ИЗВѢСТІЯ
Томскаго Технологическаго Института
Императора Николая II.
т. 10. 1908. № 2.

II.

А. М. Крыловъ.

ТЕОРІЯ И РАСЧЕТЪ ИНЖЕКТОРА.

Глава IV, V, VI съ приложеніемъ 9 таблицъ чертежей.

69—155.

Пріемная насадка.

Смѣсь воды и не конденсированнаго еще пара, выйдя изъ конденсаціонной насадки, вступаетъ въ пріемную. Послѣдняя представляетъ изъ себя трубу, составленную изъ короткаго и болѣе длиннаго конусовъ, обращенныхъ другъ къ другу вершинами; въ мѣстѣ соединенія ихъ полезно имѣть незначительную по длинѣ цилиндрическую вставку, опредѣляющую направленіе движенія частицъ воды параллельно оси трубы. Въ этомъ именно мѣстѣ насадка имѣетъ наименьшій діаметръ. Многократно наблюдая работу своего прибора, Жиффаръ пришелъ къ заключенію, что мощность его, т. е. способность подавать извѣстное количество воды при всѣхъ прочихъ однихъ и тѣхъ же условіяхъ, зависитъ непосредственно отъ этого размѣра; она можетъ быть выражена эмпирической формулой $E=28d^2\sqrt{p}$, гдѣ d обозначаетъ діаметръ устья пріемной насадки и p—давленіе котла, изъ котораго берутъ паръ. Дѣйствительно, если скорость струи и плотность ея будутъ тѣми же при входѣ въ пріемную насадку, то количество подаваемой воды будетъ измѣняться пропорціонально измѣненію площади устья или квадрату діаметра его.

Если бы можно было разсматривать процессъ работы происходящимъ безъ потерь отъ тренія, ударовъ, измѣненій сѣченія и пр., то мы имѣли бы очень простой методъ опредѣленія мощности инжектора: струя воды, вошедшая въ пріемную насадку, должна преодолѣть давленіе со стороны котла на питательный клапанъ; очевидно, что скорость струи должна быть въ устьѣ лишь немного болѣе той, съ которою вытекала бы изъ котла горячая вода подъ разностью напоровъ, соотвѣтствующихъ давленію въ котлѣ и давленію предъ насадкой. Умножая опредѣленную такимъ путемъ скорость на площадь устья, мы имѣли бы секундный расходъ воды инжекторомъ. Однако, вредныя сопротивленія и, особенно, уменьшеніе плотности струи по сравненіи съ плотностью воды въ зависимости отъ неполноты конденсаціи, такой способъ при болѣе или менѣе точномъ испытаніи дѣлаютъ непримѣнимымъ. Приходится опредѣлить наблюденіемъ и непосредственнымъ взвѣшиваніемъ дѣйствительный расходъ инжектора; если теперь раздѣлимъ его на расходъ, вычисляемый теоретически по скорости, мы получимъ отношеніе, всегда меньшее единицы,

которое можетъ служить характеристикой даннаго прибора; это будетъ его коэффиціентъ полезнаго дѣйствія. Такой методъ сравненія можетъ быть примѣненъ почти ко всѣмъ одиночнымъ инжекторамъ. Пусть, напр., имѣется приборъ, діаметръ устья котораго 12 $^{m}/_{m}$. Опытомъ найдено, что въ секунду было подано 2,683 kgr. воды и израсходовано 0,228 kgr. пару, т. ч. вѣсъ смѣси былъ 2,91 kgr.*) Рабочее давленіе котла было 8 atm; ему отвѣчаетъ напоръ 82,664 met. (предъ устьемъ давленіе= атмосферному); скорость истеченія воды была бы 40,27 mtr. Чрезъ устье даннаго инжектора могло бы пройти воды 4,55 kgr.; отсюда отношеніе $E = \frac{2,910}{4,55} = 0,64$. Чѣмъ меньше то противодавленіе, на которое можетъ работать инжекторъ, тѣмъ выше будетъ у него это отношеніе E; но въ дѣйствительности, всегда почти каждый инжекторъ въ состояніи нагнетать воду при большемъ противодавленіи, чѣмъ давленіе пара, которымъ пользуются для работы его. Такъ какъ инжекторъ ставится для каждаго котла и работать ему приходится почти исключительно паромъ этого котла, то такое увеличеніе предѣла возможнаго противодавленія не имѣетъ значенія. Нужно лишь, чтобы скорость въ устьѣ была настолько велика, что за вычетомъ всѣхъ вредныхъ сопротивленій, струя обладала бы кинетической энергіей, достаточной для входа въ котелъ. Такъ какъ инжекторъ тѣмъ лучше, чѣмъ болѣе удалены предѣлы, въ которыхъ онъ можетъ подавать воду при каждомъ давленіи, то увеличеніе E означало бы въ то же время и увеличеніе возможнаго для maximum' а и minimum' а интервала въ расходѣ его. Поэтому, встрѣчающееся иногда указаніе на разность рабочаго давленія пара и возможнаго противодавленія скорѣе слѣдуетъ считать характеристикой отрицательной; это означаетъ, что либо не вся кинетическая энергія струи используется при ударѣ и скорость струи слишкомъ велика при прохожденіи ею устья, либо, если увеличеніе количества воды сопряжено съ потерей чрезъ сливное отверстіе, неполноту конденсаціи, связанную съ значительнымъ уменьшеніемъ плотности струи. При вычисленіи E можетъ возникнуть вопросъ, какова температура подаваемой инжекторомъ воды; одинъ можетъ нагнетать ее болѣе горячей, другой менѣе нагрѣтой; горячей воды должно пройти меньше, такъ какъ объемъ ея больше; но это не существенно, такъ какъ удѣльный объемъ воды съ измѣненіемъ температуры измѣняется очень незначительно.

Такъ, по формулѣ Hirn'a зависимость между уд. объемомъ воды v и температурой ея t указывается слѣдующимъ равенствомъ:

$$v = 0,001\ (1 + 0,00009t + 0,0000034t^2).$$

*) Ann. d. Mines, 1860, т. XVII, оп. Deloy.

Вычисленіе даетъ для температуръ отъ

—20°	до +115°	v=0,001.
120°	до 125°	v=0,00106.
130°	до 135°	v=0,00107.
200°		v=0,00115.

Въ виду этого, независимо отъ температуры, вычисляемыя количества воды довольно точно будутъ соотвѣтствовать дѣйствительнымъ. Итакъ, вычисляя коэф. E для ряда инжекторовъ различныхъ фирмъ, но одного и того же размѣра и типа, мы тотчасъ получаемъ возможность судить о степени совершенства и соотвѣтствія того или другого своему назначенію. Условія опыта, конечно, кромѣ смѣны самыхъ инжекторовъ, должны оставаться неизмѣнными, т. е. должны быть одни и тѣ же давленіе пара, температура всасываемой воды, высота всасыванія и пр. Въ цѣляхъ сравненія можно также вычислять расходъ инжектора, относя его къ 1 кв. mm. площади устья; въ этомъ случаѣ превосходство одного прибора надъ другимъ будетъ выражено рельефнѣе и цифры легче запоминаются.

Площадь устья пріемной насадки даетъ намъ возможность опредѣлить мощность инжектора; но величина коэфф. E не зависитъ отъ этой насадки; она принимаетъ струю смѣси извѣстнаго состоянія и ея роль заключается въ превращеніи кинетической энергіи этой струи въ потенціальную.

То или другое значеніе для E, хотя и будетъ вычислено по размѣру этой насадки, но зависитъ главнымъ образомъ отъ правильности размѣровъ и очертанія конденсаціонной насадки; форма же пріемной насадки вліяетъ главнымъ образомъ на то, можетъ ли инжекторъ нагнетать воду только при давленіи котла, или противодавленіе можетъ быть выше, или должно быть ниже рабочаго давленія пара. Когда струя смѣси воды и пара войдетъ въ пріемную насадку, ея дальнѣйшее движеніе въ ней можетъ происходить весьма разнообразными способами.

Какимъ именно образомъ будетъ происходить это движеніе, будетъ зависѣть отъ угла конусности расходящейся части насадки, отъ состоянія стѣнокъ ея, отъ скорости струи, весьма вѣроятно, отъ физическихъ свойствъ матеріала трубы, т. е. смачивается ли онъ струей, имѣетъ ли мѣсто большое сцѣпленіе между водой и стѣнками и т. д. Роль насадки уже достаточно ясна; кинетическая энергія струи должна быть въ ней превращена въ потенціальную для преодолѣнія сопротивленій, включая питательный клапанъ; часть же ея должна остаться въ первоначальномъ видѣ, чтобы струя, пройдя клапанъ, могла двигаться по питательной трубѣ до выхода въ котелъ. Если пріемной насадкѣ дать форму, указанную на фиг. 28, то стѣнки насадки на движеніе струи не будутъ имѣть никакого вліянія; струя изъ такой насадки будетъ вытекать также точно, какъ и при свободномъ истеченіи въ атмосферу.

Кинетическая энергія ея почти вся будетъ израсходована на внутреннія вихревыя движенія, водовороты и молекулярныя движенія частицъ по поверхности струи; такая струя не можетъ дать большой полезной работы. Чѣмъ больше будетъ уголъ конусности при значительной скорости входа, тѣмъ меньше струя въ такомъ случаѣ будетъ способна къ совершенію извѣстной полезной работы; наоборотъ, при маломъ углѣ конусности вода, проходя одно за другимъ послѣдовательно увеличивающіяся сѣченія трубы, будетъ выполнять трубу, она будетъ скользить вдоль стѣнокъ ея; кромѣ обусловленной треніемъ объ эти стѣнки потери, другихъ быть въ ней, при надлежащей формѣ насадки, не должно. Струя, переходя изъ одного сѣченія насадки въ другое, будетъ замедлять движеніе, но въ каждомъ сѣченіи за счетъ уменьшенія скорости будетъ ростать давленіе въ струѣ, которое равномѣрно передается стѣнкамъ въ данномъ сѣченіи. Это увеченіе давленія обусловливается подпоромъ сзади движущихся частицъ, обладающихъ большею скоростью, на идущія впереди со скоростью замедленной. Въ моментъ выхода изъ какого-либо сѣченія струя по инерціи стремится двигаться съ тою же скоростью, но встрѣчаетъ впереди лежащія частицы воды и оказываетъ на нихъ давленіе. Представимъ себѣ, что по плоскости катится шаръ съ извѣстной скоростью; если мы преградимъ ему путь, то на этотъ предметъ шаромъ будетъ произведено давленіе, зависящее отъ массы и скорости его; если бы мы пожелали задержать шаръ какой-либо гибкой связью, укрѣпленной въ точкѣ отправленія шара, то въ моментъ, когда шаръ пройдетъ путь, равный длинѣ связи, онъ окажетъ на послѣднюю растягивающее дѣйствіе. Эти два явленія и имѣютъ мѣсто въ пріемной насадкѣ, въ которой струя, выполняя сѣченіе, движется замедленно. Рядъ послѣдовательныхъ толчковъ, происходящихъ безъ ударовъ въ силу безконечно малой разности скоростей въ двухъ смежныхъ сѣченіяхъ, производимыхъ идущими позади частицами на впереди лежащія, суммируется къ выходному сѣченію въ работу, которая можетъ быть равна или больше работы, совершаемой внѣшнимъ по отношенію къ пріемной насадкѣ давленіемъ надъ струей при выходѣ изъ нея. Рядъ же импульсовъ, дѣйствующихъ съ натяженіемъ, производимыхъ впереди лежащими частицами на находящіеся сзади нихъ, съ которыми онѣ связаны сцѣпленіемъ, вызываетъ явленіе засасыванія, чѣмъ и объясняется всасывающее дѣйствіе расходящихся насадокъ, называемыхъ насадками Venturi, который впервые изучилъ дѣйствіе ихъ. Уже изъ этого видно, что форма насадки должна играть большую роль и вліяніе на величину того противодавленія, которое можетъ имѣть мѣсто при данномъ инжекторѣ.

Каковъ же законъ, управляющій движеніемъ струи и превращеніемъ ея кинетической энергіи въ потенціальную при прохожденіи ею этой насадки? Если уголъ конусности расходящейся части насадки малъ, т. ч.

струя выполняетъ каждое сѣченіе ея, то, очевидно, ни въ одномъ мѣстѣ не могутъ возникнуть ни вихри, ни водовороты.

Прослѣдимъ, въ самомъ дѣлѣ, движеніе нѣкоторыхъ частицъ жидкой струи съ момента входа ея въ устье. Центральная частица струи, двигаясь поступательно, пройдетъ траекторію, совпадающую съ осью насадки; всѣ другія частицы, лежащія вокругъ этой, будутъ описывать траекторіи тѣмъ болѣе отходящія отъ оси насадки, т. е. отклоняющіяся къ периферіи, чѣмъ дальше онѣ расположены отъ центра; чѣмъ меньше будетъ уголъ конусности, тѣмъ больше, очевидно, будутъ радіусы кривизны этихъ траекторій; мы можемъ для этого случая считать, что касательныя къ траекторіямъ въ любомъ (вертикальномъ) сѣченіи, перпендикулярномъ къ оси, будутъ наклонены подъ весьма малымъ угломъ къ оси, или почти ей параллельны. Такое предположеніе облегчаетъ задачу разсмотрѣнія, такъ какъ мы имѣемъ дѣло въ данномъ случаѣ только съ поступательнымъ движеніемъ каждой частицы въ одномъ и томъ же направленіи, а это съ своей стороны обусловливаетъ равномѣрность распредѣленія давленія на площадь струи въ любомъ ея произвольномъ сѣченіи. Разсмотримъ теперь движеніе центральной частицы и полученные для нея выводы примѣнимъ въ силу вышесказанаго непосредственно ко всей струѣ жидкости. Пусть α (фиг. 30) сѣченіе, перпендикулярное оси насадки, а слѣдовательно и самой центральной струйкѣ, отстоящее отъ входа въ насадку на разстояніе l; площадь центральной струйки пусть будетъ ω; обозначимъ чрезъ u скорость, съ которою частицы жидкости проходятъ это сѣченіе α, и черезъ p—давленіе, нормальное къ площади сѣченія; для сѣченія безконечно близкаго, расположеннаго на разстояніи dl отъ перваго, пусть du и dp представляютъ приращенія скорости и давленія; γ—вѣсъ единицы объема жидкости.

Ограниченный этими сѣченіями элементъ центральной струйки имѣетъ объемъ ωdl; слѣва на него дѣйствуетъ давленіе ωp, справа—$\omega(p+dp)$; слагающая этихъ двухъ давленій, направленныхъ въ прямо противоположныя стороны равна ωdp и отрицательна. Масса элемента будетъ $\frac{\omega . dl . \gamma}{g}$, гдѣ g ускореніе силы тяжести; полагая движеніе происходящимъ безъ сопротивленія (безъ тренія), мы, согласно уравненія движенія механики, напишемъ

$$-\omega dp = \frac{\omega . dl . \gamma}{g} \cdot \frac{du}{dt} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

или

$$\frac{du}{dt} = \frac{g . dp}{\gamma . dl} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2)$$

гдѣ dt—безконечно малый элементъ времени, въ теченіе котораго частица перемѣщается изъ сѣченія α въ смежное. Чтобы привести обѣ части этого

равенства къ одному и тому же независимому перемѣнному, мы обратимъ вниманіе на слѣдующее. Пусть начальная площадь насадки ω_0 и начальная скорость u_0, а въ сѣченіи $\alpha-\omega$ и u; для установившагося движенія и при неразрывности струи должно существовать равенство

$$\omega_0 u_0 = \omega u = \text{const} \ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Скорости струи измѣняются въ зависимости отъ площадей поперечнаго сѣченія, а послѣднія при извѣстномъ и опредѣленномъ углѣ конусности—функціи разстоянія l отъ начальнаго сѣченія съ площадью ω_0. Выберемъ же за элементъ времени то время, которое необходимо элементу, чтобы пройти со скоростью u разстояніе dl, т. е. примемъ $dt = \frac{dl}{u}$; тогда, дѣлая подстановку для одного и того же момента, мы получимъ равенство

$$-\frac{gdp}{\gamma . dl} = \frac{udu}{dl} \ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

или переходя къ дифференціаламъ, будемъ имѣть

$$-gdp = \gamma . udu, \ldots\ldots\ldots\ldots (5)$$

при чемъ p и u независимы отъ времени и функціи одного и того же независимаго перемѣннаго l; пусть u_0 и p_0—скорость и давленіе при входѣ; интегрируя въ предѣлахъ отъ (u_0, p_0) до (u, p), мы получимъ:

$$u^2 - u_0^2 = \frac{2g(p_0 - p)}{\gamma}$$

Такова зависимость между скоростями и давленіями для центральной струйки въ двухъ сѣченіяхъ ея, расположенныхъ другъ отъ друга на конечномъ разстояніи.

Допустимъ, что пріемная насадка начинается у входа небольшой цилиндрической частью и затѣмъ уже переходитъ въ расходящійся конусъ; очевидно, что всѣ частицы жидкости въ моментъ прохожденія цилиндрической вставки будутъ имѣть одну и ту же скорость, направленіе которой будетъ параллельно оси насадки; по выходѣ изъ нея траекторіи частицъ, ближе лежащихъ къ стѣнкамъ насадки, будутъ отклоняться нѣсколько къ периферіи, но если уголъ конусности, малъ, такъ что радіусы кривизны ихъ очень велики, то онѣ будутъ почти параллельны между собою; въ силу этого, будетъ почти соблюдено условіе равномѣрнаго распредѣленія давленія по всей площади струи и одинаковой скорости для всѣхъ элементовъ даннаго сѣченія. Выведенную зависимость мы можемъ въ этомъ случаѣ отнести ко всей струѣ съ тою точностью, съ какою позволяютъ это сдѣлать наши предположенія и непринятыя при выводѣ формулы во вниманіе сопротивленіе отъ тренія частицъ между собою и о стѣнки и вліяніе силы тяжести, которое, въ

дѣйствительности, благодаря малой длинѣ насадки, ничтожно. Зависимость между скоростями и давленіями въ различныхъ сѣченіяхъ струи наглядно представляетъ діаграмма (фиг. 31). Для построенія ея, объемъ насадки разбиваемъ на равновеликія части, такъ что чѣмъ больше діаметръ сѣченія насадки, тѣмъ ближе это сѣченіе къ смежному съ нимъ. На вертикаляхъ, проведенныхъ въ плоскостяхъ этихъ сѣченій, отложены соотвѣтственно скорости и давленія. Діаграмма показываетъ, что вначалѣ скорость струи убываетъ очень быстро, а давленіе очень быстро возрастаетъ; такъ какъ рѣчь идетъ о давленіи жидкости, которая передаетъ его одинаково во всѣ стороны, то очевидно такъ же быстро увеличивается давленіе на стѣнки насадки и въ этихъ мѣстахъ слѣдуетъ ожидать наибольшаго изнашиванія. Въ дѣйствительности, чаще всего и требуется при ремонтѣ пріемной насадки расточка ея пріемнаго сопла, дабы сгладить образовавшіяся впадины; особенно значительно будетъ изнашиваніе въ случаѣ примѣненія воды, содержащей грязь, песокъ или растворенныя въ большомъ количествѣ соли, выпадающія при нагрѣваніи въ видѣ твердыхъ осадковъ.

Является, поэтому, вопросъ, нельзя ли придать насадкѣ болѣе выгодную форму, при которой передача давленія на стѣнки происходила бы болѣе равномѣрно; въ этомъ случаѣ, конечно, изнашиваніе было бы также равномѣрнымъ и дѣйствіе насадки болѣе совершеннымъ.

Коническія расходящіяся насадки были впервые изслѣдованы Venturi. Наблюдая истеченіе воды изъ насадки въ атмосферу *), онъ отмѣтилъ большую неравномѣрность въ количествѣ вытекающей воды и даже присутствіе вихрей внути насадки. Эта неравномѣрность истеченія легко объясняется неустойчивостью давленія въ устьѣ насадки, обладающей, какъ сказано выше, засасывающей способностью; измѣняется послѣдняя, и тотчасъ же это отражается на количествѣ вытекающей воды. Присутствіе же вихрей нежелательно, такъ какъ они поглощаютъ часть живой силы, которою уже нельзя воспользоваться для совершенія работы. Наиболѣе благопріятной формой очевидно должна быть такая, при которой увеличеніе давленія идетъ равномѣрно; кривая давленій на діаграммѣ въ этомъ случаѣ будетъ прямой.

Если поставить это условіе при опредѣленіи размѣровъ насадки, то, очевидно, въ равенствѣ

$$\frac{u^2-u_o^2}{2g}=\frac{p_o-p}{\gamma}$$

вторая часть, отнесенная къ длинѣ насадки, должна быть постоянна. Если давленіе будетъ возрастать, слѣдуя уравненію прямой, то ясно, что

*) Lowell Hydraulic Experiments, Francis, J. B.

сила, дѣйствующая на элементы отдѣльныхъ струекъ въ каждомъ сѣченіи, перпендикулярномъ оси насадки, будетъ возрастать пропорціонально tg угла этой прямой съ осью абсциссъ. Такъ какъ сила равна произведенію изъ массы на ускореніе, а масса по закону непрерывности струи, остается постоянной, то ускореніе будетъ также постояннымъ, т. е. скорость будетъ измѣняться равномѣрно, и въ данномъ случаѣ, ускореніе будетъ отрицательнымъ, т. е. движеніе равномѣрно замедленнымъ. Равномѣрная передача давленія на стѣнки насадки будетъ обусловливать равномѣрность изнашиванія ея, а постепенность въ приложеніи къ элементамъ все большей и большей движущей силы должна сопровождаться и наименьшими потерями отъ сопротивленія тренія и ударовъ.

Для опредѣленія продольнаго профиля насадки, разбиваемъ длину ея L на n одинаковыхъ по величинѣ частей s, т. ч. $L=ns.$; пусть діаметръ устья d_0 и начальная скорость u_0; выходная скорость должна быть u_n; пусть ускореніе струи въ ея равномѣрно-замедленномъ движеніи j.

По формулѣ для такого движенія имѣемъ

$$L=u_0t-j\frac{t^2}{2}, \ldots\ldots(6)$$

а ускореніе $j=\frac{u_0-u_n}{t}$; опредѣляя t изъ этого равенства и дѣлая подстановку, находимъ:

$$j=\frac{u_0^2-u_n^2}{2ns} \ldots\ldots(7)$$

Такъ какъ s постоянно, то въ этомъ равенствѣ заключается условіе, чтобы и ускореніе j было таковымъ же; для этого необходимо, чтобы разность квадратовъ скоростей на смежныхъ участкахъ была постоянна.

Итакъ, пусть намъ извѣстна начальная скорость струи, которую мы считаемъ вполнѣ однородной и жидкой, въ устьѣ пріемной насадки. Она можетъ быть опредѣлена двумя способами: или по теоремѣ о количествахъ движенія, или по разности давленій въ котлѣ и въ устьѣ пріемной насадки. Положимъ, давленіе въ котлѣ p и въ устьѣ пріемной насадки p_0; если δ—плотность струи при температурѣ нагнетанія, то соотвѣтствующая этимъ давленіямъ (по манометру) высота столба воды будетъ $\frac{p-p_0}{\delta}\cdot 10000$ и при $\delta=1000$, $h=(p-p_0)10$; подъ такимъ напоромъ струя будетъ имѣть скорость $u_0'=\sqrt{2g\cdot 10(p-p_0)}=14\sqrt{p-p_0}$, гдѣ p и p_0 въ atm. ($^{kg.}/_{cm^2}$); такъ какъ вредныя сопротивленія поглощаютъ часть кинетической энергіи на преодолѣніе ихъ, то скорость дѣйствительная u_0 должна быть равна $\alpha u_0'$, при чемъ $\alpha>1$ и, согласно данныхъ Жиффара, $\alpha=1{,}06$ или, запаса ради для того, чтобы былъ обезпеченъ избы-

токъ давленія въ трубѣ надъ давленіемъ котла, можно принять $\alpha=1,1$. Количество воды, подаваемой инжекторомъ будетъ $\frac{\pi d_0^2}{4}. u_0$; такъ какъ u_0 зависитъ отъ давленія въ котлѣ и въ устьѣ насадки, то въ этомъ заключается вторая причина примѣненія расходящейся насадки у прибора. Чѣмъ ниже давленіе въ устьѣ, тѣмъ больше получится u_0, а, слѣд., и количество поданной воды. При испытаніяхъ и опредѣленіи количествъ воды, вытекающихъ изъ такихъ насадокъ, Brownlee и Francis удалось достигнутъ почти полнаго вакуума въ устьѣ насадки. При открытомъ инжекторѣ такое разрѣженіе невозможно; давленіе въ устьѣ д. б. нѣсколько выше того, которое соотвѣтствуетъ температурѣ смѣси, во избѣжаніе парообразованія; при закрытомъ сливѣ это разрѣженіе можетъ быть значительно ниже. Но и при открытомъ сливѣ является возможность хорошо использовать свойства расходящейся насадки для увеличенія количества подаваемой воды. Обычно пріемная насадка начинается входнымъ сходящимся короткимъ конусомъ; назначеніе его заключается въ томъ, что бы поймать всю струю, выходящую изъ конденсаціонной насадки. Вслѣдствіе большаго угла конусности этого короткаго придатка къ нему не можетъ быть вполнѣ примѣнима выведенная выше зависимость для скоростей и давленій, но, очевидно, что при благопріятныхъ условіяхъ, охватываемая имъ струя, двигаясь ускоренно къ устью, будетъ находиться въ моментъ прохожденія наименьшаго сѣченія подъ самымъ малымъ давленіемъ, и скорость струи, слѣд., будетъ наибольшей возможной и необходимой для maximum'а подаваемой воды.

Если извѣстно количество воды Q въ kgr., которое д. б. подано инжекторомъ въ теченіе часа, то, зная u_0, можно найти діаметръ устья.

$$\frac{Q}{3600.\delta}=\frac{m}{\delta}=\frac{\pi d_0^2}{4}.u_0, \ldots\ldots (8)$$

гдѣ m—колич. воды въ kgr. въ секунду и $\delta=1000$, d_0 и u_0 въ metr.

Пусть d_n и u_n—діаметръ и скорость при выходѣ. Такъ какъ движеніе предположено нами неразрывнымъ, то

$$\frac{u_0\pi d_0^2}{4}=\frac{u_n\pi d_n^2}{4},$$

откуда находимъ

$$u_n=u_0\frac{d_0^2}{d_n^2}\ldots\ldots (9)$$

Ускореніе j—равно $\frac{u_0^2-u_n^2}{2sn}$ или, дѣлая подстановку вмѣсто u_n,

$$j=\frac{u_0^2}{2ns}\left(1-\frac{d_0^4}{d_n^4}\right) \ldots\ldots (10)$$

При обыкновенныхъ условіяхъ величина отношенія $\frac{d_0^4}{d_n^4}$ получается очень малой и ею безъ большой погрѣшности для результатовъ исчисленія можно пренебречь; тогда для j получимъ болѣе простое выраженіе

$$j = \frac{u_0^2}{2ns} = \frac{u_0^2}{2L} \ldots\ldots (11)$$

Составимъ теперь ур—іе кривой, которая должна быть принята за образующую тѣла вращенія, которое и будетъ представлять пріемную насадку.

Возьмемъ оси x,y; пусть ab искомый профиль (фиг. 32).

Мы имѣемъ

$$j = \frac{u_0^2}{2L}\left(1 - \frac{d_0^4}{d_n^4}\right)$$

Вставимъ вмѣсто d_n—2x и вмѣсто L—y; находимъ

$$j = \frac{u_0^2}{2y}\left(1 - \frac{d_0^4}{16x^4}\right) \ldots\ldots (12)$$

Рѣшая его относительно x, получимъ:

$$x = \frac{d_0}{2}\sqrt[4]{\frac{u_0^2}{u_0^2 - 2jy}}, \quad \ldots\ldots (13)$$

гдѣ $j = \frac{u_0^2 - u_n^2}{2L}$—величина положительная. Это и есть уравненіе кривой профиля для пріемной насадки, въ которой давленіе струи на стѣнки насадки будетъ возрастать равномѣрно. Если вмѣсто j вставить приблизительную величину $j = \frac{u_0^2}{2L}$, то получимъ

$$x = \frac{d_0}{2}\sqrt[4]{\frac{L}{L-y}} \ldots\ldots (14)$$

Возьмемъ примѣръ; пусть u_0=50 mt., d_0=0,010 mt.; u_n должно быть 5 mtr.; длина насадки $z = 20d_0$=0,200 mtr.

Ускореніе $j = \frac{50^2 - 5^2}{2.0,2}$ =6187,5; уравненіе кривой профиля

$$x = \frac{0,010}{2}\sqrt[4]{\frac{50^2}{50^2 - 2.6187,5.y}} = 0,005\sqrt[4]{\frac{1}{1 - 4,95y}}.$$

По второй упрощенной формулѣ

$$x = 0,005\sqrt[4]{\frac{0,2}{0,2 - y}}.$$

По этимъ формуламъ для любого значенія y получаемъ значеніе x; на фиг. 33 показанъ получаемый для даннаго примѣра профиль насадки. Видно, что діаметръ ея сначала измѣняется очень мало; у выходного конца насадки онъ увеличивается быстрѣе и при выходѣ достигаетъ значенія, равнаго безконечности. Полученная такимъ способомъ форма насадки значительно разнится отъ обычной въ видѣ прямого расходящагося конуса. Она была бы наилучшей для инжектора въ томъ случаѣ, если бы ему приходилось работать при постоянныхъ неизмѣнныхъ условіяхъ; въ дѣйствительности этого нѣтъ; можетъ, напр., значительно измѣняться давленіе пара, обусловливающее величину начальной скорости u_0; но послѣдняя можетъ измѣняться значительно и въ зависимости отъ полноты конденсаціи, т. е. плотности струи δ. Только при $\delta=1000$, т. е. абсолютно жидкой струѣ, дѣйствіе прибора будетъ наилучшимъ, и онъ будетъ подавать, преодолѣвая наибольшее возможное давленіе, возможный для него maximum воды. Количество вводимаго съ водой или всасывающагося благодаря негерметичности соединеній воздуха также будетъ отражаться на скорости u_0. Жиффаръ давалъ поэтому профилю пріемной насадки различныя очертанія въ зависимости отъ того наибольшаго давленія, при которомъ инжектору придется работать. Профиль насадки получался сопряженіемъ двухъ дугъ различныхъ радіусовъ (фиг. 34); для высокихъ и среднихъ давленій пара радіусъ дуги онъ дѣлалъ равнымъ 300 діаметрамъ устья, а для низкихъ — $200d_0$; соотвѣтственно для входнаго сходящагося конуса 7 и 8. Обѣ дуги касательны къ прямой, параллельной оси насадки въ сѣченіи, проходящемъ $\perp$ оси чрезъ d_0. Т. к. по d_0 онъ бралъ и другіе размѣры прибора, то для каждаго номера инжектора получались не только свой профиль пріемной насадки, но и вообще всѣ размѣры инжектора. Теоретически это должно быть правильно но нужно замѣтить, что длина насадки получается въ такомъ случаѣ незначительной, межъ тѣмъ какъ она также, какъ и форма профиля играетъ важную роль. Уже вначалѣ было указано, что при короткой насадкѣ и при той большой скорости, съ которою обычно струя проходитъ ее, стѣнки насадки не играютъ никакой роли. Четыре формы насадки, указанныя на фиг. 35—36, были испытаны Kneass'омъ; вліяніе каждой изъ нихъ онъ оцѣниваетъ величиной того противодавленія, преодолѣвая которое, инжекторъ можетъ подавать воду.

Давленіе рабочаго пара оставалось постояннымъ, а количество регулировалось такъ, чтобы подавался одинъ и тотъ же объемъ воды безъ потери ея чрезъ сливное отверстіе. При давленіи рабочаго пара въ 4,5 атм. возможное противодавленіе для короткой цилиндрической насадки по фиг. 35 оказалось равнымъ 2,5 атм.; отношеніе давленій $4,5 : 2,5 = 1,8$ указываетъ, что въ этомъ случаѣ почти 50% кинетической энергіи струи пара поглощено безъ пользы для работы нагнетанія. Особенно значительна

должна быть здѣсь потеря отъ удара, т. к. струя, выходящая изъ такой насадки, обладаетъ наибольшей скоростью и встрѣчаетъ впереди медленно движущуюся въ трубѣ воду. Насадка по фиг. 36—длинная цилиндрическая оказалась еще хуже, т. к. возможное противодавленіе понизилось. Разсверленная такъ, что профиль насадки получилъ форму, близкую къ параболѣ (фиг. 37) эта насадка улучшила дѣйствіе прибора, противодавленіе повысилось до 4,3 atm.; насадка фиг. 38—болѣе длинная и съ профилемъ кривой большаго радіуса кривизны—дала противодавленіе въ 6,2 atm.; наконецъ, при наиболѣе правильной по очертанію насадкѣ противодавленіе удалось поднять до 6,5 atm. Такимъ образомъ какъ форма профиля, такъ и длина пріемной насадки играетъ важную роль въ совершенномъ дѣйствіи ея при превращеніи кинетической энергіи въ потенціальную.

Діаметръ устья пріемной насадки обычно находится въ извѣстномъ соотношеніи къ выходному сѣченію конденсаціонной насадки; интервалъ между ними дѣлается около 1,9—2,0 діаметровъ устья; струя смѣси, по выходѣ изъ конденсаціонной насадки, проходя этотъ интервалъ, находится подъ давленіемъ атмосферы при открытомъ сливѣ.

Въ силу этого, площадь сѣченія пріемной насадки получала тотъ размѣръ, который должна имѣть струя, свободно вытекающая въ атмосферу, при чемъ давленіе въ моментъ прохожденія ею устья насадки, очевидно, предполагалось равнымъ атмосферному.

Выше уже было замѣчено, что его выгодно имѣть въ этомъ сѣченіи возможно меньшимъ. Уголъ конусности сходящагося короткаго конуса впереди пріемной насадки мало отличается отъ такового же для расходящейся части; хотя выведенную раньше зависимость и нельзя съ такою же точностью примѣнить къ данному случаю, однако до нѣкоторой степени она будетъ соблюдена и здѣсь. Пусть струя, проходя интервалъ, имѣетъ сѣченіе ω_0, u_0—ея скорость и p_0—атмосф. давленіе; какое-либо произвольное сѣченіе сходящагося конуса пусть будетъ ω_1, а u_1 и p_1—соотв. ему скорость и давленіе струи; т. к., мы считаемъ плотность струи неизмѣняемой и равной $\delta=1000$ для воды, которая несжимаема, то необходимо равенство $u_0\omega_0=u_1\omega_1$ или $u_1=\frac{\omega_0}{\omega_1}u_0$.

Зависимость между скоростями и давленіями въ сѣченіяхъ струи въ интервалѣ и при прохожденіи ею входнаго конуса можетъ быть написана такъ:

$$p_1=p_0+\frac{\delta}{2g}\left(1-\frac{\omega_0^2}{\omega_1^2}\right)u_0^2 \ldots (15)$$

т. к. въ немъ $\omega_0>\omega_1$, то выраженіе въ скобкѣ величина отрицательная, а слѣд. $p_1<p_0$, т. е. атмосфернаго давленія. Какъ было отмѣчено, дав-

леніе струи будетъ уменьшаться до устья насадки, гдѣ оно будетъ наименьшимъ. Итакъ, если площадь устья пріемной насадки меньше площади сѣченія струи во время прохожденія ею интервала между насадками, то въ этомъ нѣтъ еще неудобства; гораздо неблагопріятнѣе отразится на работѣ обратное соотношеніе, т. е. когда площадь устья будетъ болѣе площади сѣченія струи.

Въ этомъ случаѣ струя можетъ и не выполнять сѣченія устья, а тогда нѣтъ вѣроятности, что каждый элементъ струи въ этомъ сѣченіи имѣетъ скорость, направленіе которой параллельно оси насадки, и потому выше приведенная теорія насадки окажется непримѣнимой.

Какъ большая положительная разность, такъ и отрицательная между площадями сѣченія устья и струи нежелательна; при полной и совершенной конденсаціи пара эту разность выгодно имѣть по возможности близкой къ нулю и, во всякомъ случаѣ, отрицательной. Входное сѣченіе сходящагося конуса должно быть равно выходному сѣченію конденсаціонной насадки, или немного больше его, на случай неточной установки и несовпаденія осей обѣихъ насадокъ.

Мы видѣли, что при условіи равномѣрно-замедленнаго движенія струи въ пріемной насадкѣ и равномѣрнаго увеличенія давленія ея, выходной діаметръ насадки долженъ получить размѣръ безконечно-большой; въ дѣйствительности сдѣлать этого нельзя; скорость струи будетъ при выходѣ болѣе скорости, съ которою вода движется въ нагнетательной трубѣ. Въ силу этого будетъ происходить ударъ, при которомъ тѣмъ значительнѣе будетъ потеря энергіи, чѣмъ больше будутъ отличаться эти скорости между собою. Избѣжать совершенно этой потери невозможно; но если очертить переходъ отъ пріемной насадки къ нагнетательной трубѣ плавной кривой, то этимъ можно будетъ значительно уменьшить указанную потерю. Нераціональнымъ, поэтому, надо считать постановку насадки по фиг. 39; вполнѣ правильна была бы постановка ея по фиг. 60 и 62, если бы выходной конецъ насадки былъ очерченъ болѣе плавно до діаметра питательной трубы.

Потерянный напоръ въ mtr. водяного столба въ данномъ случаѣ будетъ равенъ

$$h=\left(\frac{d_1^{\,2}}{d_0^{\,2}}-1\right)\frac{^2v_1^{\,2}}{2g}$$

или въ атмосферахъ

$$p=0{,}1\,\frac{v_1^{\,2}}{2g}\left(\frac{d_1^{\,2}}{d_0^{\,2}}-1\right)^2$$

Если, напр., $d_1=50$ $^m/_m$, $d_0=30$ $^m/_m$ и $v_1=5$ mtr., то.

$$h=4 \text{ mtr. и } p=0{,}4 \text{ атм.}$$

При конечной скорости $v_1=10$ mtr., эта потеря будетъ составлять $0{,}4\left(\frac{10}{5}\right)^2=1{,}6$ атм.; видно, что выгодно дѣлать переходъ выходного сѣченія насадки къ нагнетательной трубѣ возможно плавнымъ. Кромѣ этой устранимой болѣе или менѣе потери часть энергіи будетъ еще поглощена треніемъ о стѣнки насадки.

Теорія дѣйствія.

На основаніи сдѣланныхъ указаній въ предыдущихъ трехъ главахъ, мы можемъ по данному опредѣленному діаметру устья паровой и пріемной насадокъ построить наиболѣе выгодный профиль ихъ; задачей настоящей главы является разсмотрѣніе общей теоріи дѣйствія инжектора и опредѣленіе размѣровъ насадокъ въ связи ихъ другъ съ другомъ.

Слѣдуетъ, однако, съ самаго начала отмѣтить, что въ настоящее время не имѣется еще возможности общей формулой охватить математически весь рабочій процессъ инжектора, и приходится, поэтому, ограничиться такимъ рѣшеніемъ вопроса, которое отвѣчало бы имѣющимся практическимъ соотношеніямъ, и чтобы цѣль эта достигалась наиболѣе простымъ и легко и ясно представляющимъ дѣло образомъ.

Уже было указано, что дѣйствіе инжектора основано на двухъ принципахъ, механическаго дѣйствія удара и термодинамическаго—превращенія тепла въ кинетическую энергію. Такимъ образомъ мы получимъ два уравненія, съ помощью которыхъ и должны быть опредѣлены размѣры насадокъ инжектора.

Одно изъ этихъ уравненій было уже выведено нами въ главѣ о конденсаціонной насадкѣ. Полагая, что паровое сопло насадки имѣетъ такой размѣръ, что въ секунду вытекаетъ одинъ kgr. пару при данномъ начальномъ состояніи его, для конечной температуры питательной воды мы имѣли

$$t_e = \frac{q_2 + r_2 x_2}{1 + P} + \frac{A(u_1^2 - u^2)}{2g(P+1)} + \frac{A(u^2 - u_2^2)}{2g(P+1)} P + \frac{P}{P+1} t_a \quad ..(1)$$

Мы пренебрегаемъ въ этомъ уравненіи потерей тепла лучеиспусканіемъ, а также положительной и отрицательной работой силы тяжести въ зависимости отъ положенія инжектора къ паровому и водяному пространству котла.

Потерю тепла лучеиспусканіемъ опредѣлялъ Жиффаръ и нашелъ равной 15% всей теплоты, содержащейся въ нагнетаемой водѣ, т. е. потеря составляетъ $0{,}15\ (P + 1)\ (t_e - t_a)$; эта цифра, однако, кажется нѣсколько большой, но ею придется пользоваться, пока нѣтъ другихъ болѣе точныхъ опредѣленій.

Рѣшая уравненіе (1) относительно P, мы найдемъ:

$$P = \frac{q_2 + r_2 x_2 - t_e + A\frac{u_1^2 - u^2}{2g}}{t_e - t_a + \frac{A}{2g}(u^2 - u_2^2)} \ldots\ldots (2).$$

Здѣсь скорость пара u, можно замѣнить общимъ выраженіемъ для нея по содержанію тепла до и послѣ истеченія и связаннаго съ этимъ расширенія его и получимъ:

$$P = \frac{q_1 + r_1 x_1 - t_e - \frac{Au^2}{2g}}{t_e - t_a + \frac{Au^2}{2g} - \frac{Au_2^2}{2g}} \ldots\ldots (3).$$

При данномъ давленіи пара и паросодержаніи его x, $\lambda = q_1 + r_1 x_1$ будетъ намъ извѣстно; температура питательной воды t_a можетъ быть задана; можемъ также принять предварительно и температуру t_e, примѣрно считая подогрѣвъ воды на 40—50°; намъ нужно опредѣлить скорости u и u_2 для того, чтобы могли вычислить P. Для этого составимъ второе уравненіе, пользуясь теоремой о количествахъ движенія.

Одинъ kgr. пара, вытекая изъ насадки со скоростью u_1, имѣетъ $\frac{u_1}{g}$ количества движенія; притекающая въ конденсаціонную насадку вода имѣетъ $\frac{P}{g}u_2$ количества движенія; послѣ удара (P + 1) kgr. смѣси имѣютъ $\frac{P+1}{g}u$.

Выходя изъ конденсаціонной насадки въ интервалъ между нею и пріемной, смѣсь подвергается сжатію со стороны атмосфернаго давленія (при открытой сливной трубѣ); если атмосферное давленіе p_0 и давленіе въ конденсаціонной камерѣ p_1, при чемъ, конечно, $p_0 > p_1$, то импульсъ силы, обусловленный разностью этихъ давленій, при воздѣйствіи ея на струю въ теченіе одной секунды, будетъ равенъ приращенію количества движенія; если p_0 и p_1 выражены въ kgr. на mtr.^{2} и γ_0 есть плотность смѣси, то имѣемъ

$$u_1 + Pu_2 + \frac{g}{\gamma_0}(p_0 - p_1) = (P + 1)u \ldots\ldots (4)$$

и

$$P = \frac{u_1 - u + \frac{p_0 - p_1}{\gamma_0}g}{u - u_2} \ldots\ldots\ldots (5)$$

При выводѣ этой формулы мы пока не приняли во вниманіе имѣющихся потерь, такъ что скорости u_1, u и u_2 не отвѣчаютъ дѣйствительнымъ соотношеніямъ.

Чтобы подсчитать возможныя потери, составимъ рядъ уравненій движенія струи по теоремѣ Бернулли (фиг. 40).

Въ сѣченіи I скорость пара u намъ извѣстна, и зависитъ отъ формы предполагаемой нами къ постановкѣ насадки; объ имѣющихся потеряхъ скоростного напора также было говорено при разсмотрѣніи паровой насадки.

Въ сѣченіи II уравненіе Бернулли напишется такъ:

$$\frac{p_0}{\gamma} = \frac{u_2^2}{2g} + h_2 + \frac{p_1}{\gamma} + \xi_2 \frac{u_2^2}{2g} \ldots\ldots (6)$$

Здѣсь p_0 — атмосферное давленіе (kgr/кв. м.), p' — давленіе въ конденсаціонной камерѣ, ξ — коэффиціентъ, характеризующій потери скорости на пути отъ резервуара до входа въ конденсаціонную насадку. Для ξ_2 Грасгофъ даетъ значеніе 4; проф. Кондратьевъ 0,5, т. е. въ восемь разъ меньшую величину; это говоритъ только въ пользу предлагаемаго нами ниже способа расчета.

Изъ уравненія (6) скорость u_2 опредѣлится по формулѣ

$$u_2 = \sqrt{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{\gamma} - h_2\right)\frac{1}{1+\xi_2}} \ldots\ldots (6a)$$

При всасывающемъ инжекторѣ h_2 входитъ подъ корень со знакомъ минусъ; при невсасывающемъ — со знакомъ плюсъ; въ первомъ случаѣ p_1 должно быть меньше p_0 — атмосфернаго давленія, во второмъ оно можетъ быть и выше p_0.

Если точно извѣстно ξ_2, то изъ (6) можетъ быть найдено давленіе въ конденсаціонной камерѣ и, слѣдовательно, разрѣженіе, производимое струей пара

$$\frac{p_1}{\gamma} = \frac{p_0}{\gamma} - h_2 - (1+\xi_2)\frac{u_2^2}{2g} \ldots\ldots (6b)$$

Въ сѣченіи III скорость u_3 зависитъ отъ скоростей воды и пара и массы ихъ; она можетъ быть вычислена по указанному выше равенству, выведенному на основаніи теоремы о количествахъ движенія. Въ силу высказаннаго въ главѣ о паровой насадкѣ предположенія о возможности уплотненія пара, остается открытымъ вопросъ, примѣнимо ли это равенство безъ дальнѣйшихъ поправокъ для опредѣленія этой скорости u_3.

Въ сѣченіи IV имѣемъ

$$\frac{u_4^2}{2g} - \frac{p_1'}{\gamma_1} = \frac{u_5^2}{2g}\left(1+\xi_5\right) + \frac{p'_2}{\gamma_1} \ldots\ldots\ldots (7)$$

Такъ какъ сѣченія III и IV очень близко расположены одно къ другому, а вліяніе силы, обусловленной разностью давленій $p_0 - p'$ очень мало, можно принять, что u_3 равно u_4, хотя въ дѣйствительности онѣ будутъ отличаться другъ отъ друга.

Въ равенствѣ (7) p_1'—давленіе въ устьѣ пріемной насадки; оно всегда ниже p_0, благодаря всасывающему дѣйствію пріемной насадки; p_2'—давленіе смѣси въ концѣ пріемной насадки; оно всегда больше того давленія, подъ которымъ находится резервуаръ, въ который происходитъ нагнетаніе воды; ξ_5—коэффиціентъ, оцѣнивающій потери напора при прохожденіи струей пріемной насадки. Эти потери зависятъ какъ отъ тренія, такъ еще въ большей мѣрѣ отъ возможныхъ вихревыхъ движеній частицъ въ самой струѣ; γ_1—плотность смѣси въ пріемной насадкѣ. Одно ли и то же значеніе для нея въ началѣ и концѣ насадки, точно сказать нельзя; если въ конденсаціонной насадкѣ не происходитъ совершенной конденсаціи, и струя выходитъ изъ нея съ содержаніемъ нѣкотораго количества пара, эти плотности въ началѣ и концѣ пріемной насадки будутъ различны; на величину γ_1 вліяетъ также примѣсь воздуха, который можетъ выдѣляться въ конденсаціонной насадкѣ изъ воды, а при открытой сливной трубѣ можетъ засасываться, благодаря всасывающему дѣйствію расходящейся пріемной насадки.

Итакъ, имѣемъ

$$(1+\xi_5)\frac{u_5^2}{2g}=\frac{u_4^2}{2g}+\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1}=\frac{u_3^2}{2g}+\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1}\ldots(7a)$$

Въ сѣченіи V:

$$(1-\xi')\frac{u_5^2}{2g}+\frac{p_2'}{\gamma_1}=h_1+\frac{p}{\gamma_1}+\frac{p_0}{\gamma_1}+\frac{u_0^2}{2g}\ldots\ldots(8)$$

Въ уравненіи (8) ξ'—коэффиціентъ на сопротивленія отъ конца пріемной насадки до выхода воды изъ трубы въ резервуаръ, въ который происходитъ нагнетаніе ея; h_1—высота уровня воды въ этомъ резервуарѣ надъ осью насадокъ инжектора; p—давленіе въ резервуарѣ; u_0—скорость выхода воды изъ трубы, подводящей воду къ резервуару; u_0—берется въ предѣлахъ до 2 mtr., т. ч. по заданной величинѣ скорости, намъ всегда извѣстенъ скоростной напоръ $\frac{u_0^2}{2g}$.

Обозначимъ для сокращенія письма сумму

$$h_1+\frac{p}{\gamma_1}+\frac{p_0}{\gamma_1}+\frac{u_0^2}{2g}$$

чрезъ H. Тогда имѣемъ

$$\frac{u_5^2}{2g}=\frac{H-\frac{p_2'}{\gamma_1}}{1-\xi'}\ldots.(8a)$$

Замѣнимъ въ (7a) $\frac{u_5^2}{2g}$ найденнымъ значеніемъ; получимъ

$$\frac{1+\xi_5}{1-\xi'}\left(H-\frac{p_2'}{\gamma_1}\right)=\frac{u_3^2}{2g}+\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1};$$

отсюда

$$\frac{u_3^2}{2g}=\frac{1+\xi_5}{1-\xi'}\left(H-\frac{p_2'}{\gamma_1}\right)-\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1}.$$

$$u_3=\sqrt{2g\left\{\frac{1+\xi_5}{1-\xi'}\left(H-\frac{p_2'}{\gamma_1}\right)-\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1}\right\}} \quad \ldots\ldots(9)$$

Пользуясь теперь найденными значеніями для u_2 и u_3 и зная u_1, составимъ равенство по теоремѣ о количествахъ движенія. Будемъ имѣть:

$$\frac{\xi_1 u_1}{g}+\frac{P}{g}\sqrt{2g\left(\frac{p_0-p_1}{\gamma}-h_2\right)\frac{1}{1+\xi_2}}=\frac{P+1}{g}\sqrt{2g\left\{\frac{1+\xi_5}{1-\xi'}\left(H-\frac{p_2'}{\gamma_1}\right)-\frac{p_1'-p_2'}{\gamma_1}\right\}}$$

ξ_1—коэффиціентъ на сопротивленія въ паровой насадкѣ; мы опустили слагаемое $\frac{p_0-p_1}{\gamma}$ въ виду малаго вліянія его на сумму.

Изъ равенства (10) можно было бы найти значеніе для P; но выраженіе для P получается слишкомъ сложно и практически не удобно еще тѣмъ, что помимо коэффиціентовъ ξ_1, ξ_5, ξ_2 и ξ', довольно не опредѣленныхъ, въ него входитъ γ_1, плотность струи смѣси, дѣйствительная величина которой заранѣе неизвѣстна

Поэтому, мы введемъ общій коэффиціентъ, обнимающій собою всѣ возможныя при рабочемъ процессѣ потери, полагая, что онѣ происходятъ при самомъ ударѣ паровой струи о воду. Если назовемъ этотъ коэффиціентъ μ, то при поставленномъ условіи можемъ написать

$$\mu\left(\frac{u_1}{g}+\frac{Pu_2}{g}\right)=\frac{P+1}{g}u \quad \ldots\ldots(11)$$

Отсюда имѣемъ

$$P=\frac{\mu u_1-u}{u-\mu u_2} \quad \ldots\ldots\ldots(12)$$

или точнѣе

$$P=\frac{\mu u_1-u+\frac{g}{\gamma_0}(p_0-p_1)}{u-\mu u_2} \quad \ldots(12a)$$

При расчетѣ придется пользоваться главнымъ образомъ уравненіемъ (12); для μ слѣдуетъ принять значеніе 0,6.

Такимъ образомъ ходъ расчета инжектора будетъ таковъ.

Требуется опредѣлить размѣры инжектора для котла, рабочее давленіе котораго 9 atm., а испарительность 1200 kgr. пару въ часъ (1 атм.= 1 kgr. cm²). Температура питательной воды 15° Ц.

Обычно инжекторъ расчитывается такъ, чтобы онъ могъ подать въ 2 или 3 раза большее количество воды.

По таблицамъ для водяныхъ паровъ Mollier находимъ, что t=178,9° Ц; объемъ одного kgr. пара 0,1993 кб. м.; теплота воды въ 1 kgr.=181,5 кал.; скрытая теплота испаренія r=484,6 кал.; паръ будемъ считать сухимъ насыщеннымъ; полная теплота испаренія 666,1 кал.

Прежде всего опредѣлимъ теоретическую скорость, съ которою вода выходила бы изъ устья пріемной насадки подъ напоромъ, соотвѣтствующимъ данному давленію.

Допустимъ, что въ интервалѣ давленіе равно атмосферному; фактически это не совсѣмъ правильно, такъ какъ, благодаря всасывающему дѣйствію расходящихся насадокъ, оно въ устьѣ пріемной трубы будетъ меньше атмосфернаго.

Такъ какъ рабочее давленіе котла 9 atm., то высота напора въ 90 метровъ и будетъ служить исходной при опредѣленіи скорости истеченія.

Общая формула для вычисленія этой скорости такова:

$$u = \sqrt{2g\left(h + \frac{p - p_0}{\gamma}\right)} \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

Здѣсь h—высота уровня воды въ котлѣ надъ осью пріемной насадки; p—абсолютное давленіе въ котлѣ въ $^{kg}/_{cm^2}$, p_0—атмосферное давленіе, γ—плотность воды.

Такъ какъ h мало (2—4 метра),—то этимъ слагаемымъ въ общемъ случаѣ пренебрегаемъ. Итакъ

$$u_1 = \sqrt{19{,}62 . 90} = 42{,}0 \text{ метра.}$$

Для опредѣленія скорости u_2 пользуемся формулой (6a)

$$u_2 = \sqrt{2g\left(\frac{p_0 - p_1}{\gamma} - h_2\right)},$$

въ которой опускаемъ множитель $\frac{1}{1+\xi_2}$, считая $\xi_2 = 0$, такъ какъ, согласно вышеизложеннаго, вліяніе сопротивленій, мы включили въ коэффиціентъ μ.

Хотя на практикѣ мы встрѣчаемъ инжекторы, всасывающіе на высоту до 5 mtr., однако для надежности будемъ считать, что высота всасыванія не можетъ быть больше 1,5 mtr.

Такое ограниченіе высоты всасыванія полезно тѣмъ еще, что мы можемъ при извѣстномъ разрѣженіи въ конденсаціонной насадкѣ располагать большей скоростью входа холодной воды, что необходимо для лучшей конденсаціи пара при протеканіи ея тонкимъ слоемъ.

Допустимъ теперь, что давленіе въ конденсаціонной камерѣ составляетъ 0,6 atm.; тогда для опредѣленія u_2 имѣемъ

$$u_2 = \sqrt{2g\ (10-6-1,5)} = 4,43\ \sqrt{2,5} = 7 \text{ mtr.}$$

(Замѣтимъ, что Грасгофъ оцѣниваетъ сопротивленія при протеканіи воды изъ нижняго резервуара въ конденсаціонную камеру коэффиціентомъ 4; знаніе его необходимо для опредѣленія дѣйствительной скорости входа и по ней входного сѣченія конденсаціонной насадки).

По ур—ію (12) опредѣляемъ теперь P, число kgr. воды, которое должно быть подведено къ инжектору

$$P = \frac{0,6.u_1 - 42,0}{42,0 - 0,6.7.}$$

Скорость пара u_1 опредѣлится по таб. A и D изъ главы о паровой насадкѣ. (Мы полагаемъ, что паровая насадка будетъ имѣть форму расходящагося конуса).

По таб. A скорость пара въ устьѣ насадки будетъ 451,8 mtr.; по таб. D при отношеніи $\frac{p_1}{p} = \frac{10}{0,6} \infty$ 16,6, скорость будетъ въ 2 раза больше, т. е. приблизительно 900 mtr. Подставляя въ написанную выше формулу, вычисляемъ P.

$$P = \frac{540 - 42,0}{42,0 - 4,2} = 13,17 \text{ kgr.}$$

При такомъ P температура воды будетъ, согласно приведенной въ главѣ о конденсаціонной насадкѣ таблицы, около 60° Ц.

Обѣ полученныя вычисленіемъ цифры даютъ среднія значенія съ которыми мы встрѣчаемся на практикѣ.

Принимая тройное количество подаваемой воды въ часъ, мы должны имѣть въ секунду 1 kgr. воды.

Это служитъ для опредѣленія діаметра всасывающей трубы и входного сѣченія конденсаціонной насадки; чтобы не увеличивать сопротивленій во всасывающей трубѣ, лучше опредѣлить размѣръ ея такъ, чтобы скорость въ ней была около метра (0,8 до 1,2). Тогда получимъ F въ кв. метр.

$$F \times 1000 \times 1 = 1$$

или

$$F = 0,001 \text{ кв. mtr.} = 1000 \text{ кв. mm.}$$

Отсюда $d = 36\ ^{m}/_{m}$, т. е. ∞ 1,5″.

Для опредѣленія площади входа въ конденсаціонную насадку высчитываемъ дѣйствительно возможную и ожидаемую скорость, принимая $\xi=4$. Она будетъ меньше 7 въ отношеніи $\sqrt{\frac{1}{5}}$ т. е. будетъ $\frac{7}{2,24}=3,13$ mtr.

Такъ какъ на 1 kgr. пару приходится 13,17 kgr. воды, въ секунду же воды поступаетъ всего 1 kgr., то паровая насадка должна дать въ секунду $\frac{1}{13,17}=$ 0,08 kgr. пару.

Провѣримъ теперь, какова будетъ конечная температура воды.

Для этого въ формулу (3) вставимъ извѣстныя намъ значенія для буквъ и найдемъ t_e.

Имѣемъ

$$13,17=\frac{666,1-t_e-\frac{42,0^2}{19,62.427}}{t_e-15+\frac{42,0^2}{19,62.427}-\frac{7^2}{19,62.427}}$$

$$\frac{A}{2g}=\frac{1}{19,62.427}=\frac{1}{8388};$$

вліяніе всѣхъ членовъ, содержащихъ этотъ множитель, очень незначительно; мы опускаемъ ихъ и находимъ:

$$14,17t_e=666,1+197,55.$$

$$t_e=60^0,9.$$

Опредѣлимъ теперь площадь устья пріемной насадки. Мы, введя ранѣе коэффиціентъ μ, полагаемъ теперь, что скорость прохожденія струи въ устьѣ будетъ равна $u=42,0$ mtr. и что въ струѣ нѣтъ ни пара, ни воздуха, которые увеличивали бы ея объемъ.

Имѣемъ: $F_s \cdot u = vt_e$ *).

Здѣсь vt_e—представляетъ объемъ 1,08 kgr. воды (1 kg. воды+0,08 kgr. пару въ секунду) при температурѣ смѣси въ 61^0 Ц. Для вычисленія vt_e можно пользоваться формулой

$$vt_e=v_0\ (1+at+bt^2+ct^3),$$

гдѣ v_0—объемъ воды при 4^0 Ц., а коэффиценты a, b, c, имѣютъ значенія

$$a=-0,0000603;\ b=0,00000793 \text{ и } c=-0,0000000426.$$

*) Если будемъ вести расчетъ по формулѣ

$$F.u.\gamma_s=G,$$

Для v_{te} при 1000 kgr. получаемъ 1,0169 кб. mtr.

Будемъ имѣть

$$F_s \,.\, u = \frac{1{,}0169 \,.\, 1{,}08}{1000} = 0{,}001098 \text{ кв. метр.}$$

$$F_s = \frac{0{,}001098}{42{,}0} = 0{,}00002614 \text{ кв. метр. или}$$

$$F_s = 26{,}14 \text{ кв. m/m. и}$$

$$d_s = 5{,}8 \text{ m/m.} \backsim 6 \text{ m/m.}$$

(Для инжектора Friedmann'a № 6 даются въ каталогѣ при p=8 atm. производительность въ часъ 3500 литровъ и діаметръ водопроводныхъ трубокъ 35 m/m.).

Зная F_s, легко найти и площадь устья паровой насадки. Будемъ имѣть при скорости истеченія пара въ устьѣ 451,8 mtr. и объемѣ 1 kgr. пара въ 0,346 кб. м. по формулѣ

$$F_0 = \frac{0{,}08 \,.\, 0{,}346}{451{,}8}$$

(Объемъ 0,346 кб. м. соотвѣтствуетъ 5,57 kg/cm², каковое давленіе приблизительно должно быть въ устьѣ паровой насадки).

$$F_0 = 0{,}00006126 \text{ кв. м. или}$$

$$F_0 = 61{,}26 \text{ кв. mm. и}$$

$$d_0 = 8{,}86 \backsim 9 \text{ m/m.}$$

то для γ_s можно брать значенія изъ прилагаемой таблицы.

t^0 Ц.	γ_s	t^0 Ц.	γ_s	t^0 Ц.	γ_s	t^0 Ц.	γ_s
40	0,99233	56	0,98530	72	0,97674	88	0,96682
41	195	57	481	73	615	89	616
42	157	58	432	74	555	90	550
43	117	59	382	75	495	91	483
44	077	60	331	76	435	92	416
45	035	61	280	77	375	93	348
46	0,98993	62	228	78	314	94	280
47	949	63	175	79	253	95	212
48	905	64	121	80	191	96	143
49	860	65	067	81	129	97	074
50	813	66	012	82	066	98	005
51	767	67	0,97957	83	004	99	0,95934
52	721	68	902	84	0,96941	100	863
53	674	69	846	85	876		
54	627	70	780	86	812		
55	579	71	733	87	746		

Такъ какъ $t_e = 60^0$, то мы получимъ, слѣдовательно,

$$F_s \,.\, 1 = \frac{1{,}08}{984{,}32} = 0{,}001098 \text{ кв. м.}$$

Отношеніе $\frac{d_0}{d_s} = 1{,}5$, что вполнѣ согласуется съ данными практики. Извѣстно уже, что площадь выхода конденсаціонной насадки дѣлается равной сѣченію устья пріемной. Остается лишь найти площадь входного отверстія въ нее, что можетъ быть сдѣлано, если будетъ найденъ размѣръ выходного сѣченія расширенной части паровой насадки и толщина стѣнокъ ея.

Относительно длины конденсаціонной насадки, профилей ея, пріемной и паровой даны уже указанія въ соотвѣтствующихъ главахъ.

Укажемъ теперь второй способъ расчета инжектора. Въ основу его положимъ опытныя данныя, полученныя Rosenhain'омъ при изученіи имъ вопроса объ истеченіи пара изъ насадокъ. *) Кромѣ того замѣтимъ, что вводя коэффиціентъ μ въ лѣвой части уравненія, полученнаго нами по теоремѣ о количествахъ движенія массъ до и послѣ удара, мы имѣли въ въ виду обнять имъ всѣ возможныя потери для струи пара, воды и смѣси. Очевидно, что величина, обратная μ и равная 1,66 при $\mu=0{,}6$, которую мы назовемъ чрезъ ψ, такъ что $\psi=1{,}66$, можетъ быть поставлена въ правой части вышеуказаннаго ур—ія. Она будетъ показывать намъ, на какое противодавленіе желаемъ мы вести расчетъ инжектора при данномъ рабочемъ давленіи пара, т. е. ψ будетъ представлять отношеніе расчетнаго противодавленія къ рабочему давленію пара.

Въ дѣйствительности всегда инжекторъ можетъ нагнетать воду при большемъ противодавленіи, чѣмъ нужно при питаніи котла. Величина этого противодавленія зависитъ отъ конструкціи прибора и условій его работы; чѣмъ лучше конструкція, чѣмъ ближе соотвѣтствуютъ условія работы принципу дѣйствія его, тѣмъ большее количество воды подаетъ онъ при большемъ противодавленіи.

Опытнымъ путемъ Rosenhain опредѣлилъ реакцію вытекающей струи пара и далъ эмпирическую зависимость величины реакціи отъ діаметра устья паровой насадки и начальнаго давленія пара.

Его испытанія относятся къ насадкамъ діаметромъ $^3/_{16}''$ $\backsim$ $4{,}77\,^m/_m$; измѣнялась длина ихъ и очертанія входа для пара.

Величина реакціи струи при различныхъ давленіяхъ пара была такова

$p\,^{kg}/_{cm^2}$	R kgr.
4	0,69.
6	1,17.
8	1,67.
10	2,18.
12	2,65.
14	3,24.

*) Proceed. of the Jnstit. of Civ. Eng., v. 140, p. 199.

Давленіе пара въ опытахъ Rosenhain'a не было ниже 50 фунтовъ на кв. д., а потому и приводимая формула не пригодна для давленій ниже 3 atm.

Если d_0 измѣрено въ дюймахъ, давленіе p въ фунт. на кв. д. и R—реакція также въ фунтахъ, то зависимость между этими величинами такова

$$R=d_0^2\ (1{,}08p-12).$$

Достаточно точно для метрическихъ единицъ таже зависимость можетъ быть представлена формулой

$$R=d_0^2\ (1{,}08p-0{,}84),$$

при чемъ d_0—въ сантиметр., p въ $^{kg}/_{cm^2}$ и R въ kgr.

Предполагая расширеніе пара до атмосфернаго давленія, мы можемъ найти скорость w по данной Rosenhain'омъ формулѣ

$$w=\frac{Rg}{G},$$

гдѣ G—вѣсъ вытекающаго въ секунду пара, g—ускореніе силы тяжести, равное 9,81 mtr./sec.

Допустимъ, что паровая насадка такого размѣра, что G=1 kgr/sec. Очевидно, что $R=\frac{G}{g}w$ есть количество движенія 1 kgr. пара.

Оставляя тѣже обозначенія, мы получимъ

$$d_0^2\ (1{,}08p-0{,}84)+\frac{Pu_2}{g}=(P+1)\frac{u}{g}\ldots\ldots(14)$$

Обозначимъ діаметръ устья пріемной насадки чрезъ d_s (сантим.). Тогда $\frac{\pi d_s^2}{4}\gamma_s u.10^{-4}$ представляетъ вѣсъ смѣси, проходящій въ секунду чрезъ устье насадки. Онъ будетъ равенъ (P+1).

Мы имѣемъ, производя подстановку,

$$d_0^2\ (1{,}08p-0{,}84)+\frac{Pu_2}{g}=\frac{\pi d_s^2}{4}\frac{\gamma_s}{g}u^2.10^{-4}\ldots\ldots(15)$$

или

$$d_0^2\ (1{,}08p-0{,}84)+\frac{P}{g}u_2=\frac{u^2}{2g}10^{-4}\frac{\pi d_s^2}{2}\gamma_s\ldots\ldots(15a)$$

Напишемъ уравненіе Бернулли для пріемной насадки и движенія струи въ предѣлахъ сѣченій IV и V.

$$\frac{u^2}{2g}+\frac{p_s}{\gamma_s}=\frac{u_5^2}{2g}+\frac{p_5}{\gamma_5}+h_5\ldots\ldots(16)$$

Здѣсь p_s—давленіе струи въ устьѣ, u_5, p_5 и γ_5—скорость, давленіе и плотность въ сѣченіи 5 и h_5—потерянный на сопротивленія напоръ. Относительно скорости u_5 замѣтимъ, что она принимается въ питательной трубѣ около одного метра; слѣд., $\frac{u_5^2}{2g} = \frac{1}{19{,}62}$, какъ малая величина, можетъ быть опущена въ равенствѣ (16), и мы найдемъ

$$\frac{u^2}{2g} = \frac{p_5}{\gamma_5} - \frac{p_s}{\gamma_s} + h_5 \ldots\ldots (17)$$

Дѣлая замѣну въ равенствѣ (15a), получимъ

$$d_0^2 (1{,}08p - 0{,}84) + \frac{P}{g} u_2 = 10^{-4} \cdot \gamma_s \cdot \frac{\pi d_s^2}{2} \left(\frac{p_5}{\gamma_5} - \frac{p_s}{\gamma_s} + h_5 \right) \ldots (18)$$

Мы могли бы опредѣлить по одной изъ указанныхъ выше формулъ u_2 и замѣнить P равной ей величиной $\left(10^{-4} \cdot \frac{\pi d_s^2}{4} \gamma_s u - 1\right)$ и при извѣстныхъ предположеніяхъ найти связь между d_0 и d_s, выраженную только въ зависимости отъ p_s, p_5, γ_s, и h_5; но такая формула не представляла бы практически интереса въ виду ея сложности.

Для упрощенія мы примемъ, что $\frac{Pu_2}{g}$ настолько малая величина, что ею мы можемъ пренебречь. Тогда получимъ:

$$\left(\frac{d_0}{d_s}\right)^2 = \frac{\pi \gamma^s \left(\frac{p_5}{\gamma_5} - \frac{p_s}{\gamma_s} + h_5 \right)}{2(1{,}08p - 0{,}84)\, 10000.} \ldots (19).$$

Въ формулѣ (19) мы имѣемъ отношеніе діаметровъ паровой и пріемнасадокъ въ зависимости отъ давленій пара и струи смѣси, сопротивленій въ пріемной насадкѣ и плотностей струи.

Давленіе p_5—въ концѣ пріемной насадки—при данномъ профилѣ ея и скорости u и p_s могло бы быть найдено; мы знаемъ, что оно должно быть больше p, давленія въ котлѣ, иначе не будетъ и нагнетанія питательной воды.

Задавшись извѣстной величиной P и опредѣливъ температуру t_e, мы могли бы по формулѣ Грасгофа

$$\gamma_s = 1100 - 5t_e$$

найти плотность струи γ_s.

Плотность струи γ_5 могли бы относить къ горячей водѣ температуры t_e.

Остается, однако, неизвѣстнымъ h_5—потерянный напоръ въ пріемной насадкѣ. Выше уже было указано, что онъ будетъ зависѣть не только отъ тренія, но въ большей степени отъ волнообразныхъ и вихревыхъ

движеній струи и частицъ воды. Пока мы не имѣемъ данныхъ для того, чтобы хотя приблизительно судить о величинѣ его; поэтому нашъ расчетъ будетъ нѣсколько неопредѣленнымъ, и проще сдѣлать и въ этомъ случаѣ одно предположеніе, которое охватывало бы собой частныя.

Допустимъ, что $h_5=0$; будемъ считать, что $\gamma_5=\gamma_s$—соотвѣтствуетъ температурѣ питательной воды въ 61° Ц., т. е. равно 983 kgr.; принимаемъ p_s равнымъ атмосферному давленію.

Будемъ расчитывать инжекторъ при этихъ допущеніяхъ такъ, чтобы онъ могъ нагнетать воду при противодавленіи αp, гдѣ $\alpha=1{,}5—1{,}75$.

Посмотримъ, какъ будетъ измѣняться отношеніе $\frac{d_0}{d_s}$, которое будемъ вычислять по упрощенной формулѣ

$$\left(\frac{d_0}{d_s}\right)^2=\frac{\pi\gamma_s\left(\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}\right)}{2(1{,}08p-0{,}84).10000}\ldots(20)$$

которая послѣ подстановки численныхъ значеній будетъ имѣть такой видъ

$$\left(\frac{d_0}{d_s}\right)^2=\frac{1{,}57p_5}{1{,}08p-0{,}84}$$

Величины отношенія $\frac{d_0}{d_s}$ при различныхъ p и отношеніи $p_5:p$ даны въ нижеслѣдующей таблицѣ.

p—kg/cm² по манометру.	$\frac{d_0}{d_s}$				
	$p_5=p$.	$p_5=1{,}5p$.	$p_5=1{,}6p$.	$p_5=1{,}75p$.	$p_5=2p$.
3	1,4	1,71	1,77	1,85	1,98
4	1,34	1,64	1,70	1,77	1,90
5	1,31	1,60	1,66	1,73	1,86
6	1,29	1,58	1,63	1,71	1,83
7	1,28	1,56	1,62	1,68	1,80
8	1,27	1,55	1,61	1,67	1,80
9	1,26	1,55	1,60	1,67	1,79
10	1,25	1,54	1,59	1,66	1,77
11	1,25	1,53	1,58	1,66	1,76
12	1,24	1,53	1,57	1,65	1,75

Какъ видно изъ таблицы отношеніе $\frac{d_0}{d_s}$ при $p_5=(1{,}5-1{,}75)p$ при всѣхъ давленіяхъ остается въ предѣлахъ, съ какими имѣемъ дѣло на практикѣ.

Предлагаемый способъ даетъ возможность очень быстро найти это отношеніе и размѣръ паровой насадки.

Для указаннаго выше примѣра мы имѣли $d_s=6^m/_m$; беремъ $p_5=1{,}6\,p$; тогда по таблицѣ $d_0=1{,}59.6=9{,}54^m/_m$.

Въ предыдущей таблицѣ вычисленія произведены въ предположеніи, что плотность струи соотвѣтствуетъ плотности воды при 61° Ц.

Если намъ была бы извѣстна эта плотность въ зависимости отъ количества не конденсированнаго пара или примѣшаннаго воздуха, или мы пожелали бы вести расчетъ на другую температуру, то данныя въ таблицѣ отношенія $\frac{d_0}{d_s}$ надо было бы умножить на $\sqrt{\frac{\gamma_s'}{983}}$, гдѣ γ_s' предполагаемая плотность струи.

Опредѣляя выше скорость входа воды въ инжекторъ, мы полагали, что разрѣженіе достигаетъ 0,4 atm. Опытъ указываетъ, что во многихъ случаяхъ инжекторъ можетъ присасывать воду на высоту до 7 mtr., если только такому дѣйствію не препятствуетъ температура питательной воды. Съ другой стороны можно подтвердить возможность такого разрѣженія опытами Цейнера*), произведенными для выясненія дѣйствія струи пара на усиленіе тяги въ топкѣ паровознаго котла.

Опытнымъ путемъ Цейнеръ установилъ, что при давленіи пара въ 1,75 atm. при отношеніи діаметровъ трубы и паровой насадки 4, разрѣженіе достигало $108{,}25\ ^m/_m$ ртутнаго столба, а при томъ же давленіи и отношеніи діаметровъ ∞ 2,8, оно было $202{,}5\ ^m/_m$ ртутнаго столба.

Разрѣженіе увеличивалось какъ съ увеличеніемъ давленія пара, такъ и съ уменьшеніемъ отношенія діаметровъ трубы, въ которую вытекалъ паръ, и паровой насадки.

Въ силу этого мы можемъ полагать, что принятое нами давленіе въ конденсаціонной насадкѣ инжектора въ 0,6 atm. вполнѣ возможно и достижимо.

Обратимся теперь къ разсмотрѣнію другихъ вопросовъ, связанныхъ съ работой инжектора.

Выяснимъ прежде всего, что такое мощность его и отчего она зависитъ.

Наибольшій вѣсъ воды, который можетъ доставить инжекторъ даннаго размѣра въ часъ при данныхъ давленіи пара и сухости его, начальной температурѣ воды и высотѣ всасыванія, будемъ называть максималь-

*) Zeuner, Das Locomotiven-Blasrohr, Zürich, 1863, S. 29.

ной мощностью. Съ измѣненіемъ одного изъ указанныхъ условій вѣсъ подаваемой воды будетъ уменьшаться; минимальной мощностью мы будемъ называть то количество воды по вѣсу, которое можетъ подать инжекторъ при данномъ противодавленіи безъ потерь чрезъ вѣстовую трубу.

Чѣмъ больше эта разность, тѣмъ больше будетъ процентное отношеніе ея къ максимальной и тѣмъ лучше можетъ быть урегулирована подача воды инжекторомъ соотвѣтственно расходу пара.

Если, напр., максимальная мощность составляетъ 3600 kgr. въ часъ при нѣкоторыхъ опредѣленныхъ данныхъ t_a, высотѣ всасыванія, p и x, а минимальная при тѣхъ же условіяхъ 2000 kgr. въ часъ, то отношеніе будетъ составлять 55% максимальной мощности; слѣдовательно, инжекторъ въ предѣлахъ измѣненія расхода пара до 55% можетъ непрерывно питать котелъ водою.

Въ зависимости отъ развиваемой имъ мощности будетъ измѣняться температура питательной воды t_e.

Hutton*) даетъ слѣдующую таблицу, указывающую приблизительное измѣненіе температуры питательной воды, при t_a=10° Ц. и высотѣ всасыванія отъ 0,6 до 1,2 mtr.**), въ зависимости отъ количества подаваемой инжекторомъ воды.

Рабочее давленіе пара kg/cm²	Измѣненія температуры питат. воды въ град. Ц.	kg/cm²	Град. Ц.	kg/cm²	Град. Ц.
2,8	38°—63°	7,7	52°—85°	12,6	60°—116°
3,5	38°—65°	8,4	52°—88°	13,3	60°—118°
4,2	38°—68°	9,1	54°—90°	14,0	63°—124°
4,9	43°—71°	9,8	54°—96°		
5,6	46°—74°	10,5	54°—102°		
6,3	46°—76°	11,2	57°—107°		
7,0	49°—79°	11,9	57°—110°		

При неизмѣнномъ притокѣ пара можно имѣть слѣдующія колебанія въ количествахъ питательной воды, выраженныя въ % отъ максим. при тѣхъ же t_a и высотѣ всасыванія.

*) Steam-boiler Construction, Hutton, 1898., p. 468.

**) Температура питат. воды выше 100° Ц. м. б. только у инжекторовъ, работающихъ съ закрытымъ сливомъ, или у двойныхъ.

Рабочее давленіе пара kg/cm²	$\frac{max.-min.}{max.}.100$	Рабочее давленіе пара kg/cm²	$\frac{max.-min.}{max.}.100$	Рабочее давленіе пара kg/cm²	$\frac{max.-min.}{max.}.100$
2,8	45%	6,3	56%	9,8	57%
3,5	50%	7,0	46%	10,5	65%
4,2	55%	7,7	48%	11,2	66%
4,9	45%	8,4	52%	14,0	76%
5,6	44%	9,1	50%		

Вѣсъ смѣси, проходящей въ секунду чрезъ устье пріемной насадки, равенъ (p+1) kgr;
сохраняя прежнія обозначенія, мы имѣемъ

$$F_s.u.\gamma_s = P+1$$

$$u = \frac{P+1}{F_s.\gamma_s} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (21)$$

Опуская въ равенствѣ (14) членъ суммы, представляющій количество движенія холодной воды, и дѣлая подстановку вмѣсто u изъ (21), мы найдемъ

$$d_0^2(1{,}08p-0{,}84) = \frac{(P+1)^2}{F_s\gamma_s.g} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (22)$$

или

$$d_0^2(1{,}08p-0{,}84) = \frac{(P+1)^2}{7{,}7.d_s^2.10^{-4}.\gamma_s} \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

Отсюда находимъ $(P+1)$ kgr./cek.

$$(P+1) = d_0 d_s \sqrt{(1{,}08p-0{,}84).7{,}7.10.^{-4}\gamma_s} \quad \ldots\ldots (24)$$

Но по равенству (19)

$$d_0 = d_s \sqrt{\frac{\pi\gamma_s\left(\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}+h_5\right)}{2(1{,}08\,p-0{,}84).10000.}}$$

Замѣняя d_0 въ предыдущей формулѣ указанной величиной, мы получимъ

$$P+1 = 0{,}0003475\, d_s^2\gamma_s \sqrt{\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}+h_5} \quad \ldots\ldots (25)$$

и въ часъ

$$Q = 1{,}25 d_s^2\gamma_s \sqrt{\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}+h_5} \quad \ldots\ldots\ldots (25a)$$

Изъ равенства (25) мы видимъ, что количество подаваемой инжекторомъ воды зависитъ при данномъ d_s отъ плотности струи γ_s, которая является функціей начальной температуры воды, совершенства конденсаціи струи пара (отчасти и всасываемаго чрезъ неплотности и содержимаго въ водѣ воздуха), и скорости прохожденія струи чрезъ устье пріемной насадки; опущенное нами въ цѣляхъ простоты слагаемое $\frac{Pu_2}{g}$ указывало бы и на зависимость отъ высоты всасыванія, но этотъ вопросъ мы разсмотримъ отдѣльно.

Изъ того же равенства видно, что постановка расходящейся насадки, какъ пріемной, выгодна, т. к. благодаря всасывающему дѣйствію ея мы въ устьѣ будемъ имѣть давленіе p_s меньшее атмосфернаго, и чѣмъ меньшее, тѣмъ лучше, такъ какъ это увеличиваетъ $(P+1)$, количество подаваемой воды.

Положимъ, какъ и выше, что $h_5=0$, $\gamma_5=\gamma_s$ и p_s=атм. давленію.

Если питаніе происходитъ при температурѣ воды въ 60° Ц., то $\gamma_5=983$, а если p_5 и p_s даны въ $^{kg.}/_{cm.^2}$, то $\gamma_5=0{,}0983$. Такимъ образомъ найдемъ

$$Q=0{,}04 d_s^2 \gamma_s \sqrt{p_5-p_s} \ldots\ldots (26).$$

при чемъ d_s д. б. въ $^{m}/_{m}$, p_5 и p_s въ $^{kg.}/_{cm.^2}$, а γ_s относится къ куб. метру.

Hutton даетъ слѣдующую таблицу для количества подаваемой инжекторомъ воды въ kgr. въ часъ въ томъ случаѣ, если вода идетъ въ конденсаціонную насадку самотекомъ.

Діаметръ устья пріемной насадки въ миллиметр.	Рабочее давленіе пара въ $^{kg}/_{cm.^2}$											
	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7	8,4	9,8	11,2	12,6	14
	Количество подаваемой инжекторомъ воды.											
2	230	250	275	300	320	340	360	385	410	430	455	475
3	500	550	635	680	725	770	815	860	950	970	995	1020
4	900	1000	1100	1200	1290	1380	1425	1470	1600	1700	1835	2000
5	1400	1600	1700	1835	1970	2100	2200	2400	2580	2670	2760	2900
6	2000	2300	2500	2680	2900	3050	3230	3550	3820	3950	4100	4280
7	2750	3100	3400	3700	3950	4175	4400	4800	5200	5380	5550	5730
8	3600	3950	4450	4800	5100	5500	5815	6350	6850	7075	7250	7560
9	4600	5100	5600	6050	6500	6860	7260	7935	8565	8880	9000	9300
10	5675	6450	7000	7540	8040	8760	8980	9935	10750	11560	11785	12100

Hutton указываетъ, что при высотѣ всасыванія 0,9 mtr., данныя таблицы слѣдуетъ уменьшить на $7^0/_0$, при 1,8 mtr. на $12^0/_0$, при 2,7 mtr. на $20^0/_0$ и на $30^0/_0$ при всасываніи на 3,6 mtr.

Таблица составлена для начальной t_a воды въ $+10^0$ Ц.

Если $t_a=21^0$ Ц., то табличныя данныя надо уменьшить на $3^0/_0$; при $t_a=30^0$ на $5^0/_0$; при $t_a=38^0$ на $10^0/_0$; при $t_a=49^0$ на $15^0/_0$ и при 57^0 на $25^0/_0$.

Замѣнимъ въ формулѣ (26) p_5 равной величиной αp, при чемъ $\alpha=1,5-1,75$, и т. к. давленія беремъ по манометру, то будемъ имѣть

$$Q=0,04.d_s\ {}_s\sqrt{\alpha p}\ldots\ldots(26a)$$

и при $\alpha=1,5$

$$Q=0,0488d_s^2\gamma_s\sqrt{p}\ldots\ldots(26b)$$

Для инжектора № 8 работающаго паромъ въ 10 atm. давленія имѣемъ по таблицѣ $Q=6850$.

Слѣдовательно, получимъ

$$6850=0,0488.64\gamma_s\sqrt{10}=9,876.\gamma_s$$

и $$\gamma_s=693,$$

т. е. плотность струи въ устьѣ насадки значительно меньше плотности воды, которую она должна бы имѣть при температурѣ питанія.

Опытнымъ путемъ Жиффаръ опредѣлилъ, что количество подаваемой его приборомъ воды можетъ быть представлено формулой

$$Q=28d^2\sqrt{n-1},$$

гдѣ n—абсолютное давленіе пара въ котлѣ.

Съ найденнымъ значеніемъ γ_s выведенная нами формула принимаетъ видъ

$$Q=27,33d_s^2\sqrt{p_5-p_s}.$$

Мы приходимъ теперь къ еще болѣе краткому методу для опредѣленія діаметра пріемной насадки, именно по формулѣ (26b), въ которой вмѣсто γ_s надо поставить 700, а для p—рабочее давленіе пара въ котлѣ.

Для выясненія обстоятельствъ, сопровождающихъ работу инжектора, обратимся къ уравненію (25a)

$$Q\ \text{kgr. въ часъ}=1,25d_s^2\gamma_s\sqrt{\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}+h_5}$$

Мы видимъ, что мощность инжектора зависитъ отъ плотности струи въ устьѣ пріемной насадки, отъ квадрата діаметра этого устья и пропорціональна корню квадратному изъ разности напоровъ, соотвѣтствующихъ потребному противодавленію p_5, сложенному съ напоромъ на вредныя сопротивленія, и давленію въ устьѣ насадки.

Изъ таблицы, заимствованной нами у Hutton'a, ясно видно увеличеніе мощности въ 4 раза съ увеличеніемъ вдвое діаметра пріемной насадки.

Чѣмъ больше плотность струи γ_s, тѣмъ больше будетъ Q.

Очевидно, Q будетъ наибольшимъ для того случая, когда γ_s будетъ точно соотвѣтствовать температурѣ питательной воды, т. е. въ струѣ не будетъ несгустившагося пара.

Q будетъ уменьшаться съ уменьшеніемъ γ_s; чтобы Q оставалось неизмѣннымъ, необходимо будетъ увеличеніе скорости въ устьѣ пріемной насадки. Это возможно будетъ только при уменьшеніи количества подводимой воды; если въ ней будетъ много растворено воздуха или если всасывающая линія не вполнѣ герметична, выдѣленіе его или засасываніе сдѣлаетъ работу инжектора неустойчивой, онъ можетъ прекратить питаніе котла. Для устраненія неустойчивости работы конструируются такъ называемые рестартингъ-инжекторы.

Наконецъ, Q тѣмъ больше, чѣмъ меньше противодавленіе, которое должна преодолѣть струя воды. Очевидно, что наибольшее значеніе Q будетъ тогда, когда инжекторъ будетъ работать при давленіи меньшемъ рабочаго давленія пара.

Но въ этомъ случаѣ онъ не будетъ служить для питанія котла, и нагрѣваніе воды будетъ связано съ расточительнымъ расходомъ тепла, о чемъ будетъ сказано еще ниже.

Пользуясь уравненіемъ (25) можно построить діаграммы, которыя укажутъ законъ измѣненія Q въ зависимости отъ d_s, γ_s или p_5.

У каждаго инжектора существуютъ извѣстные предѣлы, въ которыхъ онъ можетъ быть приведенъ въ дѣйствіе.

Если P kgr. воды смѣшиваются съ 1 kgr. конденсирующагося пара, полная теплота котораго при данной сухости его λ, то мы получимъ $(1+P)$ kgr. воды, нагрѣтой отъ температуры t_a до конечной t_e.

Будемъ имѣть

$$\lambda+Pt_a=(1+P)t_e; \ldots\ldots(27)$$

отсюда найдемъ, что

$$1+P=\frac{\lambda-t_a}{t_e-t_a}\ldots\ldots\ldots(28)$$

Mollier*) даетъ такую зависимость λ отъ давленія пара p и температуры его t_p

$$\lambda=594{,}735+0{,}477t_p-Jp$$

Значенія J даны въ таблицѣ соотвѣтственно t_p.

*) Neue Tabellen und Diagramme für Wasserdampf, 1906.

Равенство (28) приметъ видъ

$$1+P=\frac{594,7+0,477t_p-J.p-t_a}{t-t_a}\ldots.(28a)$$

При данныхъ p и t_a величина $(1+P)$ зависитъ отъ разности температуръ t_e-t_a, т. е. отъ степени нагрѣванія питательной воды; minimum $(1+P)$ соотвѣтствуетъ наибольшей степени нагрѣванія.

Если возьмемъ для t_a предѣлъ 5^0Ц., а для t_e-90^0 Ц., то тогда

$$\text{minimum } (1+P)=\frac{594,7+0,477t_p-J.p-5}{85}$$

$$\text{„ } (1+P)=6,94+0,0056t_p-\frac{J}{85}p\ldots.(29)$$

Коэффиціентъ J можетъ быть вычисленъ для любой температуры пара по формулѣ, гдѣ T—абсолютная температура

$$J=\frac{10000}{427}\left[0,325\left(\frac{273}{T}\right)^{\frac{10}{3}}-0,001\right]$$

или взятъ по прилагаемой таблицѣ.

t въ град. Ц.	Значенія J.	t въ град. Ц.	Значенія J.	t въ град. Ц.	Значенія J.
0	8	90	2,9	150	1,75
5—10	7	95	2,8	155	1,68
15—25	6	100	2,66	160	1,61
30—45	5	105	2,55	165	1,55
50	4,3	110	2,44	170	1,49
55	4,1	115	2,35	175	1,44
60	3,9	120	2,24	180	1,38
65	3,7	125	2,14	185	1,33
70	3,5	130	2,06	190	1,29
75	3,4	135	1,97	195	1,24
80	3,2	140	1,89	200	1,20
85	3,1	145	1,82		

Если возьмемъ $p=3\,{}^{kg}/_{cm^2}$, при чемъ $t_p=132,8$, то вычислимъ для $(1+P)$ значеніе 7,61 kgr.

$$1+P=6,94+0,0056.132,8-\frac{2,01}{85}3.$$

На одинъ kgr. пара будетъ приходиться, слѣд., 6,61 kgr. воды.

Для опредѣленія maximum (1+P) обратимся къ уравненію

$$u_1+Pu_2=u\ (P+1)$$

Если скорость u какъ разъ равна той скорости, при которой возможно питаніе котла безъ потери воды чрезъ вѣстовую трубу, то P будетъ maximum.

Для скорости же u мы имѣли формулу (17)

$$\frac{u^2}{2g}=\frac{p_5}{\gamma_5}-\frac{p_s}{\gamma_s}+h_5$$

Когда (1+P) должно быть maximum, u должно быть minimum, или правая часть выше приведеннаго равенства должна быть minimum.

Замѣняя правую часть равенства, какъ дѣлали и выше, выраженіемъ $\frac{\alpha p}{\gamma_5}$, найдемъ

$$u=\sqrt{2g\frac{\alpha p}{\gamma_5}}$$

и, полагая γ_5 снова равной 983, будемъ имѣть

$$u=14{,}1\sqrt{\alpha p},$$

гдѣ p должно быть въ $^{kg}/_{cm^2}$.

Опуская въ уравненіи количествъ движенія слагаемое Pu_2, найдемъ, что

$$1+P=\frac{u_1}{14{,}1\sqrt{\alpha p}}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(30)$$

При конической сходящейся насадкѣ скорость u_1 по формулѣ (16) гл. I будетъ равна

$$u_1=323\sqrt{pv}$$

Дѣлая замѣну, получимъ

$$P+1=\frac{323}{14{,}1}\sqrt{\frac{pv}{\alpha p}}=22{,}9\sqrt{\frac{v}{\alpha}}\ldots\ldots(31)$$

Очевидно, что maximum будетъ тогда, когда скорость входа въ котелъ очень мала, другими словами, когда вѣсъ воды настолько великъ, что скорость струи u почти цѣликомъ превращается въ потенціальную энергію для преодолѣнія давленія на питательный клапанъ со стороны котла, изъ котораго берутъ рабочій паръ.

Въ этомъ случаѣ $\alpha=1$, и формула принимаетъ видъ

$$P+1=22{,}9\sqrt{v}\ldots\ldots(31a)$$

гдѣ v—объемъ занимаемый 1 kgr. пара при начальномъ его состояніи.

Такъ какъ v уменьшается съ увеличеніемъ давленія пара, то P+1 будетъ меньше для инжекторовъ, работающихъ паромъ высокаго давленія, чѣмъ для работающихъ паромъ низкаго давленія. Практика вполнѣ подтверждаетъ этотъ выводъ.

Если возьмемъ паръ избыточнаго давленія 10 kg/cm², для котораго v=0,1993, то для (P+1) получимъ

$$P + 1 = 22{,}9\sqrt{0{,}1993} = 0{,}45 . 22{,}9 = 10{,}21 \text{ kgr.}$$

Для инжектора, имѣющаго расходящуюся паровую насадку, скорость u_1 будетъ больше; она опредѣлится по формулѣ (5) глав. I

$$u_1 = 91{,}53\sqrt{q_1 - q_2 + r_1x_1 - r_2x_2}.$$

Исключая 15% на потери тренія, будемъ имѣть

$$u_1 = 77{,}8\sqrt{q_1 - q_2 + r_1x_1 - r_2x_2}.$$

Уравненіе (30) послѣ поцстановки приметъ видъ

$$1 + P = 5{,}52\frac{\sqrt{q_1 - q_2 + r_1x_1 - r_2x_2}}{\sqrt{\alpha p}} \quad \ldots\ldots (31b)$$

Для разсмотрѣннаго въ главѣ I примѣра при p=10 kg/cm², значеніе корня числителя равно $\sqrt{88{,}439} = 9{,}4$.

При α=1, получимъ

$$1 + P = 5{,}52\frac{9{,}4}{3{,}16} = 16{,}42$$

и P maximum будетъ равно 15,42 kgr., т. е. въ 1,67 раза большее количество воды можетъ быть доставлено 1 kgr. пара.

Разсмотримъ теперь вопросъ о вліяніи высоты всасыванія и температуры t_a на работу инжектора.

Высота всасыванія и температура подводимой воды t_a должны быть въ опредѣленныхъ границахъ для того, чтобы возможна была работа инжектора. Если назовемъ чрезъ t' температуру насыщеннаго пара, соотвѣтствующую давленію въ конденсаціонной насадкѣ, то должны имѣть

$$t_e < t';$$

въ противномъ случаѣ въ конденсаціонной насадкѣ будетъ происходить испареніе воды; выдѣлившійся паръ произведетъ повышеніе давленія въ насадкѣ, т. е. уменьшитъ разрѣженіе и всасываніе прекратится.

Если атмосферное давленіе надъ водой резервуара p_0, а давленіе въ камерѣ p', и высота всасыванія h_s, то будемъ имѣть

$$(1 + \xi)\frac{u_2^2}{2g} + h_s = \frac{p_0 - p'}{\gamma_a}10 \quad \ldots\ldots\ldots (32)$$

при чемъ p_0 и p' выражены въ атмосферахъ (kg/cm²), а $\gamma_a < 1$.

Изъ (32) получимъ

$$p' = p_0 - \frac{\gamma_a}{10}\left[h_s + (1+\xi)\frac{u_2^2}{2g}\right].$$

Это равенство даетъ намъ возможность для каждой высоты всасыванія, считая $\gamma_a = 1$, найти давленіе въ конденсаціонной насадкѣ p' и, слѣдовательно, ту температуру t', до которой не можетъ быть нагрѣваема вода инжекторомъ.

Но подогрѣваніе воды равно $t_e - t_a = \Delta t^0$; поэтому для начальной температуры t_a получаемъ

$$t_a < t' - \Delta t^0.$$

Такъ какъ съ увеличеніемъ давленія пара возрастаетъ количество содержимаго 1 kgr. пара тепла, а главное увеличивается значительно количество вытекающаго пара, то подогрѣваніе Δt будетъ болѣе у инжектора работающаго высокимъ давленіемъ пара; а такъ какъ разрѣженіе остается почти безъ измѣненія, то тѣмъ самымъ уменьшается возможная наибольшая температура для питательной воды, которую онъ можетъ присасывать.

У Hartmann Knocke *), излагающаго теорію инжектора по Grashof'у, мы находимъ слѣдующую таблицу для наивысшей возможной температуры t_a въ зависимости отъ высоты всасыванія h_s и давленія пара.

h_s	0	1	2	3	4	5 mtr.
p = 4	73	70	66	62	58	52
p = 6	70	67	63	59	55	49
p = 8	67	64	60	56	52	46
p = 10	64	61	57	53	49	43

Въ дѣйствительности для успѣшной конденсаціи пара необходимо будетъ имѣть t_a меньше указанныхъ величинъ.

Въ слѣдующей таблицѣ указаны предѣльныя температуры t' при различныхъ высотахъ всасыванія и давленіяхъ въ конденсаціонной насадкѣ.

h_s = 0	1	2	3	4	5 mtr.
p' = 0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4 atm.
t_s = 97,1	93,9	90,3	86,3	81,7	76,2° Ц.

При вычисленіи p' предположено, что 1 mtr. напора теряется на сопротивленія.

*) Die Pumpen, Hartmann Knocke, S. 648.

Механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія инжектора весьма незначителенъ. Это зависитъ, какъ было уже указано выше, отъ большой потери скорости при ударѣ воды и пара. Удерживая предыдущія обозначенія, мы имѣемъ:

живая сила питательной воды..... $\frac{(1+P)u^2}{2g}$

„ „ струи пара ..... $\frac{u_1^2}{2g}$

„ „ холодной воды ..... $\frac{u_2^2}{2g}P$.

Энергія, которой мы располагали въ отдѣльныхъ струяхъ воды и пара, была равна

$$\frac{u_1^2 + u_2^2 P}{2g}$$

Отношеніе кинетической энергіи питательной воды, которая использована для нагнетанія ея въ котелъ, къ имѣвшейся до удара, равно коэффиціенту полезнаго дѣйствія

$$\eta = \frac{\frac{(1+P)u^2}{2g}}{\frac{u_1^2 + Pu_2^2}{2g}} = \frac{u^2(1+P)}{u_1^2 + u_2^2 P}.$$

Для разсмотрѣннаго выше примѣра

$u_1 = 900\ (452)$ mtr.

$u_2 = 7$ mtr.

$u = 42{,}0$ mtr.

$P = 13{,}17$ kgr.

Вычисляя, находимъ

$$\eta = \frac{(42{,}0)^2 \times 14{,}17}{(900)^2 + 13{,}17 . 7^2} = 0{,}0308,$$

т. е. только $3{,}08\%$ располагаемой кинетической энергіи можетъ быть использовано на совершеніе полезной работы.

Термическій же коэффиціентъ полезнаго дѣйствія очень высокъ.

Если принять, что потери составляютъ согласно опредѣленій Жиффара 15% отъ теплоты питательной воды, т. е.

$$0{,}15\ (P + 1)\ (t_e - t_a),$$

то видно, что онъ будетъ не меньше 85%, принимая во вниманіе только ощутимую теплоту; въ дѣйствительности же онъ будетъ больше, такъ какъ часть теплоты находится еще въ совершаемой работѣ. По даннымъ Carlo, термическій коэффиціентъ равенъ 0,95.

Изъ этого видно, что инжекторъ, какъ приборъ для питанія котла очень выгоденъ, но какъ насосъ для подачи воды на извѣстную высоту не экономиченъ, если нагрѣваніе воды не имѣетъ никакой цѣли.

Типы инжекторовъ.

Инжекторы дѣлаются всасывающими воду и получающими ее подъ напоромъ. Изготовленіе послѣднихъ нѣсколько дешевле; тѣ преимущества, которыми они обладали—большая надежность дѣйствія—съ появленіемъ т. наз. Restarting инжекторовъ, играютъ теперь значительно меньшую роль при выборѣ типа прибора.

Существенное отличіе ихъ заключается въ томъ, что во всасывающемъ инжекторѣ до начала дѣйствія струя пара должна произвести достаточное разрѣженіе въ конденсаціонной насадкѣ, чтобы въ нее могла подняться вода. Это достигается приданіемъ паровой насадкѣ извѣстной формы, а главное постановкой достаточно большой вѣстовой трубы, чрезъ которую могъ бы въ моментъ пуска въ ходъ свободно отходить въ атмосферу паръ съ воздухомъ. Второе отличіе заключается въ томъ, что при всасывающемъ инжекторѣ ставится клапанъ или кранъ, которымъ регулируется въ моментъ пуска количество вытекающаго пара; иногда это производится движущимся въ направленіи оси насадки остроконечнымъ шпинделемъ.

Въ зависимости отъ вида инжектора, пускъ того и другого въ ходъ различенъ. При всасывающемъ пускаютъ тонкую струю пара при вполнѣ открытомъ вентилѣ или кранѣ на всасывающей трубѣ и начинаютъ увеличивать открытіе парового сопла не раньше, когда покажется чрезъ вѣстовую трубу вода; если при вполнѣ открытомъ паровомъ кранѣ выходъ ея не прекращается, это укажетъ на избытокъ ея, и нужно будетъ уменьшить ея притокъ, регулируя его краномъ или вентилемъ на всасывающей трубѣ.

При невсасывающемъ инжекторѣ сначала пускаютъ воду, притекающую подъ напоромъ, и затѣмъ медленно впускаютъ паръ.

Это бываетъ большею частью необходимо потому, что сѣченіе вѣстовой трубы очень мало; паръ, не успѣвая выходить въ атмосферу, производитъ обратный толчекъ на воду, выкидывая ее изъ инжектора. Тормаженіе, т. е. истечеріе пара чрезъ всасывающую трубу, возможно и у всасывающихъ инжекторовъ, если при пускѣ его въ ходъ чрезъ насадку впускается избыточное количество его. Схема постановки того и другого типа инжектора при котлѣ показана на фиг. 41.

Невсасывающіе инжекторы.

На фиг. 42 показанъ инжекторъ Schau, встрѣчающійся часто на нашихъ желѣзныхъ дорогахъ. Конденсаціонная и пріемная насадки b и c его представляютъ одно цѣлое; въ узкомъ сѣченіи этой трубы имѣются отверстія g, чрезъ которыя вытекаетъ вода предъ пускомъ инжектора въ ходъ. Непосредственно къ инжектору примыкаетъ кранъ E водопроводной трубки, которымъ регулируется притокъ ея. Въ конденсаціонную насадку она поступаетъ чрезъ кольцевой зазоръ между ею и паравой насадкой и чрезъ боковыя отверстія въ конденсаціонной насадкѣ e. Кранъ вѣстовой трубы при пускѣ можетъ быть и закрытъ; тогда вода заполняетъ корпусъ инжектора, а когда установится работа его, то она можетъ быть забрана для питанія, благодаря пониженному давленію въ устьѣ пріемной насадки. При мало понизившемся давленіи пара, въ этотъ корпусъ чрезъ отверстія сливается избытокъ воды, вновь забираемый при новомъ увеличеніи давленія пара; сюда же выходитъ содержащійся въ водѣ воздухъ, который періодически можетъ быть удаляемъ чрезъ кранъ вѣстовой трубы.

Иногда, при избыткѣ пара въ котлѣ, машинистъ во время стоянки поѣзда пользуется инжекторомъ для подогрѣванія воды; паръ изъ него въ этомъ случаѣ при открытомъ кранѣ вѣстовой трубы по трубопроводу направляется къ тендеру.

На фиг. 43 указанъ невсасывающій инжекторъ, распространенный на Great Eastern Railway Англіи. Корпусъ его чугунный, конуса же изъ бронзы; очертанія насадокъ болѣе грубы, чѣмъ у инжектора Schau.

Инжекторы Schau изготовляются 8 номеровъ для нагнетанія воды въ количествѣ отъ 450 до 9000 kgr. въ часъ.

На фиг. 44 представленъ инжекторъ Фридмана, распространенный на жел. дорогахъ Австріи. Отличіе его въ томъ, что вода подводится къ струѣ пара и движущейся смѣси его съ водой нѣсколькими соплами. Благодаря болѣе продолжительному соприкосновенію пара съ водой достигается болѣе быстрая и совершенная конденсація его; онъ можетъ давать воду подогрѣтую до 65° Ц.

Притокъ воды можетъ регулироваться краномъ на водяной трубѣ; конденсаціонная и пріемная насадки соединены между собою шурупами, скрѣпляющими ихъ другъ съ другомъ при помощи реберъ, прилитыхъ къ первой насадкѣ.

На выходѣ изъ пріемной насадки поставленъ обратный клапанъ C; такой же клапанъ имѣется и на вѣстовой трубѣ; подвинчиваніемъ гайки клапанъ вѣстовой трубы можетъ быть прижатъ къ сѣдлу; въ этомъ случаѣ инжекторъ Фридмана можетъ давать сильно подогрѣтую воду, благодаря повышенному давленію въ интервалѣ насадокъ. Осмотръ и про-

чистка насадокъ производится очень легко, т. к. всѣ насадки вынимаются изъ корпуса чрезъ отверстіе, закрытое нарѣзной пробкой.

Инжекторы Фридмана изготовляются 9 различныхъ номеровъ съ рабочимъ давленіемъ пара до 10 atm. и съ подачей отъ 1080 до 13800 литровъ въ часъ.

На фиг. 45 показанъ инжекторъ Nathan, которымъ пользуются на жел. дорогахъ Америки. Притокъ воды происходитъ снизу особымъ каналомъ въ корпусѣ; отверстіе вѣстовой трубы въ интервалѣ насадокъ показано кругомъ; оно дѣлается пролетнымъ на обѣ стороны и въ зависимости отъ положенія инжектора, клапанъ можетъ быть поставленъ съ любой стороны; на противоположной сторонѣ ставится нарѣзная пробка. Для легкости пуска иногда ставится въ паровой насадкѣ регулирующій шпиндель.

Регулировать притокъ воды можно уменьшеніемъ входной площади у конденсаціонной насадки. Такъ сдѣлано у инжектора Webb'a распространеннаго на London and North-Western Railway. Инжекторъ показанъ на фиг. 46.

Конденсаціонная и пріемная насадка представляютъ одно цѣлое и могутъ имѣть поступательное движеніе въ особыхъ направляющихъ. Чѣмъ глубже надвинута конденсаціонная насадка на паровую, тѣмъ меньшее количество воды проникаетъ въ первую.

Эта перестановка насадокъ производится длиннымъ шпинделемъ, имѣющимъ на верхнемъ концѣ рѣзьбу и маховичекъ W для вращенія шпинделя въ гайкѣ. Инжекторъ ставится подъ площадкой машиниста; входъ пара въ немъ направленъ вверхъ. Съ помощью придатка P можно смывать площадку струей пара или смачивать уголь. При избыткѣ пара въ котлѣ, особенно во время стоянокъ на станціи, можно, закрывши краны вѣстовой и нагнетательной трубъ, пускать паръ по приводящей воду трубѣ въ тендеръ.

Такимъ же точно образомъ регулируется притокъ воды въ инжекторѣ Rue, представленномъ на фиг. 47. Наклоняя вправо или влѣво рукоятку, увеличиваемъ или уменьшаемъ кольцевое сѣченіе между насадками для притекающей воды; этимъ имѣется возможность измѣнять мощность инжектора и работать съ нимъ при различныхъ давленіяхъ пара. Для работы съ присасываніемъ воды ставится дополнительная насадка—шпиндель, съ истеченіемъ пара въ конденсаціонную насадку.

Какъ было уже указано выше, для питанія котловъ инжекторами можно пользоваться мятымъ паромъ; этимъ дается возможность использовать теплоту отработавшаго пара, при чемъ подогрѣваніе воды можетъ доходить до 70—90°.

Впервые эти инжекторы были устроены Hamer, Metcalfe and Davies.

На фиг. 48 представленъ инжекторъ этого завода въ общеупотребительной теперь формѣ для питанія постоянныхъ котловъ до $5^1/_2$ атмосферъ давленія. Мятый паръ отводится боковымъ отвѣтвленіемъ отъ главной линіи, съ небольшимъ паденіемъ по направленію къ инжектору; вода подводится или изъ расположеннаго вверху резервуара, или непосредственно изъ водопровода. Открывая краны на трубопроводахъ для пара и воды, пускаютъ инжекторъ въ ходъ. Паровая насадка его, соотвѣтсвенно небольшему давленію пара и потому значительному объему его, имѣетъ большіе размѣры, чѣмъ у инжекторовъ, работающихъ свѣжимъ паромъ.

Въ центрѣ ея имѣется шпиндель B, назначеніе котораго—давать струѣ пара правильную цилиндрическую форму при истеченіи.

Конденсаціонная насадка также длиннѣе обыкновенныхъ и состоитъ изъ двухъ частей, изъ которыхъ одна D совершенно неподвижна, а другая E можетъ вращаться около оси въ видѣ клапана. Обѣ половинки точно пригнаны одна къ другой; для устраненія бокового перемѣщенія, на подвижной половинкѣ имѣются два ребра, между которыми помѣщается выступъ стѣнки корпуса. При вертикальномъ положеніи инжектора, какъ указано на фигурѣ, клапанъ занимаетъ отвѣсное положеніе, такъ что проходное сѣченіе насадки увеличено.

При постановкѣ инжектора въ горизонтальномъ положеніи, клапанъ долженъ находиться вверху, и прижиматься къ неподвижной части насадки собственнымъ вѣсомъ; при пускѣ въ ходъ инжектора въ этомъ положеніи клапанокъ поднимается паромъ и тѣмъ снова увеличивается проходное сѣченіе конденсаціонной насадки. Подводимый отъ машины мятый паръ выходитъ чрезъ расположенную сбоку вѣстовую трубу; въ послѣдней имѣется вертикальное ребро F, назначеніе котораго состоитъ въ томъ, чтобы создать водяной затворъ и не допускать входъ атмосферному воздуху; вмѣсто такого устройства можно поставить и воздушный клапанокъ. Когда въ конденсаціонной насадкѣ давленіе упадетъ ниже атмосфернаго, подвижная половинка ея прикрывается, благодаря появляющемуся избытку давленія, и струя идетъ къ пріемной насадкѣ и къ котлу.

Въ нижней части корпуса инжектора находится пробка, по окружности которой нанесена шкала, на корпусѣ же имѣется указатель. Вращеніемъ этой пробки можно удалять или приближать конденсаціонную насадку къ паровой и тѣмъ регулировать притокъ воды. При слишкомъ большомъ поворотѣ регулятора въ ту или другую сторону чрезъ вѣстовую трубу показывается вода, что и свидѣтельствуетъ о неправильномъ положеніи насадокъ. Тотъ же инжекторъ можетъ работать и съ присасываніемъ воды. Общее расположеніе и постановка показаны на фиг. 49. Чтобы не увеличивать противодавленія на поршень машины, отвѣтвленіе не должно вводить излишнихъ сопротивленій отъ измѣненія направленія движенія и пр.

Какъ уже указывалось ранѣе, паръ, приходящій къ инжектору, долженъ быть какъ можно суше; паръ же, притекающій отъ машины, содержитъ значительное и очень колеблющееся количество воды. Чтобы она не попадала къ инжектору, соединеніе вѣтви съ магистралью дѣлается непремѣнно боковое; кромѣ того, на этой вѣтви можетъ оказаться полезной постановка паросушителя или водособирателя. Для регулировки количества притекающаго пара предъ самымъ инжекторомъ ставится вентиль; притокъ же воды регулируется положеніемъ насадокъ.

При необходимости вести питаніе котла во время, когда машина не работаетъ, устраивается проводъ свѣжаго пара небольшой трубкой отъ парового пространства котла. Необходимо, чтобы этотъ паръ, подводимый къ прибору ниже парового вентиля отвѣтвленія, терялъ на пути въ своей упругости и входилъ въ насадку съ давленіемъ, близкимъ къ давленію мятаго пара.

Точно такого же типа инжекторы строитъ и заводъ Шефферъ и Буденбергъ; онъ изготовляетъ ихъ 9 размѣровъ съ производительностью отъ 240 до 7200 литровъ въ минуту.

Если противодавленіе больше $5—5^1/_2$ атмосферъ, то для усиленія дѣйствія струи мятаго пара подводится дополнительно струя свѣжаго пара, производящая ударъ на смѣсь уже въ глубинѣ конденсаціонной насадки *). Такого типа инжекторъ показанъ на фиг. 50.; работающій также мятымъ паромъ инжекторъ завода Holden and Brooke указанъ на фиг. 51. Дѣйствіе его понятно безъ особыхъ поясненій; при давленіи, высшемъ 5 атм. также, какъ и у другихъ инжекторовъ, подводится дополнительно струя свѣжаго пара.

Интересно указать здѣсь на своеобразную установку такихъ инжекторовъ у шахтныхъ подъемныхъ машинъ. При періодической работѣ ихъ желаніе использовать теплоту мятаго пара встрѣчало затрудненіе въ томъ, что нужно было примириться либо съ потерей воды при открытомъ притокѣ ея чрезъ вѣстовую трубу, либо каждый разъ при остановкѣ машины закрывать притокъ ея.

*) Равнымъ образомъ дополнительная насадка для свѣжаго пара ставится въ томъ случаѣ, когда желаютъ получить всасывающее дѣйствіе.

Въ паровой коробкѣ инжектора ставится въ этомъ случаѣ дроссель-клапанъ, которымъ регулируется количество поступающаго мятаго пара. При всасывающемъ инжекторѣ открываютъ сначала воздушный кранъ на питательной трубѣ, а затѣмъ пускаютъ мятый и свѣжій паръ; труба же для воды изъ расположеннаго внизу резервуара остается открытой все время. Такого типа инжекторы заводъ Schäffer & Budenberg дѣлаетъ 8 размѣровъ съ подачей воды отъ 600 до 7200 литровъ въ минуту; противодавленіе можетъ достигать 11 атмосферъ; при давленіяхъ до 5 атм. и невсасывающемъ инжекторѣ температура воды можетъ быть 32^0 Ц., при болѣе высокихъ давленіяхъ она должна быть холодной. Температура поступающей въ котелъ воды достигаетъ $80—85^0$ Ц. Расходъ свѣжаго пара составляетъ $^1/_3$ часть расхода мятаго.

Holden and Brooke для такихъ машинъ даютъ автоматическій контрольный вентиль Johnson'a, показанный на фиг. 52.

Онъ ставится на водопроводной трубѣ. Вентиль открывается давленіемъ пара на поршень въ головкѣ, паръ же подводится трубкой изъ золотниковой коробки. До тѣхъ поръ пока работаетъ машина и есть мятый паръ, вентиль остается открытымъ для воды; при остановкѣ машины, пружина надъ поршнемъ опускаетъ тарелку вентиля на сѣдло и притокъ воды прекращается.

Всасывающіе инжекторы.

Какъ указывалось уже и выше, у этихъ инжекторовъ должна быть регулировка выходящей струи пара, дабы при началѣ дѣйствія получить необходимый для поднятія воды вакуумъ въ конденсаціонной насадкѣ; точно также необходимо регулировать и количество поступающей въ насадку воды; послѣднее можетъ производиться или отъ руки, или автоматически. Регулировка необходима для того, чтобы обезпечить правильное дѣйствіе прибора при перемѣнныхъ давленіяхъ пара и температурахъ питательной воды. Какими способами достигается это, видно будетъ изъ описанія различныхъ инжекторовъ этого типа.

На фиг. 53 и 54 указаны инжекторы Жиффара въ современной формѣ, изготовляемые заводомъ Шеффера и Буденбергъ для вертикальнаго и горизонтальнаго расположенія ихъ. Пріемная и конденсаціонная насадки свинчены между собою, вставлены въ корпусъ и занимаютъ опредѣленное положеніе, опираясь на направляющія обратнаго клапана, поставленнаго за пріемной насадкой. Головка со шпинделемъ привинчивается болтами; такое устройство облегчаетъ установку прибора сообразно обстоятельствамъ, благодаря перестановкѣ верхней части на болтахъ въ любую сторону.

Регулированіе струи пара производится шпинделемъ; онъ бываетъ двухъ видовъ. Въ первомъ, шпиндель сплошной, вверху имѣетъ тарелку, которая служитъ для прекращенія доступа пара; на нижнемъ концѣ имѣется конусообразный хвостъ, положеніе котораго въ насадкѣ обусловливаетъ большую или меньшую площадь прохода для струи пара. Шпиндель второго вида показанъ въ большемъ масштабѣ на фиг. 55; здѣсь на нижнемъ концѣ его имѣется поперечное и осевое отверстія, чрезъ которыя въ началѣ, при пускѣ въ ходъ, вытекаетъ тонкая струя пара, производящая засасываніе. Для прекращенія доступа пара на паровой трубѣ ставится особый вентиль. Перестановка шпинделя производится у вертикальныхъ инжекторовъ маховичкомъ на винтѣ, у горизонтальныхъ этимъ же способомъ или простымъ рычагомъ; у послѣднихъ, вмѣсто

обратнаго клапана, прижимаемаго давленіемъ пара къ пріемной насадкѣ, привинчивается питательный клапанъ. Остающійся между пріемной и конденсаціонной насадками прозоръ приходится вблизи отверстія для вѣстовой трубы. Послѣднее должно быть по площади значительно больше отверстія, чрезъ которое впускается предварительно производящая разрѣженіе струя пара, иначе будетъ тормаженіе, и паръ будетъ идти по водяной трубѣ въ резервуаръ.

Эти инжектора могутъ работать съ давленіемъ пара отъ 3-хъ до 9 атм., при насадкахъ же особаго профиля и при болѣе высокихъ давленіяхъ; температура питательной воды можетъ быть до 30° Ц. Мощность ихъ измѣняется, въ зависимости отъ размѣра, отъ 240 до 9000 литровъ въ часъ.

Оригинальный инжекторъ Жиффара, кромѣ шпинделя, имѣлъ подвижную паровую насадку; для плотности, въ корпусѣ имѣлся сальникъ; на практикѣ оказалось, что очень трудно въ этомъ случаѣ сохранить соединеніе плотнымъ, чтобы не было просачиванія пара какъ въ атмосферу, такъ и внутрь инжектора, а этимъ нарушалось дѣйствіе прибора. Поэтому, такая регулировка пара теперь не употребительна, паровая насадка дѣлается неподвижной, обѣ же остальныя или только одна конденсаціонная могутъ передвигаться.

Остроумно устранены недостатки сальниковъ при подвижныхъ паровыхъ насадкахъ у американскаго инжектора „Metropolitan“, представленнаго на фиг. 56. Поворачивая рукоятку K, открываютъ притокъ небольшой струи пара, которая производитъ присасываніе воды; при дальнѣйшемъ вращеніи для него открывается полное сѣченіе насадки. Если давленіе пара очень высоко или велика высота всасыванія, обычнаго прохода для воды между насадками не достаточно; тогда при дальнѣйшемъ вращеніи рукоятки въ ту же сторону въ движеніе будетъ увлечена и паровая насадка S, крайнее положеніе которой опредѣляется одѣтымъ на нее хомутикомъ. При низкомъ давленіи пара рукоятка вращается въ обратную сторону, насадка же принимаетъ соотвѣтствующее положеніе подъ вліяніемъ давленія пара, дѣйствующаго на расширенную часть ея, въ которой помѣщается шпиндель. Здѣсь требуется особенно тщательная пригонка насадки и ея направляющихъ, чтобы не было просачиванія пара въ конденсаціонную камеру, такъ какъ этимъ уменьшается не только всасывающая способность, но и мощность.

На фиг. 57. представленъ саморегулирующій инжекторъ Sellers'a, весьма удобный для производства очистки, осмотра и ремонта частей его. Поворотомъ рукоятки H на небольшой уголъ назадъ, открывается выходъ струѣ пара чрезъ шпиндель, которою производится въ конденсаціонной насадкѣ разрѣженіе; находящійся за пріемной насадкой клапанъ k на сливной трубѣ долженъ быть открытъ. Когда чрезъ него покажется вода,

рукоятку отодвигаютъ на полный ходъ назадъ и закрываютъ сливное отверстіе.

Дальше работа инжектора идетъ съ автоматическимъ регулированіемъ количества притекающей воды при измѣненіи давленія, высоты всасыванія или температуры воды. Это достигается тѣмъ, что связанныя вмѣстѣ конденсаціонная и пріемная насадки подвижны и измѣняютъ свое положеніе по отношенію къ неподвижной паровой насадкѣ. Передняя часть первой насадки изготовлена въ видѣ поршня, пригнаннаго къ бронзовой втулкѣ, служащей цилиндромъ для него. Въ мѣстѣ перехода конденсаціонной насадки въ пріемную сдѣланы отверстія, чрезъ которыя излишекъ воды вытекаетъ, но не къ сливному отверстію, а въ особую камеру. Если послѣ пуска въ ходъ притекаетъ слишкомъ много воды, то она заполняетъ эту камеру, производитъ давленіе на обратную сторону поршня и приближаетъ обѣ насадки къ паровой; притокъ воды уменьшается. Если же воды мало, то насадки отодвигаются повышеннымъ давленіемъ съ передней стороны поршня и открываютъ большую площадь для протекающей воды. Таково же дѣйствіе при увеличеніи или уменьшеніи высоты всасыванія, при увеличеніи или уменьшеніи температуры притекающей воды. Допустимъ, напр., что температура воды повышается. Прежняго количества ея недостаточно для конденсаціи пара, а поэтому на переднюю часть поршня увеличится давленіе, которое отодвинетъ насадки назадъ, и притокъ воды усилится. Если же температура воды понизится, то, наоборотъ, болѣе успѣшная конденсація пара уменьшитъ давленіе на передней сторонѣ поршня, насадки приблизятся къ паровой. Для уменьшенія мощности инжектора измѣняется положеніе шпинделя относительно паровой насадки, чѣмъ увеличивается или уменьшается количество вытекающаго чрезъ главную насадку пара; конденсаціонная же и пріемная насадки снова автоматически занимаютъ вполнѣ опредѣленное положеніе, соотвѣтственно потребному для конденсаціи количеству воды. До тѣхъ поръ пока движущіяся части находятся въ исправности и не засорены отложеніемъ накипи, грязи и пр., саморегулированіе прибора вполнѣ надежно. Чтобы сдѣлать инжекторъ не чувствительнымъ къ ударамъ и сотрясеніямъ, предусмотрѣна воздушная камера E, находящаяся въ соединеніи со всасывающей трубой; упругостью воздуха этой камеры и поглощаются удары и сотрясенія всасывающей трубы.

Затѣмъ имѣются инжекторы съ многократнымъ притокомъ воды въ конденсаціонную насадку; послѣдняя въ этомъ случаѣ представляетъ рядъ отдѣльныхъ короткихъ насадокъ, поставленныхъ одна за другой. Такой способъ приведенія воды будетъ нами встрѣченъ у нижеописываемыхъ типовъ, а теперь перейдемъ къ инжекторамъ Restarting, т. е. такимъ, которые сами въ состояніи вновь начинать работать въ случаѣ, если бы она почему либо была прервана.

Одной изъ главныхъ причинъ отказа обыкновенныхъ инжекторовъ является проникновеніе воздуха и прекращеніе всасыванія воды; чтобы вновь возстановить дѣйствіе прибора, необходимо вторично пустить его въ ходъ. У рестартингъ-инжекторовъ въ этомъ нѣтъ необходимости; во время его работы можно вынуть, напр., всасывающую трубу изъ воды, затѣмъ опустить ее вновь въ резервуаръ; инжекторъ снова легко поднимаетъ ее и продолжаетъ питаніе котла водой.

На фиг. 58 указанъ инжекторъ-рестартингъ Шефферъ и Буденберга „Perfect“. Регулированіе пара производится шпинделемъ, входящимъ въ паровую насадку. Конденсаціонная насадка имѣетъ знакомую уже намъ форму, какъ у инжекторовъ, работающихъ мятымъ паромъ. Части ея, пригнанныя плотно одна къ другой, разсверливаются какъ одно цѣлое, такъ что при закрытіи получается точный конусъ. Поднимаясь подъ давленіемъ пара, подвижная часть насадки даетъ пару широкій проходъ наружу, не позволяя ему задерживаться предъ конденсаціонной насадкой, увеличивать предъ нею противодавленіе и тормазить притокъ воды. Онъ уходитъ затѣмъ чрезъ вѣстовое отверстіе, сѣченіе котораго значительно больше, чѣмъ у паровой насадки; когда инжекторъ находится въ работѣ, конденсаціонная насадка представляетъ закрытый конусъ. Если же почему либо прекратится притокъ воды и подача ея для питанія, вытекающая струя пара откидываетъ подвижную часть этой насадки; паръ, находя свободный выходъ въ атмосферу, легко производитъ вновь засасываніе, и дѣйствіе инжектора автоматически возстановляется. Конденсаціонная и пріемная насадки съ двумя различными положеніями подвижной части указаны отдѣльно на фиг. 59. Какъ видно изъ чертежа, верхняя часть конденсаціонной насадки независима отъ средней, входя въ нее. Этимъ, при закрытой половинкѣ обезпечивается непрерывность струи во время прохожденія ею насадки; насадка для хорошаго дѣйствія инжектора должна быть особенно тщательно изготовлена, чтобы не было просачиванія воздуха. Инжекторы рестартингъ особенно пригодны для паровозовъ; помимо нечувствительности ихъ къ тряскѣ и ударамъ, они почти совершенно не теряютъ воды чрезъ сливное отверстіе. Пускъ въ ходъ инжектора Perfect производится такимъ образомъ. Пунктиромъ указаны крайнія положенія рукоятки. Паръ отъ котла приводится чрезъ отверстіе въ головкѣ, гдѣ находятся направляющія для шпинделя, соединеннаго съ запорнымъ клапаномъ. На оси рукоятки эксцентрично посаженъ палецъ F, который входитъ въ соотвѣтственный прорѣзъ соединеннаго со шпинделемъ придатка. Благодаря этому, при вращеніи рукоятки шпиндель получаетъ поступательное осевое движеніе, открывая впускъ пара. Снаружи рукоятки имѣется указатель, движущійся надъ прикрѣпленной къ корпусу дугой, на которой указаны давленія пара. При вращеніи рукоятки нужно поставить указатель противъ дѣленія, соотвѣтствующаго

давленію пара въ котлѣ, и инжекторъ начинаетъ подавать воду. Эти инжектора изготовляются 14 размѣровъ съ подачей отъ 240 до 22500 литровъ въ часъ, полагая давленіе равнымъ $5^1/_2$ атм., температуру воды 15° и высоту всасыванія 2 метра. Работаютъ въ предѣлахъ давленій отъ 3 до 11 атмосферъ; при болѣе низкихъ давленіяхъ необходимо регулировать притокъ воды. Отверстіе вѣстовой трубы L закрывается обратнымъ клапаномъ, на который, кромѣ атмосфернаго давленія, дѣйствуетъ еще слабая спиральная пружина. У инжекторовъ, предназначенныхъ для паровозовъ, дѣлается нѣсколько сливныхъ отверстій, для большей свободы при выборѣ мѣста постановки и положенія сливного отверстія. Въ слѣдующихъ таблицахъ приведены нѣкоторыя данныя относительно условій работы этихъ инжекторовъ.

Давленіе пара въ атмосферахъ.	$2^1/_4$—$2^1/_2$	3	$3^1/_2$—4	5	6	7	8	9	10	11
Наибольшая возможная высота всасыванія	2	3	4	5	6	6	6	6	6	—

При притекающей водѣ или при высотѣ всасыванія въ 1 метръ, температура питательной воды можетъ быть:

Давленіе въ атмосф.	$3^1/_2$—4	$4^1/_2$—$6^1/_2$	7	8	9	10	11
Температура.....	58—62	55—65	54	50	45—48	40—43	38—40

При 7 атм. давленія и 2—3 метрахъ всасыванія температура воды можетъ быть 45—50°, а при 4—5 метрахъ—35—40°.

Чѣмъ горячѣе вода, тѣмъ меньшее количество ея можетъ быть подано при питаніи. При наибольшей допускаемой температурѣ оно составляетъ $^4/_5$ количества воды, подаваемаго при температурѣ ея въ 15°.

На фиг. 60 представленъ рестартингъ-инжекторъ Holden and Brooke. Отличіе его въ томъ, что конденсаціонная насадка разрѣзана, прозоръ между частями ея ведетъ въ особую камеру, закрываемую клапаномъ, а сливное отверстіе имѣетъ непосредственное соединеніе съ атмосфернымъ воздухомъ. Сѣдло клапана подвижно, такъ что можно установить инжекторъ въ любомъ положеніи, лишь бы клапанъ свободно закрывался подъ вліяніемъ собственнаго вѣса. Вторая особенность этого инжектора въ томъ, что у него одновременно регулируется притокъ пара и воды. Верхняя часть паровой насадки сдѣлана цилиндрической, движется по

осевому направленію, не вращаясь въ своей направляющей. Въ этой части имѣются прорѣзы для входа пара, далѣе поступающаго при открытомъ шпинделѣ въ насадку. Этимъ шпинделемъ регулируется количество входящаго пара, и прекращается совершенно доступъ его. Верхняя часть насадки и шпиндель имѣютъ ходовую винтовую рѣзьбу; чтобы насадка не вращалась, имѣется штифтъ, вставляемый въ соотвѣтствующее углубленіе въ корпусѣ; отъ продольнаго перемѣщенія самъ шпиндель удерживается кольцомъ. Благодаря большому шагу винтовой рѣзьбы для полнаго открытія насадки нужно сдѣлать небольшой поворотъ рукоятки. Опускаясь, паровая насадка открываетъ большій проходъ для пара и въ тоже время, приближаясь къ конденсаціонной, уменьшаетъ сѣченіе для притекающей воды. Такимъ образомъ, при высокихъ давленіяхъ пара уменьшеніе входной площади для пара связано съ увеличеніемъ площади входа для воды, и наоборотъ при низкихъ давленіяхъ пара. Находящійся на концѣ рукоятки указатель позволяетъ установить, согласно нанесенной на гайкѣ шкалѣ, притокъ пара и воды соотвѣтственно имѣющемуся давленію.

Пускъ въ ходъ и регулировка очень просты; такъ какъ подвижныя части расположены въ паровомъ пространствѣ, то накипь, илъ и грязь изъ воды не оказываютъ никакого дѣйствія на подвижность паровой насадки. Инжекторъ очень легко разбирается для чистки, которую можно производить подъ парами, если на паровой и нагнетательной трубѣ предусмотрѣны особые вентили. На фиг. 61 показанъ тотъ же инжекторъ для горизонтальной установки непосредственно на топочной стѣнкѣ паровознаго котла.

На фиг. 62 указанъ болѣе поздній типъ того же инжектора „Sirius“ завода Holden & Brooke. На шпинделѣ имѣется консоль, въ отверстіе которой проходитъ штокъ P клапана, расположеннаго въ водяной коробкѣ. При вращеніи рукоятки и подъемѣ шпинделя, одновременно поднимается и консоль, а съ ней клапанъ, пропускающій воду. При пускѣ въ ходъ, приподнимаютъ нѣсколько шпиндель паровой насадки; чрезъ отверстіе въ наконечникѣ его и расположенную по оси въ немъ малую паровую насадку вытекаетъ струя пара, присасывающая воду чрезъ одновременно пріоткрытый клапанъ. Дальнѣйшимъ вращеніемъ рукоятки устанавливается надлежащее соотношеніе между количествомъ притекающей воды и вытекающаго пара. Клапанъ для воды сдѣланъ съ двумя тарелками, при чемъ нижняя свободно проходитъ чрезъ сѣдло. Чѣмъ ниже давленіе пара, тѣмъ больше должно быть сѣченіе насадки, чтобы пропустить нужное для нагнетанія воды въ котелъ количество пара; притокъ воды тоже долженъ быть уменьшенъ, благодаря малой живой силѣ струи пара. Это и достигается нижней тарелкой водяного клапана. Чтобы достигнуть плотнаго закрытія паровой насадки и водяной камеры независимо другъ

отъ друга, только подъемъ клапана совершается совмѣстно съ подъемомъ шпинделя; опускается же и прижимается онъ къ сѣдлу подъ дѣйствіемъ особой пружины.

На фиг. 63 показанъ инжекторъ завода Siemens и Halske. Онъ также принадлежитъ къ типу рестартингъ, благодаря большой площади сливного отверстія. Особенность его въ томъ, что у него принужденная посадка питательнаго клапана, производимая одновременно съ прекращеніемъ работы инжектора.

Остальныя детали, равно способъ пуска въ ходъ понятны безъ поясненій. Заводъ даетъ слѣдующія нормы для работы.

№ инжектора.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Литры въ минуту при 5 атм. давленія и 2 метрахъ высоты всасыванія.	5	10	15	25	37,5	50	65	80	100	125	150	175	200	225	250	300	350	400	450	500

При большей высоты всасыванія, болѣе горячей водѣ (выше 25° Ц.) и меньшемъ давленіи количество подаваемой воды составляетъ $^2/_3$ указаннаго.

Давленіе въ атм.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Наивысшая температура, возможная при 1 метрѣ всасыванія.	60	58	56	54	52	48	46	42	40	38
Наибольшая высота всасыванія при 25°.	$4^1/_2$	6	6	6	6	6	6	6	6	6

Если инжекторъ работаетъ съ притокомъ, вода можетъ имѣть на 5—6° высшую температуру.

На фиг. 64 показанъ инжекторъ Gresham and Graven, весьма распространенный на Англійскахъ дорогахъ, вертикальнаго типа, прикрѣпляемый къ передней стѣнкѣ топки на одномъ фланцѣ. Чрезъ нижнее отверстіе въ немъ, закрываемое клапаномъ F, и каналъ M паръ проходитъ къ паровой насадкѣ A. Винтомъ L можно плотно закрывать отверстіе для питательной воды въ случаѣ необходимости ремонта подъ парами. Послѣдній легко сдѣлать, если снять гайку надъ концомъ пріемной насадки D.; каждая насадка вывинчивается одна за другой изъ соотвѣтствующихъ гнѣздъ въ корпусѣ. Рукояткой O регулируется притокъ воды; рукоятка N служитъ для подогрѣва воды въ случаѣ избытка пара. Особенность инжектора въ устройствѣ, дѣлающемъ его рестартингъ. Въ нижней части пріемной насадки вставленъ небольшой конусъ

C, который можетъ перемѣщаться въ осевомъ направленіи; для центрированія это движеніе направляется четырьмя ребрами на его поверхности.

На чертежѣ конусъ C указанъ въ томъ положеніи, которое онъ занимаетъ въ періодъ всасыванія; паръ вытекаетъ чрезъ прозоръ между конденсаціонной насадкой и подвижнымъ конусомъ C въ пространство H, а также чрезъ конецъ этого конуса по щели между нимъ и пріемной насадкой. Когда въ камеру придетъ вода, часть пара конденсируется, въ насадкѣ B образуется разрѣженіе, подвижной конусъ опускается внизъ, пока его фланецъ не придетъ въ соприкосновеніе съ нею. Въ этомъ положеніи онъ и удерживается, атмосфернымъ давленіемъ, образуя съ насадкой B длинную общую конденсаціонную насадку. Инжекторъ работаетъ на сухо, такъ какъ чрезъ сливное отверстіе нѣтъ потерь воды; при немъ, какъ видно изъ чертежа, совершенно отсутствуютъ трубы. Такого же типа инжекторы дѣлаются и для горизонтальной постановки.

На фиг. 65. представленъ рестартингъ-инжекторъ Фридмана.

Паровая насадка сдѣлана двойной; такое устройство имѣетъ цѣлью облегчить присасываніе воды въ инжекторъ.

При движеніи рычага влѣво, клапанъ, прилегающій къ паровой насадкѣ, открываетъ ее для входа пара. Часть его идетъ по кольцевому зазору между насадками, производя разрѣженіе въ конденсаціонной, другая часть протекаетъ по болѣе длинной второй насадкѣ въ глубь первой. Во время работы первая насадка, поднявъ воду, передаетъ ее ко второй, гдѣ струя получаетъ отъ удара необходимую кинетическую энергію.

Чтобы облегчить выходъ пару и сдѣлать невозможнымъ подпоръ со стороны всасыванія, въ конденсаціонной насадкѣ имѣется для этого въ двухъ мѣстахъ прорѣзы. Инжекторъ имѣетъ коробку, сообщающуюся сливнымъ отверстіемъ съ атмосферой; выходное отверстіе для пара въ этой коробкѣ закрыто клапаномъ. Новые инжекторы Фридмана, кромѣ того, имѣютъ еще слѣдующую особенность. Вблизи водяной камеры ставится кранъ d, который служитъ вообще для регулированія количества воды, устроенный такъ, что чрезъ него можетъ быть установлено сообщеніе между всасывающей трубой C и каналомъ e. Обратный клапанъ g закрываетъ проходъ изъ этого канала къ внутренней камерѣ инжектора. Если установить сообщеніе краномъ d, то при высокихъ давленіяхъ пара оказывается возможнымъ для инжектора присасывать дополнительное количество воды, поступающее чрезъ тѣ же щели въ конденсаціонную насадку, чрезъ которыя при пускѣ въ ходъ удаляется излишекъ пара. Обратный клапанъ g препятствуетъ въ это время выходу пара и проникновенію его во всасывающую трубу.

Инжекторы Фридмана изготовляются для подачи отъ 1080 до 13800 литровъ въ часъ (при 10 atm. рабочаго давленія). При 5—7 атм. вода

можетъ имѣть температуру до 60°, при болѣе высокихъ температурахъ нагнетаніе происходитъ съ потерями чрезъ сливное отверстіе.

Видоизмѣненіе инжектора Фридмана представляетъ распространенный на американскихъ паровозахъ „Monitor“, представленный на фиг. 66.

Устройство конденсаціонной насадки то же; особенность въ постановкѣ особаго парового сопла,—эжектора. Поворачивая рукоятку A, пускаютъ паръ по этому вспомогательному соплу. Такъ какъ эжекторъ помѣщенъ у сливного отверстія, то струя пара и воздухъ, увлекаемый ею, очень легко находятъ выходъ изъ камеры, чѣмъ достигается быстро сильное разрѣженіе въ конденсаціонной насадкѣ. Какъ только покажется вода, рукояткой B открываютъ главное паровое сопло и устанавливается подача воды въ котелъ; при надлежащемъ притокѣ воды и пара, чрезъ вѣстовую трубу вытекаетъ только паръ, что и свидѣтельствуетъ о начавшемся питаніи; эжекторъ послѣ этого закрываютъ. Если давленіе пара низко, то по открытіи главнаго сопла чрезъ вѣстовую трубу продолжаетъ идти вода; тогда рукояткой C регулируютъ ея притокъ до тѣхъ поръ, пока установится вновь истеченіе только пара. Инжекторъ даетъ возможность регулировать питаніе сообразно расходу пара, допуская въ значительныхъ предѣлахъ измѣненіе мощности при различныхъ давленіяхъ.

Болѣе новая конструкція того же инжектора показана на фиг. 67. Особаго эжектора здѣсь нѣтъ; для присасыванія же воды имѣется шпиндель-насадка, приводимая въ движеніе рычагомъ или маховичкомъ, если на шпинделѣ имѣется рѣзьба. Отклоненіемъ рукоятки сначала открывается впускъ пара во внутреннюю насадку, которымъ и производится разрѣженіе въ конденсаціонной насадкѣ. Когда чрезъ сливное отверстіе покажется вода, дальнѣйшимъ отклоненіемъ рукоятки открываютъ главное сопло, и вода начинаетъ поступать въ котелъ. Притокъ воды регулируется клапаномъ на всасывающей трубѣ. Паровая насадка новаго инжектора имѣетъ бо́льшее сѣченіе, что сдѣлано главнымъ образомъ для усиленія мощности инжектора при низкихъ давленіяхъ пара; при высокихъ же давленіяхъ его, количество пара опредѣляется соотвѣтственнымъ положеніемъ въ ней шпинделя.

Эти инжекторы изготовляются 9 размѣровъ (№№ 4—12) съ подачей воды отъ 2000 до 15000 литровъ въ часъ при рабочемъ давленіи пара около 10 atm. и температурѣ воды въ 15—20° Ц.

Инжекторъ Penberthy, изготовляемый заводомъ Dreyer, Rosenkranz, Droop указанъ на фиг. 68; онъ очень распространенъ у американскихъ локомобилей. Выходъ излишняго количества пара въ періодъ присасыванія воды изъ конденсаціонной насадки устроенъ въ концѣ послѣдней, чрезъ прозоръ между нею и пріемной насадкой. Между этими насадками находится свободно движущійся тарелчатый клапанъ T, который подъ дѣйствіемъ собственнаго вѣса прилегаетъ къ пріемной насадкѣ; таково поло-

женіе при пускѣ; когда же вода войдетъ въ конденсаціонную насадку и струя пойдетъ по пріемной, часть воды сливается въ камеру, окружающую насадку, и давленіемъ этой воды тарелчатый клапанъ приподнимается вверхъ и служитъ тогда продолженіемъ конденсаціонной насадки. Въ случаѣ перерыва струи во всасывающей трубѣ, клапанъ принимаетъ начальное положеніе, паръ проходитъ чрезъ прозоръ въ сливную камеру, а отсюда чрезъ сливное отверстіе, закрываемое клапаномъ P, удаляется въ атмосферу.

Всѣ эти инжекторы-рестартингъ могутъ работать и съ водой, подводимой къ нимъ подъ напоромъ; въ этомъ случаѣ необходимо поставить на водопроводной трубѣ вентиль или кранъ, которымъ регулировался бы ея притокъ во время работы и прекращался при остановкѣ инжектора. У многихъ изъ описанныхъ выше инжекторовъ были указаны такіе вентили для регулировки. Если инжекторомъ производится подогрѣваніе воды, то клапанъ вѣстовой трубы закрываютъ вплотную либо винтомъ, либо особымъ эксцентриковымъ нажимомъ, какъ у инжектора Фридмана.

Способность инжекторовъ къ самовсасыванію особенно цѣнна для котловъ паровоза, локомобиля и пароходовъ, гдѣ трубы ихъ подвержены ударамъ и сотрясеніямъ, а уровень воды въ резервуарѣ колебаніямъ отъ нихъ. Если, благодаря этому, струя во всасывающей трубѣ прервется или въ нее попадетъ воздухъ, инжекторъ прекращаетъ работу, но тотчасъ же самъ вновь производитъ засасываніе, и дѣйствіе его возстановляется. При простыхъ всасывающихъ инжекторахъ въ случаѣ перерыва пришлось бы приборъ пустить въ ходъ сызнова. Простота ухода за ними благопріятствуетъ широкому распространенію ихъ и у заводскихъ котловъ.

Выше уже было указано, что предѣльное противодавленіе у инжекторовъ, работающихъ мятымъ паромъ, составляетъ около 5 атм. При значительномъ противодавленіи указаннаго выше впуска дополнительной струи свѣжаго пара бываетъ недостаточно, и инжекторъ получаетъ особую форму.

На фиг. 69 показанъ инжекторъ Davies and Metcalf для паровозовъ, принадлежащій къ типу двойныхъ или компаундъ-инжекторовъ. Инжекторъ состоитъ изъ двухъ частей. Первая представляетъ инжекторъ того же завода для мятаго пара съ разрѣзной конденсаціонной насадкой. На патрубкѣ, соединяющемъ инжекторъ съ проводомъ мятаго пара, имѣется дроссель-клапанъ, которымъ разобщается инжекторъ отъ линіи паропровода. Со стороны инжектора вблизи этого клапана имѣется отверстіе для свѣжаго пара, которымъ работаетъ инжекторъ при стоянкѣ паровоза. Притокъ воды имѣетъ регуляторъ въ видѣ клапана. Отъ паропровода второго инжектора, работающаго свѣжимъ паромъ, идетъ соединительная трубка, которая подводитъ свѣжій же паръ въ насадку для мятаго пара. Между обоими инжекторами находится обратный клапанъ, закрывающійся

со стороны инжектора высокаго давленія. У каждаго имѣется по сливному отверстію, закрывающихся клапанами, какъ это видно по чертежамъ разрѣзовъ въ плоскости, проходящей чрезъ оси этихъ сливныхъ отверстій. У инжектора низкаго давленія это отверстіе закрывается подвѣснымъ клапаномъ, прижимающимся къ сѣдлу своимъ вѣсомъ и давленіемъ атмосфернаго воздуха; у инжектора высокаго давленія оно закрывается особымъ устройствомъ, обезпечивающимъ принужденную посадку клапана. На шпинделѣ клапана, помѣщеннаго въ отверстіи слива, имѣется поршень, надъ которымъ находится діафрагма, зажатая между крышкой и корпусомъ.

Вверху крышки имѣется отверстіе, чрезъ которое съ помощью соединительной трубки пространство подъ ней сообщается съ нагнетательной камерой инжектора ниже обратнаго питательнаго клапана. Пока нѣтъ нагнетанія, сливное отверетіе можетъ быть открыто, но при установившемся питаніи, когда давленіе въ нагнетательной коробкѣ возрастетъ, діафрагма, нажимая на поршень, плотно прижимаетъ клапанъ къ сѣдлу. Инжекторы очень легко разбираются для осмотра и очистки насадокъ. Указанное выше устройство оказалось необходимымъ въ силу слѣдующихъ причинъ. Первый инжекторъ, низкаго давленія, подаетъ воду ко второму съ избыточнымъ противъ атмосфернаго давленіемъ; въ конденсаціонной насадкѣ второго инжектора и въ нагнетательной камерѣ его существуетъ, слѣдовательно, избытокъ давленія, благодаря которому клапанъ сливного отверстія былъ бы всегда открытъ и терялъ бы воду. При пускѣ въ ходъ это избыточное давленіе соединительной трубкой передается на діафрагму и ею на поршень. Такъ какъ площадь послѣдняго меньше площади клапана, то при одинаковомъ давленіи клапанъ имѣетъ умѣренный подъемъ для пропуска воды и пара. Когда же установится питаніе, то давленіе въ нагнетательной коробкѣ дѣлается выше давленія въ конденсаціонной насадкѣ, и клапанъ плотно прижимается къ сѣдлу. Это приспособленіе, устраняя потерю воды, въ то же время даетъ инжектору способность автоматическаго возобновленія работы въ случаѣ возможнаго перерыва струи.

Вмѣсто діафрагмы тотъ же заводъ ставитъ для этой цѣли приспособленіе, указанное на фиг. 70. Здѣсь на шпиндель клапана сливного отверстія опирается рычагъ, другой конецъ котораго лежитъ въ прорѣзѣ небольшого металлическаго стержня; этотъ стерженекъ движется въ цилиндрикѣ и нижній конецъ его играетъ роль поршня. Давленіе нагнетательной коробки, дѣйствуя на него, передается рычагомъ на клапанъ сливного отверстія и тѣмъ производитъ принужденную посадку его. Этимъ совершенно устраняется необходимость ремонта или смѣны резиновой діафрагмы, которая можетъ портиться при высокой температурѣ воды. Пускъ инжектора производится слѣдующимъ образомъ. Прежде всего

пускаютъ воду и открываютъ притокъ пара въ инжекторъ высокаго давленія, послѣ чего этотъ инжекторъ начинаетъ работать; затѣмъ уже открываютъ притокъ мятаго пара. Для очистки его отъ масла на отвѣтвленіи по пути къ инжектору ставится маслоотдѣлитель, патентъ Metcalf, автоматически отводящій конденсаціонную воду и масло наружу.

Маслоотдѣлитель показанъ отдѣльно на фиг. 71, а на фиг. 72 показано общее расположеніе инжектора у паровоза; они ставятся обыкновенно только съ одной стороны его, другой же инжекторъ устанавливается обычнаго типа.

У паровозовъ, снабженныхъ ими, почти всегда имѣется избытокъ пара, благодаря подогрѣванію воды мятымъ паромъ; экономія топлива составляетъ около 10% на поѣздо-милю.

Температура питательной воды достигаетъ 125—130° Ц., что, конечно, помимо экономіи на углѣ отражается значительнымъ сохраненіемъ самого котла, благодаря отсутствію охлажденія водой стѣнокъ его. Присасываютъ воду эти инжектора съ температурой до 27° Ц., при болѣе высокихъ температурахъ вода должна идти самотекомъ. Другой инжекторъ того же типа завода Holden and Brooke показанъ на фиг. 73. Для пуска инжектора поднимаютъ рукоятку у инжектора высокаго давленія; паръ входитъ въ особую коробку и по обходной трубѣ идетъ къ инжектору низкаго давленія; проходъ же въ насадку остается закрытымъ, благодаря шпинделю. Когда вода покажется у вѣстовой трубы, дальнѣйшимъ движеніемъ рукоятки открываютъ притокъ пара въ насадку второго инжектора, и тогда устанавливается нагнетаніе. Послѣ этого соотвѣтствующимъ положеніемъ дроссель клапана на линіи мятаго пара устанавливается надлежащій притокъ его къ инжектору.

Стремленіе достигнуть наибольшей высоты всасыванія и желаніе подавать наиболѣе горячую воду привели къ конструкціи двойныхъ инжекторовъ. Первый такой инжекторъ былъ сдѣланъ Кертингомъ. Препятствія, которыя существуютъ у одиночныхъ инжекторовъ, состоятъ въ слѣдующемъ. Вода въ интервалѣ насадокъ паровой и конденсаціонной, если инжекторъ работаетъ съ открытымъ сливомъ, не можетъ быть выше 100°, и наоборотъ должна быть ниже этой температуры, чтобы не было обратнаго испаренія. Та или другая температура зависитъ отъ степени совершенства конденсаціи пара въ насадкѣ; при постановкѣ въ сливномъ отверстіи клапана, какъ это имѣется у большинства инжекторовъ рестартингъ, температура можетъ быть нѣсколько выше, чѣмъ у первыхъ, давленіе же въ интервалѣ можетъ соотвѣтствовать давленію пара при этой температурѣ; но во всякомъ случаѣ это давленіе не можетъ быть выше атмосфернаго, значительно приближаясь къ нему. Если бы вмѣсто обратнаго клапана въ сливномъ отверстіи поставить грузовой (нагрузка отъ пружины очень мала у инжекторовъ рестартингъ и рѣчь идетъ здѣсь

не объ ней), то тѣмъ самымъ было бы возможно поднять и давленіе въ интервалѣ, и температуру воды; но при такомъ клапанѣ необходимо было бы во время пуска производить подъемъ его, иначе инжекторъ не могъ бы начать работы.

Эти то препятствія и устранены постановкой двухъ инжекторовъ, изъ которыхъ первый, поднявъ воду, подъ небольшимъ давленіемъ до 2—2,5 атмосферъ подаетъ ее ко второму, который направляетъ ее уже дальше съ необходимой для преодолѣнія сопротивленій скоростью въ свою пріемную насадку.

Двойной инжекторъ Кертинга представленъ на фиг. 74. Лѣвая часть играетъ роль инжектора низкаго давленія, правая высокаго. Насадка перваго имѣетъ очень небольшіе размѣры, дабы можно было обойтись при небольшомъ количествѣ вытекающаго пара безъ прорѣзовъ или другихъ приспособленій на конденсаціонной насадкѣ, необходимыхъ для удаленія его. Вращая рукоятку A, закрѣпленную неподвижно на оси, приводятъ въ движеніе эксцентрично насаженную шайбу b и рычагъ c. Штанга d получаетъ при этомъ движеніе вверхъ, а вмѣстѣ съ нею и стержень e. На прикрѣпленной на оси къ нему поперечинѣ подвѣшены клапана f и g; такъ какъ площадь клапана g больше клапана f, то первымъ открывается послѣдній; струя пара производитъ разрѣженіе, и когда вода поднимется до инжектора, смѣсь пара и воды показывается чрезъ сливное отверстіе D. Краномъ D закрываютъ при дальнѣйшемъ движеніи рукоятки A каналъ h, вода идетъ теперь по каналу E, чрезъ второй инжекторъ и каналъ i. Поворачивая рукоятку далѣе, при чемъ кранъ D въ то же время закрываетъ и каналъ i, доводятъ направляющій шпиндель клапана f до мертваго положенія, а клапанъ g открываетъ входъ пару во второй инжекторъ. Струя этого пара сообщаетъ водѣ энергію, достаточную для подъема клапана H; вода поступаетъ для питанія. Описанные процессы слѣдуютъ столь быстро одинъ за другимъ, что пускъ инжектора производится непрерывнымъ медленнымъ вращеніемъ рукоятки A до соотвѣтствующаго положенія.

Инжекторы Кертинга совмѣстно съ подогрѣвателями воды мятымъ паромъ примѣняются на германскихъ желѣзныхъ дорогахъ. Они могутъ быть вертикальными и горизонтальными. Данныя о ихъ работѣ таковы. При 7 атм. рабочаго давленія и притокѣ холодной воды въ часъ подаютъ: инжекторы съ чугуннымъ корпусомъ (16 размѣровъ) отъ 1560 до 29600 литровъ; инжекторы бронзовые (14 размѣровъ) отъ 570 до 19200 литровъ. При всасываніи воды, при меньшемъ давленіи пара, при подогрѣтой водѣ мощность ихъ уменьшается до $^2/_3$.

Наибольшая высота всасыванія холодной воды достигаетъ 6,5 метровъ, наибольшая температура притекающей къ инжектору воды можетъ быть 70^0.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ помѣщены свѣдѣнія о рыночныхъ инжекторахъ этого завода. Они работаютъ:

при рабочемъ давленіи пара	2	3	4—8	9—10	11—12	атм.
берутъ холодную воду при всасываніи на	2,5	5	6	5	4	мет.
нагнетаютъ горячую притекающую воду	54°	60°	65°	64°	62°	Ц.
всасываютъ ее съ 2 метровъ при	50°	58°	60°	57°	54°	Ц.

На фиг. 75 показана видоизмѣненная форма того же инжектора, изготовляемая Schutte въ Америкѣ. Операція пуска ничѣмъ не отличается отъ описанной уже выше; клапанъ вѣстового отверстія закрывается одновременно съ движеніемъ рукоятки, благодаря связи ея со стержнемъ, захватывающимъ рукоятку на шпинделѣ этого клапана. Количество подаваемой воды регулируется краномъ на всасывающей трубѣ; въ болѣе поздней конструкціи для регулировки всасываемой воды въ насадкѣ перваго инжектора вставленъ шпиндель-насадка, положеніе коего измѣняется особой рукояткой.

На фиг. 76 представленъ инжекторъ „Metropolitan“, очень распространенный на паровозахъ Америки. Особенность его конструкціи—автоматическое дѣйствіе клапана сливного отверстія и регулировка пара для обоихъ инжекторовъ однимъ клапаномъ D. Указанный на чертежѣ регуляторъ для перваго инжектора устраивается исключительно для паровозныхъ инжекторовъ; имъ же можно пользоваться для регулированія количества поступающей въ котелъ воды и при заводскихъ котлахъ, работающихъ съ перемѣннымъ расходомъ пара.

Эта регулировка происходитъ слѣдующимъ образомъ. Между конденсаціонной и пріемной насадками перваго инжектора имѣется прорѣзъ g; при уменьшившемся количествѣ пара въ паровой насадкѣ, не вся притекающая вода можетъ пройти въ пріемную насадку, и потому часть ея чрезъ отверстіе g будетъ переливаться въ приточную камеру. При усилившейся струѣ пара недостатокъ воды, поступающей чрезъ конденсаціонную насадку, возмѣщается притокомъ ея чрезъ этотъ же прорѣзъ. Для пуска инжектора, отклоненіемъ рукоятки A открываютъ кольцевой клапанъ, насаженный на стержнѣ D; небольшое количество пара проходитъ чрезъ прорѣзы клапана b въ камеру c, а изъ нея въ камеру d и паровую насадку перваго инжектора. Когда поднятая вода, заполнивъ пространство H и приподнявъ клапанъ e, покажется чрезъ клапанъ f у вѣстовой трубы, рукоятка A отводится въ крайнее положеніе. При этомъ открывается притокъ пару въ насадку второго инжектора и одновременно закрывается клапанъ сливного отверстія; увеличившимся же давленіемъ нагнетательной камеры закрывается и клапанъ e. Эти инжекторы изготовляются Hayden and Derby, въ Нью-Іоркѣ. По даннымъ завода они начинаютъ работать при давленіи пара 1,75 атм. и безъ всякой особой регулировки

продолжаютъ питаніе до давленія въ 18 атм. При давленіи пара въ 6,5 атм. инжекторы берутъ воду съ температурой 63—65° Ц.; при увеличеніи давленія пара температура воды должна быть указанная въ таблицѣ:

Давленіе пара	8,25 атм.	10 атм.	11,5 атм.	13 атм.
Температура	61°	57°	54°	51° Ц.

Вообще въ конструкціи двойныхъ инжекторовъ, ради простоты операцій съ ними, преслѣдуется та цѣль, чтобы одной рукояткой можно было установить правильное открытіе обоихъ паровыхъ вентилей и закрытіе клапана сливного отверстія. Очень просто рѣшена эта задача въ инжекторѣ Hannover'sche Centralheizungs- und Apparate-Bau-Anstalt, представленномъ на фиг. 77. Ось сливного крана A проходитъ въ центрѣ прибора между насадками инжекторовъ; на концѣ ея сдѣлана винтовая нарѣзка, гайка которой имѣетъ два плеча b, b, входящія въ соотвѣтствующія выемки на клапанахъ d и e.

Въ то время какъ клапанъ d открытъ, e остается еще закрытымъ, такъ какъ плечо b имѣетъ въ немъ небольшой холостой ходъ. Поднятая первымъ инжекторомъ вода проходитъ конденсаціонную насадку B и каналомъ f чрезъ кранъ вытекаетъ наружу; вращеніемъ рукоятки далѣе закрываютъ кранъ A, вода подводится теперь ко второму инжектору; одновременно съ этимъ открывается второй паровой клапанъ e, и начинается питаніе котла.

Эти инжекторы изготовляются 14 размѣровъ съ подачей воды отъ 470 до 15900 литровъ въ часъ при 7 атм. давленія, 2 метрахъ высоты всасыванія и 25° темпер. воды.

Увеличеніе высоты всасыванія и температуры воды и уменьшеніе давленія пара понижаютъ указанную мощность.

Къ типу двойныхъ же инжекторовъ принадлежитъ также инжекторъ „Belfield“, указанный на фиг. 78. Рѣзкое отличіе отъ вышеописанныхъ въ томъ, что обѣ насадки расположены по одной оси. При поворотѣ рукоятки прежде всего открывается входъ пара въ насадку шпиндель; вода присасывается и, проходя насадки, выходитъ изъ сливного отверстія. Дальнѣйшимъ поворотомъ рукоятки открывается притокъ пара въ главную насадку; шпиндель остается внутри ея, такъ что на воду дѣйствуетъ какъ центральная струя пара, вытекающая изъ него, такъ и струя пара, вытекающая по кольцевому зазору. Одновременно съ этимъ паръ проходитъ чрезъ видные на чертежѣ прорѣзы въ каналъ и ко второму ряду насадокъ. Съ помощью тяги и кривошина въ то же время происходитъ и плотная посадка на сѣдло клапана сливного отверстія; гайкой на штангѣ можно регулировать моментъ этого закрытія въ зависимости отъ открытія отверстій для притока пара. Этимъ удается достигнуть вполнѣ удовлетворительно наименьшей мощности прибора, и измѣнять ее

вообще въ достаточно широкихъ предѣлахъ. Эти инжекторы изготовляются 8 размѣровъ съ мощностью отъ 1130 до 12790 литровъ въ часъ при давленіи пара въ 8 атм. и высотѣ всасыванія 1,5 mtr.

На фиг. 79 указанъ американскій инжекторъ „Buffalo“. Поворотъ рукоятки открываетъ сначала притокъ пара къ первому инжектору, при дальнѣйшемъ же движеніи ея и ко второму. Сливное отверстіе автоматически закрывается при увеличеніи давленія въ нагнетательной камерѣ второго инжектора; при остановкѣ же его оно открывается.

На фиг. 80 указанъ двойной инжекторъ „Albion“, при чемъ первый инжекторъ совершенно отдѣленъ отъ второго. Этимъ имѣется въ виду подавать горячую воду при низкомъ уровнѣ ея въ резервуарѣ, когда трудно произвести всасываніе.

Первый инжекторъ погружается въ воду, и паровая труба его для устраненія конденсаціи имѣетъ наружный кожухъ изъ трубы же; въ зазорѣ между трубами остается изолирующій слой воздуха. Паровой клапанъ одинъ для впуска пара къ обоимъ инжекторамъ; клапанъ пустотѣлый съ отверстіями по окружности, чрезъ которыя паръ входитъ внутрь него. При вращеніи рукоятки прежде всего отодвигается внутренній шпиндель съ клапаномъ a на концѣ; паръ проходитъ чрезъ отверстіе b къ нижнему инжектору; когда у сливного отверстія верхняго инжектора появится вода, дальнѣйшимъ движеніемъ рукоятки открывается большой клапанъ, причемъ внутренній клапанокъ a захватываетъ соотвѣтственный выступъ внутри его. Паръ входитъ теперь въ насадку второго инжектора и производитъ нагнетаніе воды въ котелъ. Два пальца c,c, прикрѣпленные къ паровому клапану, захватываютъ при движеніи вправо паровую насадку второго инжектора, отодвигаютъ ее и тѣмъ увеличиваютъ проходъ для воды къ инжектору высокаго давленія. Начальная установка соотвѣтствуетъ, слѣдовательно, наименьшей мощности прибора. Для одновременнаго обслуживанія обоихъ инжекторовъ закрытіе сливного отверстія сдѣлано такимъ образомъ. Пріемная насадка второго инжектора подвижна, и на концѣ, ближайшемъ къ паровому соплу, имѣетъ расширеніе; конденсаціонная насадка состоитъ изъ двухъ частей; первая неподвижна и имѣетъ въ сторону пріемной насадки такое же расширеніе, какъ и послѣдняя. Подвижная часть конденсаціонной насадки можетъ двигаться въ этихъ расширенныхъ концахъ, направляясь ребрами, центрирующими всѣ три части.

Когда вода будетъ подана вверхъ первымъ инжекторомъ, то она сначала отодвигаетъ обѣ подвижныя насадки, а затѣмъ и раздѣляетъ ихъ. Для выхода воды открывается къ сливному отверстію достаточно широкая площадь прохода. Теперь, поворотомъ рукоятки, впускаютъ паръ въ верхній инжекторъ; струя воды устанавливается въ немъ и давленіемъ на противоположныя стороны насадокъ заставляетъ ихъ придвинуться къ

паровой. Струя воды совершенно изолируется отъ атмосферы, и потому температура ея можетъ быть значительно выше 100°.

Помимо описанныхъ здѣсь имѣется цѣлый рядъ другихъ инжекторовъ, отличающихся другъ отъ друга небольшими детальными измѣненіями; ихъ разсмотрѣніе не внесетъ ничего новаго для знакомства съ типами инжекторовъ.

Матеріалы для инжекторовъ, обработка частей ихъ, ремонтъ, изнашиваніе; правила установки и ухода.

Матеріаломъ для инжекторовъ служитъ чугунъ, пушечная бронза, обыкновенная бронза и латунь. Первый идетъ исключительно для изготовленія корпуса инжектора, насадки же всегда дѣлаются изъ бронзы или близкихъ къ ней по качеству сплавовъ. Для болѣе дорогихъ и отвѣтственныхъ частей ставится сплавъ большей твердости, для изнашивающихся, легко смѣняемыхъ употребляется болѣе мягкій матеріалъ. Напримѣръ, краны, клапаны выгодно дѣлать изъ болѣе мягкой бронзы, чтобы сберечь отъ быстраго изнашиванія сѣдло клапана или корпусъ крана и т. д.

Смѣсь мѣди и олова, образующихъ сплавы при различныхъ соотношеніяхъ между ними по вѣсу, даетъ бронзу,—очень распространенный въ машиностроительномъ дѣлѣ матеріалъ. Для обыкновенныхъ машинныхъ частей вполнѣ удовлетворительнымъ является сплавъ такого состава:

80% мѣди, до 18% олова, около 2% цинка и 0,5% свинца.

Для частей инжектора рекомендуется сплавъ:

88% мѣди, 10% олова, около 2% цинка и 0,5% свинца.

Въ зависимости отъ назначенія сплава прибавляютъ марганецъ, сурьму или фосфоръ; вредными для качествъ сплава являются желѣзо и силицій. Плотность и твердость сплава зависятъ отъ % содержанія олова. Качества сплава отличаются отъ качествъ составныхъ частей его; плотность его больше средней плотности составляющихъ металловъ; сплавъ менѣе подверженъ окисленію, болѣе твердъ. Температура плавленія его ниже, чѣмъ у мѣди и выше, чѣмъ у олова. Это обстоятельство очень важно не упускать изъ виду при отливкѣ, такъ какъ отъ этого зависитъ однородность матеріала въ издѣліи. Отливку частей слѣдуетъ производить по возможности быстро и насколько можно быстро охлаждать ее, чтобы предупредить явленіе ликваціи. Точно также при образованіи сплава мѣдь слѣдуетъ плавить быстро, а олово при смѣшеніи съ нею держать погруженнымъ въ массѣ мѣди во избѣжаніе образованія перекиси его. Присутствіе перекиси вредно и не выгодно потому, что она сообщаетъ матеріалу слишкомъ большую твердость; при обработкѣ издѣлія много хлопотъ доставляетъ содержаніе инструмента и рѣзцовъ острыми, при работѣ же

будетъ замѣчено неравномѣрное изнашиваніе детали, благодаря присутствію на поверхности мѣстъ различной твердости. Перекись настолько затрудняетъ обработку частей, что подчасъ отдѣльныя детали, какъ неудобныя и непригодныя для обработки, приходится сдавать въ отбросы мѣднолитейной.

Присадка 2% цинка, играющаго роль раскислителя, оказываетъ благотворное дѣйствіе на сплавъ, возвращая ему чистоту и дѣлая его нѣсколько болѣе твердымъ; фосфоръ вліяетъ одинаково съ цинкомъ.

Обработку насадокъ лучше всего производить сверленіемъ; если насадка растачивается или распиливается, то на стѣнкахъ ея остаются слѣды и борозды отъ рѣзанія металла. Эти шероховатости представляютъ большое сопротивленіе движущимся струямъ пара и воды. Поэтому насадки должны быть хорошо отшлифованы. Особенно это необходимо для конденсаціонной и пріемной въ передней части ея до пріемнаго устья и въ самомъ устьѣ. Въ первомъ случаѣ имѣется значительное ударное дѣйствіе, во второмъ въ сѣченіи жидкость проходитъ съ наибольшей скоростью. Вообще обработка частей требуетъ очень искусной и терпѣливой работы, что въ связи съ необходимостью опытнаго изысканія наилучшихъ профилей насадокъ сосредоточиваетъ изготовленіе инжекторовъ въ рукахъ спеціальныхъ фабрикъ, оборудованныхъ спеціальными машинами и наиболѣе пригодными для этого инструментами. Скорость рѣзца или издѣлія берутъ отъ 70—80 оборотовъ въ минуту *).

Изнашиваніе инжекторовъ выражается истираніемъ и выѣданіемъ внутреннихъ поверхностей насадокъ. Оно зависитъ главнымъ образомъ отъ песка, грязи и количества растворенныхъ въ водѣ солей. Износу подвергается прежде всего конденсаціонная насадка; если струи пара и воды хорошо центрированы, будетъ только равномѣрное истираніе поверхности; если же вода разбивается струей пара и отбрасывается къ стѣнкамъ, то въ мѣстахъ удара могутъ появиться характерныя впадины и рытвины. Затѣмъ отъ тѣхъ же причинъ зависитъ и износъ пріемной насадки. Особенно быстро онъ идетъ въ устьѣ насадки, увеличивая діаметръ его; въ расширенной же части подъ дѣйствіемъ вытекающихъ изъ конденсаціонной насадки брызгъ также могутъ образоваться бороздки и углубленія. Равномѣрность изнашиванія находится въ прямой зависимости отъ степени совершенства отливки и однородности матеріала по всей детали: мягкія мѣста будутъ скорѣе истираться, чѣмъ твердыя, что можетъ совершенно испортить правильность въ очертаніи профиля и ухудшить дѣйствіе прибора.

Ремонтъ этихъ насадокъ состоитъ въ удаленіи этихъ испорченныхъ мѣстъ расточкой или высверливаніемъ и новой шлифовкой по-

*) Болѣе подробныя свѣдѣнія о матеріалахъ можно найти въ Revue chemin de fer, 1897 г., 20 января, p.p. 391—411.

верхностей. При этомъ, конечно, измѣняются размѣры насадокъ и работа инжектора послѣ ремонта будетъ протекать въ иныхъ условіяхъ, чѣмъ у новаго. Знаніе этихъ новыхъ условій для надежности и безопасности котла весьма необходимо, и поэтому надо приборъ предварительно испытать; методамъ этого испытанія посвящается особая глава. Вмѣсто ремонта, можно износившіяся части замѣнить запасными, стоимость которыхъ составляетъ примѣрно около $^1/_5$ стоимости самого инжектора.

Кромѣ ремонта инжекторъ нуждается въ хорошемъ досмотрѣ за чистотой его частей, особенно у тѣхъ изъ нихъ, которые имѣютъ нѣкоторыя подвижныя части. Разумѣется осмотръ возможенъ лишь въ томъ случаѣ, если это не было упущено еще при конструированіи; поэтому на доступность и легкость чистки слѣдуетъ обращать при выборѣ инжектора самое серьезное вниманіе. Попутно съ устраненіемъ замѣченныхъ въ приборѣ дефектовъ, слѣдуетъ выяснить и причину ихъ и принять мѣры къ созданію болѣе благопріятныхъ для работы прибора условій. Если причина кроется въ обильномъ содержаніи грязи и песка въ водѣ, то не слѣдуетъ даже останавливаться предъ затратами на устройство отстойниковъ и очистки, ибо состояніе инжектора, работающаго съ такой водой, указываетъ отчасти, чего можно ожидать и въ самомъ котлѣ. Франція, напр., примѣняетъ на своихъ желѣзнодорожныхъ линіяхъ очистку воды; это замѣтно отразилось какъ на увеличеніи срока службы инжекторовъ, такъ и самихъ котловъ. Точно также очистка примѣнена и на баденскихъ желѣзныхъ дорогахъ на станціяхъ Lauda, Heidelberg и Osterburken *). При небольшомъ загрязненіи очистку легко производятъ погруженіемъ вынутыхъ насадокъ въ соляную кислоту.

Первыя попытки примѣнить инжекторъ для питанія заводскихъ котловъ были неудачны и упрочили за нимъ славу прибора ненадежнаго и капризнаго; но съ теченіемъ времени, когда первоначальный типъ былъ видоизмѣненъ и значительно усовершенствованъ, онъ нашелъ и у этихъ котловъ весьма широкое распространеніе. Если и теперь бываютъ неполадки съ нимъ, то онѣ очень скоро могутъ быть устранены, такъ какъ причины ихъ легко могутъ быть открыты.

---

*) Болѣе подробно о разсматриваемыхъ здѣсь предметахъ можно найти свѣдѣнія въ слѣдующихъ журналахъ.

Revue Industrielle 1900, 31, 490. Avaries dans les tuyaux des injecteurs.
Organ 1902, 233—235. Wasserreinigungsanlage des badischen Eisenbahn.
Желѣзнодор. дѣло 1903, стр. 311. Дистиллированная вода на службѣ паровозовъ.
Practical Engineer 1903, II, 307. A new injector for bad feed water.
„ „ 1905, стр. 442. Очистка инжектора химическимъ путемъ.

Отказъ инжектора въ работѣ можетъ зависѣть отъ эксцентричнаго положенія насадокъ—дефектъ завода, выпустившаго такой приборъ на рынокъ; впрочемъ при распространенномъ теперь на заводахъ, занимающихся приготовленіемъ инжекторовъ, обязательномъ испытаніи каждаго инжектора этотъ недостатокъ почти исключается;

отъ съуженія проходныхъ сѣченій выжатыми внутрь прокладными кольцами; для устраненія этого рекомендуется ставить металлическія прокладки (напр., коническія бронзовыя кольца въ притирку, какъ на фиг. 79, мѣдныя кольца въ заточкахъ, центрирующихъ соединяемыя части, и пр.);

отъ неплотности корпуса инжектора или всасывающей трубы; устраняется постановкой отвѣчающихъ цѣли прокладокъ;

отъ съуженія сѣченій насадки отложеніемъ накипи на стѣнкахъ ея; устраняется очисткой.

отъ наличности большихъ сопротивленій въ зависимости отъ рѣзкихъ измѣненій въ сѣченіи каналовъ и трубъ, проводящихъ воду, и отъ слишкомъ крутыхъ поворотовъ; устраняется соотвѣтственнымъ измѣненіемъ водопровода.

Причинами отказа иногда могутъ быть слишкомъ большая высота воды въ нагнетательной трубѣ, инерціи которой не въ состояніи преодолѣть вновь нагнетаемая вода, благодаря ея малой скорости; устраняется поднятіемъ самого инжектора ближе къ уровню воды въ котлѣ; слишкомъ горячая вода, которую не можетъ засосать инжекторъ; устраняется либо передѣлкой такъ, чтобы вода притекала къ инжектору, либо разбавленіемъ ея холодной водой.

У паровозныхъ инжекторовъ можетъ причиной отказа быть замерзаніе воды въ низко расположенныхъ водяныхъ трубахъ; устранимо постановкой въ соотвѣтствующихъ мѣстахъ продувныхъ и спускныхъ кранovъ.

Отказъ нжектора можетъ зависѣть и отъ слѣдующихъ причинъ.

Неплотность парового клапана, и вслѣдствіе этого нагрѣваніе всего прибора и всасывающей трубы. Во время работы устраняется легко охлажденіемъ водой; при остановкѣ же котла необходимо притереть клапанъ и сѣдло до плотнаго герметически прилеганія ихъ.

Просачиваніе легко обнаружить какъ тепловымъ состояніемъ прибора, такъ и наблюденіемъ за вѣстовой трубой; если оно есть, то при закрытомъ паровомъ вентилѣ замѣтно будетъ истеченіе слабой струи пара. Отказъ зависитъ въ этомъ случаѣ отъ недостаточно большого разрѣженія, обусловленнаго высокой температурой прибора.

Неплотность всасывающей трубы; этотъ недостатокъ легко обнаружить, если закрыть клапанъ вѣстового отверстія, и открыть паровой вентиль. Паръ будетъ проходить по всасывающей трубѣ въ резервуаръ; если есть неплотности, то одновременно и чрезъ нихъ.

Неплотность питательныхъ клапановъ на котлѣ. Въ этомъ случаѣ происходитъ, какъ и въ первомъ, нагрѣваніе прибора.

Иногда инжекторъ забираетъ воду, но работаетъ нерегулярно, съ перерывами, либо съ непрерывной потерей безъ нагнетанія чрезъ вѣстовую трубу. Причиной этого могутъ быть менѣе значительная проницаемость всасывающей трубы; присутствіе воздуха въ водѣ сказывается разрывомъ струи въ насадкахъ, но количество его не столь значительно, чтобы сдѣлать совсѣмъ невозможнымъ всасываніе;

засореніе всасывающей трубы или недостаточность площади отверстій сѣтки на ней, поставленной для предупрежденія этого засоренія. Сѣтку нужно ставить съ такимъ расчетомъ, чтобы суммарная площадь отверстій была въ $2--2^1/_2$ раза болѣе площади самой трубы; засореніе устраняется продувкой всасывающей трубы, для чего надо пустить въ приборъ паръ при закрытомъ вѣстовомъ клапанѣ;

неправильное дѣйствіе питательнаго клапана на котлѣ (перекашиваніе и пр.); уничтожается чисткой и притиркой.

Соотвѣтственно этимъ причинамъ отказа въ работѣ и во избѣжаніе такового могутъ быть рекомендованы слѣдующія правила монтажа инжекторовъ.

Трубопроводы вести безъ рѣзкихъ искривленій, съ небольшимъ числомъ плавныхъ поворотовъ и безъ рѣзкихъ измѣненій въ сѣченіи. Обычно трубы ставятся того же діаметра, каковы выходы изъ инжектора на соотвѣтствующихъ фланцахъ. Размѣръ ихъ указывается иногда въ прейсъ-курантахъ заводовъ. Для опредѣленія ихъ расчетомъ слѣдуетъ принимать во всасывающихъ и нагнетательныхъ трубахъ одиночныхъ инжекторовъ скорость теченія отъ 0,8 до 1,7 metr., а для двойныхъ инжекторовъ отъ 0,8 до 2,3 metr. Чѣмъ выше № инжектора, тѣмъ большая скорость можетъ быть положена въ основаніе расчета. Паровая труба инжектора дѣлается того же діаметра, что и для воды; при мятомъ парѣ размѣръ трубы опредѣляется по объему и скорости его. Послѣ сборки всѣхъ трубъ ихъ слѣдуетъ тщательно очистить, для чего предварительно трубы проходятъ, ударяя молоткомъ, а затѣмъ продуваютъ сильно паромъ. Не слѣдуетъ ставить старыхъ, покрытыхъ ржавчиной трубъ, такъ какъ тотчасъ же присутствіе ея отразится на состояніи поверхностей насадокъ; это одна изъ причинъ, почему на паровозахъ предпочтительно ставятъ мѣдныя трубы. Паровую трубу для инжектора слѣдуетъ брать вполнѣ независимо отъ остальныхъ паропроводовъ. Начало ея на котлѣ располагать такъ, чтобы къ инжектору направлялся наиболѣе сухой паръ; ее выгодно изолировать для уменьшенія конденсаціи. Между котломъ и инжекторомъ слѣдуетъ ставить особый запорный вентиль.

Стыки всасывающей трубы дѣлать наиболѣе тщательно для герметичности ея; если инжекторъ ставится въ сторонѣ отъ резервуара съ водой, то всасывающую трубу слѣдуетъ проложить съ непрерывнымъ подъемомъ къ нему.

Въ устраненіе засоренія на концѣ ея полезно поставить сѣтку. Для лучшаго наблюденія за работой не слѣдуетъ ставить длинныхъ трубъ отъ сливного отверстія; если необходимо отводить воду, то для этого подъ короткихъ ниппелемъ вѣстовой трубы выгодно поставить воронку, чрезъ которую и устроить отводъ сливающейся воды.

Испытаніе инжектора.

Въ 1904 г. на съѣздѣ инженеровъ и делегатовъ интернаціональнаго союза обществъ по наблюденію за паровыми котлами въ Barmen-Elberfeld г. Каріо былъ сдѣланъ докладъ о расходѣ пара и коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія инжектора *).

Докладъ этотъ долженъ былъ дать отвѣтъ на поставленный союзомъ вопросъ, имѣются ли надежныя опытныя данныя для оцѣнки расхода пара въ инжекторѣ, и каковы главные результаты этихъ опытовъ въ указанномъ выше направленіи. Оказалось, что вопросъ о расходѣ пара, механическомъ и термическомъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія совершенно не разработанъ практически; только по иниціативѣ двухъ обществъ —эльзасскаго и швейцарскаго, были произведены опыты, которые имѣли главной цѣлью сравненіе инжектора съ питательнымъ насосомъ. Послѣднимъ обществомъ были опубликованы результаты испытанія, указывающіе, что термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія инжектора составляетъ круглымъ числомъ 81%, а насоса 48%.

Zeuner въ своей книгѣ „Grundzüge der mechanischen Wärmetheorie“ (второе изд. 1866 г.) упоминаетъ о сдѣланныхъ имъ опытахъ, но они до сихъ поръ не опубликованы и въ настоящее время имѣютъ лишь историческое значеніе, такъ какъ производились съ паромъ, давленіе котораго было 3,3 atm.

Для выясненія дѣла г. Каріо были произведены самостоятельные опыты, результаты которыхъ дали ему возможность опредѣлить механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія въ 2% (два), а термическій въ 96%.

Кромѣ упомянутыхъ выше при описаніи насадокъ опытныхъ изслѣдованій, въ европейской литературѣ никакихъ свѣдѣній объ опытномъ испытаніи инжекторовъ не имѣется.

Богаче на эту тему свѣдѣніями журналы американскіе; къ сожалѣнію не удалось достать журнала Cassier's Magazine **), въ которомъ сдѣлана сводка опытовъ съ инжекторами въ Америкѣ.

---

*) Protocoll der 33 Delegierten—und Ingenieur—Versammlung des Internationalen Verbandes der Dampfkessel—Ueberwachungs—Vereine, стр. 182. См. также Zeitschr. des Bayerischen Revisions-Vereines, 1904 г., стр. 147.

**) Febr. 1892.

Въ „American Machinist“ за 1896 г. (стр. 105, 288) имѣются данныя объ испытаніи инжектора и измѣреніи мощности его въ случаѣ всасыванія имъ воды и притока ея подъ напоромъ.

Давленіе пара было 4,9 атм., высота всасыванія 0,6 mtr.; давленіе, подъ которымъ притекала вода къ инжектору, 1,8 атм. Wakeman нашелъ, что во второмъ случаѣ инжекторъ подавалъ на 22% больше воды, чѣмъ въ первомъ, включая сюда и расходуемый паръ.

Нѣсколько замѣтокъ, основанныхъ на данныхъ испытаній, имѣется въ журналѣ Франклинова Института; одна изъ послѣднихъ статей, представляющая сводку результатовъ ипытанія инжектора Селлерса, цитируется ниже *).

Такимъ образомъ, вопросъ о расходѣ пара остается совершенно не выясненнымъ. Правда, инжекторъ не принадлежитъ къ числу приборовъ—„пожирателей тепла“, въ виду высокаго значенія термическаго коэффиціента полезнаго дѣйствія у него, но что расходъ пара въ немъ по сравненію съ производимой работой великъ, не подлежитъ сомнѣнію.

Относительно любого теплового двигателя мы имѣемъ въ настоящее время достаточно опредѣленныхъ и достовѣрныхъ данныхъ, которыя могутъ быть положены въ основу сравненія совершенства того или другого изъ нихъ, какъ при выборѣ для установки, такъ и при испытаніи для повышенія экономичности рабочаго процесса. И только въ отношеніи инжекторовъ мы совершенно не имѣемъ свѣдѣній о расходѣ пара въ той или другой системѣ, руководясь при выборѣ лишь таблицами производительности, предлагаемыми въ прейсъ-курантахъ заводами **).

Правда, каждый инжекторъ предъ выпускомъ его на рынокъ подвергается испытанію на заводѣ; въ этомъ отношеніи спеціальные заводы не скупятся на издержки по оборудованію испытательныхъ станцій. Но таблицы, помѣщаемыя въ прейсъ-курантахъ, даютъ среднія величины, и для каждаго инжектора могутъ быть отклоненія въ ту или другую сторону. Къ тому же приборъ самъ настолько нѣженъ и чувствителенъ, что провѣрка мощности его и работоспособности при различныхъ условіяхъ по истеченіи извѣстнаго промежутка времени послѣ установки является не лишней; къ этому могутъ быть основанія и въ зависимости отъ мѣстныхъ для даннаго случая условій. Напр., въ таблицахъ дается высота всасыванія и температура воды; при установкѣ на мѣстѣ можетъ оказаться необходимымъ, сохраняя высоту всасыванія по таблицѣ, отнести инжек-

*) Journal of the Franklin Institute, Oktob., 1906.

**) Мнѣ лично нигдѣ, даже въ сочиненіяхъ, посвящающихъ немного мѣста вопросу объ инжекторахъ, не приходилось встрѣтить опредѣленнаго указанія, что такой-то инжекторъ расходуетъ a kgr. пару, подавая на каждый kgr. b kgr. воды. Даются лишь общія цифры, что при низкомъ давленіи пара приходится 18—20 kgr. воды на 1 kgr. пара, а при высокомъ отъ 9 до 12 kgr.

торъ на нѣкоторое разстояніе въ сторону. Безъ сомнѣнія, длина всасывающей трубы и измѣненія въ направленіи движенія, которыя могутъ имѣть мѣсто, не останутся безъ вліянія на количествѣ нагнетаемой воды.

Точно также не вездѣ сухость пара одинакова; при одномъ котлѣ она больше, при другомъ меньше; влажность же пара, отражаясь на скорости струи его въ насадкѣ, окажетъ вліяніе и на подачу воды приборомъ.

Необходимость періодическаго испытанія инжекторовъ кажется наиболѣе настоятельной при службѣ ихъ на паровозѣ. Машинисту необходимо знать пригодность прибора для работы въ извѣстныхъ условіяхъ и способность его производить эту работу, особенно если инжекторъ подвергался чисткѣ и ремонту.

Цѣлью настоящей главы и будетъ ознакомить съ методами испытанія инжекторовъ и намѣтить тѣ задачи, которыя должны быть темой такихъ испытаній.

Темами для испытанія могутъ быть слѣдующіе вопросы.

1) Изучить вліяніе давленія пара на механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія, термическій и на мощность инжектора.

Испытаніе должно производиться при различныхъ давленіяхъ пара, при чемъ для точныхъ изслѣдованій необходимо будетъ измѣнять рабочее давленіе въ самомъ котлѣ, но не мятіемъ пара или пониженіемъ его давленія въ расширительномъ клапанѣ. Въ этомъ случаѣ, какъ извѣстно, паръ перегрѣвается; это отразится на движеніи его въ насадкѣ и на мощности инжектора.

Испытаніе должно вестись серіями. Въ каждую серію должны войти результаты по меньшей мѣрѣ пяти опытовъ при одномъ и томъ же давленіи пара, давленіи нагнетанія (равномъ ему), высотѣ всасыванія и температурѣ всасываемой воды. При каждой слѣдующей серіи должны измѣняться лишь давленіе рабочаго пара и противодавленіе (равное ему); высота же всасыванія и температура всасываемой воды должны сохраняться неизмѣнными для всѣхъ серій.

Испытаніе должно дать maximum и minimum подаваемой воды и температуру ея въ томъ и другомъ случаѣ. Полученные результаты слѣдуетъ нанести на діаграмму и представить весь ходъ измѣненія графически. На фиг. 81 представлена діаграмма, составленная по результатамъ испытанія, произведеннаго съ инжекторомъ Sellers'a въ Франклиновомъ Институтѣ.

По оси абсциссъ отложены давленія работающаго пара, измѣнявшіяся отъ 0,14 до 22,75 атм.; по оси ординатъ литры подаваемой въ часъ воды. Поставленные на кривыхъ кружочки указываютъ наблюденныя данныя. Діаграмма представляетъ уже сводку испытанія отдѣльными

серіями; числа, поставленныя на кривыхъ, указываютъ температуру всасываемой воды. Какъ видно, она была 10, 18, 27, 35, 43, 51 и 60° Ц.

По діаграммѣ очень легко отыскать ту мощность, которую можетъ дать инжекторъ при данныхъ условіяхъ. Напримѣръ, при 10,5 атм. рабочаго давленія и температурѣ питательной воды въ 27° Ц. maximum подачи будетъ около 14000 литровъ въ часъ, minimum 6400 литровъ. Подачу питательной воды, слѣдовательно, можно измѣнять при этихъ условіяхъ на 7600 литровъ; она можетъ быть урегулирована въ предѣлахъ 45,7% maxim. мощности. Это значитъ, что если при выборѣ инжектора мы взяли его таковымъ по размѣру, чтобы въ часъ онъ давалъ двойное количество расходуемаго котломъ пара, то инжекторъ, работая съ minimum подачи будетъ питать котелъ почти непрерывно; при этомъ, конечно, предполагается равномѣрный и регулярный расходъ пара изъ котла.

Во вторыхъ, по діаграммѣ легко отыскать критическую, такъ сказать, температуру всасываемой воды для даннаго давленія пара. Подъ такимъ названіемъ будемъ разумѣть ту температуру, при которой нѣтъ полной подачи воды въ котелъ; часть ея теряется чрезъ сливное отверстіе, и эта потеря не можетъ быть устранена.

Сущность явленія заключается въ томъ, что значительная часть вытекающаго чрезъ насадку пара не можетъ быть конденсирована водой; этотъ паръ увеличиваетъ объемъ воды, которая, при данной скорости, не можетъ вся пройти чрезъ устье пріемной насадки. Если бы увеличили какимъ либо образомъ подачу воды, то скорость ея была бы недостаточна для того, чтобы обезпечить струѣ необходимую для преодолѣнія давленія на клапанъ силу.

Въ этомъ случаѣ также точно имѣла бы мѣсто потеря чрезъ сливное отверстіе. Присутствіе пара, въ значительномъ количествѣ не конденсированнаго, отражается на разрѣженіи конденсаціонной насадки, чѣмъ и устраняется возможность усиленія притока воды.

По діаграммѣ видно, что при давленіи пара въ 12,25 атм. температура всасываемой воды въ 43° Ц. будетъ критической.

Въ этотъ моментъ, какъ не трудно понять, maximum подачи равенъ minimum'у; пересѣченіе обѣихъ кривыхъ указываетъ предѣльное давленіе. Напр., при температурѣ 51° Ц. предѣльное давленіе будетъ примѣрно 6 атмосферъ.

Критическія температуры можно самостоятельно нанести въ особой діаграммѣ (фиг. 82). Здѣсь по осямъ ординатъ отложены соотвѣтственныя температуры воды, а по осямъ абсциссъ—давленія пара.

Сплошной линіей соединены наблюденныя (кружочки) температуры при разныхъ давленіяхъ; при этихъ условіяхъ чрезъ сливное отверстіе сбѣгаетъ излишняя вода; пунктиромъ въ черточку указана кривая температуръ, при которыхъ инжекторъ способенъ къ самовсасыванію (ис-

пытанный инжекторъ принадлежалъ къ типу restarting-инжекторовъ). Если сливное отверстіе закрывалось герметически *), то температура всасываемой воды могла быть нѣсколько повышена; кривая этихъ температуръ показана пунктиромъ въ точку. По діаграммѣ замѣчаемъ, что для 10,5 атм. давленія критическая температура составляетъ 47°; самовсасываніе возможно еще при температурѣ въ 55° Ц.; при закрытомъ сливѣ критическая температура 65,5° Ц.

На діаграммѣ (фиг. 83) выстроены кривыя, которыя для различныхъ давленій и температуръ даютъ отношеніе minimum'а подачи къ maximum; эти отношенія умножены на 100, такъ что верхняя горизонтальная линія соотвѣтствуетъ отношенію 1, т. е. maximum равенъ minimum. Это, какъ только что видѣли, при данномъ давленіи пара имѣетъ мѣсто при критической температурѣ всасываемой воды. Слѣдовательно, начало кривыхъ, соотвѣтствующихъ извѣстной температурѣ, на этой линіи даетъ предѣльное давленіе пара.

По діаграммѣ видно, при температурѣ воды 35° Ц. предѣльное давленіе пара равно 16 атм.; при давленіи пара въ 14 атм., возможно регулировать подачу воды до 72% наибольшей мощности; при давленіи 6 атм. достигается при этой температурѣ наибольшая регулировка въ 46% наибольшей мощности. Чѣмъ ниже температура воды, тѣмъ значительнѣе предѣлы для измѣненія мощности.

На діаграммѣ (фиг. 84) по осямъ ординатъ отложены въ kgr. количества воды, подаваемыя однимъ kgr. пара. Испытаніе было сдѣлано съ температурой воды 18° Ц. Какъ указывалось и раньше, съ увеличеніемъ давленія пара количество подаваемой воды уменьшается, благодаря сильно возрастающему расходу пара чрезъ насадку.

Испытанный инжекторъ имѣлъ главную насадку въ видѣ сходящагося конуса. Было бы весьма интересно имѣть такую діаграмму для инжектора съ расходящимся конусомъ, чтобы видѣть законъ измѣненія количества подаваемой 1 kgr. пара воды въ зависимости отъ давленія, и сравнить между собой результаты испытанія.

По діаграммѣ видно, что при 5,25 атм. 1 kgr. пара подаетъ 17 kgr. воды, при 10,5 атм. 13 kgr. воды, при 21 атм. 7 kgr.

Изъ предыдущаго видно, какъ наглядно представляется картина работы инжектора въ различныхъ условіяхъ при пользованіи методомъ графическаго изображенія найденныхъ опытомъ результатовъ.

2) Можно поставить задачей изученіе вліянія температуры всасываемой воды на коэфф. полезнаго дѣйствія и мощность инжектора.

Эти испытанія слѣдуетъ вести также серіями, по 5 опытовъ въ каждой. Постоянными въ каждой серіи должны быть всѣ условія, кромѣ

*) Принужденная посадка клапана сливного отверстія, какъ у инжектора Фридмана.

температуры всасываемой воды; въ каждомъ опытѣ должны быть постоянными давленіе пара, давленіе нагнетанія (равное ему), высота всасыванія и температура. Опытомъ должно быть найдено количество подаваемой воды maximum и minimum. Представивъ результаты графически, должны получить кривыя, замыкающіяся на ординатѣ, соотвѣтствующей критической температурѣ для даннаго давленія.

На діаграммѣ (фиг. 85) показаны такія кривыя для того же инжектора. По этимъ кривымъ видно, что съ увеличеніемъ температуры максимальная мощность инжектора убываетъ, минимальная же возрастаетъ, т. е. обѣ стремятся къ равенству, которое и наступаетъ при критической температурѣ.

Уменьшеніе maximum'a объясняется тѣмъ, что при увеличивающейся температурѣ воды % не конденсированнаго въ струѣ пара будетъ возрастать, но до нѣкотораго предѣла она будетъ въ состояніи пройти чрезъ устье пріемной насадки, пока это увеличеніе объема будетъ компенсироваться увеличеніемъ конечной скорости струи послѣ удара; послѣднее будетъ зависѣть отъ уменьшенія массы притекающей воды, что видно изъ уравненія для количествъ движенія:

$$w+mu=(1+m)\ u_1.$$

При уменьшеніи m при неизмѣнныхъ w и u въ лѣвой части, для сохраненія равенства должно возрастать u_1 въ правой части.

Уменьшеніе же притока будетъ зависѣть отъ повышенія давленія въ конденсаціонной насадкѣ, благодаря болѣе высокой температурѣ притекающей воды.

Увеличеніе же minimum'a будетъ зависѣть отъ необходимости подводить для успѣшной конденсаціи пара большее количество нагрѣтой воды.

3) Можно поставить задачей изслѣдованія вліяніе давленія нагнетанія на мощность инжектора и коэфф. полезнаго дѣйствія его.

Эти испытанія также разбиваются на серіи по 3 опыта въ каждой.

Въ каждой серіи, кромѣ давленія нагнетанія, всѣ условія должны оставаться неизмѣнными, т. е. давленіе рабочаго пара, высота всасыванія, температура всасываемой воды; въ каждомъ опытѣ всѣ четыре остаются безъ измѣненія.

Испытаніе должно показать, какъ при данномъ рабочемъ давленіи пара измѣняется мощность, если возрастаетъ противодавленіе; тѣмъ самымъ опредѣлится наивысшее возможное давленіе нагнетанія и отношеніе его къ рабочему давленію пара.

4) Можно поставить задачей опредѣленіе той температуры воды, при которой инжекторъ можетъ при данномъ давленіи пара начать работу и повышая ее, опредѣлить ту, при которой онъ прекращаетъ подачу воды.

Извѣстенъ фактъ, что у начавшаго нагнетать воду инжектора уровень ея можетъ быть пониженъ во время работы по сравненію съ тѣмъ, при которомъ онъ можетъ начать работу; тоже при измѣненіи температуръ, когда уровень воды остается безъ измѣненія.

Испытаніе должно установить эти предѣльныя температуры для различныхъ давленій пара.

5) Можно задаться цѣлью опредѣлить количество теряемой чрезъ сливное отверстіе воды въ періодъ пуска инжектора въ ходъ и остановки у невсасывающихъ инжекторовъ. Такое испытаніе интересно для паровозныхъ инжекторовъ въ цѣляхъ сравненія ихъ между собою, такъ какъ излишняя потеря воды изъ тендера при пускѣ въ ходъ уменьшаетъ время между двумя остановками, необходимыми для пополненія его.

6) Наконецъ, темой для изученія можетъ быть выясненіе условій автоматическаго возобновленія дѣйствія инжектора, т. е. способности его вновь забирать воду въ случаѣ происшедшаго по какимъ либо причинамъ перерыва струи ея; напр., при всасывающемъ инжекторѣ на службѣ у паровоза, на ходу и при тряскѣ, можетъ оказаться по временамъ открытымъ конецъ всасывающей трубы, благодаря колебанію уровня воды въ тендерѣ.

Для пуска въ ходъ инжекторовъ рестартингъ, какъ видно по описанію ихъ, нужно медленно передвигать рычагъ или рукоятку, управляющую впускомъ пара; при установившейся работѣ его, клапанъ вѣстового отверстія остается закрытымъ. Если понизить уровень воды настолько, чтобы открылся конецъ всасывающей трубы, то подача прекращается; паръ съ воздухомъ выходитъ или черезъ вѣстовую трубу въ полномъ объемѣ того и другого, или же устремляется помимо этого и во всасывающую трубу, что будетъ при недостаточной площади сѣченія сливного отверстія. Если уровень воды вновь поднимется и прикроетъ конецъ трубы, то инжекторъ въ первомъ случаѣ заберетъ воду, во второмъ же нужно будетъ вновь пустить его въ ходъ.

Кромѣ того, можно поставить цѣлый рядъ испытаній инжектора относительно способности его производить работу въ извѣстныхъ условіяхъ. Можно, напр., прослѣдить, какъ отразится извѣстное число поворотовъ нагнетательной трубы на мощности его при данномъ противодавленіи, или на послѣднемъ при опредѣленной мощности; можно подвергнуть всасывающую трубу, напр., сотрясеніямъ и толчкамъ, которые могутъ вызвать перерывъ струи, и выяснить чувствительность къ нимъ прибора; можно прослѣдить, какъ отразится на предѣльной температурѣ воды нагрѣваніе корпуса инжектора и всасывающей трубы (при неплотныхъ паровыхъ клапанахъ); можно изслѣдовать, въ какихъ предѣлахъ измѣненія рабочаго давленія пара и противодавленія (равнаго ему) не требуется никакой

регулировки ни пара, ни воды для того, чтобы не было потери чрезъ сливное отверстіе и т. д.

Для записей дѣлаемыхъ во время испытанія отсчетовъ слѣдуетъ заготовить особый бланкъ по прилагаемой формѣ № 1, въ графахъ котораго и заносятъ результаты наблюденій; полезно при этомъ такой бланкъ снабдить эскизомъ и описаніемъ, указывающими общее расположеніе всѣхъ приспособленій и устройствъ, имѣвшихся во время опыта.

Для заполненія такого бланка нужно поставить въ соотвѣтственныхъ мѣстахъ манометры и термометры; измѣрительные приборы должны быть предварительно провѣрены. Для провѣрки манометра, за неимѣніемъ особаго аппарата съ грузовой нагрузкой или дѣйствующаго отъ маслянаго пресса, такую провѣрку можно сдѣлать, сравнивая показанія его съ показаніями хорошаго контрольнаго манометра. Что касается термометровъ, то ихъ слѣдуетъ провѣрить съ нормальнымъ на каждые пять градусовъ, опуская въ масло, нагрѣтое до извѣстной температуры, и по результатамъ сравненія составить таблицу поправокъ.

Для измѣренія воды нужно имѣть пару баковъ, поставленныхъ на вѣсахъ или градуированныхъ; одинъ изъ нихъ долженъ служить резервуаромъ для нагнетаемой инжекторомъ воды, другой—содержитъ воду, забираемую имъ во время работы. По разности въ вѣсѣ между поданной инжекторомъ водой и взятой имъ опредѣлится количество пара, израсходованнаго во время опыта.

Болѣе детальное описаніе устройства трубъ и постановки измѣрительныхъ приборовъ помѣщено ниже.

По даннымъ выше приведеннаго бланка можно будетъ судить о расходѣ пара инжекторомъ и о совершаемой имъ работѣ; при такой конечной цѣли испытанія можно обойтись даже и безъ этихъ баковъ, какъ можно видѣть по слѣдующему примѣру.

Пусть h_s—высота всасыванія въ метрахъ;

h_d— „ , соотвѣтствующая давленію нагнетанія.

Сумма ихъ h_s+h_d даетъ полную высоту подъема воды.

Если P—представляетъ вѣсъ израсходованной воды въ kgr. въ минуту и m—вѣсъ пара за тоже время, то работа подъема будетъ

$$P.\ (h_s+h_d)\ \text{kgr.-mtr. въ минуту}$$

или

$$\frac{P.\ (h_s+h_d)}{75.60}\ \text{лошад. силъ.}$$

Такъ какъ расходъ пара въ часъ составляетъ 60 m., то на одну силу расходуется

$$\frac{60m\ .\ 75\ .\ 60}{P(h_s+h_d)}$$

Форма № 1.

Испытаніе инжектора.

Время испытанія и мѣсто .....

Экспериментаторъ .....

Цѣль испытанія .....

.....

Фирма, изготов. инжекторъ ..... № инжектора

и его классъ .....

(всасыв. или невсасыв., простой, двойной).

Діаметры паровой насадки ..... смѣшивающей .....

пріемной ..... всасывающей трубы ..... нагнетательной .....

паровой ..... вѣстовой .....

Давленіе барометра ..... ; температура помѣщенія .....

№ испытанія.	Продолжительность испытанія въ минутахъ.	Давленіе пара по манометру p_1=	Сухость пара x_1=	Высота всасыванія воды h_s (метры).	Температура всасываемой воды t_a (°Ц).	Давленіе нагнетанія по манометру p_a=	Температура нагнетат. воды t_e (°Ц).	Вѣсъ воды поданной къ инжектору w_s kgr.	Вѣсъ воды, поданной инжекторамъ w_a kgr.	Примѣчанія.

или

$$\frac{270.000}{h_s + h_d} \cdot \frac{m}{P} \text{ kgr. пара въ часъ.}$$

Отношеніе $\frac{P}{m}$ можно найти или взвѣшиваніемъ воды, или вычисленіемъ по наблюденнымъ температурамъ.

Такъ какъ сухость пара предполагается извѣстной, то теплота m kgr. пара будетъ

$$m.(q + rx);$$

теплота воды до нагнетанія Pt_a; если температура ея при нагнетаніи t_e, то имѣемъ равенство:

$$m(q + rx - t_e) = P(t_e - t_a)$$

и

$$\frac{m}{P} = \frac{t_e - t_a}{q + rx - t_e}$$

Расходъ пара на силу слѣдовательно будетъ

$$\frac{270.000\,(t_e - t_a)}{(h_s + h_d)\,(q + rx - t_e)} \text{ kgr. въ часъ.}$$

Термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія опредѣлится слѣдующимъ образомъ.

Внѣшняя работа подъема равна . . . $P(h_s + h_d) + m.h_d = L.$

Кинетическая энергія струи *) . . . . . $\frac{P+m}{2g}.v^2 = K.$

Энергія въ видѣ тепла, принятаго водой . . . $P(t_e - t_a) = M.$

Если выразимъ ихъ въ тепловыхъ единицахъ, то будемъ имѣть

AL, AK и M.

Такимъ образомъ сумма AL + AK + M представляетъ намъ тепловую энергію, находимую нами въ поднятой водѣ.

Теплота пара, израсходованная на эту работу,

$$m(q + rx)$$

Термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія будетъ

$$\eta_{\text{терм.}} = \frac{AL + AK + M}{m(q + rx)}$$

Слѣдуетъ обратить вниманіе на членъ суммы числителя M, который мы вводимъ здѣсь потому, что вода возвращаетъ это тепло котлу; если

*) v—скорость въ нагнетательной трубѣ. $v = \frac{V \text{ куб. м.} \cdot 10000}{\text{прод. опыта} \times 60 \times \text{площ. трубы въ cm.}}$

V—объемъ поданной инжекторомъ воды.

бы инжекторъ работалъ въ качествѣ обыкновеннаго насоса для подъема воды и теплота ея не могла бы быть использована, то термическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія былъ бы

$$\frac{AL + AK}{m(q + rx)}$$

Такъ какъ вѣсъ воды, приходящійся на одинъ kgr. пара будетъ извѣстенъ (путемъ взвѣшиванія или вычисленія), то можно будетъ найти и механическій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія.

Скорость пара въ зависимости отъ формы насадки будетъ найдена; w_1 — извѣстно.

Скорость струи въ устьѣ пріемной насадки найдется такимъ образомъ. Въ минуту подается (P+m) kgr. воды, что при γ_e — удѣльномъ вѣсѣ ея — дастъ $\frac{P+m}{\gamma_e}$ кб. метровъ; если площадь устья пріемной насадки ω кв. метръ, то скорость струи будетъ

$$u = \frac{P+m}{60.\omega.\gamma_e}$$

Что касается скорости, съ которой вода поступаетъ въ инжекторъ, то она можетъ быть опредѣлена такимъ подсчетомъ.

При площади кольцевого зазора между насадками ω_1 кв. метровъ, скорость протока u_2 будетъ

$$\frac{P}{60.\omega_1.\gamma_a} = u_2.$$

Для опредѣленія механическаго коэффиціента полезнаго дѣйствія, имѣемъ равенство количествъ энергіи до удара и послѣ удара.

$$\eta_{\text{мех.}}\left[\frac{m.}{60}\,\frac{w_1^2}{2g} + \frac{P}{60}\,\frac{u_2^2}{2g}\right] = \frac{P+m}{60}\cdot\frac{u^2}{2g}$$

или

$$\eta_{\text{мех.}} = \frac{(P+m).u^2}{mw_1^2 + Pu_2^2}.$$

Указанный выше методъ испытанія очень простъ и несложенъ какъ по производству и веденію опыта и наблюденій, такъ и по подготовкѣ къ нему; но онъ, конечно, не точенъ и годенъ лишь для грубыхъ опредѣленій, для цѣлей практическаго сравненія выгодности того или другого инжектора. Для испытанія же по намѣченной выше программѣ нужно будетъ болѣе цѣлесообразно поставить самый опытъ.

Прежде всего, какъ было уже намѣчено, испытаніе нужно вести серіями; продолжительность каждаго испытанія въ такой серіи будетъ зависѣть отъ емкости измѣрительныхъ баковъ. Результаты наблюденій каж-

даго опыта, производимыхъ въ совершенно одинаковыхъ условіяхъ, должны быть тотчасъ же сравниваемы съ наблюденіями предыдущихъ опытовъ; при рѣзко выраженной разницѣ, которая можетъ зависѣть или отъ ошибокъ въ наблюденіяхъ, или отъ незамѣченныхъ предварительно отклоненій отъ нормальныхъ для даннаго опыта условій, испытаніе должно быть повторено; при выводѣ среднихъ данныхъ, такія наблюденія въ расчетъ принимать не слѣдуетъ. Необходимо, конечно, приступая къ повторному испытанію основательно проанализировать причины, которыя могли повліять на однородность данныхъ наблюденія, и устранить ихъ.

Для записей надо будетъ заготовить бланки 2-й прилагаемой формы *). Давленіе пара и нагнетанія, равно какъ температуры всасываемой и нагнетаемой воды и т. д. нужно вносить по отсчетамъ, производимымъ чрезъ опредѣленные промежутки времени. Вполнѣ достаточно дѣлать такіе отсчеты чрезъ каждыя двѣ минуты.

По записямъ такого бланка составляется отчетъ испытанія по прилагаемой формѣ № 3.

Конечной цѣлью отчета должно быть опредѣленіе термическаго и механическаго коэффиціентвъ $-\eta_t$ и η_m —полезнаго дѣйствія, расхода сухого пара α на одну лошадиную силу въ часъ, коэффиціента удара μ и коэффиціента совершенства конденсаціи ε; ε^2—будетъ опредѣлять въ то же время и плотность струи смѣси при прохожденіи ею интервала между насадками.

Можно будетъ вычислить при опредѣляемой по формулѣ для истеченія пара скорости количество его, расходуемое теоретически насадкой и сравнить съ тѣмъ количествомъ пара, которое опредѣляется взвѣшиваніемъ нагнетаемой воды; тѣмъ самымъ будетъ дана возможность судить о вліяніи холодной воды на конденсацію пара внутри насадки.

Что касается самой постановки инжекторовъ для испытанія, то это можетъ быть сдѣлано по слѣдующимъ схемамъ (фиг. 86).

Бакъ съ холодной водой (1) съ градуированными стеклами для отсчетовъ количества воды помѣщается на нѣкоторомъ возвышеніи; вмѣсто градуировки стеколъ, которая должна быть сдѣлана при извѣстной температурѣ воды, лучше наполнять бакъ взвѣшенной водой, для чего на платформѣ вѣсовъ (2) устанавливается кадка или малой емкости бакъ изъ оцинкованнаго желѣза (3) со спускнымъ краномъ (4). Вода подводится къ этому баку трубой (5), имѣющей отвѣтвленіе (5а) къ резервуару (7), изъ котораго инжекторъ (12) забираетъ воду во время испытанія. Температура питательной воды измѣряется термометромъ (11), шарикъ котораго погружается въ струю протекающей воды. Для отсчетовъ нужно имѣть термометръ съ дѣленіями градусовъ въ $^1/_{10}$ въ предѣлахъ отъ

*) Указано примѣрное заполненіе данными наблюденія.

Форма № 2.

Испытаніе инжектора.

Время и мѣсто испытанія .....

Цѣль испытанія .....

.....

Экспериментаторъ .....

Инжекторъ ..... № ....., ...
(заводъ или названіе инжектора) (всасывающій, невсасывающій, простой или двойной).

Діаметръ паровой насадки ..... длина ..... площадь сѣченія .....
(при расходящ.-устья) (при расходящ.-устья)

.....

(сходящійся или расходящій конусъ; длина расходящейся части ..... площадь выходного сѣченія .....
профиль: прямолинейный конусъ или очерченный по кривымъ .....).

Діаметръ конденсаціонной насадки ..... длина ..... площадь сѣченія .....
(выхода)

площадь кольцевого зазора ..... очертаніе насадки .....
(конусъ съ наклономъ .....)

Діаметръ устья пріемной насадки ..... длина расходящейся части ..... площадь устья ..... площадь выходного сѣченія .....

Очертаніе насадки и выхода .....

Діаметры трубъ всасывающей ..... паровой ..... нагнетательной .....

Температура помѣщенія ..... Высота барометра .....

Соотвѣтствующая ей температура кипѣнія воды .....

Отсчеты по порядку.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	Среднее	Примѣчанія.
Время начала испытанія ...	12 час.									
Давленіе пара у инжек. въ $^{kg}/_{cm^2}$	4,5	4,4	4,4	4,5	....	....	....	....		
Давленіе нагнетанія въ $^{kg}/_{cm^2}$.	4,5	4,5	4,5	4,5	.. .	....	....	....		
Разрѣженіе въ насадкѣ въ $^{m}/_{m}$ ртутнаго столба.....	$160^{m}/_{m}$	....	162	....	160	....	....	....		
Высота всасыванія въ mtr..	2,2	2,2	2,3	2,3	2,2	....	....	....		
Температура всасываемой воды въ ^{0} Цельсія.....	15^0	....	....	....	....	....	....	.. .		
Температура нагнетаемой воды въ ^{0} Ц.....	60^0	60^0	61^0	61^0	60^0					
Время окончанія опыта	—	—	—	—	—	—	—	12 ч. 15 м.		
Продолжительность опыта ..	15 минутъ.									
	Въ теченіе опыта.		Въ минуту.			Въ часъ.				
Количество воды, взятой инжекторомъ въ kgr.....	900		60			3600				
Количество воды, поданной инжекторомъ	954		63,6			3816				
Расходъ пара.....	54		3,6			216				

0° до 100° Ц.; хотя водой выше 50—55° пользоваться въ большинствѣ случаевъ и не придется, однако необходимо имѣть именно такой термометръ во избѣжаніе порчи его въ случаѣ тормаженія инжектора; нуль шкалы долженъ быть отнесенъ $^{m}/_{m}$ на 40—50 отъ резервуара со ртутью, чтобы имѣть свободную часть капилляра, необходимую для вставки термометра.

Что касается постановки термометровъ, то это легко можетъ быть произведено съ помощью газовыхъ трубокъ, впаянныхъ на рѣзьбѣ въ трубу и снабженныхъ небольшимъ сальникомъ съ затяжной гайкой. Паръ подводится трубой (9), имѣющей запорный вентиль; между нимъ и инжекторомъ ставится манометръ (10) для наблюденія давленія пара. Паропроводная трубка должна быть хорошо изолирована отъ потерь тепла во избѣжаніе преждевременной конденсаціи пара; если паропроводъ длиненъ, то предъ инжекторомъ полезно будетъ поставить надежно дѣйствующій паросушитель. Выключивъ его при двухъ послѣдовательныхъ опытахъ, можно будетъ прослѣдить вліяніе предварительной конденсаціи пара на температуру нагнетаемой воды и количество ея.

Инжекторъ (12) устанавливается на опредѣленной высотѣ надъ резервуаромъ (7); тѣмъ самымъ будетъ дана высота всасыванія, если уровень воды въ резервуарѣ будемъ поддерживать неизмѣннымъ. Забравъ воду по трубѣ (8), инжекторъ подаетъ ее въ нагнетательную трубу (18). На ней ставится также точно термометръ (14) для измѣренія температуры нагнетаемой воды и манометръ (15) для наблюденія за давленіемъ, при которомъ происходитъ нагнетаніе.

Для увеличенія и, вообще, измѣненія давленія, на которое работаетъ инжекторъ, на трубѣ (18) ставится кранъ или вентиль (16), прикрываніемъ котораго и создается подпоръ на обратный клапанъ инжектора. На нѣкоторомъ разстояніи за этимъ вентилемъ ставится трехходовой кранъ (17).

Нагнетаемая инжекторомъ вода поступаетъ во второй бакъ (19), который можетъ быть градуированъ для опредѣленія количества поданной воды, или, что лучше, количество ея опредѣляютъ опять взвѣшиваніемъ; для этого вблизи бака (19) ставится кадка (20) на платформѣ вѣсовъ (21).

Во время испытанія, помимо взвѣшиванія питательной воды, придется, слѣдовательно, вести отсчеты по двумъ термометрамъ и двумъ манометрамъ; для опредѣленія разрѣженія во всасывающей трубѣ, къ ней можно присоединить ртутный вакуумметръ.

Предъ началомъ опыта наполняютъ резервуаръ (7) водой надлежащей температуры; бакъ (19) опоражниваютъ, въ (1) наливаютъ нѣкоторое количество воды.

Открывъ притокъ пара къ инжектору, пускаютъ его въ работу. Паровой вентиль долженъ быть открытъ на полный ходъ, чтобы не происхо-

Форма № 3.

ОТЧЕТЪ ИСПЫТАНІЯ ИНЖЕКТОРА.

Время и мѣсто испытанія .....

Экспериментаторъ .....

Цѣль испытанія .....

Инжекторъ ..... № ....., ...
(Заводъ или названіе инжектора). (Всасыв., невсасыв., простой, двойной).

Діаметръ паровой насадки ..... площадь сѣченія ..... длина .....

Діаметръ конденсаціонной насадки ..... площадь выхода ..... длина .....

Діаметръ пріемной насадки ..... площадь устья ..... площадь выхода .....

длина насадки .....

Діаметръ трубъ { паровой ..... всасывающей ..... нагнетательной ..... сливного отверстія ..... } Площади { .... }

Температура помѣщенія ..... Высота барометра .....

Соотвѣтствующая ей t кипѣнія .....

Въ отчетѣ должно быть помѣщено описаніе насадокъ.

		Обозначеніе	Данныя опыта.	Формула для вычисленія.	Примѣчанія.
1	Среднее давленіе пара по манометру въ $^{kg}/_{cm^2}$	p_0			
2	Среднее давленіе нагнетанія въ $^{kg}/_{cm^2}$	p_1			
3	Давленіе нагнетанія въ mtr. столба воды	h_d			
4	Высота всасыванія въ mtr.	h_s			
5	Температура всасываемой воды (Ц.).....	t_a			
6	Температура нагнетаемой воды (Ц.).....	t_e			
7	Количество взятой инжекторомъ воды въ kgr. въ часъ	P_1			
8	Количество поданной инжекторомъ воды въ kgr. въ часъ	P_2			

		Обозначеніе.	Данныя опыта.	Формула для вычисленія.	Примѣчанія.
9	Количество поданной инжекторомъ воды въ часъ въ кб. м.	V		$V = P_2 : \gamma_e$	γ_e—плотность воды, соотвѣтствующая температурѣ t_e.
10	Сухость пара	x			Если не опредѣлена непосредственно, принять 0,98.
11	Количество израсходованнаго влажнаго пара въ kgr. въ часъ	D		$D = P_2 - P_1$.	
12	Количество израсходованнаго сухого пара въ часъ въ kgr.	D_1		$D_1 = x.D$.	
13	Количество воды, поданной инжекторомъ на 1 kgr. влажнаго пара	Q		$Q = P_1 : D$.	
14	Количество поданной инжекторомъ воды на 1 kgr. сухого пара	Q_1		$Q_1 = P_1 : D_1$	
15	Скорость воды въ нагнетательной трубѣ въ сек. въ метр.	u_0		$u_0 = \frac{25.V}{9 \times \text{площ. въ ст.}}$	
16	Теплота, израсходов. на подъемъ воды въ калор.	W_1		$W_1 = \frac{P_1(h_d + h_s) + Dh_d}{427}$	427—механич. эквивалентъ теплоты.
17	Теплота нагрѣванія воды.	W_2		$W_2 = P_1(t_e - t_a)$.	Болѣе точно при замѣнѣ температуръ соотвѣтствующими имъ количеств. тепла Q_a и Q_e
18	Теплота, эквивалентная кинетич. энергіи воды.	W_3		$W_3 = P_2 \frac{u_0^2}{2g} \cdot \frac{1}{427}$	
19	Полный расходъ тепловой энергіи въ калоріяхъ въ часъ	W		$W = W_1 + W_2 + W_3$	
20	Теплота доставленная паромъ сухимъ	E		$E = D_1(\lambda - q_e)$.	λ—скрытая теплота испаренія.
21	*Термическій коэфф. полезнаго дѣйствія*	η_t		$\eta_t = \frac{W}{E}$	

		Обозначеніе.	Данныя опыта.	Формула для вычисленія.	Примѣчанія.
22	*Механическій коэффиц. полезнаго дѣйствія* . . .	η_{lm}		$\eta_{lm} = \frac{W_1 + W_3}{L}$	
23	Работа инжектора въ лошадин. силахъ	L		$L = \frac{P_1(h_d + h_s) + Dh_d}{75 . 3600}$	
24	*Расходъ сухого пара на 1 лош. силу въ часъ* . .	α		$\alpha = \frac{D_1}{L}$	
25	Давленіе пара у выходного сѣченія паровой насадки	p'		$p' = 0{,}57 p_0$.	При сходящейся конической насадкѣ; при расходящейся въ устьѣ ея.
26	Скорость истеченія пара.	w_1		Стр. 15, форм. 9.	$p_2 = p'$ при сходящейся насадкѣ. p_2 = давленію въ конденс. насадкѣ при расходящ. конусѣ.
27	Количество сухого пара въ часъ въ кб. метр. . .	v		$v = D_1 \times$ объемъ 1 kgr. пара.	
28	Количество движенія одного kgr. пара	m_1		$m_1 = \frac{w_1}{g = 9{,}81}$	
29	Скорость воды при входѣ въ кондепсаціонную насадку	w_2		$w_2 = \frac{P_1 . 25}{9 \times \gamma_a \times \omega(\text{cmtr})}$	ω = площадь кольцевого зазора между насадками въ cmtr. γ_a = начальная температура воды.
30	Количество движенія Q kgr. воды	m_2		$m_2 = \frac{w_2 . Q}{g}$	
31	Скорость выхода изъ конденсаціонной насадки . .	w_3		$w_3 = \frac{25\ V}{9 \times \omega_1(\text{cmtr})}$	ω_1 — площадь выходного сѣченія конденсаціонной насадки въ cm.
32	Количество движенія смѣси послѣ удара	m_3		$m_3 = \frac{w_3}{g}(1 + Q)$.	
33	*Коэффиціентъ удара* . . .	μ		$\mu = \frac{m_3}{m_1 + m_2}$	
34	Скорость истеченія, соотвѣтственно напору h_d .	w_d		$w_d = \sqrt{2gh_d}$	
35	Количество вытекающей въ сек. воды чрезъ устье пріемной насадки въ kgr.	Q'		$Q' = w_d \omega_2 \cdot \gamma_d$	ω_2 — площадь устья пріемной насадки. γ_d — плотность воды при давленіи p_0.
36	*Коэффиц. совершенства конденсаціи*	ε		$\varepsilon = \frac{P_2}{3600 . Q'}$	

дило мятія пара; трехходовой кранъ (17) долженъ быть въ такомъ положеніи, чтобы забранная инжекторомъ вода сливалась куда либо въ сторону; точно также отводится и вода, сливающаяся по вѣстовой трубѣ (13).

Расходъ воды пополняютъ въ резервуарѣ (7) по отвѣтвленію (5а), регулируя притокъ ея краномъ; въ то же время, прикрывая вентиль или кранъ (16), поднимаютъ давленіе въ нагнетательной трубѣ до желаемой высоты (напр., $^1/_2$ р, р, 1,2 р и т. д., гдѣ р—давленіе пара по манометру у инжектора); регулируя притокъ пара, устанавливаютъ теперь работу инжектора такимъ образомъ, чтобы онъ нагналъ воду при данномъ давленіи безъ потери чрезъ сливное отверстіе. Когда это достигнуто, прекращаютъ притокъ воды по трубѣ (5а) и одновременно съ этимъ быстро перекрываютъ кранъ (17), направляя воду въ бакъ (19), и отмѣчаютъ время; тотчасъ же начинаютъ питаніе резервуара (7) изъ бака (1) по трубѣ (6) и дѣлаютъ отсчеты по манометрамъ и термометрамъ. Продолжительность опыта будетъ зависѣть отъ мощности инжектора и емкости мѣрныхъ баковъ; прекращеніе испытанія производится простой остановкой инжектора.

Когда инжекторъ заберетъ воду и начнемъ повышать давленіе нагнетанія, часть воды можетъ показаться чрезъ вѣстовую трубу; постепенно увеличивая притокъ пара, доводимъ количество его до такого соотношенія къ притекающей водѣ, когда вся она будетъ направляться въ нагнетательную трубу. Этотъ моментъ легко узнается по звуку: если пару притекаетъ много, инжекторъ работаетъ шумно, при надлежащемъ же соотношеніи между количествами пара и воды работа его идетъ почти беззвучно. Только при плохо пригнанномъ клапанѣ вѣстового отверстія слышится свистъ отъ всасываемаго по трубѣ воздуха.

Работа инжектора въ этомъ случаѣ будетъ отвѣчать нормальнымъ условіямъ; количество подаваемой имъ воды и температура ея будутъ имѣть значенія, заключающіяся въ предѣлахъ maximum'а и minimum'а того и другой.

Если шпиндель или клапанъ инжектора открыть на весь ходъ и воды, притекающей къ нему достаточно для конденсаціи пара, получимъ maximum подачи; для опредѣленія minimum'а надо будетъ поставить кранъ для регулировки воды на всасывающей трубѣ; температура будетъ въ этомъ случаѣ наивысшая.

Недостатокъ установки по этой схемѣ заключается въ томъ, что стрѣлка манометра нагнетательной трубы подвержена колебаніямъ, достигающимъ по временамъ очень большого размаха.

Это затрудняетъ отсчетъ показаній его и можетъ быть причиной большихъ неточностей, одно же изъ главныхъ условій испытанія инжек-

тора—полученіе путемъ отсчетовъ по измѣрительнымъ приборамъ возможно болѣе точныхъ данныхъ для дальнѣйшихъ вычисленій.

Можно уменьшить вліяніе замѣченнаго выше недостатка постановкой между инжекторомъ и краномъ или вентилемъ достаточнаго по размѣрамъ воздушнаго колпака или передачей давленія къ манометру посредствомъ промежуточной, болѣе тяжелой жидкости, напр., ртути.

Вмѣсто крана, прикрытіемъ котораго повышается давленіе въ нагнетательной трубѣ, можно пользоваться предохранительнымъ рычажнымъ клапаномъ; въ зависимости отъ вѣса груза и положенія его на рычагѣ можно будетъ получить желаемое давленіе въ трубѣ.

Лучше всего при установкѣ по этой схемѣ нагнетать воду непосредственно въ тотъ же котелъ, изъ котораго берется рабочій паръ, или въ другой, если давленіе нагнетанія должно быть отлично отъ давленія рабочаго пара. Въ этомъ случаѣ, конечно, можетъ быть взвѣшена только вода, забираемая инжекторомъ, количество же израсхолованнаго пара должно быть вычислено по наблюденіямъ температуръ на всасывающей и нагнетательной трубахъ.

При инжекторахъ большого номера этотъ способъ будетъ неудобенъ еще тѣмъ, что будетъ значительно повышаться уровень воды въ котлѣ, питаніе же его большимъ количествомъ слабо нагрѣтой воды будетъ сопровождаться паденіемъ давленія въ немъ, т. е. уменьшеніемъ противодавленія, на которое инжекторъ долженъ быть испытанъ.

Болѣе удовлетворительна установка инжектора по схемѣ второй, представленой на фиг. 87.

Здѣсь бакъ (1) служитъ запаснымъ резервуаромъ для подогрѣтой воды; изъ зарытаго въ землю бака (10) инжекторъ беретъ воду во время опыта, при чемъ высота всасыванія его зависитъ отъ высоты уровня воды въ этомъ бакѣ; для всѣхъ почти инжекторовъ достаточно будетъ имѣть этотъ бакъ съ высотой въ 5 mtr. Уровень воды поддерживается во время опыта непрерывнымъ пополненіемъ расхода ея изъ бака (7), поставленнаго на платформѣ вѣсовъ; емкость этого бака на 700 kgr. воды будетъ достаточно для хода инжекторовъ до № 7 въ теченіе 10—15 минутъ. Испытаніе инжекторовъ можетъ быть произведено съ холодной или горячей водой.

Въ первомъ случаѣ бакъ (10) наполняется водой изъ водопровода по линіи (3); одновременно съ помощью крана (5) наполняется и взвѣшивается бакъ (7). Въ теченіе всего подготовительнаго періода установки работы инжектора вода пополняется изъ водопровода, количество же ея для сохраненія неизмѣннымъ уровня регулируется вентилемъ (6). Когда начинаются отсчеты, кранъ (6) быстро закрывается, и резервуаръ пополняютъ взвѣшенной водой изъ бака (7).

Температура воды измѣряется термометромъ, поставленнымъ на всасывающей трубѣ, разрѣженіе же въ ней опредѣляется по ртутному вакуумметру (11).

Паръ къ инжектору подводится по трубѣ (23), имѣющей запорный вентиль и манометръ (12) для измѣренія давленія его предъ инжекторомъ. Температура нагнетаемой воды измѣряется термометромъ (14); (15)—трехходовой кранъ; (16)—питательный обратный клапанъ. Онъ присоединенъ къ резервуару (17), діаметромъ 0,6—0,7 метра и около 2 метровъ высоты; резервуаръ долженъ быть расчитанъ на давленіе въ 18—20 атмосферъ; давленіе въ немъ измѣряется манометромъ (21), водомѣрное стекло (18) указываетъ уровень воды въ немъ. На противоположной относительно (16) сторонѣ присоединенъ къ резервуару предохранительный рычажный клапанъ (19), подъ концемъ трубы котораго поставленъ бакъ (20), помѣщенный на платформѣ вѣсовъ. Вентиль и труба (24) соединяютъ пространство этого резервуара съ линіей паропровода; паръ можно взять или отъ того же котла, изъ котораго берется онъ для инжектора—нормальныя условія для работы прибора, или изъ другого котла съ болѣе высокимъ давленіемъ на случай опредѣленія наибольшаго противодавленія, при которомъ можетъ работать инжекторъ.

Кранъ (15) служитъ здѣсь главнымъ образомъ для того, чтобы наполнить бакъ (1) горячей водой, гдѣ она разбавляется водой изъ водопроводной линіи (2) до желаемой температуры. Удаливъ предварительно остатокъ воды изъ (10) съ помощью струйнаго элеватора или инымъ путемъ, наполняютъ резервуаръ этою подогрѣтой водой по трубамъ (4) и (8). Количество расходуемой воды во время опыта въ этомъ случаѣ опредѣляется по градуированному соотвѣтственно объемамъ или вѣсу стеклу (25), бакъ же (7) служитъ запаснымъ резервуаромъ той же подогрѣтой воды до начала отсчетовъ. Если температура этой воды столь высока, что инжекторъ отказывается забирать ее, то она приводится тогда къ нему подъ напоромъ по линіи (4.4).

Въ этомъ случаѣ подъ сливной трубой инжектора ставится особый боченокъ для воды, теряемой во время пуска въ ходъ, количество которой затѣмъ исключается изъ указаннаго отсчетомъ по шкалѣ стекла.

Удобство такого рода установки заключается въ томъ, что работа прибора въ смыслѣ постоянства противодавленія на питательный клапанъ протекаетъ при болѣе благопріятныхъ условіяхъ. Постановка котелка (17) устраняетъ недостатки нагнетанія воды непосредственно въ котелъ, но въ тоже время исключаетъ возможность опредѣленія количества израсходованнаго пара по вѣсу поданной и взятой инжекторомъ воды, такъ какъ первый будетъ зависѣть и отъ количества конденсирующагося въ котелкѣ пара.

Взвѣшиваніе воды дастъ удовлетворительные результаты только тогда, когда котелокъ будетъ наполненъ сжатымъ воздухомъ; въ этомъ случаѣ соотвѣтствующей установкой груза на рычагѣ клапана можно будетъ достигнуть непрерывнаго спуска воды чрезъ него при почти постоянномъ давленіи нагнетанія.

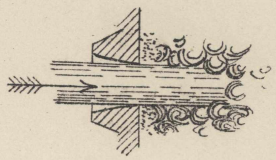
Этимъ же клапаномъ можно пользоваться при испытаніи инжекторовъ большихъ номеровъ. Количество забираемой инжекторомъ воды (при (7) на 700 kgr.) будетъ опредѣляться шкалой водомѣрнаго стекла, количество пара—по температурамъ, а спускъ воды чрезъ клапанъ нуженъ будетъ въ устраненіе слишкомъ быстраго заполненія котелка (17) водой и, слѣдовательно, для увеличенія времени испытанія.

Очень легко можно достигнуть хорошихъ результатовъ въ отсчетахъ, примѣняя въ установкѣ по первой схемѣ вмѣсто крана (16) для увеличенія давленія въ нагнетательной трубѣ особой конструкціи клапанъ, указанный на фиг. 88.

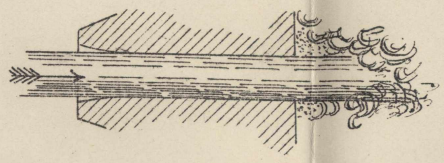
Это видоизмѣненный питательный клапанъ, у котораго стержень a, прочно соединенный съ тарелкой клапана, имѣетъ на другомъ концѣ поршень той же площади сѣченія. Поршень хорошо пригнанъ къ цилиндру c и для плотности въ немъ вставлены двѣ обыкновенныхъ разрѣзныхъ пружины. Въ верхней части цилиндра имѣется отверстіе d, къ которому должна быть присоединена вѣтвь отъ паропровода; паръ нужно взять за вентилемъ паропроводной трубы (9) къ инжектору, такъ что давленіе его будетъ тоже самое, что и у работающаго въ послѣднемъ пара.

Если за такимъ клапаномъ оставить прежній кранъ (16), то прикрытіемъ его можно будетъ повысить давленіе нагнетанія; того же можно будетъ достигнуть, помѣщая въ камерѣ c предлагаемаго клапана спиральную пружину, натяженіе въ которой вызывается и регулируется подвинчиваніемъ болта f съ контргайкой. Въ остальномъ схема установки остается безъ измѣненія.

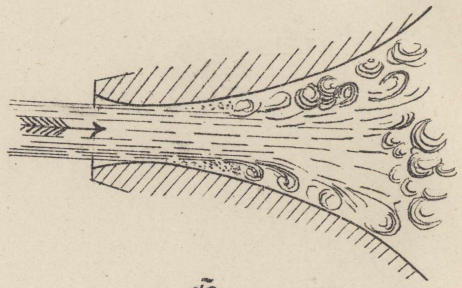
Фиг. 35.



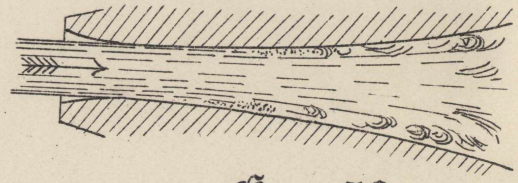
Фиг. 36.



Фиг. 37.



Фиг. 38.



Фиг. 39.

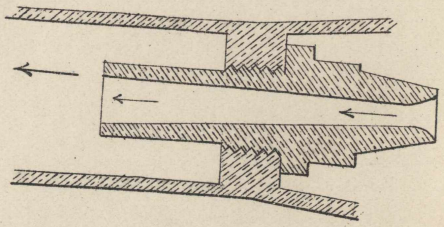


Fig. 42.

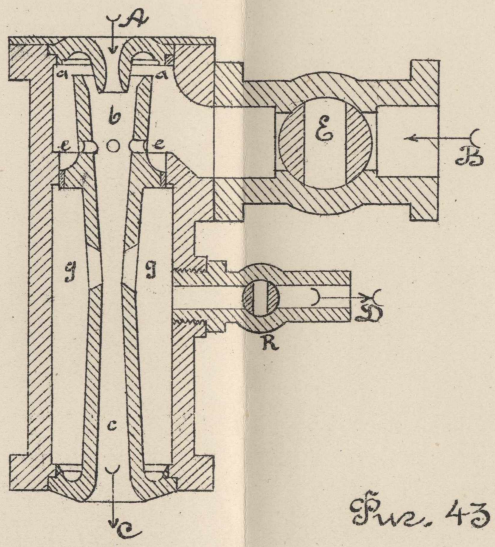


Fig. 43.

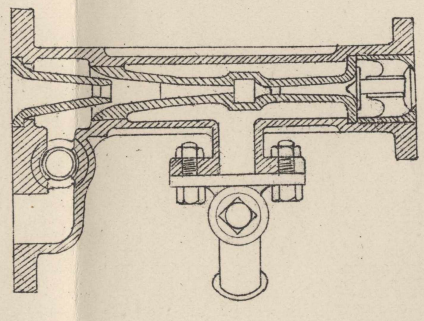


Fig. 44.

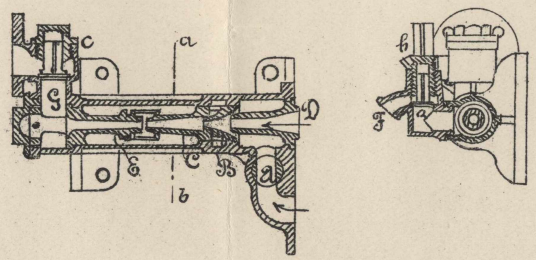


Fig. 40.

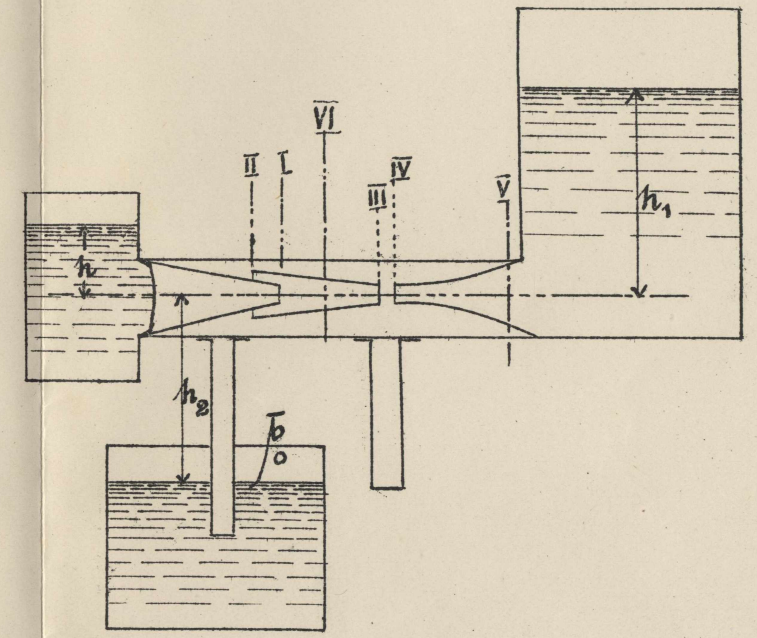


Fig. 41.

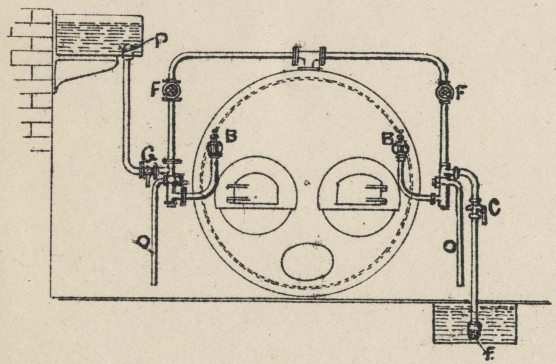


Fig. 45.

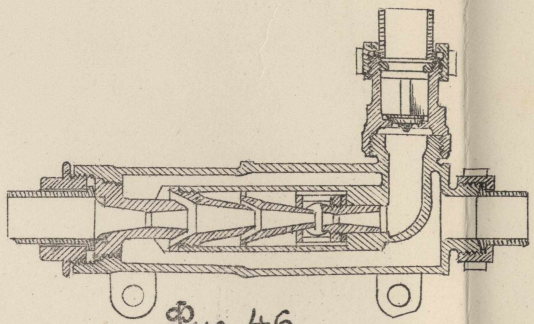


Fig. 46.

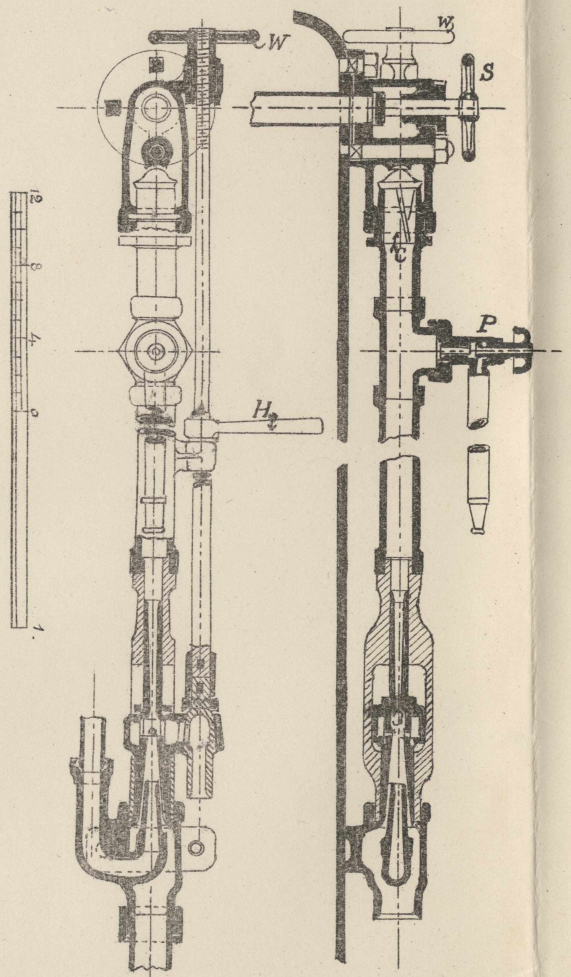


Fig. 47.

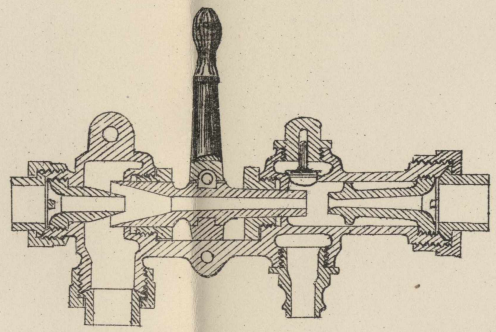


Fig. 48.

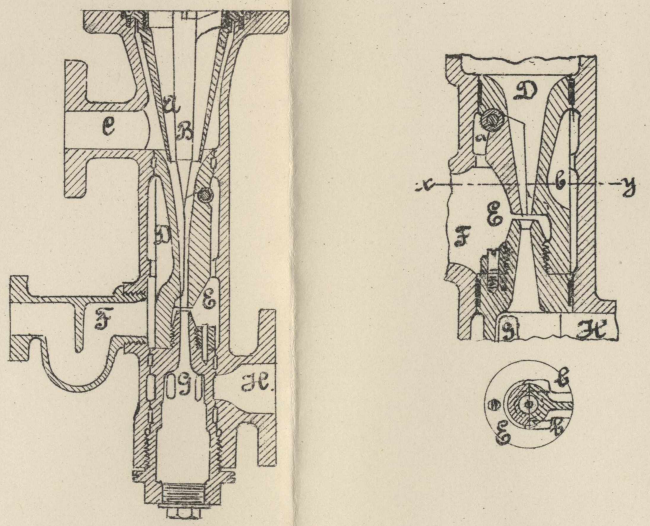


Fig. 49.

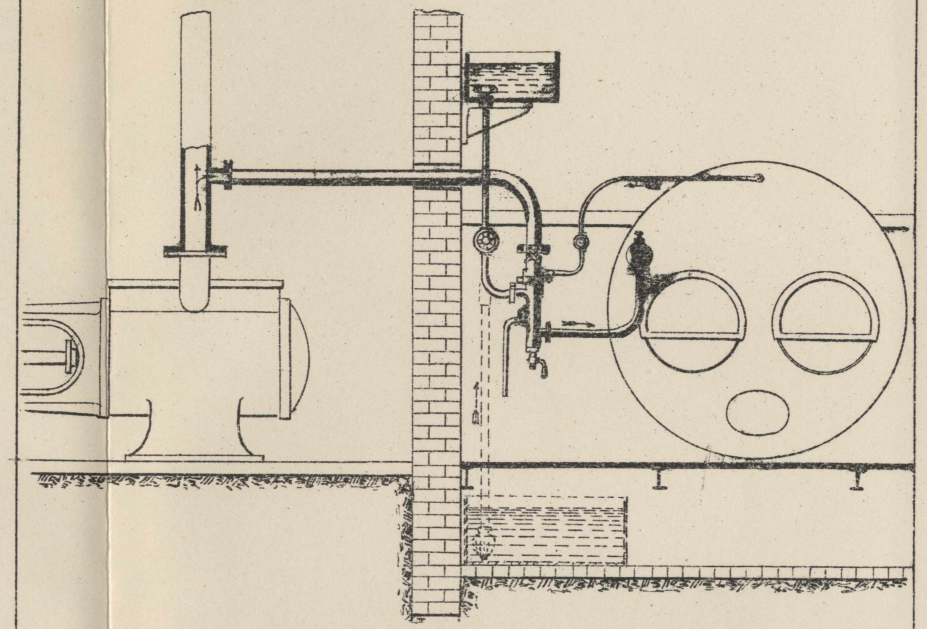


Fig. 50.

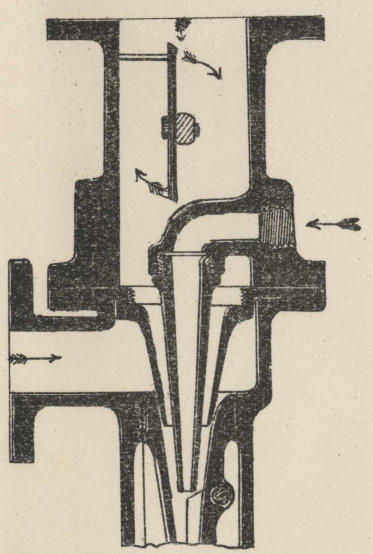


Fig. 51.

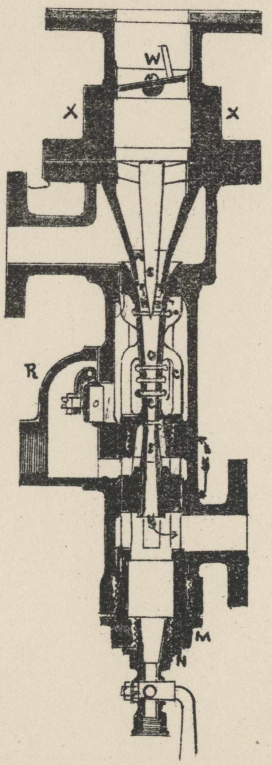


Fig. 52.

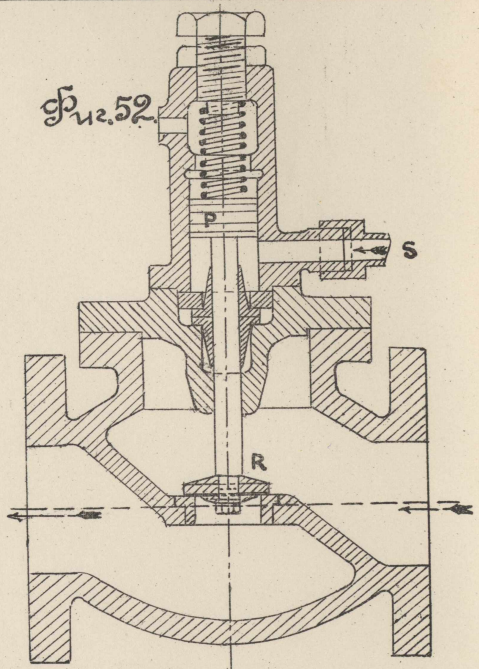


Fig. 53.

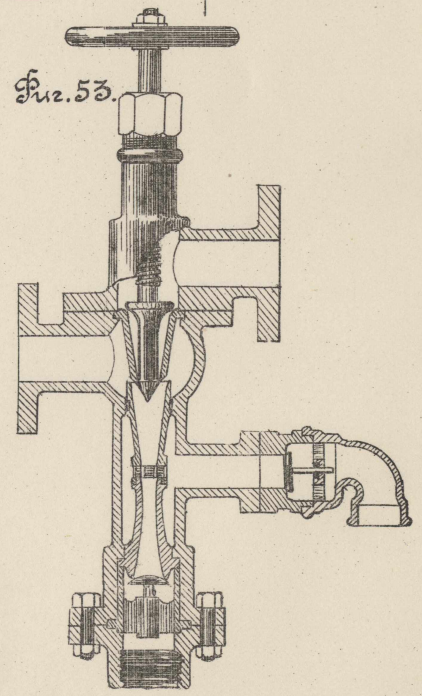


Fig. 54.

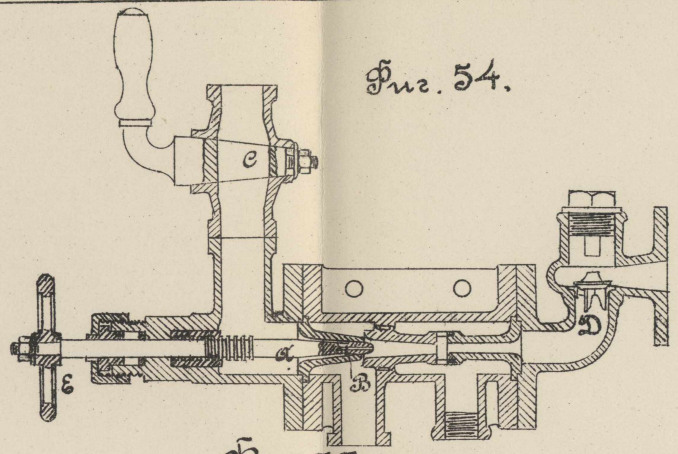


Fig. 55.

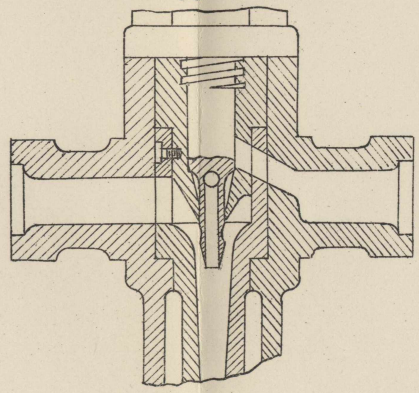


Fig. 56.

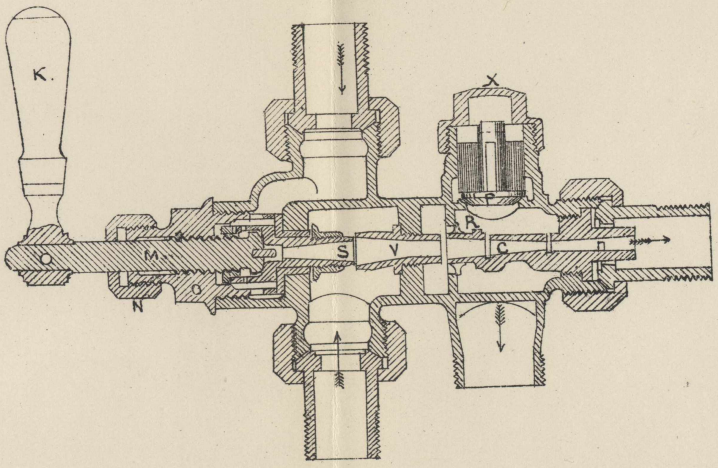


Fig. 57.

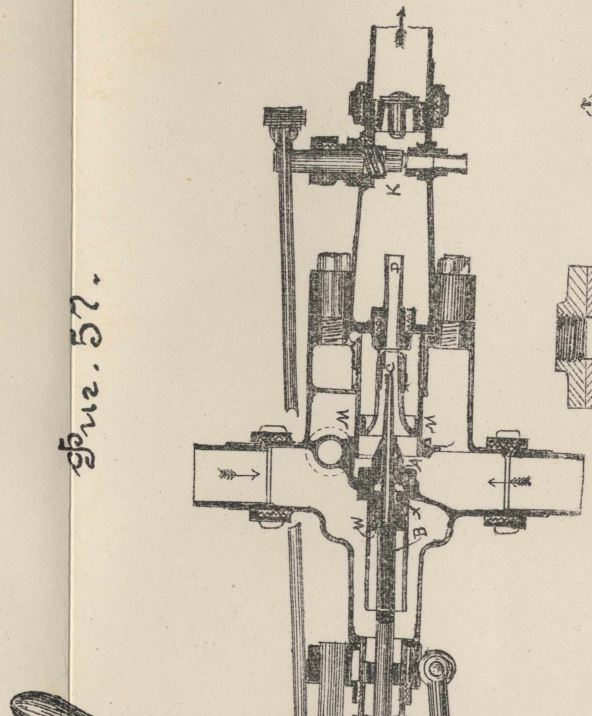
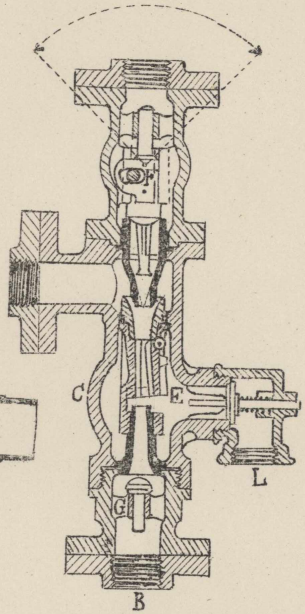


Fig. 58.



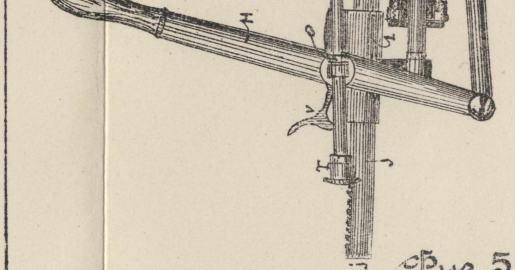


Fig. 59.

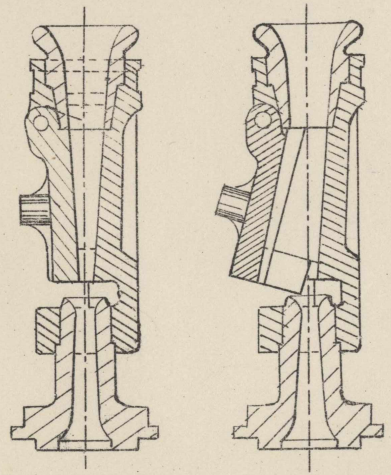


Fig. 60.

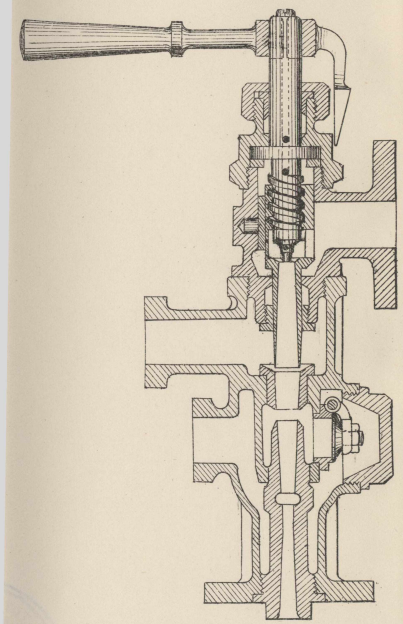


Fig. 61.

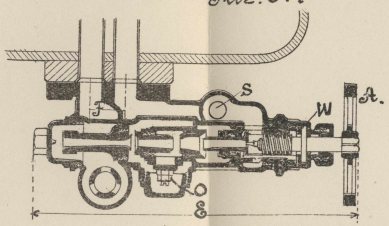


Fig. 62.

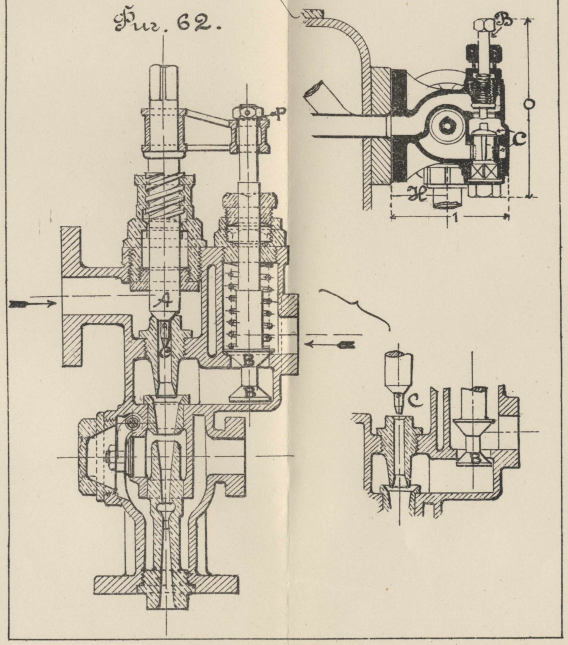


Fig. 63.

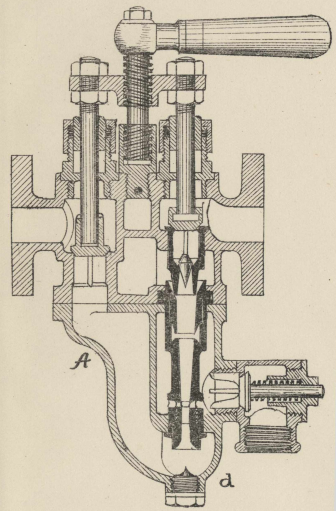


Fig. 64.

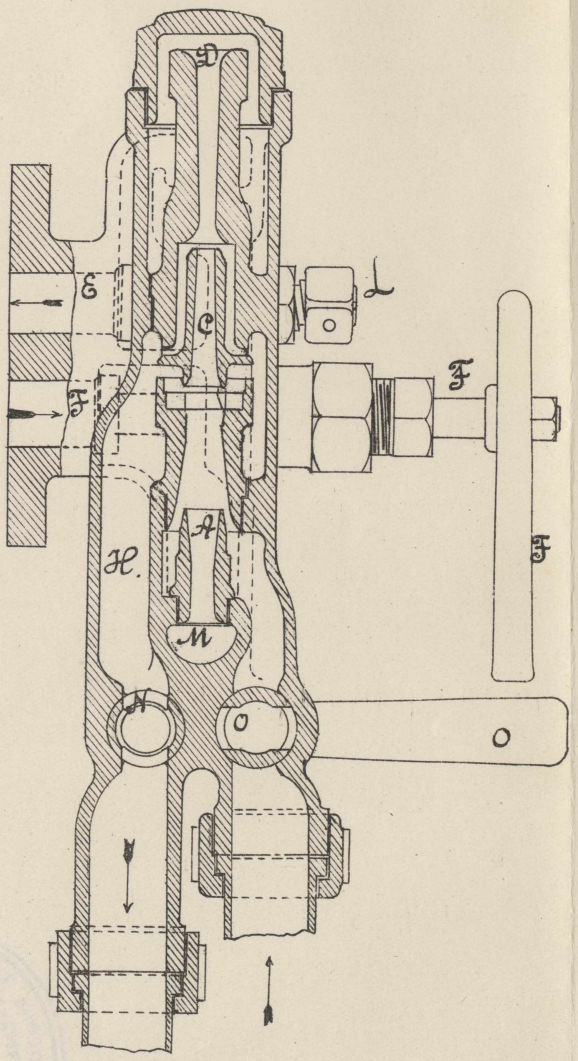
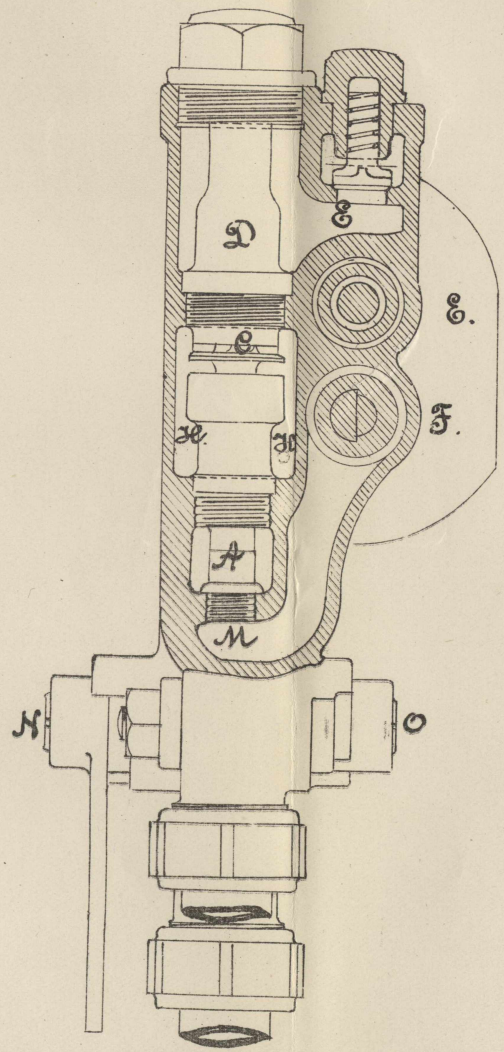
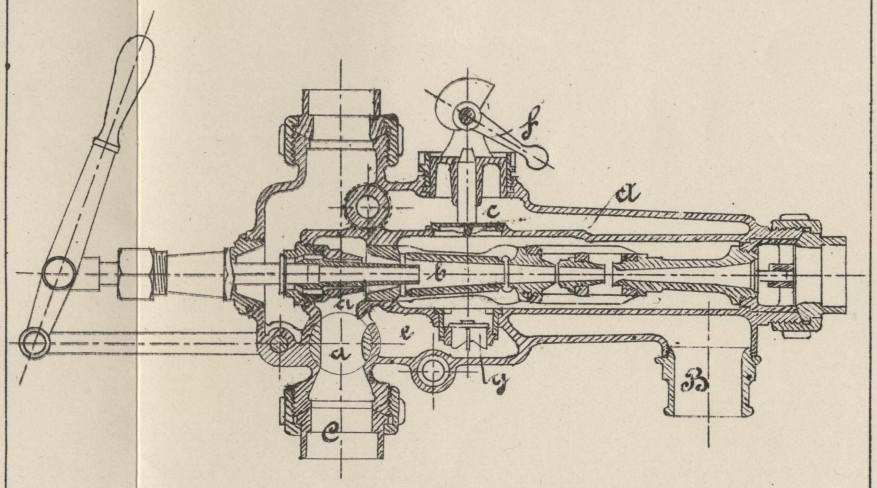


Fig. 64 bis.



รูป 65.



รูป 66.

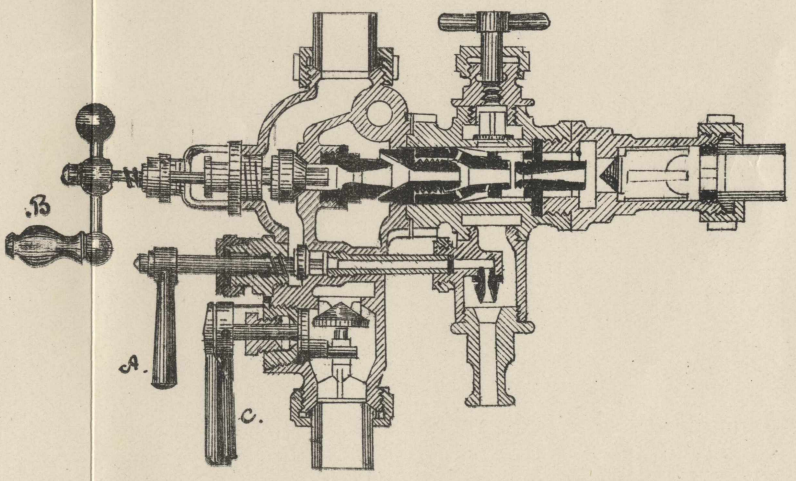


Fig. 67.

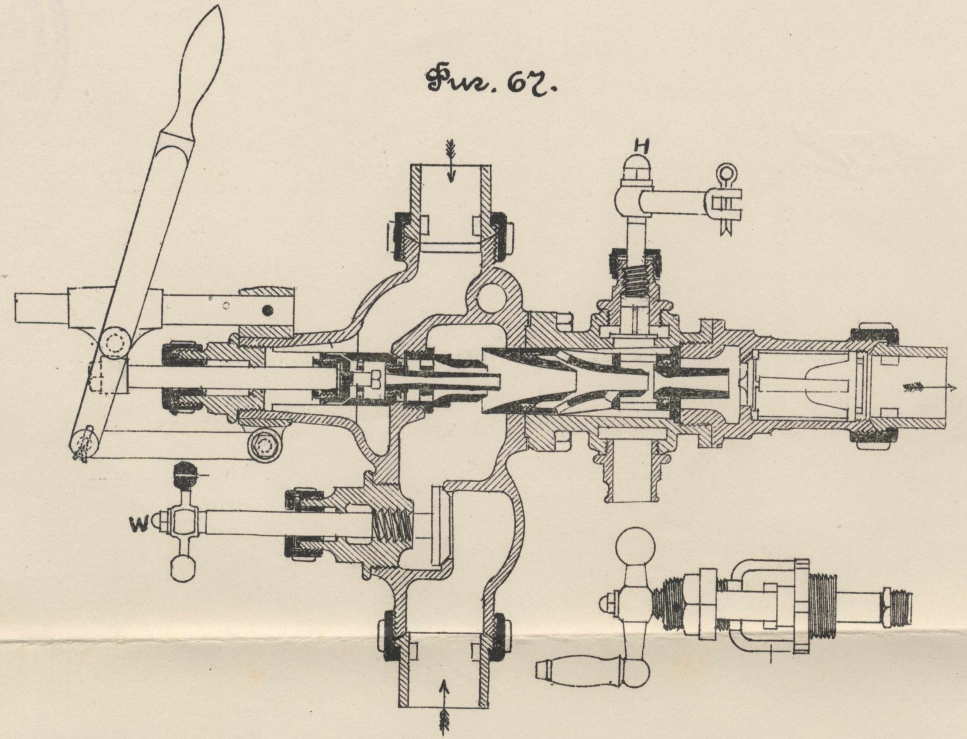


Fig. 68.

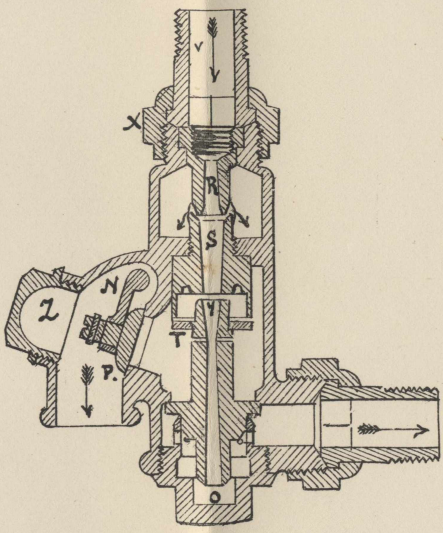
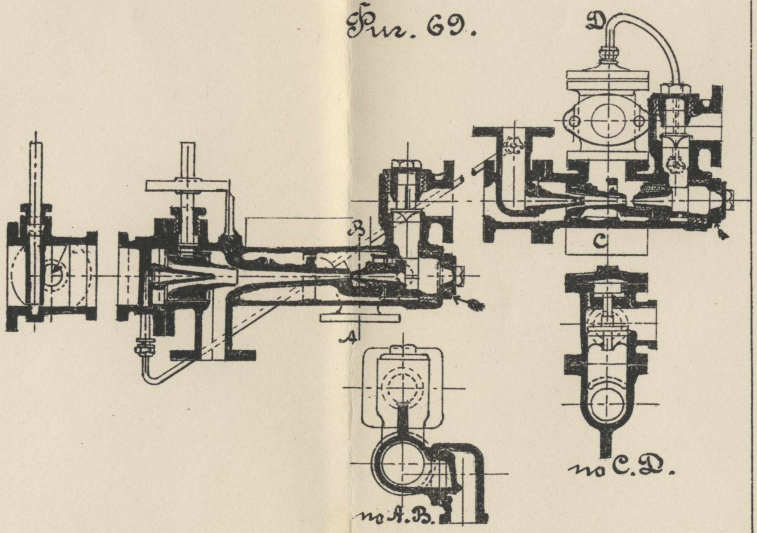
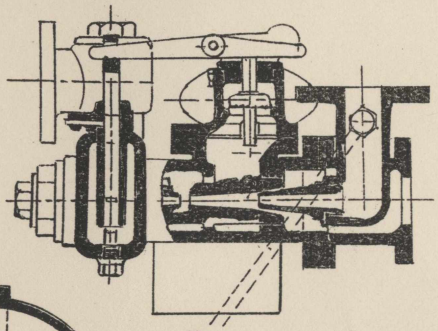


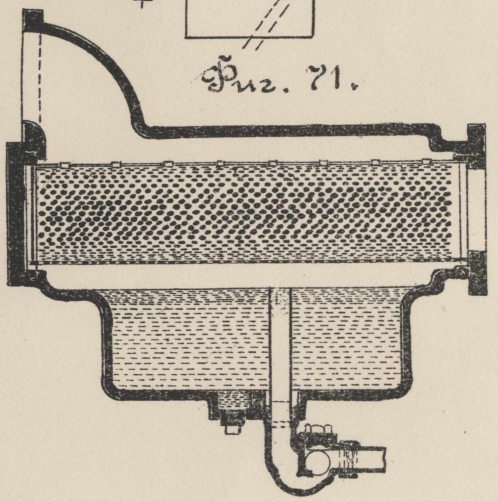
Fig. 69.



Фиг. 70.



Фиг. 71.



Фиг. 72.

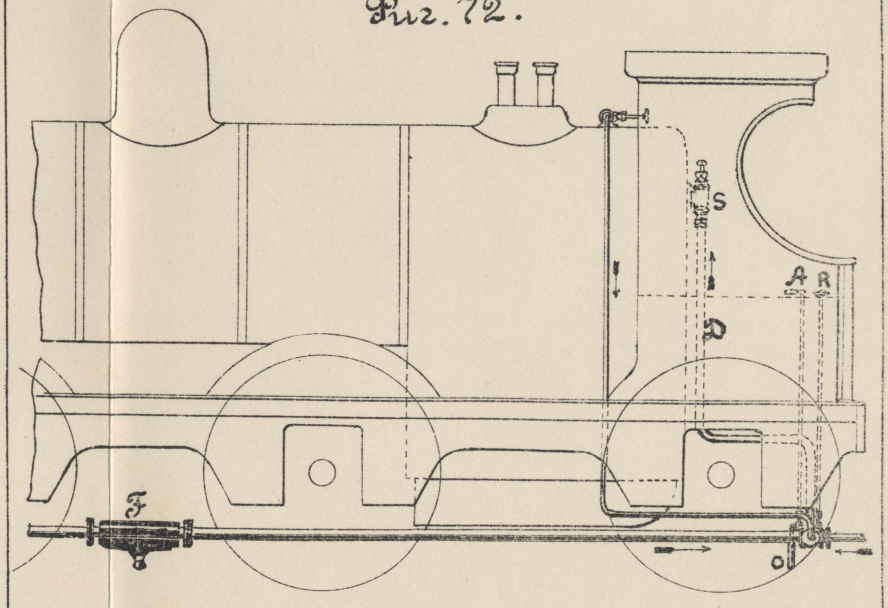


Fig. 73.

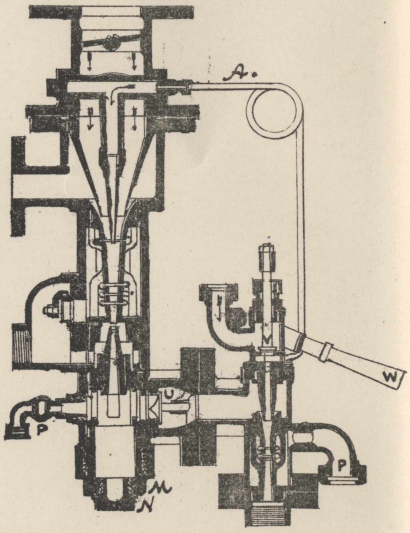
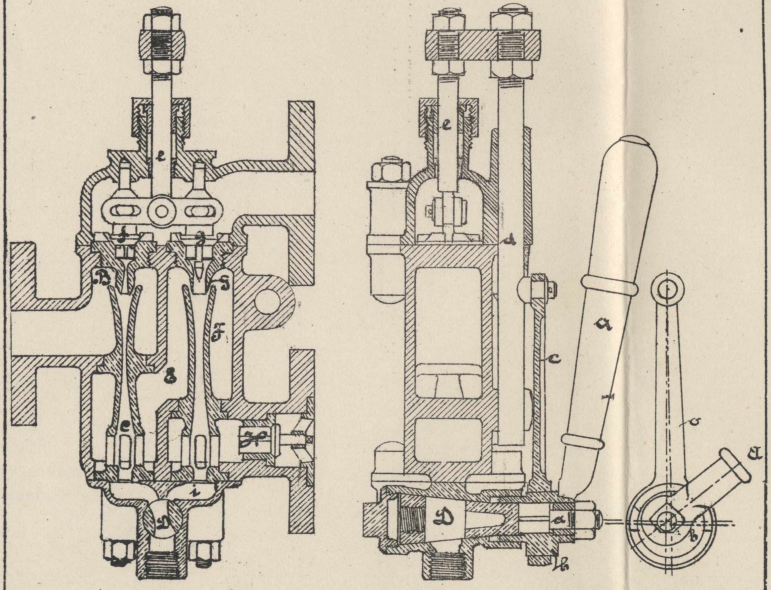


Fig. 74.



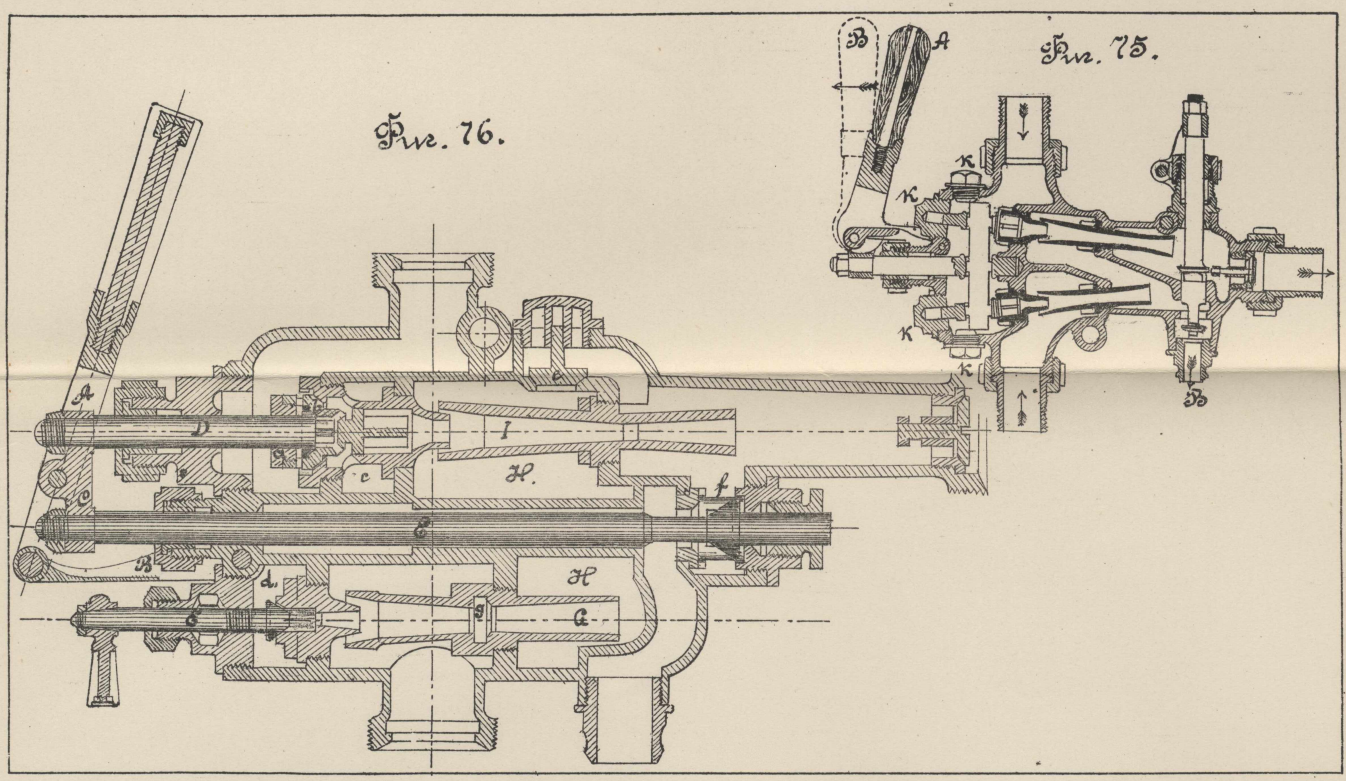


Fig. 76.
Fig. 75.
A
B
C
D
E
F
G
H
I
K
c
d
e
f
g

Fig. 77.

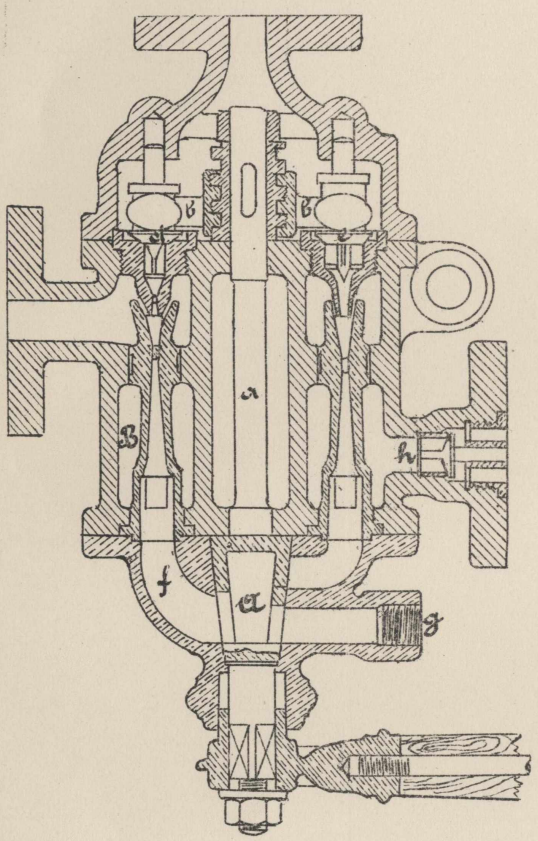


Fig. 78.

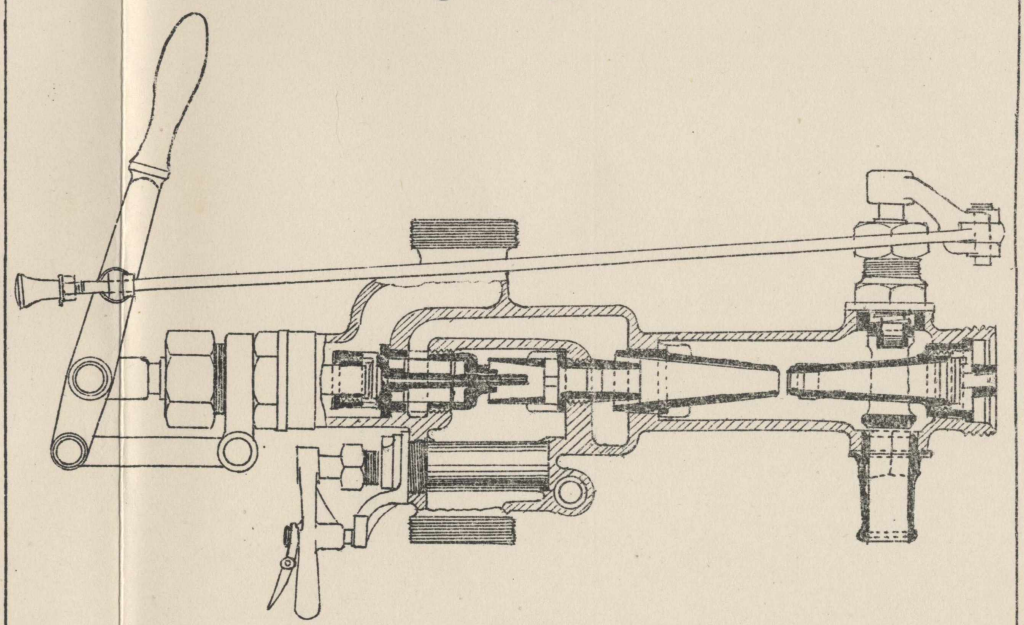
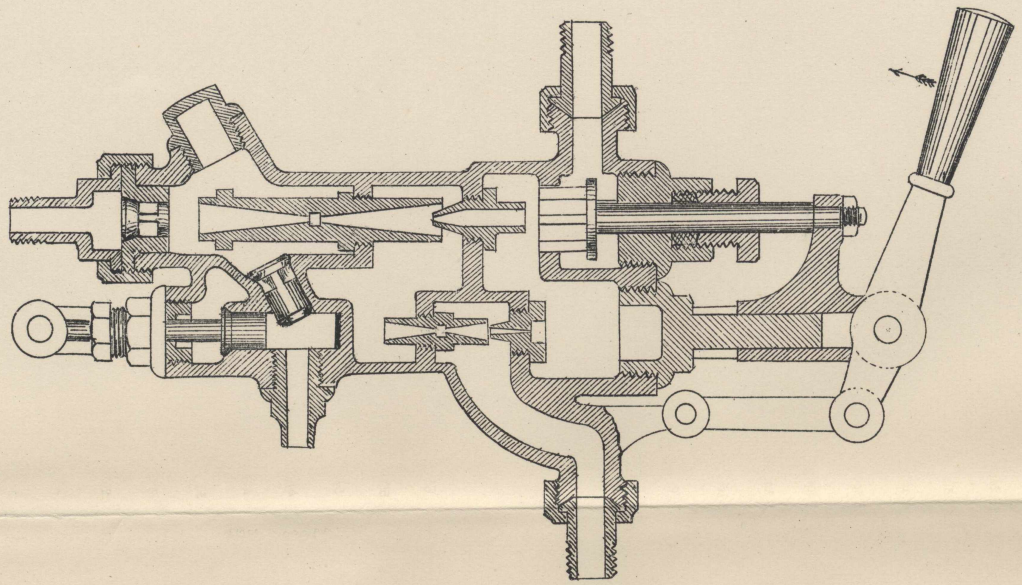


Fig. 79.



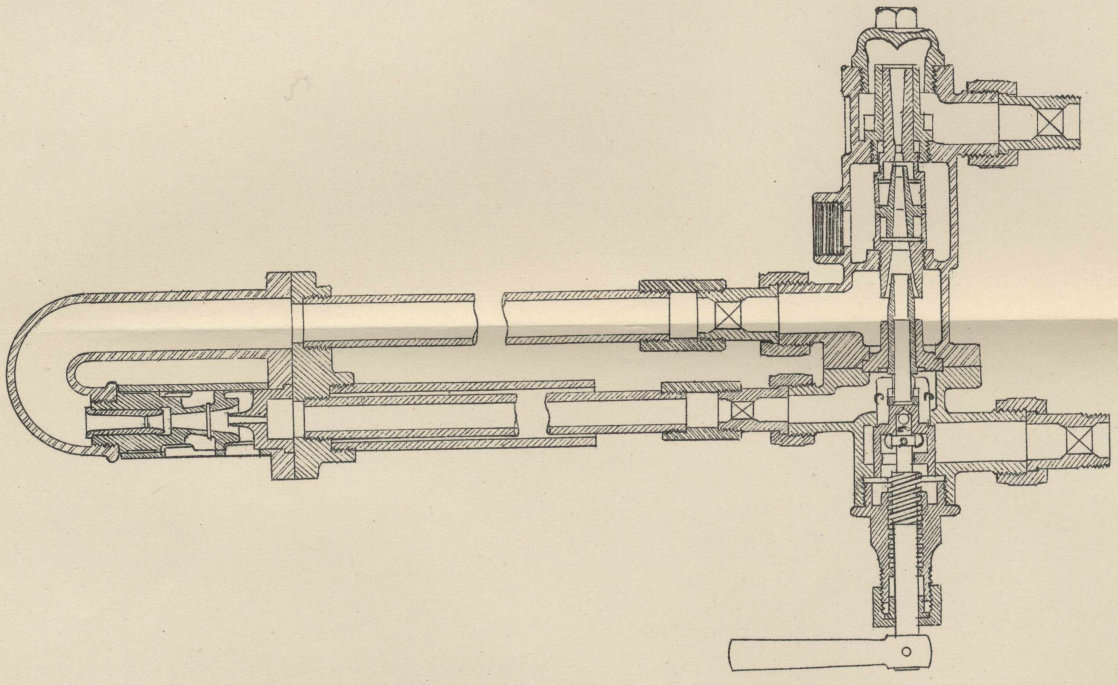
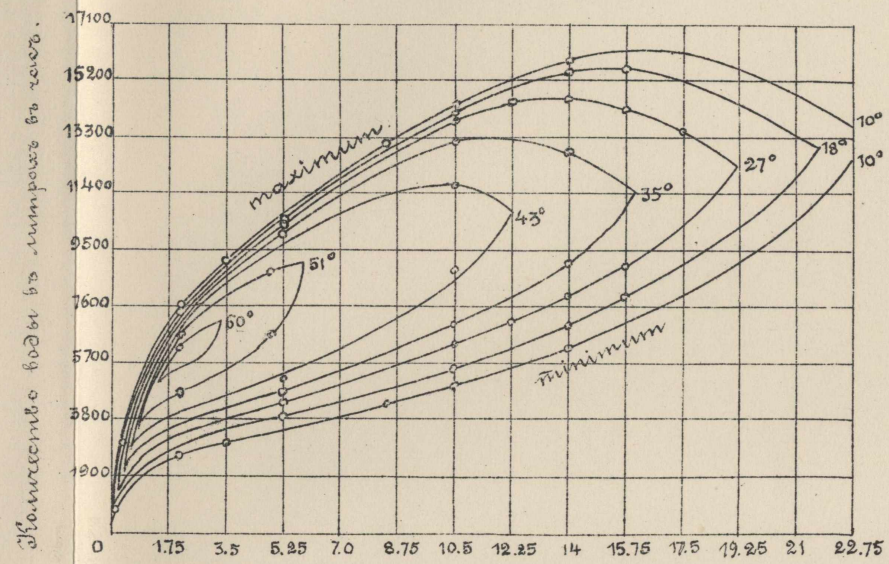
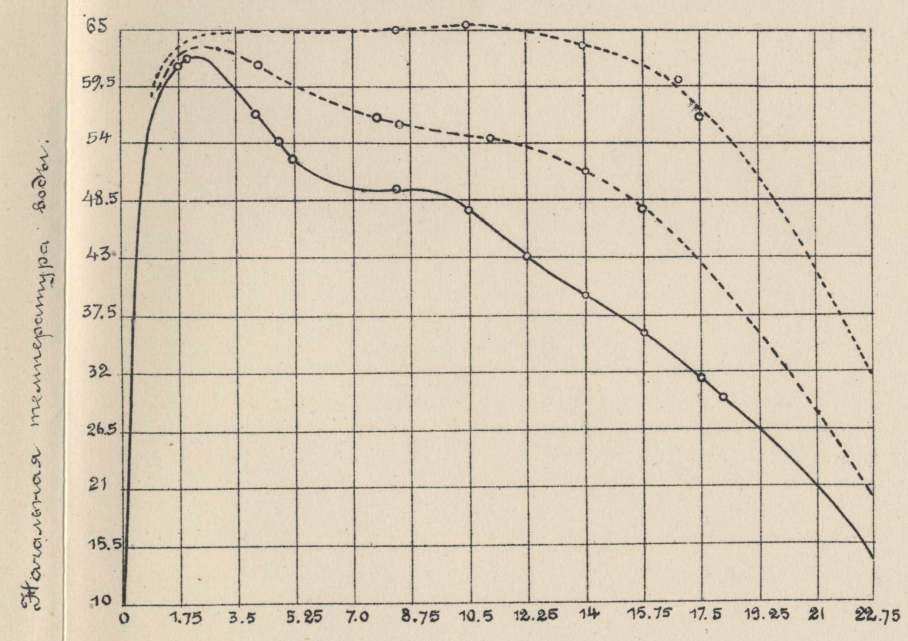


Fig. 80.

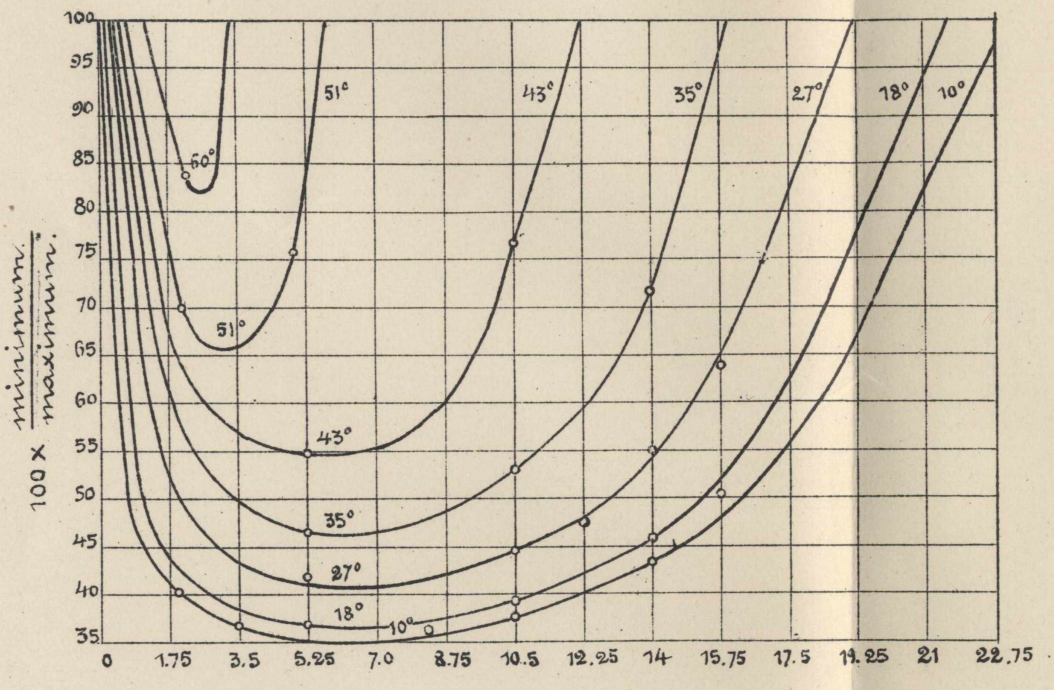
Фиг. 81.


Количество воды въ литрахъ въ часъ.
17100
15200
13300
11400
9500
7600
5700
3800
1900
maximum
minimum
10°
18°
27°
35°
43°
51°
60°
0
1.75
3.5
5.25
7.0
8.75
10.5
12.25
14
15.75
17.5
19.25
21
22.75
Давленіе пара въ атмосферахъ.

Фиг. 82.

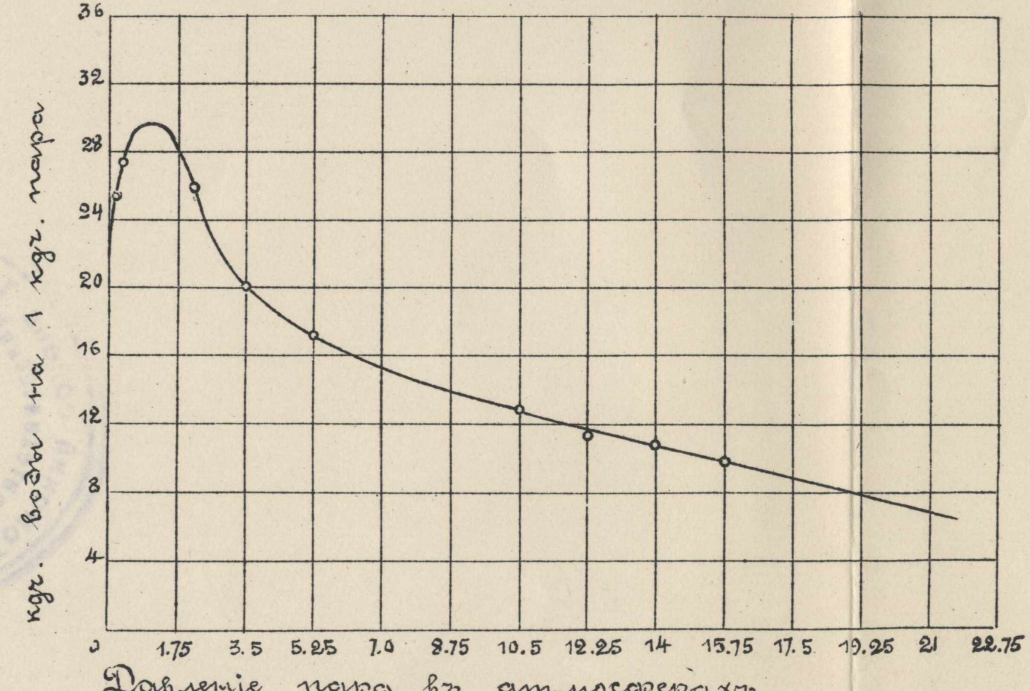

Начальная температура воды.
65
59.5
54
48.5
43
37.5
32
26.5
21
15.5
10
0
1.75
3.5
5.25
7.0
8.75
10.5
12.25
14
15.75
17.5
19.25
21
22.75
Давленія пара въ атмосферахъ.

Фиг. 83.



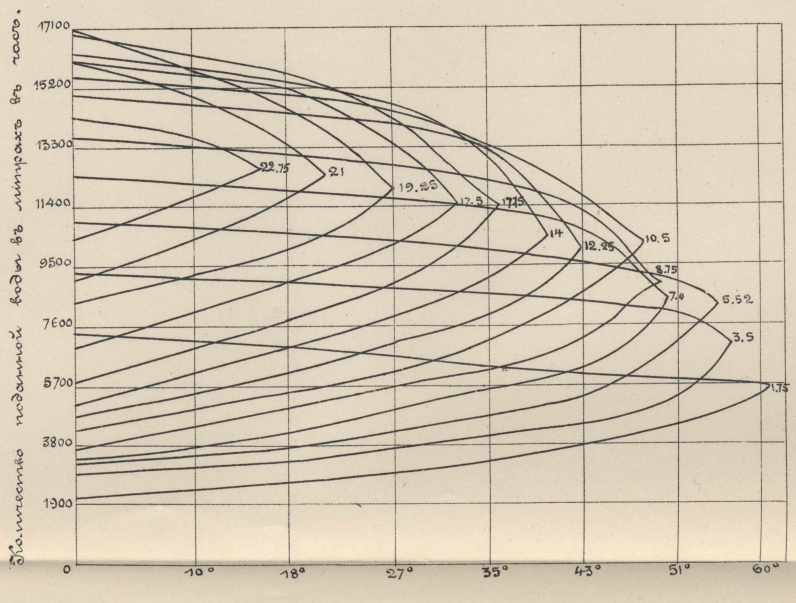
Давление пара въ атмосферахъ.

Фиг. 84.



Давление пара въ атмосферахъ.

Фиг. 85.



Начальная температура воды.

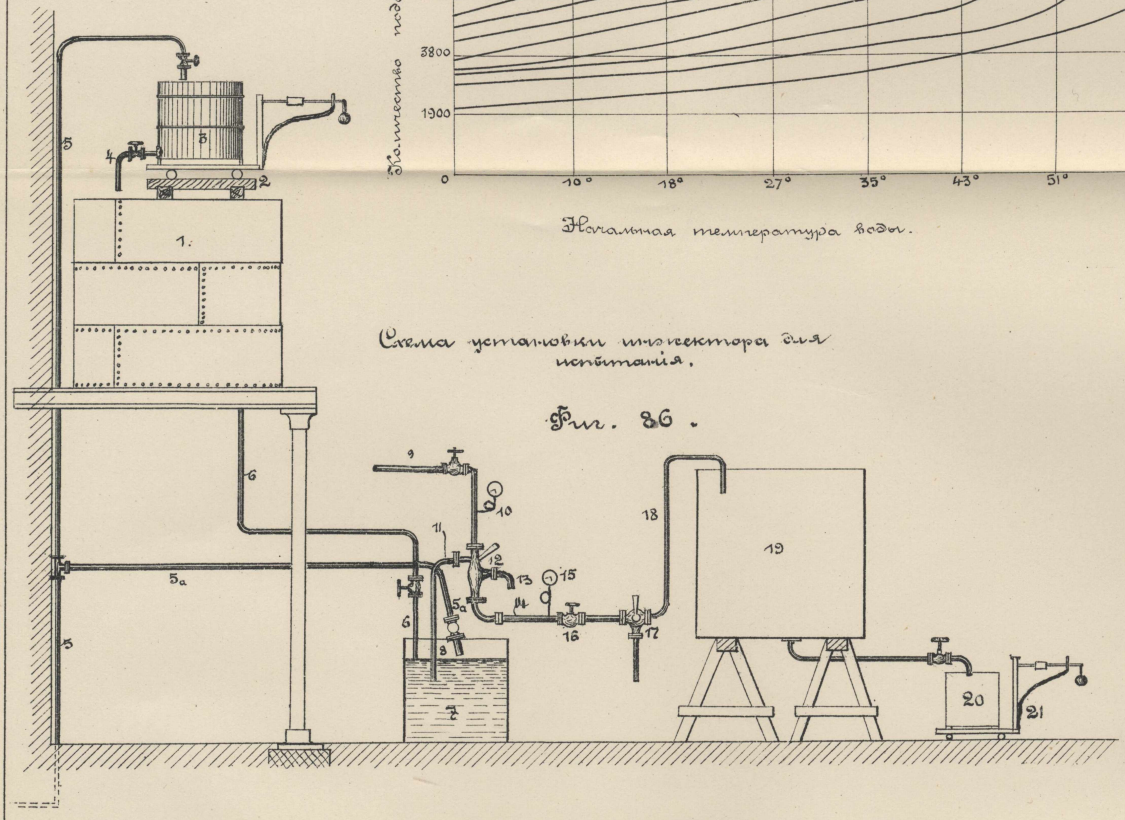
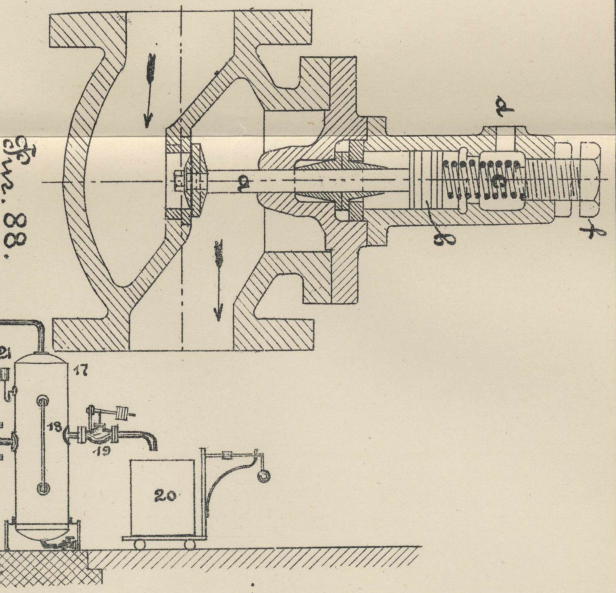


Схема установки инжектора для испытания.

Фиг. 86.



Фиг. 88.

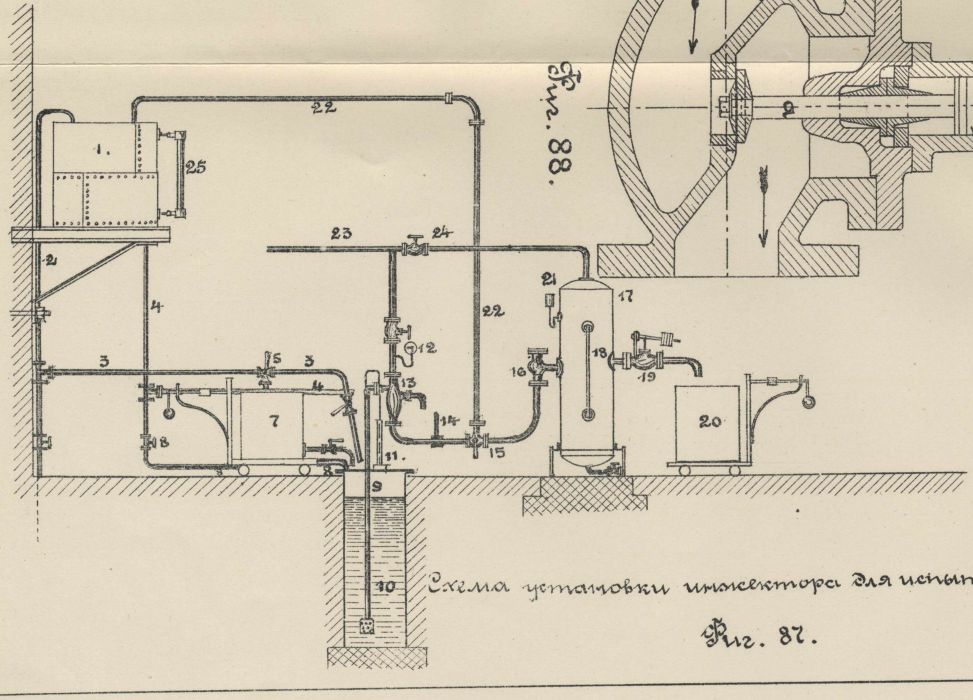


Схема установки инжектора для испытания.

Фиг. 87.