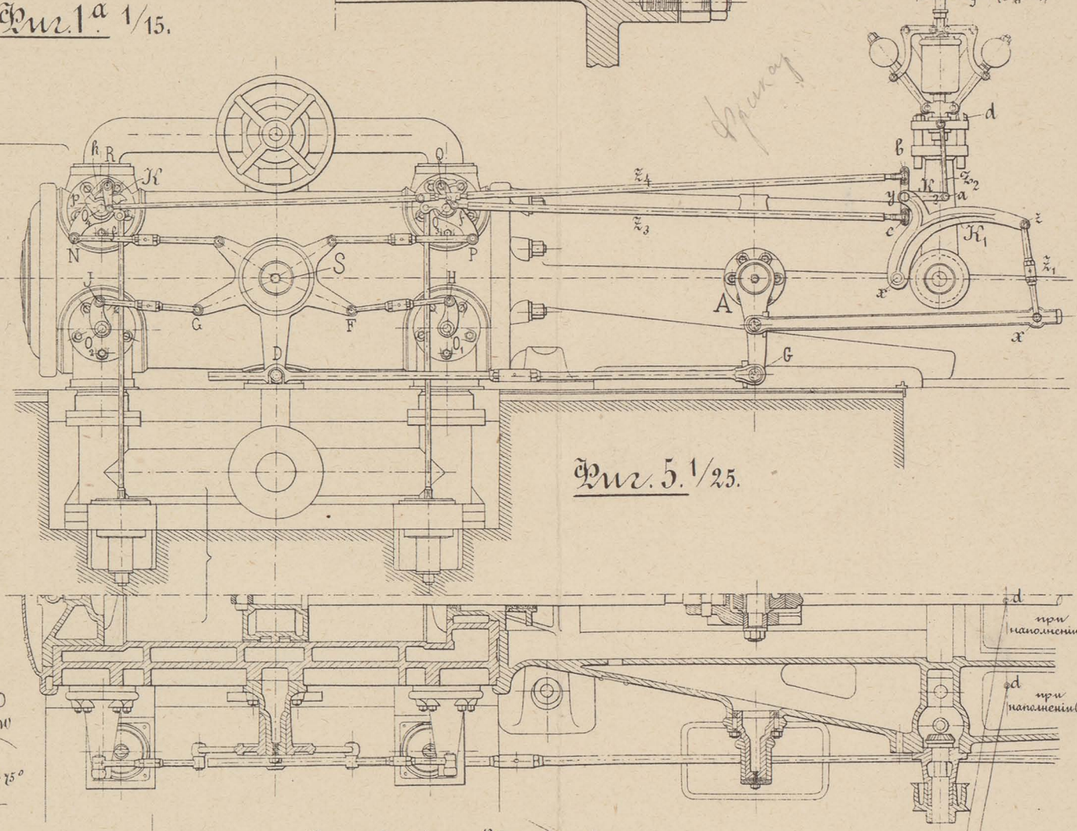


к регулятору.

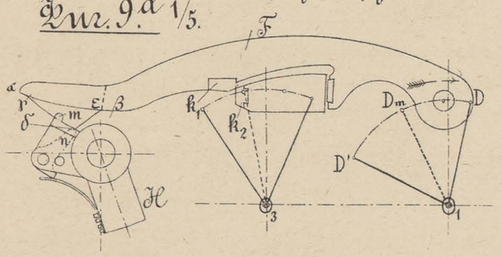




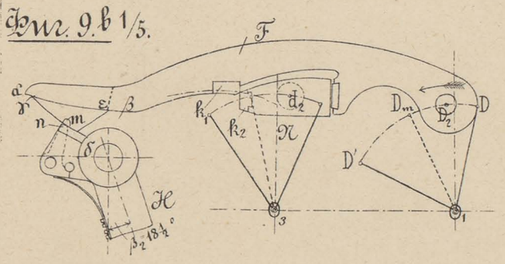
Фиг. 5. 1/25.

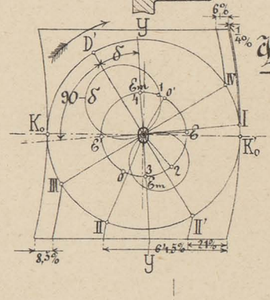


Фиг. 9.a 1/5.



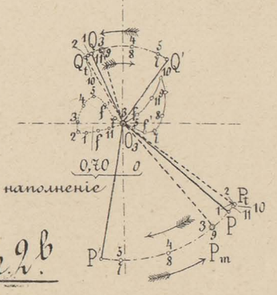
Фиг. 9.b 1/5.



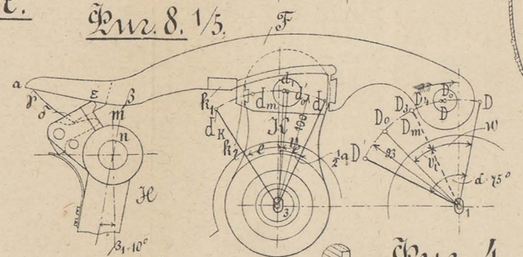


Фиг. 7.

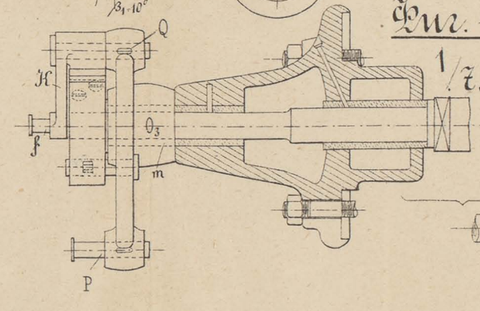
Фиг. 9.b 1/7,5.

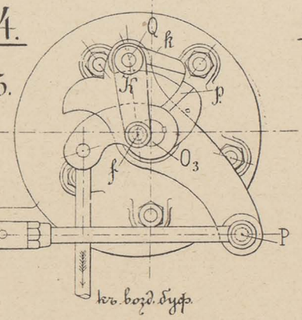


Фиг. 8. 1/5.



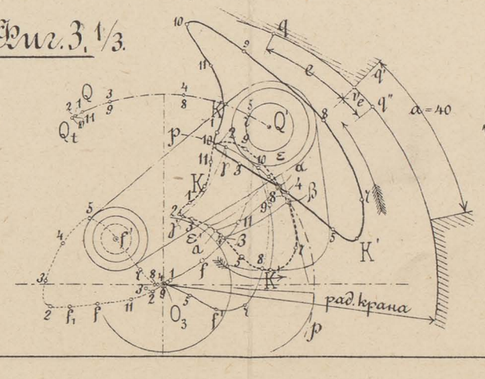
Фиг. 4. 1/7,5.





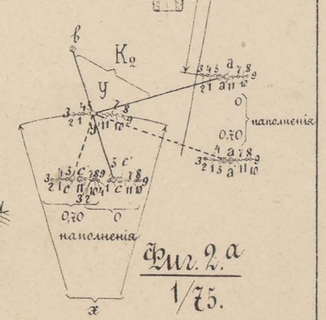
к возд. буф.

Фиг. 3. 1/3.



рад. крана

Фиг. 2.a 1/7,5.



Лит. А. Лейфферта, С. П. Б.

Дозволено Цензурою. С.-Петербургъ. 12-го Августа 1901 г.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ I. Выходитъ въ 20 выпускахъ.

Неполное
А 256/1

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

ИХЪ

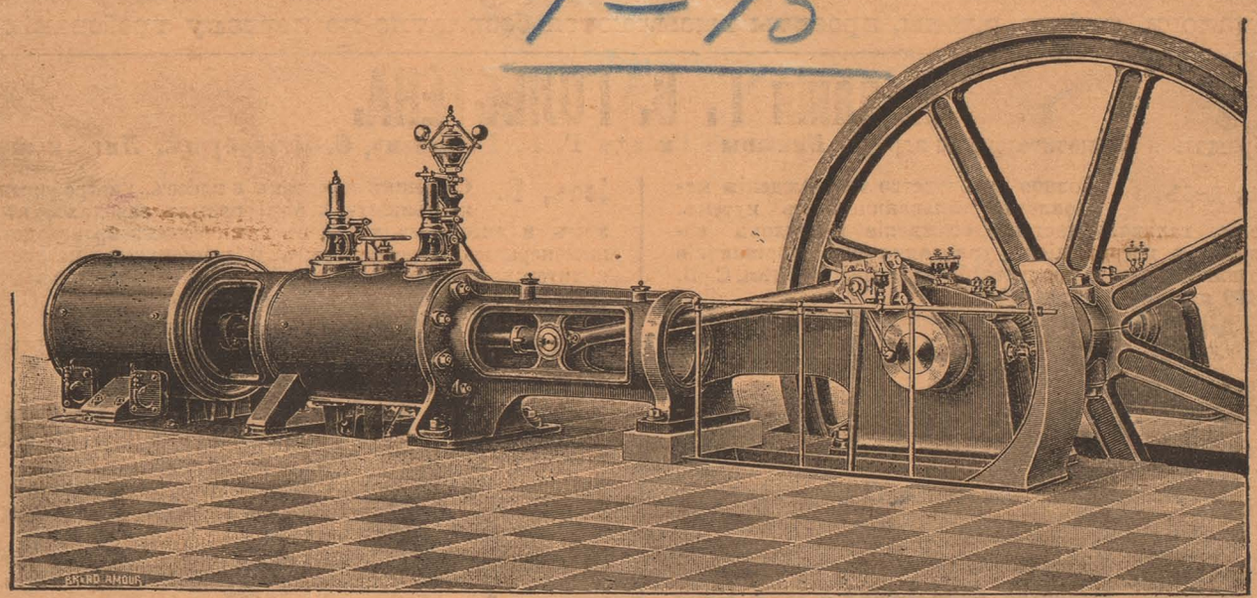
ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.

1—15



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.
С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.
1899.

Подписная цѣна на все изданіе **12** рублей, съ пересылкою **13** р. **50** к. (допускается разсрочка), а до выхода 2-го выпуска **10** рублей, съ пересылкою **11** р. **50** к.

32

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ
ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.
ТЕХНИЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена, С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ Percy C. Gilchrist'омъ. Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р. 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897. г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 1 р.

Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 50 к.

Въ Книжномъ Складѣ Г. В. ГОЛЬСТЕНА, С.-Петербургъ, Литейный пр. 28, продается новое изданіе:

А. Польгаузенъ. Подъемныя машины. Атласъ конструктивныхъ чертежей подъемныхъ машинъ и ихъ деталей. Съ текстомъ: **Схемы разсчетовъ.** 94 табл. in 4° съ прибл. 80 стр. текста.

Обработалъ для русскихъ техниковъ **А. В. Шкларевичъ.**

Содержаніе: Ленты, канаты, цѣпи, блоки, барабаны, рукоятки. — Крюки и петли. — Храповики и тормаза; предохранители.—Блоковые подъемы.—Домкраты, вороты, шпили и лебелки.—Краны.

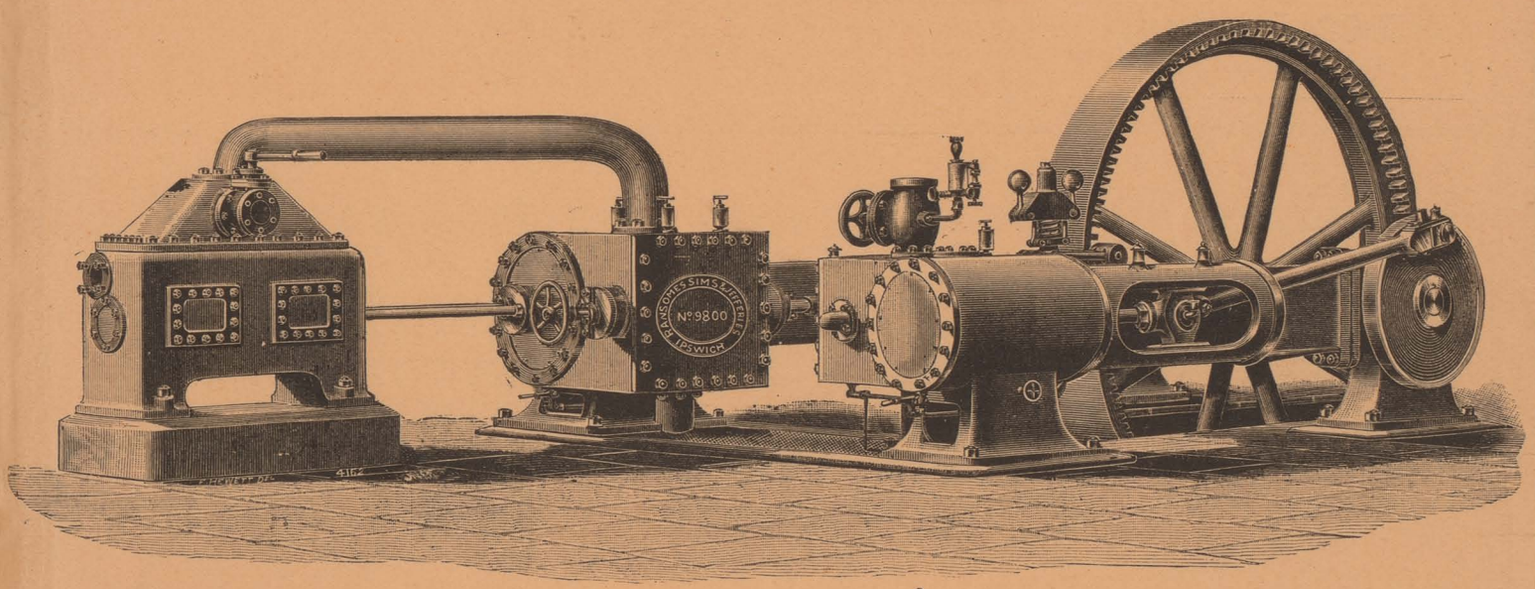
Изданіе состоитъ изъ атласа (94 односторон. гравиров. на камнѣ таблицы in Quarto) и текста **Схемы разсчетовъ.** Весь матеріалъ раздѣленъ на три отдѣла. Въ первомъ помѣщены конструкціи, данныя и формулы для разсчета разнообразныхъ деталей подъемныхъ машинъ. Второй отдѣлъ заключаетъ въ себѣ простѣйшіе подъемные механизмы (блоки и т. п.). Третій отдѣлъ посвященъ кранамъ. Здѣсь даны образцовыя конструкціи самыхъ разнообразныхъ типовъ этихъ машинъ и полныя схемы для ихъ разсчетовъ. Въ число разнообразныхъ типовъ вошли краны ручные, приводные, паровые и электрическіе. Всѣ конструкціи взяты изъ испытанныхъ продолжительною практикою механизмовъ и машинъ, построенныхъ лучшими заводами. Настоящее изданіе предназначается служить **пособіемъ при проектированіи подъемныхъ машинъ.** ☛ Цѣна въ папкѣ 7 р. ☚

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ № 2155. — Телегр. адр.: Петербургъ, Жуковскому.

МАШИНЫ и ТЕХНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ".

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

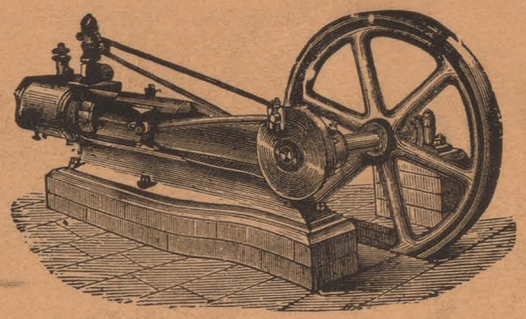
Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.



Техническая Контора * * *
* * * *и Складъ машинъ*

Ѳ. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:
Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:

Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ,** Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**
Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.
ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 3 руб.
Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.
Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ
технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Техн. Библіографіи (первое изданіе) за годъ **1 руб.** съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) **30 к.** съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ II Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А 256/7

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

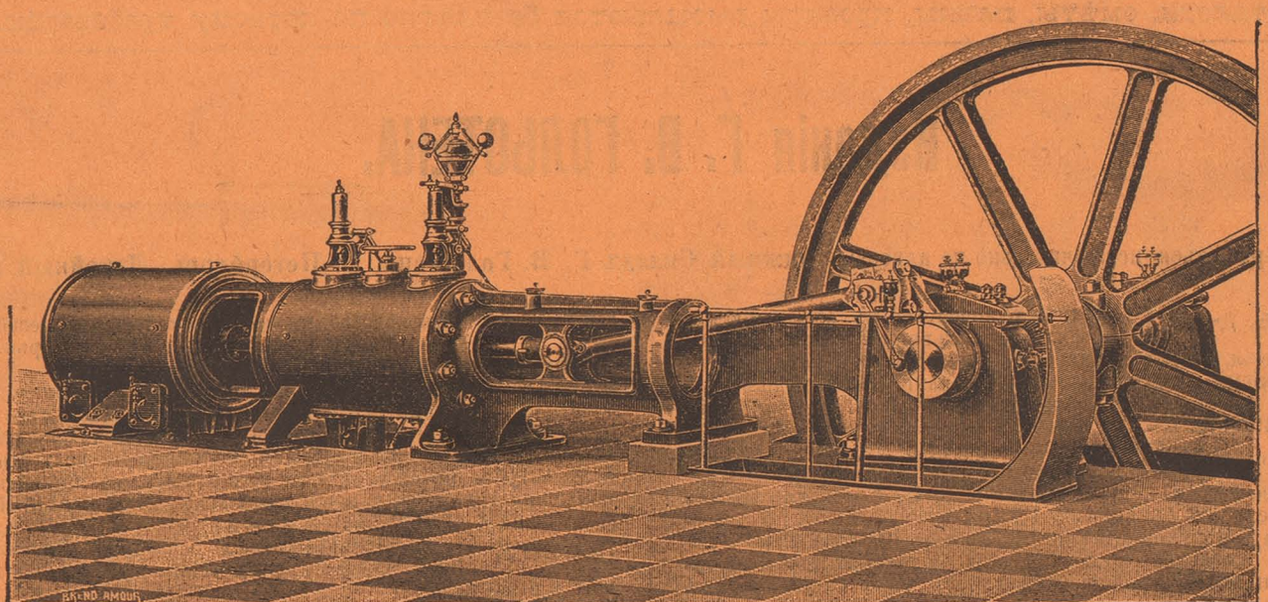
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.
С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.
1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — КОЛЬБЕ.

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

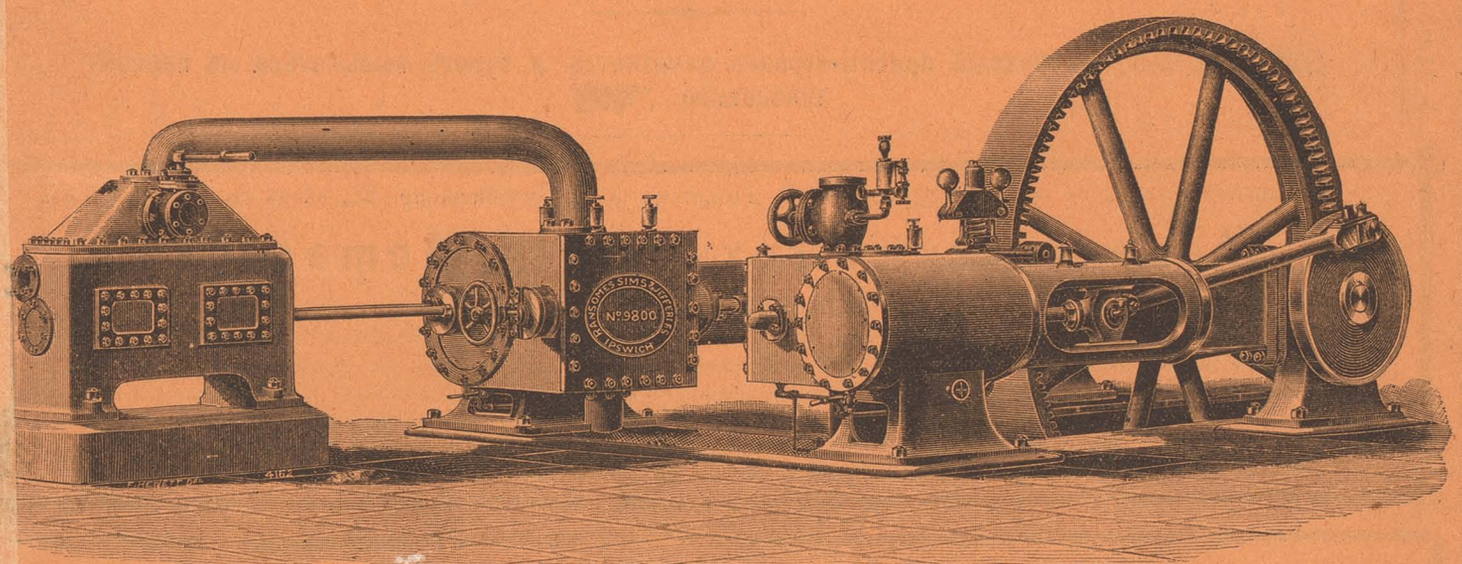
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ № 2155. — Телегр. адр.: Петербургъ, Жуковскому.

ашины и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



ыя машины и локомобили первоклассныхъ амери-нскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — но- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ“.

ы Джемса Леффеля. Единственное представи-тельство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной мерикѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

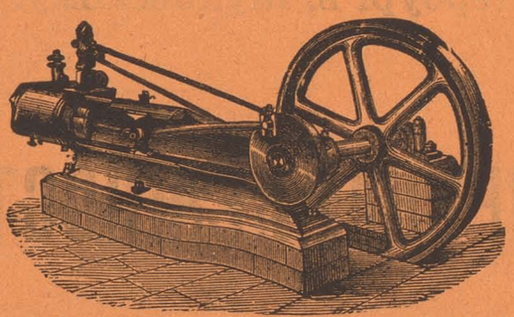
Ѳ. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ,** Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 3 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

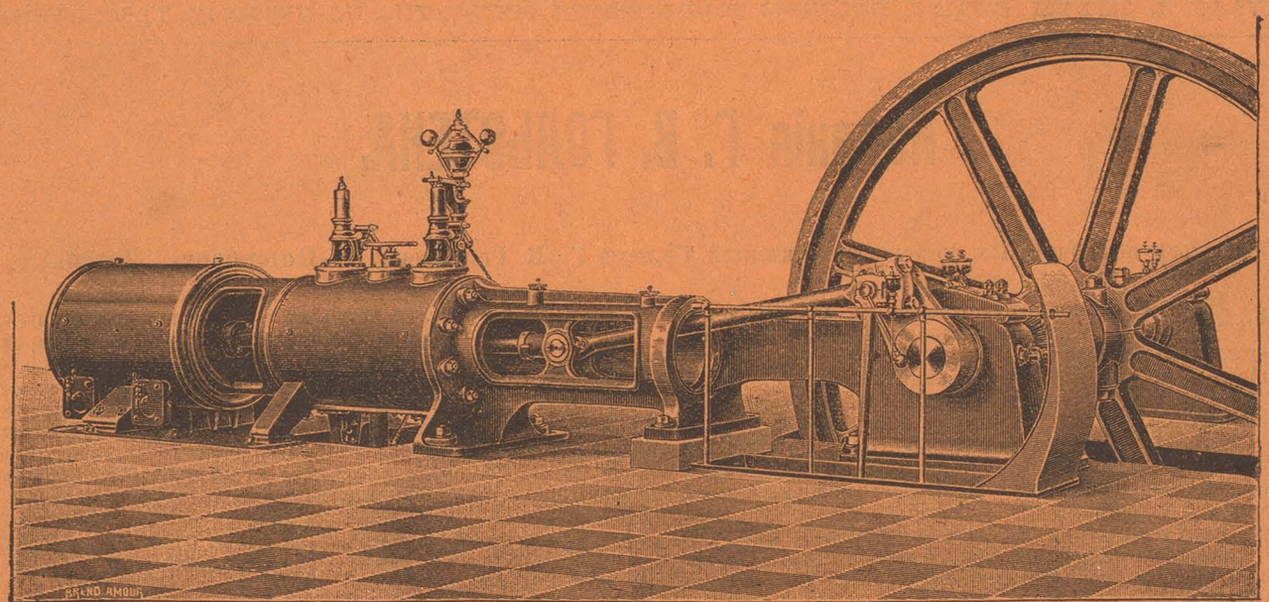
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Крауть и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Институт. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

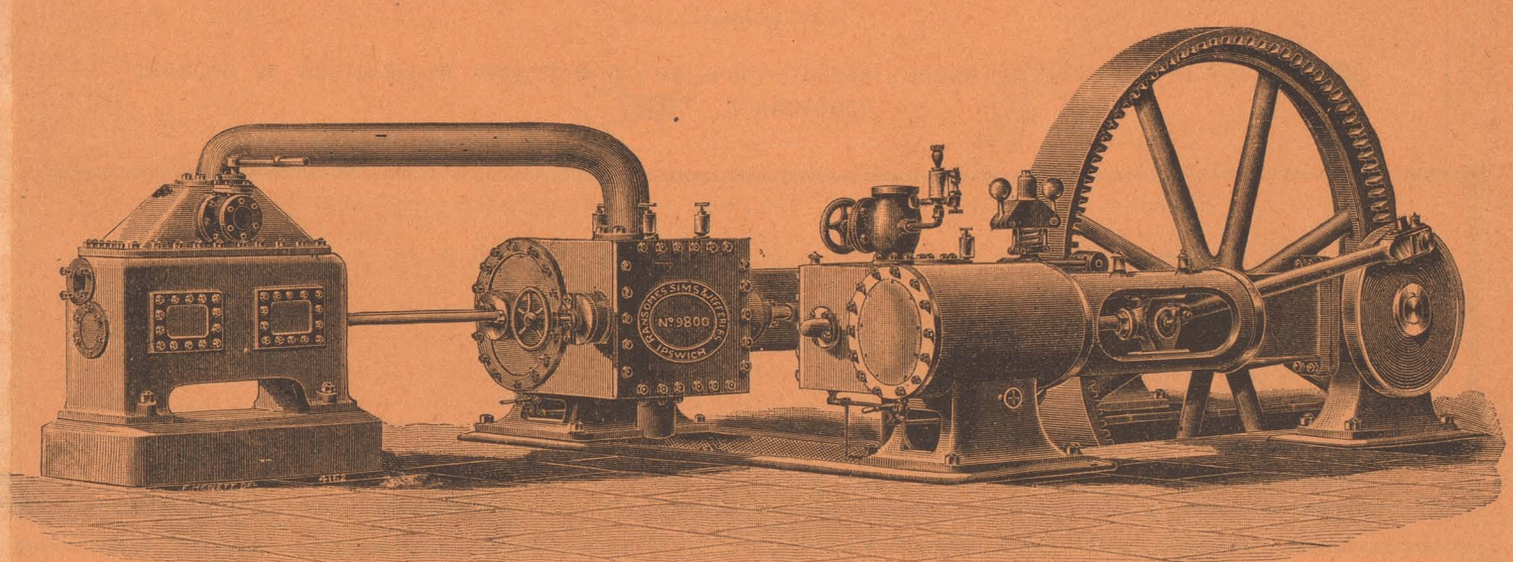
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ **№ 2155.** — Телегр. адр.: **Петербургъ, Жуковскому.**

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ“.

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Iохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

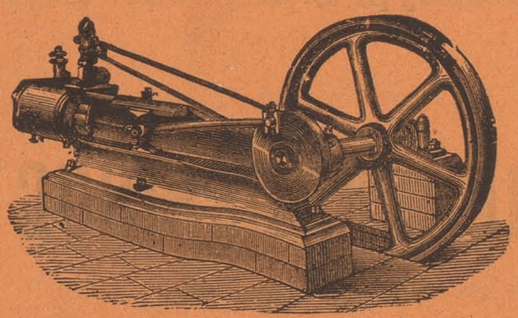
Ѳ. Iохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ**, Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 4 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

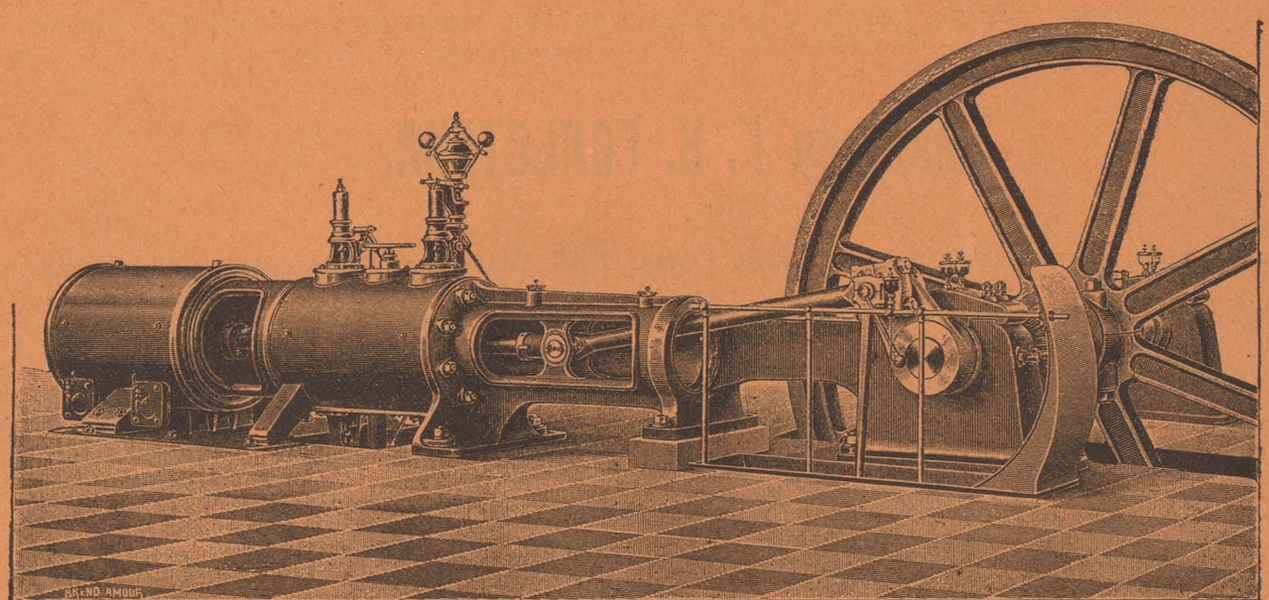
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Институт. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

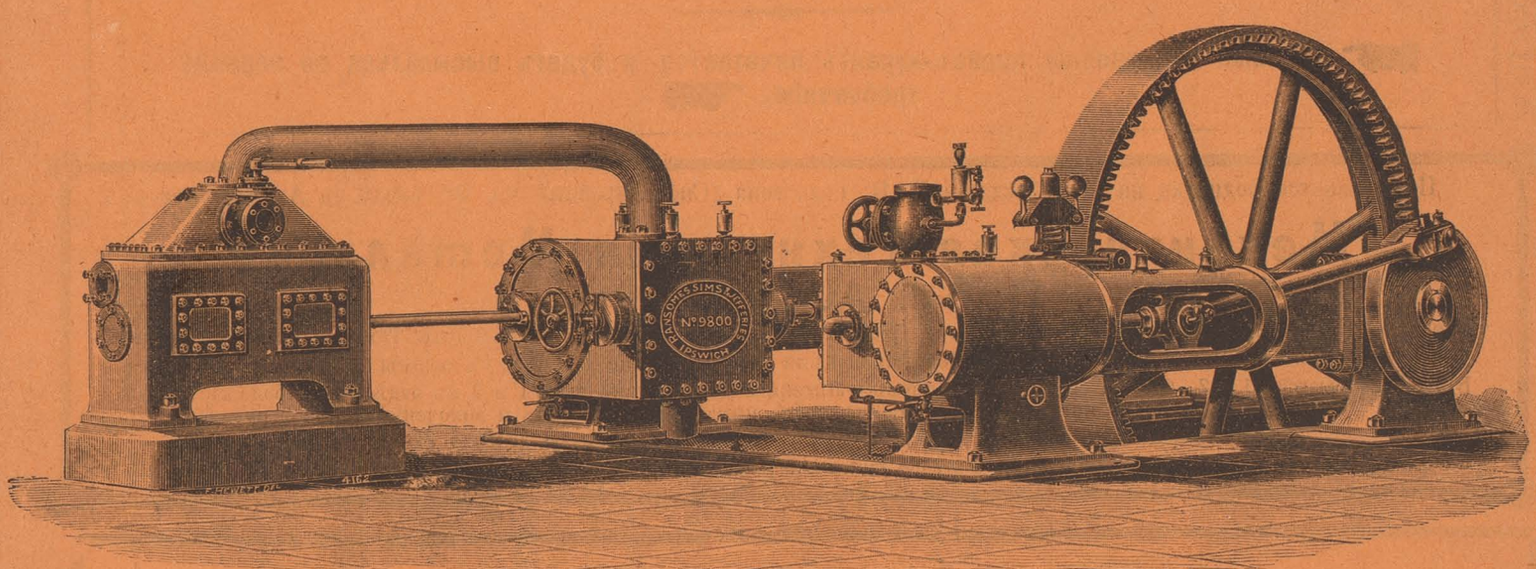
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ № 2155. — Телегр. адр.: Петербургъ, Жуковскому.

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ".

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

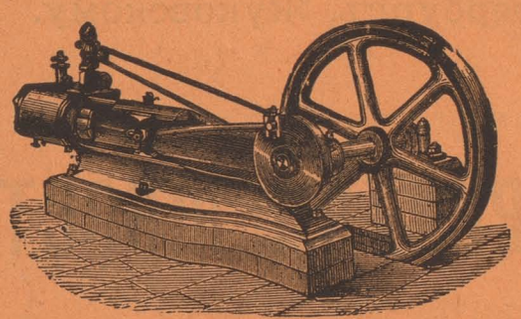
Ѳ. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный технический прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ,** Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 5 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А 256/7 5

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

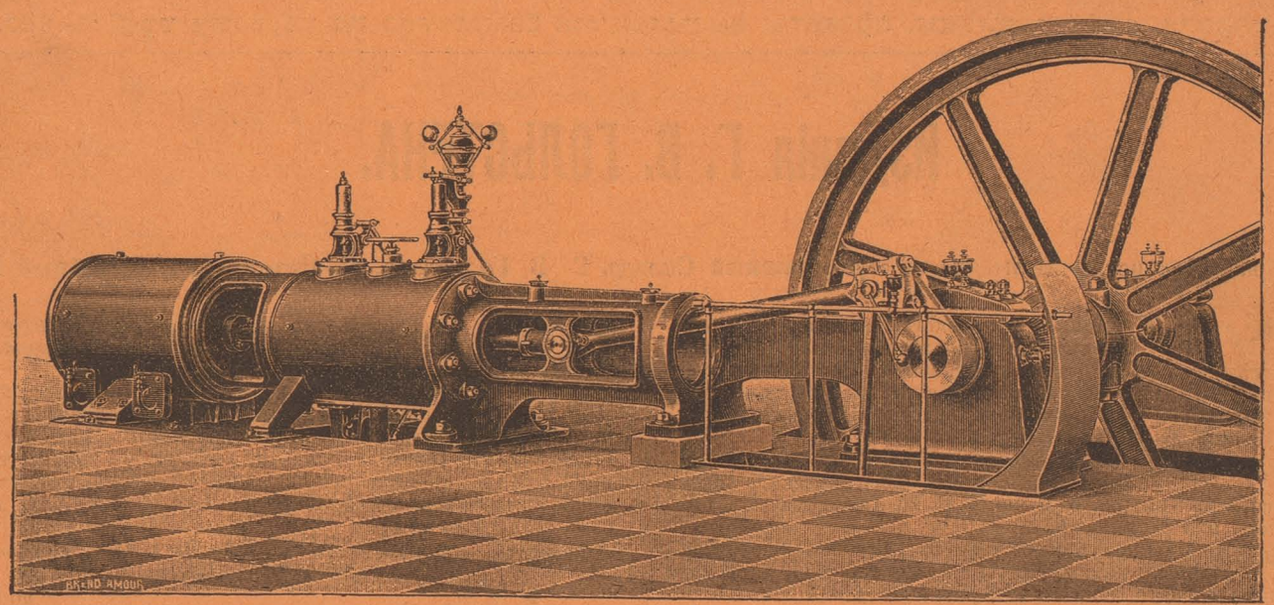
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СВОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.
С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.
1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

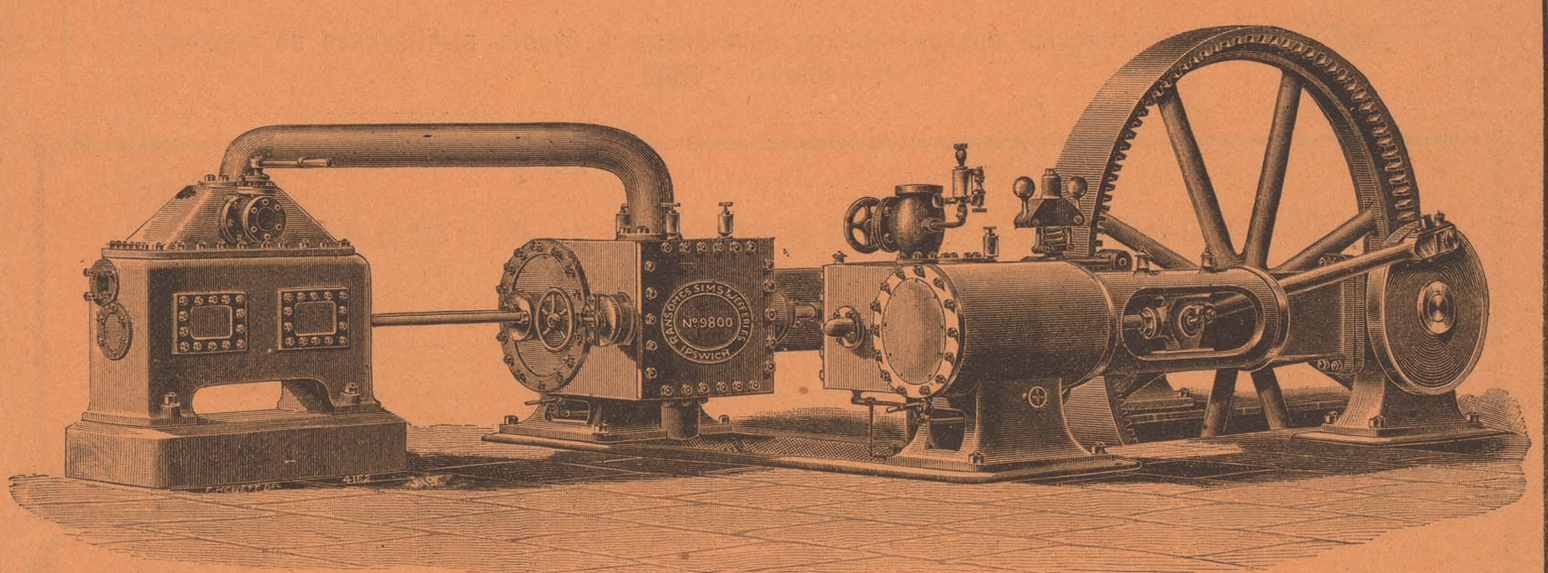
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ **№ 2155.** — Телегр. адр.: **Петербургъ, Жуковскому.**

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ".

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

Ѳ. Іохимъ и К°.

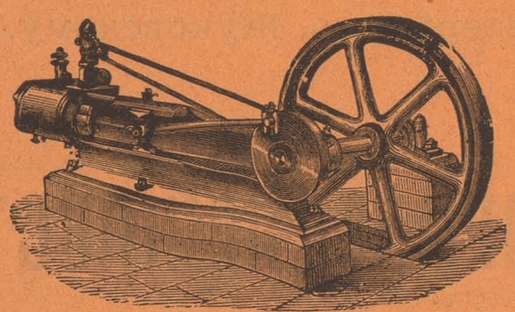
С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ**, Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ**.

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 6 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

№ 256

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

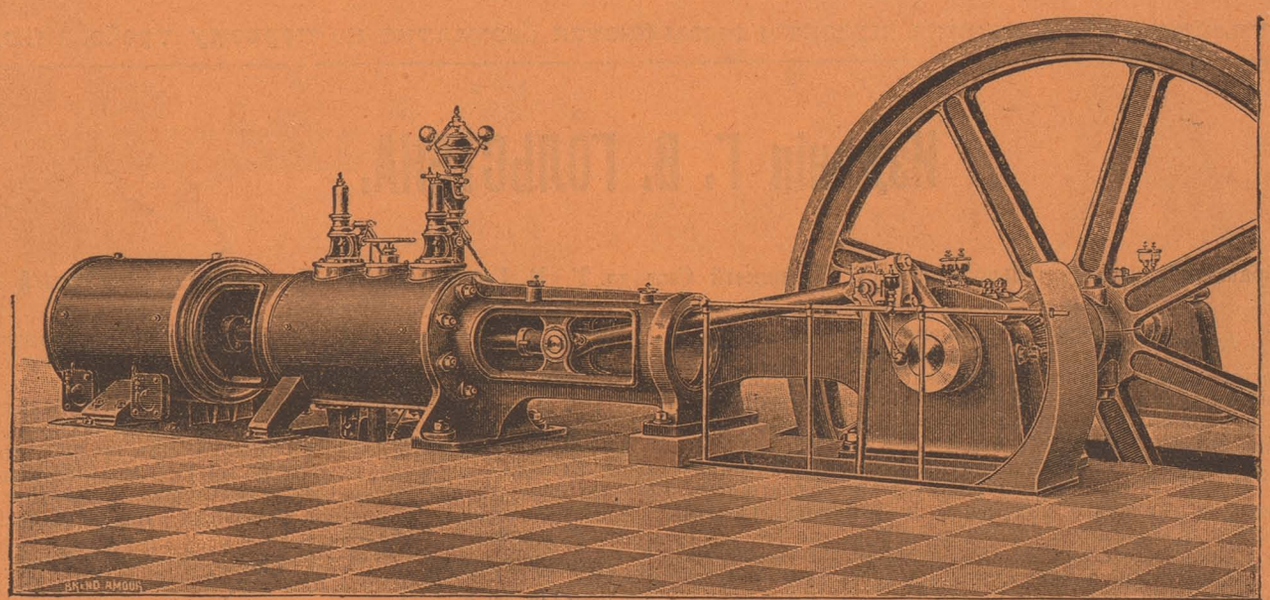
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

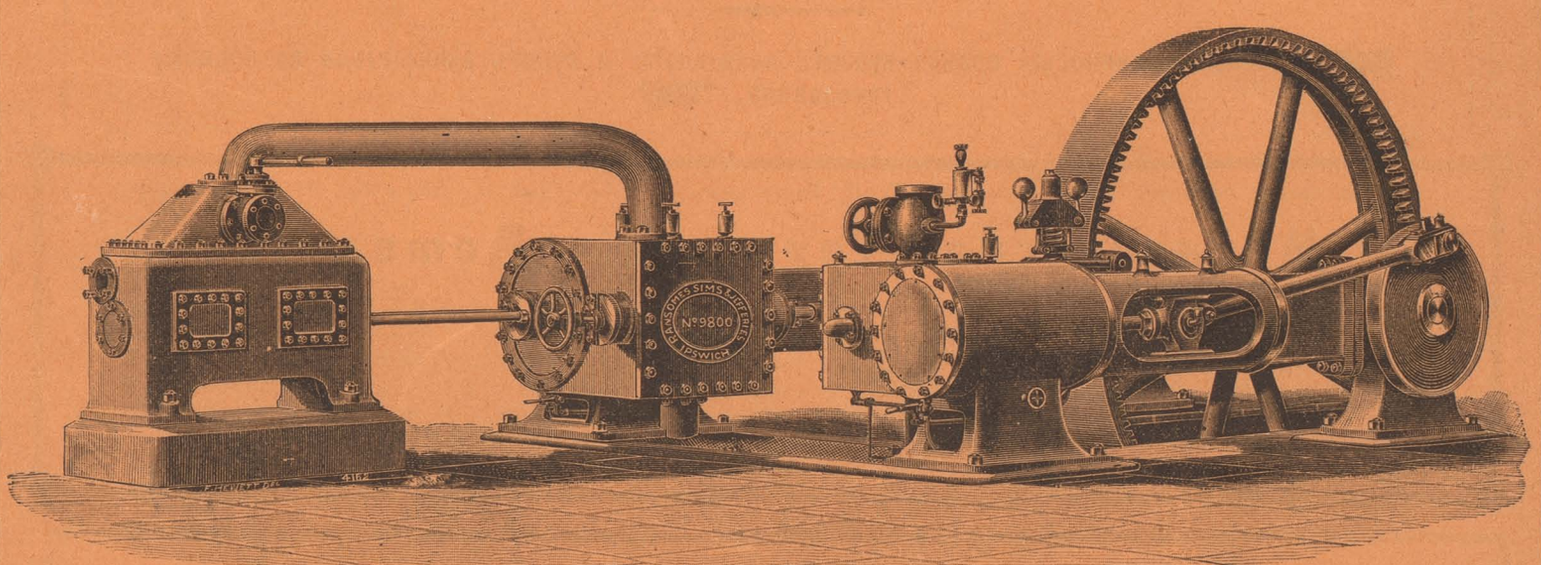
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ **№ 2155.** — Телегр. адр.: **Петербургъ, Жуковскому.**

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ".

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

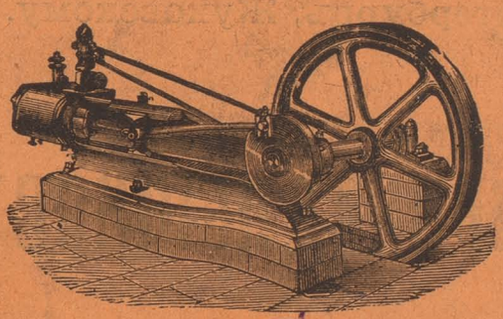
Ѳ. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ**, Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ**.
Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.
ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.
Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.
Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ
технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 1 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

№ 256
7 7

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

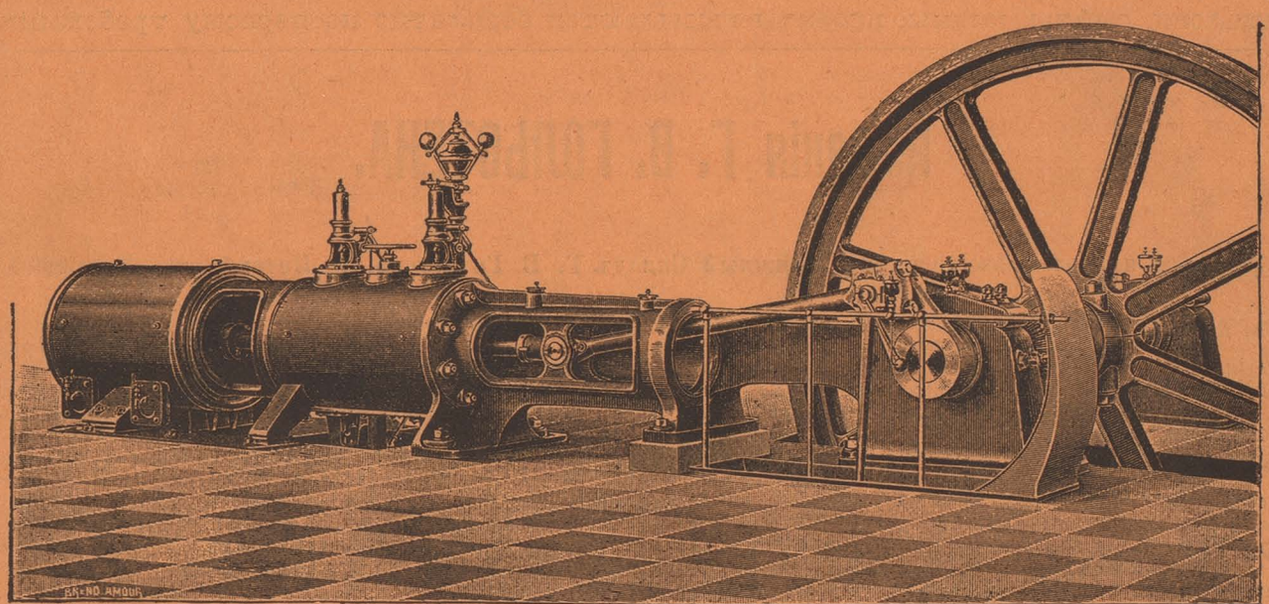
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

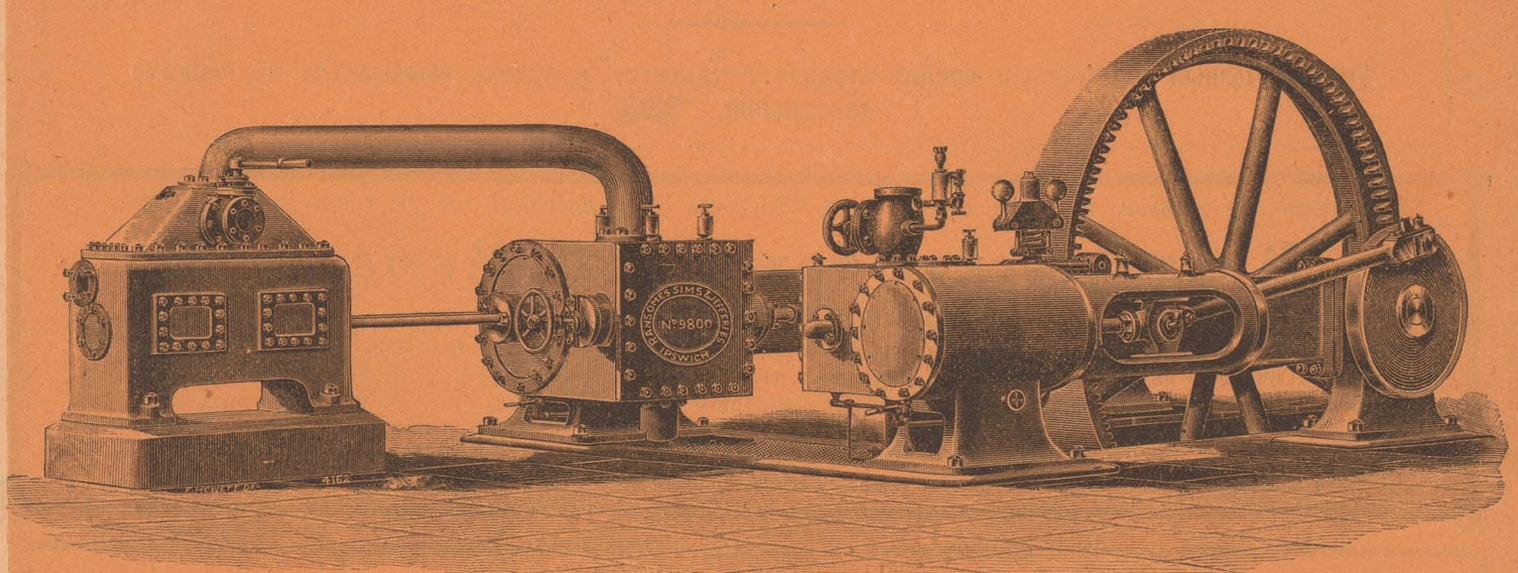
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ № 2155. — Телегр. адр.: Петербургъ, Жуковскому.

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ“.

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

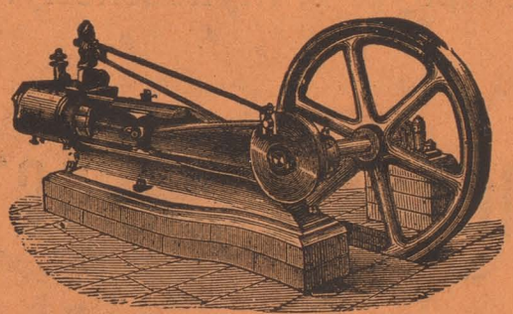
Ѳ. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ

Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ,** Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 55.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 8 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А 256/7 8

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

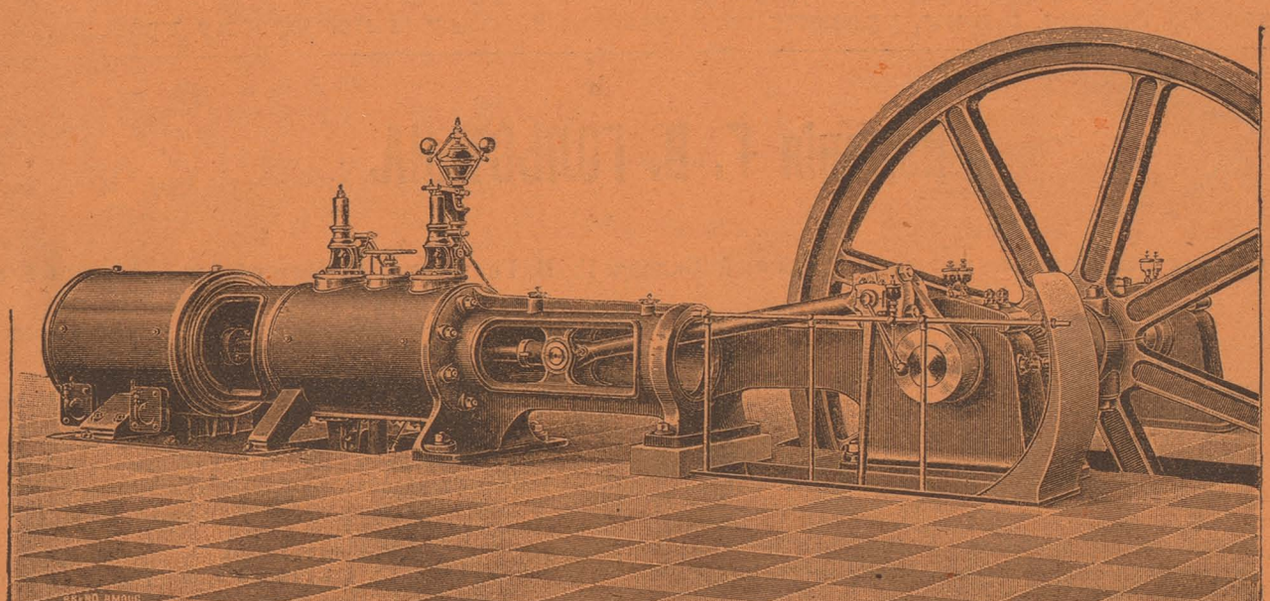
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ
ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.
ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

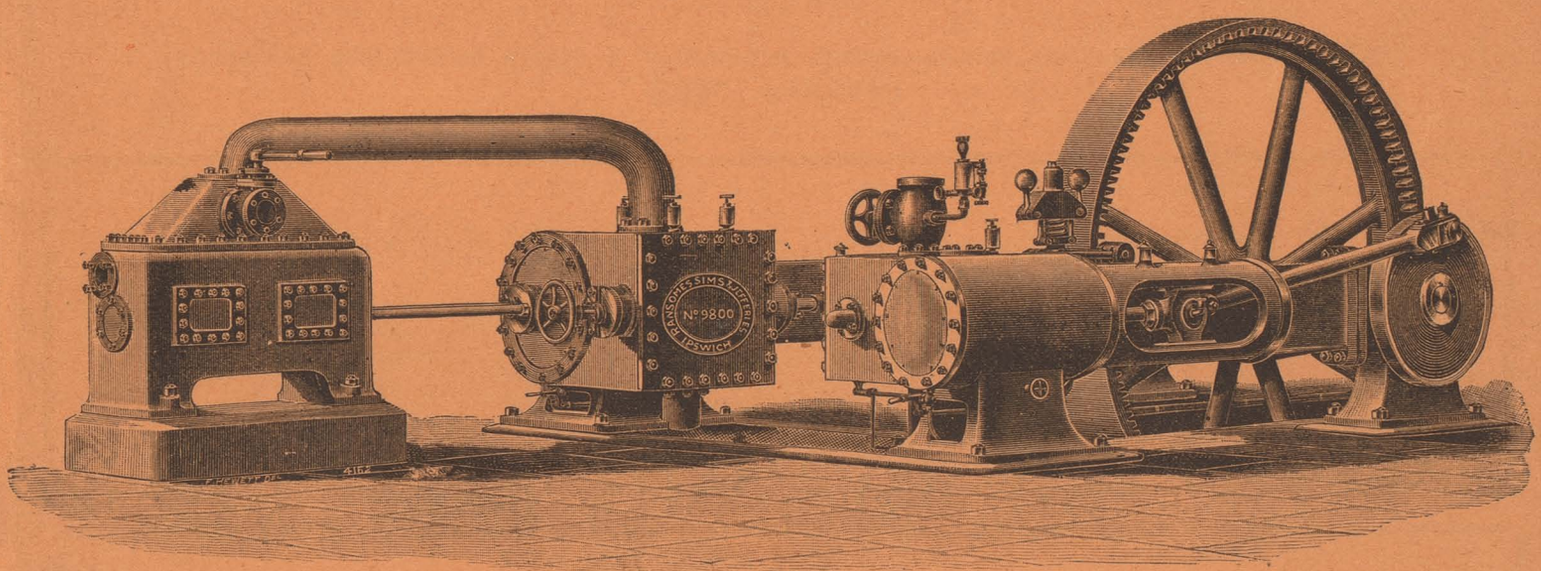
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ **№ 2155.** — Телегр. адр.: **Петербургъ, Жуковскому.**

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ".

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

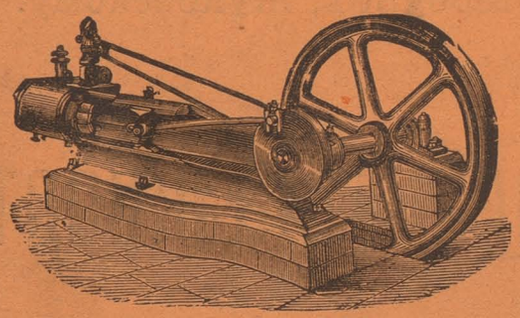
О. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный технической прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фосъ**, Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ**.

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ 9—10 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

Д 256/7

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

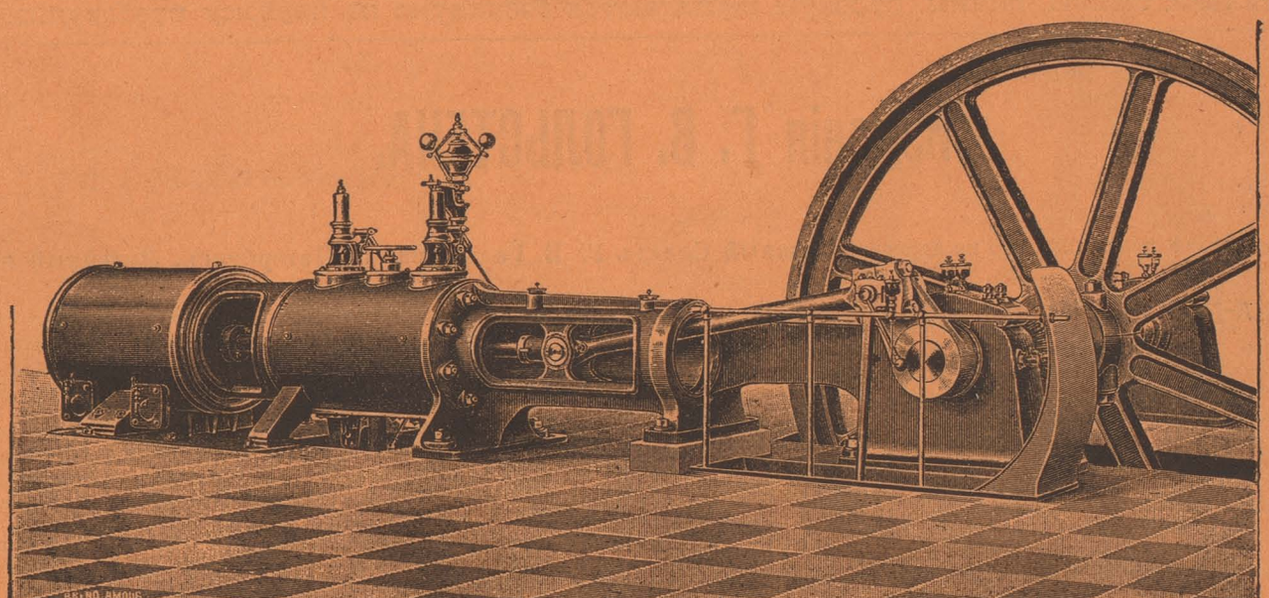
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.

С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.

1899.

Подписная цѣна на все изданіе 12 рублей, съ пересылкою 13 р. 50 к. (допускается разсрочка).

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ

ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.

ТЕХНЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена. С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ, Percy C. Gilchrist'омъ Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Краутъ и Мейеръ. Плотничьи и столярныя работы при внутренней отдѣлкѣ зданій. Съ 372 черт. и атласамъ изъ 82 таблицъ. Перев. съ 3-го нѣм. изд. подъ ред. Граж. Инж. Л. Гогина. Цѣна по подпискѣ 10 р. (печатается).

Садтлеръ. Руководство къ технической органической химіи Пер. со 2-го америк. изданія проф. Харьк. Технол. Инстит. А. Лидова. (Печатается). Цѣна около 6 р.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897 г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 50 к.

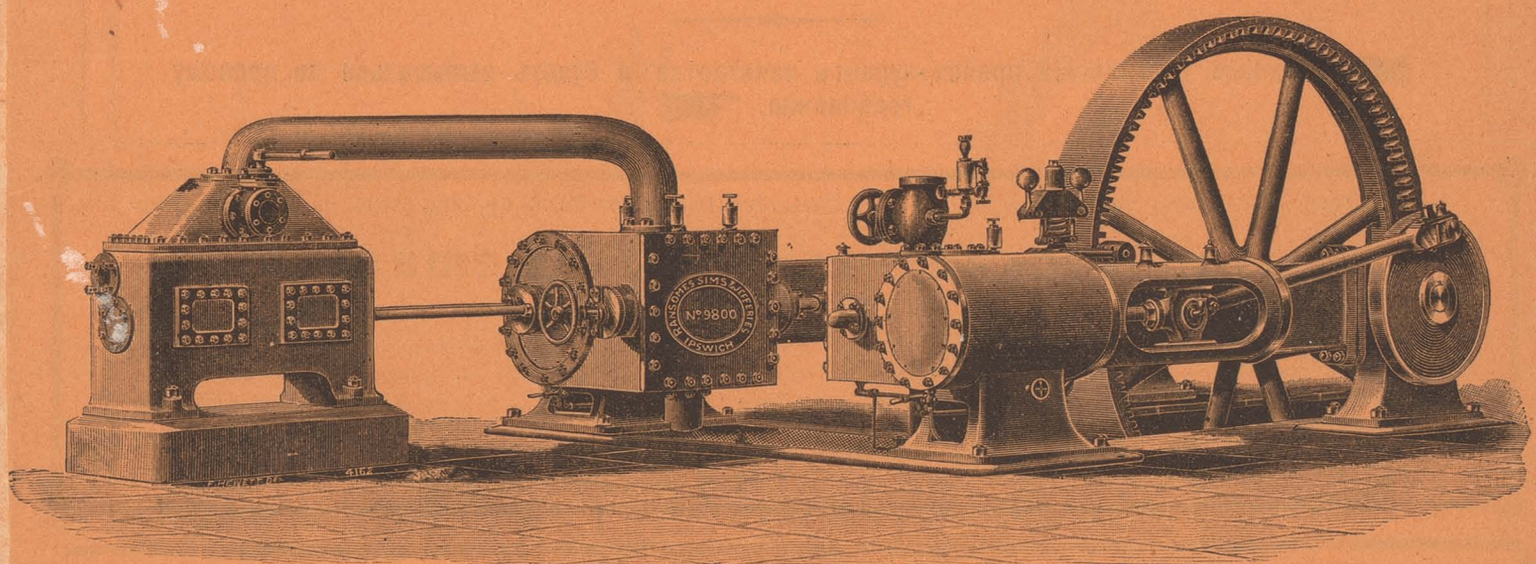
Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 35 к.

В. ЖУКОВСКІЙ.

С.-Петербургъ, Невскій пр., 97.

Телефонъ № 2155. — Телегр. адр.: Петербургъ, Жуковскому.

МАШИНЫ и МЕХАНИЧЕСКІЯ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ.



Паровыя машины и локомобили первоклассныхъ американскихъ, англійскихъ и германскихъ заводовъ — одно- и двухцилиндровыхъ и „Компоундъ“.

Турбины Джемса Леффеля. Единственное представительство завода «James Leffel & Co» въ Сѣверной Америкѣ.

Кирпичедѣлатель. америк. машины «Калифорнія» завода Henry Martin & Co. — Прессовка — аналогичн. ручной.

Лѣсопильныя рамы, ленточныя пилы лучшихъ шведскихъ, германскихъ и американскихъ заводовъ.

Паровыя лебедки новѣйшей системы.

Керосиновыя двигатели «Слава».

Деревообдѣлочные станки, спеціальн. и универсальные.

Заводскія и желѣзнодорожныя принадлежности.

Адресъ для телеграммъ: Іохимъ—С.-Петербургъ.

Техническая Контора *и Складъ машинъ*

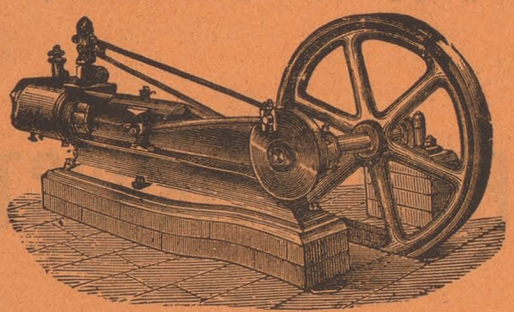
О. Іохимъ и К°.

С.-Петербургъ, Невскій пр. 3.

Представители заводовъ:

Маршаль Сыновья и К° въ Гейнсборо, Танге въ Бирмингамѣ, Шиммеля въ Хемницѣ, Шварцкопфа въ Берлинѣ и пр.

НА СКЛАДѢ БОЛЬШОЙ ВЫБОРЪ:



Паровыхъ котловъ и машинъ.
Компоундъ-локомобилей.
Паровыхъ и ручныхъ насосовъ.
Подъемныхъ снарядовъ и канатовъ.
Станковъ для обработки металла и дерева.
Паровыхъ прачешныхъ приборовъ.
Буравыхъ инструментовъ и трубъ.
Кожаныхъ ремней и азбестовыхъ издѣлій.

Полный техническій прейсъ-курантъ печатается и будетъ высылаться по первому требованію.

ТЕЛЕФОНЪ № 1002.

Продолжается подписка на новое изданіе Г. В. Гольстена (Спб. Литейный пр. 28, входъ съ Артилл. пер.).

Механическая Технологія Металловъ
Проф. А. Ледебура.

Перев. со 2 нѣм. изд.: Горн. Инж. **Ф. Фоссъ**, Проф. Технол. Инст. **А. Гатцукъ** и Инж.-Техн. **Л. Боровичъ.**

Сочиненіе издается въ 5—6 вып. Подписная цѣна на все изданіе **10** руб.; съ пересылкою **11** руб.

ВЫШЛИ: **Выпускъ 1 и 2.** (Общія свойства металловъ.—Литейное дѣло). Цѣна вып. 1 и 2 въ отдѣльной продажѣ 3 руб.
Выпускъ 3. (Обработка металловъ давленіемъ: ковка, прессованіе, прокатка и волоченіе). Цѣна 2 руб. 50 к.

Все изданіе будетъ окончено въ теченіе 1899 года.

Книга богато иллюстрирована (729 рис.) и особое вниманіе обращено на современность изображаемыхъ машинъ и орудій.

Продолжается подписка на ежемѣсячный журналъ

Техническая Библіографія

ЕЖЕМѢСЯЧНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

технической литературы на русскомъ, нѣмецкомъ, французскомъ и англійскомъ языкахъ, съ перечнемъ статей русскихъ техническихъ журналовъ.

Подписная цѣна на иностранный и русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (первое изданіе) за годъ 1 руб. съ доставкою и пересылкою.

Подписная цѣна на одинъ русскій отдѣлъ Технич. Библіографіи (второе изданіе безъ иностранной литературы) 30 коп. съ доставкою и перес.

Подписка принимается въ Книжномъ Складѣ Г. В. Гольстена, СПБ., Литейн. пр. 28, входъ съ Артилл. пер.

Книжнымъ Складомъ Г. В. Гольстена исполняются также всякіе заказы на книги, указанныя въ Технической Библіографіи.

Дозволено Цензурою С.-Петербургъ 20 Октября 1899 года.

ТИПО-ЛИТ. ЛЕЙФЕРТА, Б. МОРСКАЯ, 65.

Выходитъ въ 20 выпускахъ. ВЫПУСКЪ I.2 —15 Выходитъ въ 20 выпускахъ.

А 256/7

А. ПОЛЬГАУЗЕНЪ.

ПАРОВЫЯ МАШИНЫ,

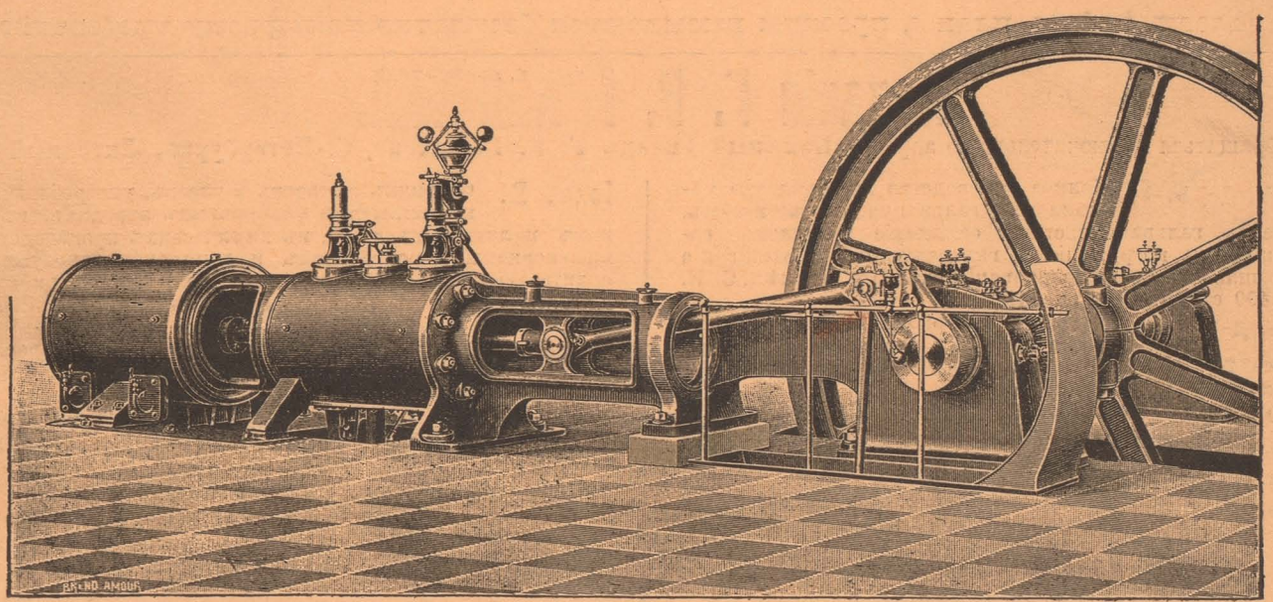
ИХЪ

ДѢЙСТВІЕ, РАЗСЧЕТЪ, КОНСТРУКЦІЯ, СБОРКА и УСТАНОВКА.

ПЕРЕВОДЪ СЪ НѢМЕЦКАГО СТУД.-ТЕХНОЛОГА **М. Шиллинга.**

Подъ редакціей

Профессора Горнаго Института А. КОНДРАТЬЕВА.



Съ 169 чертежами въ текстѣ и 50 отдѣльными таблицами.

Изданіе Г. В. Гольстена.
С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.
1899.

Подписная цѣна на все изданіе **12** рублей, съ пересылкою **13** р. **50** к. (допускается разсрочка),
а до выхода 2-го выпуска **10** рублей, съ пересылкою **11** р. **50** к.

С.-Петербургъ

Большая Конюшенная ул. № 9.
Телефонъ № 861 и 2406.

Уголъ Вознесенскаго и Екатерингофскаго просп., д. Кольбе.
Телефонъ № 2410.

МОСКВА

Маросейка, № 10 собств. домъ.

ОТДѢЛЕНІЯ:

Варшава, Ростовъ н/Д., Одесса, Иркутскъ, Тюмень.

Р. КОЛЬБЕ.

Адресъ для телеграммъ — **КОЛЬБЕ.**

СКЛАДЫ
ТЕХНИЧЕСКІЙ и ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКІЙ.
ТЕХНИЧЕСКОЕ БЮРО.

Представительства извѣстнѣйшихъ русскихъ и иностранныхъ заводовъ.

Каталоги, смѣты, планы, проекты высылаются безплатно по первому требованію.

Изданія Г. В. ГОЛЬСТЕНА.

Просятъ обращаться исключительно по адресу: **Книжный Складъ Г. В. Гольстена, С.-Петербургъ, Литейный пр. 28.**

Лангбейнъ, д-ръ, Г. Полное руководство къ осажденію металловъ гальваническимъ путемъ. Гальваностегія, гальванопластика, осажденіе металловъ соприкосновеніемъ и погруженіемъ, гальваническое окрашиваніе металловъ, шлифованіе и полированіе ихъ. Пер. съ нѣм. С. И. Созоновъ. 499 стр. Съ 101 рис. Ц. 3 р.

Борхерсъ, д-ръ, В. Электрометаллургія. Полученіе металловъ при помощи электрическаго тока. Переводъ со 2-го нѣмецкаго изданія С. И. Созонова. Съ 188 рис. въ текстѣ и 3 таблицами. Цѣна 5 р.

Фоссъ, Ф. Полученіе стали по способу „Bertrand-Thiel". Составлено по докладу чит. 14 декабря 1896 г. въ засѣданіи Кливиленскаго Общ. Инженеровъ Percy C. Gilchrist'омъ. Спб. 1897 г. Цѣна 60 к.

Кюнклеръ, А. Производство всевозможныхъ смазочныхъ маслъ для машинъ, кожъ и т. п. Переводъ съ нѣмецкаго А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 руб.

Кайзеръ, д-ръ, Р. Практическое руководство къ обработкѣ металловъ химическимъ путемъ. Цѣна 1 р. 25 к.

Видеманъ и Эбертъ. Руководство къ физическимъ измѣреніямъ. Перев. съ нѣмец. Г. Рамнека. Въ трехъ частяхъ. 1) Общая часть, теплота, 2 руб. 75 к.; 2) Оптика, 1 р. 50 к.; 3) Ученіе объ электричествѣ, 2 руб. 25 к. Подписная цѣна на все изданіе 5 р. (Печатается).

Кренке, Г. Руководство по разбивкѣ желѣзнодорожныхъ и шоссейныхъ кривыхъ для всевозможныхъ угловъ и радіусовъ. Перев. съ 13-го нѣм. изд. 1896 г. Съ табл. черт. Ц. 1 р. Въ мягк. каленкор. переплетѣ 1 р. 25 к.

Іэпъ, В. Сборникъ замазокъ и клеевъ, употребляющихся на картонныхъ и фарфоровыхъ заводахъ, въ машинномъ и литейномъ дѣлѣ, въ химическихъ производствахъ, въ инженерномъ, строительномъ и гончарномъ искусствахъ, въ архитектурѣ, въ слесарномъ, кузнечномъ, столярномъ, токарномъ, плотничьемъ и проч. ремеслахъ. Перев. А. С. Комаровскій. Цѣна 1 р. 50 к.

Ламаннъ, Д-ръ. Предупредитель болѣзней. Перев. съ нѣм. Съ 4 иллюстр. Цѣна 1 р. 50 к. Съ пересылкою 1 р. 80 к.

Леобнеръ, Г. О манесмановскомъ способѣ прокатки трубъ. Переводъ съ нѣмецк. изд. 1897. г. Съ 3 литогр. табл. чертежей. Цѣна 60 к.

Treadwell и Meyer. Таблицы для качественнаго анализа. Перев. съ нѣмецк. А. С. Комаровскаго. Цѣна 1 р. 25 к.

Шлоттербекъ, Г. Практическіе, легко усваиваемые пріемы къ скорому и облегченному счисленію. Переводъ съ 3-го нѣм. изд. Цѣна 60 к.

Мебіусъ, А. Ф. Астрономія. Съ 8 нѣмецк. изд. обраб. проф. Т. Кранцемъ, перев. Л. Г. Малисъ. Съ 38 фиг. и картой сѣверн. звѣздн. неба. Цѣна 80 к.

Энгельсъ, Фр. Происхожденіе семьи, частной собственности и государства. Изд. 3-е. Цѣна 1 р.

Иссель, Г. Внутренняя отдѣлка. Устройство дверей и оконъ, обшивка и украшеніе стѣнъ, раздѣлка потолковъ, устройство деревянныхъ, каменныхъ и желѣзныхъ лѣстницъ. Перев. съ нѣмецкаго Б. Дубино-Княжицкаго. Съ 533 чертежами и 7 таблицами. Цѣна 3 р. Съ пересылкою 3 р. 50 к.

Въ Книжномъ Складѣ Г. В. ГОЛЬСТЕНА, С.-Петербургъ, Литейный пр. 28, продается новое изданіе:

А. Польгаузенъ. Подъемныя машины. Атласъ конструктивныхъ чертежей подъемныхъ машинъ и ихъ деталей. Съ текстомъ: **Схемы разсчетовъ.** 94 табл. in 4° съ прибл. 80 стр. текста.

Обработалъ для русскихъ техниковъ **А. В. Шкларевичъ.**

Содержаніе: Ленты, канаты, цѣпи, блоки, барабаны, рукоятки. — Крюки и петли. — Храповики и тормаза; предохранители.—Блоковые подъемы.—Домкраты, вороты, шпили и лебелки.—Краны.

Изданіе состоитъ изъ атласа (94 односторон. гравиров. на камнѣ таблицы in Quarto) и текста **Схемы разсчетовъ.** Весь матеріалъ раздѣленъ на три отдѣла. Въ первомъ помѣщены конструкціи, данныя и формулы для разсчета разнообразныхъ деталей подъемныхъ машинъ. Второй отдѣлъ заключаетъ въ себѣ простѣйшіе подъемные механизмы (блоки и т. п.). Третій отдѣлъ посвященъ кранамъ. Здѣсь даны образцовыя конструкціи самыхъ разнообразныхъ типовъ этихъ машинъ и полныя схемы для ихъ разсчетовъ. Въ число разнообразныхъ типовъ вошли краны ручные, приводные, паровые и электрическіе. Всѣ конструкціи взяты изъ испытанныхъ продолжительною практикою механизмовъ и машинъ, построенныхъ лучшими заводами. Настоящее изданіе предназначается служить **пособіемъ при проектированіи подъемныхъ машинъ.** Цѣна въ папкѣ 7 р.

2012403108