НАЧАЛЬНЫЯ ОСНОВАНІЯ
ОБЩЕЙ И ПРИКЛАДНОЙ
МЕХАНИКИ.

РУКОВОДСТВО КЪ ПРЕПОДАВАНІЮ МЕХАНИКИ ВЪ АРХИТЕКТОРСКОМЪ ОТДѢЛЕНІИ ИНСТИТУТА И ВЪ СТРОИТЕЛЬНОМЪ УЧИЛИЩѢ, ГЛАВНАГО УПРАВЛЕНІЯ ПУТЕЙ СООБЩЕНІЯ И ПУБЛИЧНЫХЪ ЗДАНІЙ.

Ж. Ястржембскаго.

Часть вторая.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА.

ТЕКСТЪ.

САНКТПЕТЕРБУРГ
1846.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА.

КРАТКОЕ ОБОЗРѢНІЕ ПОСТЕПЕННАГО РАЗВИТІЯ МЕХАНИКИ ВЪ ДРЕВНІЯ И НОВѢЙШІЯ ВРЕМЕНА.

Немногія отрасли человѣческихъ знаній сдѣлали, въ послѣднее время, столь значительные успѣхи, какъ Механика. До XVII столѣтія, Механика, въ смыслѣ науки, вовсе не существовала; по-крайней-мѣрѣ это можно сказать положительно о наукѣ движенія. Въ два столѣтія она развилась вполнѣ, теоретически, и, вспомоществуемая практикою, привела къ результатамъ, превзошедшимъ самыя смѣлыя ожиданія. Любопытно и поучительно прослѣдить за постепенными успѣхами науки, которая содѣйствовала такъ сильно развитію общественнаго благосостоянія.

I. Механика у древнихъ.

Механика, прежде нежели сдѣлалась положительною наукою и искусствомъ, была долгое время ремесломъ. Изобрѣтеніе и употребленіе многихъ машинъ и механическихъ производствъ, необходимыхъ, такъ-сказать, для существованія человѣка, опередило науку о равновѣсіи и движеніи вообще: практическая Механика развилась гораздо прежде теоретической. Но практика, неозаряемая свѣтомъ науки, не могла совершенствоваться систематически. Оттого, немногія свѣдѣнія древнихъ объ устройствѣ и употребленіи машинъ, переходя въ наслѣдство отъ одного поколѣнія къ другому, оставались долгое время почти въ одномъ и томъ-же положеніи.

О свѣденіяхъ древнихъ въ практической Механикѣ можно судить по сооруженіямъ того времени и по степени развитія нѣкоторыхъ механическихъ ремеслъ. Общественныя зданія, Египетскія пирамиды, обелиски, воздвигнутые еще до Троянской войны, не могли быть сооружаемы безъ пособія машинъ. Витрувій, знаменитый Римскій строитель временъ Августа, исчисляетъ многія машины, которыя, по словамъ его, употреблялись съ незапамятныхъ временъ. Таковы, въ строительномъ искусствѣ: рычаги, блоки, вороты, краны; въ военномъ — катапульты, балисты, тараны и проч. Древнимъ были извѣстны также многія гидравлическія машины. Архимедовъ винтъ, Героновъ фонтанъ, до-сихъ-поръ носятъ названіе своихъ изобрѣтателей. Гидравлическія колеса, цѣпи съ ковшами и съ четками, принадлежатъ самой отдаленной древности. Машины для размола хлѣбныхъ зеренъ были также извѣстны древнимъ. До изобрѣтенія мукомольныхъ мельницъ, для перемола хлѣбныхъ зеренъ, употреблялись песты; потомъ стали растирать зерна ручными жерновами; въ послѣдствіи, они приводились въ движеніе воротами, посредствомъ людей или лошадей. За пять столѣтій до Р. Х., мельницы этого рода были уже въ большомъ употребленіи въ Римѣ.

Вѣтряныя мельницы сдѣлались извѣстны въ Европѣ во время Крестовыхъ походовъ: устройство ихъ заимствовано на Востокѣ, гдѣ эти мельницы, съ незапамятныхъ временъ, предпочитались водянымъ.

Древніе не имѣли никакого понятія объ употребленіи движущей силы пара. Изобрѣтеніе и усовершенствованіе паровыхъ машинъ принадлежитъ новѣйшему времени.

Для измѣренія времени, въ древности употреблялись солнечные, водяные и песочные часы или клепсидры. Въ водяныхъ часахъ время указывалъ горизонтъ воды, постепенно понижавшійся въ сосудѣ, или стрѣлка, которая приводилась въ движеніе водою, посредствомъ системы

зубчатыхъ колесъ. Витрувій описываетъ нѣсколько подобныхъ приборовъ. Въ послѣдствіи, водяные часы стали замѣнять песочными. Нынѣ употребляемые часы съ механизмомъ сдѣлались извѣстны въ Европѣ въ VIII столѣтіи, послѣ Р. Х., а карманные, — въ половинѣ XIV вѣка.

Все сказанное здѣсь служитъ доказательствомъ, что практическія свѣденія древнихъ въ Механикѣ были довольно обширны и разнообразны. Напротивъ-того, теоретическія ихъ знанія отличались чрезвычайною ограниченностію и сбивчивостію. Это доказывается сочиненіями *Аристотеля,* относящимися къ Механикѣ, (за 320 л. до Р. Х.). Вся теорія Механики у древнихъ состояла изъ немногихъ правилъ и замѣчаній, безъ связи и доказательствъ. *Архимедъ*, величайшій геометръ древности, (287 — 212 до Р. Х.), первый положилъ основаніе статикѣ тяжелыхъ тѣлъ и гидростатикѣ. Въ двухъ его твореніяхъ, дошедшихъ до насъ въ латинскомъ переводѣ: «*О равновѣсіи тяжелыхъ тѣлъ и о тѣлахъ погружаемыхъ въ жидкость*» (*) заключается теорія рычага и центра тяжести и условія равновѣсія тѣлъ, погруженныхъ въ жидкость. Архимеду приписываютъ изобрѣтеніе многихъ машинъ. Онъ занимался этимъ предметомъ въ часы досуга, для пользы своихъ согражданъ, но несчиталъ достойнымъ себя описывать свои машины. Оттого намъ неизвѣстна бо̀льшая часть изобрѣтеній Архимеда, по практической Механикѣ.

Послѣ Архимеда, сдѣлавшаго первый и самый трудный шагъ въ наукѣ равновѣсія, оставалось лишь обобщить условія равновѣсія рычага, для вывода общей теоріи равновѣсія силъ, приложенныхъ къ твердому тѣлу. Однакожъ, послѣдователи Архимеда не умѣли этого сдѣлать, и долгое время, начала равновѣсія, положенныя Архимедомъ, составляли всю теорію статики.

(*) De æquiponderatibus et de humido insidentibus.

Архимедъ первый создалъ гидростатику. Въ сочиненіи своемъ: *о тѣлахъ погружаемыхъ въ жидкость*, онъ принимаетъ за основаніе, что жидкая масса остается въ покоѣ, когда она подвержена дѣйствію равныхъ силъ со всѣхъ сторонъ. Это начало доказано у Архимеда опытомъ. За тѣмъ, онъ разсматриваетъ условія равновѣсія плавающаго тѣла, и объясняетъ, что для этого центры тяжести тѣла и подводной части должны быть на одной отвѣсной линіи, и вѣсъ тѣла равняться вѣсу вытѣсненной жидкости. Помощію этой теоремы, Архимедъ рѣшилъ извѣстную въ древности задачу о Гіероновой коронѣ.

Черезъ сто лѣтъ послѣ Архимеда (150 л. до Р. Х.), два геометра Александрійской школы *Ктезивій* и ученикъ его *Геронъ*, придумали устройство насосовъ, сифона и, такъ называемаго понынѣ, Геронова фонтана. Дѣйствіе всѣхъ этихъ машинъ объясняется теперь атмосфернымъ давленіемъ. Но, въ то время, по незнанію настоящей причины, его приписывали таинственнымъ дѣятелямъ природы. Допуская существованіе симпатіи и антипатіи между небесными и земными тѣлами, древніе думали что *природа не терпитъ пустоты* и, въ слѣдствіе этого, гонитъ воду въ пустоту, въ насосахъ и сифонахъ. Подобное объясненіе, казавшееся тогда удовлетворительнымъ, оставалось въ наукѣ до XVII столѣтія, — до временъ Торичелли.

Понятія древнихъ о движеніи были весьма ограничены. Древніе знали законы одного только равномѣрнаго движенія: знали, что при равномѣрномъ движеніи тѣло движется тѣмъ быстрѣе, чѣмъ бо́льшее пространство пробѣгаетъ въ единицу времени; что пространства, пробѣгаемыя равномѣрно двумя тѣлами, относятся между собою какъ произведенія изъ временъ на скорости. Эти первыя, начальныя, свѣденія не составляли науки, принявшей въ послѣдствіи названіе Динамики; — науки, которая состоитъ собственно въ изслѣдованіи перемѣннаго

движенія и законовъ, по которымъ сообщается движеніе отъ одного тѣла другому. Динамика, недоступная для древнихъ геометровъ, принадлежитъ вся новѣйшему времени.

Свѣденія древнихъ о движеніи жидкихъ тѣлъ были еще ограниченнѣе. Опытъ научилъ ихъ устройству нѣсколькихъ машинъ, приводимыхъ въ движеніе водою; таковы водяныя мельницы древнихъ. Всѣ эти машины были весьма несовершены. Онѣ перешли къ намъ въ своемъ несовершенномъ видѣ, и только въ послѣднее время получили многія улучшенія, которыми практика обязана пособію теоріи.

Изъ числа древнихъ трактатовъ о движеніи жидкихъ тѣлъ, до насъ дошло сочиненіе римскаго писателя Юлія Фронтинуса (*), который имѣлъ подъ своимъ надзоромъ публичные фонтаны въ Римѣ, при императорахъ Нервѣ и Траянѣ. Фронтинусъ, описывая римскіе водопроводы и фонтаны, прибавляетъ замѣчанія свои о томъ, что̀ можетъ имѣть вліяніе на увеличеніе количества воды, доставляемой водопроводомъ. Понятія Фронтинуса о движеніи воды вообще самыя ограниченныя. Онъ не зналъ даже зависимости между скоростью воды и высотою напора. Послѣ этого, нельзя не сказать, что и гидродинамика принадлежитъ вся новѣйшему времени.

II. Механика, послѣ возрожденія наукъ въ Европѣ, до изобрѣтенія высшаго анализа.

До XVII столѣтія, теорія Механики оставалась въ томъ состояніи, въ какомъ ее передали потомству древніе философы. Статика и гидростатика не подвинулись ни на одинъ шагъ, со временъ Архимеда; гидродинамика вовсе не существовала; въ динамикѣ руководствовались немногими

(*) De aquæductibus urbis Romæ.

правилами, изложенными Аристотелемъ. До XVII столѣтія, извѣстнѣйшіе геометры ограничивали свои изысканія по динамикѣ комментаріями на Аристотелево ученіе, принятое тогда повсемѣстно. Это ученіе было чрезвычайно сбивчиво и вовсе не согласовалось съ нынѣ существующими понятіями объ основныхъ началахъ динамики. Теперь, напримѣръ, никто не сомнѣвается въ томъ, что тѣло, приведенное въ движеніе и предоставленное самому себѣ, будетъ продолжать двигаться по прямой линіи, до тѣхъ поръ, пока какая нибудь причина не отклонитъ его отъ этого направленія. Послѣдователи Аристотелевой школы думали иначе: они были увѣрены, что всякое тѣло, приведенное въ движеніе, стремится двигаться по окружности круга, и можетъ двигаться по прямой линіи тогда только, когда къ этому принудитъ его посторонняя причина. Отсюда, по мнѣнію древнихъ, слѣдовало, что круговое движеніе, такъ сказать, *врожденно* всѣмъ тѣламъ, а прямолинейное бываетъ всегда слѣдствіемъ *принужденія*. Въ доказательство своего мнѣнія приводили они, что всѣ небесныя тѣла, сами по себѣ, описываютъ ежедневно круги (кажущіеся), около земли. На возраженіе, что камень брошенный рукою движется нѣкоторое время по прямой линіи, перипатетики отвѣчали съ Аристотелемъ, что воздухъ, слѣдуя за камнемъ, подталкиваетъ его и заставляетъ двигаться по прямой линіи. И подобныя объясненія считались тогда удовлетворительными! О законахъ паденія тѣлъ существовали также самыя нелѣпыя понятія; ихъ повторяли безъ измѣненія со временъ Аристотеля, и никому не приходило на мысль повѣрить ихъ опытомъ.

Въ такомъ состояніи находилась наука о движеніи, когда явился *Галилей*, (1564—1642). Геній его, постигнувъ всю нелѣпость ученія перипатетической школы, рѣшился уничтожить Аристотелевы начала о движеніи. Первый трудъ Галилея, по динамикѣ, имѣлъ цѣлію точное

изслѣдованіе законовъ движенія тѣлъ, падающихъ въ пустомъ пространствѣ. Разсужденія и опыты убѣдили его въ томъ, что всѣ тѣла, тяжелыя и легкія, падая въ пустомъ пространствѣ, движутся вмѣстѣ и пріобрѣтаютъ, въ одно время, одинаковыя скорости. Опыты свои производилъ Галилей въ присутствіи многочисленнаго собранія зрителей, опуская разныя тѣла съ наклонной Пизанской башни. Присутствовавшіе при подобныхъ опытахъ вовсе не были къ нимъ приготовлены и, нерѣдко, встрѣчали свистками дерзкаго противника Аристотеля. Въ 1592 году Галилей издалъ небольшое сочиненіе о статикѣ тяжелыхъ тѣлъ, и всю науку о равновѣсіи старался привести къ одному общему началу, которое у него выражалось такъ: «*При подъемѣ двухъ разныхъ грузовъ, на высоты обратно-пропорціональныя ихъ величинамъ, употребляется одно и то-же количество силы.*» То, что Галилей называлъ *количествомъ силы*, нынѣ называется *работою силы*. Галилеево начало равновѣсія тяжелыхъ тѣлъ выводится теперь, какъ слѣдствіе общаго начала равновѣсія и движенія — *начала возможныхъ работъ*. Въ статикѣ Галилея въ первый разъ изложена теорія наклонной плоскости. Галилею принадлежитъ изобрѣтеніе маятника. Онъ придумалъ устройство гидростатическихъ вѣсовъ и подтвердилъ опытами законы гидростатики, открытые Архимедомъ. Но важнѣйшая заслуга Галилея, заслуга, которая одна даетъ ему право на имя основателя новой Механики, состоитъ въ открытыхъ имъ законахъ движенія. Галилей положилъ первыя основанія наукѣ о движеніи. До него динамика не существовала. Конечно, Галилей изслѣдовалъ законы движенія однихъ лишь падающихъ тѣлъ въ пустомъ пространствѣ и тѣлъ движущихся по наклонной плоскости, отъ дѣйствія тяжести; но, послѣ этого перваго шага въ наукѣ, опровергнувшаго ложное ученіе перипатетической школы, оставалось только обобщить законы, выведенные Галилеемъ, чтобы придти къ законамъ равноперемѣннаго дви-

женія, производимаго какою нибудь постоянною силою. Основанія динамики изложены Галилеемъ въ сочиненіи: «Discorsi e dimonstrazioni matematiche intorni due nouve scienze. 1632.» Ученикъ его Торичелли издалъ, въ 1644 году, книгу о ускорительномъ движеніи тяжелыхъ тѣлъ: «De motu gravium naturaliter accelerato», въ которой начала, открытыя Галилеемъ, пополнены многими теоремами знаменитаго ученика. Современники не оцѣнили вполнѣ заслугъ Галилея по динамикѣ. Между-тѣмъ, изслѣдованія по этой части, болѣе доказываютъ творческую силу генія Галилея, чѣмъ труды по астрономіи и споры за систему Коперника, отвлекшіе Галилея отъ дальнѣйшаго изученія законовъ движенія. Предавшись новому ученію о движеніи земли, Галилей оставилъ свои изысканія по динамикѣ. Смерть положила конецъ его трудамъ, въ 1642 году, — въ годъ рожденія *Ньютона*.

Гёйгенсъ (Huyghens), (1625—1695), занимался изслѣдованіемъ движенія тяжелыхъ тѣлъ по даннымъ кривымъ линіямъ. Онъ доказалъ, что скорость тяжелаго тѣла, опускающагося по какой нибудь кривой линіи, зависитъ только отъ одной высоты паденія, а вовсе не отъ формы кривой линіи. Гейгенсу принадлежитъ открытіе свойства равновременности (таутохронизма) циклоиды, и теорія центральныхъ силъ въ кругѣ. Но важнѣйшій его подвигъ есть разрѣшеніе вопроса о центрѣ качанія.

Вмѣстѣ съ рѣшеніемъ вопроса о центрѣ качанія, геометры того времени занимались вопросомъ о центрѣ удареніе. Нынѣ извѣстно, что центръ удареніе совпадаетъ съ центромъ качанія, и что обѣ эти точки совпадаютъ съ точкою приложенія силы инерціи тѣла, вращающагося на оси. Но въ то время думали иначе. Рѣшенія вопроса о центрѣ удареніе, предложенныя *Декартомъ*, *Роберваломъ*, *Валлисомъ*, оказались неудовлетворительными. Въ послѣдствіи, *Іаковъ Бернулли* нашель истинное и полное рѣшеніе этого вопроса.

Паскаль (1623 — 1662) написалъ первое систематическое сочиненіе о равновѣсіи жидкихъ тѣлъ. Ему принадлежитъ открытіе основнаго свойства жидкихъ тѣлъ, — свойства одинаковаго давленія во всѣ стороны. Основываясь на немъ, выведено все, что относится къ давленію жидкихъ тѣлъ на стѣны сосудовъ.

Древніе, и самъ Галилей, не знали ничего о тяжести воздуха. Случилось однажды, во Флоренціи, въ Галилеево время, что для поднятія воды на значительную высоту, фонтанщики великаго герцога Козимо Медичи устроили насосъ, съ всасывающею трубою длиннѣе 34 футовъ. Само собою разумѣется, что насосъ не сталъ дѣйствовать. Не постигая причины этого явленія, фонтанщики обратились за объясненіемъ къ Галилею. Ученый былъ поставленъ въ довольно затрудительное положеніе. Для поддержанія чести науки, ему слѣдовало, не запинаясь, дать удовлетворительный отвѣтъ, котораго не предлагала наука въ современномъ своемъ состояніи. Такъ-какъ тогда подъемъ воды въ насосахъ приписывали отвращенію природы отъ пустоты, то Галилей отвѣчалъ, что, вѣроятно, это отвращеніе простирается въ природѣ только до 34 футъ. Отвѣтъ найденъ удовлетворительнымъ, и никто не сталъ искать другой причины явленія. Но самъ Галилей остался недоволенъ своимъ рѣшеніемъ, понимая очень хорошо до какой степени нелѣпо объяснять дѣйствія насосовъ отвращеніемъ природы отъ пустоты. Ученикъ его, *Торичелли*, первый попалъ на мысль объяснить подъемъ воды въ насосахъ дѣйствіемъ атмосфернаго давленія. Барометръ, устроенный Торичелли, осязательно доказалъ атмосферное давленіе и перемѣны, замѣчаемыя въ немъ по временамъ.

Торичелли первый предложилъ точную теорію движенія жидкости, вытекающей изъ сосуда малымъ отверзтіемъ. По этой теоріи, частицы вытекающей жидкости движутся въ отверзтіи съ тою скоростію, какую пріобрѣтаетъ тѣло,

упавши съ высоты, равной разстоянію центра отверзтія до горизонта жидкости.

Кастелли, другой ученикъ Галилея, занимался изслѣдованіемъ движенія воды въ рѣкахъ. Въ 1628 г. онъ издалъ небольшое сочиненіе, гдѣ доказывается, что въ рѣкѣ, имѣющей правильное теченіе, скорости живыхъ сѣченій обратно пропорціональны величинамъ площадей сѣченій. Но Кастелли неправильно опредѣлялъ скорость теченія, полагая ее пропорціональною паденію рѣки.

Въ такомъ состояніи была Механика, до изобрѣтенія высшаго анализа.

III. Развитіе Механики, со времени изобрѣтенія высшаго анализа.

а. *Статика.*

Со времени Архимеда, которому принадлежитъ теорія рычага, ученые старались выводить условія равновѣсія силъ, приложенныхъ къ данной системѣ матеріальныхъ точекъ, разсматривая ее какъ собраніе рычаговъ. Но этотъ способъ, сопряженный иногда съ большими затрудненіями, казался часто натянутымъ.

Ньютонъ (1642 — 1728) указалъ на другой способъ, проще и удобнѣе, основанный на составленіи и разложеніи силъ. Съ давняго времени былъ извѣстенъ законъ независимости движеній;—законъ, по которому тѣло, оживленное двумя скоростями вдругъ, движется такъ, какъ будто-бы оно двигалось послѣдовательно, прежде съ одною, потомъ съ другою скоростью. Слѣдствіемъ этого закона была теорема о составленіи и разложеніи скоростей, или теорема параллелограмма силъ. Галилей употребилъ ее для опредѣленія движенія тѣла, брошеннаго въ пустомъ пространствѣ, подъ какимъ нибудь угломъ. Такъ-какъ опытъ показывалъ, что силы пропорціональны сообщае-

мымъ ими скоростямъ, то можно было заключить, съ Ньютономъ, что теорема о составленіи и разложеніи скоростей примѣняется непосредственно къ составленію и разложенію силъ.

Въ 1726 году, Даніилъ *Бернулли*, членъ С. Петербургской Академіи Наукъ, предложилъ доказательство параллелограмма силъ, независимое отъ соображеній о движенія. Послѣ этого, предложено было нѣсколько другихъ доказательствъ той-же самой теоремы.

Теоріи равновѣсія силъ, выводимыя изъ условій равновѣсія рычага и изъ составленія и разложенія силъ, не имѣли довольно общности: изъ нихъ нельзя было вывести всѣхъ случаевъ равновѣсія. По-крайней-мѣрѣ, во многихъ случаяхъ, ходъ, какому слѣдовали геометры, при изложеніи условій равновѣсія, казался не совсѣмъ естественнымъ. Наука нуждалась въ общемъ началѣ равновѣсія силъ, приложенныхъ къ какой нибудь системѣ матеріальныхъ точекъ. Статика обязана такимъ началомъ *Іоанну Бернулли*, который назвалъ его *началомъ умозрительныхъ скоростей*. Нынѣ его называютъ *началомъ возможныхъ перемѣщеній*, или, правильнѣе, *началомъ возможныхъ работъ*. Открытіе Бернулли сдѣлалось извѣстнымъ въ 1717 г. Смерть воспрепятствовала ему развить окончательно этотъ общій законъ равновѣсія. Только чрезъ семьдесятъ лѣтъ потомъ, *Лагранжъ*, въ изданной имъ Аналитической механикѣ (1788), привелъ всю науку о равновѣсіи силъ къ одному общему началу, — *возможныхъ перемѣщеній*. Лагранжъ, развившій мысль Бернульи, пополнилъ то, чего недоставало статикѣ. Начало возможныхъ перемѣщеній, называемое нынѣ началомъ возможныхъ работъ, связало въ одно цѣлое всѣ части науки о равновѣсіи, которую, съ того времени, можно было разсматривать какъ науку совершенно полную. Трудами новыхъ геометровъ пополнено изложеніе начала Лагранжа; такъ что нынѣ, при помощи одного закона возможныхъ работъ, всѣ вопросы о рав-

новѣсіи силъ рѣшаются точно и совершенно удовлетворительно. Начало возможныхъ работъ выражается такъ: «*Предположивъ что система, на которую дѣйствуютъ силы, отклонилась нѣсколько отъ своего положенія, такъ что точки ея перемѣстились изъ своихъ положеній въ другія, допускаемыя связью системы, если взять сумму возможныхъ работъ всѣхъ силъ, то есть сумму произведеній изъ всѣхъ силъ на безконечно малыя перемѣщенія точекъ приложенія, считаемыя по направленіямъ силъ, то эта сумма будетъ равна нулю, въ случаѣ равновѣсія.*»

Въ 1803 году появилось первое изданіе сочиненія французскаго ученаго Поинсо: *Traité élémentaire de Statique*, въ которомъ изложена новая теорія паръ силъ, объяснившая значеніе такъ называемыхъ *моментовъ* силъ. Эта теорія, сокративъ изложеніе статики, послужила къ точнѣйшему изслѣдованію всѣхъ обстоятельствъ вращательнаго движенія.

б. *Динамика.*

Изобрѣтеніе высшаго анализа быстро подвинуло впередъ динамику. Братья Бернульи (Іаковъ и Іоаннъ), Лейбницъ, Ньютонъ и другіе, по обычаю того времени, публично предлагали другъ другу задачи, относившіяся большею частію къ динамикѣ. Рѣшенія этихъ задачъ, помощію высшаго анализа, обогатили науку, и привели геометровъ къ точному изслѣдованію общихъ началъ динамики.

Динамика обязана Ньютону изложеніемъ общихъ своихъ началъ. Онъ первый обратилъ вниманіе на самый общій законъ Механики, — на *законъ противодѣйствія*. Ньютонъ разсматривалъ *инерцію*, какъ свойство общее всѣмъ тѣламъ и показалъ что всякое тѣло, по свойству инерціи, можетъ дѣйствовать какъ движущая сила, или какъ сопротивленіе. При рѣшеніи вопросовъ, относящихся къ криволинейному движенію, Ньютонъ разлагаетъ каждую изъ движущихъ

силъ на двѣ: одну касательную, другую нормальную къ кривой. Изъ всѣхъ силъ, дѣйствующихъ по касательной, составляется одна, которая, преодолѣвая инерцію тѣла, ускоряетъ или замедляетъ его движеніе. Равнодѣйствующая нормальнымъ силамъ уравновѣшивается съ центробѣжною силою тѣла. Изложеніе Нютона всегда синтетическое. Повидимому оно проще, но нерѣдко сопряжено съ большими затрудненіями.

Здѣсь не мѣсто говорить объ открытіяхъ сдѣланныхъ Нютономъ въ небесной механикѣ и въ физикѣ. Эти открытія увѣковѣчили имя великаго англійскаго геометра.

Въ 1736 году, *Эйлеръ* (1707—1783) издалъ Механику, въ которой изложена вся теорія прямолинейнаго и криволинейнаго движенія матеріальной точки, подверженной какимъ нибудь ускоряющимъ силамъ, въ пустотѣ, или въ сопротивляющейся срединѣ. Въ изложеніи своемъ Эйлеръ слѣдовалъ вездѣ аналитическому ходу, и оттого, всѣ части его теоріи представлены однообразно и понятно. Эйлеръ владѣлъ анализомъ съ безпримѣрнымъ до того времени искусствомъ. Способъ Эйлера для составленія уравненій изъ даннаго вопроса тотъ-же самый какъ и у Нютона, т. е. разложеніе силы по касательнымъ и нормальнымъ линіямъ.

Мэклоренъ, Шотландскій математикъ (1698—1746), придумалъ другой способъ рѣшенія вопросовъ динамики. Онъ первый началъ разлагать силы и движенія на другія силы и движенія, параллельныя неподвижнымъ линіямъ въ пространствѣ. Послѣ такого разложенія, остается лишь, какъ извѣстно, разсмотрѣть каждое движеніе порознь, и выразить условія равновѣсія движущей силы съ силою инерціи тѣла. Когда тѣло движется въ одной плоскости, тогда берутся только двѣ неподвижныя оси, — обыкновенно, для простоты, взаимно перпендикулярныя. Если тѣло описываетъ кривую неплоскую, то берутся три оси, взаимно перпендикулярныя.

Все это рѣшало вопросы о движеніи одной матеріальной точки. Оставалось рѣшить вопросы о движеніи системы матеріяльныхъ точекъ и о передачѣ движенія отъ одного тѣла другому. *Гёйгенсъ*, братья *Бернулли*, *Лейбницъ*, *Ньютонъ*, *Тэйлоръ*, *маркизъ Лопиталь*, занимались рѣшеніемъ этихъ вопросовъ; но рѣшенія ихъ, относясь къ частнымъ вопросамъ, не имѣли видимой связи съ началами, на которыхъ основано рѣшеніе другихъ вопросовъ динамики. Не существовало общаго начала, подъ которое можно было бы подвести рѣшеніе вопроса о передачѣ движенія, въ системѣ движущихся точекъ. *Даламберъ* открылъ это начало, и сдѣлалъ его извѣстнымъ въ своемъ трактатѣ о динамикѣ, въ 1743 году. Даламберово начало, послужившее основаніемъ началу живыхъ силъ, выражается такъ: «*Силу приложенную къ матеріальной точкѣ, связанной съ другими точками какимъ нибудь образомъ, можно предположить замѣненною двумя: одною — равною той какая бы сообщила точкѣ свободной то движеніе, какое она дѣйствительно имѣетъ; другою — уничтожаемою противодѣйствіемъ связи матеріальныхъ точекъ; первая составляющая сохраняется, послѣдняя теряется. Поэтому, движеніе системы точекъ, подверженныхъ дѣйствію многихъ силъ, всегда бываетъ такое, при которомъ силы теряющіяся, по причинѣ связи, взаимно уравновѣшиваются.*» Выражая аналитически условіе равновѣсія теряющихся силъ, или, что все равно, условіе равновѣсія силъ сохраняющихся и силъ приложенныхъ къ системѣ, взятыхъ въ противоположныхъ направленіяхъ, Даламберъ приходитъ къ самому общему уравненію движенія, т. е. къ уравненію, которое даетъ зависимость между силами, пространствами, проходимыми точками приложенія, массами, на которыя силы дѣйствуютъ, и пріобрѣтаемыми скоростями. Даламберово начало ведетъ къ началу живыхъ силъ, то есть къ зависимости между работами силъ и живыми силами, пріобрѣтаемыми движущимися массами.

Чѣмъ было начало возможныхъ работъ для статики, тѣмъ Даламберово начало сдѣлалось для динамики. Трудами Лагранжа и Даламбера общая теорія равновѣсія и движенія пріобрѣла совершенную полноту.

в. *Гидродинамика.*

Теорія Торичелли, о вытеканіи жидкихъ тѣлъ изъ сосудовъ чрезъ отверзтія, примѣняется только къ небольшимъ отверзтіямъ. Нѣкоторые авторы, какъ напримѣръ, *Вариньонъ*, (1654—1722), *Гульельмини* и проч., распространили эту теорему болѣе нежели слѣдовало, принявъ ее за основаніе теоріи вытеканія жидкихъ тѣлъ большими отверзтіями и теоріи движенія воды въ рѣкахъ и каналахъ. Они были, естественно, приведены къ предположеніямъ неточнымъ, и нерѣдко совершенно несогласнымъ съ выводами изъ опытовъ. Въ этомъ состоитъ причина недостатковъ *трактата о рѣкахъ*, Гульельмини, въ которомъ, впрочемъ, встрѣчается много дѣльныхъ замѣчаній о теченіи воды. Прибавимъ, что вопросы о движеніи жидкихъ тѣлъ, одни изъ труднѣйшихъ въ Механикѣ, и что по сіе время, найдены только ихъ приблизительныя рѣшенія, въ случаяхъ чаще встрѣчающихся въ практикѣ.

Первый Нютонъ, въ своихъ *Principia* или математическихъ законахъ естественной философіи, взялся за рѣшеніе вопроса о вытеканіи жидкости изъ отверзтія, не предполагая, что отверзтіе безконечно мало. Теорія Нютона основана на предположеніи, что вода, выливающаяся изъ отвѣснаго цилиндрическаго сосуда, раздѣляется въ сосудѣ на двѣ части: одна, средняя, движется свободно, — Нютонъ называетъ ее *катарактою*; другая, смежная съ нею, неподвижна и ограничена стѣнами сосуда. Опытъ и законы гидростатики показываютъ, что образованіе и форма катаракты, допускаемыя Нютономъ, физически невозможны.

Теорія вытеканія жидкости большими отверзтіями оставалась несовершенною, когда Данінлу Бернульи удалось подчинить ее строгому анализу, при нѣкоторыхъ предположеніяхъ, довольно согласныхъ съ опытами. Въ своей гидродинамикѣ (1738 г.) Д. Бернульи предполагаетъ: 1. что поверхность вытекающей жидкости остается постоянно горизонтальною; 2. что при мысленномъ раздѣленіи всей жидкой массы, на безчисленное множество слоевъ, каждый изъ нихъ опускается со скоростью, обратно-пропорціональною площади слоя; 3. что слои, сохраняя всегда свою параллельность, увеличиваютъ скорость постепенно, на подобіе тяжелыхъ падающихъ тѣлъ. При этихъ предположеніяхъ, Бернульи, посредствомъ начала живыхъ силъ, выводитъ уравненія движенія жидкости, и примѣняетъ ихъ ко многимъ, занимательнымъ, практическимъ вопросамъ. Когда отъ формы сосуда, или отъ другой причины происходятъ быстрыя перемѣны въ скоростяхъ горизонтальныхъ слоевъ, тогда обнаруживается потеря живой силы, и уравненія, основанныя на началѣ живыхъ силъ, должны быть измѣнены. Не-смотря на то что наука о движеніи воды сдѣлала большіе успѣхи, со времени Д. Бернульи, сочиненіе его считается, до-сихъ-поръ, чрезвычайно важнымъ для гидродинамики.

Іоаннъ Бернульи, отецъ Данінла, и Мэклоренъ разрѣшили тотъ-же вопросъ другими способами, но пришли къ тѣмъ-же выводамъ какъ и Д. Бернульи. Впрочемъ, рѣшенія ихъ, хотя и тѣснѣе связанныя съ первыми законами Механики, нѣсколько неясны. Гидравлика Іоанна Бернульи напечатана въ запискахъ С. Петербургской Академіи наукъ; теорія Мэклорена помѣщена въ его «Traité des fluxions etc.»

Даламберъ, сдѣлавшій изъ динамики почти новую науку, приложилъ свое общее начало движенія къ движенію жидкихъ тѣлъ. Въ 1744 г. вышло сочиненіе его: «*Traité de l'équilibre et du mouvement des fluides.*» Разсматривая во-

просъ о вытеканіи жидкихъ тѣлъ какими нибудь отверстіями, Даламберъ, при тѣхъ-же предположеніяхъ, какъ и Даніилъ Бернульи, слѣдуетъ особенному ходу въ вычисленіи. Даламберъ, до самой смерти своей, не переставалъ совершенствовать гидродинамику.

Въ то время, когда гидродинамика дѣлала быстрые успѣхи во Франціи, Эйлеръ занимался приведеніемъ всей науки къ общимъ формуламъ, слѣдуя, какъ и всегда, строгому аналитическому ходу. Теорія Эйлера напечатана, въ первый разъ, въ запискахъ Берлинской Академіи (1755), а потомъ развита и усовершенствована въ четырехъ большихъ запискахъ С. Петербургской Академіи наукъ, 1768, 69, 70 и 71 годовъ. Здѣсь гидростатика получила совершенно новый видъ и пополнилась весьма замѣчательными приложеніями. Вся теорія движенія жидкостей выражена двумя дифференціальными уравненіями втораго порядка. Авторъ примѣняетъ общую теорію къ вытеканію жидкихъ тѣлъ изъ сосудовъ отверстіями, къ подъему воды посредствомъ насосовъ и къ движенію въ водопроводныхъ трубахъ, предполагая въ нихъ неизмѣнный и измѣняющійся діаметръ. Эйлеръ разсматриваетъ также движеніе газовъ. Говоря о движеніи воздуха, онъ приходитъ къ весьма простымъ формуламъ о распространеніи звука, и о томъ какъ образуются звуки въ трубахъ органа и во флейтѣ.

Лагранжъ также написалъ записку о движеніи жидкихъ тѣлъ.

Нельзя не замѣтить, что всѣ труды этихъ знаменитыхъ геометровъ принесли болѣе пользы чистому анализу, нежели приложеніямъ Механики къ практикѣ. И Эйлеръ и Лагранжъ, желая быть слишкомъ точными, достигли выводовъ многосложныхъ и неудобныхъ для практическаго употребленія. Прибавимъ къ тому, что при рѣшеніи вопросовъ этого рода, выводы самыхъ точныхъ вычисленій должны быть поповняемы опытами, которыхъ не-

доставало гидродинамикѣ во времена Лагранжа и Эйлера. *Боссю*, издавшій трактатъ о Гидродинамикѣ въ 1771 году, первый началъ опыты, въ большомъ видѣ, надъ движеніемъ жидкихъ тѣлъ. Опыты Боссю пополнены, въ-послѣдствіи, трудами *Дюбюа*, *Микелотти*, и, въ недавнее время, *Эйтельвейномъ*, *Прони*, *Лебро* и *Понсле*. Съ умножившимися выводами изъ опытовъ, формулы движенія жидкихъ тѣлъ приняли видъ болѣе удобный для употребленія въ практикѣ. Въ настоящее время, рѣшаются удовлетворительно почти всѣ практическіе вопросы о движеніи воды и воздуха.

IV. Успѣхи практической механики.

Со времени изобрѣтенія высшаго анализа, общая теорія равновѣсія и движенія быстро шла впередъ, и, наконецъ, достигла той степени совершенства, до какой могутъ быть доведены однѣ только точныя науки. Но истины теоретической Механики, долгое время, не приносили почти никакой пользы практикѣ; и вотъ по какой именно причинѣ. Въ теоретической Механикѣ, для облегченія рѣшенія вопросовъ, необходимо было дѣлать нѣкоторыя предположенія и пренебрегать многими обстоятельствами, сопровождающими всякое движеніе и дѣйствіе силъ на тѣла. Такимъ образомъ, въ теоріи Механики, твердыя тѣла принимались за безусловно твердыя, жидкія за совершенно жидкія, хотя въ природѣ ни одни, ни другія не существуютъ въ такомъ именно видѣ. Во многихъ случаяхъ, теорія находила нужнымъ пренебрегать треніе, жесткость и даже сопротивленіе срединъ, тогда какъ всѣ эти сопротивленія неразлучны съ движеніемъ всякаго тѣла. Необходимымъ слѣдствіемъ этого долженствовало быть и было совершенное разногласіе между выводами теоріи и дѣйствительностью. Практика, непонимая причины такого разногласія, и неимѣя возможности повѣ-

рить теорію, начала недовѣрять ей, и нерѣдко должна была довольствоваться запасомъ свѣденій, пріобрѣтенныхъ одною наглядностью, или навыкомъ. При такихъ обстоятельствахъ, теорія и практика неизбѣжно, съ каждымъ днемъ, болѣе и болѣе удалялись одна отъ другой. Дошло до того, что теорія приводила въ выводамъ, которые неприносили никакой нользы практикѣ, и считала почти униженіемъ для себя примѣнять свои выводы къ дѣйствительности, а практика, обманутая неоднократно теоріею въ своихъ ожиданіяхъ, начала считать всю теорію безполезнымъ умозрѣніемъ. Можно себѣ представить сколько вреда нанесла наукѣ эта вражда теоріи съ практикою. Къ сожалѣнію, она укоренилась столь сильно, что слѣды ея несовершенно изглажены и въ наше время. Недалѣе какъ въ концѣ прошедшаго столѣтія, эта вражда существовала повсемѣстно. Нашлись однако-жъ люди, которые, соединивъ въ себѣ теоретическія свѣденія съ практическими, сблизили между собою двѣ враждебныя стороны. Французскіе ученые нашего времени болѣе всѣхъ содѣйствовали этому сближенію. Имена *Навье, Карла Дюпена, Понслѣ,* останутся памятными въ исторіи Механики, какъ имена людей, которые доказали, собственнымъ примѣромъ, важность соединенія основательныхъ теоретическихъ познаній съ практикою.

Не имѣя намѣренія слѣдить исторически, за всѣми успѣхами практической Механики, со времени изобрѣтенія высшаго анализа, потому что это потребовало-бы подробнаго описанія безчисленныхъ изобрѣтеній, сдѣланныхъ въ устройствѣ разнаго рода машинъ, мы ограничимся показаніемъ состоянія, въ какомъ находится нынѣ теорія практической Механики.

Неправильное примѣненіе началъ теоретической Механики, къ опредѣленію дѣйствій фабричныхъ машинъ, было причиною поздняго развитія теоріи практической Механики. Долгое время машины разсматривались, въ теоріи,

какъ приводы для уравновѣшенія силъ. Подобный взглядъ немогъ привести къ опредѣлительному понятію ни о назначеніи фабричныхъ машинъ, ни о способѣ измѣренія ихъ дѣйствій. Нынѣ фабричная машина разсматривается какъ приборъ для передачи и преобразованія въ полезное дѣйствіе работы, доставляемой движителемъ, и стало-быть, по современнымъ понятіямъ, машина тѣмъ совершеннѣе, чѣмъ бо́льшую часть работы движителя передаетъ орудію и превращаетъ въ полезное дѣйствіе. Проясненіе вопроса объ истинномъ назначеніи фабричныхъ машинъ и о точномъ измѣреніи ихъ дѣйствій, принадлежитъ трудамъ новѣйшихъ французскихъ ученыхъ. Со времени Даніила Бернульи, основаніемъ практической Механики, какъ науки, стали считать начало живыхъ силъ. Но полное развитіе этого начала, въ примѣненіи его къ машинамъ, принадлежитъ трудамъ *Карно*, *Навье*, *Коріолиса*, и, въ особенности, инженера французской службы, *Понсле́*. Если справедливо что успѣхи практической науки вполнѣ основаны на соединеніи теоретическихъ свѣденій съ практикою, то, конечно, никто изъ современныхъ геометровъ не содѣйствовалъ болѣе *Понсле́* успѣхамъ практической Механики; потому-что, врядъ-ли кто нибудь, наравнѣ съ нимъ, соединялъ въ себѣ столь обширныя теоретическія свѣденія съ практическими. Въ сочиненіяхъ своихъ по части Механики Понсле́ принимаетъ за основное начало *законъ передачи работы*, который выведенъ у него изъ самато общаго начала Механики, — *закона возможныхъ работъ*. Законъ передачи работы, принятый за основаніе теоріи дѣйствія фабричныхъ машинъ, неимовѣрно облегчаетъ рѣшеніе всѣхъ вопросовъ практической Механики. Изложеніе его столь же просто, сколько и очевидно: «*При движеніи всякой системы тѣлъ, подверженныхъ дѣйствію движущихъ силъ и сопротивленій, силы доставляютъ работу, а сопротивленія потребляютъ ее; такъ что алгебраическая сумма ра-*

боть всѣхъ силъ и сопротивленій всегда бываетъ равна нулю.» Въ числѣ силъ, дѣйствующихъ на систему, разсматриваютъ и инерцію тѣлъ, и такимъ образомъ начало живыхъ силъ становится только частнымъ случаемъ закона передачи работы.

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

ПРИЛОЖЕНІЕ ОБЩИХЪ ЗАКОНОВЪ МЕХАНИКИ КЪ ОБЪЯСНЕНІЮ ДѢЙСТВІЙ ФАБРИЧНЫХЪ МАШИНЪ.

ВВЕДЕНІЕ.

1. *Два рода техническихъ производствъ. Цѣль механической обработки. Мѣра полезнаго дѣйствія.* — Всѣ вообще *техническія* производства имѣютъ цѣлью обработку и приспособленіе къ употребленію въ дѣло сырыхъ произведеній, доставляемыхъ природою. Эта обработка можетъ быть двоякая: *механическая* и *химическая*. Механическая имѣетъ цѣлью: измѣненіе формы вещества, раздѣленіе его на части, отдѣленіе крупныхъ частей отъ мелкихъ, увеличеніе плотности, уменьшеніе объема и тому подобное. При химической обработкѣ измѣняется составъ вещества: изъ двухъ или большаго числа разнородныхъ веществъ приготовляется одно, котораго свойства отличны отъ свойствъ составныхъ веществъ. Иногда химическая обработка имѣетъ цѣлью: изъ даннаго вещества извлечь и отдѣлить одну или нѣсколько составныхъ частей.

Сообразно съ этимъ, всѣ *техническія* производства раздѣляются на два рода: на *механическія* и *химическія*. Такъ напримѣръ: размолъ хлѣбныхъ зеренъ, распилка дерева и камня, принадлежатъ къ механическимъ производствамъ. Выдѣлка сахару, винокуреніе, приготовленіе красокъ и кислотъ, составляютъ предметъ химическихъ производствъ. Впрочемъ, не рѣдко, одни и тѣже вещества подвергаются, послѣдовательно, двоякой обработкѣ: механической и химической. Примѣромъ тому — добываніе и обработка металловъ.

Для механической обработки сырыхъ произведеній употребляются силы, доставляемыя разнаго рода *движителями*, какъ то: водою, вѣтромъ, паромъ, и нѣкоторыми животными. Почти всегда, эти движители дѣйствуютъ на обрабатываемое вещество посредствомъ особыхъ снарядовъ, называемыхъ *машинами*: машины принимаютъ работу движителей и переносятъ ее къ обрабатываемому веществу.

При всякой механической обработкѣ, преодолѣваются, на нѣкоторомъ протяженіи, сопротивленія, противопоставляемыя обрабатываемымъ веществомъ. *Работа, расходуемая собственно на эти сопротивленія, заключаетъ собою величину полезнаго дѣйствія, производимаго движителемъ.*

2. *Сравненіе между собою разнаго рода механическихъ производствъ. Необходимость общей единицы сравненія.* — Механическія производства разнообразны до безконечности. Разнообразіе ихъ происходитъ отъ различія въ движителяхъ и въ способѣ ихъ дѣйствія, и отъ цѣли производства. Два механическія производства, такія напримѣръ, какъ подъемъ тяжестей и размолъ хлѣбныхъ зеренъ, распилка дерева и выжимка масла изъ масличныхъ зеренъ, обработка металловъ и приготовленіе пряжи или тканей, — совершенно разнородны и, казалось-бы, вовсе не могутъ быть сравниваемы между собою; въ особенности когда одно изъ нихъ приводится въ дѣйствіе

лошадьми, другое паромъ, водою, или вѣтромъ. Между тѣмъ, въ практикѣ, весьма часто предстоитъ надобность въ подобномъ сравненіи. Весьма часто нужно бываетъ знать, положительно, которое изъ двухъ данныхъ механическихъ производствъ выгоднѣе, въ отношеніи къ употребленію движущей силы и къ денежнымъ на него расходамъ. Въ практикѣ, владѣльцы машинъ дѣлаютъ это сравненіе, соображая количества *продуктовъ*, получаемыя отъ двухъ машинъ, въ одно и то-же время. Такимъ образомъ, при сравненіи достоинствъ двухъ мукомольныхъ мельницъ, принимаютъ въ соображеніе количество муки, получаемой на обѣихъ мельницахъ, въ теченіе одного года, и, если мука одинаковой доброты, выводятъ отношеніе между мельницами, изъ отношенія количествъ размолотаго зерна. Для сравненія мукомольной мельницы съ лѣсопильною, въ практикѣ оцѣниваютъ годичные продукты обѣихъ, и полученныя суммы сравниваютъ между собою. Подобнымъ способомъ сравненія дѣйствій производимыхъ машинами можно довольствоваться всякой разъ, когда приходится сравнивать между собою машины находящіяся въ дѣйствіи и которыхъ продукты извѣстны. Во всѣхъ другихъ случаяхъ, сравненіе по этому способу невозможно. Предположимъ, напримѣръ, что кто нибудь, владѣя мукомольною мельницею, захотѣлъ бы передѣлать ее въ лѣсопильную. Чтобы дать себѣ отчетъ въ томъ, выгодна-ли будетъ эта передѣлка, ему необходимо знать продукты обѣихъ машинъ — количество размалываемаго зерна и количество лѣсу, какое распилитъ будущая машина. Но это послѣднее не можетъ быть извѣстно, прежде нежели устроится машина. Этотъ примѣръ показываетъ необходимость общей единицы мѣры, разнаго рода механическимъ производствамъ.

Такъ-какъ при всякой механической обработкѣ сырого матеріала расходуется нѣкоторая работа, *собственно на эту обработку*, и какъ сверхъ того, *расходъ работы про-*

порціоналенъ количеству обработаннаго матеріала, то-есть, механическому продукту, то очевидно, что вообще, *за мѣру механическаго продукта можетъ быть принята работа, расходуемая собственно на обработку вещества*. Эта работа можетъ быть представлена нѣкоторымъ числомъ пудофутовъ. Выражая каждый продуктъ числомъ пудофутовъ, потребныхъ на приготовленіе его, мы, такъ сказать, замѣняемъ каждое механическое производство подъемомъ одного пуда на нѣкоторую высоту; послѣ чего, сравниваемъ уже между собою, не разнородные продукты, но соотвѣтствующіе имъ подъемы тяжестей. Объяснимъ это примѣромъ. Опытомъ найдено, что для размола, въ одинъ пріемъ, 1 пуда ржи, употребляется около 18000 пудофутовъ работы, собственно на размельченіе зерна. Извѣстно также что для распилки 1-го квад. фута свѣжаго дуба расходуется около 800 пудофутовъ работы, собственно на уничтоженіе сцѣпленія частицъ дерева. Поэтому, можно сказать, что эти два механическіе продукта относятся между собою какъ 18000: 800, или какъ $22^1/_2$: 1.

3. *Сравненіе движителей между собою*. — Подобнымъ-же образомъ сравниваются между собою и движители: опредѣливъ работы, доставляемыя двумя движителями, въ одно и то-же время, выводятъ отношеніе между ихъ дѣйствіями, сравнивая между собою численныя величины работъ. Въ статьѣ о движителяхъ предметъ этотъ изложенъ подробнѣе. Здѣсь достаточно сказать что дѣйствіе движителей выражается въ такихъ-же единицахъ какъ и мѣра механическихъ продуктовъ — то-есть, въ пудофутахъ.

Небезполезно еще замѣтить, что при назначеніи платы за работу движителей, соображаются именно съ количествомъ работы, доставляемомъ ими въ опредѣленное время. Оттого и денежная стоимость механической обработки почти всегда пропорціональна работѣ израсходо-

ванной движителемъ. Объяснимъ это примѣромъ. Положимъ что два человѣка употреблены для подъема воды изъ двухъ колодцевъ, и что глубина одного колодца вдвое болѣе другаго. Очевидно что, для подъема ведра воды, одинъ человѣкъ долженъ будетъ израсходовать работу вдвое болѣе другаго. Оттого, одно и то-же количество воды, поднятое первымъ, обойдется вдвое дороже послѣдняго.

4. *Предметъ науки.* — Въ первой части Механики изложены общіе законы равновѣсія и движенія и, въ поясненіе общей теоріи, разсмотрѣны нѣкоторые частные вопросы, встрѣчающіеся въ практикѣ. Въ этой части мы займемся *приложеніемъ началъ Механики къ объясненію дѣйствія и состава фабричныхъ машинъ.*

СОСТАВЪ И ТЕОРІЯ ДѢЙСТВІЯ ФАБРИЧНЫХЪ МАШИНЪ.

I.

ОБЩАЯ ТЕОРІЯ ДВИЖЕНІЯ МАШИНЪ.

I. ПРИЛОЖЕНІЕ ЗАКОНА ПЕРЕДАЧИ РАБОТЫ КЪ ДВИЖЕНІЮ МАШИНЪ.

5. *Три составныя части машины. Понятіе о физическомъ составѣ машины.* — Всякая фабричная машина состоитъ изъ нѣсколькихъ частей, расположенныхъ такимъ образомъ, что работа, сообщенная движителемъ, передается послѣдовательно, отъ одной части другой, и окончательно переходитъ къ обработываемому веществу. Первая часть машины, принимающая непосредственно работу движителя, называется *пріемникомъ*. Послѣдняя, дѣйствующая на обработываемое вещество,—*орудіемъ* или *исполнительнымъ механизмомъ;* а посредствующія части между пріемникомъ и орудіемъ — *приводами движенія*. Пріемникъ неразлученъ, такъ сказать, съ движителемъ; оттого, часто его самаго называютъ движителемъ, въ томъ смыслѣ, что онъ сообщаетъ движеніе всѣмъ прочимъ частямъ машины. Въ этомъ значеніи, каждую часть машины можно назвать движителемъ той, которая слѣдуетъ

за нею. Такъ напримѣръ, въ водяной мукомольной мельницѣ, *начальный движитель*—сила тяжести, побуждающая воду къ движенію, и посредствомъ воды, движущая водяное колесо; *пріемникъ*—водяное колесо; *исполнительный механизмъ* — жернова; *приводы движенія* — всѣ части посредствующія между водянымъ колесомъ и жерновами. Подобное этому раздѣленіе, на три части, можетъ быть сдѣлано во всякой машинѣ.

Какой бы ни былъ составъ и назначеніе машины, теоретически разсматриваютъ ее какъ собраніе тѣлъ, совершенно-неподатливыхъ, то-есть такихъ, которыя вовсе неизмѣняютъ своей формы при тѣхъ усиліяхъ, какія передаются ими изъ одного мѣста въ другое. Предположеніе это дѣлается, въ теоріи, за невозможностью точнаго опредѣленія внутренныхъ частичныхъ силъ, проявляющихся впрочемъ въ самыхъ твердыхъ и неподатливыхъ тѣлахъ, при передачѣ движенія. Есть случаи, въ которыхъ оно почти оправдывается на дѣлѣ; но случается также, что вліяніе внутреннихъ частичныхъ силъ бываетъ столь значительнымъ, что имъ пренебречь нельзя. Такъ бываетъ при часто повторяющихся ударахъ движущихся частей машины, въ особенности, когда массы ихъ и скорости значительны. Но, вообще, сталкивающіяся части машинъ, по причинѣ свойственной имъ неподатливости и упругости, мало измѣняются въ формѣ, и послѣ удара находятся въ той-же самой геометрической связи между собою что и до удара; такъ что, все ограничивается однимъ лишь измѣненіемъ скорости сталкивающихся частей и потерею живой силы движущейся системы, потерею, которая численно выражается разностью живой силы системы до удара и послѣ удара.

Поэтому, *движущуюся машину можно разсматривать, теоретически, какъ систему матеріальныхъ точекъ, которыхъ взаимная связь дана и непремѣняется во время движенія.*

Разсматривая такимъ образомъ всякую машину, можно примѣнить къ ней законъ передачи работы и живыхъ силъ, выведенный въ 1-й части (§. 96), и опредѣлить главныя обстоятельства движенія машины.

6. *Общее уравненіе движенія машинъ.* — Что-бы ясно показать и назначеніе машинъ и зависимость между движущими силами и сопротивленіями при движеніи машинъ, представимъ себѣ фабричную машину въ дѣйствіи, въ продолженіи какого-нибудь времени T, и опредѣлимъ вліяніе всѣхъ силъ, какія могутъ дѣйствовать на нее. Эти силы бываютъ шести родовъ, а именно: 1-е. *Движитель*, приложенный къ пріемнику и доставляющій ему работу; 2-е. *Полезное сопротивленіе*, встрѣчаемое орудіемъ; 3-е. *Вредныя сопротивленія*, — подобныя тренію, прилипанію, сопротивленію срединъ, жесткости и проч.; 4-е. *Сила тяжести*, или, правильнѣе, вѣсъ движущихся частей машины; 5-е. *Инерція* этихъ частей, проявляющаяся какъ движущая сила или какъ сопротивленіе; 6-е. *Внутреннія частичныя силы*, обнаруживающіяся при всякомъ измѣненіи формы движущихся частей.

Движущія силы доставляютъ работу, которая приводитъ въ движеніе машину и производитъ полезное дѣйствіе. Въ продолженіе времени T, движущая сила F доставитъ работу $\mathfrak{C}F$, (Часть I. §. 79); а сумма работъ доставленныхъ всѣми движущими силами изобразится членомъ

$$\Sigma.\mathfrak{C}F.$$

Въ то-же самое время T, полезныя сопротивленія Q обнаружатъ работы, которыхъ сумму можно представить членомъ

$$-\Sigma.\mathfrak{C}Q;$$

вся эта сумма будетъ состоять изъ отрицательныхъ членовъ, сравнительно съ работою движителя.

Равнымъ образомъ работа всѣхъ вредныхъ сопротивленій представится членомъ

$$-\Sigma.\mathfrak{C}R.$$

Въ продолженіи времени T движущіяся части машинъ перемѣстятся такъ, что однѣ поднимутся, другія опустятся. Первыя потребятъ часть работы движителя, равную, для каждой, вѣсу ея, помноженному на высоту подъема; послѣднія доставятъ работу, въ пользу движенія. Вообще, если p и h представляютъ вѣсъ и величину перемѣщенія по отвѣсному направленію одной изъ движущихся частей, то сумма работъ доставленныхъ силою тяжести, въ продолженіи времени T, выразится такъ: $\pm\Sigma ph$; или, называя P вѣсъ всѣхъ движущихся частей машины, H высоту, на которую поднялся или съ которой опустился общій центръ тяжести, во время T, получимъ: $\pm\Sigma ph = \pm PH$. Такъ что, работа доставленная силою тяжести, представится такъ:

$$\pm PH.$$

Сила инерціи проявляется тогда, когда перемѣняется скорость движущагося тѣла или направленіе движенія. Если m представляетъ массу одной изъ движущихся частей машины, V скорость ея въ началѣ времени T, V' скорость въ концѣ, то, предполагая $V' >$ или $< V$, выразимъ слѣдующимъ образомъ работу, потребленную или доставленную силою инерціи массы m:

$$-\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right);$$

а работа всѣхъ движущихся массъ, изобразится такъ:

$$-\Sigma.\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right).$$

Внутреннія частичныя силы вызываются въ дѣятельность при всякомъ измѣненіи формы движущихся частей машины, которыя, дѣйствуя одна на другую, гнутся,

сжимаются, растягиваются или скручиваются. Когда силы дѣйствуютъ на машину не непрерывно, но возобновляются по временамъ, тогда измѣненіе формы и потеря работы движителя бываютъ очень значительны и не должны быть пренебрегаемы. Но если форма составныхъ частей опредѣлена правильно, такъ что движеніе сообщается непрерывно и безъ ударовъ, то измѣненія формы бываютъ незначительныя и временныя, и окончательно небываетъ ни какой потери работы движителя, на внутреннія частичныя силы. Такъ какъ это необходимое условіе, въ хорошо-устроенной машинѣ, то можно невводить въ вычисленіе работы истрачиваемой на внутреннія частичныя силы.

И такъ, разсматривая движеніе въ продолженіе времени T, мы нашли что работы обнаруженныя всѣми силами, сопровождающими дѣйствіе машины, представляются слѣдующимъ образомъ:

$$\Sigma.\mathfrak{C}F;\ -\Sigma.\mathfrak{C}Q;\ -\Sigma.\mathfrak{C}R;\ \pm PH;\ -\Sigma.\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right).$$

По закону передачи работы, сумма всѣхъ этихъ работъ должна быть равна нулю, то-есть:

$$\Sigma.\mathfrak{C}F - \Sigma.\mathfrak{C}Q - \Sigma.\mathfrak{C}R \pm PH - \Sigma.\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right) = 0.$$

Это уравненіе называется общимъ *уравненіемъ движенія машины*. Оно содержитъ въ себѣ всю теорію движенія машинъ.

7. *Изслѣдованіе общаго уравненія движенія машины.* — Выведемъ величину полезнаго дѣйствія, $\Sigma.\mathfrak{C}Q$, и покажемъ вліяніе на него всѣхъ силъ, приложенныхъ къ машинѣ:

$$\Sigma.\mathfrak{C}Q = \Sigma.\mathfrak{C}F - \Sigma.\mathfrak{C}R \pm PH - \Sigma.\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right).$$

Вліяніе инерціи. Послѣдній членъ уравненія, $-\Sigma\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right)$,

показываетъ собою вліяніе инерціи движущихся частей на полезное дѣйствіе машины. Членъ этотъ бываетъ положительнымъ или отрицательнымъ, смотря по тому, уменьшилась-ли или увеличилась скорость частей машины, въ продолженіе времени T; или, точнѣе говоря, сумма живыхъ силъ этихъ частей, въ началѣ времени T, болѣе-ли или менѣе живыхъ силъ въ концѣ. Въ первомъ случаѣ инерція дѣйствуетъ въ пользу, въ послѣднемъ—во вредъ полезнаго дѣйствія.

Когда движеніе всѣхъ частей машины равномѣрно, въ продолженіи всего времени T, тогда начальная скорость V равна конечной V', и $-\Sigma.\frac{m}{2}\left(V'^2 - V^2\right) = 0$; то-есть, инерція движущихся частей неимѣетъ никакого вліянія на полезное дѣйствіе. То-же самое бываетъ въ случаѣ періодическаго движенія; потому что, и тогда, скорости въ началѣ и въ концѣ каждаго періода равны между собою.

Такъ-какъ, въ большей части случаевъ, движеніе фабричныхъ машинъ бываетъ или равномѣрнымъ или періодическимъ, то, въ примѣненіи выведеннаго уравненія къ фабричнымъ машинамъ, послѣдній членъ можно полагать равнымъ нулю, и стало-быть:

$$\Sigma.\mathfrak{C}Q = \Sigma.\mathfrak{C}F - \Sigma.\mathfrak{C}R \pm PH.$$

Вліяніе вѣса составныхъ частей машины. Членъ $\pm PH$ выражаетъ вліяніе вѣса составныхъ частей на полезное дѣйствіе машины. Замѣтимъ, что если, въ продолженіе времени T, общій центръ тяжести движущихся частей не поднялся и не опустился, то $H = 0$ и $PH = 0$; то-есть, вѣсъ составныхъ частей машины неимѣлъ никакого вліянія на полезное дѣйствіе. Такъ бываетъ при движеніи колесъ, безконечныхъ ремней и цѣпей; при движеніи рамъ и тележекъ по горизонтальнымъ плоскостямъ, при періодическихъ движеніяхъ поршней, ко-

ромыселъ, шатуновъ и проч. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ, вѣсъ составныхъ частей неимѣетъ никакого вліянія на полезное дѣйствіе машины; за исключеніемъ только того, что съ увеличеніемъ груза движущихся частей увеличиваются давленія ихъ на подпоры и треніе.

Сообразно съ этимъ, если пренебречь и вліяніемъ силы тяжести, то получится:

$$\Sigma.\mathfrak{E}Q = \Sigma.\mathfrak{E}F - \Sigma.\mathfrak{E}R.$$

Вліяніе вредныхъ сопротивленій. Членъ $\Sigma.\mathfrak{E}R$ показываетъ собою работу, расходуемую на вредныя сопротивленія. Такъ-какъ эта работа истрачивается движителемъ, безполезно и безвозвратно, то при устроеніи машинъ надобно стараться уменьшить по возможности членъ $\Sigma.\mathfrak{E}Q$. Этого достигаютъ уменьшая величину вредныхъ сопротивленій и пространства пробѣгаемыя ихъ точками приложенія. Такъ напримѣръ, въ тѣхъ мѣстахъ гдѣ обнаруживается треніе, уменьшаютъ по-возможности давленіе одной части на другую, выглаживаютъ и смазываютъ жирными составами соприкасающіяся поверхности и уменьшаютъ пространства, пробѣгаемыя трущимися поверхностями. Но всѣ эти средства могутъ только уменьшить величину члена $\Sigma.\mathfrak{E}R$, и, ни въ какомъ случаѣ, не могутъ сдѣлать его равнымъ нулю. Это доказываетъ, что нѣтъ машины, которой полезное дѣйствіе, $\Sigma.\mathfrak{E}Q$, было-бы равно работѣ $\Sigma.\mathfrak{E}F$, принятой пріемникомъ.

Вліяніе скорости движенія пріемника. Такъ-какъ при равномѣрномъ движеніи машины полезное дѣйствіе, $\Sigma.\mathfrak{E}Q$, равно работѣ принимаемой пріемникомъ, $\Sigma.\mathfrak{E}F$, безъ работы истрачиваемой на вредныя сопротивленія, $\Sigma.\mathfrak{E}R$, то желая увеличить полезное дѣйствіе, надобно стараться извлечь изъ движителя и передать пріемнику возможно-большую работу, $\Sigma.\mathfrak{E}F$. Въ статьѣ о движителяхъ мы изслѣдуемъ подробно составъ и выгоднѣйшія условія пріемниковъ. Здѣсь достаточно будетъ замѣтить, что какой-бы ни былъ движитель, усиліе его F и работа

$\mathfrak{C}F$, передаваемая пріемнику, зависятъ отъ скорости движенія той части машины, на которую движитель дѣйствуетъ непосредственно; такъ что, для каждаго движителя и пріемника, есть нѣкоторыя величины усилія F и скорости v пріемника, при которыхъ принимаемая работа $\mathfrak{C}F$ бываетъ наибольшею. Опредѣленіе этихъ величинъ составляетъ одинъ изъ главныхъ вопросовъ изученія пріемниковъ.

Вліяніе устройства и скорости движенія орудія. Работа $\Sigma.\mathfrak{C}Q$, переданная орудію, употребляется на обработку сыраго матеріала. Смотря по устройству и способу дѣйствія орудія, работа $\Sigma.\mathfrak{C}Q$ можетъ быть передана болѣе или менѣе выгодно. Исполнительный механизмъ работаетъ самымъ выгоднымъ образомъ, когда доставляетъ механическій продуктъ въ лучшемъ качествѣ и съ наименьшимъ ущербомъ обработываемаго вещества. Опредѣленіе лучшаго устройства и выгоднѣйшей скорости движенія орудія составляетъ предметъ изученія исполнительныхъ механизмовъ.

II. ГЛАВНЫЯ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА ДВИЖЕНІЯ ФАБРИЧНЫХЪ МАШИНЪ.

8. *Отличительное свойство движенія машинъ. Постепенный ходъ машинъ.* — Движеніе фабричныхъ машинъ отличается отъ движеній другихъ системъ, тѣмъ, что оно всегда бываетъ или *равномѣрное* или *періодическое*. Въ нормальномъ состояніи машины, *обороты* или *размахи* каждой части совершаются въ равныя, послѣдовательныя, времена, и, въ концѣ каждаго періода, относительное положеніе всѣхъ движущихся частей бываетъ всегда одно и то-же. Такъ какъ всѣ части машины сцѣплены между собою неразрывно, и движеніе сообщенное одной передается другимъ, то зная скорость одной части и связь составныхъ частей, можно опредѣлить, геометрически, скорость прочихъ частей, въ каждое мгновеніе движенія.

Эту-же самую скорость составныхъ частей машины можно вывести и изъ общаго уравненія движенія, зная работы сообщенныя движущейся системѣ, приложенными къ ней силами; и, въ этомъ смыслѣ, можно сказать, что выведенное нами уравненіе движенія, (§. 6), выражаетъ собою законъ движенія всѣхъ машинъ.

Въ первыя мгновенія начинающагося движенія машины, работа доставляемая движителемъ бываетъ всегда болѣе работы потребляемой сопротивленіями. Избытокъ работы движители употребляется на сообщеніе нѣкоторой скорости подвижнымъ частямъ машины. Движеніе начинается, и ускоряется болѣе и болѣе. Но это увеличеніе скорости небываетъ безпредѣльнымъ. Обыкновенно, послѣ нѣсколькихъ оборотовъ, машина достигаетъ предѣльной скорости, которую и сохраняетъ нѣкоторое время, двигаясь равномѣрно. Для объясненія этого явленія, надобно замѣтить, что по-мѣрѣ возрастающей скорости, увеличивается работа, потребляемая сопротивленіями; такъ что, если-бы даже работа движителя оставалась, постоянно, одна и та-же, то необходимо послѣдовало-бы мгновеніе, въ которое работа движителя, въ малую частицу времени t, сдѣлалась-бы равною работѣ сопротивленій. Съ этого мгновенія ходъ машины пересталъ-бы ускоряться, и движеніе сдѣлалось-бы равномѣрнымъ. Время, по прошествіи котораго устанавливается равномѣрное движеніе въ машинѣ, бываетъ болѣе или менѣе, смотря по относительной величинѣ движущихъ силъ и сопротивленій. Движеніе машины, сдѣлавшись равномѣрнымъ, останется такимъ до тѣхъ поръ, пока не перемѣнится дѣйствіе движителя или сопротивленій. Когда перемѣны въ дѣйствіи движущихъ силъ или сопротивленій повторяются періодически, и въ каждомъ періодѣ одинаково, тогда и скорость движенія перемѣняется періодически, и всегда одинаково. Машина, достигшая рав-

номѣрнаго или періодическаго движенія, находится въ своемъ *нормальномъ* или *обыкновенномъ* состояніи.

9. *Выгоды равномѣрнаго и неудобства перемѣннаго движенія.* — Равномѣрное движеніе машинъ представляетъ многія выгоды. При подобномъ движеніи составныя части машинъ дѣйствуютъ одна на другую всегда съ одинаковыми усиліями и находятся безпрестанно въ соприкосновеніи; оттого, не случается ни ударовъ, ни потрясеній, и части машинъ менѣе подвергаются разстройству. Сверхъ того, при равномѣрномъ движеніи машины, пріемникъ и орудіе могутъ дѣйствовать *постоянно съ наивыгоднѣйшими скоростями*, то-есть именно съ тѣми, при которыхъ движитель передаетъ пріемнику наибольшую работу, а орудіе сообщаетъ лучшія качества механическому продукту.

Когда машина движется неравномѣрно, и въ особенности когда скорость ея перемѣняется быстро и ощутительно, тогда она лишена всѣхъ исчисленныхъ выгодъ. При быстрыхъ перемѣнахъ скорости, части машины сильно сталкиваются между собою, и безпрестанно измѣняются въ формѣ; слѣдствіемъ этого бываетъ скорая порча машины и значительное потребленіе работы движителя, на внутреннія частичныя силы. По причинѣ безпрестанно перемѣняющейся скорости, ни пріемникъ ни орудіе не могутъ работать при наивыгоднѣйшихъ для себя скоростяхъ; оттого работа пріемника бываетъ менѣе, а дѣйствіе орудія не столь совершенно, какъ въ случаѣ равномѣрнаго движенія. Прибавимъ къ тому, что изъ двухъ машинъ, передающихъ одно и то-же количество работы, та которой ходъ неравномѣренъ подвергается, по временамъ, большимъ усиліямъ, и оттого части ея должны имѣть большіе размѣры, нежели машины движущейся равномѣрно.

По всѣмъ этимъ соображеніямъ, слѣдовало-бы недопускать вовсе перемѣннаго движенія въ фабричныхъ ма-

шинахъ, и употреблять такіе только механизмы, которыхъ движеніе можетъ быть совершенно равномѣрнымъ, то-есть круговращающіеся, — колеса, барабаны и шкивы. Если-же, по необходимости, придется допустить употребленіе приводовъ съ неравномѣрнымъ движеніемъ, то стараться уравнять его по возможности.

10. *Причины неравномѣрнаго движенія. Общіе способы уравниванія движенія.* — Перемѣнное движеніе машины можетъ происходить отъ двухъ главныхъ причинъ:

1-е. Оттого что, пріемникъ работы движителя или орудіе имѣютъ поперемѣнныя, возвратныя, движенія взадъ и впередъ. По своему свойству, подобныя движенія небываютъ никогда равномѣрными; и движеніе всей машины неможетъ быть также равномѣрнымъ.

2-е. Оттого что, движитель или сопротивленіе дѣйствуютъ неравномѣрно, то-есть обнаруживаютъ неодинаковыя работы въ послѣдовательныя мгновенія. Въ подобныхъ случаяхъ, движеніе неможетъ быть также равномѣрнымъ, хотя-бы въ составъ машины входили однѣ круговращающіяся части.

Для уравненія движенія машинъ употребляются разныя средства и приводы, которые разсмотримъ въ послѣдствіи, въ отдѣльной статьѣ. Здѣсь-же ограничимся одними общими замѣчаніями.

Когда пріемникъ имѣетъ возвратное движеніе а орудіе вращается непрерывно, тогда, предупреждая неравномѣрныя движеніе, слѣдуетъ преобразовать поперемѣнное движеніе пріемника въ круговращательное, такъ, что-бы всѣ приводы движенія имѣли непрерывное движеніе. То-же самое должно сдѣлать, когда пріемникъ имѣетъ вращательное, непрерывное движеніе, а орудіе движется поперемѣнно, взадъ и впередъ. Но если и пріемникъ и орудіе движутся поперемѣнно, взадъ и впередъ, то надобно сообразить, нельзя-ли движеніе пріемника сообщить непосредственно орудію, безъ посредствующихъ приво-

довъ, такимъ образомъ, что-бы размахи обоихъ совпадали между собою, и давленіе и скорость уменьшались, мало-по-малу, къ концу каждаго размаха. Когда это возможно, тогда не будетъ почти ни какой потери работы, и машина будетъ дѣйствовать такъ хорошо, какъ и при непрерывномъ, равномѣрномъ движеніи. Но это случается чрезвычайно рѣдко, и почти всегда надобно бываетъ употреблять посредствующіе приводы. Само собою разумѣется, что всѣ они должны имѣть круговращательное, непрерывное движеніе, такъ, чтобы одинъ лишь пріемникъ и орудіе двигались попеременно.

16991

Когда неравномѣрность движенія происходитъ отъ того, что дѣйствіе или движителя или сопротивленія перемѣняется, безпрестанно, или періодически, тогда для уравненія движенія, по-возможности, употребляютъ разныя средства, на которыя здѣсь укажемъ только вообще, предоставляя себѣ разсмотрѣть ихъ подробнѣе въ послѣдствіи:

1-е. Уравниваютъ, по-возможности, дѣйствіе движителя или сопротивленій, отвѣсами, пружинами, уравнивающими барабанами и проч. Или, если нѣсколько силъ дѣйствуютъ вдругъ, то устроиваютъ такимъ образомъ, что-бы наибольшее дѣйствіе одной приходилось въ одно время съ наименьшимъ дѣйствіемъ другой.

2-е. Когда движитель или сопротивленіе могутъ возрастать или уменьшаться безпредѣльно, тогда стараются удержать скорость машины въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Этого достигаютъ особыми приборами, которые называются *модераторами* и *регуляторами*. Сюда относятся: *пажимы, крылатые маховики* и *центробѣжный регуляторъ*. Объ нихъ будетъ говорено въ послѣдствіи.

3-е. Когда работа движителя или сопротивленія измѣняется періодически, въ продолженіи каждаго оборота или размаха, тогда уравниваютъ движеніе *маховыми колесами*. Объ нихъ также будетъ сказано подробнѣе.

Вообще, какая-бы ни была причина неравномѣрности движенія, можно уменьшить вредныя послѣдствія его:

1-е. Насаживая колеса на валы сколько можно правильнѣе.

2-е. Опредѣляя форму частей передающихъ вращательное движеніе такимъ образомъ, что-бы скорости ихъ оставались всегда въ неизмѣнномъ отношеніи. Въ этомъ состоитъ вопросъ *о зубчатыхъ зацѣпленіяхъ*, разсмотрѣнный подробно въ отдѣльной статьѣ.

3-е. Располагая вѣса частей движущихся взадъ и впередъ такъ, что-бы они взаимно уравновѣшивались, при всѣхъ возможныхъ положеніяхъ.

4-е. Уменьшая, по-возможности, скорости и массы частей, движущихся попеременно, взадъ и впередъ.

III. ОБЩІЯ ПРАВИЛА СОСТАВЛЕНІЯ ФАБРИЧНЫХЪ МАШИНЪ.

11. *Невозможность полнаго рѣшенія вопроса объ опредѣленіи выгоднѣйшаго состава машины.* — Главное условіе, которому должна удовлетворить всякая фабричная машина, состоитъ въ томъ: *что-бы полезное дѣйствіе ея было наибольшее, сравнительно съ работою движителя, и единица механическаго продукта, въ лучшемъ качествѣ, обошлась по наименьшей цѣнѣ.* Разсматривая вопросъ о наивыгоднѣйшемъ составѣ машины, во всей его общности, слѣдовало-бы принять въ соображеніе всѣ данныя, отъ которыхъ зависитъ его рѣшеніе: какъ то: мѣстныя цѣны сырому матеріалу и фабричному продукту, удобство сбыта, первоначальный капиталъ, содержаніе и управленіе рабочими, управленіе машиною, во время ея дѣйствія, и проч. Всѣ эти обстоятельства дѣлаютъ вопросъ объ опредѣленіи выгоднѣйшаго состава машины столь сложнымъ, что полное его рѣшеніе совершенно невозможно. Впрочемъ, все что относится до денежныхъ расчетовъ, при-

надлежитъ собственно не къ Механикѣ а къ *фабричному хозяйству*, и неможетъ составлять собою предмета нашихъ изслѣдованій. Въ Механикѣ разсматривается та только часть вопроса, въ которой дѣло идетъ о сбереженіи работы движителя и о выгоднѣйшей передачѣ ея обработываемому веществу. Денежная стоимость машины и механическихъ продуктовъ, перемѣняющаяся со временемъ и съ мѣстностью, непринимается здѣсь въ соображеніе.

По отдѣленіи, отъ общаго вопроса, той части которая относится къ фабричному хозяйству, остается изучить: 1-е. Дѣйствіе движителей на пріемники; 2-е. Дѣйствіе орудій на обработываемыя вещества, и 3-е. Составъ приводовъ движенія, то-есть механизмовъ, употребляемыхъ для передачи движенія отъ одной части другой.

Опытъ и вычисленіе показываютъ, что въ хорошо устроенной машинѣ приводы движенія неимѣютъ большаго вліянія на величину передаваемой ими работы; то-есть, что работа потребляемая вредными сопротивленіями, проявляющимися въ этихъ частяхъ, составляетъ собою незначительную часть той, какая сообщается имъ пріемникомъ. Между-тѣмъ какъ, въ пріемникѣ и въ исполнительномъ механизмѣ, при дурномъ ихъ устройствѣ, потеря работы можетъ быть весьма значительною. Оттого, при устроеніи машины, главное вниманіе обращается на удачный выборъ исполнительнаго механизма и пріемника.

12. *Выборъ орудія и пріемника. Общій ходъ при составленіи машины.* — Такъ-какъ пріемникъ и исполнительный механизмъ, разсматриваемые отдѣльно, можно принять за настоящія машины, на которыя дѣйствуютъ, съ одной стороны движитель, съ другой сопротивленіе, то все, что было сказано о машинахъ вообще, примѣняется къ нимъ непосредственно. Такъ напримѣръ, извѣстно что машина работаетъ самымъ выгоднымъ образомъ, когда всѣ ея части движутся непрерывно и равномѣрно,

и что этого движенія достигаютъ, дѣлая составныя части машины круговращательными; поэтому, и для пріемника и орудія *самая лучшая форма будетъ круговращательная*. Сверхъ того, пріемникъ долженъ принимать всю работу доставляемую движителемъ, а исполнительный механизмъ — доставлять механическій продуктъ, въ лучшемъ качествѣ и при наименьшемъ ущербѣ обработываемаго вещества.

Очевидно что, при удовлетвореніи этимъ условіямъ, работа принимаемая пріемникомъ и полезное дѣйствіе машины были-бы *наибольшими;* и, если-бы не было вовсе вредныхъ сопротивленій, то каждое изъ нихъ было-бы равно *всей* работѣ доставляемой движителемъ. Но это не случается въ практикѣ. Въ самой совершенной машинѣ работа, принимаемая пріемникомъ и передаваемая остальнымъ частямъ, то-есть, такъ называемое, *произведенное дѣйствіе* не бываетъ равно работѣ движителя, и ни въ какомъ случаѣ *полезное дѣйствіе* машины неравняется работѣ принимаемой пріемникомъ. Въ практикѣ стараются передать пріемнику и орудію не *всю* работу движителя, но *возможно-большую часть ея. По этому условію опредѣляютъ форму, размѣры, скорость и расположеніе частей пріемника и орудія.*

Если-бы извѣстны были лучшія устройства и выгоднѣйшій способъ дѣйствія *всѣхъ* пріемниковъ и *всѣхъ* исполнительныхъ механизмовъ, и сверхъ того, можно было знать съ точностью отношеніе между работою принимаемою каждымъ изъ нихъ и работою движителя, то опредѣленіе состава машины непредставило-бы никакого затрудненія. Въ подобныхъ случаяхъ, избравъ выгоднѣйшаго пріемника и орудіе, стоило-бы лишь выбрать посредствующіе приводы между ими, изъ числа извѣстныхъ, и хорошо изученныхъ, приводовъ движенія, о которыхъ будемъ говорить подробно въ послѣдствіи. Во всемъ этомъ небыло-бы ничего неопредѣленнаго или произвольнаго,

и вопросъ о составленіи машины былъ-бы разрѣшенъ съ совершенною точностью и вполнѣ удовлетворительно.

Къ сожалѣнію, въ нынѣшнемъ состояніи науки, подобныя рѣшенія почти совершенно невозможны. Теоретическія изслѣдованія и опытъ привели къ многимъ, важнымъ результатамъ, относительно устройства и способа дѣйствія пріемниковъ; но исполнительные механизмы, *до сихъ поръ, почти вовсе неизслѣдованы.* Оттого, вопросъ объ опредѣленіи лучшаго состава фабричной машины можетъ быть рѣшенъ только приблизительно, и при этомъ рѣшеніи обыкновенно поступаютъ слѣдующимъ образомъ.

Зная родъ механическаго производства, выбираютъ исполнительный механизъ и опредѣляютъ способъ дѣйствія орудія. При этомъ, главное вниманіе обращаютъ на то, что-бы дѣйствію орудія представлялось всегда одинаковое количество обработываемаго вещества, если не въ каждое мгновеніе и непрерывно, то, по-крайней-мѣрѣ, въ продолженіи каждаго періода. При соблюденіи этого условія, скорость движенія орудія будетъ или совершенно постоянна, или, по-крайней-мѣрѣ, будетъ перемѣняться періодически и въ тѣсныхъ предѣлахъ. Средняя работа, потребляемая орудіемъ въ единицу времени, опредѣляется по опыту или вычисленіемъ. Раздѣляя ее на скорость орудія, получаютъ усиліе съ какимъ работаетъ орудіе. По извѣстнымъ усилію и скорости, опредѣляютъ размѣры орудія. Переходя отъ орудія къ первому за нимъ приводу движенія, опредѣляютъ его работу, по тому соображенію, что она должна быть нѣсколько болѣе работы переданной орудію, потому что, часть работы движителя расходуется всегда на вредныя сопротивленія. Приблизительно можно положить, въ каждомъ приводѣ движенія, на вредныя сопротивленія, отъ $^1/_{10}$ до $^1/_4$ той работы, какая имъ передается слѣдующему приводу. На этомъ основаніи опредѣлится работа привода, а по извѣстной скорости его, среднее усиліе и потомъ, размѣры при-

вода. Принимая въ соображеніе, одну за другою, всѣ части, посредствующія между орудіемъ и движителемъ, найдемъ наконецъ работу, какую движитель долженъ доставить пріемнику, для преодолѣнія всѣхъ сопротивленій, и опредѣлимъ составъ и размѣры пріемника.

Слѣдуя обратному ходу, по данной работѣ движителя можно опредѣлить сперва пріемникъ, потомъ приводы движенія и наконецъ исполнительный механизмъ.

Изложенное здѣсь, вкратцѣ, рѣшеніе вопроса объ опредѣленіи состава машины есть только приблизительное. Точное рѣшеніе его, по многосложности задачи, почти совершенно невозможно. Но въ практикѣ никогда неможетъ требоваться математическая точность; а въ задачахъ этого рода, выводъ, приближающійся къ дѣйствительности до $^1/_4$ или до $^1/_8$, всегда почитается удовлетворительнымъ.

13. *Назначеніе и выгоды доставляемыя машинами. Невозможность вѣчныхъ движеній.* — Изъ всего, что до сихъ поръ сказано нами о машинахъ, можно себѣ составить ясное понятіе объ истинномъ назначеніи машинъ и доставляемой ими пользѣ.

Назначеніе машинъ — не создавать или увеличивать работу движителей, не производить тѣ удивительныя дѣйствія, какихъ ожидаютъ отъ нихъ люди, несвѣдущіе въ наукѣ, — но *передавать работу движителя*. При этой передачѣ, неизбѣжна нѣкоторая потеря работы, на разнаго рода вредныя сопротивленія; и машина почитается превосходною, когда полезное дѣйствіе ея составляетъ собою 0,5 или 0,6, работы доставляемой движителемъ.

Истинная польза машинъ — не въ увеличеніи, но въ преобразованіи работы движителя въ дѣйствіе, котораго самъ движитель немогъ-бы произвести. При помощи машинъ, механическая работа человѣка замѣняется работою животныхъ и другихъ движителей, кото-

рыхъ содержаніе дешевле и употребленіе удобнѣе. При помощи машинъ, достигается болѣе правильная и изящная отдѣлка сыраго матеріала, нежели при непосредственномъ дѣйствіи движителей; наконецъ, посредствомъ машинъ, можетъ быть собрана работа нѣсколькихъ движителей, или одного движителя, работающаго продолжительно, и направлена въ одно мѣсто, для произведенія, въ короткое время, значительнаго дѣйствія.

Всѣ эти выгоды весьма важны и выкупаютъ, съ избыткомъ, небольшую трату работы движителя, сопряженную съ употребленіемъ машинъ.

Изъ всего этого можно еще видѣть, сколько ошибаются люди, занимающіеся устроеніемъ машинъ съ *вѣчнымъ движеніемъ* (perpetuum mobile), то-есть такихъ, которыя могли-бы двигаться, сами-по-себѣ, вѣчно, безъ пособія движителей. Они забываютъ, что движеніе машины неразлучно съ дѣйствіемъ сопротивленій, до такой степени, что если-бы даже машина двигалась *порожнемъ*, то-есть, непроизводя вовсе полезнаго дѣйствія, то и тогда, сообщенная ей сначала работа, израсходовалась-бы вся на треніе, сопротивленіе срединъ, жесткость и т. п., и машина должна-бы остановиться. Устроеніемъ машинъ съ вѣчнымъ движеніемъ могутъ заниматься только люди, не имѣющіе основныхъ свѣденій въ Механикѣ. Эта задача, обевславленная въ наше время именемъ *философскаго камня*, принадлежитъ къ одному разряду съ иными изобрѣтеніями алхимиковъ, которымъ казалось возможнымъ все передѣлывать въ золото.

II.

ПРИВОДЫ ДВИЖЕНІЙ.

Изученіе состава фабричныхъ машинъ, начнемъ разсмотрѣніемъ употребительнѣйшихъ *приводовъ движеній*. Знаніе ихъ облегчитъ изученіе состава *пріемниковъ* и *исполнительныхъ механизмовъ*, которыми займемся въ послѣдствіи.

14. *Раздѣленіе приводовъ движеній на три разряда.* — Приводами движеній называются вообще механизмы, которыхъ назначеніе—передать движеніе изъ одного мѣста въ другое; измѣнить произвольно скорость его или направленіе; направить и уравнять движеніе. Устройство приводовъ движеній весьма разнообразно, и число ихъ очень значительно. Мы разсмотримъ употребительнѣйшіе изъ нихъ, въ слѣдующемъ порядкѣ:

I. Приводы для передачи и преобразованія одного движенія въ другое.

II. Приводы для измѣненія движеній, во время хода машины.

III. Приводы для направленія движеній.

IV. Приводы для уравниванія движеній.

V. Передачу движеній посредствомъ мотылей и зубчатыхъ зацѣпленій.

I. ПРИВОДЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ И ПРЕОБРАЗОВАНІЯ ДВИЖЕНІЙ.

15. *Десять вопросовъ о преобразованіи движеній.* — Движенія составныхъ частей машины бываютъ или *прямолинейныя* или *круговыя*. Какъ тѣ, такъ и другія, могутъ быть *непрерывныя*, въ одну сторону, или *возвратныя*, взадъ и впередъ. Случаются также, хотя рѣдко, криволинейныя движенія, то-есть движенія по линіямъ, различнымъ отъ дугъ круга; но какъ они могутъ быть всегда произведены соединеніемъ прямолинейныхъ и круговыхъ движеній, то здѣсь станемъ разсматривать только четыре главныя движенія:

1) Прямолинейное непрерывное.
2) Круговое непрерывное.
3) Прямолинейное возвратное.
4) Круговое возвратное.

При опредѣленіи состава машинъ встрѣчаются вопросы, о преобразованіи одного движенія въ другое. Подобныхъ вопросовъ можетъ быть *десять*, то-есть, столько, сколько можно сдѣлать двойныхъ сочетаній, изъ четырехъ главныхъ движеній; а именно, можетъ требоваться:

Преобразовать:	въ
1) Прямолинейное непрерывное движеніе:	I. Прямолинейное непрерывное. II. Круговое непрерывное. III. Прямолинейное возвратное. IV. Круговое возвратное.

Преобразовать:	въ
2) Круговое непрерывное:	v. Круговое непрерывное.
	vi. Прямолинейное возвратное.
	vii. Круговое возвратное.
3) Прямолинейное возвратное:	viii. Прямолинейное возвратное.
	ix. Круговое возвратное.
4) Круговое возвратное:	x. Круговое возвратное.

Приступая къ изученію приводовъ для передачи и преобразованія движеній, замѣтимъ, что многіе изъ нихъ немогутъ войти въ составъ фабричныхъ машинъ, потому что, употребленіе ихъ сопряжено съ значительною потерею работы движителя на вредныя сопротивленіи. По этой причинѣ, мы разсмотримъ здѣсь не всѣ извѣстные, но употребительнѣйшіе только приводы, то-есть *такіе, въ которыхъ потеря работы, на вредныя сопротивленія, возможно-меньшая.*

16. (1). *Преобразованіе прямолинейнаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное непрерывное.* — Въ этомъ преобразованіи родъ движенія остается тотъ-же самый, а перемѣняется *направленіе* или *скорость* движенія.

1. Для измѣненія одного только направленія употребляются *неподвижные* или *отводные блоки.*

Извѣстно что подобный блокъ состоитъ изъ шкива и неподвижной обоймы. По окружности шкива вынутъ желобокъ, въ которомъ помѣщается веревка (*Чер. 1.*) Понятно что, при движеніи одного конца веревки, по направленію AA', другой B движется по направленію BB'; и въ этомъ состоитъ преобразованіе движенія.

Когда концы aA и bB параллельны между собою, тогда направленія движеній прямопротивоположны.

2. Для передачи прямолинейнаго движенія, изъ одной плоскости въ другую, употребляютъ два отводные шкива.

Положимъ, напримѣръ, что AB и CD два данныя направленія *(Чер. 2)*, по которымъ желаютъ преобразовать движеніе. Взявъ на нихъ двѣ, какія-нибудь, точки B и C, соединяютъ прямою линіею BC, и помѣщаютъ одинъ шкивъ P въ точкѣ B, другой P' въ точкѣ C, такъ, чтобъ оси ихъ были перпендикулярны къ плоскостямъ ABC и BCD; потомъ, проводятъ веревку по обоимъ шкивамъ. — Посредствомъ шкивовъ P и P'' можно передать движеніе по направленію $ABCD'$.

3. Желая перемѣнить и направленіе и скорость прямолинейнаго движенія, употребляютъ *подвижные блоки*.

Въ подобныхъ блокахъ *(Чер. 3)*, одинъ конецъ веревки прикрѣпленъ къ неподвижному предмету A, движущая сила приложена къ другому концу веревки, а сопротивленіе — къ обоймѣ. Чаще всего оба конца веревки, aA и bB, располагаются параллельно между собою и къ направленію сопротивленія. При движеніи точки B, отъ B къ B', точка C проходитъ пространство $CC' = \frac{1}{4} BB'$.

Тали перемѣняютъ также и направленіе и скорость движенія; но они не употребляются какъ приводы для преобразованія движеній, по причинѣ значительной траты передаваемой работы, на треніе и жесткость веревокъ.

16. (ц) *Преобразованіе прямолинейнаго непрерывнаго движенія въ круговое непрерывное.* — Этотъ вопросъ можетъ быть разрѣшенъ многими способами. Покажемъ употребительнѣйшіе.

1. *Обыкновенный вороть* представляетъ первое рѣшеніе этого вопроса. Предполагая что онъ приводится въ движеніе рукоятью *(Чер. 4)*, или колесомъ, и употребленъ для подъема какого-нибудь груза, привѣшеннаго къ веревкѣ, получимъ примѣръ преобразованія круговаго въ прямолинейное движеніе. И наоборотъ, если предполо-

жить что движеніе сообщается веревкою, навернутою предварительно на валъ, то получится примѣръ преобразованія прямолинейнаго въ круговое движеніе. Въ обоихъ случаяхъ, называя r радіусъ вала, R радіусъ колеса или длину рукоятки, получимъ отношеніе между скоростями прямолинейнаго и круговаго движеній:

$$r : R.$$

2. Такъ называемый, Китайскій, или двойной воротъ, описанный въ первой части, (§. 154), представляетъ примѣръ подобнаго-же преобразованія, съ тою разницею, что отношеніе между скоростями гораздо менѣе.

3. Третіе рѣшеніе этой задачи получается посредствомъ вала A *(Чер. 5)*, который приводитъ въ движеніе стержень BC, скользящій между *правилками*. Правилки имѣютъ видъ брусковъ a, b, или катковъ c, d. Движеніе передается ремнемъ, котораго одинъ конецъ, D, прикрѣпленъ къ стержню, другой, D', къ валу. Понятно что, при каждомъ оборотѣ вала, стержень пройдетъ пространство, равное окружности вала. Желая имѣть возможность сообщить движеніе стержню и въ противоположную сторону, прибавляютъ еще два ремня EF, по направленіямъ противоположнымъ первому, и располагаютъ ихъ симетрически, по обѣимъ сторонамъ перваго. При подобномъ устройствѣ, приводъ можетъ преобразовывать круговое возвратное движеніе вала въ прямолинейное возвратное стержня.

Ремни можно замѣнить цѣпями.

4. Самое правильное рѣшеніе разсматриваемаго вопроса получается посредствомъ *зубчатаго колеса* и *рейки (Чер. 6)*, Подобный способъ употребляется въ домкратахъ. Форма и размѣры зубцовъ опредѣляются по правиламъ, которыя будутъ разсмотрѣны въ отдѣльной статьѣ — *о зацѣпленіяхъ*.

5. Винтъ съ гайкою, представляютъ примѣръ того-же преобразованія. При каждомъ оборотѣ, винтъ или

гайка подвигаются вдоль оси на величину хода винтового нарѣза. По причинѣ значительныхъ треній, винтъ не употребляется какъ приводъ для преобразованія движенія. Но онъ употребляется весьма часто для направленія движенія, и какъ орудіе для произведенія сжатія.

6. *Приборъ Прони.* Французскій Инженеръ Прони (Prony), придумалъ способъ преобразованія круговаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное непрерывное, котораго скорость можетъ быть произвольно уменьшена. Въ приборѣ Прони *(Чер. 7)*, стержень винта раздѣленъ на три части *ab*, *cd* и *ef* и на каждой одѣланъ винтовой нарѣзъ. Два нарѣза *ab* и *ef* имѣютъ одинаковые ходы, и оба пропускаются черезъ двѣ неподвижныя гайки *C* и *D*. При каждомъ оборотѣ винта, онъ выходитъ изъ гаекъ на величину *H*, равную ходу нарѣза. На срединѣ находится третій нарѣзъ *cd*, котораго ходъ H' болѣе хода *H* двухъ первыхъ нарѣзовъ. Нарѣзъ *cd* вращается въ гайкѣ *M*, которая можетъ свободно скользить въ пазу, устроенномъ въ брускѣ *EF*. Понятно что, если-бы винтъ, вращаясь, оставался на мѣстѣ, то, при одномъ оборотѣ, гайка *M* прошла-бы пространство равное ходу H'; но какъ винтъ проходитъ самъ пространство *H*, то гайка *M* подвинется, отъ *E* къ *F*, на разность $H' - H$ двухъ ходовъ. Эту разность можно сдѣлать произвольно-малою.

Приборъ Прони можетъ быть употребленъ съ пользою для сообщенія движенія острію въ дѣлительной машинѣ. Его употребляютъ для передвиганія волосковъ въ зрительныхъ трубахъ геодезическихъ и астрономическихъ инструментовъ. Такъ называемые *микрометрическіе* винты устроиваются подобнымъ-же образомъ.

18. (iii и iv). *Преобразованіе прямолинейнаго непрерывнаго движенія въ прямолинейное или круговое возвратное.* — Нѣтъ приводовъ для непосредственнаго рѣшенія этихъ вопросовъ. Обыкновенно, прямолинейное непрерывное движеніе преобразовываютъ сперва въ непрерывное кру-

говое, а потомъ уже переходятъ къ прямолинейному или круговому возвратному.

19. (v). *Преобразованіе кругового непрерывнаго движенія въ круговое непрерывное.* — Двѣ оси, между которыми требуется учредить сообщеніе могутъ быть въ одной или въ равныхъ плоскостяхъ. Находясь въ одной плоскости, онѣ бываютъ параллельны между собою, или взаимно пересѣкаются.

Когда двѣ оси параллельны или пересѣкаются, тогда можно сообщить движеніе: 1-е. Треніемъ ободьевъ двухъ барабановъ; 2-е. Посредствомъ безконечныхъ цѣпей, ремней или веревокъ; и 3-е. Зацѣпленіемъ двухъ зубчатыхъ колесъ.

1. *Передача движенія обоюднымъ треніемъ барабановъ.* На двѣ оси насаживаются барабаны, цилиндрическіе или коническіе, и приводятся въ соприкосновеніе. Понятно что, если одна поверхность не сколъзитъ по другой, то движеніе будетъ передаваться такъ, что дуги, описываемыя соприкасающимися кругами, въ равныя времена, будутъ равны между собою; и, стало-быть, что угловыя скорости двухъ барабановъ будутъ постоянно въ обратномъ отношеніи ихъ радіусовъ. Для правильной передачи движенія одно лишь необходимо—что-бы барабаны нескользили одинъ по другому. Этого достигаютъ прижимая барабаны пружинами, клиньями, прижимными винтами или рычагами, которые дѣйствуютъ на оси или на подушки, поддерживающія шипы барабановъ *(Чер. 8)*. Въ Англіи для увеличенія сцѣпленія ободьевъ, обшиваютъ барабаны буйволовою кожею, которая нескоро изнашивается.

Передача движенія посредствомъ тренія барабановъ можетъ быть допускаема въ тѣхъ случаяхъ, когда дѣйствіе силъ на машину происходитъ правильно и движеніе совершается почти равномѣрно. Но она рѣшительно негодится въ тѣхъ случаяхъ, когда, по причинѣ частыхъ перемѣнъ въ дѣйствіи движущихъ силъ или сопротивле-

ній, проявляются въ машинѣ быстрыя перемѣны скорости, или толчки.

2. *Передача движенія посредствомъ безконечныхъ цѣпей, ремней или веревокъ.* При значительномъ разстояніи двухъ параллельныхъ осей, сообщаютъ движеніе посредствомъ безконечныхъ цѣпей, ремней или веревокъ, которыми обтягиваютъ барабаны или шкивы. *(Чер. 9).*

И здѣсь движеніе сообщается треніемъ; и для правильной передачи, ремень, цѣпь или веревка недолжны скользить по ободьямъ. Извѣстно что треніе по кривой поверхности возрастаетъ съ увеличеніемъ обернутой дуги. Имѣя это въ виду, въ случаѣ небольшихъ барабановъ, перекрещаютъ ремень или обертываютъ имъ барабанъ нѣсколько разъ кругомъ.

При употребленіи веревокъ, на окружности шкива дѣлаютъ желобокъ, подобно тому какъ въ блокахъ *(Чер. 10)*. Но если движеніе передается узкими ремнями (шириною отъ 3 до 6 дюймовъ), то поверхности шкива слѣдуетъ придать нѣкоторую выпуклость *(Чер. 11)*. Иначе, и въ особенности если-бы поверхность была вогнутою, дѣйствіе центробѣжной силы сбросило-бы ремень со шкива. Иногда подѣлаютъ выпуклости на поверхности шкива, но тогда нарѣзаютъ на ней бороздки. Для передачи значительныхъ силъ и работъ употребляютъ длинные барабаны и широкіе ремни. Барабанъ устроивается изъ нѣсколькихъ чугунныхъ шкивовъ, обшитыхъ снаружи досками *(Чер. 12)*; или, наподобіе цѣвочной шестерни, составляется изъ двухъ деревянныхъ кружковъ, между которыми располагаются бруски, параллельные оси барабана. *(Чер. 13)*.

Ремни приготовляются изъ хорошо выдѣланной бычачьей кожи. Чтобъ ремень некосился, слѣдуетъ придавать ему одинаковую толщину по всей ширинѣ. Концы ремня скрѣпляются между собою желѣзными застяжками, или, что лучше, сшиваются ремешками. Для передачи

большихъ силъ употребляются двойные и тройные ремни; то-есть, два или три ремня накладываются одинъ на другой и сшиваются ремешками. Каждые два или три мѣсяца, когда ремень начинаетъ примѣтно сохнуть, смазываютъ его жирнымъ составомъ. Безъ этого, отъ сильнаго трепія по дереву, ремень нагрѣвается, перегараетъ и разрывается. Лучшій составъ для смазыванія ремней приготовляется изъ *четырехъ* частей ворвани, *двухъ* частей гарпіусу и *одной* части дегтю. Все это плавится вмѣстѣ и горячимъ составомъ покрывается ремень.

Цѣпи употребляются для передачи движенія только въ случаяхъ почти равномѣрнаго движенія, или, по-крайней-мѣрѣ, послѣ предварительнаго уравненія движенія маховымъ колесомъ. Если случится, по необходимости, употребить цѣпь, при частыхъ перемѣнахъ движущей силы или сопротивленія, то, для предупрежденія скольженія, слѣдуетъ устроить на барабанахъ или шкивахъ выступы, на которые будутъ ложиться звенья *(Чер. 14)*. Когда нѣтъ выступовъ, то необходимо, по-крайней-мѣрѣ, ободья шкивовъ дѣлать изъ желѣза или чугуна, для затрудненія скольженія цѣпи. Особенное вниманіе слѣдуетъ обращать на правильную отдѣлку желобка, или цилиндрической поверхности шкива, потому-что, отъ этого зависитъ правильность въ передачѣ движенія.

Для увеличенія натяженія ремней и предупрежденія скольженія по барабанамъ, можно дѣлать одну ось подвижною и отодвигать ее посредствомъ прижимныхъ винтовъ, клиньевъ или рычаговъ. Но этотъ способъ затруднителенъ. Вмѣсто его, употребляютъ *прижимные* или *оттяжные* катки *(Чер. 15)*. Подобные катки помѣщаютъ обыкновенно въ особыхъ рамахъ, и прижимаютъ къ ремню гирьками, или посредствомъ веревки, навивающейся на небольшой ручной воротъ.

При передачѣ движенія веревками, на значительномъ разстояніи, необходимо принять мѣры, чтобы веревка

всегда была достаточно, но неизлишне, натянута. Извѣстно, что въ сырую погоду веревки бухнутъ и сильно стягиваются; оттого давленія ихъ и треніе чрезвычайно увеличиваются. Напротивъ того, въ сухое время онѣ становятся длиннѣе и скользятъ по ободьямъ барабановъ. Лучшее средство, для сохраненія неизмѣннаго натяженія передаточныхъ веревокъ, состоитъ въ такъ называемыхъ *отводныхъ рамахъ*. Подобная рама можетъ свободно скользить взадъ и впередъ въ пазахъ (*Чер. 16*). Въ ней помѣщается *прижимный блокъ a*, по которому проведена передаточная веревка *AB*. Къ рамѣ прикрѣпляется веревка *C*, проведенная по отводному щкиву *c*, и оканчивающаяся гирькою *P*, натягивающею сколько нужно передаточную веревку.

3. *Передача движенія зацѣпленіемъ зубчатыхъ колесъ.* Третій, и наиболѣе употребительный, способъ передачи вращательнаго движенія состоитъ въ употребленіи зубчатыхъ колесъ. На ободьяхъ двухъ задѣвающихся колесъ устроиваются зубцы, которыхъ форма, размѣры и расположеніе опредѣляются по правиламъ, изложеннымъ подробно въ отдѣльной статьѣ — *о зубчатомъ зацѣпленіи*.

4. *Колѣнчатый шарнеръ.* Для передачи вращательнаго движенія отъ одной оси другой, встрѣчающейся съ нею подъ тупымъ угломъ, употребляютъ иногда колѣнчатые шарнеры. Одно изъ подобныхъ устройствъ представлено на *чер. 17*. *A* и *B* двѣ оси; каждая изъ нихъ оканчивается развилиною, *D*, вращающеюся на болтѣ *bb*; два болта взаимно пересѣкаются, образуя крестовину *C*. — *Чер. 18* представляетъ колѣнчатый шарнеръ, въ нѣсколькихъ проекціяхъ. Иногда, вмѣсто крестовины *C*, употребляютъ яблоко *E*, съ четырьмя шипами.

Не-смотря на простоту устройства, колѣнчатые шарнеры неупотребляются для передачи значительныхъ работъ, въ особенности когда уголъ между двумя осями менѣе 140°, оттого что, въ этихъ приводахъ давленія ни-

повъ и тренія весьма значительны. Ихъ употребляютъ для сращиванія концами составныхъ частей длинныхъ валовъ, которые поддерживаются болѣе чѣмъ двумя подпорными точками и, по этой причинѣ, немогутъ составлять совершенно прямой линіи. Въ Голландіи употребляютъ колѣнчатые шарнеры для передачи вращательнаго движенія, горизонтальныхъ валовъ вѣтряныхъ мельницъ, наклоннымъ осямъ Архимедовыхъ винтовъ, употребляемыхъ для отлива воды.

5. *Безконечный винтъ* представляетъ примѣръ преобравованія круговаго непрерывнаго движенія двухъ осей, взаимно перпендикулярныхъ, но непересѣкающихся между собою. Въ первой части курса мы разсматривали этотъ приводъ (§. 170). Здѣсь остается замѣтить, что какъ треніе весьма значительно въ безконечномъ винтѣ, то и неупотребляютъ его для передачи большихъ работъ.

6. Вообще, когда двѣ оси расположены не въ одной плоскости, тогда передача движенія производится посредствомъ третьей, вспомогательной оси, которой положеніе можетъ быть избрано двояко. Для краткости, назовемъ A и B двѣ данныя оси и C третью, вспомогательную. Ось C можетъ пересѣкаться съ осями A и B, и, въ такомъ случаѣ, движеніе передастся отъ оси A оси C, посредствомъ коническихъ зубчатыхъ колесъ, и потомъ, вторично, такимъ же образомъ, отъ оси C оси B. Или ось C можетъ пересѣчаться съ осью A и быть параллельною къ B; въ такомъ случаѣ, отъ A къ C движеніе передастся коническими колесами, а между C и B учредится сообщеніе, посредствомъ цилиндрическаго зацѣпленія или безконечнаго ремня.

Въ обоихъ случаяхъ, задавъ себѣ произвольно отношеніе между скоростями вращенія осей A и C, можно опредѣлить отношеніе между скоростями осей C и B. Такъ напримѣръ, если назвать m, n, p числа оборотовъ

трехъ осей A, C, B, въ одно и то-же время, и если требуется чтобъ:

$$m : p = 1 : 12,$$

то можно будетъ взять, безразлично:

$$m : n = 1 : 2 \text{ и } n : p = 1 : 6;$$
$$\text{или } m : n = 1 : 3 \text{ и } n : p = 1 : 4;$$
$$\text{или } m : n = 1 : 4 \text{ и } n : p = 1 : 3;$$
$$\text{или } m : n = 1 : 6 \text{ и } n : p = 1 : 2;$$

во всякомъ случаѣ отношеніе между m и p будетъ равно 1 : 12.

20. (VI) *Преобразованіе кругового непрерывнаго движенія въ прямолинейное возвратное и наоборотъ.* — 1. Простѣйшее и употребительнѣйшее рѣшеніе этого вопроса представляетъ соединеніе *мотыля* съ *шатуномъ*. Линія XY, *(Чер. 19)* по направленію которой должно происходить возвратное движеніе, помѣщается такъ, чтобъ продолженіе ея пересѣкалось съ осью O, вращающагося вала. На валъ насаживается *мотыль* OM. Къ концу мотыля M, называемому *шипомъ*, прилаживается шатунъ BM, котораго верхній конецъ B соединяется со стержнемъ BA, движущимся по линіи XY, между правилками. Понятно что, при вращеніи шипа M, стержень BA будетъ двигаться взадъ и впередъ, и величина хода его, въ каждую сторону, будетъ равна діаметру круга, описываемому центромъ шипа. Въ этомъ и будетъ состоять преобразованіе кругового непрерывнаго движенія въ прямолинейное возвратное. Наоборотъ, если предположить что шатуну сообщается движеніе стержнемъ, то оно передается мотылю и преобразуется въ круговое непрерывное. Главное достоинство этого привода состоитъ въ томъ, что въ началѣ и въ концѣ каждаго размаха стержня BA скорость и величина движущей силы перемѣняются самымъ неощутительнымъ образомъ и, въ слѣдствіе этого, составныя части неразъединяются и невстрѣчаются съ толчками.

Когда шипъ мотыля совпадаетъ съ линіею XY, въ точкахъ M' и M'', тогда скорость стержня бываетъ равна нулю. Наибольшая скорость бываетъ тогда, когда шипъ занимаетъ среднія положенія между точками M' и M''; и, стало-быть, при равномѣрномъ движеніи вала, скорость стержня попеременно то возрастаетъ то уменьшается.

2. *Эксцентрики.* Вообще эксцентрикомъ называютъ всякую кривую линію, которая вращается вмѣстѣ съ валомъ, но не концентрическую съ нимъ. Всякой эксцентрикъ можетъ служить для преобразованія круговаго движенія въ прямолинейное возвратное. Простѣйшій изъ всѣхъ имѣетъ видъ круга, котораго центръ внѣ центра вала. Подобный эксцентрикъ употребляется въ паровой машинѣ Уатта, для движенія золотниковъ *(Чер. 20)*. Это—чугунный кружокъ, насаженный на-глухо на валъ, съ желобкомъ по окружности; желобокъ охваченъ двумя желѣзными полухомутами, къ которымъ прикрѣпленъ желѣзный шатунъ. При вращеніи эксцентрика вмѣстѣ съ валомъ, конецъ шатуна B движется взадъ и впередъ по линіи XY, проходящей черезъ центръ вала. При этомъ движеніи, разстоянія OC и CB неперемѣняются, и стало-быть точка B движется такъ, какъ движется конецъ шатуна BC прикрѣпленнаго къ мотылю CO, то-есть, при каждомъ оборотѣ вала, точка B проходитъ взадъ и впередъ пространства, равныя-удвоенному разстоянію CO, называемому *эксцентрицитетомъ*. Поэтому, величина хода шатуна не зависитъ вовсе отъ діаметра эксцентрика. Но этотъ діаметръ имѣетъ вліяніе на величину работы, расходуемой на треніе хомута въ шейкѣ эксцентрика. Дѣйствительно, если назвать: F давленіе производимое шатуномъ на точку B, и r эксцентрицитетъ CO; то работа переданная хомутомъ будетъ $4rF$. Называя f коэфиціентъ тренія хомута по эксцентрику, R радіусъ эксцентрика, получимъ работу тренія, при одномъ оборотѣ, $2\pi R.\ fF$. Отношеніе между этими двумя работами будетъ :

$$\frac{2r}{\pi . Rf}.$$

Полагая $f = {}^{1}/_{6}$ и $R = 6r$, найдемъ что это отношеніе равно $\frac{2}{\pi}$ или почти ${}^{2}/_{3}$. Это значитъ, что работа переданная шатуномъ, составляетъ собою ${}^{2}/_{3}$ той, какая истрачена на треніе. Въ паровой машинѣ это непредставляетъ никакого неудобства, потому что, работа нужная для движенія золотниковъ составляетъ собою самую незначительную часть всей работы движителя. Но невыгодно было-бы употребить подобное устройство для передачи всей работы движителя.

Опишемъ нѣсколько эксцентриковъ, болѣе употребительныхъ.

Возьмемъ равносторонній треугольникъ *(Чер. 21)*, котораго центръ совпадаетъ съ центромъ вращенія вала *A*. Три стороны треугольника замѣнимъ тремя дугами круга, описанными изъ вершины каждаго угла, какъ изъ центра. Понятно, что если вращающійся валъ проходитъ сквозь брусокъ *BFED*, поддерживаемый треугольникомъ, то, при вращеніи, брусокъ будетъ подниматься и опускаться. Величина хода бруска при каждомъ размахѣ, будетъ равна разности $Ac - Ah$, двухъ частей радіуса, на которыя дѣлится онъ центромъ *A*. При каждомъ оборотѣ вала *A*, брусокъ *BEFD* три раза поднимется и опустится. Этотъ приводъ употребляется въ паровой машинѣ Вульфа (Woolf), для открыванія и закрыванія пароваго крана и клапановъ.

Разсмотримъ еще отвѣсной брусокъ *MN*, *(Чер. 22)*, заключенный между катковъ *g*, *g*; вѣсомъ своимъ онъ давитъ на кривую, сердцеобразную, поверхность, которая получаетъ вращательное движеніе отъ вала *A*. При вращеніи эксцентрика справа влѣво, брусокъ *MN* поднимается до тѣхъ поръ, пока вершина *P* не придетъ на

отвѣсную линію MN, надъ осью H; потомъ онъ будетъ опускаться въ продолженіе полуоборота, то-есть, до тѣхъ поръ, пока заворотная точка Q, непридетъ на отвѣсную линію подъ осью A. При полномъ оборотѣ, брусокъ MN опустится и поднимется, на величину, равную разности $AP - AQ$. Движеніе бруска MN будетъ зависѣть отъ формы эксцентрика. Когда вмѣсто какого-нибудь бруска, желаютъ сообщить попеременное движеніе стержню поршня, которое должно быть очень правильно, тогда форму эксцентрика подчиняютъ тому условію, чтобы стержень MN поднимался и опускался на равныя величины, при равныхъ углахъ, описываемыхъ эксцентрикомъ около оси A. Этого достигаютъ слѣдующимъ образомъ.

Пусть будутъ P и Q вершина и заворотная точка сердцеобразной кривой *(Чер. 23)*, которая должна поднять и опустить стержень поршня, въ продолженіе полнаго оборота. Въ точкѣ A помѣщаютъ центръ вращающагося вала. На линіи QAP откладываютъ $A6 = AQ$, и раздѣляютъ пространство, соотвѣтствующее всему размаху $P6$, на нѣсколько равныхъ частей, напримѣръ, на шесть. Изъ центра A, чертятъ кругъ, произвольной величины, и раздѣляютъ каждую его половину, поддерживаемую линіею QAP, на шесть равныхъ частей; точки дѣленія соединяютъ съ центромъ; потомъ, принявъ A за центръ, начерчиваютъ дуги, радіусами AP, $A1$, $A2$, $A3$ . . . , до пересѣченія съ радіусами, обозначенными соотвѣтствующими фирами. Всѣ эти пересѣченія будутъ принадлежать къ искомой кривой линіи. Ясно что всѣ діаметры этой кривой, проходящіе чрезъ точку A, равны разстоянію QP острія до заворотной точки.

На чер. 24, показанъ способъ черченія эксцентрика, посредствомъ котораго въ первую половину размаха скорость шатуна или стержня постепенно возрастаетъ, а во вторую уменьшается. Онъ состоитъ въ слѣдующемъ:

На линіи AA', принятой за діаметръ, чертятъ полукругъ и раздѣляютъ его на нѣсколько равныхъ частей; изъ точекъ дѣленій 1', 2', 3'. . . и т. д., опускаютъ перпендикуляры на діаметръ AA'; чрезъ концы ихъ 1^1, 2^1, 3^1. . . описываютъ окружности изъ общаго центра C, потомъ соединяютъ центръ C, съ точками дѣленія круга $A48$, котораго полуокружность раздѣлена на столько-же равныхъ частей, на сколько и полуокружность $A'4'A$; замѣчаютъ точки пересѣченія окружностей съ соотвѣтствующими радіусами $C1$, $C2$, $C3$ . . ., и вычерчиваютъ искомую кривую.

Форму эксцентриковъ можно разнообразить до безконечности, и нѣтъ ничего легче, какъ начертить эксцентрикъ, зная законъ, по которому долженъ двигаться шатунъ или стержень.

3. *Чер. 25* представляетъ шестъ, поднимаемый кулакомъ abc, и потомъ падающій отъ собственнаго вѣсу. Встрѣча кулака abc съ пальцомъ DE, сопровождается сильнымъ ударомъ, потому что, кулакъ ударяетъ съ пріобрѣтенною скоростью: отъ того происходитъ значительная потеря работы. Сверхъ того, шестъ, поднимаясь, отклоняется отъ отвѣснаго направленія и прижимается вверху къ одной сторонѣ направляющихъ схватокъ, а внизу къ другой. Эти давленія даютъ начало большимъ треніямъ на значительномъ пространствѣ. Обѣ эти причины, — ударъ и треніе,—производя безполезную потерю работы, дѣлаютъ описываемую систему весьма невыгодною. Для уменьшенія тренія, иногда дѣлаютъ пальцевъ на шестѣ, и заставляютъ кулакъ дѣйствовать на шестъ, по отвѣсной линіи, проходящей черезъ центръ его тяжести. Для этого стержень шеста составляютъ изъ двухъ частей EE *(Чер. 26)*, оставляя между ними промежутокъ, и связывая схватками bb. Въ пустомъ пространствѣ помѣщаютъ катокъ a, на который дѣйствуетъ кулакъ. При такомъ устройствѣ, кулакъ можетъ входить

между двухъ схватокъ, въ пустоту сдѣланную въ стержнѣ. Но оно неудобно тѣмъ, что катокъ чрезъ нѣкоторое время перестаетъ вертѣться. Слѣдующимъ образомъ можно уменьшить потерю работы, причиняемую ударомъ. Положимъ что кулакъ ограниченъ кривою *(Чер. 27)*, касательною въ точкѣ *B* къ окружности вала *A* и къ нижней щекѣ пальца, въ то мгновеніе, когда кулакъ начинаетъ поднимать пестъ. Понятно что, въ такомъ случаѣ, не будетъ удара, и что палецъ, скользя по кулаку, будетъ постепенно подниматься. Но какъ здѣсь поверхность кулака гораздо болѣе, то работа, поглощаемая треніемъ, будетъ значительнѣе, и даже можетъ сдѣлаться равною той, какая теряется при ударѣ. При-всемъ-томъ, подобное устройство можетъ быть полезно, потому-что, съ ударами сопряжены потрясенія, разрушительныя для машины.

Иногда на стержнѣ песта нарѣзываютъ зубцы, задѣваемые зубцами, нарѣзанными на части колеса *(Чер. 28)*. Пестъ поднимается дѣйствіемъ колеса, и потомъ падаетъ, когда пройдетъ зубчатая часть. Но это устройство хуже предъидущихъ, потому-что, зубцы скоро ломаются, не имѣя достаточной прочности для сопротивленія удару.

21. (VII). *Превращеніе кругового непрерывнаго движенія въ круговое возвратное.* — 1. Первый способъ этого преобразованія похожъ, во многомъ, на приводъ, для движенія пестовъ. Онъ состоитъ изъ кулачнаго колеса, *(Чер. 29)*, которое дѣйствуетъ перемежно на конецъ рычага, вращающагося на неподвижной оси; другой конецъ рычага поднимается и потомъ падаетъ. Обыкновенно рычагъ служитъ рукоятью молоту, то-есть, составляетъ собою, такъ называемое, *молотовище*. Конецъ молотовища либо нажимается кулакомъ сверху внизъ, и тогда точка приложенія *T* кулака и голова *M* молота располагаются по обѣимъ сторонамъ оси вращенія *A*; либо, кулакъ поднимаетъ молотъ, дѣйствуя на самую голову, *(Чер. 30)*; либо, наконецъ, кулакъ дѣйствуетъ между го-

ловою и осью вращенія *(Чер. 31)*. Въ послѣднемъ случаѣ, для избѣжанія ударовъ при встрѣчѣ кулака съ молотовищемъ, можно употребить способъ, показанный при описаніи шестовъ: для этого, чрезъ ось *A* проводятъ прямую *AC*, почти касательную къ вращающемуся валу, и начерчиваютъ кулакъ, который-бы касался въ одной точкѣ къ валу и къ линіи параллельной *AC*.

2. Между всѣми способами для преобразованія круговаго непрерывнаго движенія въ круговое возвратное, безъ сомнѣнія, лучшій состоитъ изъ мотыля, который вращается вмѣстѣ съ валомъ *A*, и передаетъ возвратное движеніе коромыслу *CD*, посредствомъ шатуна *B*. *(Чер. 32)*. Подобное устройство находится въ паровыхъ машинахъ: тамъ, чугунное коромысло качается на оси *O*; конецъ его получаетъ качательное, и почти прямолинейное, движеніе отъ стержня паровато поршня *P*.

3. Уаттъ (Watt), первоначально, употреблялъ для этого преобразованія, такъ называемую имъ, *планетную систему*. Въ послѣдствіи она была оставлена, по причинѣ малой прочности и большихъ треній. Этотъ приводъ состоитъ въ слѣдующемъ. *(Чер. 33)* *AB*, коромысло качающееся на оси *C*; *Bd*, шатунъ вращающійся на оси *B*; нижній его конецъ разширенъ и прикрѣпленъ нѣсколькими болтами къ центру зубчатаго колеса *E*, которое сцѣпляется съ другимъ колесомъ *F*, одинаковаго съ нимъ радіуса; послѣднее колесо утверждено на валѣ маховаго колеса. Двѣ оси колесъ *E* и *F* удерживаются въ неизмѣнномъ разстояніи брускомъ *ef*. Вращательное, непрерывное, движеніе маховаго колеса заставляетъ колесо *E* вертѣться кругомъ колеса *F* и увлекаетъ шатунъ *Bd*, попеременно, то вверхъ то внизъ. Такъ-какъ оба колеса *E* и *F* имѣютъ одинаковые радіусы, то двумъ оборотамъ маховаго колеса будетъ соотвѣтствовать полный размахъ (вверхъ и внизъ) коромысла. Дѣйствительно, полный размахъ коромысла будетъ тогда, когда центръ

колеса E сдѣлаетъ полный оборотъ около центра F маховаго колеса. Если назвать V_1 угловую скорость перваго центра, вращающагося около центра F, R радіусъ каждаго зубчатаго колеса, то $2RV_1$ будетъ пространство пройденное въ единицу времени центромъ колеса E. Такъ-какъ это колесо прикрѣплено неподвижно къ шатуну, то пространство проходимое каждою точкою колеса равно тому, какое проходитъ центръ его; стало-быть $2RV_1$ будетъ также пространство пройденное колесомъ E, въ точкѣ прикосновенія съ колесомъ F. Называя V_1' угловую скорость колеса F, получимъ пространство пройденное точкою прикосновенія въ единицу времени, $V_1'R$. Отсюда выведемъ $V_1'R = 2V_1R$, или $V_1' = 2V_1$; то-есть, что угловая скорость, а слѣдственно и число оборотовъ, маховаго колеса вдвое болѣе угловой скорости шатуна, или числа полныхъ его размаховъ.

4. *(Чер. 94).* Брусокъ A нажимаетъ переменно, но всегда въ одну сторону, зубцы *храповаго колеса* B, нарѣзанные наклонно къ радіусамъ; оттого колесо вертится на своей оси. Брусокъ составляетъ собою часть колѣнчатаго рычага DCE, который качается на оси C. Онъ оканчивается вилкою, для удобнѣйшаго сцѣпленія съ зубцами колеса. Употребляя этотъ приводъ для поднманія грузовъ, придѣлываютъ съ боку *собачку* F, которая предупреждаетъ обратное движеніе колеса. Иногда этотъ приводъ составляютъ изъ храповаго колеса и двухъ собачекъ, *(Чер. 95)*. Рычагъ AB качается на оси C, двѣ собачки DE и FG, привѣшенныя къ рычагу въ точкахъ D и F, захватываютъ попеременно зубцы храповаго колеса H, нарѣзанные наклонно въ сторону, противоположную движенію. Когда конецъ B опускается, тогда собачка DE поднимаясь приводитъ въ движеніе колесо; въ то-же время собачка FG отцѣпляется и скользитъ внизъ по зубцамъ колеса. Потомъ, когда во вторую половину размаха конецъ B начнетъ подниматься, собачка

FG двигаетъ колесо, между-тѣмъ какъ *DE* скользитъ по колесу и сцѣпляется съ слѣдующимъ зубцомъ. Въ сущности здѣсь движеніе колеса не непрерывно, потому что, собачка дѣйствуетъ перемежно, послѣдовательными толчками; это и дѣлаетъ описываемый приборъ неудобнымъ, когда помощію его хотятъ передать большую работу. Но при медленномъ движеніи колеса и въ случаѣ передачи небольшой работы, онъ можетъ употребляться съ пользою. И дѣйствительно, его употребляютъ въ лѣсопильныхъ машинахъ, для подвиганія тележки съ бревномъ къ пилѣ. Но неудобно было-бы употреблять его, напримѣръ, для приведенія въ движеніе колесъ, вращающихъ винты въ прессахъ: часто повторяющіеся толчки испортили-бы скоро рабочихъ.

22. (VIII) *Преобразованіе прямолинейнаго возвратнаго движенія въ круговое возвратное, и наоборотъ.* — 1. Первый примѣръ этого преобразованія представляетъ коромысло, ограниченное по концамъ секторами (*Чер. 36*). Коромысло качается на оси *O*, и попеременно то поднимаетъ то опускаетъ шатуны, или стержни поршней, посредствомъ цѣпей, прикрѣпленныхъ съ одной стороны къ секторамъ, съ другой къ стержнямъ. Этотъ приводъ употреблялся въ паровыхъ машинахъ, предназначенныхъ для выкачиванія воды. Его замѣнили другимъ, придуманнымъ Уаттомъ, который, первый, приспособилъ паровую машину къ передачѣ непрерывнаго движенія фабричнымъ машинамъ.

2. Приборъ Уатта (Watt), называемый его *параллелограммомъ*, состоитъ въ слѣдующемъ (*Чер. 37*). Чугунное коромысло *AE* качается на оси *O*; движеніе сообщается ему стержнемъ *BG*, скрѣпленнымъ съ поршнемъ *G*, на который дѣйствуютъ пары. Если-бы верхняя точка *B* стержня *BG*, была прикрѣплена къ концу *A* коромысла, то какъ она описываетъ дугу круга около точки *O*, стержень *BG* немогъ-бы сохранять отвѣснаго направленія, и при движеніи поршня *G* по прямой линіи, дол-

жепъ-бы гнуться. Для предупрежденія этого, въ нѣкоторыхъ машинахъ довольствуются устроеніемъ шарнера въ точкѣ прикрѣпленія стержня къ поршню; но тогда дѣйствіе стержня *BG* на поршень разлагается, отчего поршень прижимается сильнѣе къ одной сторонѣ паровато цилиндра нежели къ другой, и слѣдствіемъ этого бываетъ просачиваніе пара. Уаттъ прикрѣпилъ конецъ *B* къ вершинѣ параллелограмма *ABCD*, котораго четыре стороны соединены шарнерами. Вершины *A* и *D* параллелограмма помѣщены на средней линіи *AE* коромысла, а вершина *C* направляется, при движеніи, правилкою *FC*, вращающеюся на оси *F*, которой положеніе избрано такъ, что точка *B* почти несходитъ съ отвѣсной линіи. Это положеніе опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Положимъ что линій *A'O* и *A"O* (*Чер. 38*), означаютъ крайнія положенія коромысла, *AO* среднее, или горизонтальное, положеніе, *B'G* направленіе движенія стержня. Начертивъ три параллелограмма *A'B'C'D'*, *A"B"C"D"* и *ABCD*, соотвѣтствующіе тремъ положеніямъ коромысла, такъ чтобъ вершины ихъ *B'*, *B"*, *B* находились на отвѣсной линіи *B'G*, — получимъ три положенія *C*, *C'*, *C"*, конца правилки *FC*. Чрезъ эти три точки проведемъ дугу круга, и въ центрѣ его *F* прикрѣпимъ правилку. Надобно замѣтить, что это рѣшеніе несовершенно вѣрно, и если построить большее число положеній параллелограмма, совмѣщая вершины *B*, съ отвѣсною линіею *B'G*, то можно увѣриться, что вершина *C*, не всегда будетъ на дугѣ круга. Слѣдовательно и обратно, если заставить вершину *C* двигаться по дугѣ круга, котораго центръ въ точкѣ *F*, то вершина *B* небудетъ двигаться по отвѣсной линіи *B'G*. Впрочемъ, опредѣливъ надлежащимъ образомъ величины и положенія составныхъ частей параллелограмма, можно сдѣлать весьма незначительными отклоненія точки *B* отъ отвѣсной линіи. Для опредѣленія этихъ отклоненій, стоитъ только представить себѣ

что вершина B параллелограмма сдѣлалась свободною, и что C движется по дугѣ $C'C''C$; тогда, начертивъ кривую линію *(Чер. 39)*, черезъ всѣ положенія вершины B, увидимъ что она пересѣкаетъ отвѣсную линію въ трехъ точкахъ B', B и B'', соотвѣтствующихъ тремъ положеніямъ C', C и C''. Эта линія имѣетъ видъ буквы $\int$, которой обѣ вѣтви равны между собою и симетрически отклоняются отъ отвѣсной линіи. Есть нѣкоторыя правила, выведенныя изъ опыта, при соблюденіи которыхъ, можно сдѣлать эти отклоненія наименьшими (не болѣе 1 или 2 линій). Они состоятъ въ слѣдующемъ: 1-е) Отвѣсное направленіе $B'G$ стержня должно дѣлить пополамъ разстояніе Aa *(Чер. 40)*, между дугою $A'A''$ описанною концемъ коромысла и хордою; 2-е) Длина AO полукоромысла должна быть не менѣе $1\frac{1}{2}$ и не болѣе удвоеннаго хода поршня, или, что все равно, хорды $A'A''$; 3-е) Длина сторонъ параллелограмма, непараллельныхъ коромыслу, опредѣляется такъ, что-бы конецъ B' стержня *(Чер. 38)* находился на горизонтальной линіи $B'O$, въ то мгновеніе, когда коромысло занимаетъ высшее положеніе $A'O$; 4-е) Горизонтальная линія OB' должна дѣлить пополамъ весь уголъ описываемый коромысломъ; 5-е) Длина сторонъ $A'D'$ и $B'C'$ произвольна; или, лучше сказать, она зависитъ отъ разстоянія, на какомъ хотятъ помѣстить центръ F, то-есть, отъ длины правилки; потому-что чѣмъ $C'D'$ ближе къ центру O коромысла, тѣмъ болѣе дуга, описываемая точкою C', и тѣмъ короче правилка FC'.

Желая сообщить движеніе двумъ стержнямъ $B'G$ и bg *(Чер. 41)* дѣлаютъ внутренній параллелограммъ $a'b'c'D'$, котораго двѣ стороны $c'D'$ и $a'D'$ совпадаютъ со сторонами внѣшняго, а вершина b', къ которой прикрѣпляется другой стержень, находится на прямой OB', соединяющей центръ коромысла O съ вершиною B', къ которой прикрѣпленъ первый стержень. Понятно что, при этомъ устройствѣ, точка b' будетъ двигаться по отвѣсной ли-

ніи. Дѣйствительно, такъ какъ при движеніи отношеніе линій $B'O$ и $b'O$ остается неизмѣннымъ, то если B' движется по отвѣсной линіи, и b' будетъ также описывать отвѣсную прямую. Можно-бы привѣсить еще третій стержень въ точкѣ b'', на пересѣченіи линіи $B'O$ съ стороною $C'D'$. Всему этому приводу будетъ служить одна правилка $C'F$.

Можно нѣсколько упростить составъ параллелограмма *(Чер. 42)*, увичтоживъ стороны AD, BD и CB, и оставивъ одну лишь сторону AC, направляемую брускомъ CF. Въ этомъ случаѣ точка привѣса стержня bg помѣстится въ точкѣ b, на брускѣ AC, и именно тамъ, гдѣ онъ пересѣкается съ линіею, соединяющею центръ коромысла O съ вершиною B, воображаемаго параллелограмма. Центръ F опредѣляется очень просто. *(Чер. 43)*. Положимъ, что $b'g$ представляетъ данную отвѣсную линію; проведемъ чрезъ крайнія и среднее положенія A', A'' и A, конца коромысла три прямыя, такимъ образомъ, что-бы точка привѣса пришлась въ b', b'' и b, на отвѣсной линіи $b'g$, и продолжимъ каждую изъ нихъ такъ, что-бы $b'C'$, $b''C''$ и bC были равны остатку стороны AC. Если начертить дугу круга, чрезъ три точки C', C'' и C, и отыскать центръ ея F, то онъ и будетъ искомою точкою привѣса правилки FC.

3. Слѣдующій приводъ, чрезвычайно простой, употребляется въ нагнетательномъ насосѣ гидравлическаго пресса *(Чер. 44)*. Рычагъ BD вращается на оси O, и сила, приложенная къ концу B, сообщаетъ ему попеременное круговое движеніе; другой конецъ рычага проходитъ въ выемку въ стержнѣ поршня. Для удержанія стержня въ отвѣсномъ направленіи, служитъ проушина m. Рычагъ соединяется со стержнемъ слѣдующимъ образомъ: стержень раздвоенъ въ части $pqrs$, оттого, образуется въ немъ выемка, въ нижней части которой помѣщена ось rs; на этой оси качается вилка F, которой

двѣ вѣтви соединены съ концемъ рычага *BD*, посредствомъ болта.

23. (IX и X). *Преобразованіе круговаго или прямолинейнаго возвратнаго движенія въ другое, одинакового съ нимъ названія.* — Въ большей части случаевъ эти задачи рѣшаются посредствомъ круговаго непрерывнаго движенія. Для этого, данное движеніе, круговое или прямолинейное возвратное, перемѣняютъ сперва въ круговое непрерывное, и потомъ уже переходятъ къ искомому движенію. Впрочемъ, есть нѣсколько способовъ непосредственнаго рѣшенія этихъ вопросовъ.

1. *Станокъ съ пружиною и подножкою* представляетъ примѣръ преобразованія одного круговаго возвратнаго движенія въ другое *(Чер. 45)*: движеніе сообщенное подножкѣ *CD* передается валу *K*, посредствомъ веревки *abc*, которая обернута нѣсколько разъ кругомъ его и привязана къ концу пружины *B*.

2. Прямолинейное возвратное движеніе передается посредствомъ колѣнчатыхъ рычаговъ, такихъ какъ *bOc (Чер. 46)*, которые вращаются на осяхъ *O*: къ двумъ плечамъ *Ob* и *Oc*, привязаны веревки или проволоки, по направленіямъ *ab* и *cd*: посредствомъ ихъ движеніе передается. — Когда направленія *ab* и *cd* находятся не въ одной плоскости *(Чер. 47)*, тогда пересѣкаютъ ихъ какою-нибудь прямою линіею *ef*, и въ точкахъ пересѣченія помѣщаютъ колѣнчатые рычаги, одинъ въ плоскости линій *ab* и *ef*, другой въ плоскости *ef* и *cd*; потомъ привязываютъ проволоки *ab*, *ef* и *cd*.

3. Прямолинейное возвратное движеніе можетъ быть также передано посредствомъ шатуновъ, какъ то часто случается видѣть въ машинахъ прежняго устройства. *(Чер. 48)*. Но этотъ способъ сопряженъ съ большими треніями: оттого соприкасающіяся части скоро обтираются, запасы между ними увеличиваются, за этимъ слѣдуютъ толчки и разстройство машины. По-этимъ при-

чинамъ, Англійскіе механики никогда не передаютъ непосредственно возвратныхъ движеній; но всегда, сперва перемѣняютъ ихъ въ круговыя непрерывныя, а потомъ уже переходятъ къ возвратнымъ.

2. Приводы для измѣненія движеній.

24. *Раздѣленіе приводовъ для измѣненія движеній.* — Часто, во-время дѣйствія машины, нужно бываетъ измѣнять движеніе нѣкоторыхъ частей. Приводы, служащіе для этой цѣли, можно раздѣлить на два рода:

а). Приводы посредствомъ которыхъ прерываютъ и возстанавливаютъ движеніе, или измѣняютъ направленіе его, на наопредѣленное время, или, по-временамъ, періодически;

и б). Приводы, которыми можно увеличивать или уменьшать скорость нѣкоторыхъ частей машины, непрерывая ея дѣйствія.

Въ составъ всѣхъ этихъ приводовъ входятъ *муфты*, которыми слѣдуетъ заняться предварительно.

25. *Муфты: глухая, передвижная и вольная.* — Муфтою называютъ металлическій цилиндръ, пустой внутри, насаженный на валъ. Она разнится отъ барабана тѣмъ, что въ этомъ послѣднемъ ободъ соединенъ со ступицею нѣсколькими спицами, тогда какъ муфта дѣлается сплошною. Всякое колесо — *муфта*, *барабанъ*, *блокъ* — можетъ быть прикрѣплено *на-глухо* къ вращающемуся валу; или вращаясь вмѣстѣ съ валомъ, можетъ скользить вдоль по немъ; или наконецъ, можетъ-быть вовсе не связано съ валомъ и оставаться *безъ движенія* при вращеніи вала. Въ первомъ случаѣ колесо называется *неподвижнымъ* или *глухимъ*; во-второмъ — *передвижнымъ*, въ третьемъ — *вольнымъ*. На-глухо насаживаются колеса, посредствомъ шпунтовъ и пазовъ, или помощію клиньевъ. Касательно передвижныхъ колесъ, надобно замѣтить, что вообще есть

два способа заставить колесо, вращаясь вмѣстѣ съ валомъ, двигаться параллельно его оси. Первый состоитъ въ томъ, что колесо насаживается на валъ на-глухо, но валъ можетъ двигаться вдоль, въ подшипникахъ. По второму способу, валъ имѣетъ одно только вращательное движеніе, а колесо скользитъ на немъ: для этого придается особый видъ валу, въ томъ мѣстѣ гдѣ насаживается колесо, такъ чтобы колесо могло скользить по валу, и вращалось вмѣстѣ съ нимъ. Этого можно достигнуть многими способами. Если напримѣръ, *(Чер. 49)*, сдѣлать сѣченіе вала квадратнымъ *a*, и такую-же форму придать проймѣ въ муфтѣ, или, вмѣсто того, придать обоимъ видъ какой-нибудь фигуры *b*, съ выступами и впадинами, то задача будетъ разрѣшена, какъ требовалось. Но, при подобномъ устройствѣ, довольно трудно избѣгнуть значительныхъ запасовъ между муфтою и валомъ. Гораздо лучше сдѣлать валъ и пройму круглыми, обточить ихъ правильно, и расположить шпунтъ (выступъ) на валѣ или въ проймѣ, придавая ему форму цилиндра или призмы, и впуская въ соотвѣтствующій пазъ, въ другой части: *c*, *d*, *e*.

Приведемъ еще слѣдующее, чрезвычайно-простое устройство. Валъ *CD* и отверзтіе въ муфтѣ *(Чер. 50)*, совершенно-круглы; муфта *M* насажена на валъ неподвижно и ограничена снаружи правильною, цилиндрическою поверхностью, съ пазомъ, параллельнымъ оси; этотъ пазъ скользитъ вдоль неподвижнаго бруска *AB*. Длина бруска опредѣляется величиною предполагаемаго хода муфты. Брусокъ *AB*, загнутыми концами *C* и *D*, прикрѣпленъ къ валу. Вмѣсто паза, на всей внѣшней поверхности муфты, можно-бы сдѣлать два ушка по краямъ муфты и между ихъ впустить брусокъ *AB*. *(Чер. 51)*.

При устроеніи *вольной* муфты, валъ и пройму дѣлаютъ совершенно-круглыми и концентрическими.

а) *Приводы для сцѣпленія и расцѣпленія частей машины.*

26. *Сцѣпленіе и расцѣпленіе зубчатыхъ колесъ, посредствомъ зубчатыхъ муфтъ.* — На чер. 52 представленъ способъ, употребляемый для сцѣпленія и расцѣпленія двухъ зубчатыхъ колесъ. *A* колесо насаженное на-глухо, *B* колесо скользящее по своему валу; къ послѣднему колесу придѣлана съ боку муфта *C*, съ щейкою, охваченною рычагомъ *ED*, округленнымъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ приходится муфта; рычагъ вращается около точки *D*; къ концу его *E* привязана веревка, дѣйствуя которою, прижимаютъ рычагъ къ закраинамъ муфты и подвигаютъ въ одну или въ другую сторону. Вмѣсто округленной части рычага, можно помѣстить на концѣ его катокъ и имъ дѣйствовать на муфту.

Описанный нами способъ можетъ быть употребленъ только для сообщенія частей машины, въ то время когда она остается въ покоѣ, или для сообщенія медленнаго движенія небольшимъ массамъ. Въ случаѣ большихъ массъ сопротивленіе инерціи слишкомъ значительно, и, при внезапномъ сцѣпленіи, зубья колесъ могли-бы ломаться.

Въ тѣхъ случаяхъ когда можно опасаться поврежденій колесъ, дѣлаютъ колесо *B* вольнымъ *(Чер. 53)*, и независимымъ отъ муфты, которую можно придвигать къ колесу или отодвигать, также какъ и въ предъидущемъ случаѣ, посредствомъ рычага. Сцѣпленіе муфты съ колесомъ устроивается особымъ образомъ. Къ муфтѣ *C* придѣлываютъ кружокъ *m*, на которомъ сдѣланы два шипа *d*; *d*; эти шипы входятъ въ соотвѣтственныя гнѣзда въ зубчатомъ колесѣ *B*, и тогда движеніе сообщается валу *EF*. Здѣсь, если поврежденіе и послѣдуетъ, то оно ограничится отломкою однихъ шиповъ; что не такъ неудобно, какъ поврежденіе зубьевъ.

Иногда къ колесу *B* придѣлываютъ кружокъ *M (Чер. 54)*, на которомъ сдѣланы выступы *a*, *b*, *c*, направленные къ центру; выступы входятъ въ равныя имъ выемки въ муфтѣ *C*. Муфта скользитъ вдоль вала, и когда сцѣпится съ вольнымъ колесомъ *B*, тогда валъ получитъ движеніе отъ движущагося колеса.

Иногда кружки, придѣлываемые къ колесу и къ муфтѣ, нарѣзываются въ видѣ зубцовъ *(Чер. 55)*. Эта нарѣзка дѣлается двумя рядами плоскостей; однѣ изъ нихъ наклонны, другія перпендикулярны къ плоскостямъ кружковъ и сходятся въ ихъ центрахъ. На *Чер. 56* этотъ приводъ представленъ въ двухъ проекціяхъ.

Наконецъ, можно употребить одну изъ предъидущихъ системъ, придѣлывая муфту *C (Чер. 57)* съ другой стороны колеса *B*. Колесо *B*, вольное, скользитъ по валу, отъ дѣйствія муфты *C*, и сцѣпляясь съ муфтою *D*, насаженною на-глухо на валъ, сообщаетъ ему вращеніе, которое само получаетъ отъ колеса *A*.

27. *Сцѣпленіе посредствомъ прижимныхъ конусовъ.* — Вмѣсто предъидущихъ способовъ сцѣпленія и расцѣпленія колесъ, иногда придѣлываютъ къ колесу *B* коническій барабанъ *C (Чер. 58)*, пустой внутри, и другой, такой-же, *D*, къ муфтѣ; послѣдній прижимаютъ къ первому посредствомъ рычага. Помощію этого привода, можно сообщить движеніе мало-по-малу, увеличивая постепенно треніе конусовъ. Въ этомъ отношеніи описываемый приводъ превосходенъ; но онъ неможетъ быть употребленъ въ сильныхъ машинахъ.

28. *Сцѣпленіе и расцѣпленіе посредствомъ прижимнаго хомута.* — Колесо *BB'*, *(Чер. 59)*, наглухо насаженное на валъ *DD'*, имѣетъ на своемъ ободѣ шейку, которую охватываетъ желѣзный хомутъ *abcde*, составленный изъ двухъ половинокъ: эти половинки скрѣплены винтами *d* и *e*, на противоположныхъ концахъ діаметра. Стягивая болѣе или менѣе выдавшіеся концы *d* и *e*, можно произ-

вольно увеличивать треніе хомута. Передвижная муфта снабжена двумя шипами *A* и *A'*, которые захватываютъ съ противоположныхъ сторонъ концы хомута *e* и *d*. Вращаясь вмѣстѣ съ валомъ *FF'*, муфта приводитъ въ движеніе хомутъ *abcde*, отъ котораго треніемъ сообщается вращеніе колесу *BB'* и его валу. Когда муфта сцѣпится съ хомутомъ, тогда, въ первыя мгновенія, колесо, по свойству инерціи, противится движенію, и хомутъ скользитъ около шейки, сообщая колесу сначала медленное движеніе; потомъ эта скорость возрастаетъ, и наконецъ дѣлается равною скорости движущаго вала.

29. *Механизмъ для приведенія въ движеніе муфты.* — Мы уже говорили (§. 26) какимъ образомъ можно двигать муфту, рычагомъ, для сцѣпленія и расцѣпленія колесъ. Когда простой рычагъ недостаточенъ, тогда употребляютъ сложные рычаги. Но лучшій способъ тотъ, гдѣ сама машина двигаетъ муфту. Подобный механизмъ придуманъ недавно Обертеномъ (Aubertin). На шейкѣ муфты *C (Чер. 60)*, дѣлается винтообразная выемка, на которую можно опускать дужку *abd*, вращающуюся на двухъ точкахъ подпоры *a* и *b*. На дужкѣ находится шипъ *e*, который, при вращеніи муфты, попадаетъ въ выемку, и тогда, вращательное движеніе заставляетъ муфту скользить вдоль вала, до тѣхъ-поръ, пока вольное колесо *D* не расцѣпится съ валомъ *F*.

30. *Сцѣпленіе и расцѣпленіе барабановъ и шкивовъ.* — *A* вольный шкивъ, *B* глухой. Когда ремень *C* находится на шкивѣ *A*, тогда валъ невращается. Но если перекинуть ремень на шкивъ *B*, то движеніе сообщится валу. Для перекидыванія ремня, охватываютъ его желѣзною вилкою *ab*, которой сообщаютъ движеніе рычагомъ. Но этотъ способъ не можетъ быть употребленъ для перекидыванія веревокъ, потому что онѣ скоро перетираются. Обыкновенно, при употребленіи веревокъ, надѣваютъ на два конца вилки катни *a* и *b (Чер. 61)* меж-

ду которыхъ проходитъ веревка. Движеніе сообщается вилкѣ какъ и въ предъидущемъ случаѣ, посредствомъ рычага. Рычагъ находится подъ рукою у рабочаго, который, по-произволу, прерываетъ или возстанавливаетъ движеніе.

Можно прерывать и возстанавливать сообщеніе двухъ барабановъ, ослабляя или натягивая отвѣсный ремень, посредствомъ прижимнаго валька *(Чер. 62)*. Когда ремень не отвѣсный, то этотъ способъ неудобенъ, потому что, отъ сильнаго тренія о валекъ, ремень скоро портится. Вмѣсто прижимныхъ вальковъ, иногда употребляются оттяжные.

31. *Сцѣпленіе и расцѣпленіе посредствомъ движенія осей.* — Можно прерывать и возстанавливать сообщеніе двухъ осей, дѣлая одну изъ нихъ передвижною. Если колеса сообщаются посредствомъ ремней, веревокъ или безконечныхъ цѣпей, то стоитъ лишь немного приподнять или опустить *(Чер. 63)* подшипникъ *a*, чтобы установить или прервать сообщеніе: это дѣлаютъ веревкою *ef* или рычагомъ *boc*. Подобный приводъ употребляется въ мукомольныхъ мельницахъ, при подъемѣ кулей.

Для этой-же цѣли употребляютъ колеса безъ зубцовъ, которыя, будучи прижаты ободьями, находятся въ сообщеніи; но если уменьшить давленіе, удаляя нѣсколько одну ось отъ другой, то движеніе перестанетъ сообщаться *(Чер. 64)*. Этимъ-же способомъ можно разнимать и зубчатыя колеса. Такъ напримѣръ: положимъ что *AB* *(Чер. 65)* представляетъ раму, на которой укрѣплены подушки одного зубчатаго колеса; рама можетъ вращаться на оси *A* и поддерживается брускомъ *E*. Къ бруску придѣланъ рычагъ *FE*. Если привести рычагъ въ отвѣсное положеніе, то брускомъ *F* рама *AB* нѣсколько поднимется и колеса разобщатся.

Иногда приводятъ въ движеніе валъ колеса, передвигая шины. Шину *L* *(Чер. 66)* сообщаютъ движеніе зуб-

чатыми рейками *C* и шестернями *p*; на концахъ реекъ находятся вилки *M*, охватывающія шипы. Въ мелкихъ машинахъ передвигаютъ ось *эксцентрическимъ нажимомъ. (Чер. 67).* *AB* отвѣсный стержень свободно скользящій между правилками *a* и *b;* на немъ насажено колесо *CD*. Посредствомъ эксцентрика *g* можно мгновенно приподнять стержень и разобщить колесо *CD* съ другимъ колесомъ.

32. *Способы перемѣнять направленіе движенія вала.* — Что-бы можно было по произволу перемѣнять направленіе вращательнаго движенія, помѣщаютъ на валѣ передвижную муфту, которая можетъ сцѣпляться поперемѣнно съ двуия вольными зубчатыми колесами, вращающимися въ противоположныя стороны. Такъ устроенъ слѣдующій приводъ. *C* и *D* два зубчатыя колеса *(Чер. 68)*, насаженныя на-глухо, сцѣпляются съ вольными колесами *A* и *B*, такъ что эти послѣднія вращаются въ стороны противоположныя, но неувлекаютъ съ собою вала, на который надѣты; *EF* передвижная муфта, съ двумя зубчатыми кружками по концамъ. Когда она сцѣплена съ колесомъ *A*, тогда получая отъ него движеніе, сообщаетъ его верхнему валу; равнымъ образомъ движеніе сообщается валу и тогда, когда муфта придвинута къ колесу *B*; но направленіе этого движенія противоположно съ первымъ. Этотъ приводъ употребляется, между прочимъ, въ катальныхъ станахъ, когда хотятъ сообщать катальнымъ валкамъ движеніе, поперемѣнно то въ одну то въ другую сторону. Тамъ этотъ приводъ удобенъ, потому что движеніе вальковъ бываетъ всегда медленное.

Двойная муфта употребляется также для сообщенія вращательнаго движенія оси, перпендикулярной къ оси движущаго колеса, когда требуется по-временамъ перемѣнять направленіе движенія *(Чер. 69).* *A* движущее колесо; на одной съ нимъ оси насажено на-глухо наклонное колесо *D*, сцѣпляющееся съ двумя другими, вольны-

ми, *G* и *H*, которыя вращаются на валѣ *LM*, перпендикулярномъ ко оси *B*; на этомъ-же валѣ помѣщена двойная, передвижная, муфта *EF*. Смотря-по-тому, съ которымъ изъ двухъ колесъ *G* и *H* она сцѣплена, сообщается движеніе валу *LM*, въ одну или въ другую сторону.

33. *Приводы прерывающіе движеніе по-временамъ, періодически.* — 1. Примѣръ періодической пріостановки движенія представляетъ *зазубневое колесо*. Этотъ приводъ состоитъ изъ вольнаго колеса *B*, насаженнаго на валъ, приводимый въ движеніе рукояткою *(Чер. 70)* или другимъ способомъ; къ валу придѣланъ брусокъ *A*, который можетъ задѣвать за крючекъ *b*, на рычагѣ *ab*, называемомъ *зазубнемъ*. Зазубень вращается на оси *m*, придѣланной къ кружку; пружинка *s* прижимаетъ крючекъ *b* къ бруску *A*. При вращеніи вала по направленію *LM*, брусокъ *A* сцѣпившись съ крючкомъ *b*, приводитъ въ движеніе колесо *B*, за которымъ слѣдуетъ стержень, или какой нибудь грузъ, привязанный къ веревкѣ *D*. Когда плечо *a* зазубня встрѣтитъ упорку *E*, тогда вращаясь на оси *m*, зазубень расцѣпится съ брускомъ *A*, и, въ то время какъ послѣдній будетъ продолжать движеніе, дѣйствіемъ гири привязанной къ веревкѣ, колесо устремится въ противную сторону и зазубень возвратится въ прежнее положеніе. Все это будетъ повторяться при каждомъ оборотѣ колеса.

2. Другой примѣръ періодической пріостановки находимъ въ копрахъ съ зазубнемъ, гдѣ баба поднятая на нѣкоторую высоту, отцѣпляется сама и падаетъ на голову забиваемой сваи. *(Чер. 71)*. *A* представляетъ чугунную бабу, привѣшенную къ рычагу *ef* съ зазубнемъ *c*, который продѣтъ въ ушко *ed*. Рычагъ вращается на оси *g*, внутри пустой обоймы *LM*. Веревка *ab*, облегающая шкивъ, поднимаетъ обойму и бабу. Баба поднимается до тѣхъ-поръ, пока зазубень не встрѣтитъ упорки *B*: тогда ушко соскальзываетъ съ зазубня и баба падаетъ на

сваю. Въ слѣдъ-за-тѣмъ, опускаютъ обойму, и зазубень *c* захватываетъ вторично за ушко. Обыкновенно, вмѣсто одного зазубня дѣлаютъ два, на одной оси *g*, такъ что ушко бабы захватывается съ двухъ сторонъ двумя зазубнями вдругъ.

б) *Приводы для измѣненія скорости.*

34. *Четыре способа измѣненія скорости вращающихся частей.* — Для мгновеннаго измѣненія скорости движущихся частей машины, употребляются разные приводы. Опишемъ четыре главнѣйшіе.

Первый состоитъ изъ двухъ системъ шкивовъ, расположенныхъ на двухъ параллельныхъ осяхъ *(Чер. 72)*, такимъ образомъ, что если діаметры верхнихъ барабановъ увеличиваются слѣва вправо, то нижніе, напротивъ, возрастаютъ справа влѣво; такъ что, сумма діаметровъ двухъ противоположныхъ шкивовъ постоянно одна и таже. При подобномъ расположеніи, разстояніе внѣшнихъ поверхностей двухъ соотвѣтственныхъ шкивовъ вездѣ одинаково; слѣдовательно, одинъ безконечный ремень можетъ облегать послѣдовательно каждую пару шкивовъ. Перекидывая ремень съ одной пары на другую, перемѣняютъ скорости вращенія осей. Понятно что, скорость вращенія одной оси будетъ болѣе или менѣе скорости другой оси, смотря потому, меньше-ли или болѣе шкивъ на первой чѣмъ на послѣдней.

Второй способъ состоитъ въ употребленіи двухъ противоположныхъ коническихъ барабановъ *(Чер. 73)*, которые сообщаются безконечнымъ ремнемъ. Оси ихъ параллельны между собою, и внѣшнія ребра конусовъ также параллельны. И здѣсь также скорости вращенія барабановъ обратно-пропорціональны радіусамъ круговъ соприкасанія съ ремнемъ.

Третій способъ, употребляемый въ несильныхъ машинахъ, состоитъ въ слѣдующемъ *(Чер. 74)*. *A* большое горизонтальное колесо, насаженное на валъ; *B* малое колесо, вращающееся вмѣстѣ съ своимъ валомъ *CD*, который можетъ скользить вдоль въ подшипникахъ. Колесу *B* сообщается движеніе треніемъ. Чѣмъ далѣе колесо *B* отъ оси *A*, тѣмъ болѣе его скорость; такъ что, передвигая колесо *B*, можно измѣнять произвольно скорость движенія.

Четвертый способъ состоитъ изъ колеса *B'* *(Чер. 75)*, соприкасающагося съ конусомъ *A'*, котораго производящая параллельна оси колеса. Чѣмъ болѣе кругъ, по которому колесо соприкасается съ конусомъ, тѣмъ болѣе скорость колеса. Поэтому, желая измѣнить скорость, стоитъ лишь передвинуть колесо, вверхъ или внизъ.

3. Приводы для сохраненія неизмѣннымъ направленія движенія.

Приводы для сохраненія неизмѣннымъ направленія движенія дѣлаются съ двоякою цѣлью: для предупрежденія отклоненія отъ даннаго направленія, или для воспрепятствованія обратному движенію.

а). *Приводы для предупрежденія отклоненія отъ даннаго направленія.*

35. *Приборы для достиженія параллельныхъ движеній.* — Когда требуется заставить часть машины двигаться параллельно самой себѣ, тогда употребляютъ одинъ изъ слѣдующихъ приборовъ:

1. Два параллельные бруска *ab* и *cd* *(Чер. 76)*, связываются между собою двумя другими, посредствомъ шарнеровъ; все это образуетъ раздвижной параллело-

граммъ. Если, удерживая брусокъ *cd* на мѣстѣ, двигать другой *ab*, то всѣ его положенія будутъ параллельны первому и между собою. Подобный механизмъ употребляется въ лѣсопильной машинѣ, для подвиганія бревна къ круглой пилѣ. Смотря по толщинѣ бревна, дѣлаютъ параллелограммъ болѣе или менѣе косой.

2. Лучшее средство для достиженія параллельнаго движенія состоитъ въ слѣдующемъ. Предметъ, который требуется двигать параллельно, кладутъ на *тележку, (Чер. 77)*, движущуюся на желѣзныхъ или мѣдныхъ колесахъ, по выпуклымъ рельсамъ. На ободьяхъ колесъ сдѣланы желобки, плотно охватывающіе рельсы. Подобное устройство принято въ прядильной машинѣ Мюль, (Mull-Jenny), для удержанія въ параллельномъ движеніи тележки, на которой помѣщены шпульки.

3. Иногда къ санямъ или тележкѣ придѣлываютъ съ боковъ шпунты, совершенно прямые и параллельные *(Чер. 78)*, и впускаютъ въ мѣдные пазы, которые направляютъ движеніе. Подобное устройство употребляется для направленія движенія саней, приводящихъ бревно къ пиламъ, въ лѣсопильной машинѣ.

4. Клинъ *A (Чер. 79)*, скользитъ между четырмя брусками *c, d* и *e, f*; другой клинъ *B*, удерживается при стойкахъ катками *k, g, h, i*. Если подвинуть клинъ *A* отъ *d* къ *f*, то грань *mn* клина *B* поднимется параллельно самой себѣ. Подобное устройство употребляется въ клиновомъ прессѣ.

36. *Приборы для направленія движенія стержней.* — Стержни насосовъ и паровыхъ машинъ должны какъ можно менѣе отклоняться отъ прямаго направленія.

1. Простѣйшее средство для предупрежденія отклоненія стержня состоитъ въ заключеніи его между *правилокъ*, которыми могутъ быть бруски или катки. *(Чер. 80)*.

2. Можно достигнуть того-же самаго, придѣлывая къ

концу стержня поперечину, помѣщая на концахъ ея катки и заключая ихъ въ направляющіе пазы. *(Чер. 81).*

3. Параллелограммъ Уатта, описанный въ §. 22, можно разсматривать какъ приборъ, для направленія прямолинейнаго движенія.

4. Слѣдующее устройство можетъ служить для той-же цѣли. Къ двумъ неподвижнымъ точкамъ *A* и *B*, *(Чер. 82)* прикрѣпляются два бруска *AC* и *BD*, равной длины; концы ихъ соединяются брускомъ *C*; всѣ соединенія дѣлаются на шарнирахъ; на срединѣ *E* бруска *CD* прикрѣпляется стержень *EF*, приводимый въ движеніе сверху или снизу. При этомъ движеніи, точки *C* и *D* описываютъ дуги круга, а точка *E* движется по прямой линіи *EF*.

5. Винтъ съ гайкою употребляется также какъ средство для направленія движенія.

б.) *Приводы для предупрежденія обратныхъ движеній.*

37. *Храповое колесо съ собачкою.* — *C* представляетъ вольное, зубчатое, колесо; *B храповое* колесо, насаженное на призматическую часть вала *(Чер. 83)*; на этомъ послѣднемъ колесѣ нарѣзаны зубцы, наклонно, въ сторону движенія; за зубцы задѣваетъ собачка *ab*, придѣланная къ вольному колесу *C* и нажимаемая пружиною *ec*. При вращеніи вала *B* слѣва вправо, вольное колесо *C* неучаствуетъ въ движеніи, оттого-что, тогда собачка *b* только скользитъ по зубцамъ; но если привести въ движеніе валъ и храповое колесо справа влѣво, то зубцы его, упираясь въ собачку, сообщатъ движеніе вольному колесу. Храповое колесо употребляется въ механизмѣ карманныхъ часовъ, и помѣщается на призматической оси. Когда заводя часы, то-есть, стягивая пружину, вращаютъ эту ось въ одну сторону, тогда собачка только скользитъ по зубцамъ; но когда пружина, развертываясь,

начнетъ вращать колесо въ противоположную сторону, тогда зубцы колеса, упираясь въ собачку, увлекутъ ее съ собою и сообщатъ движеніе всему механизму. Подобное устройство можетъ быть употреблено и въ большихъ машинахъ, когда потребуется прервать дѣйствіе движителя, неостанавливая движенія машины.

38. *Предупрежденіе обратнаго движенія въ конномъ воротѣ.* — Въ мукомольной мельницѣ, движимой конньмъ воротомъ, верхникъ (вращающійся жерновъ) дѣлаетъ до 100 оборотовъ въ минуту, и замѣняетъ собою маховое колесо. Часто нужно бываетъ остановить лошадь, вращающую воротъ, на нѣсколько мгновеній. При обыкновенномъ устройствѣ мельницъ, это бываетъ невозможнымъ, потому-что, жерновъ, продолжая движеніе, увлекаетъ съ собою шестерню и валъ ворота. Помощію слѣдующаго устройства, *(Чер. 84)*, можно достигнуть того, что движеніе не будетъ сообщаться валу ворота. На валѣ *CD* ворота помѣщено зубчатое колесо *EF*, приводящее въ движеніе шестерню *GH*, которой ось *M* передаетъ движеніе жернову, такъ что, движеніе жернова неразлучно съ движеніемъ оси *M*. Шестерня дѣлается вольною, но сквозь два ея кружка *CD (Чер. 85)*, продѣтъ деревянный брусокъ *O*, движущійся свободно въ двухъ выемкахъ, сдѣланныхъ въ кружкахъ. На валѣ *M* насаженъ эксцентрическій бугель *pqr*, имѣющій бородку *m* на наружной поверхности: эта бородка плоскою гранью прилегаетъ къ бруску *O*; пружина *ab* прижимаетъ брусокъ къ бородкѣ. При такомъ устройствѣ, когда колесо движется отъ *E* къ *F*, тогда шестерня вращается отъ *C* къ *D*, и брусокъ *O* сообщаетъ движеніе бугелю *pqr* и валу *M*, на который онъ насаженъ на-глухо. Но если, по какой-нибудь причинѣ, валъ остановится, то вмѣстѣ съ нимъ пріостановится и колесо *EF* и шестерня, между-тѣмъ-какъ, валъ *M*, увлекаемый жерновомъ, будетъ продолжать движеніе; тогда бородка *m* оставитъ брусокъ *O*, сдѣлаетъ

цѣлый оборотъ, встрѣтится съ нимъ вторично, поднимет его и опять оставитъ. Какъ скоро бородка пройдетъ, брусокъ упадетъ на свое мѣсто. Все это будетъ повторяться до тѣхъ поръ, пока жерновъ не остановится. Понятно что, во все это время, ни шестерня CD, ни колесо EF, не будутъ участвовать въ движеніи.

4). Приводы для уравниванія движеній.

39. *Три рода уравнительныхъ приводовъ.* — Движеніе машины бываетъ равномѣрнымъ, когда работа, доставляемая движителемъ въ каждое мгновеніе, равна той, какую потребляютъ сопротивленія. Подобный случай представляется весьма рѣдко. Чаще всего, отъ неоднообразнаго дѣйствія движителя и сопротивленій, движеніе безпрестанно перемѣняется, и тогда, особыми уравнительными приводами, стараются предупредить излишнее увеличеніе или уменьшеніе скорости, и сдѣлать послѣдовательныя перемѣны скорости сколько можно менѣе ощутительными.

Когда работа, доставляемая движителемъ въ послѣдовательныя мгновенія, болѣе работы сопротивленій, тогда избытокъ употребляется на увеличеніе скорости машины. Для предупрежденія излишняго увеличенія, употребляются два способа. *По первому*, особаго рода приборами, называемыми *модераторами* или *умрителями*, увеличиваютъ вредныя сопротивленія, подобныя сопротивленію воздуха или тренію. *По второму*, помощію такъ называемыхъ *регуляторовъ* или *уравнителей*, пріостанавливаютъ дѣйствіе движителя, или, по мѣрѣ возрастающей работы движителя, увеличиваютъ полезную работу.

Когда работа движителя въ послѣдовательныя мгновенія менѣе той, какая нужна для преодолѣнія сопротивленій, тогда дѣйствіемъ регуляторовъ усиливается дѣйствіе движителя или уменьшаются сопротивленія.

Во многихъ случаяхъ движитель или сопротивленія перемѣняются періодически, въ продолженіе каждаго оборота или размаха машины; такъ-что, напримѣръ, въ первую половину періода, работа движителя болѣе потребляемой сопротивленіемъ, во вторую, — менѣе. Въ подобныхъ случаяхъ, посредствомъ, такъ называемыхъ, *маховиковъ*, можно сдѣлать почти неощутительными перемѣны скорости машины и крайнія отклоненія скорости отъ средней.

Поэтому, есть три рода уравнительныхъ приводовъ: *модераторы*, *регуляторы* и *маховики*.

а). *Модераторы.*

Модераторы уравниваютъ движеніе, увеличивая сопротивленіе воздуха или треніе, по-мѣрѣ возрастающей скорости. Они бываютъ двухъ родовъ: *крылатые маховики* и *нажимы*.

40. *Крылатые маховики.* — Шпульки въ прядильныхъ станахъ и стѣнные часы съ боемъ, движимые опускающимися гирями, снабжаются крылатыми маховиками, то-есть механизмами, составленными изъ вертящейся оси, *(Чер. 86)*, и нѣсколькихъ спицъ, съ плоскими крыльями на концахъ. На оси нарѣзанъ безконечный винтъ, котораго нарѣзъ сцѣпляется съ зубцами колеса, принадлежащаго къ машинѣ. Крылья, вращаясь въ воздухѣ, встрѣчаютъ сопротивленіе, которое возрастаетъ почти пропорціонально квадрату скорости. Площадь крыльевъ можетъ быть опредѣлена такъ, что при извѣстной скорости, сопротивленіе воздуха уравновѣситъ собою двужущую силу, и движеніе сдѣлается равномѣрнымъ. И наоборотъ, по данной площади крыльевъ и скорости, можно опредѣлить сопротивленіе воздуха. Извѣстно (Часть I-я, §. 218), что сопротивленіе воздуха R находится по формулѣ:

$$R = K.\ p.\ \frac{AV^2}{2g},$$

гдѣ p вѣсъ единицы объема воздуха, A площадь крыльевъ, V средняя скорость, g мѣра силы тяжести, K множитель, зависящій отъ скорости.

Полагая: вѣсъ кубич. фута воздуха $p=8$ золотн., площадь каждаго крыла $A=2$ д. $\times 2$ д., $5=5$. к. д. $=0{,}035$ к. ф.; найдемъ $R=0{,}0043.KV^2$ золотн.

Принимая плоскость крыла за перпендикулярную къ движенію, возьмемъ (Ч. I. §§. 119 и 226) для K слѣдующія величины:

При скорости 0 до 10 футъ, въ 1", $K=1,4$

— — 10 — 15 — $K=1{,}4.\frac{0{,}62}{0{,}60}=1{,}45$

— — 15 — 30 — $K=1{,}4\frac{0{,}64}{0{,}60}=1{,}50$

и т. д.

И тогда найдемъ что: при скорости въ 13 футъ, $R=0{,}0003$ пуда; при скорости въ 130 футъ, $R=0{,}0339$ п., то-есть, почти въ 109 разъ болѣе.

Два крыла представятъ сопротивленіе вдвое болѣе, три—втрое болѣе, и т. д.

41. *Нажимы.* — Другой примѣръ модераторовъ, представляютъ *нажимы*—приборы въ которыхъ излишекъ работы движителя расходуется на треніе. Обыкновенно нажимъ состоитъ изъ деревянной дуги *ABC (Чер. 87)*, обтянутой снаружи желѣзною полосою, которой одинъ конецъ неподвиженъ, а къ другому прикрѣплено малое плечо *OC* колѣнчатаго рычага. Дуга лежитъ на ободѣ колеса, котораго движеніе желаютъ умѣрить. Отъ дѣйствія силы на большее плечо *Ob* рычага, нажимъ придавливается къ ободу, треніе усиливается и ходъ машины замедляется.

Величина тренія нажима находится по формулѣ (Ч. I. §. 130).

$$T = P.e^{\frac{fs}{R}};$$

гдѣ T треніе, P усиліе производимое рычагомъ на конецъ нажима, f коэфиціентъ тренія, s дуга обернутая нажимомъ, R радіусъ ея, e=2,71828.

Можно также употребить рычагъ *BOA (Чер. 88)*, къ большему плечу котораго привязана гиря P, а къ меньшему ремень, облегающій снизу ободъ колеса, насаженнаго на валъ, котораго ходъ желаютъ умѣрить; другой конецъ ремня прикрѣпленъ къ неподвижному предмету. Валъ утверждается въ подшипникахъ, такъ что не можетъ быть поднятъ ремнемъ. Въ этомъ случаѣ можно увеличить треніе произвольно, потому-что, не только можно произвольно увеличить гирю P, но сверхъ того, можно обернуть нѣсколько разъ ремень кругомъ колеса; а извѣстно, что сопротивленіе быстро возрастаетъ съ увеличеніемъ обернутой дуги.

б). *Регуляторы.*

Названіе регуляторовъ дается въ Механикѣ приводамъ, которые уравниваютъ движеніе, безъ потери работы движителя. Устройство регуляторовъ зависитъ отъ свойства движителя или орудія, и число ихъ чрезвычайно-значительно. Мы займемся главнѣйшими.

42. *Уравнивающіе барабаны.* — Въ машинахъ, предназначенныхъ для подниманія грузовъ на большую высоту, какъ напримѣръ, при подъемѣ воды изъ глубокихъ колодцевъ, сопротивленіе дѣйствуетъ непостоянно: потому-что, къ поднимаемому грузу прибавляется вѣсъ каната или цѣпи, помощію которыхъ поднимается бадья. При значительной глубинѣ колодца, вѣсъ каната или цѣпи

нѣсколько разъ болѣе поднимаемаго груза. Такъ-какъ работа движущей силы должна быть постоянно одна и та-же, для наивыгоднѣйшаго дѣйствія людей или лошадей движущихъ машину, то надобно устроить воротъ такимъ образомъ, что-бы, не-смотря на перемѣны сопротивленія, потребляемая работа оставалась неизмѣнною. Для достиженія этой цѣли, на валѣ ворота начерчиваютъ рядъ концентрическихъ круговъ, измѣняя ихъ радіусы по правилу, которое выводится слѣдующимъ образомъ. Назовемъ P давленіе на рукоятку ворота, R длину ея; то PR будетъ моментъ движущей силы, который, будучи пропорціоналенъ работѣ, остается постоянно одинъ и тотъ-же. Назовемъ Q поднимаемый грузъ, l длину висячей части цѣпи ba (*Чер 89*), считая ее отъ центра ворота до какого-нибудь положенія груза, p вѣсъ единицы длины цѣпи, напримѣръ одного фута; то pl будетъ вѣсъ вѣсячей части ab цѣпи, а $Q+pl$ весь поднимаемый грузъ, въ мгновеніе, въ которое разсматривается положеніе груза Q. Пустъ будетъ r радіусъ сѣченія вала, на которое цѣпь навертывается въ это мгновеніе; $(Q+pl)\,r$ будетъ моментъ сопротивленія; такъ что, пренебрегая треніе, получимъ условіе равновѣсія ворота,

$$(Q+pl)\,r = PR;$$

откуда:

$$r = \frac{PR}{Q+pl}.$$

Въ этомъ выраженіи l входитъ въ знаменатель, стало-быть r будетъ тѣмъ менѣе чѣмъ грузъ Q ниже, или чѣмъ длиннѣе висячая цѣпь; и наибольшій радіусъ будетъ тогда, когда грузъ поднимется до самой оси ворота. Назовемъ его r_0. Полагая $l = 0$ въ общемъ выраженіи, найдемъ

$$r_0 = \frac{PR}{Q}.$$

Пусть будетъ r_1 радіусъ слѣдующей окружности, на которую цѣпь начинаетъ ложиться, тогда, когда сойдетъ

съ перваго круга, то-есть, когда длина ея сдѣлается $2\pi r_0$; получимъ:

$$r_1 = \frac{PR}{Q + 2\pi r_0 . p.}$$

Когда воротъ сдѣлаетъ еще одинъ оборотъ, тогда длина цѣпи сдѣлается $2\pi r_0 + 2\pi r_1$; слѣдовательно радіусъ r_2 третьей окружности будетъ:

$$r_2 = \frac{PR}{Q + p.2\pi\ (r_0 + r_1)};$$

и т. д.

Легко усмотрѣть законъ, которому будутъ слѣдовать радіусы послѣдовательныхъ окружностей. Ясно что, когда грузъ только-что начинаетъ подниматься, то-есть, когда онъ находится въ самомъ низу, тогда цѣпь должна облегать самую узкую часть ворота. Если H представляетъ глубину колодца, и r_n радіусъ самой узкой части ворота, то: $r_n = \frac{PR}{Q + pH.}$

Часто, для сбереженія времени, навиваютъ на валъ двѣ равныя цѣпи, въ противоположныя стороны, *(Чер. 90)*, такимъ образомъ, что когда одна поднимаетъ нагруженную бадью, тогда другая опускаетъ пустую. Такъ-какъ обѣ бадьи равны, то нечего принимать въ соображеніе ихъ вѣса, потому что, они взаимно уравновѣшиваются. Касательно висячихъ частей двухъ цѣпей, надобно замѣтить, что ихъ длины, взятыя вмѣстѣ, равны глубинѣ H колодца, при всякомъ положеніи ворота. Назовемъ l длину поднимающейся части, которой моментъ вѣса прибавится къ моменту сопротивленія, l' длину опускающейся части, которой моментъ прибавится къ моменту движущей силы. Основываясь на предъидущемъ, получимъ уравненіе:

$$PR + pl'r = Qr + plr.$$

Такъ-какъ $l + l' = H$, то $l' = H - l$ и

$$PR + p\ (H - l)\ r = Qr + plr;$$

откуда $$r = \frac{P.R}{Q - pH + 2pl}.$$

Въ этомъ выраженіи r представляетъ радіусъ двухъ окружностей, на которыхъ, одновременно, находятся поднимающаяся и опускающаяся цѣпи. Этотъ радіусъ уменьшается по мѣрѣ увеличенія l, то-есть длины цѣпи, поднимающей полную бадью; изъ чего слѣдуетъ, что воротъ долженъ состоять изъ двухъ равныхъ частей, и имѣть выпуклость на срединѣ. Величина радіуса наибольшаго круга получится изъ общаго выраженія, дѣлая въ немъ $l = 0$; откуда, $r_0 = \frac{PR}{Q - pH}$. Другія величины радіусовъ r_1, r_2, и т. д. получатся также какъ и въ предъидущемъ случаѣ; такъ-что будетъ:

$$r_1 = \frac{P.R}{Q - pH + 2p \times 2\pi r_0}; \; r_2 = \frac{P.R}{Q - pH + 2p.2\pi(r_0 + r_1)}.$$

На чертежѣ показано расположеніе, какое будетъ имѣть воротъ въ настоящемъ случаѣ. Понятно что, точки прикрѣпленія цѣпей къ вороту должны быть: одна на наименьшемъ кругѣ, той части ворота на которую цѣпь навивается, другая на наименьшемъ кругѣ части ворота, съ которой цѣпь сходитъ; потому что, при такомъ расположеніи, когда наполненная бадья поднимется на самый верхъ, а пустая дойдетъ до дна, тогда обѣ цѣпи будутъ дѣйствовать на наибольшіе радіусы, двухъ равныхъ частей ворота. Но когда пустая бадья, наполнившись внизу, начнетъ подниматься, а другая, опорожнившись вверху, станетъ опускаться, тогда оба радіуса должны быть наименьшіе; по этой причинѣ, необходимо будетъ перемѣнить точки привѣса; и дѣлать эту перемѣну по окончаніи каждаго хода, такъ чтобы всегда, въ началѣ, точка привѣса опускающейся цѣпи находилась на самой толстой части ворота, а восходящей на самой узкой. Съ

этою цѣлью, на обѣихъ частяхъ ворота *AB* и *BA'* находятся по два привѣсныхъ крючка, въ точкахъ *a*, *b* и *a'*, *b'*.

Можно гораздо проще уравнять работу сопротивленія въ воротѣ, употребляя безконечную цѣпь *(Чер. 91)*, обернутую нѣсколько разъ кругомъ цилиндра. При такомъ устройствѣ, обѣ части цѣпи, восходящая и нисходящая, равны между собою, и ихъ вѣса взаимно уравновѣшиваются, равно какъ и вѣса бадей. Но это устройство требуетъ слишкомъ длинныхъ цѣпей; что значительно увеличиваетъ издержки, въ особенности при большой глубинѣ.

Оси карманныхъ часовъ, на которыя навивается цѣпочка, стягивающая пружину, устроены на подобіе того, какъ описанные нами коническіе барабаны. Пружина, свернутая спирально *(Чер. 92)*, прикрѣплена однимъ концемъ къ оси *L*, другимъ къ внутренней поверхности цилиндра *B*, который можетъ вращаться вольно около оси *L*. Цѣпочка, прикрѣпленная къ внѣшней поверхности того-же цилиндра, навивается на конической барабанъ *C*, вращающійся вмѣстѣ съ осью *M*. На этой оси помѣщено храповое колесо, отъ котораго сообщается движеніе колесу съ собачкою и всему часовому механизму. Барабанъ *C* имѣетъ видъ спиральнаго конуса. Заводя часы, вращаютъ ось *M* ключемъ, и навиваютъ цѣпочку на барабанъ *C*; цѣпочка вращаетъ цилиндръ *B* и стягиваетъ пружину; послѣ того, пружина, развертываясь, заставляетъ цилиндръ *B* вращаться въ противоположную сторону; это движеніе, посредствомъ цѣпочки *H*, сообщается конусу, и сила пружины дѣйствуетъ на увеличивающіеся послѣдовательно радіусы конуса. Такъ какъ эта сила становится тѣмъ менѣе, чѣмъ пружина болѣе развернута, то плечо ея, то-есть радіусъ конуса долженъ увеличиватся въ такомъ-же отношеніи; и тогда моментъ силы будетъ постоянно одинъ и тотъ-же. Называя *F* перемѣнную силу пружины, *r* ея плечо, получимъ выраженіе

момента Fr, который долженъ оставаться неизмѣннымъ.— Законъ измѣненія F опредѣляютъ часовые мастера опытомъ, для каждой пружины, измѣряя вѣса, уравновѣшивающіе пружину при измѣняющейся длинѣ цѣпочки. Зная первый радіусъ конуса, нетрудно опредѣлить всѣ прочіе.

Всѣ эти способы уравниванія движеній хороши, когда извѣстенъ законъ измѣненія силы, и когда это измѣненіе происходитъ правильно и непрерывно, въ продолженіе многихъ оборотовъ.

43. *Центробѣжный регуляторъ.* — Чаще другихъ уравнительныхъ приборовъ употребляется *центробѣжный регуляторъ* или *коническій маятникъ*, называемый также *всеобщимъ регуляторомъ*. Главная составная часть его — ромбъ $ABCD$, *(Чер. 93)*, насаженный на отвѣсную ось CH, которая получаетъ движеніе отъ уравниваемой части машины. Стороны ромба скрѣплены между собою шарнирами; на концахъ брусковъ CB и CD помѣщены равные металлическіе шары P и P'; верхній уголъ C ромба прикрѣпленъ къ оси; къ нижнему придѣлана муфта, вращающаяся вмѣстѣ съ ромбомъ и скользящая вдоль оси. При вращеніи прибора, центробѣжная сила отбрасываетъ шары отъ оси, и раздвинувшіеся шары удерживаютъ муфту F на нѣкоторой высотѣ. При каждой перемѣнѣ скорости машины и прибора, шары удаляются или приближаются къ оси CH, и поднимаютъ или опускаютъ муфту F. Движеніе муфты передается рычагу FG и можетъ быть употреблено для уравненія машины. Такъ напримѣръ: въ паровой машинѣ рычагъ FG можетъ вращать кранъ, впускающій паръ изъ паровика въ цилиндръ; при гидравлическомъ колесѣ дѣйствіе рычага можетъ поднимать или опускать щитъ, впускающій воду изъ резервуара; въ вѣтряной мельницѣ рычагъ можетъ придавливать болѣе или менѣе нажимъ, умѣряющій ходъ главнаго вала.

При устроеніи центробѣжнаго регулятора представляются два вопроса: 1) Опредѣлить положеніе шаровъ и ромба, соотвѣтствующее нормальной скорости машины; 2) Опредѣлить вѣса шаровъ такимъ образомъ, чтобы, при извѣстномъ отклоненіи скорости машины отъ нормальной, приборъ былъ въ состояніи возстановить въ машинѣ прежнюю, нормальную скорость.

Для большей простоты, изобразимъ части ромба средними линіями, пренебрежемъ ихъ вѣсомъ, и станемъ разсматривать что вѣса шаровъ P и P' сосредоточены въ ихъ центрахъ, (*Чер 94*).

1. При нормальной скорости, муфта занимаетъ неизмѣнное положеніе A на оси, и неподвергается никакому дѣйствію со стороны уравниваемыхъ частей машины. По этому, при нормальной скорости, регуляторъ подверженъ только дѣйствію вѣса шаровъ и центробѣжной ихъ силѣ. Для равновѣсія между вѣсомъ шара P и его центробѣжною силою, направленною горизонтально по линіи KJ, необходимо чтобы равнодѣйствующая имъ была направлена по оси бруска CJ, то-есть проходила черезъ неподвижную точку C. Представивъ равнодѣйствующую линіею CJ, найдемъ что стороны CK и KJ пропорціональны вѣсу шара P и центробѣжной силѣ F, и стало-быть

$$\frac{F}{P} = \frac{KJ}{CK}$$

Называя V_1 нормальную, угловую, скорость прибора, получимъ: (Ч. I. §, 108),

$$F = \frac{P}{g} . V_1^2 . KJ.$$

Стало-быть, окончательно

$$CK = \frac{g}{V_1^2} \ldots\ldots (1)$$

Величина, независящая отъ вѣса шаровъ и длины CA.

Определивъ CK, стоитъ задать себѣ CA или уголъ KCA, для опредѣленія положенія центровъ, при нормальной скорости.

2. Остается найти вѣсъ шаровъ, по условію, чтобы, при измѣненіи нормальной скорости V_1, центробѣжная сила шаровъ могла преодолѣть сопротивленіе муфты и привести въ движеніе уравнительный механизмъ, — клапанъ, кранъ, щитъ, нажимъ, и тому подобное.

Если $\frac{1}{K}$ есть предѣльное увеличеніе угловой скорости V_1, то наибольшая скорость прибора будетъ

$$V_1 + \frac{V_1}{K} = V_1\left(1 + \frac{1}{K}\right) = nV_1$$

гдѣ $n = 1 + \frac{1}{K}$.

Когда угловая скорость сдѣлается nV_1, тогда шары начнутъ поднимать муфту и, въ слѣдствіе этого, проявится сопротивленіе ея p, которое можно опредѣлить опытомъ. Представимъ его линіею Aa *(Чер. 95)* и разложимъ на двѣ равныя составляющія, Ab и Ad, по направленіямъ нижнихъ брусковъ ромба $ABCD$. Перенеся ихъ въ точки B и D, и отложивъ $Bb' = Ab$ и $Ad' = Dd$, разложимъ силу Dd' на двѣ: одну hD, направленную къ неподвижной точкѣ C, другую Df, отвѣсную. Первая не произведетъ никакого дѣйствія; послѣдняя Df будетъ равна Aa или p, по равенству треугольниковъ Ada и $d'Df$. Подобнымъ-же образомъ, можно доказать что и въ точкѣ B будетъ дѣйствовать сила $Be = p$. Сила Df или p можетъ быть разложена на двѣ, параллельныя, въ точкахъ C и J. Изъ нихъ первая уничтожится, а вторая $p.\frac{CD}{CJ}$ прибавится къ вѣсу шара P. Тоже-самое будетъ и съ шаромъ P'. Послѣ этого, вопросъ приведется къ предъидущему случаю; такъ что, можно будетъ разсматривать шаръ P

какъ подверженный центробѣжной силѣ F и отвѣсной силѣ $P + p.\frac{CD}{CJ}$, и, по прежнему, для равновѣсія нужно будетъ, чтобы

$$\frac{F}{P + p.\frac{CD}{CJ}} = \frac{KJ}{KC}$$

или, дѣлая: $CD = a$; $CJ = b$; $KJ = d$; $KC = h$;

$$\frac{F}{P + p.\frac{a}{b}} = \frac{d}{h}.$$

Въ настоящемъ случаѣ центробѣжная сила F соотвѣтствуетъ измѣненной скорости, то-есть:

$$F = \frac{P}{g} n^2 V_1^2 d,$$

и стало-быть:

$$\frac{P n^2 V_1^2 d}{g\left(P + p\frac{a}{b}\right)} = \frac{d}{h}$$

или, подставляя, вмѣсто h, найденную прежде величину $\frac{g}{V_1^2}$, получимъ, по сокращеніи:

$$P = p.\frac{a}{b}.\frac{1}{n^2 - 1} \quad \ldots\ldots \quad (2).$$

Вставляя $1 + \frac{1}{K}$ вмѣсто n и пренебрегая $\frac{1}{K^2}$, найдемъ, окончательно:

$$P = p.\frac{K}{2}.\frac{a}{b} \quad \ldots\ldots \quad (3).$$

И такъ, вѣсъ P шаровъ пропорціоналенъ сопротивленію муфты p, числу K, показывающему до какой степени желаютъ уравнять движеніе, и отношенію $\frac{a}{b}$ сторонъ CD и CJ.

Такъ напримѣръ: если $p=6$ фунт.; $K=20$ и $\frac{a'}{b}=\frac{2}{3}$, то $P=40$ фунт.

Когда скорость не увеличивается, но уменьшается, тогда муфта опускается, и въ предъидущемъ вычисленіи, слѣдуетъ, вмѣсто p, брать $-p$, но въ то-же время, вмѣсто $V_1+\frac{1}{K}V_1$, должно подставить $V_1-\frac{1}{K}V_1$, то-есть, перемѣнить знаки при p и K. Понятно что, при этомъ, формула (3) не перемѣнится.

Изъ той-же формулы выводимъ

$$\frac{b}{a}=\frac{K}{2}\cdot\frac{p}{P}$$

и заключаемъ, что съ увеличеніемъ отношенія $\frac{p}{P}$, увеличивается отношеніе $\frac{b}{a}$, или CJ къ CD. По этой причинѣ, въ случаѣ значительнаго сопротивленія муфты, располагаютъ ее въ верхнемъ углу ромба, а нижнюю вершину дѣлаютъ неподвижною *(Чер. 96)*. Впрочемъ, что-бы стороны ромба не гнулись, дѣлаютъ CJ не болѣе какъ втрое или вчетверо противъ CD. Обыкновенно-же отношеніе $\frac{CJ}{CD}=\frac{3}{2}$.

Когда надобно приводить въ движеніе щитъ гидравлической машины, котораго подъемъ требуетъ значительнаго усилія, тогда центробѣжной силы недостаточно, и ее употребляютъ, не для подъема щита, но для приведенія въ движеніе передвижной муфты A *(Чер. 97)*, на валѣ, получающемъ движеніе отъ машины. Муфта, сцѣпляясь съ однимъ изъ двухъ вольныхъ колесъ (N) и (N'), приводитъ въ движеніе колесо P и ось R, въ одну или другую сторону. При нормальной скорости машины, муфта занимаетъ среднее положеніе и не сцѣпляется ни съ

однимъ изъ колесъ (N) и (N^1). Валъ EF вращается, но не увлекаетъ съ собою колесъ (N) и (N'), и потому колесо P и ось R недвижутся, и щитъ остается на одномъ мѣстѣ. Когда скорость перемѣнится, тогда муфта сцѣпится съ однимъ изъ колесъ N, приведетъ въ движеніе колесо P и щитъ. Движеніе щита произведется дѣйствіемъ вала EF, а не центробѣжною силою прибора.

в.) *Маховики.*

44. *Общая теорія маховиковъ.* — *Маховиками* называются въ Механикѣ приборы, употребляемые для уравненія движенія, въ тѣхъ случаяхъ, когда работа движителя или сопротивленій перемѣняется періодически. Что-бы показать назначеніе и способъ дѣйствія маховиковъ, возьмемъ общее уравненіе движенія машины: (§. 6)

$$\Sigma.\mathfrak{E}F - \Sigma.\mathfrak{E}Q - \Sigma.\mathfrak{E}R \pm PH - \Sigma.\frac{m}{2}(V''^2 - V^2) = 0$$

и выведемъ изъ него приращеніе живыхъ силъ:

$$\Sigma.\frac{m}{2}(V''^2 - V^2) = \Sigma.\mathfrak{E}F - \Sigma.\mathfrak{E}Q - \Sigma.\mathfrak{E}R \pm PH.$$

Предполагая что въ продолженіе разсматриваемаго движенія общій центръ тяжести движущейся системы остается на одной высотѣ, то-есть что $H = 0$, найдемъ:

$$\Sigma.\frac{m}{2}(V''^2 - V^2) = \Sigma.\mathfrak{E}F - |\Sigma.\mathfrak{E}Q + \Sigma.\mathfrak{E}R|$$

то-есть, что приращеніе живыхъ силъ равно разности между работою движителя и работами полезныхъ и вредныхъ сопротивленій. Эта разность можетъ быть положительна, отрицательна или равна нулю.

Въ первомъ случаѣ. Если работа доставленная движителемъ, $\Sigma.\mathfrak{E}F$, болѣе работы потребленной сопротивленіями, $\Sigma.\mathfrak{E}Q + \Sigma.\mathfrak{E}R$, то членъ $\Sigma.\frac{m}{2}(V''^2 - V^2)$ положите-

ленъ; избытокъ работы движителя употребляется на увеличеніе живой силы, и скорости движущихся частей машины, и конечная скорость V' массы m болѣе начальной V.

Во второмъ случаѣ. Когда работа движителя менѣе работы потребляемой сопротивленіями, тогда членъ $\Sigma.\frac{m}{2}(V'^2-V^2)$ отрицателенъ; недостатокъ работы движителя пополняется частью живой силы движущейся системы, и, въ слѣдствіе этого, конечная скорость V' становится менѣе начальной V.

Въ третьемъ случаѣ. Когда работа движителя равна работѣ сопротивленія, тогда членъ $\Sigma.\frac{m}{2}(V'^2-V^2)$ равенъ нулю и конечная скорость равна начальной. Понятно что, если эти работы равны между собою въ каждое мгновеніе, то движеніе системы будетъ совершенно равномѣрнымъ.

Положимъ что работа движителя перемѣняется періодически, а работа сопротивленій остается постоянно одна и та-же. Въ первую половину періода движитель доставитъ работу, болѣе той, какую потребятъ сопротивленія, и въ слѣдствіе этого, начальная скорость V массъ m увеличится и сдѣлается V'. Избытокъ работы, $\Sigma.\mathcal{C}F - |\Sigma.\mathcal{C}Q + \Sigma.\mathcal{C}R|$, употребится на увеличеніе живой силы движущихся частей, и членъ $\Sigma.\frac{m}{2}(V'^2-V^2)$ предоставитъ собою излишнюю работу, которую примутъ въ себя массы m, по свойству инерціи. Во вторую половину періода, работа движителя будетъ менѣе той, какая нужна для преодолѣнія сопротивленія, и движеніе не могло-бы продолжаться, если-бы небыло запаса работы $\Sigma.\frac{m}{2}(V'^2-V^2)$, оставшейся въ движущихся массахъ отъ первой половины періода. Этимъ запасомъ поддер-

живается движеніе, но въ то-же время скорость движущихся частей уменьшается, и окончательно дѣлается равною той, какая была въ началѣ. Такимъ образомъ, при періодическомъ дѣйствіи движителя, инерція движущихся частей становится запаснымъ складомъ работы и поддерживаетъ движеніе.

То-же самое бываетъ когда движитель работаетъ постоянно а сопротивленія перемѣняются періодически; или когда работы и движителя и сопротивленій перемѣняются періодически. Во всѣхъ подобныхъ случаяхъ, движеніе перемѣняется; но въ началѣ каждаго періода скорость движущихся частей бываетъ одна и та-же.

Инерціею движущихся частей машины не только можно поддержать движеніе, въ то время когда работа движителя недостаточна для преодолѣнія сопротивленій, но, сверхъ того, можно сдѣлать весьма незначительною разность между наибольшею и наименьшею скоростью движущихся массъ, то-есть достигнуть почти равномѣрнаго движенія.

Для объясненія этого, назовемъ S разность между работами движителя и сопротивленій, въ продолженіи первой половины оборота, и станемъ разсматривать всѣ движущіяся массы какъ одну, M, которой скорость начальная V, а по прошествіи полу-періода, V'. Основываясь на предъидущемъ можемъ написать:

$$\frac{M}{2}(V'^2 - V^2) = S, \text{ откуда } V'^2 - V^2 = \frac{2S}{M}.$$

Понятно что, при одной и той-же величинѣ S, разность $V'^2 - V^2$ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе M, то-есть, что скорость движущихся частей измѣнится тѣмъ менѣе чѣмъ болѣе массы. Такъ бываетъ въ мукомольной мельницѣ: масса верхника столь значительна, что движеніе его и всей машины перемѣняется вовсе неощутительно. То-же самое находимъ въ большихъ гидравлическихъ ко-

лесахъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ нѣтъ надобности въ особыхъ уравнительныхъ приборахъ.

Когда масса движущихся частей машины не столь значительна, тогда для уравненія движенія прибавляютъ къ машинѣ большія и тяжелыя массы, называемыя *маховиками*, которыя, двигаясь вмѣстѣ съ машиною, поддерживаютъ и уравниваютъ движеніе своею инерціею. Поэтому, назначеніе маховиковъ состоитъ въ томъ, чтобы принять въ себя излишекъ работы движителя, въ первую половину періода, и потомъ, когда дѣйствіе движителя окажется недостаточнымъ, пополнить недостающее запасною работою. Разсматриваемые съ этой точки, маховики суть запасные резервуары работы. Они сберегаютъ работу, но *несоздаютъ ея*, какъ это полагаютъ люди, несвѣдущіе въ наукѣ.

Маховики бываютъ различнаго устройства. Обыкновенно придаютъ имъ видъ грузныхъ ободьевъ, насаженныхъ на вращающіеся валы, и тогда называютъ ихъ *маховыми колесами*. Въ фабричныхъ машинахъ почти всегда маховое колесо дѣлается изъ чугуна, въ видѣ толстаго обода, скрѣпленнаго со ступицею спицами. Масса M обода гораздо болѣе массы спицъ, ступицы и другихъ движущихся частей машины; оттого, въ вычисленіяхъ, относящихся къ маховому колесу, пренебрегаютъ всѣми движущимися массами, въ сравненіи съ массою колеса и, въ уравненіи $\frac{M}{2}(V'^2 - V^2) = S$, M означаетъ массу обода маховаго колеса, V скорость точекъ на средней окружности обода, въ началѣ періода, V' наибольшую или наименьшую величину, до какой можетъ дойти эта скорость въ продолженіе половины періода.

Называя P вѣсъ обода маховаго колеса и подставляя $\frac{P}{g}$, вмѣсто M, выведемъ формулу, для опредѣленія вѣса маховаго колеса:

$$P = \frac{2gS}{V'^2 - V^2}.$$

Употребляя ее, надобно знать S— излишекъ работы движителя надъ работою сопротивленій, въ первую половину періода, и задать себѣ $V'—V$, то-есть разность между крайними скоростями. Очевидно что P будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе S и чѣмъ менѣе $V'—V$.

Замѣтимъ что маховое колесо, разсматриваемое какъ запасный резервуаръ работы, будетъ исполнять свое назначеніе тѣмъ лучше, чѣмъ болѣе его живая сила, соотвѣтствующая средней скорости обода U, потому что, $\frac{P}{g}\frac{U^2}{2}$ измѣряетъ собою работу, содержащуюся въ массѣ $\frac{P}{g}$, движущейся со скоростью U.

Маховыя колеса помѣщаютъ обыкновенно на валахъ, вращающихся съ наибольшею скоростью, и придаютъ имъ большой діаметръ. Это дѣлается потому, что запасъ работы $\frac{P}{g}.\frac{U^2}{2}$ увеличивается пропорціонально квадрату скорости U и первой степени вѣса P.

5. Передача движенія посредствомъ мотылей и зубчатыхъ зацѣпленій.

а) *Мотыли.*

45. *Послѣдовательное измѣненіе работы простыхъ мотылей, въ первую половину оборота.* — Для преобразованія кругового непрерывнаго движенія въ прямолинейное или круговое возвратное, выгоднѣе всего употреблять мотыли (кривошипы), если машины сильны, или эксцентрики, если передаваемыя давленія незначительны. Элементарная работа, принимаемая простымъ мотылемъ, измѣняется поминутно, хотя-бы усиліе движителя остава-

лось постоянно одно и то-же. Слѣдующимъ образомъ можно изслѣдовать законъ этого измѣненія. — Мотыль состоитъ изъ плеча AB, насаженнаго на вращающійся валъ *(Чер. 98)* AE; на конецъ его B дѣйствуетъ сила, посредствомъ шатуна BF. Обыкновенно устроиваютъ такимъ образомъ, что-бы направленіе шатуна отклонялось какъ можно менѣе отъ средняго положенія; и тогда, если разложитъ давленіе шатуна на двѣ силы: одну параллельную, другую перпендикулярную къ отвѣсной линіи, то, можно удостовѣриться что, послѣдняя бываетъ весьма незначительна, и слѣдственно производитъ самое небольшое треніе. Этому условію можно удовлетворить достаточно, дѣлая длину шатуна вчетверо или впятеро болѣе плеча AB. Мы предположимъ что направленіе шатуна и дѣйствующей на него силы не перемѣняется, что оно, напримѣръ, отвѣсно, и что величина этой силы неизмѣнна. Опредѣлимъ работу силы F, въ то время, когда точка B опишетъ весьма малую дугу BB'' *(Чер. 99)*. Она измѣряется произведеніемъ изъ силы на пространство, считаемое по ея направленію. Проведя чрезъ точку B' горизонтальную линію $B'B''$, которая будетъ перпендикулярна къ направленію BF силы, получимъ BB'', пространство, считаемое по направленію силы, и вслѣдъ-за-тѣмъ, найдемъ элементарную работу шатуна, $F \times BB''$. Но $BB''=bb'$, то-есть проекціи дуги BB' на діаметръ EG, слѣдовательно эта работа равна $F \times bb'$. Если опредѣлить, по этому способу, всѣ элементарныя работы, обнаруженныя въ нѣкоторое время, напримѣръ во время раздѣляющее точки E и B, и потомъ сложить всѣ вмѣстѣ, то получится работа, соотвѣтствующая этому промежутку времени. Замѣтимъ что, въ этой суммѣ постоянная сила будетъ умножена на сумму проекцій всѣхъ малыхъ дугъ на діаметръ, то-есть на проекцію Eb всей дуги EB, описанной точкою B; такъ что, вообще, работа шатуна, соотвѣтствующая какой ни-есть дугѣ, равна проекціи ду-

ги, сдѣланной на отвѣсной діаметръ, помноженной на величину усилія производимаго шатуномъ. Слѣдственно, если это усиліе повторялось на протяженіи цѣлаго полуоборота ECG, то работа, обнаруженная въ это время, будетъ равна силѣ F, помноженной на діаметръ EG, то-есть, $2Fr$; здѣсь r есть длина плеча AD мотыля. — Теперь посмотримъ какимъ образомъ измѣняется элементарная работа, соотвѣтствующая послѣдовательнымъ, весьма малымъ дугамъ, равнымъ каждая BB'. Для этого, замѣтимъ что, опустивъ изъ точки B перпендикуляръ BD на горизонтальный радіусъ AC, получимъ треугольникъ $BB'B''$ и пропорцію: $BB'' : BB' = AB : AD$; изъ которой $BB'' = \frac{BB'}{AB} \cdot AD$; или $BB'' = \frac{s}{r} \cdot AD$; гдѣ s равно малой дугѣ BB'. Слѣдовательно, элементарная работа $F \times BB''$ выразится такъ: $F.\frac{s}{r}.AD$. Представивъ себѣ что вся полуокружность ECG раздѣлена на малыя дуги, равныя каждая s, и что изъ точекъ дѣленія опущены перпендикуляры на горизонтальный радіусъ AC. Легко увѣриться, что разстояніе AD, основанія каждаго перпендикуляра до центра A описываемаго круга, будетъ пропорціонально соотвѣтствующей элементарной работѣ, то-есть, будетъ такъ измѣняться, какъ измѣняется работа, обнаруживаемая на каждой малой дугѣ BB'. И въ самомъ-дѣлѣ, въ выраженіе этой работы входятъ величины F, s и r, постоянныя для каждой элементарной работы; остается лишь одно AD перемѣнное. — Когда шипъ B находится въ E, тогда длина AD равна нулю, равно какъ и элементарная работа мотыля. Начиная съ этой точки, до горизонтальнаго радіуса AC, перпендикуляръ AD увеличивается, и наконецъ дѣлается равнымъ r; тогда элементарная работа достигаетъ наибольшей величины, и, когда шипъ находится въ C, величина ея равна произведенію $\frac{F.s.}{r} \cdot r = Fs$. Ниже точки C перпендикуляръ AD

опять уменьшается, и въ точкѣ G вторично дѣлается равнымъ нулю. Поэтому, элементарная работа безпрестанно измѣняется, и отъ наибольшей своей величины Fs, въ точкѣ C, переходитъ къ нулю, въ G и E. Постараемся опредѣлить, на какомъ разстояніи AX слѣдовало-бы приложить силу F шатуна, съ тѣмъ, чтобъ она, дѣйствуя касательно къ кругу, описанному радіусомъ AX, могла произвести въ полъ-оборота ту-же самую работу, какую производитъ шатунъ. Назовемъ x величину радіуса AX. Работа соотвѣтствующая ему будетъ $F.\pi x$, между-тѣмъ какъ, работа шатуна равна $2rF$; и потому $2rF = F.\pi x$ или $x = \frac{2r}{\pi} = \frac{2r}{3,1416} = 0,637\ r$. То-есть, длина x, называемая среднимъ плечомъ мотыля, равна почти $^2/_3$ длины плеча. Вспомнимъ что, элементарная работа шатуна равна $F.\frac{s}{r}.AD$; въ случаѣ средняго плеча, она будетъ $F.\frac{s}{r}.0,637.r = F.0,637.s.$; изъ чего слѣдуетъ, что она пропорціональна произведенію $0,637.sF$; и потому, можно сократить вычисленія, относящіяся къ мотылю, замѣняя его колесомъ, котораго радіусъ равенъ $0,637.r$, и полагая что на него дѣйствуетъ сила F, касательно къ окружности. Такъ-какъ наибольшая элементарная работа шатуна пропорціональна Fs; наименьшая равна 0, и средняя $0,637.Fs$, то если принять первую за 1, вторая изобразится 0-мъ, третья-же 0,637. Слѣдовательно, разности между наибольшею элементарною работою и среднею, и между среднею и наименьшею, въ сравненіи съ наибольшею, принятою за единицу, будутъ: первая 1—0,637 или 0,363, вторая 0,637.

46. *Законъ измѣненія элементарной работы во вторую половину оборота.* — Теперь посмотримъ что бываетъ въ продолженіе втораго полуоборота GHE. Здѣсь могутъ быть три случая: 1. когда сила F совершенно переста-

нетъ дѣйствовать; 2. когда она будетъ дѣйствовать въ сторону противоположную первой; и 3. наконецъ, когда она будетъ дѣйствовать по тому-же направленію что и въ первую половину.

Въ первомъ случаѣ, который встрѣчается въ станкѣ съ подножкою и въ поршняхъ насосовъ простаго дѣйствія, вся работа силы равна $2Fr$; а работа той-же силы, приложенной къ среднему плечу x, во время цѣлаго оборота, будетъ $2\pi Fx$; и потому $2\pi xF = 2rF$; откуда $x = \frac{r}{\pi} = 0{,}318.\ r$. Наибольшая работа пропорціональна произведенію Fs, наименьшая равна 0, а средняя 0, 318. Fs; и потому, разность между наибольшею и среднею представится такъ: 1—0,318 или 0,682; а между среднею и наименьшею 0,318. Слѣдовательно, разность между наибольшею и среднею работою въ настоящемъ случаѣ, болѣе нежели въ предъидущемъ.

Во второмъ случаѣ, то-есть, когда сила F, во вторую половину оборота, дѣйствуетъ противоположно первой, работа соотвѣтствующая цѣлому обороту равна нулю, равно какъ и средняя эсементарная работа; слѣдственно и разности между наибольшею и среднею и между среднею и наименьшею работами представляются 1 и 0.

Въ третьемъ случаѣ, то-есть, когда направленіе силы F перемѣняется такъ, что она постоянно вращаетъ мотыль въ одну сторону, работа, обнаруженная во время цѣлаго оборота, равна $4rF$; и потому $4rF = 2\pi xF$; откуда $x = \frac{2r}{\pi} = 0{,}637.r$, то-есть та-же самая, что и въ томъ случаѣ, когда сила дѣйствуетъ въ продолженіе одного полуоборота. Разности между наибольшею и среднею, и между среднею и наименьшею работами, представляются числами 0,363 и 0,637; то-есть, наименьшая разность въ этомъ случаѣ равна наибольшей въ первомъ случаѣ.

Ко второму случаю очевидно относится дѣйствіе силы тяжести; потому-что, она направлена всегда въ одну сторону, и не производитъ никакой работы въ продолженіе всего оборота. Но какъ эта сила присоединяется всегда къ другой, дѣйствующей по направленію шатуна, то и слѣдуетъ разсмотрѣть вліяніе ея, на послѣдовательныя элементарныя работы.

47. *Вѣсъ частей принадлежащихъ къ мотылю.* — Назовемъ p вѣсъ шатуна и принадлежащихъ къ нему частей. Этотъ вѣсъ прибавляется къ силѣ F, или вычитается изъ нея, смотря-по-тому, дѣйствуетъ ли съ нею въ одну сторону или въ противную; и стало-быть, во время цѣлаго оборота, работа нисколько неизмѣнится, и вѣсъ p не будетъ имѣть вліянія, ни на среднее плечо мотыля, ни на среднюю элементарную работу; и какъ элементарная работа силы бываетъ равна нулю, когда шипъ занимаетъ отвѣсныя положенія, то-есть въ точкахъ E и G, то дѣйствіе вѣса p ограничится тѣмъ лишь только, что наибольшая элементарная работа Fs, соотвѣтствующая точкамъ C и H, сдѣлается болѣе или менѣе, смотря по направленію силы F.

Теперь легко понять что разности между наибольшею, среднею и наименьшею работами, силъ F и p, будутъ здѣсь болѣе чѣмъ въ предъидущихъ случаяхъ, когда было $p = 0$; и слѣдовательно, что здѣсь необходимо будетъ располагать составныя части шатуна равновѣсно относительно къ оси вращенія. Впрочемъ, это будетъ въ двухъ только случаяхъ; а именно: когда сила F будетъ дѣйствовать въ продолженіе обоихъ полуоборотовъ, или въ первую только половину, прибавляясь къ вѣсу p. Если-же сила F въ первую половину полуоборота направлена противуположно p, то будетъ совершенно другое. И въ самомъ-дѣлѣ: такъ какъ наибольшая величина элементарной работы соотвѣтствуетъ горизонтальному положенію плеча мотыля, то эта работа будетъ пропорціональ-

на $s\,(F—p)$ въ продолженіе перваго полуоборота, и величинѣ sp въ продолженіе послѣдняго; и потому, слѣдуетъ принять одну изъ этихъ величинъ за высшій предѣлъ элементарной работы; а именно: первую изъ нихъ, когда $F—p>p$, послѣднюю—когда $F—p<p$; или, смотря по тому, $F>$ или $<2p$. Выгоднѣйшій случай будетъ тогда, когда $s\,(F—p)$ будетъ равно sp, то-есть когда $p={}^1/_2F$; такъ что, наибольшая элементарная работа представится ${}^1/_2Fs$. Но и здѣсь, какъ въ первомъ случаѣ, средняя работа всегда пропорціональна $0{,}318.sF$, а наименьшая равна нулю. Разности между наибольшею, наименьшею и среднею будутъ 0,182 и 0,318; то-есть менѣе нежели въ предъидущихъ случаяхъ.

48. *Различіе между мотылями простаго и двойнаго дѣйствія.* — Мы сказали что сила приложенная къ шатуну дѣйствуетъ или въ продолженіи только одной половины оборота, или въ продолженіе всего оборота, измѣняя послѣ каждаго полуоборота свое направленіе. Отсюда происходитъ различіе между мотылями, въ этихъ двухъ случаяхъ: въ первомъ ихъ называютъ *мотылями простаго*, въ послѣднемъ — *двойнаго дѣйствія*. Можно составить себѣ понятіе о мотылѣ простаго дѣйствія, предположивъ что движитель тянетъ сверху внизъ, посредствомъ веревки, привязанной къ плечу мотыля; подобный движитель можетъ произвести одинъ лишь полуоборотъ, и неможетъ поднять мотыля во вторую половину оборота. Въ этомъ случаѣ, по необходимости, употребляютъ маховое колесо; иначе движеніе не могло-бы продолжаться послѣ перваго полуоборота. Но когда, вмѣсто веревки, дѣйствуетъ на мотыль несгибающійся шатунъ, тогда движитель можетъ на него дѣйствовать, равно снизу-вверхъ, какъ и сверху-внизъ. Мотыль, на который сила дѣйствуетъ въ продолженіе всего оборота, называется мотылемъ двойнаго дѣйствія.

49. *Дѣйствіе двойныхъ мотылей и выгоднѣйшее ихъ*

расположеніе. — Часто къ одной оси прилаживаютъ два мотыля, въ двухъ различныхъ точкахъ, и по противоположнымъ направленіямъ. Когда оба мотыля помѣщены въ одной плоскости, проходящей черезъ ось вращенія, тогда подобное расположеніе не можетъ уравнять вращательнаго движенія, сообщаемаго шатуну силою, постоянною по величинѣ и по направленію. Для уравненія, необходимо располагать мотыли въ двухъ плоскостяхъ, пересѣкающихся на оси подъ нѣкоторымъ угломъ. Оба мотыля помѣщаются на одномъ валѣ, или валъ изгибается двумя колѣнами, замѣняющими собою мотыли, и поддерживается въ трехъ точкахъ. Положимъ что два мотыля составляютъ между собою нѣкоторый уголъ, и посмотримъ выгодно-ли одну движущую силу замѣнять двумя, равными и параллельными, приложенными къ двумъ мотылямъ. Назовемъ F каждую изъ силъ; положимъ что онѣ дѣйствуютъ посредствомъ шатуновъ, въ продолженіе одного только полуоборота; то дѣйствіе ихъ будетъ также неправильнымъ, какъ если-бы сила, равная $2F$, была приложена къ простому мотылю, у котораго плечо было-бы равно плечу двойнаго *(Чер. 100)*: потому что, равнодѣйствующая $2F$ двумъ первымъ можетъ быть разсматриваемая приложенною къ срединѣ J хорды BB', соединяющей два шипа, проектированные на одну плоскость, и хотя эта равнодѣйствующая дѣйствуетъ на плечо AJ меньшее нежели каждое изъ плечъ AB и AB', за-всѣмъ-тѣмъ, работы будутъ отклоняться отъ средней совершенно такъ, какъ и въ случаѣ простаго мотыля. Слѣдовательно, когда двѣ равныя силы дѣйствуютъ на двойной мотыль, въ продолженіе половины оборота, то работа бываетъ также неправильною какъ и въ случаѣ силы равной суммѣ двухъ данныхъ, дѣйствующей на простой мотыль. Но если каждая изъ двухъ силъ F дѣйствуетъ во время цѣлаго оборота, то-есть, если оба мотыля двойнаго дѣйствія, то можно пріискать уголъ наклоненія двухъ мо-

тылей, при которомъ неправильность будетъ наименьшая. Пусть будутъ AB, AB' *(Чер. 101)* два плеча двойнаго мотыля, на который дѣйствуютъ одинаковыя двѣ силы въ продолженіе всего оборота; пусть BAB' будетъ неизмѣнный уголъ, составляемый двумя плечами. Не трудно удостовѣриться что элементарная работа обѣихъ силъ F будетъ наибольшая, въ положеніяхъ отвѣсныхъ и горизонтальныхъ хоры BB', и что наименьшая ея величина будетъ соотвѣтствовать четыремъ симметрическимъ положеніямъ, въ которыхъ плечо AB или AB' совпадаетъ съ отвѣсною линіею. Замѣтимъ что если назвать s элементарную дугу и r радіусъ AB, то наибольшія элементарныя работы обѣихъ силъ выразятся такъ: $2F.\frac{s}{r}.AJ$ и $2F.\frac{s}{r}.BJ$; и когда первое выраженіе сдѣлается очень большимъ, то-есть, когда AJ весьма большое, тогда величина BJ, равно какъ и вторая величина высшаго предѣла элементарной работы, будутъ очень малыми. Слѣдственно, отклоненія этихъ двухъ предѣловъ отъ средней элементарной работы будутъ наименьшими тогда, когда $AJ = BJ$, то-есть когда уголъ BAB' прямой. Въ этомъ случаѣ $AJ = BJ = \frac{AB}{\sqrt{2}}$, и высшіе предѣлы элементарной работы становятся равными оба: $2F.\frac{s}{r}.\frac{r}{\sqrt{2}}$. Относительно четырехъ низшихъ предѣловъ элементарной работы, понятно что они, въ случаѣ прямаго угла BAB', равны $F.\frac{s}{r}.r$. Что-бы получить среднюю работу, надобно замѣтить, что во время цѣлаго оборота, движущія силы обнаруживаютъ работу $2F.4r$, и когда тѣ-же силы приложены къ окружности, которой радіусъ равенъ x, то ихъ работа равна $2F.2\pi x$, и потому будетъ $x = \frac{2r}{\pi}$

$= 0{,}6366.\ r$. Слѣдовательно, средняя работа представится такъ: $2F \times 0{,}6366s$. Если сравнимъ наибольшую и наименьшую работу съ среднею, то найдемъ что отклоненія первыхъ отъ послѣдней, принятой за единицу, будутъ почти $\frac{1}{9}$ и $\frac{1}{8}$. Стало-быть, двойные мотыли, расположенные подъ прямымъ угломъ, весьма выгодны для правильности движенія.

50. *Дѣйствіе и неудобства тройныхъ мотылей.* — Возьмемъ тройной мотыль, котораго плечи AB, AB', AB'', раздѣляютъ окружность (*Чер. 102*), въ проекціи перпендикулярной къ оси, на три равныя части, и къ которымъ приложены три равныя силы F, дѣйствующія въ продолженіе одной только половины оборота EBG. Можно удостовѣриться: что элементарная работа всѣхъ трехъ силъ бываетъ наибольшею или наименьшею, когда одно изъ плечъ имѣетъ горизонтальное или отвѣсное направленіе; что среднее плечо мотыля получается изъ уравненія $6.Fr. = 2\pi xF$, откуда $x = \frac{3r}{\pi} = 0{,}955.r$; и, наконецъ, что средняя работа отклоняется отъ наибольшей только на $\frac{1}{12}$; а отъ наименьшей на $\frac{1}{11}$; — если только всѣ части принадлежащія къ мотылямъ взаимно уравновѣшиваются, относительно къ оси A. Когда силы дѣйствуютъ въ оба полуоборота каждаго плеча, тогда наибольшая и наименьшая элементарныя работы бываютъ тогда, когда одно изъ плечъ становится послѣдовательно горизонтальнымъ и отвѣснымъ; среднее плечо мотыля находится изъ уравненія $6\pi xF = 2rF$, откуда $x = \frac{2r}{\pi} = 0{,}6366.r$; средняя работа пропорціональна 1,910, наибольшая работа пропорціональна 2, а наименьшая 1,732. Слѣдовательно, отклоненія этихъ послѣднихъ отъ средней, принятой за единицу, представляются дробями $\frac{1}{12}$ и $\frac{1}{15}$. Такимъ образомъ, въ тройныхъ мотыляхъ двойнаго дѣйствія, движеніе бываетъ почти равномѣрнымъ, то-есть,

почти такое, какимъ было-бы, если-бы силы дѣйствовали касательно къ колесу. Но подобнаго рода мотыли рѣдко употребляются, потому что, чрезвычайно-трудно расположить по прямой линіи точки подпоры вала, когда ихъ бываетъ болѣе двухъ. (Въ случаѣ трехъ колѣнъ вала, необходимо имѣть по-крайней-мѣрѣ четыре подпорныя точки).

51. *Маховое колесо для мотыля двойнаго дѣйствія.* — Займемся опредѣленіемъ вѣса и размѣровъ маховаго колеса, для уравненія движенія, сообщаемаго валу простымъ мотылемъ, двойнаго дѣйствія.

Пусть будетъ F движущая сила, дѣйствующая на шатунъ постоянно, въ продолженіе цѣлаго оборота, A валъ *(Чер. 103)*, M зубчатое колесо сцѣпляющееся съ колесомъ N и сообщающее движеніе разнымъ частямъ машины. Назовемъ Q сопротивленіе, противопоставляемое колесомъ N, то-есть противодѣйствіе, происходящее, не только отъ полезныхъ, но и отъ всѣхъ вредныхъ сопротивленій. Разсматривая машину въ движеніи, пренебрежемъ инерцію колеса M и другихъ движущихся частей, въ сравненіи съ инерціею маховаго колеса, которое предполагается насаженнымъ на валъ A.

Извѣстно (§. 45) что, при передачѣ движенія шатуномъ и мотылемъ, элементарная работа силы F безпрестанно перемѣняется, такъ что въ точкахъ E и G она равна нулю, а въ точкахъ C и H' самая большая. Положимъ что сопротивленіе Q неперемѣняется, по величинѣ и направленію, въ продолженіи цѣлаго оборота, и элементарная работа его постоянно одна и та-же. Скорость вала A и всей машины будетъ безпрестанно перемѣняться: она будетъ возрастать до тѣхъ поръ, пока элементарная работа силы F болѣе работы сопротивленія Q, и сдѣлается наибольшею въ то мгновеніе, когда эти работы сдѣлаются равными между собою. Въ-слѣдъ-за-тѣмъ, при уменьшающейся работѣ движущей силы, скорость ма-

шины будетъ уменьшаться, и сдѣлается наименьшею въ то мгновеніе, когда работы силъ F и Q вторично сдѣлаются равными между собою. Все это повториться при каждомъ оборотѣ вала A. Съ перемѣною скорости вала, будетъ перемѣняться, періодически, скорость маховаго колеса. Можно опредѣлить вѣсъ и размѣры его, такимъ образомъ, что наибольшая и наименьшая скорости вала будутъ разниться весьма мало между собою.

Очевидно что, въ случаѣ періодическаго движенія машины, работа силы F, въ продолженіи цѣлаго оборота, должна-быть равна работѣ сопротивленія Q; иначе, если-бы первая была болѣе послѣдней, то, послѣ каждаго оборота, скорость возрастала-бы; а если-бы работа силы F была менѣе работы сопротивленія Q, то движеніе немогло-бы вовсе существовать. Называя r плечо мотыля, получимъ работу силы F, при цѣломъ оборотѣ, $F.4r$. Работа сопротивленія Q, дѣйствующаго касательно къ колесу M, котораго радіусъ равенъ R, будетъ $Q.2\pi R$, и стало-быть:

$$F.4r = Q.2\pi R$$

отсюда $$Q = \frac{2Fr}{\pi R} \ldots\ldots (1)$$

Такую величину имѣетъ сопротивленіе Q, въ случаѣ періодическаго, равномѣрнаго, движенія машины.

Для опредѣленія положеній мотыля, соотвѣтствующихъ наибольшей и наименьшей скорости вала и маховаго колеса, положимъ что шипъ мотыля находится въ точкѣ E, и вращается слѣва вправо; очевидно что, въ этомъ положеніи, элементарная работа силы равна нулю. Потомъ, при продолжающемся движеніи, работа движущей силы увеличивается; но какъ, въ первыя мгновенія, она менѣе работы сопротивленія, то скорость машины уменьшается, и становится наименьшею, когда шипъ придетъ въ нѣкоторую точку B, гдѣ элементарныя работы силъ F и Q

равны между собою. Элементарная работа силы F выражается (§. 45) такъ

$$F\frac{s}{r}\cdot AD.$$

Въ то время когда шипъ пройдетъ малую дугу $bB = s$, точка приложенія сопротивленія Q пробѣжитъ по окружности M дугу $lL = \frac{R}{r}s$, и стало-быть элементарная работа силы Q будетъ

$$Q\frac{R}{r}s.$$

Изъ уравненія

$$F\frac{s}{r}\cdot AD = Q\frac{R}{r}s$$

опредѣлимъ положеніе шипа мотыля, соотвѣтствующее наименьшей скорости. Для этого, замѣнимъ Q прежде найденною величиною (1) и выведемъ

$$AD = \frac{2r}{\pi} = 0{,}6366.r.$$

Когда шипъ оставитъ точку B, тогда элементарная работа силы сдѣлается болѣе работы сопротивленія, и, въ слѣдствіе этого, скорость машины начнетъ увеличиваться. Въ точкѣ C элементарная работа силы F будетъ имѣть наибольшую величину; далѣе эта работа будетъ постепенно уменьшаться, но скорость вала все еще будетъ возрастать и сдѣлается наибольшею, когда шипъ займетъ нѣкоторое положеніе B', подъ горизонтальнымъ радіусомъ AC, гдѣ элементарныя работы силъ F и Q будутъ равны между собою. Поэтому, положеніе точки B' опредѣлится по тому-же самому условію что и точки B, то-есть по уравненію: $F\frac{s}{r}\cdot AD = Q\frac{R}{r}s$

изъ котораго $AD = 0{,}6366.\ r.$

Стало-быть, обѣ точки B и B', соотвѣтствующія, одна наименьшей другая наибольшей скорости вала A и маховаго колеса, находятся на одной хордѣ BB', перпендикулярной къ горизонтальному радіусу AC, въ разстояніи отъ центра равномъ 0,6366. r, или почти $^2/_3$ r.

Такимъ точно образомъ можно удостовѣриться что въ другую половину оборота, наименьшая и наибольшая скорости соотвѣтствуютъ двумъ положеніямъ шипа B'' и B''', на одной хордѣ $B''B'''$, перпендикулярной къ горизонтальному радіусу AH', въ разстояніи отъ центра равномъ 0,6366. r, или почти $^2/_3$ r.

Для опредѣленія вѣса маховаго колеса, разсмотримъ промежутокъ, раздѣляющій два положенія шипа: B и B', и назовемъ V наибольшую, v наименьшую скорость обода маховика, считаемую на концѣ средняго радіуса, P искомый вѣсъ обода. Выраженіе $\frac{P}{2g}(V^2 - v^2)$ представитъ приращеніе живой силы, полученное маховымъ колесомъ, въ то время, когда шипъ изъ положенія B перейдетъ въ положеніе B'.

Работа, обнаруженная силою F, въ то-же время, будетъ:

$$F \times \text{хорд. } BB'.$$

Работа сопротивленія Q выразится произведеніемъ

$$Q \times \text{дугу } BB' \times \frac{R}{r};$$

потому что, въ то время какъ шипъ проходитъ дугу BB', точка приложенія сопротивленія описываетъ дугу, подобную ей, радіусомъ R.

По закону живыхъ силъ (Ч. I. § 96)

$$\frac{P}{2g}(V^2 - v^2) = F \times \text{хорд. } BB' - Q \times \text{дугу } BB' \times \frac{R}{r}.$$

Но хорда $BB' = 2BD = 2\sqrt{AB^2 - AD^2} = 2\sqrt{r^2 - (0{,}6366.r)^2} = 2r.0{,}7712 = 1{,}5424.\ r$,

слѣдовательно: $F \times \text{хорд. } BB' = 1{,}5424.\ Fr.$

Для опредѣленія работы сопротивленія, вычислимъ дугу BB', по извѣстной хордѣ. Съ этою цѣлью, построимъ прямоугольный треугольникъ, котораго катеты были-бы: 0,6366 и 0,7712. Уголъ противоположный первому и, стало-быть, равный углу BAD, будетъ почти $50°\frac{1}{2}$; слѣдовательно, уголъ BAB' будетъ почти 101° и

$$\text{дуга } BB' : 2\pi r = 101 : 360,$$

откуда: $$\text{дуга } BB' = 0{,}5611.\ \pi r,$$

и работа сопротивленія

$$Q.\frac{R}{r}\cdot\ 0{,}5611.\ \pi.\ r,\ \text{или}\ 0{,}5611.\ \pi\ Q.\ R.$$

Замѣняя Q величиною, выведенною изъ уравненія (1), получимъ

$$1{,}1222.\ Fr;$$

и уравненіе живыхъ силъ приметъ слѣдующій видъ:

$$\frac{P}{2g}(V^2 - v^2) = 1{,}5424.\ Fr - 1{,}1222.\ Fr = 0{,}4202.Fr\ \ldots\ (2)$$

Назовемъ V' среднюю скорость маховаго колеса. Положимъ что требуется уравнять движеніе до $\frac{1}{n}$, то-есть устроить такъ, чтобы предѣльныя скорости неразнились отъ средней болѣе какъ на $\frac{V'}{n}$; то наибольшая скорость маховаго колеса будетъ

$$V = V' + \frac{V'}{n},$$

а наименьшая $v = V' - \frac{V'}{n}$;

отсюда выведемъ: $V^2 - v^2 = \frac{4V'^2}{n}$,

и $$P = \frac{0{,}2101.\ Fr.g.n}{V'^2}$$

Силу F можно выразить посредствомъ числа лошадей, представляющаго собою работу движителя, и числа m оборотовъ вала въ 1 минуту. Дѣйствительно, такъ-какъ работа движущей силы F, при одномъ оборотѣ, равна $4Fr$, то въ секунду, при $\frac{m}{60}$ оборотахъ, она будетъ равна $\frac{4Fr.m}{60}$, или $\frac{mFr}{15}$. Называя N число лошадей (каждую въ 15 п. ф. въ 1″), представляющее работу движителя, получимъ $\frac{mFr}{15} = 15.N$; откуда

$$Fr = \frac{225.N}{m}.$$

Замѣняя Fr, найденною величиною, и дѣлая $g = 32{,}17$ получимъ

$$P = \frac{1520.n.N}{m.V'^2}.$$

По этой формулѣ вычисляютъ вѣсъ обода маховика. Такъ напримѣръ, если $N = 40$; $V' = 20$ фут.; $n = 30$; $m = 20$, то $P = 228$ пудъ.

Изъ выведенной формулы видно: что при одной и той-же силѣ машины, вѣсъ маховаго колеса P будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе n, то-есть, чѣмъ менѣе измѣненія скорости; такъ что, можно сдѣлать эти измѣненія почти неощутительными, придавая P большую величину. Но какъ съ увеличеніемъ вѣса маховаго колеса увеличиваются давленія на подпорныя точки и треніе, то невыгодно дѣлать P слишкомъ большимъ. Вообще, степень правильности движенія, то-есть величина n, зависитъ отъ цѣли для которой предназначается машина.

Приведемъ здѣсь нѣсколько формулъ, по которымъ опредѣляютъ вѣсъ маховаго колеса, въ случаяхъ чаще встрѣчающихся въ практикѣ, при передачѣ движенія валу мотылемъ двойнаго дѣйствія.

Маховыя колеса паровыхъ машинъ. Вѣсъ маховаго колеса паровой машины обыкновеннаго давленія и машинъ усиленнаго давленія съ расширеніемъ пара и холодильникомъ опредѣляется по формулѣ:

$$P = \frac{3060.nN}{mV'^2}$$

гдѣ P, n, N, m, V' имѣютъ прежнія значенія. Число n берется различно: отъ 20 до 60; а именно:

n=20 до 25 въ паровыхъ машинахъ, назначаемыхъ для работъ не требующихъ большой правильности, какъ то случается при распилкѣ, при размолѣ хлѣба и при выкачаніи воды.

n=35 до 40 въ прядильныхъ машинахъ, для приготовленія бумажной пряжи отъ 40-го до 60-го нумера;

n=50 до 60 въ прядильныхъ, для приготовленія самой тонкой пряжи.

Маховыя колеса для молотовой обработки металловъ. 1. Вѣсъ обода маховаго колеса, насаживаемаго на кулачный валъ, приводящій въ движеніе *кричный молотъ* опредѣляется по формуламъ:

$P = \frac{13200}{R^2}$, для молотовъ вѣсомъ отъ 180 до 220 пудъ

$P = \frac{19800}{R^2}$, для молотовъ отъ 245 до 300 пудъ. Здѣсь R средній радіусъ обода.

Кричные молоты совершаютъ отъ 70 до 80 ударовъ въ 1′, и вѣсъ ихъ съ молотовищемъ бываетъ отъ 180 до 300 пудъ.

2. Вѣсъ маховаго колеса для *колотушечнаго молота*, совершающаго отъ 150 до 200 ударовъ въ 1′, опредѣляется по формуламъ:

$P = \frac{5940}{R^2}$, для молотовъ въ 30 пудъ

$P = \frac{3960}{R^2}$, для молотовъ въ 20 пудъ.

3. *При пильныхъ машинахъ*, предназначаемыхъ для распилки толстыхъ бревенъ, и совершающихъ отъ 80 до 90 подъемовъ въ 1', достаточно придавать ободу маховика, насаживаемаго на валъ мотыля, вѣсъ, опредѣляемый формулою

$$P = \frac{19800}{V^2} \text{ пудъ};$$

гдѣ V скорость средней окружности обода въ 1".

4. *При катальныхъ станахъ*, для выдѣлки полосоваго и листоваго желѣза, вѣсъ обода маховаго колеса опредѣляется по формулѣ

$$P = \frac{85630.N.k}{mV^2} \text{ пудъ.}$$

въ которой N работа (въ лошадяхъ), сообщаемая движителемъ валу маховика;

V средняя скорость, по средней окружности маховаго колеса;

m число оборотовъ, совершаемыхъ вальками въ 1';

k коэфиціентъ, принимающій различныя всличины; а именно:

$k = 20$ для машинъ отъ 80 до 100 лошадей, приводящихъ въ движеніе отъ 6 до 8 станковъ, для выдѣлки полосоваго или листоваго желѣза.

$k = 25$ для машинъ силою въ 60 лощадей, приводящихъ въ движеніе отъ 4 до 6 станковъ, для прокатыванія желѣзныхъ полосъ.

$k = 80$ для машинъ, силою отъ 30 до 40 лошадей, приводящихъ движеніе одинъ станъ, для толстаго листоваго желѣза или два для тонкаго.

б). *Зубчатыя зацѣпленія.*

52. *Названіе сцѣпляющихся частей.* — Вѣрнѣйшее средство къ достиженію равномѣрнаго движенія въ машинахъ,

состоитъ въ передачѣ движенія посредствомъ круго-вращающихся частей.

Для сообщенія вращательнаго движенія отъ одного вала другому, можно употреблять блоки или барабаны, обернутые ремнями, цѣпями или веревками. Но самая правильная передача движенія дѣлается посредствомъ зубчатыхъ *зацѣпленій*; то-есть, посредствомъ зубчатыхъ ободьевъ или прямыхъ полосъ, взаимно сцѣпляющихся. Двѣ части машины, спѣпляющіяся посредствомъ зубцовъ, составляютъ зубчатое-зацѣпленіе. Части входящія въ составъ зацѣпленія принимаютъ различныя названія, смотря по своей формѣ, размѣрамъ и назначенію. Начнемъ съ поясненія этихъ названій.

Когда спѣпляются два неравныя зубчатыя колеса, то, большее изъ нихъ называется *зубчатымъ колесомъ*, а меньшее *шестернею*. Высталости на ободьяхъ, которыми колеса взаимно задѣваются, называются *зубцами*; но если зубцы вставляются въ ободья, тогда ихъ называютъ *пальцами*.

Когда зубцы колеса помѣщены въ его плоскости, то-есть, на продолженіи радіусовъ, тогда колесо называется *гребневымъ*; если-же зубцы вдѣланы въ ободъ перпендикулярно къ плоскости колеса, то колесо называется *лобовымъ*.

Шестерня можетъ имѣть видъ обыкновеннаго зубчатаго колеса, или дѣлается изъ двухъ кружковъ, которые насаживаются на валъ параллельно одинъ другому, и соединяются между собою деревянными или металлическими цилиндрами. Эти цилиндры называются *цѣвками*, а шестерня, въ этомъ случаѣ, принимаетъ названіе *цѣвочной шестерни*.

Когда цѣль зацѣпленія состоитъ въ произведеніи перемежнаго возвратнаго движенія, тогда зубцы имѣютъ гораздо-большіе размѣры, нежели при непрерывномъ за-

цѣпленіи, и въ этомъ случаѣ зубцы называются *кулаками*, а зацѣпленіе — *кулачнымъ зацѣпленіемъ*.

При зацѣпленіи колеса съ зубчатою полосою, эта послѣдняя принимаетъ названіе *зубчатой рейки*.

Когда оси двухъ задѣвающихся колесъ параллельны между собою и, слѣдственно, когда колеса заключены между двухъ плоскостей, перпендикулярныхъ къ осямъ, тогда зацѣпленіе называется *прямымъ* или *цилиндрическимъ*; если-же оси колесъ пересѣкаются, то зацѣпленіе называется *наклоннымъ* или *коническимъ*: потому-что въ первомъ случаѣ ободья колесъ имѣютъ видъ цилиндровъ, а въ послѣднемъ конусовъ.

53. *Прямое зацѣпленіе. Величина радіусовъ. Условія зацѣпленія.* — Посредствомъ зацѣпляющихся колесъ движеніе должно передаваться точно такимъ образомъ, какъ если-бы два обода, безъ зубцовъ, катились, не скользя, одинъ по другому. Для опредѣленія радіусовъ двухъ такихъ ободьевъ, достаточно знать разстояніе центровъ колесъ и отношеніе между угловыми скоростями, или, что все равно, между числами оборотовъ, дѣлаемыхъ колесами въ одно время. Такъ напримѣръ, если CC' *(Чер. 104)* представляетъ разстояніе двухъ центровъ, m и n суть числа оборотовъ дѣлаемыхъ колесами C и C' въ одно время, то, для опредѣленія радіусовъ, CT и CT', которые означимъ черезъ R и R', стоитъ лишь раздѣлить CC' на двѣ части, обратно-пропорціональныя числамъ m и n (Часть I. §. 159); потому-что $R : R' = n : m$. Не трудно опредѣлить величину радіусовъ, по извѣстному разстоянію $CC' = a$. Для этого, предъидущую пропорцію напишемъ такъ:

$$R + R' : R = n + m : n$$

или $a : R = n + m : n$ откуда $R = \frac{a.n}{n + m}$;

и $$R' = a - R.$$

Такъ напримѣръ: если $a = 5$ фут.; $m = 10$; $n = 6$;

то $R = \frac{5 \times 6}{16} = \frac{30}{16} = 1^7/_8$ фут.

$$R' = 5 - 7^7/_8 = 3^1/_8 \text{ ф.}$$

Опредѣленные, по этому способу, радіусы называются *радіусами начальныхъ круговъ*; потому-что, обыкновенно съ нихъ начинаютъ черченіе зацѣпленія.

Если на оси C и C' насадить барабаны, равные этимъ кругамъ, и одинъ изъ нихъ, напримѣръ C, привести въ движеніе, то онъ увлечетъ съ собою другой, вращая его на оси C'. Понятно, что числа оборотовъ, дѣлаемыхъ барабанами въ одно время, будутъ обратно-пропорціональны ихъ радіусамъ.

Для замѣненія барабановъ зубчатыми колесами, которыхъ скорости были-бы пропорціональны скоростямъ барабановъ, помѣщаютъ зубцы, не на начальныхъ кругахъ, но на особыхъ ободьяхъ, ближе къ центрамъ вращенія, и сверхъ того продолжаютъ зубцы нѣсколько за начальные круги. Та часть зубца, которая выходитъ за начальную окружность называется *выступомъ;* а другая часть, между окружностью и центромъ, — *впадиною:* начальная окружность отдѣляетъ впадины зубцовъ отъ выступовъ.

Прямое зацѣпленіе двухъ зубчатыхъ колесъ подчиняется слѣдующимъ условіямъ:

1-е. Зубцы одного и того-же колеса всѣ должны быть равны между собою.

2-е. На обоихъ колесахъ зубцы должны быть размѣщены одинаково.

3-е. Внѣшняя форма каждаго зубца должна быть симетрическая, относительно къ средней линіи зубца.

4-е. Зубцы одного колеса должны начинать дѣйствовать на зубцы другаго колеса только тогда, когда придутъ на центровую линію CC'.

5-е. Наконецъ, кривыя поверхности, посредствомъ которыхъ зубцы двухъ колесъ дѣйствуютъ другъ на друга, должны имѣть такую форму, что-бы скорости вращенія колесъ были пропорціональны тѣмъ, какія были-бы при вращеніи одного начальнаго круга по другому, отъ взаимнаго прикосновенія.

Разсмотримъ эти условія послѣдовательно.

1-е условіе. Простота рѣшенія и удобство выполненія требуютъ, что-бы зубцы одного и того-же колеса всѣ были равны между собою и одинаково расположены по всему ободу; но нѣтъ надобности, чтобы толщина зубцовъ, то-есть, измѣреніе считаемое по начальной окружности, была одинакова на обоихъ колесахъ; напротивъ того, если одно колесо сдѣлано изъ дерева, а другое изъ чугуна, то зубцы перваго могутъ быть толще. Равнымъ образомъ, зубцы колеса, имѣющаго бо́льшую скорость, должны быть толще, потому-что они болѣе обтираются.

2-е условіе. Разстояніе, считаемое по начальной окружности, отъ основанія одного зубца до основанія слѣдующаго за нимъ, называется *шагомъ зацѣпленія*. Для всѣхъ зубцовъ шагъ зацѣпленія долженъ быть одинаковъ, не только на одномъ и томъ-же колесѣ, но и на обоихъ зацѣпляющихся колесахъ; въ противномъ случаѣ, при послѣдовательномъ зацѣпленіи, зубцы не могли-бы проходить свободно, потому-что пространства описываемыя начальными кругами, въ одно время, не были-бы равны между собою. Слѣдствіемъ этого условій будетъ то, что числа зубцовъ на двухъ колесахъ пропорціональны радіусамъ начальныхъ круговъ. Если R и R' суть радіусы двухъ колесъ, N и N' числа зубцовъ, то $R : R' = N : N'$. При взаимномъ зацѣпленіи колесъ, зубцы одного помѣщаются въ промежуткахъ между зубцами другаго; поэтому необходимо дѣлать эти промежутки нѣсколько болѣе толщины зубцовъ, то-есть, оставлять небольшой *запасъ*.

Онъ бываетъ около $^1/_{12}$ толщины вмѣщающагося зубца, въ тщательно-сдѣланныхъ, металлическихъ, колесахъ; въ деревянныхъ-же доходитъ до $^1/_6$. Такимъ образомъ, промежутокъ между зубцами колеса равняется толщинѣ зубцовъ другаго колеса, сложенной съ запасомъ; а шагъ зацѣпленія равенъ суммѣ толщинъ зубцовъ на двухъ колесахъ сложенной съ запасомъ.

3-е условіе. Такъ-какъ нерѣдко случается, что колеса вращаются попеременно, то въ одну, то въ другую сторону, и задѣвающее колесо становится само задѣваемымъ, то необходимо придавать боковымъ гранямъ зубцовъ совершенно одинаковыя формы и располагать ихъ симетрически, относительно къ средней линіи каждаго зубца.

4-е условіе. Когдя зубцы двухъ колесъ приближаются къ центровой линіи, тогда они идутъ другъ другу на встрѣчу; когда-же послѣ сцѣпленія, перейдутъ за центровую линію, тогда начинаютъ удаляться одинъ отъ другаго. Необходимо устроить такимъ образомъ, что-бы зубцы не могли дѣйствовать другъ на друга прежде центровой линіи; иначе, концы зубцовъ, встрѣтившись, сопрутся и должны будутъ или пріостановить движеніе, или сломаться. Изъ этого слѣдуетъ, что форма зубцовъ несовершенно произвольна. Неограничиваютъ зубцовъ вогнутыми поверхностями, непридаютъ имъ формы прямоугольниковъ или трапецій, не потому, что-бы при этихъ формахъ движеніе не могло передаваться, но что тогда зубцы взаимно бы спирались, прежде центровой линіи.

5-е условіе. Боковыя грани зубцовъ должны быть ограничены выпуклыми поверхностями, чтобы при сцѣпленіи колесъ могли взаимно соприкасаться; и форма ихъ должна быть опредѣлена такимъ образомъ, что-бы скорости вращенія двухъ колесъ оставались всегда въ неизмѣнномъ отношеніи, то-есть *въ такомъ, въ какомъ находятся скорости начальныхъ круговъ.* Впрочемъ, этому условію можно удовлетворить многими способами: такъ что

стоитъ задать себѣ произвольную кривую, ограничивающую зубцы одного колеса, напримѣръ колеса C' (*Чер. 105*), и всегда можно пріискать для зубцовъ другаго колеса C, кривую, которую первая будетъ вести точно такъ, какъ если бы два начальныхъ круга катились одинъ по другому. Въ самомъ-дѣлѣ, положимъ что $a'mb'$ представляетъ кривую, прикрѣпленную къ ободу C', и amb соотвѣтствующую ей кривую на другомъ колесѣ. Можно доказать что, для удовлетворенія предъидущему условію, необходимо чтобы нормальная общая обѣимъ кривымъ, въ точкѣ m ихъ соприкасанія, проходила черезъ точку T касанія начальныхъ круговъ, при всякомъ положеніи двухъ кривыхъ amb и $a'mb'$. И въ-самомъ-дѣлѣ, такъ-какъ сопротивленіе, представляемое движимымъ колесомъ, равно и противоположно силѣ F движущаго колеса, то элементарныя работы силы и сопротивленія, по направленію общей нормальной mT, должны быть равны между собою. Такъ что, называя s_1 и s'_1 малыя дуги, описанныя на двухъ колесахъ, радіусами равными единицѣ, получимъ:

$$F \times CK \times s_1 = F \times C'K' \times s'_1$$

откуда $\frac{CK}{C'K'} = \frac{s'_1}{s_1}$. Называя m и n, числа оборотовъ двухъ колесъ въ одно время, и замѣчая, что они пропорціональны угловымъ скоростямъ колесъ, или, что все равно, дугамъ s_1 и s'_1, получимъ:

$$CK : C'K' = n : m.$$

Такъ-какъ, по предположенію, угловыя скорости и числа оборотовъ двухъ колесъ должны оставаться въ неизмѣнномъ отношеніи, то и линіи CK и $C'K'$ должны быть постоянно въ томъ-же отношеніи. Но извѣстно что радіусы начальныхъ круговъ Ct и $C't$ находятся также въ обратномъ отношеніи чиселъ m и n, то-есть, что:

$$Ct : C't = n : m;$$

слѣдственно: $$CK : C'K' = Ct : C't.$$

Эта пропорція показываетъ что нормальная mt, общая двумъ кривымъ, amb и $a'mb'$, въ точкѣ ихъ касанія m, проходитъ постоянно черезъ точку t касанія двухъ начальныхъ круговъ.

И такъ, по данной кривой, ограничивающей зубцы одного колеса, можно найти ту, какая должна ограничивать зубцы другаго колеса, опредѣливъ форму ея такимъ образомъ, *чтобы нормальныя, общія обѣимъ кривымъ, въ послѣдовательныхъ точкахъ касанія, проходили постоянно черезъ точку касанія начальныхъ круговъ.*

54. *Общій способъ черченія кривыхъ линій, ограничивающихъ зубцы.* — Удовлетворяя послѣднему условію, рѣшаютъ слѣдующимъ образомъ вопросъ о формѣ зубцовъ одного колеса, по данной кривизнѣ зубцовъ другаго колеса.

Взявъ двѣ досечки, обрѣзанныя по кривизнѣ двухъ начальныхъ круговъ, прикладываютъ ихъ касательно одну къ другой; потомъ къ кругу, котораго кривизна зубцовъ извѣстна, прикрѣпляютъ лекало, то-есть планку, обрѣзанную по данной формѣ; другое колесо утверждаютъ неподвижно. За-тѣмъ, по неподвижной окружности вращаютъ кругъ, при которомъ находится лекало, и очерчиваютъ карандашемъ послѣдовательныя положенія лекала; кривая, касательная ко всѣмъ этимъ положеніямъ, будетъ искомою. При употребленіи этого способа въ практикѣ, для предупрежденія скольженія одного круга по другому, надобно соединить два центра брускомъ, который бы могъ вращаться свободно на осяхъ двухъ колесъ, и обтянуть ободъ движущагося круга полоскою пергамента, прикрѣпляя концы ея къ окружностямъ обоихъ круговъ. Впрочемъ, этотъ способъ довольно-затрудителенъ въ практикѣ, и нельзя ожидать отъ него надлежащей точности.

Слѣдующій, графическій, способъ примѣняется удобно ко всевозможнымъ формамъ, какія могутъ быть приняты для зубцовъ одного изъ двухъ колесъ *(Чер. 106)*. Поло-

жимъ что aTb представляетъ кривую линію ограничивающую зубцы колеса C', и $a'tb'$ другую такую-же кривую, въ разстояніи отъ первой равномъ шагу зацѣпленія Tt', считая по начальной окружности; положимъ также, что Tt представляетъ тотъ-же шагъ зацѣпленія на окружности C, и что зубцы двухъ колесъ начинаютъ взаимно дѣйствовать другъ на друга, не прежде центровой линіи. Раздѣлимъ дуги Tt и Tt' на одинаковое число равныхъ частей, напримѣръ на три. Такимъ образомъ получимъ на первой точки дѣленій: T, 1, 2 и t; на второй: T, 1', 2' и t'. Изъ точки T, какъ изъ центра, начертимъ дугу круга радіусомъ, равнымъ наименьшему разстоянію этой точки до кривой линіи $a'tb'$. Найдемъ наименьшее разстояніе дѣленія 1' на дугѣ Tt', до кривой линіи $a'tb'$, и изъ соотвѣтствующей точки 1, на дугѣ Tt, опишемъ новую дугу круга. Изъ точки 2, взятой на дугѣ Tt, опишемъ третью дугу круга, радіусомъ равнымъ наименьшему разстоянію дѣленія 2' до кривой $a'tb'$. Зная, сверхъ того, что кривая линія искомаго зубца на ободѣ C, должна проходить черезъ точку t, начертимъ кривую линію касательную ко всѣмъ найденнымъ дугамъ.

Въ практикѣ достаточно раздѣлить шаги зацѣпленія пополамъ, начертить двѣ дуги круга, и провести кривую черезъ точку t, касательно къ дугамъ.

Можно еще проще достигнуть той-же цѣли *(Чер. 107)*. Найдемъ пересѣченіе i первой нормальной Ti съ кривою $a'tb'$, проведемъ прямую ti, и изъ средины ея возставимъ къ ней перпендикуляръ no, до встрѣчи съ начальнымъ кругомъ C въ точкѣ b. Принявъ точку o за центръ, опишемъ дугу круга радіусомъ $oi=to$; она замѣнитъ собою приблизительно кривую линію зубцовъ колеса C.

Объяснимъ примѣрами изложенные здѣсь способы.

55. *Цѣвочное зацѣпленіе.* — Цѣвочною шестернею называютъ колесо, составленное изъ цилиндровъ (цѣвокъ), параллельныхъ оси. Цѣвки въ сѣченіи круглы, и цен-

тры круговъ находятся на начальномъ кругѣ колеса. Цѣвки связаны двумя параллельными кружками, помѣщенными на концахъ. Чтобы начертить зубцы колеса, которое должно приводить въ движеніе шестерню, для этого помѣщаютъ шестерню (C') такимъ образомъ, чтобъ одна цѣвка пришлась касательно къ центровой линіи, въ точкѣ T касанія начальныхъ круговъ *(Чер. 108)*. Эта точка будетъ служить началомъ зубца, котораго форму требуется опредѣлить. Если Tt представляетъ величину шага зацѣпленія колеса (C), то точка t будетъ началомъ другаго зубца, который долженъ оставить цѣвку шестерни въ то мгновеніе, когда слѣдующая за нею, дошедши до центровой линіи, подвергнется дѣйствію перваго зубца. Соединимъ точку T съ центромъ a' первой цѣвки. Линія Ta нормальна къ кругу цѣвки, и Tb представляетъ наименьшее разстояніе точки T до круга. Черезъ точки t и b опишемъ дугу, изъ центра O, на начальной окружности (C). Такимъ образомъ получимъ кривую линію, ограничивающую зубецъ, задѣвающій цѣвку. Сверхъ того, точка b опредѣлитъ величину выступа зубца; потому-что, при меньшей длинѣ выступа, зубецъ оставитъ задѣваемую цѣвку, прежде нежели слѣдующая цѣвка дойдетъ до центровой линіи, то-есть прежде нежели слѣдующій зубецъ начнетъ на нее дѣйствовать. Слѣдовательно, если начертить дугу изъ точки C, радіусомъ Cb, то она ограничитъ снаружи всѣ зубцы колеса (C). — Шагъ зацѣпленія опредѣляется сообразно съ діаметромъ цѣвокъ, толщиною зубцовъ и запасомъ, какой полагаютъ нужнымъ оставить между зубцомъ и цѣвкою. Толщина зубцовъ считается по начальной окружности. Длина въ настоящемъ случаѣ простирается только до начальной окружности (C); за этою окружностію зубцы оканчиваются впадиною, въ которой цѣвки могутъ удобно помѣщаться. И здѣсь, запасъ долженъ быть тѣмъ менѣе, чѣмъ тверже матеріалъ колеса. Эти впадины ограничиваются или произвольной формы кривыми, или дву-

мя радіусами, исходящими изъ основаній двухъ послѣдовательныхъ зубцовъ. — Замѣтимъ что, при той формѣ зубцовъ, какую мы нашли, шестерня не можетъ иначе приводить въ движеніе колесо, какъ только дѣйствуя на зубцы прежде нежели они достигнутъ до центровой линіи. И если-бы потребовалось дѣйствіе цѣвки на зубецъ продлить и за центровую линію, то этотъ зубецъ долженъ-бы имѣть вогнутую форму, со стороны задѣвающей цѣвки, что́ невозможно въ практикѣ. Слѣдовательно, надобно избѣгать случаевъ, въ которыхъ цѣвочная шестерня должна приводить въ движеніе зубчатое колесо. — Такъ-какъ цѣвки чаще трутся нежели зубцы колеса, то діаметръ ихъ долженъ быть отъ $^4/_5$ до $^5/_5$ толщины зубцовъ, полагая одни и другіе изъ одного и того-же матеріяла; длина цѣвокъ должна быть только такая, какая необходима для свободнаго движенія колеса между кружками шестерни. — Впрочемъ, употребленіе цѣвочной шестерни представляетъ многія неудобства, и одна только простота устройства оправдываетъ употребленіе ея въ машинахъ. Главнѣйшее неудобство то, что точка прикосновенія зубца съ цѣвкою почти неперемѣняется на цѣвкѣ, между-тѣмъ какъ на зубцѣ она безпрестанно измѣняется; оттого, треніе происходитъ на самой малой дугѣ цѣвки, которая чрезвычайно скоро обтирается, если сдѣлана не изъ чугуна. Цѣвки, вращающіяся на неподвижныхъ осяхъ, вовсе не должны быть употребляемы: со временемъ онѣ расшатываются и становятся причиной потрясеній.

Если предположить что радіусъ начальнаго круга шестерни безконечно большой, то получится *зацѣпленіе цѣвочной рейки съ колесомъ*. Въ этомъ случаѣ центры цилиндрическихъ цѣвокъ будутъ на начальной прямой линіи рейки; перпендикуляръ опущенный на эту прямую изъ центра колеса, представитъ собою радіусъ начальнаго круга колеса, зацѣпляющагося съ рейкою *(Чер. 109)*.

Зубцы колеса будутъ ограничены *развертающими круга;* потому-что, для опредѣленія формы зубцовъ, слѣдуетъ вращать прямую начальную линію рейки около начальной окружности колеса. Основываясь на предъидущемъ, можно заключить, что это зацѣпленіе можно употреблять только тогда, когда колесо приводитъ въ движеніе рейку. Но если рейка должна будетъ вести шестерню, то форма зубцовъ рейки опредѣлится точно такимъ образомъ, какъ и въ случаѣ колеса *(Чер. 110)*, и найденная кривая линія будетъ *циклоида*; то-есть, кривая произведенная точкою окружности, катящейся по прямой линіи. Въ подобномъ случаѣ, надобно сперва начертить начальный кругъ шестерни, то-есть кругъ, на которомъ помѣщены центры цѣвокъ, потомъ провести линію касательную къ нему: эта линія будетъ начальною линіею рейки и отдѣлитъ впадины зубцовъ отъ выступовъ. Глубину впадинъ опредѣляютъ, проводя окружность параллельную начальной, въ разстояніи большемъ или меньшемъ, смотря по радіусу цѣвокъ и по оставляемому запасу. Наконецъ, выступъ зубцовъ найдется по тому условію, чтобы зубецъ оставлялъ цѣвку въ то мгновеніе, когда слѣдующій за нимъ начинаетъ дѣйствовать на слѣдующую цѣвку. Эта система зацѣпленія употребляется иногда, для приведенія въ движеніе рейки шестернею. Но это не хорошо, потому-что и здѣсь цѣвки могутъ дѣйствовать на зубцы только прежде центровой линіи, и если-бы надобно было чтобы цѣвки продолжали дѣйствовать и за этою линіею, то слѣдовало-бы придать зубцамъ вогнутую форму, какъ уже было сказано.

56. *Зацѣпленіе зубчатаго колеса съ зубчатою шестернею.* — При зацѣпленіи двухъ зубчатыхъ колесъ, меньшее называется шестернею. Зубцы шестерни имѣютъ видъ призмъ, ограниченныхъ съ боковъ радіусами. Эти радіусы продолжаются до начальной окружности *(Чер. 111)*; далѣе зубецъ ограничивается кривою линіею. Форма зуб-

цовъ колеса, задѣвающаго шестерню, опредѣляется по общему способу; то-есть, начерчивая нѣсколько дугъ, радіусами, равными наименьшимъ разстояніямъ точекъ дѣленія шага шестерни до линіи ограничивающей зубцы ея. Если зубцы колеса коротки, то можно ограничиться одною лишь дугою круга. Во всемъ этомъ предполагается что колесо ведетъ шестерню. Если-бы случилось обратное, то слѣдовало-бы къ шестернѣ придѣлать выступы, которые могли-бы дѣйствовать на плоскія грани зубцовъ колеса, сходящіяся въ его центрѣ. Въ обоихъ случаяхъ устроиваютъ такъ, что дѣйствіе зубцовъ не начинается прежде центровой линіи. Величина впадины на каждомъ колесѣ опредѣляется по тому условію, чтобы зубецъ другаго колеса, дошедши до центровой линіи, свободно помѣщался во впадинѣ. Наконецъ, выступы зубцовъ должны имѣть такую величину, что-бы каждый зубецъ дѣйствовалъ на боковую грань зубца другаго колеса, до тѣхъ поръ, пока два слѣдующіе зубца не придутъ на центровую линію CC' — Отъ общаго случая легко перейти къ зацѣпленію рейки съ колесомъ. Для этого стоитъ лишь предположить, что радіусъ начальной окружности шестерни безконечно большой. Тогда боковыя грани зубцовъ сдѣляются перпендикулярными къ направленію рейки *(Чер. 112)* и ограничатся начальною прямою линіею. Начальный кругъ колеса будетъ касателенъ къ этой прямой, а зубцы его будетъ ограничены развертывающими, произведенными вращеніемъ прямой AB по окружности C. Если-бы требовалось чтобъ рейка могла вести колесо, то слѣдовало-бы къ ней придѣлать криволинейные зубцы, а зубцы колеса ограничить плоскими гранями, устроивъ впадины, достаточныя для помѣщенія въ нихъ зубцовъ рейки.

57. *Общій способъ вычерчиванія кулаковъ.* — Предъидущія разсужденія могутъ быть примѣнены и къ кулакамъ, поднимающимъ песты или движущимъ рычаги, вращающіе-

ся на горизонтальныхъ осяхъ. Въ первомъ случаѣ представляется зацѣпленіе, подобное колесу задѣвающему рейку; во второмъ оно можетъ-быть отнесено къ двумъ задѣвающимся колесамъ. Но какъ кулаки дѣйствуютъ довольно продолжительно, и поверхности ихъ значительны, то кривизна ихъ должна опредѣляться съ большею точностію.

1-е) *Кулаки для подъема пестовъ.* На отвѣсномъ стержнѣ *L (Чер. 113)* находится палецъ *BE*, поднимаемый кулакомъ, или вообще кривою линіею, придѣланною къ начальной окружности, касательной къ отвѣсной линіи *AB*, которую описываетъ оконечность пальца. Обыкновенно кулакъ придѣлывается къ ободу, который помѣщенъ ближе къ центру противъ начальнаго круга. Чтобы вращеніе вала *C* могло передаваться пальцу равномѣрно, надобно начертить форму кулака по общему способу. Пространство, пройденное пальцомъ, должно-быть равно тому, какое описываетъ точка на начальной окружности; и потому, кривая линія, ограничивающая кулакъ, будетъ имѣть видъ разверзающей начальной окружности, касательной къ прямой линіи *AB (Чер. 114)*. Если *BT* представляетъ высоту, на которую долженъ-быть поднятъ палецъ, то надобно сыскать дугу $T6'$ которую опишетъ начальная окружность въ продолженіе этого подъема; раздѣлить высоту *TB* и шагъ зацѣпленія $T6'$ на одинаковое число равныхъ частей, и начертивъ дуги, радіусами $6T$, $5T$, $4T$ и т. д.; изъ точекъ T, $1'$, $2'$, $3'$, . . ., провести кривую линію, касательную къ нимъ. Это будетъ искомая кривая линія. Кулаки бываютъ либо сплошные *(Чер. 115)*, съ шинами, для вставки въ ободъ колеса; либо пустые внутри; либо наконецъ, имѣютъ видъ кривыхъ полосъ.

2-е) *Кулаки для вращенія рычаговъ.* Положимъ, что рычагъ *AT*, вращающійся на оси *C*, долженъ сообщать равномѣрное движеніе стержню *AB* поршня *(Чер. 116)*,

и что самъ получаетъ движеніе отъ вала C'; спрашивается форма кулаковъ. Для этого надобно предположить, что начальное положеніе рычага AT, или, лучше сказать, его пальца OT совпадаетъ съ центровою линіею CC'. Зная скорость вращенія рычага AT и вала C, раздѣляютъ разстояніе CC' на двѣ части CT и $C'T$, обратно-пропорціональныя скоростямъ. Эти части будутъ радіусами двухъ начальныхъ круговъ рычага и вала. Палецъ перваго ограниченъ прямою линіею, направленною къ C. Положимъ что самое низшее положеніе пальца соотвѣтствуетъ положенію рычага Ct; то надобно будетъ начальную дугу Tt раздѣлить на нѣкоторое число равныхъ, малыхъ частей, напримѣръ на 4, и эти части нанести отъ T къ t' по начальной окружности вала; потомъ начертить кривую линію, обертывающую всѣ дуги, описанныя изъ точекъ T, 1, 2, 3, t' дуги Tt', какъ изъ центровъ, радіусами равными наименьшимъ разстояніямъ точекъ дѣленія T, 1', 2', 3', ... дуги Tt до прямой линіи Ct. Кривая линія $O'1''2''3''t'$... будетъ искомою формою кулака. Величину OT пальца можно найти, перенося конецъ O' кривой линіи на линію CT въ точку O, посредствомъ дуги OO'. Когда кулакъ долженъ оставаться въ прикосновеніи съ рычагомъ самое которое время, какъ то бываетъ при подъемѣ молотовища, тогда форма кулака бываетъ другая, и безполезно было-бы стараться сдѣлать движеніе равномѣрнымъ на одно мгновеніе, потому что эта равномѣрность уничтожилась-бы при паденіи молота. Конечно и въ двухъ предъидущихъ случаяхъ бываетъ также ударъ, но тамъ кулакъ дѣйствуетъ продолжительно, и при томъ стараются, что-бы скорость движенія была очень мала.

58. *Форма кулаковъ, при которой небываетъ удара.* — Можно избѣгнуть удара, но тогда нельзя уже удовлетворить условію равномѣрности движенія. Для этого стоитъ устроить такъ, что-бы кулакъ и палецъ начинали задѣ-

ваться касательно къ направленію движущаго вала. Такъ напримѣръ, *(Чер. 117)*, если валъ C' долженъ вращать безъ удара рычагъ CD и доводить его до положенія CD', то надобно расположить валъ весьма близко къ начальному положенію рычага; конецъ перпендикуляра $C'a$ даетъ точку a прикосновенія кулака съ верхнею гранью рычага. Равнымъ образомъ, если опустить перпендикуляръ $C'b$ на послѣднее положеніе рычага, то точка b будетъ послѣднею точкою прикосновенія кулака къ рычагу. Такъ-какъ извѣстенъ уголъ $aC'b'$, описываемый валомъ (C'), въ то время, когда рычагъ переходитъ отъ положенія CD къ CD', то перенося точку b въ b', на радіусъ $C'b'$, составляющій съ радіусомъ Ca уголъ $aC'b'$, равный описываемому валомъ, получимъ два крайніе элемента кулака. — Подобная этой система употребляется также для подниманія песта безъ удара. Для этой цѣли стержень песта раздваиваютъ, и пропускаютъ кулакъ въ пустоту *(Чер. 118)*. Въ настоящемъ случаѣ скорость пальца равна нулю, въ то мгновеніе, когда его захватываетъ кулакъ; потомъ она постепенно возрастаетъ. Можно начертить кулакъ такимъ образомъ, что скорость пальца или рычага будетъ возрастать по данному закону. Легко понять, что чѣмъ кривизна кулака будетъ болѣе, тѣмъ медленнѣе будетъ измѣняться скорость. Если-бы надобно было что-бы скорость дѣлалась равною нулю въ то мгновеніе когда кулакъ оставляетъ палецъ, то достаточно было-бы что-бы кулакъ былъ касательнымъ къ оконечности пальца или рычага. Придавая большую кривизну кулаку, стараются устроить такъ, что-бы палецъ или рычагъ, разобщившись съ кулакомъ, имѣлъ время возвратиться къ начальному положенію, прежде нежели другой кулакъ станетъ на него дѣйствовать; иначе, при встрѣчѣ ихъ, случится ударъ. Съ этою цѣлью, придаютъ задней части кулака такую форму, чтобы она отнюдь не мѣшала движенію, когда кулакъ сдѣлается свободнымъ. Эти устрой-

ства кулаковъ, помощію которыхъ избѣгаютъ удара, представляютъ то неудобство, что при концѣ зацѣпленія случается всегда пріостановка въ движеніи рычага; потому-что конецъ b кулака *(Чер. 117)* долженъ пройти по концу bD' рычага, то-есть по пространству, которое уже было пройдено во время вращенія рычага. Но это неудобство незначительно, если центръ вращенія C' вала отстоитъ далеко отъ оконечности кулаковъ; потому-что, линія bD' тѣмъ менѣе разнится отъ дуги, описываемой оконечностію b кулака, чѣмъ болѣе длина $C'b$, сравнительно съ bD'.

59. *Зубчатое зацѣпленіе посредствомъ развертающихъ линій.*—Когда зубецъ одного колеса C' ограниченъ развертающею линіею $a'mb'$ круга $C'K'$, *(Чер. 119 и 120)*, тогда зубецъ другаго колеса C будетъ также ограниченъ развертающею amb, касательною къ первой въ точкѣ m, черезъ которую проходитъ общая имъ нормальная линія KK', проведенная изъ точки T касанія двухъ начальныхъ круговъ; и эта развертающая amb будетъ принадлежать къ окружности CK, касательной къ нормальной KK', и концентрической съ начальнымъ кругомъ C. Въ этомъ можно увѣриться, слѣдующимъ образомъ. Всѣ нормальныя линіи къ развертающей $a'mb'$ касательны къ кругу $C'K'$; сверхъ того, извѣстно, что искомая кривая линія amb, постоянно касается линіи $a'mb'$ въ точкахъ m, такихъ, что нормальная KK', общая имъ въ каждой изъ этихъ точекъ, проходитъ чрезъ точку T касанія двухъ начальныхъ круговъ. Слѣдовательно, всѣ эти общія нормальныя будутъ совпадать съ неподвижною линіею TK', касательною къ кругу $C'K'$, или съ касательною къ кругу CK, или наконецъ съ общею касательною къ обоимъ кругамъ $C'K'$ и CK. И такъ, нормальныя къ кривой линіи amb будутъ совпадать послѣдовательно съ касательною TK къ кругу C; — свойство, служащее одной лишь развертающей круга CK.

60. *Нàкòсное зацѣпленіе.* — Когда дано положеніе двухъ наклонныхъ осей CS и $C'S'$ между которыми требуется учредить сообщеніе *(Чер. 121)*, тогда надобно раздѣлить уголъ CSC' на двѣ части, CST и $C'ST$, прямою линіею ST, такъ, что-бы перпендикуляры TC и TC' были обратно-пропорціопальны скоростямъ вращеній двухъ осей. Если привести въ вращеніе эти углы около соотвѣтственныхъ имъ осей, то, получатся начальные конусы, соприкасающіеся по линіи ST. Все, что было сказано о параллельныхъ колесахъ, можетъ-быть примѣнено къ настоящему случаю; съ тою разницею, что параллельныя линіи замѣнятся здѣсь линіями, сходящимися въ вершинѣ S, начальныхъ конусовъ, а цилиндрическія поверхности ограничивавшія зубцы,—коническими поверхностями, имѣющими общую вершину S. Сверхъ того, ободья $ADBT$ и $BTGF$, на которыхъ помѣщены зубцы, будутъ ограничены со стороны противной вершинѣ конусовъ S, другими коническими поверхностями $DEHT$ и $TGKJ$, которыхъ вершины S_1 и S'_1 находятся на осяхъ SC и SC' колесъ, а производящія S_1T и S'_1T перпендикулярны къ производящей касанія ST начальныхъ конусовъ; такъ что онѣ составляютъ продолженіе одна другой, и находятся въ плоскости перпендикулярной къ ST и въ то-же время касательной къ конусамъ (S_1) и (S'_1). Обыкновенно къ поверхностямъ этихъ конусовъ прикладываютъ лекала, по которымъ повѣряютъ форму зубцовъ. Такъ какъ профиль кривыхъ линій, ограничивающихъ два зубца, задѣваемый и задѣвающій, занимаетъ небольшое протяженіе на коническихъ поверхностяхъ, то можно, безъ большой погрѣшности, разсматривать, что малыя коническія поверхности (S_1) и (S'_1), соотвѣтствующія зубцамъ, совпадаютъ съ касательною плоскостью $S_1TS'_1$. Развернемъ двѣ коническія поверхности $DETH$ и $TGKJ$ на касательной къ нимъ плоскости. Это разверзаніе легко сдѣлать, потому-что извѣстны длины реберъ S_1T и S_1H на

одной поверхности, равно какъ и TS'_1 и JS'_1 на другой; сверхъ того, извѣстны окружности основаній DT и GT. При этомъ разверзаніи, длина по направленію концентрическихъ круговъ нисколько не измѣнится. Такимъ образомъ, задача о накосномъ зацѣпленіи будетъ приведена къ прямому зацѣпленію, потому-что начальные круги DT и TG, на поверхностяхъ конусовъ, замѣнятся въ разверзаніи дугами круга TM и TN, касательными между собою, которыя можно принять за начальные круги двухъ цилиндрическихъ колесъ. Форма ихъ опредѣлится по извѣстнымъ способамъ, смотря по роду зацѣпленія. Такимъ образомъ получатся всѣ лекала, нужныя для очерченія зубцовъ на крайнихъ коническихъ поверхностяхъ (S_1) и (S'_1); и по этимъ очеркамъ не трудно будетъ приготовить и зубцы. Зубцы будутъ имѣть нѣкоторый выступъ за начальные круги въ разверзаніи; этотъ выступъ должно нанести отъ D къ P, для одного начальнаго конуса, и отъ G къ Q для другаго. По-этому, ободья должны быть ограничены профилями EPS и RQK, что-бы можно было нарѣзать на нихъ зубцы. Впрочемъ можно сдѣлать и другое лекало, прикладывая его къ коническимъ поверхностямъ (U_1) и (U'_1) ограничивающимъ ободья снутри; производящія этихъ конусовъ параллельны производящимъ внѣшнихъ конусовъ, и потому профили зубцовъ на обоихъ будутъ совершенно подобны: такъ что стоитъ лишь уменьшить первыя лекала, въ отношеніи $ST : SB$, какъ показано на чертежѣ.

61. *Размѣры зубцовъ.* — Прежде дѣлали чрезвычайно-толстые зубцы, но за то ширина колеса, то-есть, измѣреніе параллельное его оси, не бывало болѣе удвоенной толщины зубцовъ. Шагъ зацѣпленія колесъ бывалъ отъ 4 до 6 дюймовъ, толщина зубцовъ отъ $1\frac{1}{2}$ до 4 дюймовъ. Нынче дѣлаютъ зубцы тоньше, но длиннѣе, и потому крѣпость ихъ одинакова съ прежними.

Въ самыхъ сильныхъ машинахъ, отъ 40 до 50 лоша-

дей, толщина зубцовъ дѣлается не болѣе $2^1/_2$ дюйм., при ширинѣ колеса въ 10 или 12 дюйм. Въ машинахъ, которыхъ сила не превосходитъ 10 или 12 лошадей, зубцы имѣютъ толщину отъ 8 до 12 линій, а длину отъ 5 до $6^1/_2$ дюйм. При зацѣпленіи чугуннаго колеса съ деревяннымъ, деревянные зубцы, для большаго удобства, дѣлаются одинаковой толщины съ чугунными. Эти размѣры приняты въ практикѣ, но не основаны на точномъ изслѣдованіи. Впрочемъ, они удобны тѣмъ, что способствуютъ уменьшенію треній при зацѣпленіи колесъ; потому что, чѣмъ тоньше зубцы, тѣмъ болѣе ихъ на одномъ и томъ-же колесѣ. Мы видѣли (Часть I. §. 159) что треніе одного зубца по другому можетъ быть представлено силою, касательною къ начальной окружности, и равною $f.T\pi\left(\frac{m+m'}{mm'}\right)$ или $f.T.\pi\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)$. Въ этомъ выраженіи, f представляетъ коэфиціентъ тренія, T давленіе, или взаимное противодѣйствіе двухъ колесъ; $\pi=3{,}1416$; m и m' числа зубцовъ на двухъ колесахъ. Если назвать V пространство, проходимое въ секунду точкою на начальной окружности колеса, то-есть скорость на окружности, то работа поглощенная треніемъ въ секунду будетъ $f\pi T\left(\frac{1}{m}+\frac{1}{m'}\right)V$. Есть два способа уменьшить эту величину, а именно: увеличивъ число зубцовъ m и m', то-есть величины, входящія въ знаменатель, или уменьшивъ T. Можно увеличить число зубцовъ, уменьшивъ ихъ толщину; можно уменьшить T, увеличивъ радіусы колесъ. Это увеличеніе радіусовъ всегда возможно въ зацѣпленіяхъ, только надобно увеличить радіусы обоихъ колесъ, такимъ образомъ, что-бы отношеніе между радіусами осталось то-же что и прежде. По-этому, выгодно бываетъ увеличивать и число зубцовъ и діаметры колесъ.

Всѣ общее части машинъ, въ томъ числѣ и зубчатыя колеса, служатъ для передачи работы движителя сопротивленію, или орудію. При этой передачѣ, отъ одной части другой, часть работы поглощается вредными сопротивленіями, и эта часть можетъ составлять собою отъ $^1/_8$ до $^1/_4$ того, что передается слѣдующей части, лежащей со стороны орудія. Поэтому, если извѣстна работа принимаемая орудіемъ, или работа доставляемая движителемъ, то не трудно опредѣлить ту, какая приводитъ въ движеніе каждую часть машины, отдѣльно разсматриваемую, уменьшивъ $^1/_4$-ю или $^1/_3$-ю работу движущую непосредственно предшествующую часть, или увеличивъ, почти такою-же частью, ту работу, какая должна-быть передана слѣдующей части. Опредѣленная такимъ образомъ работа, для каждой части порознь, или для каждаго зубчатаго колеса, представляетъ собою то, что у насъ названо $T.V$; и если раздѣлить эту работу на V, то-есть на скорость точекъ на окружности, то получится T, давленіе проявляющееся при взаимномъ противодѣйствіи двухъ колесъ. Англійскіе механики опредѣляютъ измѣренія зубцовъ по величинѣ этого давленія. Слѣдующая таблица, заимствованная изъ сочиненія *Тредгольда о паровыхъ машинахъ*, показываетъ размѣры чугунныхъ зубцовъ, при давленіяхъ отъ $^1/_4$ пуда до 210 пудъ.

Таблица

составленная Тредгольдомъ, опредѣляющая размѣры зубцовъ, по данному давленію.

Давленіе выраженное въ фунтахъ (Русскихъ).	Шагъ зацѣпленія въ дюймахъ.	Толщина зубцовъ въ дюймахъ.	Ширина зубцовъ въ дюймахъ.
24 — —	0,25 — —	0,119 — —	0,75 — —
94 — —	0,50 — —	0,238 — —	1,25 — —
210 — —	0,75 — —	0,357 — —	1,75 — —
371 — —	1,00 — —	0,475 — —	2,50 — —
572 — —	1,25 — —	0,590 — —	3,00 — —
880 — —	1,50 — —	0,730 — —	4,00 — —
1144 — —	1,75 — —	0,835 — —	4,25 — —
1507 — —	2,00 — —	0,955 — —	5,00 — —
1892 — —	2,25 — —	1,070 — —	5,50 — —
2310 — —	2,50 — —	1,190 — —	6,00 — —
2816 — —	2,75 — —	1,310 — —	6,75 — —
3300 — —	3,00 — —	1,430 — —	7,25 — —
3960 — —	3,25 — —	1,550 — —	8,00 — —
4563 — —	3,50 — —	1,670 — —	8,50 — —
5280 — —	3,75 — —	1,790 — —	9,25 — —
6270 — —	4,00 — —	1,910 — —	10,25 — —
6930 — —	4,25 — —	2,025 — —	10,50 — —
7600 — —	4,50 — —	2,150 — —	11,00 — —
8470 — —	4,75 — —	2,270 — —	11,75 — —
9350 — —	5,00 — —	3,390 — —	12,25 — —

Вообще при опредѣленіи толщины зубцовъ надобно имѣть въ виду два обстоятельства: 1-е, давленіе, какое производятъ зубцы другъ на друга, спираясь концами, и 2-е, порчу, какой подвергаются современемъ зубцы отъ безпрестаннаго тренія. Взаимное давленіе зубцовъ стремится произвести изломъ. Этому дѣйствію противостоитъ сопротивленіе площади сѣченія зубца у основанія. Чѣмъ зубецъ длиннѣе, тѣмъ болѣе плечо силы дѣйствующей на конецъ; и стало-быть толщина зубцовъ должна увеличиваться съ длиною. Но мы уже сказали, сколько выгодно

уменьшать толщину зубцовъ; слѣдовательно, надобно стараться придавать зубцамъ только самую необходимую длину. Касательно порчи зубцовъ отъ взаимнаго тренія, надобно замѣтить, что задѣваемые зубцы болѣе обтираются у основаній, а задѣвающіе у вершинъ. Поэтому, зубцы задѣваемаго колеса скорѣе могутъ ломаться у основанія нежели задѣвающіе. Сверхъ того, задѣвающіе зубцы не такъ скоро обтираюся, потому что ихъ трущаяся часть, то-есть концы, ограничены кривыми поверхностями, которыя имѣютъ большее протяженіе нежели прямыя щеки задѣваемыхъ зубцовъ. По этой причинѣ, надобно обращать главное вниманіе на зубцы задѣваемаго колеса, и давать имъ такую толщину, что-бы они не могли ломаться, даже обтершись нѣсколько въ продолженіи извѣстнаго времени. По сдѣланнымъ наблюденіямъ, чугунные зубцы задѣваемыхъ колесъ, дѣйствовавшихъ ежедневно отъ 12 до 18 часовъ, по прошествіи 6 лѣтъ, обтерлись отъ $1^1/_4$ до 2 линій. Деревянные зубцы задѣваемаго колеса, обтираются не болѣе того. Основываясь на этой данной, можно опредѣлить толщину зубцовъ имѣя въ виду, на сколько она уменьшится по прошествіи шести лѣтъ. Эту толщину можно придавать и задѣваемымъ и задѣвающимъ зубцамъ, или, если разность въ діаметрахъ велика, дѣлать тоньше зубцы задѣвающаго колеса. Въ сильныхъ машинахъ, большія колеса лучше дѣлать оба изъ чугуна, вмѣсто деревяннаго задѣвающаго. Конечно, треніе чугуна по чугуну нѣсколько больше, чѣмъ дерева по чугуну, но это неудобство не такъ важно въ настоящемъ случаѣ, потому-что предполагаются большіе радіусы колесъ.

Въ практикѣ соблюдаютъ извѣстныя отношенія между тремя размѣрами чугунныхъ зубцовъ. Обыкновенно вышина, толщина и длина зубцовъ относятся между собою какъ числа 25 : 5 : 6. Такъ что, назвавъ эти три размѣры буквами s, e и d, получимъ:

$$s = 5e;\ 6s = 25d;\ 6e = 5d.$$

При такихъ отношеніяхъ, зубцы имѣютъ красивую форму.

На деревянные зубцы употребляется плотное и твердое дерево, какъ-то: *грабина*, *бакаутъ*, и за недостаткомъ ихъ, *рябина*, *ясень* и даже *береза*. Дерево должно быть, предварительно, тщательно высушено, или, если время не терпитъ, приготовленные зубцы должно выварить въ маслѣ. Толщина деревянныхъ зубцовъ опредѣляется потому-же правилу (по приложенной таблицѣ) какъ чугунныхъ, хотя сопротивленіе дерева менѣе чугуна. Это потому, что дереву свойственна нѣкоторая угругость, дозволяющая ему нѣсколько гнуться не ломаясь. Хорошо-приготовленные деревянные зубцы сохраняются не менѣе чугунныхъ, надобно только постоянно ихъ смазывать. На смазку не должно употреблять масла, потому-что оно всасывается деревомъ и не доставляетъ ни какой пользы. Надобно употреблять для этой цѣли мыло, говяжье сало, или, что всего лучшее, свиное сало, съ примѣсью графита.

Чугунные зубцы, послѣ отливки, опиливаются по лекалу. Это нѣсколько неудобно тѣмъ, что отлитая часть бываетъ тверже снаружи нежели внутри; оттого опиленны зубцы скорѣе обтираются, нежели тѣ, которые употребляются въ дѣло прямо изъ литейной. Надобно стараться отливать зубцы какъ можно правильнѣе и не опиливать ихъ, если они должны задѣваться съ чугунными зубцами. Но если зубцы другаго колеса деревянные, то необходимо первые обдѣлать напилкомъ.

III.

ДВИЖИТЕЛИ И ПРІЕМНИКИ ИХЪ РАБОТЫ.

---

62. *Движители фабричныхъ машинъ.* — Въ Механикѣ принято называть *движителемъ* все, что можетъ доставлять работу, нужную для произведенія *полезнаго дѣйствія*. Въ этомъ смыслѣ: *человѣкъ*, употребленный для подъема тяжести, *лошадь*, работающая въ конномъ приводѣ, *вода*, вращающая гидравлическое колесо, *вѣтеръ*, движущій крылья вѣтряной мельницы, *паръ*, приводящій въ дѣйствіе паровую машину, — суть движители.

Первоначально человѣкъ употреблялъ только собственныя свои силы и силу нѣкоторыхъ домашнихъ животныхъ. Съ умножившимися потребностями, эти силы оказались недостаточными, для выполненія всего, что составляло предметъ фабричной промышленности, и тогда необходимо было искать въ природѣ другихъ источниковъ движущей силы, которые могли-бы удовлетворять тремъ слѣдующимъ условіямъ:

1. Работать продолжительно и сколько можно равномѣрнѣе;

2. Доставлять значительныя работы, какихъ требуютъ большія механическія производства;

3. Требовать незначительныхъ издержекъ на свое содержаніе.

Этимъ условіямъ менѣе всего удовлетворяютъ *живые движители*, подобные человѣку, лошади и другимъ животнымъ. Всѣ они неспособны къ продолжительной и равномѣрной работѣ, всѣ доставляютъ незначительныя работы и содержаніе ихъ обходится слишкомъ дорого.

До-сихъ-поръ найдены только два движителя, которые почти вполнѣ удовлетворяютъ приведеннымъ нами условіямъ; это — *сила тяжести* и *теплородъ*. Быстрые успѣхи, дѣлаемые въ наше время физикою, готовятъ новаго движителя — *электромагнитность*, которому, можетъ статься, предназначено, современемъ вытѣснить нынѣшнихъ нашихъ движителей изъ области фабричной промышленности. Но, пока, электромагнитность, какъ движитель, составляетъ только предметъ любопытства, и неполучила почти никакихъ полезныхъ приложеній.

Поэтому, въ нынѣшнемъ состояніи Механики, *главныхъ* или *начальныхъ* движущихъ силъ: только три — *мышечная сила животныхъ*, *сила тяжести* и *теплородъ*. Эти силы, дѣйствуя на тѣла, каждая порознь, или совокупно, сообщаютъ имъ способность производить полезныя дѣйствія, то-есть, дѣлаютъ ихъ самихъ *движителями*. Для принятія работы движителей устроиваются особаго рода приводы — *пріемники*. Составъ ихъ и способъ дѣйствія зависятъ отъ свойствъ движителя; оттого, изученіе ихъ неразлучно съ изученіемъ движителей.

Въ слѣдующихъ статьяхъ разсмотрѣны:

I. *Живые движители*, какъ-то: человѣкъ, лошадь и нѣкоторыя другія животныя, и пріемники ихъ работы;

II. *Вѣтеръ*, то-есть воздухъ движущійся отъ силы тяжести и теплорода, и составъ крыльевъ вѣтряныхъ мельницъ;

III. *Вода*, движущаяся отъ силы тяжести, и составъ и способъ дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ.

IV. *Водяной паръ*, получающій способность движителя отъ расширительной силы теплорода, и паровыя машины.

Мелкимъ механизмамъ, какъ напримѣръ стѣннымъ и карманнымъ часамъ, сообщаютъ движеніе гирями, поднятыми предварительно на нѣкоторую высоту, или пружинами. Опускающаяся гиря получаетъ способность движителя отъ силы тяжести. Сжатая пружина содержитъ въ себѣ нѣкоторую работу, сообщенную ей предварительно какимъ нибудь движителемъ. — По этимъ причинамъ, мы нестанемъ разсматривать какъ движителей ни гирь ни пружинъ.

I. ЖИВЫЕ ДВИЖИТЕЛИ.

63. *Работа живыхъ движителей. Пріемники работы человѣка.* — Живые движители отличаются отъ другихъ тѣмъ, что, послѣ нѣкотораго времени работы, они утомляются, лишаются способности работать, и требуютъ подкрѣпленія силъ, отдыхомъ, сномъ и пищею. Работа, какую можетъ доставлять, ежедневно, живой движитель, зависитъ отъ способа какимъ онъ употребленъ для механическаго дѣйствія. Живой движитель работаетъ съ наивыгоднѣйшимъ усиліемъ и скоростью, когда, при одинаковой степени *суточнаго утомленія*, доставляетъ наибольшую работу. Назовемъ P усиліе производимое движителемъ, V скорость точки приложенія, считаемую по направленію силы, T число единицъ времени суточной работы. Ясно что, работа доставленная движителемъ представится произведеніемъ $P.V.T$ пуд. фут. Это произведеніе, называемое *суточною работою*, при одинаковой степени утомленія, можетъ быть болѣе или менѣе, и будетъ наибольшимъ, когда P, V и T будутъ имѣть наивыгоднѣйшія величины, опредѣляемыя опытомъ. Величи-

на суточной работы зависитъ отъ большей или меньшей привычки живаго двигителя къ работѣ, и отъ того какими членами онъ дѣйствуетъ. Частое упражненіе одного члена можетъ его укрѣпить и сдѣлать способнымъ къ болѣе продолжительной работѣ.

Человѣкъ можетъ работать руками и ногами. Ноги, какъ члены упражняемые при ежедневной ходьбѣ, привычнѣе къ работѣ. Оттого, *человѣкъ производитъ наибольшую работу дѣйствуя на пріемникъ ногами, съ усиліемъ и скоростью обыкновенной ходьбы.* А именно: наибольшая работа бываетъ тогда, когда онъ поднимается безъ посторонней тяжести, по легкому скату. Она доходитъ до 2 пуд. фут. въ 1 сек., при 8 часахъ работы въ сутки. На этомъ началѣ основано устроеніе слѣдующаго привода. Нѣсколько человѣкъ поднявшись на нѣкоторую высоту, безъ посторонняго груза, становятся на поддонъ и съ нимъ вмѣстѣ опускаются: работа, доставляемая вѣсомъ ихъ, передается посредствомъ веревокъ и блоковъ. Къ сожалѣнію, сложное устройство подобныхъ приводовъ препятствуетъ всеобщему ихъ употребленію.

Когда человѣкъ поднимаетъ, кромѣ собственнаго вѣса, постороннюю тяжесть, тогда работа оказывается менѣе; до такой степени, что при подъемѣ по легкому скату, съ тяжестію равною вѣсу своею тѣла, человѣкъ доставляетъ работу не болѣе 1-го пуд. фут. въ 1 секунду, при 6 часахъ работы въ сутки; а полезная работа въ этомъ случаѣ не болѣе $^1/_8$ всей работы, какую можетъ обнаружить человѣкъ при наивыгоднѣйшемъ дѣйствіи.

Желая обратить въ пользу наибольшую часть работы, къ какой человѣкъ способенъ, помѣщаютъ его внутри большаго барабана, *(Чер. 122)* насаженнаго на горизонтальный валъ, и заставляютъ всходить въ томъ мѣстѣ, гдѣ касательная къ поверхности барабана составляетъ съ горизонтомъ уголъ около 24°. Въ этомъ случаѣ человѣкъ находится какъ-бы на наклонной плоскости, имѣю-

щей небольшой скатъ, и слѣдственно, работаетъ при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ. Опытъ показываетъ что работа доставляемая человѣкомъ въ этомъ случаѣ доходитъ до 1,75 п. ф. въ 1 сек., при 8 часахъ суточнаго дѣйствія.

Работа внутри барабана чрезвычайно изнурительна и часто сопряжена съ опасностію для работающихъ; оттого она рѣдко употребляется. Въ Англіи придуманъ недавно способъ, подобный этому, но гораздо удобнѣе. *(Чер. 123)*. Барабанъ насаженный на валъ дѣлается діаметромъ неболѣе 5 футъ, но ширина его значительна; на внѣшней поверхности барабана устроиваются широкія ступени, по которымъ всходятъ нѣсколько человѣкъ вдругъ, придерживаясь руками за перекладину, помѣщенную наравнѣ съ грудою. При такомъ способѣ дѣйствія, рабочій поднимается въ минуту на 50 ступенекъ, вышиною каждая въ 8 дюймовъ, и подобную работу повторяетъ въ продолженіи 7 часовъ въ сутки. Остальное время суточной работы машины рабочій употребляетъ на отдыхъ. Само-собою разумѣется что рабочіе смѣняются довольно часто, но при этихъ смѣнахъ ходъ машины неостанавливается. Машины этого рода, называемыя *ступенчатыми барабанами* (treade-wheel), употребляются въ Англіи въ рабочихъ пріютахъ (work-house), для размола хлѣбныхъ зеренъ и для пряжи бумаги.

Когда при учрежденіи машины, движимой людьми, желаютъ сберечь издержки на устроеніе машины, и неимѣютъ въ виду извлечь изъ рабочаго наибольшую работу, тогда предпочитаютъ заставлять человѣка работать руками; потому-что, ловкость съ какою онъ дѣйствуетъ этими членами, избавляетъ отъ употребленія сложныхъ пріемниковъ. Вотъ почему, очень часто заставляютъ человѣка дѣйствовать руками, на рычаги насосовъ, рукоятки валовъ и т. п.

Вообще, при употребленіи человѣка какъ движителя фабричной машины, надобно стараться что-бы усиліе и

скорость его подходили сколько можно ближе къ самымъ выгоднымъ для его дѣйствія, и дѣйствіе было почти однообразное. Можетъ случиться что по какой нибудь причинѣ ходъ машины будетъ неравномѣрнымъ, тогда необходимо употребить уравнивающіе приводы. Послѣднее замѣчаніе относится ко всѣмъ живымъ движителямъ, потому-что всѣ они, отъ неравномѣрнаго дѣйствія, скоро утомляются.

64. *Работа лошади. Составъ конныхъ приводовъ.* — Лошадь, подобно человѣку, доставляла-бы наибольшую работу, поднимаясь безъ посторонняго груза по легкому скату, со скоростью обыкновеннаго шага. Однако-жъ, по сіе время непридуманъ удобный механизмъ для подобнаго дѣйствія лошади. Въ южныхъ русскихъ губерніяхъ устроиваются мукомольныя мельницы, въ которыхъ лошади или быки ходятъ по круглому помосту, насаженному на валъ, наклоненный отъ 5 до 10 градусовъ къ отвѣсной линіи. Но окружности помоста устроены пальцы, сцѣпляющіеся съ шестернею, которая вращаетъ жерновъ. Нельзя полагать что-бы работа лошадей и быковъ въ этомъ случаѣ была болѣе той, какую доставляютъ они въ обыкновенныхъ манежахъ.

Манежомъ или *коннымъ приводомъ* называется механизмъ, почти исключительно употребляемый въ фабричной механикѣ для принятія работы лошадей, быковъ и нѣкоторыхъ другихъ животныхъ.

Въ манежѣ движитель припрягается къ концу горизонтальнаго или наклоннаго рычага, называемаго *водиломъ;* рычагъ приводитъ въ движеніе отвѣсный валъ, на которомъ насажено зубчатое колесо или барабанъ, для сообщенія движенія куда нужно.

Составъ конныхъ приводовъ измѣняется, смотря по мѣстнымъ обстоятельствамъ и по цѣли для которой они предназначаются.

Длина водила непроизвольна. Опытомъ найдено что она должна-быть около 3 саженей. Слишкомъ длинное водило увеличило-бы безъ пользы пространство манежа. При длинѣ меньшей 3-хъ саженъ лошадь не тянетъ перпендикулярно къ водилу.

Выгоднѣйшая скорость лошади въ манежѣ — скорость обыкновеннаго шага, то-есть 3 фута въ 1 сек. Выгоднѣйшее усиліе лошади работающей въ манежѣ—2,75 пуд. При этомъ, лошадь доставляетъ въ 1 сек., среднимъ числомъ, $8^1/_4$ пуд. ф., и можетъ работать такимъ образомъ по 8 часовъ въ сутки.

Наибольшее усиліе лошади, привязанной къ неподвижному предмету, простирается отъ 18 до 30 пудовъ. Наибольшая скорость съ какою лошадь можетъ скакать, — но не болѣе 6 минутъ, — доходитъ до 6 саженей въ 1 сек. Само-собою разумѣется, что лошадь, работающая продолжительно, неможетъ быть употребляемая при этомъ крайномъ усиліи и скорости.

65. *Примѣры устройства конныхъ приводовъ.* — На *чертежахъ 124—127* представлены четыре примѣра устройстра конныхъ приводовъ.

Чер. 124. Лошадь припряжена къ горизонтальному водилу, которое вращаетъ отвѣсный валъ. На валѣ помѣщенъ передаточный шхивъ, большаго діаметра. Веревка облегающая шхивъ проведена по двумъ другимъ шхивамъ *b*, и потомъ обернута кругомъ натяжнаго шхива *c*. Шхивъ *c* называется натяжнымъ, потому что, приближаясь или удаляясь, онъ можетъ ослаблять или натягивать веревку на двухъ шхивахъ *b*, и этимъ прерывать или возстанавливать движеніе.

На *Чер. 125* представленъ конный приводъ, въ которомъ большое деревянное колесо *a*, насаженное на отвѣсный валъ, сообщаетъ движеніе цѣвочной шестернѣ *b*, насаженной на лежачій валъ *c*.

Чер. 126 представляетъ устройство, употребляемое въ

томъ случаѣ, когда лежачій валъ помѣщенъ очень низко. Надъ лежачимъ валомъ устроенъ помостъ, по которому ходятъ лошади. Движеніе передается подобно тому какъ въ предъидущемъ случаѣ.

Конный приводъ, представленный на *Чертежѣ 127*, называется шведскимъ. Онъ дѣлается весь изъ чугуна. Большое чугунное колесо *b* насажено на валъ и поддерживается снизу четырмя чугунными подпорками *a*, *a'*, которыя отливаются вмѣстѣ съ основною плитою *bb*. Эта плита привинчивается къ деревянному кресту *cc*, плотно утвержденному въ фундаментѣ. Лежачій валъ получаетъ движеніе посредствомъ накосной шестерни *e*, зацѣпляющейся съ колесомъ *d*. Подъ колесомъ *d* прикрѣплено наклонное водило, къ которому припрягаютъ лошадь.

66. *Общее замѣчаніе о живыхъ движителяхъ.* — Въ заключеніе сказаннаго о живыхъ движителяхъ прибавимъ, что какъ содержаніе ихъ обходится слишкомъ дорого, то и единица ихъ работы стоитъ всегда дороже единицы работы другихъ движителей. Въ прежнее время, когда умѣли пользоваться только движущею силою воды и вѣтра, по необходимости прибѣгали къ живымъ движителямъ, потому-что движущую силу воды нельзя было имѣть во всякомъ мѣстѣ, а дѣйствіе вѣтра слишкомъ неправильно, и вовсе негодится для большей части фабричныхъ производствъ. Нынче, когда водяные пары доставили почти повсемѣстнаго и чрезвычайно удобнаго движителя, *живые движители должны-быть употребляемы только въ тѣхъ случаяхъ, когда по причинѣ кратковременности механическаго производства невыгодно устроивать паровую машину.* Это замѣчаніе относится въ особенности къ человѣку, который долженъ употреблять свои физическія силы, въ пособіе другихъ движителей, тамъ только, гдѣ сложность движеній требуетъ непремѣнно его содѣйствія.

67. *Значеніе словъ: паровая, условная или машинная лошадь.* — Въ практикѣ, при сравненіи движителей между

собою, за единицу принимаютъ работу доставляемую лошадью въ единицу времени, въ предположеніи что лошадь и сравниваемые съ нею движители работаютъ непрерывно и равномѣрно. Измѣреніе работы движителей работою лошадей вошло въ употребленіе со времени распространенія паровыхъ машинъ. До того времени, почти все то что теперь производится паромъ, дѣлалось лошадьми. Когда паръ началъ замѣнять собою лошадей въ механическихъ производствахъ, тогда встрѣтилась надобность сравнить между собою работы доставляемыя паромъ и лошадьми. Въ Англіи сдѣланы были опыты надъ работою самыхъ сильныхъ лошадей, и эти опыты показали: что сильная лошадь, работающая въ манежѣ, по 8 часовъ въ сутки, можетъ доставлять почти 15 п. ф. въ каждую секунду. Эта величина принята за мѣру работы лошади и за единицу сравненія другихъ движителей. Такимъ образомъ, если вода, приводя въ дѣйствіе водяную мельницу, доставляетъ въ каждую секунду по 150 пуд. фут., то говорится что вода, какъ движитель, равна 10 лошадямъ. Понятно, однако-жъ, что число 15 пуд. ф. принятое за мѣру работы лошади, есть болѣе *условное* нежели *дѣйствительное*, потому-что, не всѣ лошади равносильны. Есть такія, которыя могутъ доставлять 16 и болѣе пуд. фут. въ 1", работая по 8 часовъ въ сутки; но есть и такія, которыхъ работа неболѣе 12, 10 и даже 8 пуд. фут. въ 1". Оттого, число 15 пуд. фут. въ 1", принимаемое за мѣру работы движителей, изображаетъ работу *условной лошади*. Ее называютъ также *паровою* или вообще *машинною* лошадью, въ томъ смыслѣ, что она употребляется для измѣренія работы паровой, или вообще какой-нибудь машины.

68. *Выводы изъ опытовъ надъ работою живыхъ движителей.* — Въ слѣдующей таблицѣ представлены выводы изъ опытовъ надъ среднею работою употребительнѣйшихъ живыхъ движителей.

Таблица

показывающая работы, какія могутъ доставлять живые движители.

Родъ работы.	Средняя величина усилія въ пудахъ.	Скорость въ секунду.	Работа въ секунду.	Время дневной работы.	Суточная работа.
1) Подъемъ тяжестей.	пуд.	фут.	пуд. фут.	часы.	пудоф.
Человѣкъ, поднимаясь безъ посторонняго груза, по легкому скату или по лѣстницѣ. Работа его состоитъ въ подъемѣ собственнаго тѣла	4	0,5	2	8	57600
Человѣкъ, поднимая тяжесть, посредствомъ веревки перекинутой по блоку, и потомъ спуская веревку безъ груза . . .	1,10	0,66	0,726	6	15680
Человѣкъ, поднимая тяжесть руками	1,2	0,56	0,672	6	14500
Человѣкъ, поднимая тяжесть на спинѣ, по легкому скату или по лѣстницѣ, и возвращаясь безъ груза	4	0,13	0,52	6	11232
Человѣкъ поднимая грузъ тачкою, по скату въ $^1/_{12}$ и возвращаясь съ пустою тачкою	3,67	0,066	0,242	10	8712
Человѣкъ поднимая землю лопаткою на среднюю высоту $3^1/_4$ фут.	0,165	1,30	0,215	10	7740
2) Работая въ машинахъ.					
Человѣкъ:					
Дѣйствуя на колесо со спицами или съ барабаномъ:					
а) На высотѣ соотвѣтствующей оси колеса . .	3,67	0,5	1,835	8	52850

Родъ работы.	Средняя величина усилія въ пудахъ.	Скорость въ секунду.	Работа въ секунду.	Время дневной работы.	Суточная работа.
	пуд.	фут.	цуд. фут.	часы.	пудоф.
б) Въ нижней части барабана, гдѣ касательная къ нему составляетъ съ горизонтальномъ уголъ въ 24°	0,73	2,3	1,68	8	48384
Нажимая или вытягивая горизонтально	0,73	2	1,46	8	42050
Дѣйствуя на рукоятку .	0,50	2,46	1,23	8	35424
Привычный рабочій, нажимая и натягивая попеременно, по отвѣсному направленію	0,3	3,6	1,08	8	31104
Лошадь.					
Въ телѣгѣ, идя шагомъ.	4,28	3	12,84	10	462240
Работая въ конномъ приводѣ шагомъ	2,75	3	8,25	8	237600
Въ манежѣ, рысью . .	1,83	6,56	12	4,5	194400
Волъ.					
Работая въ манежѣ, шагомъ	4,00	2,00	8,00	8	230400
Лошакъ.					
Работая въ манежѣ, шагомъ	1,83	3	5,5	8	158400
Оселъ.					
Въ манежѣ, шагомъ. .	0,86	2,62	2,25	8	64800

Числа этой таблицы представляютъ величины скорости, силы и времени, повидимому, самыя выгодныя, въ разсматриваемыхъ случаяхъ. Всѣ эти выводы надобно разсматривать какъ среднія числа, которыя могутъ разниться отъ дѣйствительныхъ на $^1/_4$ и даже на $^1/_3$, смотря по возрасту, устройству членовъ живаго движителя, содержанію его и мѣстному климату.

Иногда требуется знать усиліе, какое обнаруживаетъ человѣкъ, при ручной работѣ, различными инструмента-

ми. Въ слѣдующей таблицѣ показана средняя величина этого усилія.

Названіе инструментовъ.	Усиліе въ пудахъ.
	пуд.
Скобель	2,75
Буравъ, вращаемый обѣими руками	2,75
Гаечный ключь	2,33
Обыкновенные винтовальные тиски	2,00
Долото, или буравъ, по отвѣсному направленію.	2,00
Рукоятка.	1,84
Клещи или щипцы	1,65
Стругъ	1,40
Ручные тиски	1,22
Одноручная пила	0,98
Коловоротъ.	0,45
Небольшая отвертка, при дѣйствіи на нее руками	0,37

69. *Переноска тяжести по горизонтальному направленію.* — Самый обыкновенный способъ извлеченія пользы изъ живыхъ движителей состоитъ въ употребленіи ихъ для переноски тяжестей по горизонтальному направленію. Многіе Механики, и въ особенности *Куломбъ (Coulomb)*, дѣлали опыты для опредѣленія работы, расходуемой движителями при горизонтальной переноскѣ. Но Куломбъ и его послѣдователи ошибочно оцѣнивали эту работу, *помножая переносимый грузъ на пространство пройденное горизонтально* и представляя это произведеніе въ единицахъ работы, какъ будто-бы были равны между собою работы соотвѣтствующія единицѣ вѣса, поднятой на единицу пространства и перенесенной на такую-же единицу, по горизонтальному направленію. При горизонтальной переноскѣ, переносимая тяжесть и усиліе уравновѣшивающее ее перпендикулярны къ движенію, и потому, въ строгомъ смыслѣ, здѣсь вовсе нѣтъ работы со стороны движителя; тогда какъ, при подъемѣ по отвѣсному направленію, работа движителя равна работѣ вѣса поднимаемаго тѣла. Не-смотря на то, однако-жъ, при переноскѣ, живой движитель устаетъ,

и становится неспособнымъ къ продолженію работы; и потому, можно спросить: данный движитель, какой грузъ и на какое разстояніе можетъ перенести горизонтально, при извѣстной степени суточнаго утомленія. Вопросъ этотъ разрѣшаетъ слѣдующая таблица, составленная изъ многочисленныхъ опытовъ Куломба.

Выводы изъ опытовъ

надъ горизонтальною переноскою и перевозкою.

Родъ переноски или перевозки.	Переносимый или перевозимый грузъ.	Скорость въ 1″.	Произведеніе изъ груза на скорость.	Время суточной работы.	Произведеніе изъ груза на пройденное пространство въ сутки.
Человѣкъ.	пуд.	фут.	пуды помноженные на футы.		
Неся вѣсъ своего тѣла, по горизонтальной дорогѣ	4	5	20	10	720000
Перевозя матеріалы въ одноколкѣ, и возвращаясь съ пустою для нагрузки	6,12	1,64	10	10	360000
Перевозя матеріалы въ тачкѣ и возвращаясь съ пустою для нагрузки . .	3,67	1,64	6	10	216000
Пѣшеходъ съ сумкой за спиною	2,4	2,5	6	7	151200
Рабочій, неся грузъ на спинѣ и возвращаясь безъ груза, ...	4	1,64	6,56	6	141700
Лошадь.					
Перевозя матеріалы въ одноколкѣ шагомъ, съ постоянною нагрузкою	4,3	[illegible]	[illegible]	10	3572800
Перевозя телѣгу съ постоянною нагрузкою, рысью	21,6	7,2	154,8	4,5	2507760
Перевозя матеріалы въ телѣгѣ и возвращаясь съ пустою за нагрузкою . .	43	2,00	86	10	3096000
Неся вьюкъ на спинѣ шагомъ	7,34	3,6	26,42	10	951120
Неся вьюкъ на спинѣ рысью	4,90	7,2	35,28	7	889056

II. ВѢТЕРЪ, РАЗСМАТРИВАЕМЫЙ КАКЪ ДВИЖИТЕЛЬ.

70. *Запасъ работы вѣтра. Крылья вѣтряныхъ мельницъ.* — Движущійся воздухъ, по свойству инерціи, содержитъ въ себѣ работу, которая можетъ быть употреблена для произведенія механическаго дѣйствія. Запасъ работы движущейся массы воздуха представляется его живою силою. Полагая что скорость вѣтра постоянна, если назвать ее V и M массу воздуха, проходящую въ данномъ мѣстѣ въ каждую секунду, то запасъ работы въ каждую секунду будетъ $\frac{MV^2}{2}$. — Скорость вѣтра перемѣняется въ самыхъ обширныхъ предѣлахъ; отъ самой незначительной, — въ 1 футъ въ секунду, она доходитъ иногда до 150 футъ въ секунду и болѣе. Обыкновенно, работу доставляемую вѣтромъ употребляютъ для вращенія горизонтальнаго или отвѣснаго вала. Съ этою цѣлью, на валъ насаживаютъ нѣсколько крыльевъ, плоскихъ или вогнутыхъ, на которыя вѣтеръ дѣйствуетъ непосредственно. Машина, движимая вѣтромъ, называется вообще *вѣтряною мельницею*. Крылья называются *горизонтальными* или *вертикальными*, смотря-по-тому, насажены-ли они на вертикальный или на горизонтальный валъ. Вертикальныя крылья употребляются въ практикѣ преимущественно, оттого-что, при одинаковыхъ размѣрахъ съ горизонтальными, они принимаютъ работу по меньшей мѣрѣ въ 8 разъ болѣе. Это объясняется тѣмъ, что въ случаѣ горизонтальнаго вала всѣ крылья вдругъ подвергаются дѣйствію вѣтра, между тѣмъ, какъ если валъ расположенъ отвѣсно, то вѣтеръ можетъ дѣйствовать только на одно крыло. Скажемъ нѣсколько словъ о вертикальныхъ крыльяхъ.

Валъ вертикальныхъ крыльевъ располагается не совершенно горизонтально: онъ долженъ совпадать съ направленіемъ вѣтра; а какъ направленіе вѣтра, въ мѣстахъ ровныхъ, составляетъ съ горизонтомъ уголъ отъ 8° до 15°, то и валъ крыльевъ располагается подъ этимъ укло-

номъ. На валѣ помѣщаютъ четыре, рѣдко шесть, крыльевъ. Для этого пропускаютъ сквозь валъ два или три длинныхъ бруса, которые называютъ *махами*, и къ нимъ прикрѣпляютъ крылья. Въ большихъ голландскихъ мельницахъ длина части маха отъ оси вала до оконечности крыла доходитъ до 6 саженей; такъ что, весь махъ бываетъ длиною до 12 саженей. На каждомъ махѣ помѣщаютъ два крыла, совершенно равныя между собою *(Чер. 129)*. Крыло составляется изъ косыхъ элементовъ, наклонныхъ къ направленію вѣтра, такъ что всѣ элементы крыла, взятые вмѣстѣ, образуютъ *косую плоскость*. Иногда выгибаютъ махи въ сторону, съ которой дѣйствуетъ вѣтеръ, и тогда крыло принимаетъ видъ *косой поверхности*. Для устроенія крыла, пропускаютъ сквозь махъ бруски, всѣ одинаковой длины, называемые *перьями* или *иглицами;* концы ихъ впускаются шипами въ два бруска, ограничивающіе крыло съ боковъ. Перья располагаются въ плоскостяхъ перпендикулярныхъ къ оси маха, но непараллельно одно другому. Чѣмъ ближе перо къ валу, тѣмъ меньшій уголъ составляетъ съ линіею параллельною оси вала. Въ голландскихъ мельницахъ первое перо помѣщается отъ оси вала на $^1/_4$ длины полумаха, подъ угломъ равнымъ 72° съ осью вала; послѣднее перо, на концѣ маха, составляетъ 83° съ осью вала. Все крыло обшивается дранками, или обтягивается толстою парусиною. Крыло принимаетъ наибольшее дѣйствіе вѣтра, когда ось вала совпадаетъ съ направленіемъ вѣтра. Такъ какъ это направленіе часто перемѣняется, то необходимо поворачивать валъ съ крыльями и ставить его по-вѣтру, когда нужно извлечь наибольшую работу. Это дѣлаютъ обыкновенно посредствомъ длиннаго рычага и ворота, которыми вращаютъ весь корпусъ мельницы, или только верхнюю ея часть съ валомъ и съ крыльями. Полагая что ось вала совпадаетъ съ направленіемъ вѣтра, легко понять, какимъ образомъ дѣйствіе вѣтра вращаетъ валъ.

Давленіе вѣтра на каждый элементъ крыла разлагается на двѣ силы: одну параллельную оси вала, другую перпендикулярную къ нему; первая непроизводитъ никакого дѣйствія, послѣдняя приводитъ валъ въ вращеніе. Ясно что, если-бы оба крыла, помѣщенныя на одномъ махѣ, были наклонены въ одну сторону, относительно къ плоскости движенія, то движенія не было-бы, потому-что, два равныя и противоположныя дѣйствія взаимно уничтожились-бы. Но если расположить два крыла по обѣимъ сторонамъ плоскости движенія, наклоняя оба одинаково, то движеніе будетъ возможнымъ, и движущая сила будетъ равна удвоенной силѣ, движущей одно крыло.

Опытами найдено, что въ хорошо-устроенной вѣтряной мельницѣ, при наивыгоднѣйшемъ дѣйствіи ея, скорость оконечностей крыльевъ бываетъ въ 2,6 болѣе скорости вѣтра. Если-же мельница не работаетъ, а вертится порожнемъ, то скорость оконечностей вчетверо болѣе скорости вѣтра. Такъ-какъ число оборотовъ вѣтрянаго вала пропорціонально скорости оконечности крыльевъ, то называя: N число оборотовъ при вращеніи порожнемъ, x число оборотовъ, при наивыгоднѣйшемъ дѣйствіи, V скорость вѣтра, получимъ: $N : x = 4V : 2{,}6.V$, откуда $x = 0{,}65.N$ то-есть, почти $x = {}^2/_3 N$. — Скорость вѣтра, при которой обыкновенно дѣйствуютъ вѣтряныя мельницы, бываетъ отъ 15 до 20 футъ въ 1″. — Работа принимаемая крыльями голландскихъ мельницъ пропорціональна площади и почти пропорціональна кубу скорости вѣтра. Если назвать A площадь одного изъ четырехъ крыльевъ въ квадр. футахъ, V скорость вѣтра въ футахъ, то работа τ, принимаемая валомъ вѣтряныхъ крыльевъ, можетъ быть опредѣлена, приблизительно, по слѣдующей, эмпирической, формулѣ:

$$\tau = 0{,}0000685.AV^3.$$

Такъ, напримѣръ, если длина крыла равна 34 фут., ши-

рина 6′/, ф., скорость вѣтра въ 1″, 20 футъ, то $\tau = 121$ п. ф.

71. *Примѣры устройства вѣтряныхъ мельницъ. — На чертежахъ 128—132* представлены примѣры устройства вертикальныхъ голландскихъ мельницъ.

Чер. 128 представляетъ вертикальный разрѣзъ мельницы.

A, косыя крылья.

B, валъ, нѣсколько наклонный къ горизонту.

C, первое зубчатое колесо, передающее движеніе вала другимъ частямъ.

D, обшивка мельницы.

E, вертикальный подпорный столбъ, на которомъ поворачивается весь корпусъ мельницы.

F, основаніе подпорнаго столба.

G, рычагъ, которымъ поворачиваютъ мельницу.

H, лѣстница.

Чер. 129. Фасадъ крыльевъ.

Чер. 130. Вертикальный разрѣзъ другой мельницы. Части, общія съ предъидущею мельницею, означены тѣми-же самыми буквами. Мельница изображенная на *Чертежѣ 130* разнится отъ предъидущей тѣмъ, что въ ней поворачивается не весь корпусъ, но одинъ лишь *шатеръ h*. Вращеніе происходитъ на платформѣ *m*. Шатеръ вращается на двухъ рядахъ катковъ: одинъ рядъ расположенъ вертикально, *i*, *Чер. 131*, другой горизонтально, *o*.

Чер. 131. Платформа и катки.

Чер. 132. Боковой видъ мельницы.

D, круглая галлерея.

E и *F* платформа и катки, на которыхъ вращается весь корпусъ.

G, воротъ для вращенія мельницы.

III. ВОДА, РАЗСМАТРИВАЕМАЯ КАКЪ ДВИЖИТЕЛЬ.

72. *Запасъ работы воды.* — Вода становится движителемъ, когда отъ дѣйствія силы тяжести движется, и, на пути своемъ, преодолѣваетъ полезныя сопротивленія. Чѣмъ болѣе масса движущейся воды и высота съ которой она можетъ-быть спущена, тѣмъ большую работу сообщитъ ей сила тяжести. Мѣрою этой работы будетъ произведеніе изъ вѣса воды на высоту паденія. Такъ что, если Q представляетъ вѣсъ воды, сливающейся въ каждую секунду съ высоты H, то QH будетъ работа сообщаемая водѣ силою тяжести въ 1". — Когда вода при движеніи своемъ не встрѣчаетъ никакихъ сопротивленій, тогда вся работа QH употребляется на сообщеніе водѣ скорости V, соотвѣтствующей высотѣ H. Скорости V соотвѣтствуетъ живая сила $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$, которая, численно, равна произведенію QH. (Часть I. §§. 95 и 177), и эта живая сила представляетъ собою работу, которую вода можетъ передать сопротивленіямъ.

И такъ, при употребленіи воды какъ движителя, могутъ быть два случая: *въ первомъ*, вода, сливаясь съ высоты H, вѣсомъ Q, преодолѣваетъ встрѣчающіяся сопротивленія и, принимая сама отъ силы тяжести работу QH, въ то-же время передаетъ ее сопротивленіямъ; *во второмъ*, падая съ высоты H, вода невстрѣчаетъ никакихъ сопротивленій, и въ концѣ паденія пріобрѣтаетъ скорость V, съ которою стремится продолжать движеніе; и тогда уже, встрѣчая сопротивленія, передаетъ имъ работу, равную своей живой силѣ, $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$, или, что все равно QH. Такъ что, въ обоихъ случаяхъ, работа получаемая водою отъ силы тяжести, представляется произведеніемъ QH, въ которомъ H изображаетъ или дѣйствительную высоту паденія, или напоръ, соотвѣтствующій пріі-

обрѣтенной скорости. Это произведеніе принято называть *запасомъ работы воды*. Оно выражаетъ собою *всю* работу, какую вода принимаетъ отъ силы тяжести.

Такъ, напримѣръ, если водоемъ устроенный на возвышеніомъ мѣстѣ, можетъ доставлять въ каждую секунду по 100 куб. футъ, или 172,$^{пуд.}$8, и эта вода можетъ падать съ высоты 10 футъ, то можно будетъ сказать, что водоемъ содержитъ въ себѣ запасъ работы, равный $172{,}8 \times 10 = 1728$ пуд. фут. въ 1". — Или, если въ рѣкѣ вода движется съ среднею скоростью 3 фута въ 1", и живымъ сѣченіемъ рѣки протекаетъ въ каждую секунду 1000 куб. футъ, то можно сказать, что рѣка содержитъ въ себѣ запасъ работы, равный живой силѣ воды, то-есть:

$$\frac{1000 \times 1{,}728}{64{,}34} \times 9 = \text{почти } 241 \text{ пуд. футъ.}$$

Естественные водоемы бываютъ двухъ родовъ: въ однихъ вода остается безъ движенія, — таковы озера, пруды; въ другихъ движется, побуждаемая безпрестанно силою тяжести, — таковы всѣ рѣки. Если прудъ или озеро помѣщены на возвышеніи и есть возможность выпустить изъ нихъ въ низшее мѣсто столько воды, сколько накопится во время спуска, то подобные водоемы могутъ быть движителями, и мѣрою запаса ихъ работы будетъ произведеніе изъ вѣса воды Q, доставляемой въ единицу времени, на высоту H, съ которой вода можетъ падать. При движеніи воды въ рѣкѣ запасъ работы выразится живою силою $\frac{QV^2}{2g}$ воды, протекающей живымъ сѣченіемъ въ единицу времени. Въ большихъ рѣкахъ количество $\frac{QV^2}{2g}$ весьма значительно, но не все можетъ быть употреблено въ пользу, за невозможностью заставить всю массу воды дѣйствовать на пріемникъ. Въ малыхъ рѣкахъ, которыя встрѣчаются чаще, запасъ работы

$\frac{QV^2}{2g}$ незначителенъ и, вообще говоря, недостаточенъ для учрежденія фабричнаго производства. Можно увеличить его, до нѣкоторой степени, запрудивъ рѣку плотиною и заставивъ воду подняться выше горизонта въ руслѣ рѣки. Плотина несоздастъ работы, но сбережетъ ее, предупредивъ движеніе воды въ руслѣ и трату работы на треніе и другія сопротивленія. Мѣрою запаса работы воды, удержанной плотиною, будетъ произведеніе изъ вѣса воды, протекающей живымъ сѣченіемъ рѣки, въ 1″, на высоту, отъ поднятаго горизонта до горизонта въ нижней части русла.

Запасомъ работы воды можно воспользоваться двумя образами: 1) Заставляя воду переливаться черезъ верхній край плотины и, при паденіи, съ высоты H, дѣйствовать на пріемникъ вѣсомъ своимъ Q; 2) Выпуская воду окошкомъ, устроеннымъ въ нижней части плотины, и заставляя ее дѣйствовать на пріемникъ, съ нѣкоторою скоростью V.

73. *Общая теорія дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ.* — Есть много родовъ гидравлическихъ пріемниковъ: они различаются между собою и составомъ и способомъ дѣйствія. При-всемъ-томъ, всѣ они имѣютъ общую теорію дѣйствія, которою займемся, прежде нежели войдемъ въ разсмотрѣніе частнаго состава и способа дѣйствія каждаго пріемника порознь.

Представимъ себѣ какой-нибудь гидравлическій пріемникъ, въ то мгновеніе, когда вода начинаетъ приводить его въ движеніе. Понятно что, сначала, движеніе пріемника будетъ медленное, потомъ быстрѣе и быстрѣе, и наконецъ сдѣлается равномѣрнымъ, когда работа доставляемая движителемъ сдѣлается равною той, какую потребляютъ сопротивленія (§. 8). Постоянная скорость, съ какою пріемникъ будетъ продолжать двигаться, называется его *нормальною* или *обыкновенною скоростью*. Предполагая

движеніе пріемника при нормальной скорости, если назвать P давленіе воды на часть пріемника, подверженную непосредственному дѣйствію ея, и v скорость этой части, по направленію силы P, то Pv будетъ работа переданная водою, или, такъ называемое, *произведенное дѣйствіе* пріемника.

Гидравлическій пріемникъ будетъ дѣйствовать самымъ выгоднымъ образомъ, когда произведенное дѣйствіе Pv приблизится къ равенству съ запасомъ работы воды.

Назовемъ V скорость съ какою вода встрѣтитъ пріемникъ. Эта скорость будетъ менѣе той, какая соотвѣтствуетъ всему напору, то-есть отвѣсному разстоянію верхняго горизонта водоема до точки встрѣчи съ пріемникомъ, по причинѣ сопротивленій, какія вода встрѣтитъ на своемъ пути, прежде нежели дойдетъ до пріемника. Въ первой части курса (§§. 190—201) мы говорили объ опредѣленіи скорости V, и здѣсь можемъ предположить что она найдена по изложеннымъ правиламъ. Пусть будетъ M масса воды встрѣчающая пріемникъ въ $1''$ и Q вѣсъ ея. Предполагая что всѣ частицы воды встрѣчаютъ пріемникъ съ одинаковою скоростью V, получимъ $\frac{MV^2}{2}$ или $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$ выраженіе живой силы или работы, какую вода принесетъ съ собою къ пріемнику.

Встрѣтившись съ пріемникомъ, вода передастъ ему свою работу и, вслѣдъ-за-тѣмъ, оставитъ его, или, станетъ продолжать движеніе съ нимъ вмѣстѣ и опустится съ высоты h, прежде нежели оставитъ пріемникъ. Въ послѣднемъ случаѣ сила тяжести сообщитъ водѣ работу Qh, которая прибавится къ $\frac{Q}{2g}\cdot V^2$; такъ что, вся работа, принятая водою отъ сила тяжести, будетъ

$$\frac{Q}{2g}\cdot V^2 + Qh.$$

По закону передачи работы, произведенное дѣйствіе Pv было-бы равно всей доставленной работѣ $\frac{Q}{2g}V^2 + Qh$, если-бы не было вовсе потери работы движителя.

Но такъ неслучается ни въ одномъ гидравлическомъ пріемникѣ, по слѣдующемъ причинамъ.

1. Часть работы тратится по причинѣ удара, случающагося при встрѣчѣ воды съ пріемникомъ. Дѣйствительно, при встрѣчѣ воды, которой скорость V, съ пріемникомъ, имѣющимъ скорость v, различную отъ V, по величинѣ или направленію, случается всегда ударъ и потеря части живой силы. Эту потерю, въ 1″, можно представить членомъ $\frac{Q}{2g}\cdot u^2$, въ которомъ $\frac{Q}{g}$ масса воды, встрѣчающей пріемникъ въ 1″, u относительная скорость массы $\frac{Q}{g}$. Говоря о разнаго рода гидравлическихъ пріемникахъ мы покажемъ какъ опредѣляется u.

2. Часть работы воды непередается пріемнику, по той причинѣ что вода оставляетъ его съ нѣкоторою скоростью w, которой соотвѣтствуетъ живая сила $\frac{Q}{g}\cdot\frac{w^2}{2}$. Эту живую силу уноситъ съ собою вода, непередавъ пріемнику.

Къ этому слѣдовало-бы прибавить: что, иногда, вода, встрѣтившись съ пріемникомъ и двигаясь съ нимъ вмѣстѣ, подвергается новымъ ударамъ, водоворотамъ и потерѣ работы, или, встрѣчая въ пріемникѣ вредныя сопротивленія, расходуетъ на нихъ часть работы; но какъ эту потерю затруднительно опредѣлить съ точностью, и какъ, вообще говоря, она весьма незначительна, то ее пренебрегаютъ въ общей теоріи пріемниковъ.

Поэтому, если изъ работы $\frac{Q}{2g}V^2 + Qh$ доставляемой

водою, вычесть работу истрачиваемую на ударъ, $\frac{Q}{2g}u^2$, и ту какую уноситъ съ собою вода, $\frac{Q}{2g}w^2$, то получится выраженіе работы принятой пріемникомъ:

$$Pv = \frac{Q}{2g}V^2 + Qh - \frac{Q}{2g}(u^2 + w^2).$$

Наибольшее произведенное дѣйствіе Pv будетъ тогда, когда членъ $\frac{Q}{2g}(u^2 + w^2)$ будетъ имѣть наименьшую величину, то-есть когда $u=0$ и $w=0$. Условіе $u=0$ показываетъ что, для наивыгоднѣйшаго дѣйствія пріемника, недолжно быть вовсе удара при входѣ воды, а $w=0$ — что вода при выходѣ изъ пріемника недолжна имѣть никакой скорости. Въ послѣдствіи, говоря о разнаго рода пріемникахъ покажемъ до какой степени можно выполнить эти условія, и увидимъ что ни въ одномъ пріемникѣ они немогутъ быть удовлетворены вполнѣ. По этому, нѣтъ гидравлическаго пріемника, въ которомъ принимаемая работа Pv была-бы равна всей работѣ $\frac{Q}{2g}V^2 + Qh$, доставляемой водою.

Замѣтимъ еще что Pv представляетъ работу, переданную водою пріемнику и расходуемую имъ какъ на полезныя такъ и на вредныя сопротивленія. Часть, поглощаемая вредными сопротивленіями — треніемъ, сопротивленіемъ воздуха, и т. п. — бываетъ иногда весьма значительною и неможетъ быть пренебрежена въ практикѣ.

74. *Раздѣленіе гидравлическихъ пріемниковъ.* — Вообще всѣ гидравлическіе пріемники можно раздѣлить на два разряда: *А) гидравлическія колеса*, то-есть пріемники, имѣющіе круговращательное движеніе, и *Б) водостолбовыя машины*, въ которыхъ пріемникъ имѣетъ попеременное движеніе взадъ и впередъ.

Гидравлическія колеса бываютъ *вертикальныя* и *горизонтальныя*. Первыя вращаются на лежачихъ, послѣднія на стоячихъ валахъ. Какъ тѣ такъ и другія бываютъ *подливныя* или *наливныя*, смотря-по-тому, дѣйствуетъ-ли въ нихъ вода подливаясь снизу, или наливаясь сверху.

Разсмотримъ составъ употребительнѣйшихъ гидравлическихъ пріемниковъ и изложимъ выгоднѣйшія условія ихъ дѣйствія.

а). *Вертикальныя колеса.*

1. Подливныя колеса съ плоскими перьями.

75. *Составъ подливнаго колеса съ плоскими перьями.* — Начнемъ описаніе гидравлическихъ колесъ съ подливнаго колеса, съ плоскими перьями. Это колесо употребляется при небольшихъ напорахъ воды, — отъ 4 до 10 фут. Въ составъ его входятъ слѣдующія части: 1-е) горизонтальный валъ *(Чер. 133)*; 2-е) два, а въ случаѣ большой ширины, три обода или вѣнца; 3-е) части, связывающія каждый ободъ съ валомъ: эти части имѣютъ видъ спицъ или ручекъ. Спицъ, расположенныхъ по направленіямъ радіусовъ, бываетъ 4 или 6, при каждомъ ободѣ. Употребляя ручки, дѣлаютъ ихъ по четыре при каждомъ ободѣ и охватываютъ ими плотно валъ, заклинивая промежутки между валомъ и каждою ручкою; при взаимной встрѣчѣ, ручки врѣзываются одна въ другую въ пол-дерева; 4-е) въ вѣнцы колеса вставляются клинья, къ которымъ прикрѣпляются перья; 5-е) перья составляются изъ планокъ, которыя прибиваются къ клиньямъ деревянными нагелями, или привинчиваются болтами; 6-е) наконецъ, иногда въ промежуткахъ между перьями вѣнцы обшиваются досками; что образуетъ сплошную досчатую палубу.

Валъ колеса дѣлается изъ дерева или изъ чугуна; по концамъ его вставляются шипы, которые вращаются въ

мѣдныхъ подшипникахъ. Когда валъ соединенъ съ вѣнцами посредствомъ спицъ, тогда на него насаживаютъ чугунный бугель съ гнѣздами, въ которыя вставляютъ концы спицъ; другіе концы врѣзываютъ въ пол-дерева въ вѣнцы, и привинчиваютъ болтами, или, что лучше, прибиваютъ нагелями. Такимъ-же образомъ соединяютъ концы ручекъ съ вѣнцами. Каждый вѣнецъ составляется изъ двухъ рядовъ досокъ; толщина одного ряда можетъ быть около $2^1/_2$ дюймовъ, другаго — въ 1 дюймъ; въ каждомъ ряду доски лежатъ видъ *косякомъ*; два ряда скрѣпляются вмѣстѣ нагелями.

76. *Расположеніе щитоваго отверзтія и русла.* — Къ подливному колесу вода пускается отверзтіемъ, сдѣланнымъ въ нижней части плотины, и подводится къ самому колесу русломъ, котораго дно и стѣны обнимаютъ перья такъ, что-бы между ими оставался запасъ такой только, какой необходимъ для свободнаго движенія колеса. Для уменьшенія потери работы на треніе воды по дну русла, на удары и водовороты, которые случаются отъ сжатія струи при входѣ въ русло, слѣдуетъ: 1-е) дѣлать русло сколько можно короче, то-есть, помѣщать колесо какъ можно ближе къ водоему; 2-е) Дно окошка впускающаго воду и дно русла помѣщать на продолженіи дна резервуара, и боковымъ стѣнамъ русла, у самаго окошка, придавать форму сжатой струи, какъ объяснено въ первой части курса (§. 199. *Чер. 242*). Щитъ помѣщается поближе къ колесу и наклоняется къ нему подъ 45° или 60°. Дно руела, перейдя за щитовое отверзтіе, наклоняется нѣсколько (отъ $^1/_{18}$ до $^1/_{10}$) къ колесу, и достигаетъ до него около втораго пера, считая отъ отвѣснаго діаметра. Отсюда, дно принимаетъ видъ концентрическій съ колесомъ, и перешедши за отвѣсный діаметръ, образуетъ порогъ, дюймовъ въ 8 высоты. Этотъ порогъ служитъ для свободнаго выхода воды, которая совершила уже свое дѣйствіе; для лучшаго достиженія этой

цѣли, иногда расширяютъ русло за перекомъ. Ширина русла подъ колесомъ зависитъ отъ количества воды; она должна быть такая, что-бы, по снятіи колеса, толщина слоя воды была не менѣе 6 дюйм., и не болѣе 10 д. Первый предѣлъ основанъ на томъ, что чѣмъ менѣе толщина слоя воды, тѣмъ болѣе потеря воды, проходящей безъ пользы между перьями и дномъ русла, относительно къ всему объему воды, доставляемому машинѣ. Такъ напримѣръ, если запасъ оставленный между перьями и русломъ равенъ 1 дюйму, то при толщинѣ слоя воды въ 6 дюймовъ, теряется безполезно $^1/_6$ часть воды; при 5 дюймахъ, потеря составляла-бы $^1/_5$ всего объема воды; и т. д. Второй предѣлъ толщины слоя, 10 дюймовъ, основанъ на томъ, что съ увеличеніемъ толщины увеличиваются разности скоростей верхней и нижней части перьевъ, отъ той скорости, какая соотвѣтствуетъ наибольшему произведенному дѣйствію.

77. *Измѣренія перьевъ.* — Длина перьевъ равняется ширинѣ русла подъ колесомъ, уменьщенной удвоеннымъ запасомъ, какой необходимъ съ боковъ для свободнаго движенія. Эти боковые запасы могутъ быть самые незначительные. Касательно запаса по дну, онъ не можетъ быть менѣе 1 дюйма, потому-что, при самомъ лучшемъ устройствѣ, колесо, современемъ, приметъ нѣкоторую осадку, и тогда его перья задѣвали-бы за дно.

Вышина перьевъ, (считаемая по направленію радіуса) должна быть такая, что-бы при наименьшей скорости колеса и наибольшей скорости воды, вода не могла переливаться черезъ верхніе края перьевъ. По этому соображенію, обыкновенно дѣлаютъ вышину перьевъ равною утроенной толщинѣ слоя воды на сливномъ полѣ, не переходя однако-жъ предѣла 1 аршина.

Перья размѣщаются одно отъ другаго въ разстояніи равномъ ихъ вышинѣ, откладывая это разстояніе по внѣшней окружности колеса.

78. *Діаметръ колеса. Число перьевъ.* — Мы сейчасъ увидимъ, что работа принимаемая подливнымъ колесомъ вовсе не зависитъ отъ величины діаметра, и измѣняется только со скоростью движенія перьевъ. Обыкновенно величина діаметра колеса опредѣляется по двумъ слѣдующимъ соображеніямъ: 1-е) колесо, находясь въ связи съ нѣкоторымъ исполнительнымъ механизмомъ, должно дѣлать опредѣленное число оборотовъ въ единицу времени; 2-е) масса его и скорость должны быть достаточны для уравненія движенія. Назовемъ U скорость оконечностей перьевъ, N число оборотовъ въ секунду; то діаметръ колеса будетъ данъ слѣдующею формулою:

$$D = \frac{U}{\pi . N};$$

потому-что $\pi . N . D$. представляетъ пространство пройденное точкою на окружности въ 1″; ($\pi = 3{,}1416$). Вмѣсто U надобно подставить самую выгоднѣйшую скорость колеса, которую опредѣлимъ въ послѣдствіи. Впрочемъ, въ практикѣ діаметръ колеса не бываетъ менѣе 2 саженъ, и не болѣе 4-хъ саженъ; и сверхъ того, ось колеса никогда не помѣщается выше горизонта воды въ резервуарѣ.

Зная діаметръ колеса, нетрудно опредѣлить число перьевъ. Это число должно дѣлиться на 4, потому-что колеса составляются по четвертямъ.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны числа перьевъ, соотвѣтствующія разнымъ діаметрамъ колеса:

Діаметръ колеса.	Число перьевъ.
2 саж.	24
2½ —	28
3 —	32
3½ —	36
4 —	40

Впрочемъ, можно, безъ неудобства, увеличить 4-мя каждое число перьевъ, показанное въ таблицѣ.

79. *Наклоненіе перьевъ. Закраины.* — Нѣкоторые Механики предлагали наклонять перья къ соотвѣтственнымъ радіусамъ колеса, подъ углами отъ 8° до 16°. Боссю *(Bossut)* нашелъ это болѣе выгоднымъ при движеніи колеса въ безпредѣльной массѣ воды нежели въ настоящемъ случаѣ.

Иногда набиваютъ на края перьевъ бруски, которые образуютъ закраины: это дѣлаютъ для увеличенія давленія воды. Однако-жъ, опыты показываютъ, что подобное устройство увеличиваетъ произведенное дѣйствіе колеса самымъ нечувствительнымъ образомъ, — неболѣе какъ $^1/_{12}$-ю. Гораздо выгоднѣе заключать перья между двухъ вѣнцовъ, наподобіе того, какъ въ наливныхъ колесахъ.

Дѣйствіе, подобное закраинамъ, производятъ въ узкихъ колесахъ чугунныя перья, слегка выгнутыя, въ видѣ цилиндрическихъ поверхностей, которыхъ оси имѣютъ направленіе радіусовъ.

80. *Работа принимаемая подливными колесами съ плоскими перьями.* — Показавъ устройство подливнаго колеса съ плоскими перьями, перейдемъ къ опредѣленію работы, какую оно можетъ принять. Назовемъ P давленіе, производимое водою на колесо, по окружности раздѣляющей перья пополамъ, v скорость этой окружности; Pv будетъ представлять работу, переданную колесу водою, въ секунду, или, иначе, произведеніе дѣйствія колеса. — Когда колесо придетъ въ равномѣрное движеніе, тогда вода, накопляясь между перьями, образуетъ подпоръ, который будетъ двигаться со скоростью v колеса. Новая вода, приходящая со скоростью V, будетъ ударять не перья, но подпоръ, находящійся впереди ихъ, съ относительною скоростью $u = V - v$. Изъ колеса она будетъ выходить съ его скоростью v, то-есть v будетъ равно v; и наконецъ, такъ какъ русло почти горизонтально, то $h = 0$,

или почти равно нулю. Подставляя всѣ эти величины въ общее выраженіе произведеннаго дѣйствія гидравлическаго пріемника (§. 73), получимъ для настоящаго случая:

$$Pv = \frac{QV^2}{2g} - \frac{Qv^2}{2g} - \frac{Q}{2g}(V-v)^2 = {}^1/_2\frac{Q}{g}\{V^2 - (v^2 + (V-v)^2)\};$$

то-есть, Pv равно живой силѣ воды при входѣ, уменьшенной живою силою, уносимою водою при выходѣ, и живою силою, потерянною при ударѣ.

Это показываетъ, что произведенное дѣйствіе подливнаго колеса перемѣняется съ перемѣною скорости v; и что оно равно нулю, когда $v = 0$, или $v = V$. Изъ этого слѣдуетъ, что должна быть нѣкоторая величина скорости v колеса, между 0 и V, при которой Pv имѣетъ наибольшую величину. Понятно что это будетъ тогда, когда отрицательное выраженіе $v^2 + (V-v)^2$, будетъ наименьшее. Для отысканія величины v, при которой $v^2 + (V-v)^2$ будетъ наименьшимъ, представимъ геометрически это выраженіе *(Чер. 134)*. Отложимъ на прямой линіи $AV = V$ и $Av = v$; vV будетъ представлять $V-v$. Возставимъ перпендикуляръ vV' къ AV, и сдѣлаемъ его равнымъ vV или $V-v$; проведемъ AV'. Изъ прямоугольнаго треугольника $AV'v$ выведемъ $AV'^2 = Av^2 + V'v^2$; или $AV'^2 = v^2 + (V-v)^2$. Если скорость v представить другою прямою, напримѣръ Av', и возставить перпендикуляръ $v'V''$, равный vV, то получится другая точка V'', которая, съ точкою V' и со всѣми подобными ей точками, будетъ находиться на прямой AV'', наклонной къ AV подъ 45°. Ясно что, между всѣми разстояніями AV', AV'',... точки A до прямой VV'', кратчайшее представляется перпендикуляромъ AV'' къ линіи VV''. Поэтому, уголъ $VV''A = 90°$, а $V''AV = 45°$. Слѣдственно, треугольникъ $AV''V$ равнобедренъ, и Av' или v равно половинѣ основанія AV, то-есть ${}^1/_2V$. То-есть наименьшая величина выраженія

$v^2 + (V - v)^2$, или ***наибольшее произведенное дѣйствіе Pv соотвѣтствуетъ скорости колеса, равной половинѣ скорости, съ какою вода встрѣчаетъ колесо.***

Подставивъ, въ выраженіи $v^2 + (V - v)^2$, вмѣсто v, $\frac{1}{2}V$, получимъ: $\frac{V^2}{4} + \frac{V^2}{4} = \frac{1}{2}V^2$; откуда

$$Pv = \frac{Q}{2g}\left|V^2 - \frac{1}{2}V^2\right| = \frac{Q}{4g}.\ V^2.$$

Если-бы колесо принимало всю работу, доставляемую водою, то его произведенное дѣйствіе было-бы $\frac{QV^2}{2g}$. Изъ чего слѣдуетъ, что наибольшее произведенное дѣйствіе подливнаго колеса равно половинѣ работы доставляемой водою. Другая половина расходуется на удары и уносится водою, проходящею свободно въ промежуткахъ между колесомъ и стѣнами русла.

Впрочемъ, это еще только теоретическій выводъ. На самомъ дѣлѣ онъ оказывается гораздо-менѣе. По опытамъ Боссю и Смитона подливное колесо не принимаетъ болѣе $\frac{5}{10}$ работы воды, — что составляетъ только $\frac{6}{10}$ произведеннаго дѣйствія, найденнаго по теоріи. Это объясняется значительною потерею воды въ запасахъ, и тѣмъ, что вода, по причинѣ подпоровъ, оставляетъ колесо съ большею скоростью нежели скорость v колеса. Равнымъ образомъ, опытами найдено, что скорость, соотвѣтствующая наибольшему произведенному дѣйствію, менѣе $\frac{1}{2}V$: она равна почти $\frac{2}{3}V$ или $0{,}4.V$; вѣроятно отъ того, что подпоръ впереди колеса бываетъ болѣе, и вода дѣйствуетъ на перья частью своего вѣса.

При увеличеніи запасовъ между перьями и русломъ, произведенное дѣйствіе быстро уменьшается, потому-что часть массы воды проходитъ безъ пользы. Зная ab, *(Чер. 135)*, толщину слоя воды въ руслѣ, надобно уменьшить $\frac{Q}{g}$, въ

выраженіи Pv, сообразно съ отношеніемъ площади $a'b'c'd'$ загражденной шлюзомъ, къ площади $abcd$ сѣченія воды. Повидимому, при большихъ запасахъ, для Pv слѣдуетъ брать 0,75 его теоретической величины, такъ что:

$$Pv = 0{,}75 . \frac{Q}{g} \frac{a'b'c'd'}{abcd} \cdot \frac{V^2}{4}$$

Это показываетъ все вредное вліяніе запасовъ. Въ практикѣ дѣлаютъ ихъ сколько можно меньшими. Мы сказали, что запасъ у дна не долженъ быть больше 1 дюйма: боковые могутъ быть въ 2 или 3 линіи.

При дурномъ устройствѣ колеса, нерѣдко скорость его много разнится отъ $^1/_2\ V$, или отъ $^2/_3\ V$. Тогда, желая получить Pv, надобно вычислить его по общей формулѣ: $^1/_2 \frac{Q}{g} \{V^2 - (v^2 - (V-v)^2)\}$, и взять 0,60 найденной величины. Можно упростить это вычисленіе, замѣчая что:

$$V^2 - v^2 - (V-v)^2 = 2v\,(V-v).$$

Такимъ образомъ выраженіе Pv приметъ слѣдующій видъ:

$$Pv = 0{,}6 . \frac{Q}{g} \cdot v\,(V-v) \text{ п. ф.}$$

Замѣтимъ что V, скорость съ какою вода встрѣчаетъ колесо, разнится существенно отъ той, какая соотвѣтствуетъ всему напору воды, считая отъ верхняго горизонта до центра щитоваго отверстія; и что первая можетъ составить 0,80 послѣдней, если придѣлать къ отверстію прибавочную трубу (Ч. 1. §. 193); поэтому и живая сила, дѣйствительно передаваемая колесу, составляетъ лишь $(0{,}80)^2$ или $^2/_3$ всей живой силы, соотвѣтствующей напору. И какъ подливное колесо, при лучшемъ устройствѣ, не принимаетъ болѣе $^4/_{10}$ работы, сообщаемой ей водою, то наибольшее произведенное дѣйствіе подобнаго колеса составитъ неболѣе $^4/_{10} \times {}^2/_3 = {}^1/_5 = 0{,}20$ работы соотвѣтствующей всему напору воды. — Весьма часто оно не превосходитъ даже $^1/_{10}$.

81. *Частные примѣры, поясняющіе употребленіе выведенныхъ формулъ.* — Покажемъ на частныхъ примѣрахъ употребленіе выведенныхъ формулъ.

1) Спрашивается произведенное дѣйствіе подливнаго колеса съ плоскими перьями, стариннаго устройства, то-есть съ отвѣснымъ щитомъ, расположеннымъ довольно далеко отъ колеса, и полагая запасы не менѣе двухъ дюймовъ, какъ то часто случается. Въ каждую секунду резервуаръ доставляетъ 15 куб. ф. воды, которая приходитъ къ колесу со скоростью 15 футовъ; скорость окружности колеса равна 8 фут.

Для этого случая, надобно употребить формулу $Pv = 0{,}60 . \frac{Qv}{g} (V - v)$; (§. 80). Подставляя вмѣсто: $\frac{Q}{g} = \frac{15^{к.ф.} \times 1{,}^{п.}72}{32{,}17} = 0{,}8$; $v = 8$; $V = 15$; получимъ

$Pv = 0{,}60 \times 0{,}8 \times 8 \times 7 = 26{,}88$ н. ф. въ 1"; или, выражая въ *условныхъ* лошадяхъ (§. 67.), $Pv = \frac{26{,}88}{15} = 1{,}79$ лошадей.

2) Полагая что при тѣхъ-же данныхъ запасы между перьями и русломъ болѣе, спрашивается произведенное дѣйствіе колеса. Положимъ что запасъ у дна равенъ 2,5 дюймамъ, а боковые каждый по 4 дюйма; пусть, какъ и прежде, $Q = 15$ куб. ф.; $V = 15$ ф.; $v = 8$ фут.

Употребляя формулу, выведенную въ §. 80, надобно знать ширину русла и длину перьевъ. Положимъ, что первая $L = 4$ фут.; то вторая будетъ $l = 4$ ф. — 8 д. $= 3{,}33$ ф. Тольщина x слоя воды въ руслѣ опредѣлится изъ слѣдующаго уравненія:

$$Q = L . x . V;$$ гдѣ Q объемъ воды въ 1";

$$\text{откуда } x = \frac{Q}{V . L} = 0{,}25 \text{ ф.}$$

Поэтому, $L.x$, то-есть площадь сѣченія воды, будетъ извѣстна, а именно будетъ равна 1 кв. ф.

Называя a площадь загражденную пероиъ, замѣчаемъ, что $a = 3{,}33 \left\{x — 2^1/_2 д.\right\} = 0{,}1665$ к. ф.

$$\frac{Q}{g} = \frac{O \times 1{,}72}{g} = 0{,}8;$$

слѣдственно:

$$Pv = 0{,}75 \cdot \frac{Q}{g} \cdot \frac{a}{Lx} \cdot \frac{V^2}{4} = 0{,}75 \times 0{,}8 \times \frac{0{,}1665}{1} \times \frac{(15)^2}{4} = 5{,}62 \text{ п. ф.}$$

2. Подливныя колеса съ кривыми перьями.

82. *Составъ колеса съ кривыми перьями.* — Устройствомъ подливнаго колеса съ кривыми перьями фабричная промышленость обязана Инженеру Французской службы *Г. Понсле (Poncelet)*. Такъ-какъ это колесо имѣетъ значительныя преимущества предъ обыкновенными, то мы войдемъ въ бо́льшія подробности, касательно состава и расположенія его частей. Всѣ эти подробности основаны на теоріи и подкрѣплены многими опытами.

Колесо съ кривыми перьями разнится отъ обыкновеннаго тѣмъ, что въ немъ, вмѣсто плоскихъ, употреблены цилиндрическія перья, *(Чер. 136)*, которыхъ кривизна сопрягается почти касательно съ внѣшнею окружностію колеса: это расположеніе способствуетъ уменьшенію удара воды при встрѣчѣ съ колесомъ. Перья не поддерживаются сзади клиньми, но вставляются концами въ два плоскіе вѣнца, параллельные между собою и концентрическіе съ колесомъ.

Слѣдующія расположенія составныхъ частей колеса найдены выгоднѣйшими:

1). *Щитъ и выпускное отверзтіе въ плотинѣ.* — Водоудержательная плотина, отверзтіе въ ней и щитъ располагаются сообразно съ тѣмъ, что было сказано въ §. 76, имѣя въ виду избѣгать, по возможности, сжатій у дна и съ боковъ и вообще всѣхъ сопротивленій, которыя могли бы уменьшить скорость воды.

2). *Дно русла приводящаго воду къ колесу.* — Дно *AT* русла приводящагося воду къ колесу направляется касательно къ ободу, по прямому направленію до точки *T*, которой положеніе опредѣляютъ опуская перпендикуляръ *CT* изъ центра *C* колеса на направленіе дна *AT*. Дну придается уклонъ отъ $^1/_{15}$ до $^1/_{10}$.

3). *Дно русла подъ колесомъ.* — Начиная съ точки *T*, дно русла принимаетъ видъ цилиндра, концентрическаго съ колесомъ. Между русломъ и колесомъ оставляется запасъ, необходимый для свободнаго движенія колеса: этотъ запасъ доходитъ до $^1/_2$ дюйма въ случаѣ желѣзныхъ или чугунныхъ колесъ, и до 1 дюйма въ случаѣ деревянныхъ колесъ, которыя никогда немогутъ быть построены съ такою точностью, что-бы въ послѣдствіи не приняли нѣкоторой осадки. Цилиндрическая часть русла *TB* продолжается до точки *B*, такъ что промежутокъ *TB* превосходитъ 2-мя или $2^1/_2$ дюймами разстояніе между двумя смежными перьями. При такомъ устройствѣ, по меньшей мѣрѣ одно перо всегда бываетъ обнято русломъ.

4). *Порогъ. Выпускное русло.* — Въ точкѣ *B* дѣлается порогъ *BD*, способствующій водѣ свободно выходить изъ колеса. Ребро *B* порога должно быть помѣщено на горизонтѣ *MN* воды въ выпускномъ каналѣ, во время *обыкновенныхъ водъ*, то-есть не въ засуху и не въ полноводье. Начиная съ порога, глубина и ширина выпуснаго канала должны быть достаточны для свободнаго протока воды.

5.) *Ширина русла впереди колеса и ширина щитоваго отверзтія.* — Ширину *aa'* щитоваго отверзтія (*Чер. 137*), и, вмѣстѣ съ тѣмъ, ширину передней части русла *aTT'a'* дѣлаютъ нѣсколько менѣе длины перьевъ, то-есть разстоянія между вѣнцами колеса. Это дѣлается съ тою цѣлью, что-бы вода не ударяла въ ребра вѣнцовъ. При хорошемъ устрой-

ствѣ длина перьевъ превосходитъ ширину русла 1 дюймомъ съ каждой стороны.

6). *Помѣщеніе вѣнцовъ въ стѣнкахъ русла.* — Для свободнаго движенія вѣнцовъ, въ боковыхъ стѣнкахъ русла дѣлаютъ цилиндрическія выемки cT и $c'e'T'$; оставляя запасъ въ 1 дюймъ подъ вѣнцами, и гораздо менѣе того по бокамъ.

7). *Форма цилиндрическихъ перьевъ.* — Если-бы перья были совершенно касательны къ внѣшней поверхности колеса, то вода не могла-бы свободно выходить изъ нихъ, и сверхъ того встрѣчала-бы съ ударомъ воду входящую въ колесо. Избѣгая этого, придаютъ перьямъ небольшое наклоненіе, измѣняя его, смотря по толщинѣ слоя воды въ руслѣ. Если mn представляетъ поверхность этого слоя *(Чер. 138)*, то для опредѣленія наклоненія перьевъ, въ точкѣ встрѣчи поверхности mn съ внѣшнею окружностью колеса возставляютъ перпендикуляръ nO къ дну русла, и замѣчаютъ точку O пересѣченія съ внутреннею окружностью вѣнца: изъ точки O, какъ изъ центра, описываютъ дугу круга np, касательную къ mn; это и будетъ профиль пера. Если вѣнцы слишкомъ широки, то слѣдуетъ взять точку O ниже внутренней окружности; и наоборотъ, слѣдовало-бы ее взять нѣсколько выше этой окружности, если-бы ширина вѣнцовъ была очень мала, иначе кривыя линіи np были-бы слишкомъ длинны. Надобно стараться, чтобъ дуга np встрѣчала внутреннюю окружность подъ прямымъ угломъ; потому-что тогда, если вода поднимется выше пера, то, возвращаясь внизъ, она будетъ падать отвѣсно и попадетъ опять въ то-же перо. Если перо начерчено по изложенному здѣсь правилу, то уголъ int, составленный крайнимъ элементомъ съ внѣшнею поверхностью вѣнца, будетъ около 30°, при вышинѣ щитоваго отверзтія въ 1 футъ; или, отъ 20° до 25°, когда эта вышина отъ 4 до 6 дюймовъ.

8). *Число и размѣщеніе перьевъ.* — Число и размѣщеніе

перьевъ зависятъ отъ объема воды, впускаемаго въ колесо и отъ діаметра колеса. Когда діаметръ колеса не болѣе 2 саженъ, тогда число перьевъ не должно быть менѣе 36; при діаметрѣ отъ 3 до $3^1/_2$ саженъ, число перьевъ должно быть 48, по меньшей мѣрѣ.

9). *Ширина вѣнцовъ.* — Разстояніе между внутреннею и внѣшнею окружностями вѣнцовъ бываетъ отъ $^1/_8$ до $^1/_2$ напора воды, при напорѣ отъ 2 до 3 футъ. Если-же напоръ болѣе, то ширина дѣлается отъ $^1/_4$ до $^1/_5$. Это правило основано на томъ, что вода не должна переливаться черезъ верхніе края перьевъ.

83. *Работа принимаемая колесомъ съ кривыми перьями.* — Займемся опредѣленіемъ работы, какую можетъ принять колесо съ кривыми перьями. Удерживая прежнія значенія буквъ, представимъ эту работу произведеніемъ Pv, и работу доставляемую водою въ секунду, членомъ $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$. Членъ Qh (§. 73) будетъ почти равенъ нулю, потому что вода дѣйствуетъ на пріемникъ въ самой низшей точкѣ. Поэтому, общее выраженіе работы, принимаемой гидравлическимъ пріемникомъ (§. 73), приметъ слѣдующій видъ:

$$Pv = \frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2} - \frac{Q}{g}\cdot\frac{u^2}{2} - \frac{Q}{g}\cdot\frac{w^2}{2}.$$

Положимъ что перья расположены совершенно касательно къ внѣшней окружности колеса, и что вода входитъ въ колесо самыми тонкими слоями и касательно къ окружности колеса. Очевидно что, при этомъ, вода неизмѣнитъ направленія своего движенія и непроизведетъ удара. Слѣдовательно, членъ $\frac{Q}{g}\cdot\frac{u^2}{2}$, выражающій работу расходуемую на ударъ, въ настоящемъ случаѣ будетъ равенъ нулю, и

$$Pv = \frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2} - \frac{Q}{g}\cdot\frac{w^2}{2}$$

Относительно члена $\frac{Q}{g}\cdot\frac{w^2}{2}$, надобно замѣтить, что какъ внѣшніе края перьевъ движутся со скоростью v а вода приходитъ къ нимъ со скоростью V, то, при продолжающемся движеніи колеса, вода начнетъ подниматься по перьямъ со скоростью $V-v$. Поднявшись до высоты, соотвѣтствующей этой скорости, она станетъ опускаться по перьямъ, и при выходѣ изъ колеса будетъ имѣть первоначальную скорость $V-v$, въ сторону противную движенію внѣшнихъ краевъ перьевъ. Но какъ вода увлекается колесомъ, въ сторону его движенія, со скоростью v, то дѣйствительная ея скорость w, при выходѣ, будетъ

$$w = V-v-v = V-2v;$$

и стало-быть, работа принимаемая колесомъ, въ 1", выразится такъ

$$Pv = \frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2} - \frac{Q}{2g}(V-2v)^2$$

или, по сокращеніи:

$$Pv = 2.\frac{Q}{g}\cdot v(V-v) \ldots (1).$$

Таково общее выраженіе работы, принимаемой колесами съ кривыми перьями. Понятно что, при данной массѣ воды $\frac{Q}{g}$ и скорости воды V, величина Pv будетъ зависѣть отъ скорости v внѣшней окружности колеса. Самая выгодная скорость колеса будетъ та, при которой членъ $\frac{Q}{2g}(V-2v)^2 = 0$. Этому условію можно удовлетворить, дѣлая $V-2v=0$, то-есть $v=\frac{V}{2}$; и въ такомъ случаѣ

$$Pv = \frac{Q}{2g}V^2 \ldots\ldots (2)$$

то-есть, работа принимаемая пріемникомъ будетъ равна всей работѣ доставляемой водою.

И такъ, *подливное колесо съ кривыми перьями, расположенными касательно къ внѣшней окружности, приметъ всю работу, доставляемую водою, когда скорость внѣшней окружности будетъ равна половинѣ скорости воды.*

Но все это — одни теоретическіе выводы. Въ практикѣ находятъ:

1. Что скорость v колеса, при которой принимаемая работа бываетъ наибольшею, нѣсколько болѣе половины скорости V, съ какою вода входитъ въ колесо; а именно, она равна почти $0{,}55.V$, и безъ неудобства можетъ быть доводима до $0{,}60.V$, если масса воды подливающейся подъ колесо значительна.

2. Что при самой выгодной скорости, подливное колесо съ кривыми перьями не принимаетъ всей работы воды, по слѣдующимъ причинамъ: а) въ теоріи предполагается что вся масса $\frac{Q}{g}$ воды встрѣчаетъ колесо со скоростью V; это никогда неслучается, по причинѣ запасовъ, необходимыхъ между колесомъ и русломъ, и потому что всѣ частицы жидкости неимѣютъ одинаковой скорости; б) предполагается что вода при входѣ въ колесо не производитъ вовсе удара; это предположеніе неоправдывается на дѣлѣ, потому что, нельзя располагать перья совершенно касательно къ внѣшней окружности колеса: при подобномъ расположеніи, вода, произведшая дѣйствіе, не могла-бы свободно выходить изъ колеса. Обыкновенно внѣшніе края перьевъ составляютъ съ окружностью колеса углы около 30°.

Опыты показываютъ что, при наивыгоднѣйшей скорости, работа, дѣйствительно принимаемая колесомъ, выражается формулою:

$$Pv = K.\ \frac{Q}{2g} \cdot V^2$$

гдѣ K — дробь, зависящая отъ напора воды и вышины выпускнаго окошка; а именно:

При большомъ напорѣ надъ центромъ окошка — въ 6 футъ и болѣе, и при малой вышинѣ окошка — отъ 3 до 5 дюймовъ, $K = 0{,}65$.

При малыхъ напорахъ — въ 5 футъ и менѣе, и при значительной вышинѣ окошка, — отъ 8 до 12 дюймовъ, $K = 0{,}75$.

Это доказываетъ что работа, принимаемая подливнымъ колесомъ, бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе напоръ и чѣмъ болѣе вышина окошка выпускающаго воду.

Когда скорость колеса v значительно разнится отъ наивыгоднѣйшей, то-есть отъ $0{,}55.V$, тогда работа дѣйствительно принимаемая колесомъ опредѣляется по формулѣ (1), помножая теоретическій выводъ на дробь K, которая, среднимъ числомъ, равна 0,60, такъ что:

$$Pv = 0{,}60 \times 2.\ \frac{Q}{g} v\,(V - v)$$

или $$Pv = 1{,}2.\ \frac{Q}{g} v\,(V - v).$$

Все это относится къ тѣмъ случаямъ, когда щитъ наклоненъ къ горизонту, и русло устроено тщательно. Когда щитъ расположенъ отвѣсно и русло обнимаетъ перья неплотно, тогда нельзя предположить K болѣе 0,5.

И такъ, подливныя колеса съ кривыми перьями принимаютъ отъ $^2/_3$ до $^3/_4$ работы, доставляемой водою, то-есть, болѣе чѣмъ вдвое того, сколько принимается колесами съ плоскими перьями, и при томъ могутъ двигаться съ довольно-значительною скоростью. Этимъ доказывается преимущество колесъ новаго устройства передъ прежними и важность улучшеній, придуманныхъ Г. Понсле.

Относительно полезнаго дѣйствія колеса съ кривыми перьями, то-есть работы передаваемой имъ, за исключеніемъ той, какая расходуется на сопротивленіе воздуха, треніе и т. п., опыты показываютъ что при наивыгод-

нѣйшемъ дѣйствіи, его можно полагать въ 0,6 запаса работы воды, какой соотвѣтствуетъ всему напору, отъ верхняго горизонта до порога подъ колесомъ.

84. *Нѣкоторыя подробности, относящіяся къ построенію подливнаго колеса съ кривыми перьями.* — Приготовленіе и сборка составныхъ частей подливнаго колеса съ кривыми перьями, не можетъ представить никакихъ затрудненій. Перья можно дѣлать изъ узкихъ досокъ, дубовыхъ или сосновыхъ, впуская ихъ концами, какъ бочарныя лады, въ дугообразные пазы, вынутые въ вѣнцахъ; или, вмѣсто того, прибивая концы перьевъ къ брускамъ, прикрѣпленнымъ къ вѣнцамъ. Внѣшніе края перьевъ можно дѣлать изъ желѣзныхъ листовъ отъ 2 до 3 дюймовъ ширины, или все перо изъ котельнаго желѣза. Вѣнцы дѣлаются изъ котельнаго желѣза или изъ дерева. Деревянные составляются изъ двухъ рядовъ досокъ, скрѣпляемыхъ между собою нагелями. Ручки или спицы врѣзываются въ вѣнцы въ пол-дерева, *въ лапу*, вглядь *(Чер. 139)* съ внутреннею поверхностью вѣнцовъ. Деревяннымъ ручкамъ или спицамъ придается 2 дюйма толщины, и отъ 6 до 7 дюймовъ ширины. Концы ихъ снутри покрываются дюймовыми досечками, привинчиваемыми къ вѣнцамъ и къ ручкамъ. Не-смотря на то что здѣсь вода давитъ только на перья и распираетъ несильно вѣнцы, небезполезно будетъ употребить стягивающіе желѣзныя прутья, для удержанія вѣнцовъ въ параллельности.

3. Наливныя колеса.

85. *Составъ наливнаго колеса.* — Наливныя колеса употребляются преимущественно предъ другими при напорѣ воды отъ $1\frac{1}{2}$ до 4 саженъ, и болѣе.

Они дѣлаются изъ дерева или изъ чугуна, и состоятъ: 1) изъ горизонтальнаго *вала*, вращающагося на шипахъ; 2) изъ нѣкотораго числа *спицъ*, или нѣсколькихъ

паръ *ручекъ*, охватывающихъ валъ; 3) изъ двухъ или трехъ вѣнцовъ, между которыми помѣщается сплошная *палуба* и *ковши*. — Покажемъ нѣкоторыя подробности устройства наливныхъ колесъ. *(Чер. 140 и 141).*

Устроивая колесо изъ дерева, обыкновенно дѣлаютъ дубовый валъ, придавая ему длину сообразную съ шириною колеса, а толщину отъ 20 до 30 дюйм. Концы вала обдѣлываютъ въ видѣ усѣченныхъ конусовъ: на нихъ набиваютъ желѣзные бугеля, для укрѣпленія этихъ частей послѣ вставки чугунныхъ шиповъ. Шипы вращаются въ мѣдныхъ подшипникахъ, діаметръ ихъ бываетъ отъ 8 до 10 дюймовъ, если колесо вѣситъ отъ 700 до 900 пудовъ.

Валъ скрѣпляется съ вѣнцами, спицами или ручками. Спицы недолжно впускать въ валъ: это ослабило-бы главную часть колеса; концы спицъ вставляются въ толстый чугунный бугель, плотно-насаженный на валъ. Употребляя нѣсколько паръ ручекъ, охватываютъ валъ каждою парою, такъ что двѣ пары, пересѣкаясь крестообразно, образуютъ на срединѣ квадратную пройму, въ которую входитъ валъ. Въ промежутки между валомъ и ручками забиваются деревянные клинья, и сверхъ того нѣсколько желѣзныхъ клиньевъ, для окончательной пригонки ручекъ къ валу. Каждый вѣнецъ скрѣпляется съ валомъ четырмя ручками, расположенными крестообразно. Если колесо подвержено сильнымъ толчкамъ, какъ то случается при движеніи тяжеловѣсныхъ молотовъ, то слѣдуетъ соединить ручки между собою поперечными связями. Въ колесахъ большаго размѣра употребляютъ для этой цѣли 8 вспомогательныхъ ручекъ, располагая ихъ такъ, какъ показано на чертежѣ 140.

Ручки и спицы дѣлаются изъ хорошаго дубоваго или сосноваго лѣсу. Когда діаметръ колеса доходитъ до 40 футъ, тогда ручки могутъ имѣть 8 дюймовъ толщины въ основаніи и 6 дюймовъ по концамъ.

Вѣнцы дѣлаются изъ двухъ рядовъ досокъ, которымъ придается видъ косяковъ; внутренніе косяки имѣютъ толщину овъ $2^1/_2$ до 3 дюймовъ, а наружные вполовину меньше. Иногда снаружи обшиваютъ только одни швы внутренняго вѣнца и тѣ мѣста, гдѣ ручки встрѣчаются съ нимъ. Прежде придавали вѣнцамъ отъ 16 до 20 дюйм. ширины, (по направленію радіуса колеса); нынѣ не дѣлаютъ ихъ шире 1 фута, а въ хорошихъ Англійскихъ колесахъ эта ширина бываетъ не болѣе 10 дюймовъ, — независимо отъ скорости колеса и количества воды. Само собою разумѣется, что при бо́льшемъ количествѣ воды, ширина колеса должна быть больше.

Между двумя крайними вѣнцами устроивается *внутренняя палуба* изъ досокъ въ 1 или $1^1/_2$ дюйма, плотно пригнанныхъ одна къ другой и прикрѣпленныхъ нагелями къ вѣнцамъ.

Ковши дѣлаются изъ тонкихъ досокъ, отъ 1 до $1^1/_2$ дюйма, которыя вставляются концами въ пазы, вынутые по внутреннимъ поверхностямъ вѣнцовъ. Вѣнцы удерживаются въ параллельномъ положеніи между собою посредствомъ стягивающихъ желѣзныхъ прутьевъ, съ винтообразными нарѣзами на концахъ: на эти нарѣзы навинчиваются гайки.

Форма ковшей подчиняется слѣдующимъ условіямъ: 1) ковши должны удерживать воду какъ можно долѣе, при движеніи своемъ сверху внизъ; 2) вода должна свободно вливаться въ ковши, и выливаться изъ нихъ совершенно, какъ скоро ковшъ дойдетъ до низу.

Опытомъ найдено слѣдующее правило для черченія формы ковшей.

Опредѣливъ діаметръ колеса, начерчиваютъ на немъ внѣшнюю окружность *(Чер. 142) AS*, и внутреннюю *BQ*, въ разстояніи отъ первой равномъ ширинѣ обода; линія *AB*, которая обыкновенно бываетъ въ 1 футъ, будетъ представлять глубину ковшей. Послѣ того, взявъ линію

$CB = {}^1/_3 AB$, приводятъ окружность CDE, соотвѣтствующую центраиъ тяжести воды въ ковшахъ. По этой окружности откладываютъ разстоянія между ковшами — обыкновенно также въ 1 футъ. Впрочемъ, такъ какъ колесо дѣлается четвертями, и въ каждой четверти помѣщается цѣлое число ковшей, то разстоянія между ковшами будутъ измѣняться, смотря по величинѣ колеса. Обыкновенно число ковшей опредѣляется по слѣдующей таблицѣ:

Внѣшній діаметръ колеса.	Число ковшей.	Внѣшній діаметръ колеса.	Число ковшей.	Внѣшній діаметръ колеса.	Число ковшей.
1,5 саж.	24	2,5 саж.	44	4 саж.	76
2,0 —	36	3,0 —	56	5 —	96

Раздѣливъ окружность CDE на равныя части, сообразно съ числомъ ковшей, соединяютъ точки дѣленій C, D, E... съ центромъ: линіи CB, DF, EG, и т. д. опредѣлятъ дна ковшей. Съ боковъ ковшъ ограниченъ вѣнцами колеса, а спереди наклонною гранью DA, которой положеніе опредѣляется по слѣдующимъ соображеніямъ. Уголъ HEG долженъ быть какъ можно менѣе, что-бы вода долѣе оставалась въ ковшѣ; но, съ другой стороны, разстояніе bD двухъ граней HE и AD не должно быть слишкомъ мало: иначе вода съ трудомъ будетъ вливаться въ ковшъ. Необходимо что-бы bD было болѣе толщины слоя воды, вливающейся въ колесо. Конечно, увеличивая ширину слоя воды, можно уменьшить его толщину; однако-жъ, ни въ какомъ случаѣ Db не должно быть менѣе 4-хъ или 5 дюймовъ. Для достиженія этого, дѣлаютъ уголъ HEG отъ 110° до 118°, смотря-по-тому, діаметръ колеса приближается-ли болѣе къ 2 или къ 6 саженямъ. Такимъ образомъ наклоненіе передней грани HE ковша къ внѣшней окружности будетъ около 31°: оно не должно

быть болѣе 33°. Въ практикѣ этого достигаютъ очень просто: вогнѣщая конецъ H на разстояніи отъ 1 до $1\frac{1}{2}$ дюйма отъ точки d, то-есть отъ конца радіуса, проходящаго черезъ точку F.

Есть еще другой способъ черченія ковшей, употребляемый преимущественно во Франціи. По этому способу, дѣлаютъ $IK = \frac{1}{2}IP$, и соединяютъ точку K съ концомъ L слѣдующаго радіуса gL.

Иногда также составляютъ ковшъ изъ трехъ досокъ MN, NO и OP: тогда вода долѣе остается въ ковшѣ. Но это затрудняетъ нѣсколько построеніе и починку колеса. Избѣгая этихъ затрудненій, плотники нерѣдко ставятъ переднюю грань KL ковша перпендикулярно къ дну KI, единственно потому, что соединеніе досокъ подъ прямымъ угломъ проще.

Самая выгодная форма передней грани SR ковша была-бы, безъ сомнѣнія, дугообразная. Эта дуга должна приходиться почти касательно къ внѣшней окружности колеса въ точкѣ S. При такой формѣ ковши удерживаютъ воду сверху до низу. Одно затрудненіе въ приготовленіи кривыхъ желобовъ изъ досокъ, можетъ воспрепятствовать употребленію этой формы въ практикѣ.

Въ днѣ каждаго ковша дѣлаютъ 2 или 3 отверстія, въ 1,5 дюйма въ діаметрѣ. Этими отверстіями выходитъ воздухъ при наливаніи ковшей водою, и тѣмъ предупреждается разбрызгиваніе воды; входитъ воздухъ въ ковши, когда вода начинаетъ выливаться: безъ этого, по причинѣ образующейся пустоты въ ковшахъ, вода оставалась-бы въ нихъ, и поднималась-бы отъ нихъ на нѣкоторую высоту: и наконецъ опоражниваются ковши, когда колесо остановится.

Ширина колеса, то-есть разстояніе между вѣнцами опредѣляется сообразно съ объемомъ вливающейся воды. Пусть будетъ O объемъ воды вливающейся въ 1", d разстояніе между ковшами, считаемое по средней окружно-

сти CDE, v скорость точекъ на этой окружности. Понятно что въ 1″, передъ отверзтіемъ изливающимъ воду, пройдетъ число ковшей $\frac{v}{d}$; такъ что, каждый изъ нихъ долженъ будетъ принять объемъ воды O, раздѣленный на $\frac{v}{d}$, то-есть $O.\frac{d}{v}$. Вмѣстимость ковша должна быть вдвое или даже втрое болѣе этого объема. Если l представляетъ длину ковша (ширину колеса), S площадь сѣченія ковша, то Sl будетъ его вмѣстимость, и слѣдственно:

$$Sl = \frac{3.O.d}{v};$$

$$\text{откуда } l = \frac{3.O.d}{S.v}.$$

Въ послѣдствіи увидимъ какъ опредѣляются O и v.

86. *Наливаніе воды въ колесо. Верхобойныя и средобойныя колеса.* — Смотря-по-тому, съ которой стороны колеса наливается вода въ ковши, наливныя колеса могутъ быть раздѣлены на два рода; а именно: 1) *колеса принимающія воду у вершины*; и 2) *колеса принимающія воду съ боку, то-есть со стороны обращенной къ руслу*. Первыя называются *верхобойными*, послѣднія — *средобойными*.

Въ *верхобойныхъ* колесахъ наливается вода въ ковши различно, смотря-по-тому, постояненъ-ли горизонтъ воды въ резервуарѣ, или подверженъ значительнымъ измѣненіямъ. Въ случаѣ постояннаго горизонта, дно русла, приводящаго воду къ колесу, располагается на 4 дюйма ниже горизонта резервуара, а ширина его дѣлается почти та-же, что и колеса. При встрѣчѣ съ резервуаромъ, русло расширяютъ, для избѣжанія сжатія, и тамъ гдѣ оканчивается расширеніе, помѣщаютъ щитъ. Отъ щита къ колесу русло слегка наклоняется, проходитъ надъ вершиною колеса, въ разстояніи 1-го дюйма, и продолжается, фута на два, за эту вершину, постепенно съужи-

вайсь; такъ что наконецъ ширина его становится около 4 дюймовъ менѣе разстоянія между вѣнцами колеса, и вода вливается во 2-й или 3-ій ковшъ, считая отъ вершины. — Когда горизонтъ воды въ резервуарѣ подверженъ частымъ перемѣнамъ, тогда къ дну резервуара придѣлывается желобъ, закрытый сверху наклонною гранью. Къ концу желоба придѣлывается пирамидальная труба, которой грани составляютъ съ осью уголъ отъ 6 до 7 градусовъ. Ось ея направлена къ дну ковша, что-бы вода не ударила въ переднюю грань ковша. Ширина отверзтія трубы должна быть нѣсколько менѣе ширины колеса, а вышина дѣлается не болѣе 4 дюймовъ.

Верхобойныя колеса движутся въ противную сторону съ движеніемъ воды въ нижнемъ руслѣ: оттого, когда случится, по какой нибудь причинѣ, подпоръ воды въ нижнемъ руслѣ, то движеніе колеса ощутительно замедлится. Другое неудобство этихъ колесъ то, что діаметръ ихъ всегда меньше отвѣснаго разстоянія между верхнимъ и нижнимъ горизонтомъ, тогда какъ при малыхъ паденіяхъ, отъ 10 до 15 футъ, выгодно увеличивать діаметръ, для уравненія хода колеса.

Можно избѣгнуть этихъ неудобствъ, вливая воду въ ковши, со стороны обращенной къ руслу. Но въ этомъ случаѣ встрѣчается другое неудобство: то, что вода недолго остается въ ковшахъ. Это неудобство тѣмъ ощутительнѣе, чѣмъ далѣе отъ вершины вода вливается въ колесо. Англійскіе строители впускаютъ воду на разстояніи отъ вершины около 60° (или точнѣе 52°45'); а для удержанія воды въ колесѣ, часть его, отъ русла до низу, окружаютъ сплошною палубою, почти касательною къ колесу. Эту палубу называютъ у насъ *кожухомъ*. Кожухъ дѣлается изъ котельнаго желѣза, или изъ досокъ. Онъ долженъ быть устроенъ весьма прочно, потому-что подвергается сильному давленію воды.

Для наливанія воды въ средобойное колесо, употребляютъ разные способы:

1-е) Когда горизонтъ воды въ резервуарѣ не перемѣняется, тогда приводятъ воду къ колесу желобомъ открытымъ въ устьѣ.

2-е) Когда горизонтъ перемѣняется, тогда направляютъ воду къ ковшамъ слѣдующимъ образомъ *(Чер. 143)*.

Конецъ русла ограниченъ наклонною гранью, почти касательною къ колесу; въ ней сдѣлано нѣсколько окошекъ, въ которыя проходитъ вода, направляемая перегородками; наклонный щитъ, двигаясь вдоль наклонной грани русла, открываетъ одно или нѣсколько окошекъ. Это устройство употребляется преимущественно тогда, когда горизонтъ воды въ резервуарѣ подверженъ измѣненіямъ болѣе 10 или 12 дюймовъ. Скорость входящей воды должна быть около 10 футъ въ 1", что будетъ тогда, когда точка, принимающая среднюю струю воды, будетъ находиться на 20 дюймовъ ниже горизонта въ резервуарѣ. Наибольшая скорость, съ какою должны двигаться точки на окружности колеса, равна $^2/_3$ скорости воды; такъ что, называя эту скорость v, а скорость воды V, получимъ $v = 0,66.V$.

Направляющія перегородки должны вводить воду въ ковши такъ, что-бы она не встрѣчала внѣшней поверхности передней части ковша. Слѣдующимъ образомъ опредѣляютъ направленіе перегородокъ. Въ точкѣ c, *(Чер. 144)* гдѣ вода входитъ въ колесо, проводятъ касательную къ внѣшней окружности и чертятъ профиль ковша cba; отъ точки c откладываютъ ce, скорость колеса v, равную $0,66.V$; черезъ точку e, проводятъ линію ed, параллельную грани bc ковша; изъ точки c, радіусомъ равнымъ V, чертятъ дугу круга, до встрѣчи съ линіею ed въ точкѣ d; соединяютъ точки c и d; линія cd будетъ искомымъ направленіемъ средней струи вливающагося слоя. По обѣимъ сторонамъ этой линіи, въ разстояніи 2 дюймовъ, проводятъ

линіи параллельныя къ найденному направленію: это и будутъ положенія двухъ направляющихъ перегородокъ.

Такъ какъ вода въ резервуарѣ можетъ иногда опуститься ниже средняго горизонта, то надобно устроить другое окошко, которое направляло-бы воду.

Полагая, напримѣръ, что вода понизится на 10 дюймовъ ниже средняго горизонта, надобно опредѣлить, какъ и прежде, направленіе, какое должна имѣть средняя струя, въ предположеніи что она встрѣчаетъ колесо на 10 дюймовъ ниже горизонта. Опредѣливъ направленіе $c'd'$, надобно провести двѣ параллельныя къ нему линіи, по обѣимъ сторонамъ, въ разстояніяхъ 2 дюймовъ, и это и будутъ направленія перегородокъ втораго окошка. Направленіе нижней перегородки перваго окошка почти совпадетъ съ верхнею перегородкою втораго окошка: надобно будетъ помѣстить эту общую перегородку по среднему изъ двухъ направленій. То-же самое надобно бы сдѣлать, если-бы вода могла понижаться еще болѣе: тогда слѣдовало-бы устроить третье окошко. Назначивъ направленіе всѣхъ перегородокъ, надобно продолжить ихъ почти до окружности колеса, оставляя запасъ не болѣе $^1/_2$ дюйма. Потомъ верхнюю часть всѣхъ перегородокъ ограничить наклонною гранью, въ разстояніи отъ поверхности колеса отъ 6 до 8 дюймовъ. Параллельно этой наклонной грани устроятся пазы, въ которыхъ будетъ скользить щитъ. Щитъ опускаясь, будетъ открывать, послѣдовательно, первое, второе, третье окошко, и т. д. Русло, перегородки и щитъ должны быть сдѣланы изъ чугуна. Вѣсъ щита необходимо уравновѣсить отвѣсомъ, для облегченія движенія. — Подобное устройство можно видѣть при наливныхъ колесахъ на *Ижорскихъ* заводахъ, въ *Колпинѣ*, близъ *С. Петербурга*. *(Чер. 143)*.

87. *Работа принимаемая наливнымъ колесомъ.* — Назовемъ, какъ и прежде, Q вѣсъ; $\frac{Q}{g}$ массу воды вливающей-

въ колесо въ 1″, съ среднею скоростью V; v скорость средней окружности колеса; h высоту, отъ того мѣста гдѣ вода встрѣчаетъ колесо до горизонта въ отводномъ руслѣ. Работа какую вода принесетъ съ собою въ 1″ выразится живою силою $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$; работа сообщаемая водѣ силою тяжести, при движеніи ея вмѣстѣ съ колесомъ, будетъ равна Qh. Если предположить что вода вливается въ колесо по направленію касательной къ средней окружности ковшей, то-есть по направленію скорости v, то при входѣ масса $\frac{Q}{g}$ потеряетъ скорость $V-v$, которой соотвѣтствуетъ живая сила $\frac{Q}{2g}(V-v)^2$. Это и будетъ выраженіе работы, расходуемой на ударъ воды, при встрѣчѣ съ колесомъ. Влившись въ колесо, вода будетъ продолжать движеніе со скоростью v, и съ этою-же скоростью оставитъ колесо, унося съ собою работу $\frac{Q}{g}\frac{v^2}{2}$.

Поэтому, работа какую приметъ наливное колесо выразится (§. 73) такъ;

$$Pv=\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}+Qh-\frac{Q}{2g}\left|(V-v)^2+v^2\right| \ldots\ldots (1)$$

или, по сокращеніи:

$$Pv=Qh+\frac{Q}{g}v(V-v) \ldots\ldots (2)$$

Мы предполагали что скорость V воды при входѣ въ колесо направлена по касательной къ средней окружности. На самомъ-дѣлѣ, чаще всего, эта скорость составляетъ съ касательною нѣкоторый уголъ и, въ слѣдствіе этого, разлагается на двѣ: одну по касательной, другую по радіусу. Поэтому, слѣдовало-бы, вмѣсто V, вводить въ вычисленіе составляющую ея по касательной. Но какъ

полученный выводъ разнился-бы немного отъ того къ какому мы пришли, то и нѣтъ необходимости дѣлать это измѣненіе.

Изъ выраженія (1) можно вывести условія, при какихъ наливное колесо работаетъ самымъ выгоднымъ образомъ. Такъ-какъ въ немъ члены $\frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{2}$ и Qh остаются неизмѣнными при перемѣнѣ скорости колеса v, то наивыгоднѣйшее дѣйствіе будетъ соотвѣтствовать скорости v, при которой отрицательный членъ $\frac{Q}{2g}\{(V-v)^2+v^2\}$ имѣетъ наименьшую величину. Ясно что членъ $(V-v)^2+v^2$ неиначе можно сдѣлать равнымъ нулю какъ только полагая, отдѣльно, $V-v=0$ и $v=0$, откуда

$$V=v \text{ и } v=0.$$

Такъ-какъ нельзя впускать воду въ колесо безъ всякой скорости, и колесо неможетъ работать при скорости $v=0$, то условія наивыгоднѣйшаго дѣйствія наливнаго колеса немогутъ быть выполнены, и можно только приблизиться къ наивыгоднѣйшему дѣйствію, уменьшая, повозможности, скорость колеса v и скорость воды V.

Въ практикѣ представляются два случая: или колесо уже устроено и скорость воды V при входѣ дана, такъ что можно перемѣнять одну лишь скорость колеса v; или, наоборотъ, предполагается устроить колесо, котораго скорость v дана и требуется опредѣлить V. Въ обоихъ случаяхъ надобно сдѣлать наименьшимъ выраженіе

$$(V-v)^2+v^2.$$

Въ первомъ случаѣ. Пусть будетъ $AB=V$; $AH=v$ (*Чер. 145*) и V постоянное а v перемѣнное, линія $HB=DH=V-v$, и $AD^2=(V-v^2)+v^2$. Понятно что линія BD будетъ наименьшая, когда направленіе ея будетъ перпендикулярно къ BE, то-есть когда она совпадетъ съ AE, и что тогда

$v = AC = \frac{V}{2}$. И такъ, наивыгоднѣйшее дѣйствіе колеса соотвѣтствуетъ скорости его v, равной половинѣ скорости воды V. Подставляя $v = \frac{V}{2}$ въ формулу (1), получимъ выраженіе:

$$Pv = \left\{\frac{QV^2}{2g} + Qh\right\} - \frac{Q}{g}\cdot\frac{V^2}{4}$$

Во второмъ случаѣ. Если v дано, а V можно перемѣнять произвольно, то очевидно что наименьшая величина выраженія $(V-v)^2+v^2$ будетъ тогда, когда $(V-v)^2=0$ то-есть когда $V=v$; и въ такомъ случаѣ, изъ формулы (1) находимъ:

$$Pv = \left\{\frac{QV^2}{2g} + Qh\right\} - \frac{Q}{g}\cdot\frac{v^2}{2}$$

Въ обоихъ случаяхъ выгодно уменьшать V и v по возможности, то-есть столько, сколько позволяетъ родъ механическаго производства.

Опыты подтверждаютъ эти теоретическіе выводы, съ тѣмъ только, что работа дѣйствительно принимаемая наливнымъ колесомъ всегда нѣсколько менѣе той, какая находится по теоріи. Причиною тому: 1. Невозможность впускать воду въ колесо со скоростью V менѣе 10 футъ въ секунду; 2. Необходимость пускать колесо въ ходъ съ довольно-значительною скоростью: въ противномъ случаѣ ходъ колеса и всей машины немогъ-бы быть равномѣрнымъ. Чаще всего скорость v средней окружности ковшей бываетъ равна $^2/_3$ скорости вливающейся воды, то-есть 6;66 ф. въ 1". 3. Невозможность всю массу вливающейся воды удержать въ колесѣ, до того мгновенія, когда ковшъ дойдетъ до низу. Не-смотря на то что ковшамъ придается вмѣстимость вдвое и даже втрое болѣе объема вливающейся воды, и что для удержанія воды

устроивается кожухъ, всегда часть воды выливается изъ ковшей, прежде нежели они дойдутъ до низу.

Изъ многихъ опытовъ надъ верхобойными наливными колесами выведенъ численный коэфиціентъ, на который слѣдуетъ умножить теоретическій выводъ, для полученія работы, дѣйствительно принимаемой колесомъ. Среднимъ числомъ этотъ коэфиціентъ равенъ 0,78. На это число слѣдуетъ умножить членъ Qh въ формулѣ (2), и тогда получится

$$Pv = 0{,}78\,Qh + \frac{Q}{g}\,v\,(V - v) \quad \ldots \quad (3)$$

По этой формулѣ находятъ работу, дѣйствительно принимаемую *верхобойнымъ колесомъ, которое вращается медленно, и котораго ковши наполняются водою только до половины своей вмѣстимости.*

Мы уже сказали что скорость колеса v неможетъ быть слишкомъ малою, потому что, тогда ходъ колеса не былъ-бы равномѣрнымъ. Тѣмъ болѣе діаметръ и масса колеса тѣмъ меньше можетъ быть v; но ни въ какомъ случаѣ недѣлаютъ v менѣе 3 футъ въ секунду.

По данной скорости колеса v и соотвѣтствущей ему скорости воды $V = 2v$, находятъ высоту $\frac{V^2}{2g}$, соотвѣтствующую этой скорости, то-есть возвышеніе горизонта воды въ верхнемъ руслѣ надъ ковшомъ въ который вливается вода. Такъ напримѣръ при скорости колеса въ 3 фута, $V = 6$ ф. и $\frac{V^2}{2g}$ = почти 7 дюймамъ.

Относительно полезнаго дѣйствія наливнаго колеса, то есть работы принимаемой валомъ, за вычетомъ той, какая расходуется на сопротивленіе воздуха и треніе, можно положить что она равна около 0,70 всего запаса работы воды.

По этимъ-же правиламъ опредѣляется принимаемая работа и полезное дѣйствіе средобойныхъ колесъ, когда вода приводится къ колесу направляющими перегородками, то-есть, касательно къ средней окружности ковшей. Но если этихъ перегородокъ нѣтъ, и вода вливается въ ковши прямо изъ желоба, то работа принимаемая средобойнымъ колесомъ, оказывается менѣе верхобойнаго, и тѣмъ менѣе, чѣмъ ниже впускается вода; такъ что, когда вода вливается на высотѣ соотвѣтствующей центру колеса то множитель члена Qh становится равнымъ 0,60, и работа средобойнаго колеса находится по формулѣ:

$$Pv = 0{,}60.\, Qh + \frac{Q}{g}\, v\,(V - v).$$

Отсюда слѣдуетъ, что невыгодно устроивать наливныя колеса, когда діаметръ ихъ значительно болѣе напора воды.

4. Полуналивныя колеса.

88. *Составъ полуналивнаго колеса.* — Мы видѣли неудобства обыкновенныхъ подливныхъ колесъ, съ прямыми перьями (§. 80), равно какъ и наливныхъ колесъ, устроиваемыхъ при небольшихъ напорахъ (§. 87). Избѣгая этихъ неудобствъ, въ случаѣ малаго напора и значительнаго количества воды, устроиваютъ *полуналивныя колеса*. Подобное колесо дѣлается или въ видѣ обыкновеннаго подливнаго колеса, съ прямыми перьями *(Чер. 146)* или въ видѣ средобойнаго наливнаго колеса *(Чер. 147)*; но въ обоихъ случаяхъ заключается въ концентрическомъ съ ними руслѣ или кожухѣ. Между русломъ и внѣшнею поверхностью колеса оставляютъ самый незначительный запасъ — не болѣе 8 линій, для уменьшенія просачиванія воды; и, съ этою-же цѣлью, обшиваютъ промежутки между перьями, на внутренней окружности, оставляя необшитою только часть отъ $1\frac{1}{2}$ до 3 дюймовъ, для свободнаго выхода воды.

Составныя части полуналивнаго колеса тѣ-же самыя что и подливнаго. Различіе состоитъ въ одномъ лишь способѣ впуска воды въ колесо. Въ полуналивномъ колесѣ щитъ располагается касательно къ верхней части кожуха и округляется сверху, для уменьшенія сжатія сливающейся воды. Русло или кожухъ дѣлаются изъ досокъ, прибитыхъ къ кривымъ брусьямъ, вдѣланнымъ въ каменную кладку, или складываются изъ камня, въ видѣ обратнаго свода. По сторонамъ щита ставятся двѣ стойки, съ вынутыми въ нихъ четвертями, въ которыхъ движется щитъ.

Когда полуналивное колесо устроено въ видѣ обыкновеннаго подливнаго, и скорость колеса значительна тогда плоскія перья нѣсколько наклоняютъ къ верховой сторонѣ; это наклоненіе уменьшаетъ скорость, съ какою вода оставляетъ колесо. Число перьевъ опредѣляется какъ и въ случаѣ подливнаго колеса. Перья дѣлаются изъ дюймовыхъ досокъ, и удерживаются на мѣстѣ клиньями, размѣщаемыми въ 3 футахъ одно отъ другаго.

89. *Работа принимаемая полуналивнымъ колесомъ.* — Теорія дѣйствія полуналивныхъ колесъ выводится изъ общей теоріи дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ, подобно тому, что было сказано о наливныхъ колесахъ, и приводитъ къ тѣмъ-же выводамъ, за исключеніемъ только того, что полуналивнымъ колесамъ необходимо придавать бо́льшую скорость чѣмъ наливнымъ, для уменьшенія траты воды въ запасахъ между колесомъ и русломъ.

Назовемъ, по прежнему, V скорость воды при входѣ въ колесо и v скорость колеса, h разстояніе точки входа до нижняго горизонта, Q вѣсъ вливающейся воды въ 1″. Потеря работы на ударъ при встрѣчѣ воды съ колесомъ выразится живою силою $\frac{Q}{2g}(V-v)^2$; потеря работы при

выходѣ изъ колеса будетъ $\frac{Q}{2g} v^2$; и работа принимаемая колесомъ:

$$Pv = \frac{Q}{2g} V^2 + Qh - \frac{Q}{2g} \{(V-v)^2 + v^2\}$$

или, по сокращеніи:

$$Pv = Qh + \frac{Q}{g} (V-v)v.$$

То-же самое выраженіе, что и для наливнаго колеса и которое приводитъ къ тѣмъ-же условіямъ наивыгоднѣйшаго дѣйствія, а именно:

$$V = v \text{ и } v = 0.$$

Эти условія немогутъ быть вполнѣ удовлетворены, и потому нельзя принять полуналивнымъ колесомъ всей работы къ какой способна вода.

Въ практикѣ бываютъ два случая: или скорость v колеса бываетъ дана, и требуется опредѣлить наивыгоднѣйшую величину V; или, наоборотъ бываетъ дана скорость V а требуется опредѣлить v.

Въ первомъ случаѣ можно удостовѣриться, подобно тому какъ въ наливныхъ колесахъ, что $V = v$, во второмъ $v = \frac{V}{2}$; и въ обоихъ случаяхъ V должно-быть по возможности менѣе.

Опыты показываютъ что при тщательномъ устройствѣ желѣзныхъ, полуналивныхъ колесъ, которыхъ масса значительна, можно дѣлать скорость $v = 3$ и даже 2 фут. въ 1". Въ случаѣ деревянныхъ колесъ неслѣдуетъ дѣлать v менѣе 4 или 5 фут. въ 1". По опредѣленіи v находятъ V и высоту $\frac{V^2}{2g}$, соотвѣтствующую скорости при входѣ. Такъ напримѣръ, когда $v = V = 4$ ф. то $\frac{V^2}{2g} =$

почти 3 дюймамъ. Это показываетъ какъ малъ долженъ быть напоръ вливающейся воды, и почему для впуска воды употребляются здѣсь опускные щиты, черезъ которые переливается вода.

При столь малыхъ скоростяхъ v и V, какія здѣсь показаны, выходитъ необходимо значительная ширина колеса. Есть полуналивныя колеса, шириною до 3 саженъ.

Изъ опытовъ произведенныхъ въ недавнее время Французскимъ Инженеромъ Морено̀мъ слѣдуетъ, что для полученія работы, дѣйствительно принимаемой полуналивнымъ колесомъ, въ которое вода наливается черезъ верхній край щита, слѣдуетъ теоретическій выводъ умножить на дробь 0,8; такъ что:

$$Pv = 0{,}8\left\{Qh + \frac{Q}{g}v\ (V - v).\right\}$$

5. Висячія колеса.

90. *Составъ висячихъ колесъ. Принимаемая работа.* — Висячія колеса устроиваются на большихъ рѣкахъ, при значительной скорости теченія. Обыкновенно такое колесо поддерживается двумя судами *(Чер. 148)*, или сваями. Длина перьевъ бываетъ отъ $1\frac{1}{2}$ до 2 саженъ, вышина отъ 1,5 до 3 футовъ, или, лучше сказать, длина ихъ по направленію радіуса составляетъ отъ $\frac{1}{8}$ до $\frac{1}{4}$ длины радіуса. Колесо опускается въ воду отъ $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{2}$ своего радіуса: такъ что иногда перья совершенно погружены въ воду. Обыкновенно дѣлаются 12 перьевъ; хотя найдено опытами, что выгоднѣе было-бы увеличить это число до 18 и даже до 24. Каждое перо прикрѣплено къ спицѣ колеса, и всѣ спицы скрѣплены между собою желѣзными кольцами, подлѣ самыхъ перьевъ. Выгодно бываетъ наклонять нѣсколько перья къ теченію, отклоняя ихъ отъ направленія радіуса. — Назовемъ v среднюю скорость погруженной части перьевъ, V скорость потока на поверх-

ности, Pv произведенное дѣйствіе въ 1″, A площадь пера. Полагая, что перо принимаетъ давленіе воды въ отвѣсномъ положеніи, вспомнимъ (Часть I. §. 215), что это давленіе пропорціонально вѣсу призмы воды, у которой основаніе A, а высота $\frac{(V-v)^2}{2g}$; такъ что называя p вѣсъ единицы объема воды, получимъ давленіе:

$$P = K.pA.\frac{(V-v)^2}{2g}$$

и, слѣдственно: $Pv = \frac{K.pA}{2g}(V-v)^2v$.

K есть численный коэфиціентъ, опредѣляемый опытами. (Часть I. §. 219 и слѣд.).

При опредѣленіи K надобно различать случай, когда перья совершенно погружены въ воду, отъ того, когда часть ихъ только подвержена дѣйствію воды. Въ послѣднемъ случаѣ вмѣсто A вводится лишь погруженная часть, но какъ тогда впереди перьевъ образуется подпоръ, то давленіе должно увеличиться. По этой причинѣ K будетъ нѣсколько болѣе. По опытамъ Боссю и Боастара, когда перья несовершенно погружены въ воду, $K = 3$; при совершенномъ погруженіи нѣтъ подпора и K дѣлается менѣе; однако-жъ, оно не бываетъ менѣе 2. Опыты Понсле, дѣланные въ 1825 году надъ тремя мельницами съ *висячими* колесами, въ Люнѣ, на Ронѣ, согласно съ предъидущимъ выводомъ, показываютъ, что K заключается между 2 и 3, въ случаѣ совершеннаго погруженія перьевъ, найденное имъ число доходитъ до 2,80. Поэтому можно принять это число, съ полною увѣренностью, *для висячихъ колесъ, устроенныхъ на судахъ*. Въ этомъ случаѣ перья движутся между двумя судами, которыхъ боковыя грани образуютъ родъ русла, отчего непремѣнно должна нѣсколько увеличиться скорость воды и величина K. Но если колесо движется въ *совершенно-неопредѣленной мас-*

мы воды, то, вѣроятно, K не превосходитъ 2,50. Впрочемъ опытъ показываетъ, что K не зависитъ отъ величины площади перьевъ.

Кажется, что самая выгодная скорость у перьевъ заключается между $^1/_3$ и $^1/_2$ скорости потока. По крайней мѣрѣ это согласно съ тѣмъ, что̀ замѣчено на многихъ мельницахъ на Ронѣ, гдѣ долгое употребленіе этого рода колесъ должно было привести къ выгоднѣйшему результату. По опытамъ Боссю и Кристіана скорость v, соотвѣтствующая наибольшему произведенному дѣйствію, равна $0{,}40.V$. Если искать ее теоретически, то получается $v = {}^1/_2 V$; то-есть нѣсколько менѣе практическаго вывода.

Примѣръ. Спрашивается произведенное дѣйствіе висячаго колеса, между двумя судами, при слѣдующихъ данныхъ:

Площадь пера погруж. въ воду отвѣсно $A = 20$ к. ф.
Скорость воды на поверхности . . . . . $V = 7$ фут.
Скорость центра погруж. части перьевъ . $V = 3{,}5$ ф.
Произведенное дѣйствіе найдется:

по формулѣ: $$Pv = \frac{Kp.A(V-v)^2v}{2g}$$

дѣлая $K = 2{,}80$; $p = 1{,}72$ пуд. $g = 32{,}17$

$$Pv = \frac{2{,}80 \times 1{,}72 \times 20}{64{,}34}(3{,}5)^2.3{,}5 = 64 \text{ п. фут. въ } 1''.$$

б) *Горизонтальныя колеса.*

91. *Турбины.* — Горизонтальныя гидравлическія колеса употребляются съ давняго времени, преимущественно при мукомольныхъ мельницахъ. Тамъ они удобны тѣмъ, что отвѣсная ось, на которой насаженъ *верхникъ*, вращающійся жерновъ), можетъ получать движеніе непосредственно отъ колеса, безъ всякихъ посредствующихъ механизмовъ.

Горизонтальныя колеса прежняго устройства были весьма несовершенны; самыя лучшія изъ нихъ обращали въ пользу не болѣе $^1/_8$ запаса работы воды. Теоретическія изслѣдованія французскихъ инженеровъ Навье и Бюрдена привели къ нѣкоторымъ усовершенствованіямъ, которыя введены въ горизонтальныя колеса, сперва Бюрденомъ а потомъ Фурнероном и другими, и новыя горизонтальныя колеса приняли названіе *Турбинъ*.

Лучшими турбинами считаются нынче турбины Фурнерона. Не-смотря на то что онѣ не вполнѣ оправдали преувеличенныя ожиданія своего изобрѣтателя и его послѣдователей, и что, и въ самой Франціи, прошло уже время безусловнаго одобрѣнія новаго гидравлическаго пріемника, нельзя несогласиться что онъ гораздо совершеннѣе прежнихъ горизонтальныхъ колесъ и во многихъ случаяхъ можетъ быть употребленъ съ пользою.

92. *Составъ Фурнероновой турбины.* — *Турбиною* называется горизонтальное колесо, въ которое вода входитъ направляясь отъ оси къ внѣшней окружности, давитъ на перья, размѣщенныя по окружности, вращаетъ колесо и выходитъ наружу. Въ Фурнеровой турбинѣ кривыя перья заключены между двухъ горизонтальныхъ вѣнцовъ, такъ что, весь ободъ колеса состоитъ изъ нѣкотораго числа кривыхъ каналовъ, открытыхъ по концамъ. Вода входитъ во всѣ каналы вдругъ, давитъ на вогнутыя перья, приводитъ въ вращеніе колесо и выходитъ наружу другими концами каналовъ, въ сторону противную движенію колеса.

Чертежъ 149 можетъ дать понятіе о составѣ Фурнероновой турбины. Въ этомъ составѣ надобно отличать двѣ части: собственно самую турбину или *колесо* и *резервуаръ* съ водою. Стѣны резервуара могутъ быть изъ чугуна или изъ дерева. На чертежѣ представленъ деревянный резервуаръ, сверху закрытый крышкою. Сквозь крышку проведенъ отвѣсный, чугунный стволъ, а внутри

его ось колеса. Колесо имѣетъ дно D вогнутое, съ проймою на срединѣ, для пропуска оси. Дно оканчивается плоскимъ вѣнцомъ $d'd'$, на которомъ, въ равныхъ разстояніяхъ, размѣщены кривыя перья $d''d''$.... Перья имѣютъ видъ цилиндровъ, которыхъ оси перпендикулярны къ плоскости вѣнца $d'd'$. Они покрыты другимъ вѣнцомъ, одинаковой ширины съ нижнимъ. Неподвижный кружокъ F прикрѣпленъ немного выше нижняго вѣнца, съ которымъ онъ несоприкасается. На кружкѣ F находится муфта F', составляющая съ нимъ одно цѣлое. Муфта прикрѣпляется къ длинному стволу g, который сверху поддерживается клиньями при кружкѣ GG, такъ что ни стволъ ни кружокъ F не могутъ вращаться. Въ стволѣ g проходитъ свободно ось e колеса.

На кружкѣ F, въ равныхъ разстояніяхъ одна отъ другой, помѣщены неподвижныя кривыя перегородки $F''F''$..., назначенныя для провода воды изъ резервуара къ колесу. Перегородки обращены въ противныя стороны съ перьями. Онѣ возвышаются до F'', выше верхняго вѣнца.

Вода изъ резервуара проводится вертикальнымъ цилиндромъ a, который можно поднимать и опускать по произволу, на подобіе щита. Рычагомъ m поднимаютъ турбину, когда пятникъ оботрется до того, что нижній вѣнецъ dd' опустится ниже кружка F.

Какъ скоро приподнимутъ щиты aa, вода устремится въ резервуаръ A, наполнитъ его и будучи приводима въ колесо направляющими перегородками начнетъ давить на всѣ перья вдругъ и приведетъ въ вращеніе турбину.

93. *Теорія дѣйствія турбины.* — По общей теоріи дѣйствія гидравлическихъ пріемниковъ, для принятія наибольшей части работы воды, нужно впускать воду въ колесо безъ удара и выпускать лишенную всей скорости. Чтобы вода, входя изъ направляющихъ каналовъ въ колесо не производила удара, необходимо впускать ее касательно къ перьямъ. Но вода при входѣ оживлена дву-

мя скоростями: скоростью соотвѣтствующею напору и тою какую сообщаетъ вращающееся колесо; первая направлена по послѣднему элементу направляющей перегородки, послѣдняя — касательно къ окружности вращающагося круга. Положимъ что первый элементъ пера направленъ по равнодѣйствующей двумъ скоростямъ о которыхъ мы говорили; назовемъ v скорость колеса, по линіи ap (*Чер. 150*). Скорость V при входѣ направлена по линіи ah, дѣлающей съ линіею aO уголъ $haO = \alpha$. Равнодѣйствующая aq будетъ касательна къ первому элементу пера, и при входѣ воды потери живой силы не будетъ. — Остается опредѣлить скорость при выходѣ. Скорость V разлагается на двѣ: одну по радіусу aO, равную $V\cos\alpha$, другую касательную къ колесу, равную $V\sin\alpha$. При входѣ воды въ колесо скорость по направленію радіуса остается неизмѣнною, но скорость по касательной измѣняется скоростью движенія колеса, и вода въ колесѣ принимаетъ скорость касательную, равную разности касательной скорости при входѣ и скорости колеса, то-есть $V\sin\alpha - v$, или, называя u угловую скорость колеса, r и r' радіусы внутренней и внѣшней окружностей, $V\sin\alpha - ru$. Дѣйствительную скорость, съ какою вода будетъ скользить по перьямъ, получимъ соединяя вновь скорость по направленію радіуса со скоростью по касательной. Называя x эту равнодѣйствующую скорость, получимъ:

$$x = \sqrt{(V\sin\alpha - ru)^2 + V^2\cos^2\alpha}.$$

При переходѣ воды отъ внутренней къ внѣшней окружности, центробѣжная сила обнаруживаетъ живую силу $\frac{Q}{2g}u^2(r'^2 - r^2)$. Такъ что, вся живая сила воды будетъ: $\frac{Q}{2g}u^2(r'^2 - r^2) + \frac{Q}{g}\left|(V\sin\alpha - ru)^2 + V^2\cos^2\alpha\right|$; или, по сокращеніи

$$\frac{Q}{2g}\left|V^2 - 2\,Vru\sin\alpha + u^2 r'^2\right|$$

Слѣдовательно, относительная скорость воды на перьяхъ будетъ:

$$\sqrt{V^2 - 2\,Vru\sin\alpha + r'^2 u^2} - ur',$$

и если послѣдній элементъ пера направленъ касательно къ внѣшней окружности, то эта скорость будетъ прямопротивна скорости колеса и скорость воды при выходѣ будетъ равна разности между этими двумя скоростями, то-есть:

$$y = \sqrt{V^2 - 2\,Vru\sin\alpha + r'^2 u^2} - r'u$$

По этой скорости можно опредѣлить работу принимаемую колесомъ. Желая вывести условіе выгоднѣйшаго дѣйствія колеса, сдѣлаемъ $y = 0$, то-есть:

$$y = \sqrt{V^2 - 2\,Vru\sin\alpha + r'^2 u^2} - r'u = 0$$

Откуда найдемъ: $V^2 = 2\,Vru\sin\alpha$; и какъ $ru = v$, то:

$$V = 2\,v\sin\alpha$$

и наконецъ $\sin\alpha = \frac{V}{2v}$, или $v = \frac{V}{2\sin\alpha}$.

При этой скорости, работа принимаемая колесомъ была-бы равна всему запасу работы воды.

Зная скорость колеса и ту какая соотвѣтствуетъ напору, найдемъ по уравненію $\sin\alpha = \frac{V}{2v}$ уголъ, подъ которымъ вода должна выходить изъ направляющихъ перегородокъ и входить въ колесо.

Опыты показываютъ что когда турбина дѣйствуетъ при наивыгоднѣйшихъ условіяхъ, тогда принимаемая работа бываетъ около 0,70 запаса работы воды.

94. *Подробности построенія турбины.* — По правилу Фурнерона внутренній діаметръ вѣнцовъ дѣлается въ 0,70

внѣшняго, когда діаметръ колеса небольшой — неболѣе сажени, и въ 0,80 или 0,83 въ большихъ турбинахъ.

Разстояніе между перьями, по внутренней окружности, дѣлаетъ Фурнеронъ равнымъ высотѣ колеса; поэтому, число перьевъ зависитъ отъ діаметра внутренней окружности и отъ высоты колеса. Высота колеса зависитъ отъ количества воды доставляемой турбинѣ. Каждымъ двумъ или тремъ перьямъ соотвѣтствуетъ одна направляющая перегородка; а именно: если число перьевъ простирается отъ 18 до 24, то дѣлаютъ перегородокъ вдвое меньше; когда-же перьевъ болѣе, то перегородокъ дѣлаютъ втрое меньше ихъ числа.

Фурнеронъ измѣряетъ ширину отверзтія канала, между двумя направляющими перегородками, кратчайшимъ разстояніемъ оконечности одной перегородки до выпуклости другой, слѣдующей за нею. Сумма всѣхъ такихъ разстояній составляетъ собою ширину всего выпускнаго отверзтія. Въ Фурнеровыхъ турбинахъ эта ширина почти равна внутреннему діаметру d колеса, раздѣленному на 0,70, то-есть $1{,}4.d$. Если e представляетъ высоту перьевъ и колеса, то $1{,}4.d.e$ будетъ площадь выпускнаго отверзтія. По правилу Фурнерона отверзтіе $1{,}4.de$ должно быть вчетверо меньше выпускнаго отверзтія, которое почти равно площади внутренняго круга, то-есть $\frac{\pi d^2}{4}$ или $0{,}785\ d^2$; слѣдственно:

$$0{,}785d^2 = 4 \times 1{,}4.de$$

откуда $$e = 0{,}14.d.$$

Это уравненіе опредѣляетъ высоту турбины, по извѣстному діаметру d.

Для опредѣленія d, назовемъ: O объемъ воды доставляемый турбинѣ въ $1''$, H напоръ, то-есть разстояніе горизонта верхняго резервуара до центра отверзтія; V ско-

рость въ отверзтіи, равную $\sqrt{2gH}$; множитель теоретическаго расхода можно положить равнымъ 0,60.

Извѣстно что $O = 0{,}60 . 1{,}4 . de . V$;

подставляя $e = 0{,}14 . d$, выведемъ

$$d = \sqrt{\frac{O}{0{,}1176 . V}}.$$

Такая будетъ величина діаметра внутренней окружности обода турбины. Внѣшній діаметръ будетъ равенъ $\frac{100}{70} d$, если колесо менѣе 1-ой сажени, или отъ $\frac{100}{80} d$ до $\frac{100}{83} d$, когда оно больше сажени.

Скорость v внутренней окружности колеса должна быть по меньшей мѣрѣ 0,58 скорости воды V. Зная v и V, найдемъ $\sin\alpha = \frac{V}{2v}$. Потомъ, описавъ внутреннюю и внѣшнюю окружности, при точкѣ a начертимъ уголъ $haO = \alpha$. Изъ центра O проведемъ линію Od подъ угломъ $dOa = daO$. Черезъ точку e пересѣченія линіи Od съ окружностью изображающею стволъ, проводятъ eb параллельно къ aO; изъ точки b возставляютъ перпенъикуляръ bm къ ah, и изъ точки e опускаютъ перпендикуляръ на Od; точка m встрѣчи двухъ перпендикуляровъ будетъ центромъ дуги круга, которая опредѣлитъ собою форму направляющей перегородки; такъ что, перегородка будетъ состоять изъ двухъ частей: цилиндрической be и плоской ba.

Для начерченія формы перьевъ, проводятъ касательную ap къ внутреннему кругу; на линіяхъ ha и pa откладываютъ длины, пропорціональныя скоростямъ V и v; діагональ aq параллелограмма, построеннаго на этихъ двухъ скоростяхъ представитъ направленіе перваго элемента искомой кривой. Продолживъ это направленіе до внѣшней окружности G, возставляютъ перпендикуляръ

aL къ *aG*, который встрѣтитъ внѣшнюю окружность колеса въ точкѣ *K*. Отъ точки *G* откладываютъ $^2/_3 GK$ и получаютъ конецъ *I* пера.

Кривизну пера Фурнеронъ опредѣляетъ слѣдующимъ образомъ. Изъ точки *K*, какъ изъ центра, радіусомъ *KI* описываетъ дугу круга *Ii*, и продолжаетъ неопредѣленно прямую *IK*. Потомъ, линію *ai*, выраженную въ какихъ нибудь единицахъ, раздѣляетъ на 1—cos *MKL*, и частное откладываетъ отъ *K* къ *M*. Изъ точки *M* опускаетъ перпендикуляръ *ML* на *KL*, и черезъ точки дѣленій m_1 m_2 этой линіи проводитъ линіи *mK*, *mK*. . ., откладывая на нихъ длину *MI*; такимъ образомъ получаетъ нѣсколько точекъ, для начерченія кривой линіи.

Все что здѣсь сказано, о способѣ дѣйствія и опредѣленіи формы и расположенія составныхъ частей турбины, заимствовано изъ записки Фурнерона, и должно быть разсматриваемо какъ практическое и приблизительное рѣшеніе вопроса о турбинѣ.

95. *Сравненіе между собою разнаго рода гидравлическихъ колесъ.* — Окончимъ статью о гидравлическихъ колесахъ сравненіемъ выгодъ и неудобствъ, представляемыхъ каждымъ изъ нихъ.

1. *Подливныя колеса.* Обыкновенныя подливныя колеса съ прямыми перьями обращаютъ въ пользу не болѣе $^1/_3$ запаса работы воды, и потому должны, быть замѣняемы, повсемѣстно, колесами съ кривыми перьями, устроиваемыми по способу Понсле.

Подливныя колеса съ кривыми перьями обращаютъ въ полезное дѣйствіе, за исключеніемъ работы на сопротивленіе воздуха и треніе шиповъ, до 0,65 запаса работы воды, при паденіи не свыше 5 футъ, и отъ 0,50 до 0,60, при большихъ паденіяхъ. Они могутъ вращаться съ значительною скоростью. Ширина ихъ, ширина щитоваго окошка и площадь сѣченія русла, сравнительно, менѣе соотвѣтственныхъ размѣровъ у колесъ съ плоскими перьями; оттого,

постройка ихъ обходится дешевле и вѣсъ меньше. Они могутъ дѣйствовать будучи погружены въ воду во всю вышину вѣнцовъ, то-есть на $^1/_4$ всего паденія; что дѣлаетъ ихъ выгодными въ странахъ подверженныхъ наводненіямъ.

Подливныя колеса съ кривыми перьями неудобны тѣмъ, что не могутъ хорошо дѣйствовать при скорости меньшей той, какая соотвѣтствуетъ наибольшей ихъ работѣ, потому что тогда вода переливается черезъ края перьевъ, отчего полезное дѣйствіе значительно уменьшается.

Этого рода колеса въ особенности выгодны при малыхъ паденіяхъ (не свыше 5 футъ) и при большомъ количествѣ воды.

2. *Наливныя колеса.* Наливныя колеса обращаютъ въ пользу до 0,70 запаса работы воды, и *употребляются съ выгодою при значительныхъ паденіяхъ воды, превышающихъ 10 футъ.* Они могутъ дѣйствовать даже и тогда, когда ихъ потопитъ вода выше толщины обода.

Они неудобны тѣмъ, что ширина ихъ, объемъ и вѣсъ слишкомъ значительны, и наивыгоднѣйшая скорость движенія слишкомъ мала.

3. *Полуналивныя колеса.* Полуналивныя колеса обращаютъ въ пользу отъ 0,70 до 0,75 запаса работы воды; могутъ безъ ощутительнаго уменьшенія полезнаго дѣйствія двигаться съ весьма-различными скоростями — отъ скорости равной скорости воды, до скорости при которой ковши наполняются водою свыше $^2/_3$ ихъ вмѣстимости.

Выгоднѣе всего они дѣйствуютъ при паденіяхъ отъ 4 до 8 ф., и при малой скорости.

Такъ какъ радіусъ полуналивнаго колеса долженъ равняться по крайней мѣрѣ паденію воды, то, при паденіяхъ свыше 8 футъ, объемъ и вѣсъ колеса становятся слишкомъ большими.

Полуналивныя колеса неудобны тѣмъ, что ширина ихъ очень значительна и что они немогутъ дѣйствовать хорошо когда нижняя ихъ часть погружена въ воду, выше вѣнцовъ.

4. *Турбины.* Турбины Фурнерона представляютъ слѣдующія выгоды:

Обращаютъ въ пользу 0,70 и часто 0,75 запаса работы воды; могутъ вращаться со скоростью весьма различною отъ той, какая соотвѣтствуетъ наибольшей работѣ, безъ значительнаго уменьшенія полезнаго дѣйствія; могутъ дѣйствовать подъ водою, неизмѣняя ощутительно отношенія между полезною работою и запасомъ работы воды; и наконецъ, могутъ быть употреблены отъ самыхъ малыхъ до самыхъ большихъ паденій воды, и менѣе всякаго гидравлическаго колеса занимаютъ мѣста.

Неудобства турбинъ состоятъ въ скоромъ истребленіи пятника и пяты стоячаго вала; въ частыхъ остановкахъ колеса, по причинѣ попадающихъ въ него вмѣстѣ съ водою постороннихъ тѣлъ и безпрестанно образующихся наносовъ въ отводномъ руслѣ; и наконецъ, въ затрудненіи въ приготовленіи и починкѣ составныхъ частей, которыя всѣ дѣлаются изъ металла.

в) *Водостолбовыя машины.*

96. *Общій составъ водостолбовыхъ машинъ.* — Мы раздѣлили всѣ гидравлическія пріемники на два разряда: (§. 74); въ первомъ помѣстили гидравлическія колеса, то-есть приводы, имѣющіе вращательное непрерывное движеніе; во второмъ — *водостолбовыя* машины, въ которыхъ часть, принимающая дѣйствіе воды, движется попеременно, вверхъ и внизъ. — Главная составная часть всякой водостолбовой машины есть *цилиндръ*, въ которомъ движется вверхъ и внизъ *поршень*. Попеременное движеніе поршня преобразовывается, смотря по надоб-

ности, въ круговое непрерывное, или въ другое также попеременное, какъ то случается тамъ, гдѣ водостолбовая машина употребляется для подъема воды. Водостолбовыя машины употребляются только при большихъ паденіяхъ воды, — свыше 30 футъ. Первая мысль подобной машины принадлежитъ Белидору, который положилъ ее во 2-й части своей гидравлической Архитектуры, въ 1739 году. Черезъ десять лѣтъ послѣ того, англ. Гель *(Hoell)*, устроилъ первую водостолбовую машину въ Шемницкихъ рудникахъ, въ Венгріи, примѣнивъ ее къ выкачиванію воды. Въ послѣдствіи, съ тою-же цѣлью, устроено было еще нѣсколько водостолбовыхъ машинъ, подъ названіемъ машинъ Геля. Устройство первыхъ машинъ этого рода было конечно несовершенно. Ихъ дѣлали, и нынѣ дѣлаютъ, двухъ родовъ: простаго и двойнаго дѣйствія. Въ машинахъ простаго дѣйствія поршень движется въ одну сторону давленіемъ воды, а въ обратную давленіемъ воздуха; въ машинахъ двойнаго дѣйствія и взадъ и впередъ движется поршень отъ давленія воды. Покажемъ главныя составныя части водостолбовой машины двойнаго дѣйствія, и ходъ которому должно слѣдовать при опредѣленіи принимаемой ею работы.

Водостолбовая машина двойнаго дѣйствія состоитъ изъ большаго цилиндра *A (Чер. 151)*, сверху и снизу закрытаго, и изъ другаго цилиндра *BB*, поразде-меньшаго діаметра, съ которымъ первый сообщается двумя проходами *O* и *O'*. Въ большомъ цилиндрѣ движется поршень *P*, котораго стержень *CD* удерживаемый въ отвѣсномъ направленіи, помощію параллелограмма Уатта: стержень *CD* сообщаетъ попеременное движеніе коромыслу *EF*, которое преобразовывается въ круговое непрерывное вала *J*, посредствомъ шатуна *EH* и кривыма *HJ*. На валѣ *J* насажено маховое колесо, уравнивающее движеніе. Когда водостолбовая машина предназначается для подъема воды изъ глубокаго колодца, тогда цилиндръ *A* помѣщается

надъ колодцемъ; отъ поршня P идетъ внизъ стержень LM, на которомъ помѣщается другой поршень, движущійся въ насосномъ ставѣ U: такимъ образомъ качательное движеніе поршня P сообщается непосредственно поршню насоса. Само-собою разумѣется, что стержень LM при встрѣчѣ съ дномъ цилиндра A, пропускаютъ сквозь сальникъ, для предупрежденія просачиванія воды. И такъ движеніе водостолбовой машины приводится къ сообщенію поперемѣннаго движенія поршня P въ цилиндрѣ. Это движеніе сообщается слѣдующимъ образомъ. Малый цилиндръ BB, посредствомъ двухъ трубокъ N и N', одинаковыхъ съ нимъ діаметровъ, сообщается съ отвѣсною или наклонною трубою TS, которая приводитъ воду изъ верхняго резервуара XY. Вода должна приходить попеременно то въ верхнюю, то въ нижнюю часть цилиндра A; когда она дѣйствуетъ сверху, тогда изъ нижней части вода должна выходить въ цилиндръ BB, а оттуда выливаться наружу трубою Z; и наоборотъ. Для этого надобно, чтобы при восхожденіи поршня P нижнее отверстіе O' было въ сообщеніи съ трубою ST, а верхнее O съ трубою Z: при нисхожденіи верхнее отверстіе O должно сообщаться съ трубою TS, а нижнее O' съ трубою Z. Это перемѣны сообщеній верхней и нижней части цилиндра съ трубами Z и ST производятся посредствомъ малыхъ поршней a и b въ цилиндрѣ BB. Поршни соединены между собою стержнемъ cd; при восхожденіи поршня P, поршни a и b занимаютъ такія положенія, что нижній ихъ край находится надъ самими отверстіями O и O'. Понятно что тогда нижняя часть цилиндра A находится въ сообщеніи съ трубою TS, а верхняя съ выпускною трубою Z; сверхъ того сообщеніе трубы N съ верхнею частью цилиндра A прервано поршнемъ a. Когда поршень P дойдетъ до самаго верху, откуда долженъ итти внизъ, тогда поршни a и b принимаютъ положенія a' и b', означенныя точками; понятно

опять, что въ это время установится сообщеніе трубы TS съ верхнею частью цилиндра A, посредствомъ трубы N и отверзтія O, между тѣмъ какъ нижняя часть найдется въ сообщеніи съ выпускною трубою Z, а сообщеніе нижней части съ трубою TS будетъ прервано. При такомъ расположеніи частей, поршень P будетъ итти внизъ; когда-же займетъ самое низшее положеніе, тогда поршни a' и b' опять перейдутъ въ положенія a и b, и направленіе движенія перемѣнится. Поэтому, перемѣщенія поршней a и b должны происходить въ мгновенія, соотвѣтствующія самому высшему и самому низшему положенію поршня P. Величина этихъ перемѣщеній равна діаметру одного изъ отверзтій O или O', равныхъ между собою, сложенному съ толщиною одного изъ двухъ поршней a и b, которые также равны между собою. Перемѣщеніе поршней a и b можетъ быть производимо различнымъ образомъ; самый простой способъ состоитъ въ слѣдующемъ: стержень cd, движущійся отвѣсно въ направляющей проушинѣ K, раздвоенъ въ нѣкоторомъ мѣстѣ g и соединенъ шарниромъ съ рычагомъ fg, на подобіе того, что было сказано въ §-ѣ 22. Этотъ рычагъ вращается на оси i. Къ стержню CD поршня придѣланы два выступа m и m', въ разстояніи между собою равномъ ходу поршня; эти выступы въ началѣ и въ концѣ каждаго хода задѣваютъ за конецъ рычага fg и поднимаютъ или опускаютъ поршни a и b.

Въ наше время лучшія устройства водостолбовыхъ машинъ принадлежатъ Баварскому Механику Рейхенбаху. Повсемѣстно извѣстна машина, устроенная имъ въ Берхтергаденскихъ рудникахъ, для поднманія насосами разсола. Движителемъ этой машины служитъ 0,64 куб. фут. воды, падающей въ 1″ съ высоты 370 футовъ. Разсолъ поднимается на высоту 1240 фут. Полезное дѣйствіе машины доходитъ до 0,5 запаса работы воды.

97. *Вычисленіе полезнаго дѣйствія водостолбовой маши-*

ны. — Если-бы не было никакихъ вредныхъ сопротивленій въ водостолбовой машинѣ, то работа, передаваемая валу маховаго колеса, была-бы равна той, какую доставляетъ вода. Называя Q вѣсъ воды падающей въ секунду, H высоту паденія, то-есть разстояніе верхняго горизонта XY то отверзтія выпускной трубы Z, получимъ работу доставляемую водою въ 1″, QH. Вся эта работа не передается валу маховаго колеса, по слѣдующимъ причинамъ: 1-е) часть ея поглощается треніемъ поршня P; 2-е) часть расходуется на треніе воды въ трубахъ; 3-е) часть живой силы уничтожается по причинѣ сжатій и съуженій; 4-е) нѣкоторая часть ея тратится въ поворотахъ трубъ; и наконецъ треніе движущихся частей, такихъ какъ коромысло, шатунъ, мотыль и т. п., поглощаетъ также нѣкоторую часть работы движителя. Займемся опредѣленіемъ четырехъ первыхъ потерь.

1-е). *Потеря на треніе большаго поршня P.* Очевидно что треніе поршня въ цилиндрѣ пропорціонально давленію, съ какимъ поршень прижатъ къ стѣнамъ цилиндра. Это давленіе пропорціонально величинѣ боковой поверхности поршня и разности давленій, какимъ поршень подверженъ сверху и снизу. Въ самомъ дѣлѣ, чѣмъ эта разность больше, тѣмъ значительнѣе просачиваніе воды изъ одной части цилиндра въ другую; поэтому, естественно предположить, что эта разность служитъ также мѣрою сопротивленія, противопоставляемаго поршнемъ просачиванію воды. Пусть будутъ p и p' давленія воды на единицы площадей двухъ основаній поршня, то $p-p'$ будетъ давленіе на единицу, не менѣе котораго поршень долженъ обнаруживать на стѣны цилиндра; если R есть радіусъ поршня, e толщина, то $2\pi Re(p-p')$ будетъ все давленіе боковой поверхности. Такъ какъ p и p' перемѣняются, при переходѣ отъ одного положенія къ другому, то, очевидно, надобно разсматривать положеніе при которомъ разность $p-p'$ наибольшая. Въ водостолбовой машинѣ

разность $p - p'$ измѣряется вѣсомъ столба воды, вышиною отъ горизонта XY до нижняго основанія поршня P, и ясно что она бываетъ наибольшею тогда, когда поршень занимаетъ самое низшее положеніе. Если напримѣръ высота столба равна 100 фут. то давленіе на кв. футъ будетъ $100 \times 1{,}73$ пуд. $= 173$ пуд.; такъ что, полагая $R = 1$ ф., $e = 0{,}3$ ф.; получимъ $2\pi Re = 2.3,14.0{,}3 = 1{,}88$; слѣдственно давленіе поршня на стѣны цилиндра $2\pi Re(p - p') = 1{,}88 \times 173 = 325$ пуд. Опредѣливъ давленіе, стоитъ лишь умножить его на коэфиціентъ тренія f, что-бы получить треніе поршня въ цилиндрѣ. Вслѣдъ за тѣмъ, можно найти работу расходуемую на треніе въ $1''$, зная пространство, проходимое поршнемъ въ это время, то-есть скорость его. Замѣтимъ что скорость поршня перемѣняется безпрестанно, и наибольшая бываетъ на срединѣ хода; однако-жъ, не смотря на это, въ вычисленіе вводится средняя, постоянная скорость, которая получается, опредѣляя число ходовъ, дѣлаемыхъ поршнемъ въ извѣстное время, и раздѣляя на это время произведеніе изъ числа ходовъ на величину одного изъ нихъ. Называя V эту среднюю скорость поршня, получимъ слѣдующее выраженіе работы поглощенной треніемъ поршня въ $1''$:

$$2\pi Ref(p - p').V$$

2-е. *Треніе воды въ трубахъ.* Положимъ, что трубы TS, N, N' и отверзтія O и O', равно какъ малый цилиндръ BB и выпускная труба Z, имѣютъ одинаковые діаметры, и слѣдственно, что вода движется въ нихъ съ одинаковою скоростью v. Если a представляетъ площадь ихъ поперечнаго сѣченія, A площадь сѣченія большаго цилиндра и поршня P, то очевидно будетъ такое уравненіе: $av = AV$; откуда $v = \frac{A}{a}.V$. Это уравненіе основано на томъ, что объемъ воды, входящій въ большой

цилиндръ, равенъ тому, какой проходитъ каждою трубою. Мы знаемъ (Часть I. §. 213), что работа поглощаемая треніемъ трубы, при истеченіи количества-воды q, (здѣсь q есть вѣсъ вытекающій въ 1″), выражается произведеніемъ: $\frac{n.q}{g}\cdot\frac{LC.v^2}{a}$; гдѣ $n=0{,}0035$, C окружность сѣченія трубы, a площадь сѣченія, L длина, v скорость воды, $g=32,17$ ф. Подставляя $v=\frac{A}{a}\cdot V$, получимъ работу поглощенную треніемъ воды въ трубахъ, въ секунду,

$$0{,}0035.\frac{C}{a^3}A^2LV^2\frac{q}{g}$$

3-е. *Потеря живой силы отъ сжатія струи и отъ съуженій діаметровъ.* Вода, переходя изъ верхняго резервуара XY въ отверзтіе S, равное a, сперва сжимается, потомъ расширяется въ трубѣ. Если назовемъ α коэфиціентъ сжатія, соотвѣтствующій отверзтію S и скорости V, то потеря живой силы и работы, отъ сжатія струи (Часть I. §. 188), будетъ:

$$\frac{q}{2g}\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)^2v^2 \text{ или } \frac{q}{2g}\left(\frac{1}{\alpha}-1\right)^2\frac{A^2.V^2}{a^2}.$$

Когда вода изъ трубъ переходитъ въ большой цилиндръ, тогда скорость ея v перемѣняется въ V; оттого случается слѣдующая потеря живой силы и работы: (Часть I. §. 187.).

$$\frac{q}{2g}\left(v-V\right)^2 \text{ или } \frac{q}{2g}V^2\left(\frac{A}{a}-1\right)^2.$$

Выходя изъ цилиндра, отверзтіями O и O', вода сжимается, прежде нежели получить скорость v: но здѣсь потеря живой силы такъ незначительна, что можно пренебречь ее.

Изъ цилиндра BB вода выходитъ наружу выпускною трубою Z; если-бы она выливалась со скоростью v, съ какою движется въ трубѣ, то живая сила ея была-бы $\frac{q}{2g} v^2$; но какъ она выходитъ цилиндрическою трубкою Z, то скорость ея будетъ $0{,}82.v$ (Часть I. §. 186), которой соотвѣтствуетъ живая сила $\frac{q}{2g}.\ 0{,}66.v^2$, то-есть $^2/_3$ живой силы $\frac{q}{2g} v^2$. Это показываетъ что здѣсь теряется $^1/_3$ живой силы, то-есть:

$$0{,}33 \frac{q}{2g} v^2 \text{ или } 0{,}33 \frac{q}{2g} V^2.\ \frac{A^2}{a^2}.$$

Поэтому, потеря живой силы и работы, отъ сжатій струи и расширеній или съуженій діаметровъ, будетъ имѣть слѣдующее выраженіе:

$$\frac{q}{2g} V^2 \left\{ \left(\frac{1}{\alpha} - 1 \right)^2 \frac{A^2}{a^2} + \left(\frac{A}{a} - 1 \right)^2 + 0{,}33 \frac{A^2}{a^2} \right\}.$$

4-е. *Потеря работы въ поворотахъ водопроводныхъ трубъ.* По мнѣнію Французскаго Инженера Дюбюа, *(Dubuat)* потеря живой силы, въ секунду, случающаяся на каждомъ поворотѣ водопроводной трубы, выражается слѣдующею формулою:

$$\frac{q}{2g} v^2 (0{,}0039 + 0{,}0057.\ r) \frac{s}{r};$$

гдѣ v скорость воды въ поворотѣ, r средній радіусъ кривизны поворота, s средняя длина кривой части трубы, — все выражено въ футахъ. Когда труба изогнута подъ прямымъ угломъ, тогда за среднюю дугу s принимаютъ ту, какая опишется изъ входящаго угла трубы, какъ изъ центра, радіусомъ равнымъ радіусу трубы; такая дуга будетъ касательна къ осямъ трубы, а средній радіусъ кривизны поворота будетъ равенъ радіусу трубы.

Подставляя вмѣсто v^2 величину его $\frac{A^2}{a^2} V^2$, получимъ потерю работы въ поворотѣ:

$$\frac{q}{2g} V^2 \frac{A^2}{a^2} \{0,0039 + 0,0057.r\} \frac{s}{r}.$$

Потеря во всѣхъ поворотахъ получится умноживъ это выраженіе на число поворотовъ.

Не станемъ опредѣлять вычисленіемъ потери работы на треніе, въ соединеніяхъ движущихся частей водостолбовой машины, какъ то: коромысла, шатуна, мотыля, и проч.; потому что это вычисленіе не представляетъ ничего особеннаго, и дѣлается по правиламъ, изложеннымъ въ первой части нашего курса.

Все сказанное здѣсь можетъ дать понятіе о величинѣ потери работы движителя QH. Вычисленіе, согласно съ опытомъ, показываетъ, что при хорошемъ устройствѣ, водостолбовыя машины обращаютъ въ пользу не болѣе $0,50.QH$, то-есть, не болѣе половины запаса работы воды. Обыкновенныя водостолбовыя машины даютъ полезное дѣйствіе не болѣе $0,40.QH$.

IV. ВОДЯНОЙ ПАРЪ, РАЗСМАТРИВАЕМЫЙ КАКЪ ДВИЖИТЕЛЬ.

1. Свойства пара.

98. *Образованіе пара.* — Всякая капельная жидкость, находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, или въ пустомъ пространствѣ, испаряется при всякой температурѣ, то-есть превращается въ газъ, которому даютъ названіе *пара*. Пары, образованные изъ одной и той-же жидкости, при разныхъ температурахъ, равнятся между собою только плотностью и упругостью: прочими свойствами они совершенно похожи одни на другіе. Такъ напримѣръ водяные пары, образующіеся при высыханіи какого-ни-

будь мокраго тѣла, одинаковы съ тѣми, какіе отдѣляются изъ кипящей воды. Однако-жъ, въ первомъ случаѣ они безцвѣтны и незамѣтны для глаза, между тѣмъ какъ въ послѣднемъ представляются въ видѣ густаго пара. Но и этой разницы не бываетъ въ мгновеніе ихъ образованія: тогда одни и другіе невидимы для глаза. Они становятся видимыми только тогда, когда, отъ прикосновенія съ холоднымъ воздухомъ, сгустятся и примутъ видъ мелкихъ капель воды, плавающихъ въ воздухѣ. Пары, принявшіе этотъ видъ, не имѣютъ уже свойствъ газа, и должны быть разсматриваемы какъ капельная жидкость.

99. *Образованіе паровъ въ пустомъ пространствѣ.* — Возьмемъ стеклянную трубку, длиною болѣе 30 дюймовъ, запаянную въ одномъ концѣ и открытую въ другомъ; наполнимъ ее ртутью, и закрывъ пальцемъ открытый конецъ, погрузимъ его въ сосудъ съ ртутью. Такимъ образомъ получимъ приборъ, подобный барометру: ртуть остановится въ трубкѣ, на высотѣ равной почти 30 дюймамъ, отъ горизонта въ сосудѣ; пространство между верхнимъ концомъ трубки и ртутью будетъ пусто; — это будетъ, такъ называемая, *барометрическая пустота*.

Если, послѣ того, впустить въ трубку каплю какой нибудь жидкости, то она поднимется въ барометрическую пустоту и быстро превратится вся, или отчасти, въ газъ; причемъ можно будетъ замѣтить слѣдующее:

1). Когда капля жидкости дойдетъ до барометрической пустоты, тогда ртуть въ трубкѣ понизится. Величина этого пониженія будетъ всегда одинакова, для одной и той-же жидкости и при одной и той-же температурѣ, независимо отъ величины барометрической пустоты и отъ количества впущенной жидкости, только-бы эта жидкость была впущена *не вся*, то есть, не вся превратилась въ газъ, — что будетъ тогда, когда нѣкоторый слой жидкости останется надъ ртутью въ трубкѣ. Пониженіе ртути въ трубкѣ измѣряетъ собою давленіе

образовавшагося пара, или, такъ называемую, *упругую силу пара*

2). Если погрузить часть трубки въ сосудъ, то барометрическая пустота уменьшится; часть паровъ, образовавшихся надъ ртутью, превратится въ капельную жидкость; а высота столба ртути останется неизмѣнною.

3). И наоборотъ, если приподнять трубку, то пустота увеличится и пары начнутъ стремиться расширяться; часть жидкости, оставшейся надъ ртутью, превратится въ паръ, такъ что опять высота столба ртути останется неизмѣнною.

4). Но когда, при подъемѣ трубки, весь избытокъ жидкости превратится въ паръ, то, при дальнѣйшемъ увеличеніи пустоты, паръ будетъ расширяться, на подобіе газа; ртуть въ трубкѣ будетъ подниматься, и эти возвышенія будутъ обратно-пропорціональны объемамъ, или пропорціональны плотности пара.

Изъ этихъ опытовъ можно заключить: 1) что капельная жидкость, приходя въ прикосновеніе съ пустымъ пространствомъ, быстро превращается въ паръ; 2) что количество пара, образующееся въ пустотѣ, пропорціонально ея вмѣстимости; 3) что упругая сила пара независитъ отъ вмѣстимости пустаго пространства; 4) что если не вся жидкость превратилась въ паръ въ данномъ пространствѣ, то уменьшеніемъ или увеличеніемъ пространства нельзя перемѣнить упругой силы пара; потому-что, въ первомъ случаѣ часть пара превратится въ капельную жидкость, во второмъ, новая часть жидкости превратится въ паръ.

Говорятъ что паръ *наполняетъ* собою данное пространство, когда онъ не образуется болѣе, не смотря на то что жидкость находится въ избыткѣ. Изъ описанныхъ нами опытовъ можно заключить, что данное пространство насыщается опредѣленнымъ количествомъ пара, или, другими словами, что въ *единицѣ пустаго про-*

странства заключается опредѣленное количество насыщающаго пара; и сверхъ того, что упругая сила насыщающаго пара независитъ отъ величины занимаемаго пространства.

Когда паръ ненасыщаетъ собою даннаго пространства, то-есть ненаходится въ прикосновеніи съ избыткомъ жидкости, тогда упругая сила его зависитъ отъ величины пространства. Съ увеличеніемъ пространства упругая сила уменьшается, по Маріотову закону. Уменьшая пространство, можно увеличить плотность и упругую силу пара, но небезпредѣльно. Потому что, когда паръ достигнетъ до той плотности и упругости, при которой будетъ насыщать собою занимаемое пространство, тогда, при увеличеніи давленія, часть его сгустится, превратится въ капельную жидкость, а остальная часть будетъ имѣть плотность и упругость насыщающаго пара. Однимъ словомъ, въ пустомъ пространствѣ насыщающій паръ неможетъ ни увеличиваться ни уменьшаться въ объемѣ; ненасыщающій паръ можетъ расширяться безпредѣльно, но сжимается только до насыщенія собою пространства; при этомъ расширеніи и сжатіи онъ слѣдуетъ тѣмъ-же самымъ законамъ, что и постоянные газы, то-есть: давленіе его, или упругая сила, бываетъ обратно пропорціональна занимаемому объему, если только температура неизмѣняется.

100. *Вліяніе температуры на пары образовавшіеся въ пустотѣ.* — Разсмотримъ вліяніе температуры на пары образовавшіеся въ пустомъ пространствѣ. Для этого можемъ употребить описанный нами приборъ, заключивъ трубку въ стеклянный цилиндръ, который можемъ наполнять водою, при разныхъ температурахъ. Опытами найдено что при возвышеніи температуры, ненасыщающіе пары расширяются и упругость ихъ увеличивается подобно газамъ; но если пары насыщаютъ пространство, то упругость ихъ возрастаетъ несравненно быстрѣе. Такъ

например, упругость насыщающихъ водяныхъ паровъ, при переходѣ ихъ отъ 0° до 80°, увеличивается въ 160 разъ; между тѣмъ какъ упругость ненасыщающихъ паровъ, при переходѣ отъ 0° до 80°, увеличивается только въ 1,614 разъ. Дальтонъ, Манчестерскій Физикъ, нашелъ что упругая сила насыщающихъ паровъ всякой жидкости, при температурѣ ея кипѣнія въ открытомъ воздухѣ, равна давленію воздуха; то-есть, что при обыкновенномъ состояніи воздуха давленіе этихъ паровъ измѣряется 58,58 пуд. на 1 кв. футъ, или высотою столба ртути въ 30 дюймовъ.

Тотъ-же самый Физикъ старался опредѣлить законъ, по которому увеличивается упругая сила насыщающихъ паровъ, при увеличеніи температуры. Опыты привели его къ слѣдующему, замѣчательному закону: упругости паровъ всѣхъ жидкостей бываютъ одинаковы при температурахъ равно-удаленныхъ отъ температуры ихъ кипѣнія. Такъ напримѣръ, вода кипитъ при 80°, винный спиртъ при 48°: при этихъ температурахъ упругости паровъ воды и виннаго спирта равны между собою, потому-что обѣ равны упругости атмосфернаго воздуха. По мнѣнію Дальтона, упругая сила водяныхъ паровъ при 70°, равна упругой силѣ спиртныхъ паровъ при 38°. Если-бы этотъ законъ былъ справедливъ, то слѣдствіемъ его было-бы, что упругость паровъ разныхъ жидкостей, при обыкновенной температурѣ, была-бы тѣмъ менѣе, чѣмъ выше температура кипѣнія жидкости, и наоборотъ. Такъ напримѣръ, ртуть кипитъ при 279° градусахъ; слѣдственно упругость ртутныхъ паровъ при 0° было-бы равна упругости водяныхъ паровъ при — 199°.

Основываясь на законѣ Дальтона, можно бы находить упругія силы паровъ всякой жидкости, имѣя двѣ таблицы: 1) таблицу упругихъ силъ пара одной какой-нибудь жидкости, на каждый градусъ термометра, и 2) таблицу температуръ кипѣнія разныхъ жидкостей.

Къ сожалѣнію, законъ Дальтона несовершенно справедливъ. Опыты искуснѣйшихъ Физиковъ, дѣланные въ послѣднее время, показываютъ что этотъ законъ въ точности не прилагается, хотя и можетъ быть употребляемъ въ практикѣ, для приблизительнаго рѣшенія вопросовъ.

101. *Зависимость между температурою и упругою силою водяныхъ паровъ.* — Зависимость между температурою и упругою силою насыщающихъ паровъ можетъ быть опредѣлена опытами. Въ слѣдующей таблицѣ показаны выводы изъ опытовъ, дѣланныхъ, въ 1829 году, Парижскою Академіею наукъ, для опредѣленія этой зависимости, для водянаго пара.

Таблица

показывающая температуру и упругую силу водянаго пара, отъ 1 до 50 атмосферъ.

Упругая сила пара, выраженная въ атмосферахъ.	Упругая сила пара, выраженная въ футахъ ртути, при 0° Р-а	Упругая сила пара выраженная въ футахъ воды при 0° Р-а.	Соотвѣтствующая температура по Р-у.	Давленіе на 1 квадр. футъ въ пудахъ.
1	29,,92 = 2°,4934	33,90	80°	58,58
1½	3,7401	50,85	89,16	87,86
2	4,9868	67,80	99,12	117,15
2½	6,2335	84,75	103,04	146,44
3	7,4802	101,70	108,08	175,73
3½	8,7269	118,65	112,48	205,02
4	9,9726	135,60	116,32	234,30
4½	11,220	152,55	119,25	263,59
5	12,467	169,50	122,46	292,88
5½	13,714	186,45	125,44	322,17
6	14,960	203,40	128,16	351,46
6½	16,207	220,35	130,78	380,75
7	17,454	237,30	133,20	410,04
7½	18,701	254,25	135,50	439,38
8	19,947	271,20	137,68	468,60

Упругая сила пара, выраженная въ атмосферахъ.	Упругая сила пара выраженная въ футахъ ртути, при 0° Р-а.	Упругая сила пара выраженная въ футахъ воды при 0° Р-а.	Соотвѣтствующая температура по Р-у.	Давленіе на 1 квадр. футъ въ пудахъ.
9	22,441	305,1	141,68	527,18
10	24,934	339,0	145,28	585,77
11	27,427	372,9	148,82	644,35
12	29,921	406,8	152,00	702,92
13	32,414	440,7	154,96	761,50
14	34,908	474,6	157,75	820,08
15	37,401	508,5	160,38	878,66
16	39,894	542,4	162,88	937,23
17	42,388	576,3	165,25	995,80
18	44,881	610,2	167,52	1054,38
19	47,375	644,1	169,68	1112,96
20	49,868	678,0	171,76	1171,54
21	52,361	711,9	173,76	1230,12
22	54,855	745,8	175,68	1288,70
23	57,348	779,7	177,59	1347,28
24	59,842	813,6	179,36	1405,86
25	62,335	847,5	181,04	1464,42
30	74,802	1017	188,96	1757,30
35	87,269	1186	195,88	2050,18
40	99,736	1356	202,04	2343,08
45	112,200	1525	207,61	2635,96
50	124,670	1695	212,71	2928,85

Отъ 1 до 24 атмосферъ температура опредѣлена опытомъ; отъ 24 до 50 атмосферъ — вычисленіемъ, помощію слѣдующей формулы:

$$t = 1{,}1184\,(\sqrt{e} - 1);$$

гдѣ t означаетъ температуру по Реомюру, свыше 80°, и принимая 80° за единицу; e упругую силу пара, выраженную въ атмосферахъ. — Есть причины полагать, что найденный по формулѣ выводъ, при 50 атмосферахъ, не разнится отъ дѣйствительнаго болѣе чѣмъ на 1 градусъ.

Часто надобно бываетъ знать упругую силу водянаго пара, при температурѣ меньшей 80°; тогда употребляютъ слѣдующую таблицу.

Таблица

показывающая упругую силу насыщающаго водянаго пара, отъ 0° до 80° Реомюра.

Градусы Реомюра.	Упругая сила выраженная въ дюймахъ ртути.	Давленіе на 1 квадратный футъ въ пудахъ.
0	0,200	0,3918
4	0,273	0,5338
8	0,375	0,7325
12	0,507	0,9653
16	0,676	1,3344
20	0,908	1,7830
24	1,21	2,3735
28	1,58	3,1174
32	2,11	4,0884
36	2,76	5,3035
40	3,50	6,8424
44	4,47	8,7673
48	5,74	11,158
52	7,23	14,094
56	9,02	17,671
60	11,25	22,503
64	13,92	27,159
68	17,00	33,303
72	20,77	40,520
76	25,10	48,93
80	29,92	58,58

102. *Вѣсъ единицы объема пара, котораго упругая сила и температура даны.* — Вѣсъ единицы объема всякаго газа, зависитъ отъ температуры и давленія какому онъ подверженъ, то-есть отъ упругой силы его. Часто, зная вѣсъ единицы объема газа при нѣкоторой температурѣ и при извѣстномъ давленіи, надобно бываетъ опредѣлить

вѣсъ его при другой температурѣ и при другомъ давленіи. Рѣшимъ этотъ вопросъ для газовъ вообще и потомъ приложимъ къ водянымъ парамъ.

Пусть будетъ П вѣсъ кубическаго фута газа, при температурѣ t и при давленіи p; назовемъ П', t' и p' вѣсъ куб. фута, температуру и давленіе газа, въ другомъ состояніи. Постараемся выразить П посредствомъ П'. Для этого, возьмемъ кубическій футъ того-же газа при 0° и при среднемъ атмосферномъ давленіи p_0: (p_0 равно 58,58 пудъ на квадр. футъ). Пусть будетъ m коэфиціентъ расширенія газа и Π_0 вѣсъ куб. фута газа, при 0° и при давленіи p_0. Переходя отъ 0° къ t, безъ измѣненія давленія p_0, объемъ 1 сдѣлается равнымъ $1+mt$. Когда же, сверхъ того, давленіе p_0 перемѣнится въ p, то, по Маріотову закону, объемъ $1+mt$ перемѣнится въ $(1+mt)\frac{p_0}{p}$

Если раздѣлить на этотъ объемъ вѣсъ газа Π_0, который не перемѣнился, то частное представитъ собою вѣсъ куб. фута газа, при температурѣ t и при давленіи p, а именно:

$$\Pi = \frac{\Pi_0 p}{(1+mt)p_0}$$

Когда давленіе и температура газа равны p' и t', то вѣсъ куб. фута П' найдется по формулѣ:

$$\Pi' = \frac{\Pi_0 p'}{(1+mt')p_0};$$

слѣдственно:

$$\Pi : \Pi' = \frac{\Pi_0 p}{(1+mt)p_0} : \frac{\Pi_0 p'}{(1+mt')p_0}$$

откуда:
$$\Pi = \Pi' \left\{\frac{1+mt}{1+mt'}\right\}\frac{p}{p'} \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

По этой формулѣ можно находить вѣсъ П куб. фута газа, при температурѣ t и при давленіи p, когда извѣстенъ

вѣсъ Π' куб. фута того-же газа, при температурѣ t' и при давленіи p'.

Приложимъ это къ опредѣленію вѣса единицы объема водянаго пара, котораго упругость и температура извѣстны.

Опытомъ найдено, что кубическій футъ водянаго пара, при 80° и при среднемъ атмосферномъ давленіи, вѣситъ 3,912 золотника, или 0,04075 фунт.; поэтому, если подставить въ формулу (1): $t'=80°$; $p'=16,27$; $\Pi'=0,04075$ ф.; то получится:

$$\Pi = \frac{0,00344.p}{1+mt} \text{ фун.}$$

Для водяныхъ паровъ $m = 0,00453$ на 1 гр. Реомюра.

Обыкновенно упругая сила пара задается, не давленіемъ на 1 квад. футъ, но числомъ атмосферъ; то-есть дается отношеніе $\frac{p}{p'}$, и тогда употребляется формула:

$$\Pi = \frac{0,00344}{(1+m.t)} \times \frac{p}{p'} \text{ фун.}$$

Такъ напримѣръ, если упругая сила пара равна 4 атмосферамъ, то взявъ изъ таблицы соотвѣтствующую ей температуру $t = 116°,32$; получимъ:

$$1+0,00453.t = 1+0,00453 \times 116,32; \quad \frac{p}{p'} = 4;$$

откуда найдемъ:

$$\Pi = 0,145 \text{ фунта.}$$

Такъ какъ куб. футъ пара при 80°, то-есть такихъ, которыхъ упругая сила равна одной атмосферѣ, вѣситъ 0,04075 фунт., или 3,912 золотника, то вѣсъ этихъ паровъ составляетъ $^1/_{1697}$ вѣса равнаго объема воды; то-есть, кубическій футъ воды можетъ доставить 1697 куб. фут. пара при температурѣ 80°.

Опредѣляя вѣсъ единицы объема паровъ по формулѣ

(2), мы полагали, что упругая сила паровъ соотвѣтствуетъ температурѣ, показанной въ таблицѣ §. 101. Это бываетъ только тогда, когда пары насыщаютъ собою данное пространство. Въ случаѣ ненасыщающихъ паровъ, можно опредѣлять вѣсъ единицы объема, по той-же формулѣ (2), подставляя вмѣсто t и p температуру и упругую силу, опредѣленныя предварительнымъ наблюденіемъ.

Когда извѣстенъ вѣсъ П куб. фута паровъ, то вѣсъ Q объема O найдется, умножая П на O; такъ что

$$Q = \text{П}.O.$$

103. *Образованіе паровъ въ пространствѣ наполненномъ газами.* — До сихъ поръ мы полагали что пары образовались въ пустомъ пространствѣ. Когда жидкость испаряется въ какомъ нибудь газѣ, тогда замѣчается слѣдующее: 1) образующіяся пары не насыщаютъ *мгновенно* всего пространства; напротивъ того, проходитъ нѣкоторое время, пока пары достигнутъ до той упругой силы, какая соотвѣтствуетъ температурѣ пространства; 2) упругая сила смѣси паровъ и газа бываетъ равна упругой силѣ газа, сложенной съ упругостью какую-бы имѣли пары въ пустомъ пространствѣ, при той-же температурѣ; 3) количество паровъ, образующихся въ газѣ, совершенно-одинаково съ тѣмъ, какое-бы образовалось въ пустомъ пространствѣ такой-же величины, при той-же температурѣ.

Изъ этого слѣдуетъ, что *присутствіе газа имѣетъ вліяніе на одну лишь скорость образованія паровъ, и не имѣетъ никакого ни на количество образующихся паровъ ни на ихъ упругую силу.*

104. *Кипѣніе жидкостей. Температура кипѣнія.* — Всякая капельная жидкость, находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, испаряется, если воздухъ не насыщенъ парами. Это испареніе происходитъ медленно, потому что отдѣленію пара препятствуетъ атмосферное давленіе.

Чѣмъ выше температура жидкости, тѣмъ болѣе упругая сила образующагося пара и тѣмъ дѣятельнѣе испареніе. Когда упругая сила пара уравновѣситъ атмосферное давленіе, тогда жидкость начнетъ быстро превращаться въ паръ, и произойдетъ *кипѣніе*: нижніе слои жидкости, болѣе нагрѣтые, превращаясь въ паръ, будутъ проходить сквозь верхніе и приведутъ ихъ въ движеніе. Начиная съ этого мгновенія, все количество теплорода, доставляемое очагомъ, будетъ употребляться на образованіе пара: оттого *температура кипящей жидкости останется постоянною*, не-смотря на то, что жидкость будутъ безпрестанно нагрѣвать.

И такъ, кипѣніе жидкости происходитъ при той температурѣ, при которой упругая сила пара уравновѣшиваетъ собою атмосферное давленіе. Слѣдственно, температура кипѣнія въ воздухѣ, одной и той-же жидкости, зависитъ отъ барометрическаго давленія. При среднемъ атмосферномъ давленіи, разнаго рода жидкости начинаютъ вскипать при разныхъ температурахъ, какъ то показываетъ слѣдующая таблица:

Таблица

показывающая температуры кипѣнія нѣкоторыхъ тѣлъ, при среднемъ атмосферномъ давленіи, въ 29,92 дюйма по барометру.

Названіе тѣлъ.	Температура кипѣнія по Р-у.	Названіе тѣлъ.	Температура кипѣнія по Р-у.
Эѳиръ	29°,33	Фосфоръ	232
Алкоголь	48	Терпентинное масло .	234,66
Вода	80	Сѣра	239,12
Азотная кислота . . .	96	Льняное масло . . .	252,44
Сѣрная кислота . . .	168	Ртуть	279

При уменьшеніи давленія, понижается температура кипѣнія жидкости. И въ самомъ дѣлѣ, поднимаясь на большія высоты, замѣчаютъ, что съ уменьшеніемъ барометрическаго давленія, уменьшается и температура кипѣнія. Равнымъ образомъ, если помощію воздушнаго насоса разрѣдить воздухъ надъ жидкостью, то можно произвести кипѣніе при самой низкой температурѣ. И наоборотъ, если увеличить плотность воздуха надъ жидкостью, то температура кипѣнія возвысится. Этого достигаютъ, нагрѣвая жидкость въ плотно-запертомъ сосудѣ: образующіеся пары, не находя выхода, накопляются надъ жидкостью и давятъ на нее, тѣмъ сильнѣе чѣмъ выше температура. Этимъ способомъ, температура кипѣнія и упругая сила паровъ могутъ быть увеличиваемы произвольно. Что-бы заставить жидкость кипѣть при опредѣленной температурѣ, стоитъ лишь въ крышкѣ паровика сдѣлать отверзтіе, закрыть его плотно плиткою и положить на нее гирю, равную упругой силѣ пара, соотвѣтствующей предполагаемой температурѣ кипѣнія. Когда паръ достигнетъ до этой температуры, тогда давленіе его откроетъ отверзтіе, и увеличеніе температуры и упругости пріостановится.

105. *Единица теплорода. Относительный теплородъ.* — До сихъ поръ мы разсматривали только явленія, замѣчаемыя при образованіи пара, не говоря ничего о количествѣ теплорода, необходимомъ для превращенія жидкости въ паръ. Точное опредѣленіе этого количества чрезвычайно-важно, при употребленіи пара какъ движителя. Но прежде нежели займемся этимъ предметомъ, объяснимъ значеніе словъ: *единица теплорода* и *относительный теплородъ*.

Для сравниванія между собою количествъ теплорода, обыкновенно принимаютъ за единицу то количество теплорода, какое нужно употребить для возвышенія единицы вѣса воды, напримѣръ одного пуда, на 1 градусъ

Реомюра. Въ этомъ смыслѣ можно сказать, что пудъ воды нагрѣтый до 20 градусовъ, содержитъ въ себѣ 20 единицъ теплорода; или что въ 10 пудахъ воды, нагрѣтыхъ до 30°, находится $10 \times 30 = 300$ единицъ теплорода.

Опыты показываютъ, что всякое тѣло, нагрѣвшись на 1 градусъ, поглощаетъ опредѣленное свойственное себѣ количество теплорода. Это количество, выраженное въ единицахъ теплорода, называется *относительнымъ теплородомъ тѣла*. Въ слѣдующей таблицѣ показанъ относительный теплородъ нѣкоторыхъ тѣлъ, сравнительно съ водою.

Таблица

относительнаго теплорода нѣкоторыхъ тѣлъ.

Названіе тѣлъ.	Относительный теплородъ.	Названіе тѣлъ.	Относительный теплородъ.
Вода	1,0000	Сѣра	0,2085
Ртуть	0,0330	Негашеная известь	0,3096
Платина	0,0335	Сѣрная кислота (отн. вѣсъ = 1,87)	0,3346
Серебро	0,0557	Воздухъ	0,2669
Мѣдь	0,0940	Водородъ	3,2936
Цинкъ	0,0927	Углекислый газъ	0,2210
Желѣзо	0,1108	Кислородъ	0,2361
Олово	0,0475	Азотъ	0,8754
Свинецъ	0,0282	Водяные пары	0,8470
Стекло	0,1929		

Когда тѣло охлаждается, тогда теплородъ переходитъ изъ него въ окружающія тѣла. Числа предъидущей таблицы показываютъ на сколько градусовъ повысится температура воды, теплородомъ заимствованнымъ отъ равнаго ей вѣса даннаго тѣла, при охлажденіи его на 1 градусъ. Такъ напримѣръ: относительный теплородъ мѣди

0,094; это значитъ, что пудъ мѣди, охлаждаясь на 1°, издаетъ столько теплорода, что имъ можно возвысить температуру пуда воды на 0°,094. Пудъ водорода, охлаждаясь на 1°, испускаетъ столько теплорода, что имъ можно нагрѣть пудъ воды на 3,2936 градусовъ. Вообще, если c представляетъ относительный теплородъ какого ни есть тѣла, Q вѣсъ, выраженный въ пудахъ, то количество теплорода, издаваемое тѣломъ при пониженіи его температуры на 1°, выражается произведеніемъ $c.Q$.

106. *Свободный и скрытый теплородъ. Количество теплорода, содержащееся въ единицѣ вѣса водянаго пара.* — Мы умѣемъ опредѣлить количество теплорода, поглощаемое тѣломъ, при возвышеніи его температуры на одинъ или нѣсколько градусовъ. Этотъ теплородъ называется *свободнымъ;* потому-что, о количествѣ его можно судить по температурѣ тѣла, показываемой термометромъ. Кромѣ свободнаго, всякое тѣло содержитъ въ себѣ нѣкоторое количество *скрытаго* теплорода, то-есть такого, присутствіе котораго не обнаруживается термометромъ. Говоря о кипѣніи жидкостей, мы сказали, что когда жидкость дойдетъ до температуры, при которой начинается кипѣніе, тогда увеличеніе температуры пріостанавливается, не-смотря на то, что очагъ доставляетъ безпрестанно новое количество теплорода: весь этотъ теплородъ поглощается образующимся паромъ и не обнаруживается на термометрѣ. Такъ напримѣръ, когда вода кипитъ въ воздухѣ, при среднемъ его давленіи, то сначала температура воды возвышается, что и показываетъ термометръ; потомъ, когда температура дойдетъ до 80°, ртуть въ термометрѣ останавливается на 80°, не-смотря на то, что вода не перестаетъ получать теплородъ изъ очага; черезъ нѣкоторое время начинаетъ образоваться паръ, котораго температура равна 80°; и эта температура остается постоянною, какъ-бы ни былъ силенъ жаръ очага. Изъ этого должно заключить, что при переходѣ воды изъ ка-

пельнаго состоянія въ воздухообразное, нѣкоторое количество теплорода поглощается и остается въ парѣ скрытымъ. Это поглощеніе теплорода, бываетъ всегда при переходѣ тѣла изъ твердаго состоянія въ капельное, или изъ капельнаго въ воздухообразное. И наоборотъ, когда тѣло изъ воздухообразнаго состоянія переходитъ въ капельное, или изъ капельнаго въ твердое, тогда скрытый теплородъ обнаруживается и переходитъ въ окружающія тѣла. Опытами можетъ быть опредѣлено количество скрытаго теплорода во всякомъ тѣлѣ. Мы приведемъ здѣсь выводы изъ опытовъ, дѣланныхъ для опредѣленія скрытаго теплорода воды въ разныхъ ея состояніяхъ.

При превращеніи въ паръ единицы вѣса воды, нагрѣтой до 80°, поглощается столько теплорода, что если-бы вода могла остаться въ капельномъ состояніи, то скрытый теплородъ возвысилъ-бы температуру ея на 440° выше температуры кипѣнія, такъ что температура воды была-бы $80° + 440° = 520°$. И наоборотъ, при переходѣ пара въ воду, то-же самое количество теплорода отдѣляется изъ пара и переходитъ въ окружающія тѣла. Такъ что, въ пудѣ водяныхъ паровъ, при 80°, содержится 520° единицъ теплорода. Обративъ паръ въ воду, получимъ пудъ воды, при 80°, и 440 единицъ свободнаго теплорода. Основываясь на этой данной, можно опредѣлить количество теплорода въ данномъ вѣсѣ водянаго пара, при 80°, то-есть при среднемъ атмосферномъ давленіи. Но теперь представляется вопросъ, если давленіе увеличится или уменьшится, количество теплорода въ единицѣ вѣса паровъ измѣнится-ли или останется то-же самое что и прежде? Саутернъ *(Southern)*, англійскій Физикъ, полагаетъ, что скрытый теплородъ водянаго пара остается постоянно одинъ и тотъ-же, но что все количество теплорода перемѣняется съ перемѣною температуры пара; то-есть, что все количество теплорода, въ единицѣ вѣса пара, можетъ быть разсматриваемо составленнымъ изъ двухъ

частей: одной постоянной, равной скрытому теплороду, то-есть 440 единицамъ, другой перемѣнной, представленной температурою, до которой надобно возвысить воду отъ 0°, что-бы пару сообщить упругую силу, равную давленію, при которомъ онъ образуется. Такимъ образомъ въ пудѣ пара, при 80°, при среднемъ атмосферномъ давленіи, содержится $80° + 440 = 520$ единицъ теплорода. При 97°,12, то-есть при давленіи въ 2 атмосферы, находится $97,12 + 440 = 537,12$ единицъ теплорода. При давленіи въ 3 атмосферы, температура пара равна 101,70, и слѣдственно, по мнѣнію Саутерна, пудъ такихъ паровъ содержитъ въ себѣ: $101,70 + 440 = 541,70$ единицъ. И вообще, если $t°$ температура пара, то въ единицѣ вѣса будетъ содержаться $t + 440$ единицъ теплорода; а въ вѣсѣ Q,

$$Q(440 + t) \text{ единицъ.}$$

Поэтому, расходъ топлива будетъ увеличиваться съ увеличеніемъ температуры пара, или, что все равно, съ увеличеніемъ упругой силы. Это мнѣніе раздѣляютъ съ Саутерномъ англійскіе Физики.

По опытамъ французскихъ Физиковъ, Клемана и Дезорма *(Clément et Désormes), все количество теплорода*, въ единицѣ вѣса пара, бываетъ постоянно одно и то-же, при всякой температурѣ и давленіи; то-есть, пудъ пара при 80, при 97,12, при 101,70, и вообще при $t°$, и при соотвѣтствующихъ давленіяхъ, содержитъ въ себѣ постоянно 520 единицъ теплорода. При 80° въ парѣ находится 80 единицъ свободнаго и 440° скрытаго теплорода; при 97°,12, пары содержитъ 97,12 свободнаго и 422,88 единицъ скрытаго. Однимъ словомъ, при увеличеніи свободнаго теплорода уменьшается скрытый на столько, что оба, въ суммѣ, равны 520°. Если мнѣніе французскихъ Физиковъ справедливо, то образованіе единицы вѣса пара, при всякой температурѣ и при всякомъ давленіи, потребуетъ одной и той-же издержки топлива.

Поэтому, есть два различныя мнѣнія касательно количества теплорода въ единицѣ вѣса водянаго пара. — Отъ количество теплорода зависитъ расходъ топлива. При опредѣленіи этого расхода мы послѣдуемъ мнѣнію Саутерна, потому что, оно ведетъ къ большему выводу, нежели Клемана, и слѣдственно представляетъ болѣе вѣрности въ практикѣ; такъ что, *количество теплорода C, содержащееся во весь Q паровъ при температурѣ t°, будемъ опредѣлять по формулѣ*:

$$C = Q(440 + t).$$

При переходѣ воды изъ капельнаго состоянія въ твердое, въ состояніе льда, проявляется также теплородъ, до-того скрытый въ водѣ; и на оборотъ, тающій ледъ поглощаетъ нѣкоторое количество теплорода. Опытами найдено, что пудъ льда, при 0°, превращаясь въ воду, поглощаетъ 60 единицъ теплорода, которыя остаются скрытыми, потому-что образовавшаяся вода имѣетъ температуру равную 0.

107. *Количество холодной воды, нужное для охлажденія пара.* — При употребленіи водянаго пара какъ движителя, надобно бываетъ охлаждать его: для этого употребляется холодная вода. Постараемся опредѣлить вѣсъ воды, нужной для пониженія единицы вѣсы пара на нѣкоторое число градусовъ.

Пусть будетъ t температура пара, t' температура холодной воды, q' искомый вѣсъ ея, t'' температура, до которой должна быть понижена температура пуда пара. Пудъ пара содержитъ съ себѣ $440 + t$ единицъ теплорода, а холодная вода имѣетъ ихъ въ себѣ $q'.t'$: слѣдственно смѣсь ихъ будетъ содержать $440 + t + q't'$. Вѣсъ смѣси равенъ $1 + q'$, а температура ея равна t'', стало-

быть въ ней находится $(1+q')t''$ единицъ теплорода. Поэтому, будетъ слѣдующее уравненіе:

$$(1+q')t'' = 440 + t + q't';$$

откуда $$q' = \frac{440 + t - t''}{t'' - t'}.$$

Такое количество холодной воды нужно для охлажденія единицы вѣса пара. Такъ напримѣръ, если температура пара $t = 101°,70$, холодной воды $t' = 10°$, а смѣси $t'' = 30°$, то $q' = 20,58$; то-есть, для охлажденія 1 пуда пара, при 101,70, надобно употребить 20,58 пудовъ холодной воды, при 10°.

108. *Количество теплорода, доставляемое разнаго рода топливами.* — Для образованія водянаго пара употребляются разнаго рода топлива, какъ-то: дрова, каменный уголь, торфъ, и т. д. Французскій физикъ Клеманъ *(Clément)* опредѣлилъ опытами количества теплорода, издаваемыя при горѣніи разнаго рода топливами. Опыты дѣланы были посредствомъ *калориметра*. Теплородъ, издаваемый горючимъ веществомъ, употреблялся на превращеніе льда въ воду; по вѣсу разстаявшаго льда, можно было судить о количествѣ теплорода, зная что 1 пудъ льда, при 0°, превращаясь въ воду, поглощаетъ 60 единицъ теплорода. Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены выводы изъ опытовъ Клемана.

Таблица

показывающая количества теплорода, издаваемыя разнаго рода топливами.

Нязваніе тѣлъ.	Число единицъ теплорода, издаваемое 1 пуд. топлива.	Названіе тѣлъ.	Число единицъ теплорода, издаваемое 1 пуд. топлива.
Водородъ	17700	Каменный уголь ($^1/_{20}$ золы)	5640
Сухой древесный уголь (какого-бы то ни было дерева)	5640	Каменный уголь ($^1/_8$ золы)	4745
Древесный уголь, содержащій въ себѣ $^1/_3$ воды	4800	Дрова, высушенныя въ печи	2933
Чистый коксъ. . . .	5640	Дрова, высохшія на воздухѣ и содержащія $^1/_3$ воды	2356
Коксъ, оставляющій по сожженіи 0,1 золы .	5076	Лучшій торфъ . . .	1200
Каменный уголь $^1/_{10}$ золы)	5076	Дурной торфъ . . .	900

Числа этой таблицы показываютъ на сколько градусовъ можетъ быть возвышена температура пуда воды, теплородомъ отдѣляющимся при сожженіи пуда, одного изъ выписанныхъ здѣсь тѣлъ. Такъ напримѣръ, пудъ каменнаго угля, оставляющаго по сожженіи $^1/_{10}$ часть золы, доставляетъ 5076 единицъ теплорода; это значитъ, что этимъ теплородомъ 1 пудъ воды можетъ быть нагрѣть на 5076 градусовъ Р-ра; или, что все равно, 5076 пудовъ воды могутъ быть нагрѣты на 1°. Помощію этой таблицы, можно опредѣлить количество топлива, нужное для возвышенія температуры даннаго вѣса воды на извѣстное число градусовъ. Сравнивая между собою количества теплорода, издаваемыя разными топливами, замѣчаемъ: 1. что единица вѣса всякаго дерева, безъ разли-

чія — сосноваго, березоваго, ольховаго, и т. д. доставляетъ одно и то-же количество теплорода: это объясняется тѣмъ, что всѣ они содержатъ равныя количества угля и воды; 2. что дрова доставляютъ почти вполовину менѣе теплорода, противъ каменнаго или древеснаго угля; 3. что хорошій каменный уголь, коксъ и древесный уголь, доставляютъ равныя количества теплорода.

Впрочемъ, надобно замѣтить, что при употребленіи топливъ въ практикѣ, невозможно извлечь изъ нихъ все количество теплорода, показанное въ таблицѣ. При лучшемъ устройствѣ обыкновенныхъ очаговъ нельзя получить болѣе $^2/_3$, а въ печахъ паровыхъ машинъ болѣе $^1/_2$ всего количества теплорода, издаваемаго топливомъ; остальная часть разсѣвается, переходитъ въ окружающія тѣла и уходитъ въ воздухъ съ дымомъ. Для удержанія теплорода, окружаютъ очаги дурными проводниками, — кирпичомъ, толченымъ углемъ или золою; но всѣ эти средства недостаточны.

109. *Количество воздуха нужное для сожженія топлива.* — Дознано опытомъ, что 1 пудъ угля, для совершеннаго сгорѣнія, требуетъ 144 куб. фута воздуха, при средней температурѣ и при обыкновенномъ давленіи. Но въ практикѣ надобно полагать вдвое, и даже втрое болѣе, а именно: отъ 288 до 432 куб. фут. Сверхъ того, найдено опытами, что объемъ газа, происшедшаго отъ сгорѣнія топлива, равенъ объему доставленнаго воздуха, съ небольшею разницею, соотвѣтствующею разности температуръ очага и внѣшняго воздуха; и наконецъ, что данный вѣсъ топлива доставляетъ одинаковое количество теплорода, сгараетъ-ли скоро или медленно.

Такъ какъ относительный теплородъ воздуха равенъ 0,2669, то-есть почти $^1/_4$ (§ 105), то единица теплорода возвыситъ на 1 градусъ 4 пудъ воздуха, или 1 пудъ воздуха на 4 градуса.

110. *Количество топлива, нужное для образованія дан-*

наго количества пара. — Основываясь на предъидущемъ, легко опредѣлить количество топлива, нужное для образованія вѣса Q пара, при температурѣ t, изъ воды, которой температура равна t'. Для этого замѣтимъ, что въ вѣсѣ воды Q содержится Qt' единицъ теплорода, между тѣмъ какъ въ парѣ будетъ ихъ $Q(440+t)$; слѣдственно надобно доставить водѣ $Q(440+t-t')$ единицъ теплорода. Если раздѣлить это число на число единицъ теплорода, доставляемаго единицею вѣса топлива, то получится искомый вѣсъ топлива. Такъ напримѣръ, если топливомъ служитъ хорошій уголь или коксъ, то какъ пудъ его доставляетъ 5640 единицъ, половина которыхъ можетъ быть обращена въ пользу, то образованіе вѣса Q пара потребуетъ:

$$\frac{Q(440+t-t')}{2820}$$ пудовъ угля.

И наоборотъ, если нужно найти, одинъ пудъ угля сколько образуетъ пара при данной температурѣ, то надобно раздѣлить вѣсъ Q паровъ на число $\frac{Q(440+t-t')}{2820}$; такимъ образомъ получимъ, что одинъ пудъ угля можетъ образовать

$$\frac{2820}{440+t-t'}$$ пуд. пара.

Вообще, если Q'' представляетъ вѣсъ топлива, n число единицъ теплорода, доставляемое пудомъ топлива, — число, находимое по таблицѣ §. 108; то, теоретически:

$$Q''=\frac{Q(440+t-t')}{n}.$$

Въ практикѣ надобно будетъ употребить отъ $\frac{1}{2}Q''$ до $2Q''$ пудовъ топлива. И наоборотъ, единица вѣса топлива можетъ доставить $\frac{n}{(440+t-t')}$ единицъ вѣса паровъ.

При употребленіи этихъ формулъ надобно знать вѣсъ пара. Обыкновенно бываетъ извѣстенъ объемъ ихъ. Этотъ объемъ надобно умножить на П, вѣсъ единицы объема, находимый по извѣстной формулѣ (§. 102).

Положимъ, что желаютъ опредѣлить количество хорошаго каменнаго угля, нужное для образованія 25 фунтовъ пара, при 101°,70, изъ воды, которой температура равна 12°; то надобно будетъ сдѣлать: $Q = 25$; $t = 101,70$; $t' = 12$; $n = 5640$; и тогда получимъ: $Q'' = 2,35$ фунт.; что умноживъ на $^2/_2$, или на 2, получимъ оттъ 3,52 до 4,7 фунтовъ.

2. Паровыя машины.

а) *Понятіе о способѣ дѣйствія пара въ машинахъ.*

111. *Разнаго рода паровыя машины.* — Паръ, образовавшійся при извѣстной температурѣ, стремится расшириться, на подобіе разгибающейся пружины. Расширяясь, онъ можетъ преодолѣвать сопротивленія на нѣкоторомъ протяженіи, и слѣдственно обнаруживать нѣкоторую работу. Обыкновенный способъ употребленія пара, какъ движителя, состоитъ въ приведеніи въ попеременное движеніе *поршня* въ *цилиндрѣ*. Это движеніе можетъ быть произведено очень просто. Представимъ себѣ отвѣсный цилиндръ, сверху открытый, а внизу сообщенный съ паровикомъ. Пусть будетъ *a* паровикъ *(Чер. 152)*, *g* трубка сообщающая его съ цилиндромъ *b*, *h* кранъ, помощію котораго можно прерывать и возстанавливать сообщеніе паровика съ цилиндромъ. Въ цилиндръ *b*, хорошо обточенный внутри, вставимъ поршень *e*, плотно прилегающій къ стѣнамъ. Разведя огонь подъ паровикомъ, откроемъ кранъ *h*. Паръ, дошедши до нѣкоторой темпе-

ратуры и получивъ достаточную упругую силу, начнетъ поднимать поршень *e*: это случится тогда, когда давленіе пара сдѣлается болѣе атмосфернаго давленія. Поршень, поднимаясь, дойдетъ наконецъ до крайней точки *d*. Если пожелаемъ пріостановитъ его въ этомъ положеніи, и потомъ возвратить къ первоначальному, то достаточно будетъ, закрывъ кранъ *h*, открытъ другой кранъ *f* и выпустить паръ въ воздухъ: тогда поршень *e* опустится отъ собственнаго своего вѣса. Желая вторично поднять его паромъ, надобно будетъ затворить кранъ *f*, открытъ кранъ *h*, и оставить отпертымъ, пока поршень не дойдетъ до точки *d*. Открывая и затворяя попеременно краны *h* и *f*, можно будетъ производить безпрестанно попеременныя движенія поршня. Но надобно замѣтить, что какъ поршень низходитъ отъ собственнаго своего вѣса, то паръ дѣйствуетъ какъ движитель, только при восхожденіи поршня. *Паровыя машины*, основанныя на этомъ началѣ, то-есть, *въ которыхъ паръ дѣйствуетъ на одну лишь грань поршня, называются машинами простаго-дѣйствія.*

Можно заставить паръ дѣйствовать непрерывно на поршень, то-есть давить попеременно на обѣ его грани. Такое устройство находимъ въ такъ называемыхъ машинахъ *двойнаго-дѣйствія*. Можно себѣ составить понятіе объ ихъ дѣйствіи слѣдующимъ образомъ *(Чер. 153)*. Положимъ, что паровой цилиндръ закрытъ плотно крышкою *mn*, и что верхняя и нижняя части его сообщены съ паровикомъ трубками, съ кранами 2 и 1; сверхъ того, положимъ, что устроены краны 3 и 4, для выпуска пара въ воздухъ. Полагая что поршень находится внизу, представимъ себѣ что краны 2 и 4 затворены, а 1 и 3 открыты. Паръ изъ котла перейдетъ подъ поршень; тотъ который находился надъ поршнемъ, выйдетъ въ воздухъ краномъ 2; перевѣсъ давленія пара снизу вверхъ надъ атмосфернымъ давленіемъ сверху внизъ, заставитъ

поршень подниматься. Доведя поршень до верху, если захотимъ дать ему обратное движеніе, то достаточно будетъ, закрывъ краны 1 и 3, открытъ 2 и 4; изъ-подъ поршня паръ выйдетъ въ воздухъ, между тѣмъ какъ выходящій изъ котла давленіемъ своимъ на верхнюю грань заставитъ поршень итти внизъ. Понятно что попеременное движеніе поршня будетъ происходить непрерывно, если попеременно закрывать и открывать краны 1 и 3, 2 и 4. Возвратное движеніе поршня можно будетъ передать какой-нибудь фабричной машинѣ.

Поэтому, есть два рода паровыхъ машинъ, — *простаго* и *двойнаго дѣйствія*. Въ однѣхъ и другихъ паръ можетъ имѣть бо́льшую или меньшую упругую силу; и сообразно съ этимъ, паровыя машины раздѣляются на машины *обыкновеннаго* и *усиленнаго давленія*. Въ машинахъ обыкновеннаго давленія упругая сила пара немногимъ превосходитъ атмосферное давленіе; или, другими словами, температура пара немного болѣе 80°: она бываетъ около 85°, — что̀ соотвѣтствуетъ давленію пара почти въ $^1/_4$ пуда на квадр. дюймъ. Въ машинахъ усиленнаго давленія упругая сила паровъ бываетъ въ 2, 3, 4, до 8 атмосферъ. При упругой силѣ болѣе 8 атмосферъ, затруднительно и опасно употреблять паръ въ машинахъ.

И такъ паровыя машины бываютъ:

простаго дѣйствія,

и *двойнаго дѣйствія;*

какъ тѣ такъ и другія могутъ быть:

обыкновеннаго давленія,

и *усиленнаго давленія*.

*** Машины, въ которыхъ упругая сила пара болѣе одной, но не болѣе 4 атмосферъ, принято называть *машинами средняго давленія*. Названіе машинъ усиленнаго давленія дается тѣмъ, въ которыхъ упругая сила пара болѣе 4 атмосферъ.

112. *Паровыя машины съ холодильникомъ и безъ холодильника, съ расширеніемъ и безъ расширенія пара.* — Мы сказали, что паръ, произведшій дѣйствіе въ цилиндрѣ, выпускается въ воздухъ. Это дѣйствительно дѣлается въ нѣкоторыхъ случаяхъ, и между прочимъ въ *локомотивахъ* (паровозахъ). Но, вообще говоря, выпускать паръ въ воздухъ неудобно тѣмъ, что при этомъ грань поршня, противоположная движенію, бываетъ подвержена атмосферному давленію, и слѣдственно, употребляется въ пользу одна лишь разность между упругою силою пара и атмосфернымъ давленіемъ. Если-бы можно было паръ, произведшій дѣйствіе, не выпуская въ воздухъ, охладить, и образовать пустоту въ одной части цилиндра, то тогда все давленіе пара употребилось-бы въ пользу. Этого и достигаютъ, почти совершенно, прибавляя къ описаннымъ нами приборамъ *холодильникъ*, то-есть сосудъ съ холодною водою, и сообщая его съ верхнею и нижнею частями цилиндра. Краны 3 и 4 попеременно приводятъ паръ въ холодильникъ, гдѣ онъ сгущается мгновенно, такъ что въ части цилиндра, сообщенной съ холодильникомъ, образуется почти совершенная пустота. Прибавленіе холодильника къ паровымъ машинамъ есть одно изъ важнѣйшихъ усовершенствованій, сдѣланныхъ знаменитымъ англійскимъ Механикомъ Уаттомъ *(Watt)*.

Локомотивы дѣлаются безъ холодильниковъ, потому что затруднительно было-бы возить съ собою значительное количество холодной воды, какое потребно для сгущенія пара. Смотря-по-тому сгущается-ли паръ въ холодильникѣ или выпускается въ воздухъ, паровыя машины могутъ быть раздѣлены на:

машины съ холодильникомъ

и *машины безъ холодильника*.

Наконецъ, послѣднее раздѣленіе паровыхъ машинъ можно сдѣлать, принимая въ соображеніе способъ, ка-

кимъ паръ дѣйствуетъ на поршень, а именно: дѣйствуетъ ли онъ съ тою упругою силою, какую имѣетъ въ паровикѣ, или, образовавшись въ паровикѣ и перейдя въ цилиндръ, *расширяется* въ немъ, и расширяясь, давитъ на поршень. Въ первомъ случаѣ говорится что паръ дѣйствуетъ *безъ расширенія*, во второмъ *съ расширеніемъ*. Оттого и паровыя машины могутъ быть:

безъ расширенія пара,

и *съ расширеніемъ пара.*

Безъ расширенія могутъ быть машины обыкновеннаго и усиленнаго давленія. Съ расширеніемъ бываютъ однѣ лишь машины средняго и усиленнаго давленія.

б) *Обзоръ послѣдовательныхъ усовершенствованій паровыхъ машинъ.*

113. *Первыя попытки употребленія движущей силы пара. Геронъ Александрійскій. Бласко Гарай. Саломонъ Ко. Бранка.* — Первый намекъ о возможности произвести движеніе водянымъ паромъ сдѣланъ *Герономъ Александрійскимъ*, за 120 лѣтъ до Р. Х. Однако-жъ приборъ Герона не имѣлъ никакого сходства съ нынѣшними паровыми машинами. Вотъ какъ онъ описанъ, въ дошедшемъ до насъ твореніи Герона «*Spiritualia, seu pneumatica*». Пустой внутри шаръ *P* помѣщенъ на двухъ шипахъ *A* и *B* (*Чер. 154*), и на нихъ можетъ вращаться. Паръ, образующійся въ котлѣ *Q*, проходитъ въ шаръ, посредствомъ трубки *DGA*, сквозь одинъ изъ двухъ шиповъ. Къ шару придѣланы двѣ трубки *HJ* и *KG*, съ отверстіями *O* и *H*, съ боку, открытыми въ противныя стороны. Изъ шара паръ проникаетъ въ трубки, и, выходя наружу, приводитъ въ вращеніе шаръ на шипахъ *A* и *B*. Вмѣсто двухъ, можно придѣлать большее число трубокъ, располагая ихъ такъ какъ трубки *HJ* и *KG*.—Этимъ однимъ

намекомъ ограничивается все, что намъ извѣстно о свѣденіяхъ древнихъ о движущей силѣ пара.

Нѣсколько лѣтъ тому назадъ, въ Саламанкскомъ архивѣ, найдены письменныя доказательства, что изобрѣтеніе паровыхъ машинъ и примѣненіе ихъ къ судоходству сдѣланы въ Испаніи, въ половинѣ XVI столѣтія. Нѣкто *Бласко Гарай (Blasco di Garay)*, представилъ Карлу V машину, приводимую въ движеніе кипяткомъ, посредствомъ которой суда могли плавать безъ веселъ и парусовъ; 17 іюня 1543 года былъ сдѣланъ опытъ на Барселонскомъ рейдѣ, въ присутствіи Карла V и сына его Филиппа. Опытъ вполнѣ удался; машина буксировала судно въ 200 тоннъ, со скоростью 6 верстъ въ часъ. Къ сожалѣнію, отсовѣтовали императору приложеніе этого важнаго изобрѣтенія къ дѣйствіямъ флота, полагая, что машина слишкомъ сложна, обошлась-бы дорого и, сверхъ-того, могла подвергнуться опасности отъ взрыва котла. Карлъ V щедро наградилъ изобрѣтателя, но пересталъ заниматься его изобрѣтеніемъ, которое вскорѣ было совершенно забыто и оставалось неизвѣстнымъ до нашего времени. Первое извѣстіе о немъ обнародовано барономъ Цахомъ, въ 1826 году.—Нельзя не усомниться въ справедливости приведеннаго здѣсь факта, о существованіи паровой машины въ XVI столѣтіи, принявъ въ соображеніе тогдашнее состояніе искусства построенія машинъ, и зная затрудненія, встрѣчаемыя при изготовленіи приборовъ, подобныхъ паровымъ машинамъ. Изъ дошедшихъ до насъ свѣденій нѣтъ возможности заключить что-нибудь объ устройствѣ паровой машины Гарая, и даже догадаться какимъ образомъ дѣйствовалъ въ ней водяной паръ. Такъ что, если эта машина и существовала, то она неимѣла никакого вліянія на усовершенствованіе паровой машины.

Въ 1615 году, французскій уроженецъ *Саломонъ Ко* (Salomon de Caus), въ книгѣ: «*Les raisons des forces mouvantes,*» описалъ приборъ для подъема воды, посредствомъ

давленія пара. Приборъ его состоялъ изъ мѣднаго шара *A*, пустаго внутри *(Чер. 155)*, къ которому придѣлана трубка съ краномъ *D*, для впуска воды, и другая трубка *BC*, опущенная почти до дна шара. Шаръ наполняли водою посредствомъ трубки *D*, и потомъ, закрывъ кранъ *D*, нагрѣвали приборъ снизу. Паръ, образовавшійся надъ водою, давленіемъ своимъ заставлялъ ее подниматься по трубкѣ *BC*.

Измѣнивъ нѣсколько приборъ Саломона Ко, можно было употребить его для подъема воды изъ колодца. Положимъ что, по прежнему, *A* представляетъ паровикъ *(Чер. 156)* *B* сосудъ, сообщенный съ паровикомъ трубкою съ краномъ z', и съ колодцемъ трубкою съ краномъ z. Въ сосудъ *B* погружена трубка *BC* для подъема воды, съ клапаномъ x. Сначала, закрывъ кранъ z и открывъ z' нагрѣваютъ паровикъ. По образованіи пара, закрываютъ кранъ z' и открываютъ z; давленіе воздуха гонитъ воду изъ колодца въ сосудъ *B*. Если, послѣ того, вторично закрыть кранъ z и открыть z', то давленіе пара заставитъ воду подняться по трубкѣ *BC*. Клапанъ x прерываетъ сообщеніе сосуда *B* съ воздухомъ.

Именно такимъ образомъ устроена водоподъемная машина Севери, придуманная въ 1698 году, о которой будетъ говорить въ послѣдствіи.

Въ 1629 году Италіанскій Физикъ *Бранка* (Branca) описалъ слѣдующій приборъ: мѣдный сосудъ, наполненный водою, снабжался небольшою трубкою съ краномъ, для выпуска пара *(Чер. 157)*. По разведеніи огня подъ сосудомъ, паръ, выходя изъ трубки, ударялъ въ перья колеса и приводилъ его въ вращеніе, на подобіе вѣтра, движущаго горизонтальныя крылья.

Все это отстояло еще далеко отъ мысли, о способѣ дѣйствія пара въ нынѣшнихъ паровыхъ машинахъ.

114. *Маркизъ Вурстеръ. Морлендъ. Папинъ. Севери.* — Англичане почитаютъ изобрѣтателемъ паровой машины

маркиза *Вурстера* (Worcester), котораго сочиненіе «*Сто новыхъ изобрѣтеній*» (The scantling of inventions) появилось въ 1663 году. (*).

Въ этой книгѣ находится описаніе прибора для подъема воды силою пара. Но это описаніе, къ которому не приложенъ чертежъ, не даетъ полнаго понятія о приборѣ. Можно заключить только, что способъ Ворстера, въ сущности, есть способъ придуманный Саломономъ Ко, за 48 лѣтъ до появленія «*Ста новыхъ изобрѣтеній*».

Англичане, въ исторіи паровыхъ машинъ, вслѣдъ за Вурстеромъ, приводятъ имя *Морленда* (Samuel Morland), который писалъ спустя 20 лѣтъ послѣ Вурстера и 68 послѣ Ко. Описываемый имъ способъ подъема воды паромъ одинаковъ, въ сущности, съ способами Ко и Вурстера.

Первая мысль объ употребленіи пара какъ движителя, не только для подъема воды но и для другихъ цѣлей, принадлежитъ безспорно французскому уроженцу *Папину* (Denis Papin). Въ 1688 году онъ описалъ машину, въ которой паръ приводилъ въ поперемѣнное движеніе поршень въ цилиндрѣ, и тогда-же указалъ на важныя приложенія паровой машины къ промышленнымъ производствамъ. Въ то время не поняли Папина и не оцѣнили его изобрѣтеній. Не менѣе того, однако-жъ, въ исторіи наукъ, Папинъ останется настоящимъ изобрѣтателемъ паровой машины, и 1688 годъ — эпохою этого важнаго изобрѣтенія. Папину первому принадлежитъ мыслъ устройства паровой машины съ поршнемъ; онъ первый замѣтилъ что охлаждая паръ можно достигнуть поперемѣннаго движенія. Конечно, отъ первой идеи Папина до па-

(*) Вотъ какъ разсказываютъ о томъ, что подало ему поводъ къ открытію движущей силы пара. Вурстеръ, заключенный въ Лондонскую тюрьму за долги, приготовлялъ себѣ кушанье, въ плотно-закрытомъ сосудѣ; образовавшіеся при этомъ пары сорвали крышку съ сосуда и навели Вурстера на мысль употребленія въ пользу силы пара.

ровой машины, въ настоящемъ ея видѣ, оставалось еще огромное разстояніе, но нельзя несогласиться, что всѣ нынѣшнія паровыя машины устроены по этой идеѣ. Во всѣхъ пары дѣйствуютъ на поршень въ цилиндрѣ, и попеременное движеніе поршня производится охлажденіемъ пара въ одной части цилиндра.

Со времени Папина паровая машина начала быстро стремиться къ совершенству. Мы изложимъ эти усовершенствованія въ послѣдовательномъ порядкѣ, сказавъ прежда нѣсколько словъ о машинѣ англійскаго Механика *Севери* (Savery), устроенной по началу Ко, и бывшей долгое время въ употребленіи.

Севери получилъ привиллегію на свою машину въ 1698 году. Машина состояла изъ паровика *O (Чер. 158)* снабженнаго предохранительнымъ клапаномъ. Паровой пріемникъ *S* сообщался съ колодцемъ *C*, изъ котораго слѣдовало поднимать воду, помощію всасывающей трубы *H*, съ клапаномъ. Паръ, наполнивъ пріемникъ *S*, выгонялъ изъ него воздухъ; послѣ того сообщеніе пріемника *S* съ паровикомъ прекращалось, паръ сгущался посредствомъ холодной воды, выпускаемой изъ трубки *EJ*, и тогда атмосферное давленіе заставляло подниматься воду въ *C*.

Въ этомъ видѣ машина Севери употреблялась долгое время для подъема воды. Одну изъ подобныхъ машинъ устроилъ Дезагюлье, для Императора Петра Великаго, въ лѣтнемъ саду, въ Петербургѣ. Паровикъ имѣлъ сферическую форму и содержалъ въ себѣ до 6 бочекъ воды. Въ пріемникѣ помѣщалась одна бочка; онъ наполнялся и осушался четыре раза въ минуту.

Главный недостакокъ машины Севери состоялъ въ большомъ потребленіи топлива, происходившемъ отъ того, что пары, въ прикосновеніи съ холодною водою, сгущались въ значительномъ количествѣ, нагрѣвая безъ надобности поднимаемую воду. Неудобства машины Севери об-

наружились болѣе всего въ тѣхъ рудникахъ, гдѣ количество накоплявшейся воды было значительно. Оттого, по недостатку дешевыхъ и удобныхъ машинъ для осушенія, надобно было пріостановить работы на многихъ англійскихъ рудникахъ.

115. *Атмосферная или Нюкоменова машина.*—Въ 1705 году, *Нюкоменъ* (Newcomen), торговецъ желѣзомъ въ Дартмаутѣ, и *Каули* (Cowley), стекольщикъ, устроили паровую машину, основываясь на началѣ предложенномъ Папиномъ, т. е. заставляя пары приводить въ движеніе поршень въ цилиндрѣ. Нюкоменова машина принадлежитъ къ числу машинъ простаго дѣйствія, потому что въ ней паръ дѣйствуетъ только на нижнюю грань поршня. Ее называютъ также *атмосферною*, основываясь на томъ, что движеніе поршня сверху внизъ происходитъ отъ атмосфернаго давленія на верхнюю грань поршня.

Опишемъ машину Нюкомена въ томъ видѣ, до какого она доведена окончательно, послѣ многихъ усовершенствованій.

Чер. 159 представляетъ вертикальный разрѣзъ машины и паровика, плоскостью проходящею черезъ ось цилиндра и чрезъ средину паровика, параллельною плоскости коромысла.

A. Паровикъ изъ красной мѣди.

a. Трубки показывающія находится-ли горизонтъ воды на требуемой высотѣ.

B. Трубка, снабжающая водою паровикъ. При ней помѣщенъ предохранительный клапанъ.

b. Отверзтіе, которымъ паръ проходитъ изъ паровика въ цилиндръ.

C. Паровой цилиндръ.

D. Поршень, движущійся въ цилиндрѣ взадъ и впередъ.

E. Трубка, чрезъ которую пускается холодная вода, для охлажденія.

e. Кранъ впускающій холодную воду. Движеніе крану сообщается періодически, машиною.

F. Резервуаръ съ холодною водою. Онъ помѣщенъ въ верхней части машины для усиленія притока воды, при охлажденіи пара.

G. Деревянное коромысло. На двухъ концахъ его расположены два сектора, описанные изъ центра *f*. Коромысло качается на горизонтальной оси.

H. Стержень насоса, накачивающаго воду для охлажденія. Онъ приводится въ движеніе коромысломъ *G*.

I. Стержень насоса, поднимающаго воду изъ колодца. Верхняя часть стержня оканчивается цѣпью, которая облегаетъ дугу коромысла.

K. Стержень поршня *D*, оканчивающійся также цѣпью, облегающею дугу коромысла.

L. Деревянная связь, поддерживающая ось коромысла.

M. Вертикальный брусокъ, приводимый въ движеніе коромысломъ. Брусокъ, посредствомъ колѣнчатыхъ рычаговъ *y*, *z*, вращаетъ періодически, взадъ и впередъ, кранъ *e* и впускной кранъ *g*.

N. Колосники.

O. Труба, которою стекаетъ вода, происходящая отъ охлажденія пара. Часть этой воды, сильно нагрѣтой, проводится въ паровикъ.

P. Трубка съ краномъ, проводящая холодную воду изъ трубки *E*, и смачивающая верхнюю грань поршня *D*. Отъ того онъ плотнѣе ходитъ въ цилиндрѣ.

R. Полъ по обѣимъ сторонамъ машины.

S. Трубка съ краномъ посредствомъ котораго выпускаютъ воду, накопляющую въ цилиндрѣ, когда машину остановятъ.

pp. Деревянныя связи, принадлежащія къ строенію.

qq. Механизмъ, вращающій впускной кранъ. Онъ соединенъ шарниромъ съ колѣнчатымъ рычагомъ *z*, который вращается на горизонтальной оси.

r. Деревянная пружина для умѣренія ударовъ коромысла.

Части, висящія по обѣимъ сторонамъ оси коромысла, должны взаимно уравновѣшиваться. Когда паръ, наполнивъ собою нижнее пространство цилиндра, станетъ поднимать его, тогда стержни насосовъ *H* и *J* начнутъ опускаться, кранъ *Q* запрется, кранъ *e* откроется и, въ слѣдствіе этого, пары въ цилиндрѣ охладятся. Въ это время атмосферное давленіе, дѣйствуя на поршень сверху, заставитъ его опуститься и, въ-тоже-время поднимetъ стержни насосовъ *H* и *J*.

Нюкоменова машина принесла въ свое время большую пользу промышлености, и до-сихъ-поръ употребляется съ выгодою для подъема воды, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ топливо дешево. Устройство ея, какъ мы уже сказали, основано на идеѣ Папина, и модели паровыхъ машинъ Папина имѣютъ много сходства съ машиною Нюкомена. Папинъ не придумалъ только удобнаго способа охлажденія пара въ цилиндрѣ: въ небольшихъ своихъ моделяхъ онъ производилъ охлажденіе, удаляя огонь отъ цилиндра. Нюкоменъ, Каули и Севери придумали способы болѣе удобные; въ первыхъ атмосферныхъ машинахъ окачивали цилиндръ снаружи, вливая холодную воду въ кольцеобразное пространство, между двойными стѣнами цилиндра; потомъ, замѣтивъ что охлажденіе производилось не довольно скоро, попали случайно на способъ, употребляемый и нынѣ въ атмосферныхъ машинахъ. Вотъ случай, приведшій къ этому важному усовершенствованію.

Въ началѣ XVIII столѣтія, въ эпоху построенія первыхъ атмосферныхъ машинъ, искусство приготовленія большихъ паровыхъ цилиндровъ и прилаживанія къ нимъ поршней не отличалось совершенствомъ. Чтобы предупредить просачиваніе пара между краями поршня и стѣнами цилиндра, въ машинахъ Нюкомена наливали всегда слой воды на верхъ поршня: вода проникала во всѣ ще-

ли и наполняла ихъ. Случилось однажды, что подобная машина начала ходить гораздо скорѣе обыкновеннаго. Изслѣдовавъ причину этого явленія, нашли въ поршнѣ щель, сквозь которую холодная вода, покрывавшая поршень, просачивалась въ нижнюю часть цилиндра и быстро охлаждала паръ. Съ тѣхъ поръ начали охлаждать пары иначе. Въ нижней части цилиндра устроили отверзтіе, покрытое продырявленною крышкою, сквозь которую холодная вода, протекая внутрь цилиндра, въ видѣ дождя, охлаждала быстро пары.

Первыя Нюкоменовы машины требовали безсмѣннаго надзора. Особенный рабочій долженъ былъ, во-время, открывать и закрывать краны, для впуска и охлажденія пара. Есть преданіе что мальчикъ, по имени Хемфри Поттеръ, соскучившись однажды однообразнымъ занятіемъ при кранахъ, вздумалъ привязать веревочками рукоятки крановъ къ коромыслу. Коромысло, качаясь, повертывало краны поперемѣнно, то въ ту, то въ другую сторону. Инженеръ *Бейтонъ* (Beighton) усовершенствовалъ этотъ способъ, привѣсивъ къ коромыслу деревянный отвѣсный брусокъ, называемый по англійски плогфремъ *(plugframe)*; нѣсколько нагелей продѣтыхъ сквозь брусокъ, нажимая рукоятки крановъ, при движеніи коромысла, вращали краны. Такой способъ показанъ въ описанной нами атмосферной машинѣ. Въ послѣдствіи придуманы другіе способы своевременнаго впуска и охлажденія пара, и плогфремъ вышелъ изъ употребленія. — Разсмотримъ теперь главнѣйшія усовершенствованія паровой машины, сдѣланныя Уаттомъ (*).

(*) *Джемсъ Уаттъ* (James Watt) родился въ 1736 году, въ Гринокѣ, въ Шотландіи, отъ недостаточныхъ родителей. Слабое тѣлосложеніе не обѣщало ему долгой жизни; но, можетъ-быть, оно-то и развило въ немъ ту наклонность къ уединенію и размышленію, которую въ немъ замѣчали съ самыхъ юныхъ лѣтъ. До 16-ти-лѣтняго возраста Уаттъ посѣщалъ одно изъ публичныхъ училищъ (называемыхъ въ Шотландіи grammar-school). Послѣ того, онъ отданъ былъ отцемъ въ небольшое заведеніе, гдѣ дѣлали циркули, вѣсы, нѣкоторые физическіе приборы, и проч.

116. *Усовершенствованія Уатта.* — Атмосферная машина могла-бы дѣйствовать хорошо при двухъ условіяхъ: 1. Въ то мгновеніе когда поршень начинаетъ опускаться, въ цилиндрѣ должна образоваться пустота, сколько можно совершеннѣе. 2. Во время восхожденія поршня, пары входящіе изъ котла въ цилиндръ, не должны вовсе охлаждаться. Первое условіе требуетъ необходимо, чтобы холодняя вода, впускаемая въ цилиндръ для охлажденія пара, охлаждала въ то-же время и стѣны цилиндра. Иначе теплота стѣнъ сообщаетъ остающимся парамъ нѣкоторую упругую силу, препятствующую движенію поршня. На-оборотъ, второе условіе требуетъ чтобы при впускѣ пара изъ котла, стѣны цилиндра были нагрѣты сколько можно болѣе, потому-что холодныя стѣны цилиндра, охлаждая пары, лишаютъ ихъ части упругой силы. Такимъ образомъ, при нисхожденіи поршня стѣны цилиндра должны быть сколько можно холоднѣе; при восхожденіи, на-противъ, ихъ нужно прогрѣть до той температуры какую имѣютъ пары.

Пробывъ здѣсь четыре года, Уаттъ отправился въ Лондонъ и опредѣлился къ мастеру математическихъ инструментовъ. Однажды, въ зимнее время, работая цѣлый день вблизи наружной двери мастерской, онъ простудился такъ сильно, что доктора не могли его вылечить, и присовѣтовали возвратиться въ Шотландію и испытать дѣйствіе роднаго воздуха. Воротившись на родину, Уаттъ устроилъ на свой счетъ небольшую мастерскую. Въ 1757 г., Глазгоускій университетъ поручилъ ему надзоръ за собраніемъ моделей и физическихъ приборовъ. Занимая эту должность, Уаттъ жилъ въ университетскомъ зданіи, и продолжалъ по прежнему свою небольшую торговлю. Въ это время въ числѣ университетскихъ студентовъ былъ нѣкто Робизонъ. Подружившись съ Уаттомъ, онъ сообщилъ ему мысль о примѣненіи силы пара къ движенію повозокъ, и совѣтовалъ заняться усовершенствованіемъ паровыхъ машинъ. Первыя попытки Уатта, сдѣланныя съ этою цѣлію въ 1759, 61 и 62 годахъ, оказались безуспѣшными, но въ 1764 году новые опыты возбудили большія надежды. Въ то время Уаттъ, по званію своему, занимался исправленіемъ модели Ньюкоменовой машины, открылъ въ ней много недостатковъ и рѣшился ихъ исправить. Къ этой эпохѣ должно отнести первыя усовершенствованія Уатта въ паровой машинѣ. Первая машина съ улучше-

Въ Ньюкоменовыхъ машинахъ охлажденіе производили очень просто, окачивая цилиндръ снаружи, или впуская воду внутрь цилиндра. Въ обоихъ случаяхъ, вмѣстѣ съ парами, охлаждались и стѣны цилиндра, и притомъ довольно скоро. Но когда, по достиженіи поршня до-низу, пары проникали изъ котла въ цилиндръ, то значительное время проходило прежде, нежели стѣны цилиндра успѣвали достаточно прогрѣться, и сверхъ-того, стѣны нагрѣвались на счетъ теплоты пара, такъ что большая часть пара, охлаждаясь, обращалась въ воду. Отсюда проистекала значительная трата топлива и замедленіе въ

ніями была изготовлена въ 1768 г., въ довольно большихъ размѣрахъ: діаметръ пароваго цилиндра имѣлъ 18 дюйм. Издержки на эту машину принялъ на себя докторъ *Ребокъ* (Roebuck); и онъ-же, вслѣдъ-за-тѣмъ, заказалъ новую машину для выкачиванія воды, въ одномъ изъ рудниковъ, принадлежавшихъ герцогу Гамильтону. Въ томъ-же 1768 г. Уаттъ просилъ привиллегіи на свои изобрѣтенія, но получилъ ее только въ 1769 году. Въ послѣдствіи Ребокъ вышелъ изъ товарищества съ Уаттомъ и въ 1773 году *Больтонъ*, изъ Бирмингама, запялъ мѣсто Ребока. Значительное состояніе Больтона, дѣятельность его и обширныя связи, много способствовали первымъ успѣхамъ предпріятія. Онъ завелъ новую фабрику въ Сого (Soho), близь Бирмингама. Но между тѣмъ срокъ привиллегіи близился къ концу, прежде нежели новая фабрика могла принести вѣрный баришъ. Стараніями Больтона и его друзей исходатайствовано разрѣшеніе парламента на продолженіе срока привиллегіи до 1800 г. Съ-тѣхъ-поръ (1775) предпріятіе Уатта и Бальтона начало процвѣтать быстро. Вскорѣ, безплодная до того, страна Сого покрылась прекрасными садами, роскошными зданіями и фабриками, которыя сдѣлались первыми въ Европѣ, по своимъ огромнымъ размѣрамъ и по качеству приготовляемыхъ издѣлій. Имя Уатта стало извѣстнымъ во всѣхъ концахъ свѣта. Ученыя общества Эдинбургское и Лондонское приняли его въ число своихъ членовъ. Въ 1806 г. Парижская академія наукъ избрала его въ члены корреспонденты, а въ 1814 г. удостоила рѣдкой чести, занесенія въ число восьми иностранныхъ членовъ. Доживъ до глубокой старости и составивъ трудами своими значительное состояніе, Уаттъ, окруженный всеобщимъ уваженіемъ, оставилъ коммерческія дѣла и удалился въ помѣстѣ свое Хэтфильдъ (Heathfield), недалеко отъ Бирмингама. Онъ скончался 24 августа 1819 г., на 84 году своей дѣятельной и полезной жизни. На одной изъ Бирмингамскихъ площадей ему воздвигнутъ памятникъ. (*Lardner's.* The steam engine).

дѣйствіи машины. Эти неудобства прежде всего представились Уатту, и первое, и самое важное, усовершенствованіе сдѣланное имъ въ атмосферной машинѣ, состояло въ устраненіи необходимости послѣдовательныхъ охлажденій и нагрѣваній стѣнъ цилиндра. Прибавкою холодильника Уаттъ достигъ до того, что стѣны цилиндра сохраняютъ неизмѣнно свою температуру, какъ при восхожденіи такъ и при нисхожденіи поршня.

Холодильникомъ называется сосудъ, отдѣльный отъ пароваго цилиндра и предназначенный для охлажденія пара, произведшаго свое дѣйствіе въ цилиндрѣ. Такой сосудъ, прибавленный Уаттомъ къ атмосферной машинѣ, имѣлъ сообщеніе съ цилиндромъ, посредствомъ трубки съ краномъ. Въ холодильникъ впускается холодная вода безпрестанно, въ видѣ дождевой струи. Когда, посредствомъ крана, сообщатъ цилиндръ съ холодильникомъ, то пары устремляются изъ цилиндра въ холодильникъ и, прійдя въ соприкосновеніе съ холодною водою, мгновенно сгущаются. Такимъ образомъ, въ цилиндрѣ образуется почти пустое пространство, между тѣмъ какъ стѣны его нисколько не охладились. Таково было первое изобрѣтеніе Уатта (*).

(*) Чтобы дать понятіе о важности прибавки холодильника къ атмосфернымъ машинамъ, сообщаемъ слѣдующій, достовѣрный, фактъ. Уаттъ и Больтонъ, въ силу выданной имъ привиллегіи, получали съ каждой Ньюкоменовой машины, за прибавку холодильника, стоимость одной трети топлива, сбереженнаго при новомъ устройствѣ, въ предположеніи, что машина производитъ ту-же самую работу какъ и прежде. Опыты, сдѣланные предварительно людьми свѣдущими и безпристрастными, на двухъ машинахъ одинаковыхъ измѣреній, прежняго и новаго устройства, опредѣляли съ точностію сбереженіе топлива, соотвѣтствующее нѣкоторому числу, на-примѣръ тысячѣ, ходовъ поршня. Послѣ того, оставалось лишь опредѣлить сколько ходовъ сдѣлала данная машина въ извѣстное время, на-примѣръ въ мѣсяцъ, чтобы вывести плату, слѣдующую за право привиллегіи. Уаттъ и Больтонъ опредѣляли число ходовъ поршня посредствомъ часоваго механизма, сообщеннаго съ коромысломъ такъ, что каждый размахъ его подвигалъ стрѣлку на одно дѣленіе. Подобный

Прибавленіе холодильника сдѣлало паровую машину нѣсколько сложнѣе тѣмъ, что воду накоплявшуюся въ холодильникѣ необходимо было выводить наружу. Для этого устроенъ такъ называемый *воздушный насосъ*, очищающій холодильникъ отъ воды, паровъ и воздуха, освобождающагося изъ воды. Такъ-какъ вода въ холодильникѣ нагрѣвается до высокой температуры, то, сберегая топливо, можно-бы провести ее въ котелъ. Такъ и дѣлается въ нынѣшнихъ паровыхъ машинахъ: часть нагрѣтой воды проводятъ въ котелъ, посредствомъ нагнетательнаго насоса. Стержни воздушнаго и нагнетательнаго насосовъ приводятся въ движеніе коромысломъ; оттого, конечно, часть работы пара тратится безъ пользы, но эта трата вознаграждена съ избыткомъ новымъ способомъ охлажденія пара.

При дѣйствіи атмосферной машины, усовершенствованной Уаттомъ, работа производилась тогда только, когда поршень опускался отъ атмосфернаго давленія. При восхожденіи поршня, машина не производила никакой работы, потому-что тогда атмосферное давленіе уравновѣшивалось давленіемъ пара снизу, и движеніе поршня происходило отъ дѣйствія отвѣса, который превосходилъ вѣсъ поршня на величину, равную тренію поршня въ цилиндрѣ. Такая перемежаемость въ работѣ машины не представляла неудобства, пока паровыя машины употреблялись, исключительно, для выкачиванія воды изъ рудниковъ. Въ-самомъ-дѣлѣ, при нисхожденіи поршня опускался конецъ коромысла, къ которому привѣшенъ стер-

---

счетный механизмъ (counter) былъ запертъ въ особомъ ящикѣ на два ключа. Его отпирали въ опредѣленное время, въ присутствіи повѣреннаго изобрѣтателей и владѣтеля машины. Въ одномъ изъ Корниваллійскихъ рудниковъ, гдѣ работали три машины, владѣтель платилъ изобрѣтателямъ холодильника ежегодно около 17,000 руб. сер. Это доказываетъ что прибавленіе холодильниковъ къ тремъ машинамъ сберегло топлива въ годъ на 50,000 руб. сер.

жень поршня; въ то-же время другой конецъ коромысла, поднимаясь, поднималъ воду въ насосѣ; при чемъ работа, доставляемая атмосфернымъ давленіемъ, преобразовывалась въ полезное дѣйствіе, то-есть въ подъемъ нѣкотораго количества воды, на извѣстную высоту. Когда паровой поршень поднимался, тогда поршень въ насосѣ шелъ внизъ: при этомъ движитель недоставлялъ работы, но въ ней и надобности не было, потому-что, при нисхожденіи поршня въ насосѣ, полезнаго дѣйствія не бываетъ. Стало-быть, атмосферная машина была хороша, какъ машина для отлива воды. Но если-бы захотѣли употребить ее какъ движителя, для какого нибудь фабричнаго производства, требующаго непрерывной работы, то перемежаемость ея была-бы важнымъ недостаткомъ. Для фабричныхъ производствъ необходимо что-бы машина производила работу и при восхожденіи и при нисхожденіи пароваго поршня. Этого достигнулъ Уаттъ, передѣлавъ атмосферную машину простаго-дѣйствія въ машину двойнаго дѣйствія.

Въ Уаттовой машинѣ двойнаго дѣйствія, атмосферное давленіе вовсе не дѣйствуетъ на поршень. Паровой цилиндръ закрытъ сверху плотно чугунною крышкою, съ малымъ отверзтіемъ на срединѣ, при которомъ устроенъ *сальникъ (stuffing box, boite à étoupe)*. Сквозь сальникъ, наполненный паклею, напитанною саломъ, пропускается стержень поршня и ходитъ въ немъ, взадъ и впередъ, свободно, но такъ, что паръ въ цилиндрѣ неимѣетъ сообщенія съ наружнымъ воздухомъ. При такомъ устройствѣ, поршень раздѣляетъ вмѣстимость цилиндра на двѣ части, несообщенныя между собою и несообщающіяся съ наружныхъ воздухомъ. Что-бы поршень опускался, сообщаютъ верхнюю часть цилиндра съ паровикомъ, посредствомъ особой трубки, и, въ то-же время, нижнюю часть сообщаютъ съ холодильникомъ другою трубкою: пары находившіеся въ нижней части охлаждаются и непротиво-

ставляютъ никакого, или почти никакого, сопротивленія движенію поршня сверху внизъ. Какъ скоро поршень дойдетъ до-низу, тотчасъ сообщеніе перемѣняется: верхнюю часть сообщаютъ съ холодильникомъ, а нижнюю съ паровикомъ. То-же самое повторяется при каждомъ крайнемъ положеніи поршня. Очевидно что, при подобномъ устройствѣ, пары будутъ работать безпрестанно. Уаттъ придумалъ весьма простой способъ сообщенія и разобщенія цилиндра съ паровикомъ и съ холодильникомъ, и заставилъ самую машину дѣлать перемѣны сообщеній періодически. Онъ придумалъ также механизмъ для преобразованія качательнаго движенія поршня и коромысла въ непрерывное движеніе вала, на которомъ насаживается первое движущее колесо фабричной машины. Машина устроенная такимъ образомъ годилась уже не для одного отлива воды, но для всякаго фабричнаго производства.

Считаемъ нужнымъ замѣтить что Папинъ, еще въ 1695 году, предвидѣлъ, что паровыя машины не всегда будутъ употребляться для одного только отлива воды. Онъ даже указалъ на способъ, посредствомъ котораго поперемѣнное движеніе поршня могло быть преобразовано въ вращательное движеніе вала. Предвидя однако-жъ неудобство перемежнаго дѣйствія атмосферной машины простаго-дѣйствія, онъ предложилъ приводить въ движеніе валъ двумя или бо́льшимъ числомъ стержней, которые-бы шли отъ такого-же числа поршней, размѣщенныхъ такъ, что когда одинъ поршень двигался въ одну, тогда другой шелъ въ противную сторону. Два поршня, двухъ атмосферныхъ машинъ, производили-бы дѣйствіе совершенно-одинаковое съ дѣйствіемъ Уаттовой машины.

Таковы главныя усовершенствованія паровой машины, сдѣланныя Уаттомъ. Прибавимъ къ тому, что Уаттъ обдумалъ, самымъ тщательнымъ образомъ, всѣ составныя части машины и опредѣлилъ съ точностію ихъ размѣры, форму и выгоднѣйшее росположеніе. До-сихъ-поръ упо-

требляются придуманные имъ приводы, для передачи и преобразованія движенія. Въ числѣ послѣднихъ замѣчателенъ такъ называемый *параллелограмъ Уатта*, — приводъ для передачи качательнаго движенія поршня коромыслу. Все это до такой степени измѣнило прежнюю паровую машину, что Уатта, безспорно, слѣдуетъ почитать настоящимъ изобрѣтателемъ нынѣшнихъ паровыхъ машинъ. — Опишемъ машину Уатта, въ томъ видѣ, въ какомъ она употребляется въ наше время для фабричныхъ производствъ.

117. *Описаніе машины Уатта.* — Машина Уатта принадлежитъ къ числу машинъ обыкновеннаго-давленія, двойнаго-дѣйствія, съ холодильникомъ, безъ расширенія пара. Въ ней упругая сила пара превосходитъ атмосферное давленіе 0,1 или 0,2. Дѣйствіе машины совершается слѣдующимъ образомъ. Пары образовавшіеся въ котлѣ приводятся въ отвѣсный цилиндръ *C (Чер. 160)* и давятъ на одну грань поршня. Въ цилиндрѣ есть два прямоугольныя окошка, одно вверху, другое внизу, расположенныя такъ, что когда одно сообщено съ котломъ, тогда другое имѣетъ сообщеніе съ холодильникомъ *P*. Такимъ образомъ, когда паръ изъ котла проведенъ въ верхнюю часть цилиндра, тогда нижняя часть сообщена съ холодильникомъ: оттого пары подъ поршнемъ охлаждаются, упругая сила ихъ дѣлается почти равною нулю, и поршень, давимый паромъ сверху, опускается; и на-оборотъ, когда нижняя часть сообщена съ паровикомъ, тогда въ верхней образуется почти пустое пространство и поршень идетъ вверхъ.

Попеременное движеніе поршня, вверхъ и внизъ, преобразовывается въ круговое, непрерывное, слѣдующимъ образомъ. Верхній конецъ стержня, придѣланнаго къ поршню соединяютъ съ концомъ коромысла *H*, посредствомъ параллелограма *mnpq*. Параллелограмъ назначенъ для удержанія стержня въ отвѣсномъ положеніи. Къ дру-

гому концу коромысла, привѣшенъ шатунъ *I*, передающій вращательное движеніе валу *L*, посредствомъ мотыля *K*. На валѣ *L* помѣщается маховое колесо *M*, для уравненія движенія машины. Сверхъ-того, на томъ-же валѣ помѣщается одно или нѣсколько зубчатыхъ колесъ, для сообщенія движенія разнымъ приводамъ, смотря по цѣли, для которой назначена паровая машина.

Поэтому, движеніе паровой машины приводится къ распредѣленію паровъ, поперемѣнно, то въ верхнюю, то въ нижнюю часть цилиндра. Это дѣлается посредствомъ слѣдующаго механизма. На валѣ насаженъ эксцентрикъ *N*, который, посредствомъ горизонтальнаго шатуна *O*, сообщаетъ поперемѣнное движеніе паровымъ клапанамъ, или, такъ называемому, *золотнику G*. Золотникъ скользитъ отвѣсно въ коробкѣ *B*, въ которую входятъ пары, прежде нежели войдутъ въ цилиндръ *C*. Движеніе золотника расчитано такъ, что пары входятъ, поперемѣнно, то въ верхнюю, то въ нижнюю часть цилиндра. Когда пары идутъ въ нижнюю часть, тогда изъ верхней, проходя сквозь пустоту золотника, устремляются въ холодильникъ, и обратно.

Въ холодильникъ впускается непрерывная струя холодной воды. Воду накопляющуюся въ холодильникѣ надобно вычерпывать, равно какъ и воздухъ, освобождающійся изъ воды. Для этого служитъ насосъ *Q*, называемый *воздушнымъ*. Поршень его, съ двумя клапанами, выкачиваетъ воду и выливаетъ ее въ пространство *R*, откуда часть проводится въ паровикъ, а остальная выводится наружу.

Для проведенія воды изъ вмѣстилища *R* въ паровикъ служитъ *питательный* насосъ *U*, котораго поршень гонитъ воду въ снабжающій резервуаръ, надъ паровикомъ. Изъ резервуара входитъ въ котелъ столько лишь воды, сколько нужно. При нагнетательномъ насосѣ находится резервуаръ *z*, наполненный воздухомъ, который способ-

ствуетъ водѣ подниматься равномѣрно въ питательный резервуаръ.

Холодная вода изъ чана *Y* струится непрерывно въ холодильникъ. Для прерыванія и возстанавливанія сообщенія резервуара съ холодильникомъ, употребляется особый кранъ. Воду убывающую въ чанѣ *Y*, пополняетъ третій насосъ *V*, называемый *насосомъ для холодной воды*, котораго всасывающая труба погружена въ колодецъ. Клапанъ этого насоса дѣлается изъ кожи.

Чтобы, сообразно съ измѣняющимся сопротивленіемъ, измѣнялось и количество пара входящее въ цилиндръ, при паровой машинѣ устроиваютъ центробѣжный уравнитель *stw*, которому сообщается движеніе отъ вала *L*, посредствомъ передаточнаго ремня и шкивовъ. Движеніе уравнителя передается, посредствомъ муфты и рычаговъ, клапану, вращающемуся въ паропроводной трубѣ. При быстромъ вращеніи вала *L*, клапанъ закрываетъ часть отверзтія трубы и уменьшаетъ притокъ пара, и на-оборотъ. Такимъ образомъ ходъ машины становится равномѣрнѣе.

На *чер. 160* представленъ продольный разрѣзъ машины.

A. Паропроводная труба; она проводитъ пары изъ котла къ коробкѣ *B*. Обыкновенно ее обертываютъ, во всю длину, соломою или войлокомъ, для уменьшенія охлажденія пара.

B. Чугунная коробка, въ которую входитъ паръ, прежде нежели войдетъ въ цилиндръ *C*.

C. Паровой цилиндръ, въ которомъ движется поршень *D*. Онъ окруженъ кожухомъ *E*, назначеннымъ для сохраненія, по возможности, температуры пара неизмѣнною. Пространство между кожухомъ и цилиндромъ наполняется парами или сухимъ воздухомъ. Цилиндръ сверху и снизу закрытъ крышками *F* и *F'*: къ верхней придѣланъ сальникъ (коробка съ паклею), сквозь который

проходитъ стержень поршня *D;* пакля, напитанная саломъ, препятствуетъ воздуху входить въ цилиндръ и не выпускаетъ паровъ. Въ верхней крышкѣ устроена еще круглая выемка, наполненная масломъ, для смазки поршня: масло впускаютъ въ цилиндръ посредствомъ особаго крана.

Дно F' имѣетъ отверзтіе *b* и прикрѣпляется болтами къ закраинамъ *Y*.

G. Чугунный золотникъ, запирающій и отпирающій окошки *b* и *b'*.

H. Коромысло, передающее шатуну *I* поперемѣнное движеніе поршня *D*. Коромысло качается на оси, поддерживаемой подпорами.

K. Мотыль, насаженный на валъ *L* маховаго колеса. На этомъ-же валѣ помѣщенъ чугунный эксцентрикъ *N*. Центръ *O* эксцентрика почти діаметрально противоположенъ шипу *d* мотыля.

O. Горизонтальный шатунъ, охватывающій эксцентрикъ, приводитъ въ движеніе золотникъ *G*. Для этого конецъ шатуна задѣваетъ за шипъ *e*, придѣланный къ вилкѣ *f*, сообщающей движеніе горизонтальной оси *g*. На этой оси помѣщены рычаги *h*, подъ прямымъ угломъ къ вилкѣ *f;* рычаги скрѣплены шарнирами со стержнями *j*, которые сообщаютъ поперемѣнное движеніе золотнику.

P. Холодильникъ, въ который впускается холодная вода особою трубкою съ краномъ.

Q. Воздушный насосъ, выкачивающій воздухъ и воду изъ холодильника въ резервуаръ *R*.

S. Поршень воздушнаго насоса, съ пеньковою одеждою; стержень его придѣланъ къ параллелограму и движется отвѣсно.

T. Мѣдный клапанъ, сообщающій холодильникъ съ воздушнымъ насосомъ.

T'. Другой такой-же клапанъ, сообщающій насосъ съ резервуаромъ *R*.

U. Насосъ, накачивающій часть воды изъ резервуара *R* въ питательный резервуаръ.

V. Насосъ для холодной воды, накачивающій воду изъ колодца въ резервуаръ.

X. Труба для выведенія наружу лишней воды, произшедшей отъ охлажденія пара.

X'. Другая труба, отводящая лишнюю воду изъ резервуара въ колодецъ.

118. *Машины усиленнаго давленія*. — Машины, о которыхъ мы говорили до-сихъ-поръ, не требуютъ упругой силы пара, болѣе атмосфернаго давленія. Пары, произведшіе дѣйствіе, уничтожаются охлажденіемъ и замѣняются новыми, доставляемыми паровикомъ. Охлажденіе пара требуетъ значительнаго количества холодной воды, что, въ нѣкоторыхъ случаяхъ, можетъ быть важнымъ неудобствомъ. Такъ напримѣръ, при употребленіи паровыхъ машинъ для движенія повозокъ, нѣтъ возможности устроивать машины съ холодильникомъ, потому-что тогда машина долженствовала-бы тащить за собою не только топливо и воду, необходимую для пополненія той, какая тратится въ котлѣ, но, сверхъ-того, огромное количество холодной воды для охлажденія пара. Надобно было пріискать средство производить охлажденіе безъ холодильника: этого достигли, употребивъ паръ при давленіи, высшемъ нежели атмосферное.

Когда въ машинахъ усиленнаго давленія паръ двигаетъ поршень снизу вверхъ, тогда изъ верхней части онъ выпускается въ воздухъ; такимъ образомъ движеніе поршня происходитъ въ слѣдствіе разности между давленіемъ пара на одну грань поршня и атмосфернымъ давленіемъ на другую грань. Папинъ первый построилъ модель машины, въ которой паръ усиленнаго давленія выходилъ въ воздухъ, совершивъ свое дѣйствіе въ машинѣ. Машина

его назначалась исключительно для подъема воды. Ее сдѣлалъ извѣстною нѣмецкій механикъ *Лейпольдъ*, и въ 1724 году описалъ одну изъ такихъ машинъ простаго дѣйствія.

119. *Изобрѣтеніе паровозовъ.* — Примѣненіе движущей силы пара къ движенію повозокъ было предметомъ изысканій многихъ отличныхъ механиковъ, съ самаго начала введенія паровыхъ машинъ. Въ привиллегіи выданной Уатту, въ 1769 году, упоминается уже о способѣ употребленія пара для движенія повозокъ; но съ тѣхъ поръ Уаттъ не занимался этимъ предметомъ. Одинъ изъ французскихъ инженеровъ, по имени *Кюньо* (Cugnot), устроилъ въ 1770 г. небольшую модель паровоза, которая хранится до-сихъ-поръ въ Консерваторіи ремеслъ и искуствъ въ Парижѣ. Модель построена прочно и придумана очень искусно. Но, при испытаніи, управленіе паровозомъ оказалось затруднительнымъ, — и съ того времени во Франціи не думали болѣе объ усовершенствованіи паровозовъ. Многіе изъ англійскихъ механиковъ продолжали заниматься этимъ предметомъ, однако-жъ долгое время безъ видимаго успѣха. Всѣ они имѣли цѣлью заставить ходить паровозы по обыкновеннымъ дорогамъ. Вопросъ этотъ и до-сихъ-поръ не рѣшенъ удовлетворительно. Въ 1802 г., *Вивіэнъ* и *Тривіссикъ* (Vivian and Trivithick) получили привиллегію на устройство паровозовъ, движущихся по желѣзнымъ дорогамъ; и съ 1804 года ихъ паровозы начали ходить по одной изъ англійскихъ желѣзныхъ дорогъ. Но паровозы первыхъ строителей имѣли важный недостатокъ, — слѣдствіе ошибочнаго мнѣнія, какое существовало въ то время о сцѣпленіи ободьевъ колесъ съ рельсами. Всѣ полагали тогда что это сцѣпленіе слишкомъ мало, и что, безъ особыхъ средствъ, колеса будутъ только скользить, недвигаясь съ мѣста. Въ первыхъ англійскихъ паровозахъ было много лишнихъ частей, придуманныхъ единственно для предупрежденія скольженія

ободьевъ по рельсамъ. Эти части увеличивали безъ пользы грузъ машины и затрудняли свободное ея движеніе. *Блэкетъ* (Blakett) первый попалъ на мысль увѣриться опытомъ въ величинѣ сцѣпленія ободьевъ съ рельсами. Опыты показали что этого сцѣпленія болѣе нежели достаточно для движенія самыхъ грузныхъ поѣздовъ. Съ тѣхъ поръ (1814 г.) начали оставлять всѣ прежде придуманные механизмы и обратили вниманіе на самую существенную часть въ устройствѣ паровозовъ, — на возможное уменьшеніе ихъ груза и доведеніе до крайняго предѣла скорости ихъ хода. Съ 1814 года паровозы совершенствовались быстро. Но настоящею эпохою усовершенствованія ихъ надобно считать 1829 годъ, — годъ открытія желѣзной дороги изъ Ливерпуля въ Мэнчестеръ. Состязаніе многихъ отличныхъ механиковъ для полученія преміи, назначенной обществомъ устроившимъ эту дорогу, содѣйствовало доведенію паровозовъ до высокой степени совершенства. Премія досталась Роберту Стифенсону, котораго паровозы считаются нынче лучшими въ Европѣ. — Опишемъ вкратцѣ составъ паровоза.

Паровозы дѣлаются о 4, 6 и даже 8 колесахъ. Ось одной пары колесъ получаетъ движеніе отъ двухъ поршней, движущихся взадъ и впередъ, въ двухъ горизонтальныхъ цилиндрахъ. Эта пара колесъ называется *движущею*. Остальныя колеса предназначаются, какъ катки, для поддержанія паровоза. Ободья колесъ дѣлаются съ внутренними закраинами, которыя удерживаютъ паровозъ на рельсахъ. Ось движущихъ колесъ дѣлается двояко: *кольчатая* и *прямая* съ мотылями на концахъ. Въ первомъ случаѣ паровые цилиндры располагаются подъ корпусомъ паровоза, между передними колесами; въ послѣднемъ — снаружи, по обѣимъ сторонамъ паровоза.

Въ составѣ всякаго паровоза надобно отличать три главныя части: *топку*, *паровикъ* и *переднюю камеру*, въ которой расположены, внизу цилиндры, а вверху дымо-

вая труба. Топка сообщается съ переднею камерою мѣдными трубками, открытыми съ обоихъ концовъ и, размѣщенными параллельно одна къ другой въ паровикѣ. Образовавшійся паръ, проводится изъ паровика въ раздѣлительную коробку трубою, съ краномъ для управленія количествомъ впускаемаго пара и измѣненія скорости хода по произволу. Паръ, произведшій свое дѣйствіе, выходитъ дымовою трубою въ воздухъ. Попеременное движеніе поршней передается шатунами оси движущей пары колесъ.

Чер. 161—163 представляютъ устройство паровоза о 6-ти колесахъ, съ колѣнчатою движущею осью.

Чер. 161 продольный разрѣзъ паровоза, по оси одного цилиндра.

Чер. 162 поперечный разрѣзъ, по линіи *XX*;

Чер. 163 поперечный разрѣзъ, по линіи *YY*.

A топка, *B* паровикъ, *C* передняя камера.

Топка есть камера для образованія пламени изъ кокса или дровъ, которые сожигаются на чугунныхъ колосникахъ *a*. Эта камера устроивается изъ котельнаго желѣза, съ двойными стѣнками, между которыми налита вода, сообщенная съ водою въ паровикѣ. Изъ топки жаръ входитъ въ мѣдныя трубки *b*, нагрѣваетъ воду въ паровикѣ и потомъ проходитъ въ камеру *C* и оттуда въ воздухъ трубою *F*. Паръ, образовавшійся въ паровикѣ *B*, поднимается въ мѣдный колпакъ *c*, входитъ въ отвѣсное колѣно *d* проводной трубы, оттуда, горизонтальною трубою *D* и двумя колѣнами *e*, направляется къ раздѣлительнымъ коробкамъ *f*, въ которыхъ движутся попеременно золотники, и, подобно тому какъ въ машинѣ Уатта, входитъ то въ одну то въ другую часть пароваго цилиндра. Для управленія количествомъ впускаемаго пара служитъ кранъ *g*, приводимый въ вращеніе рукояткою *h*, подъ рукою у машиниста, который, при движеніи паровоза находится на галлереѣ *M*. Паръ, произведшій свое

дѣйствіе выходитъ изъ обоихъ цилиндровъ въ отводную трубу *R* и оттуда въ дымовую трубу. Для управленія тягою выходящаго пара служитъ заслонка *m*, приводимая въ дѣйствіе длиннымъ рычагомъ *n*. Попеременныя движенія поршней въ цилиндрахъ *G* передаются колѣнамъ движущей оси стержнями *l* и шатунами *q*. Два колѣна *p* оси расположены подъ прямымъ угломъ одно къ другому, для уравненія движенія. При подобномъ расположеніи среднее положеніе одного поршня соотвѣтствуетъ концевому положенію другаго. Движеніе золотникамъ сообщается эксцентриками, насаженными на движущую ось.

Весь корпусъ паровоза поддерживается деревянною рамою *N*, къ которой онъ привинченъ толстыми желѣзными лапами. Рама опирается на оси колесъ.

За паровозомъ слѣдуетъ *тендеръ* — особаго устройства повозка, съ водою и топливомъ, для поддержанія дѣйствія паровоза.

120. *Примѣненіе силы пара къ судоходству.* — Примѣненіе силы пара къ судоходству есть одно изъ важнѣйшихъ изобрѣтеній новѣйшаго времени. Мы уже говорили объ испанскомъ уроженцѣ Гарраѣ, который, въ 1543 году, приводилъ въ движеніе судно парами. Но изобрѣтеніе Гаррая осталось безъ всякихъ послѣдствій и даже было вовсе неизвѣстнымъ, до послѣдняго времени. — Папинъ, въ 1695 году, указалъ на возможность примѣненія силы пара къ движенію веселъ, и замѣненія обыкновенныхъ веселъ круговращающимся. Основываясь на этомъ, Французы приписываютъ ему первенство въ изобрѣтеніи пароходовъ.—Англичане полагаютъ первыми изобрѣтателями пароходства *Гёлля* (Hull) и *Мэллера* (Miller). Сочиненіе Гёлля появилось въ 1737 году. Въ немъ находимъ чертежъ и описаніе двухъ гребныхъ колесъ, которыми авторъ предлагаетъ замѣнить обыкновенныя весла. Гёлль думалъ сообщить движеніе оси этихъ колесъ посредствомъ двухъ Ньюкоменовыхъ машинъ, хорошо извѣст-

ныхъ въ то время, но употреблявшихся исключительно для подниманія воды. Сочиненіе Мэллера появилось въ 1787 году. Въ немъ также помѣщено описаніе гребныхъ колесъ, какъ средства къ движенію судовъ по каналамъ, и исчисленіе опытовъ автора надъ приведеніемъ ихъ въ вращеніе. Изложивъ эти опыты, Мэллеръ присовокупляетъ: «Я полагаю, что паровая машина можетъ быть употреблена для быстраго вращенія колесъ и для увеличенія скорости паровозовъ.» Вотъ всѣ доказательства Англичанъ въ пользу того, что пароходство есть ихъ изобрѣтеніе. — Въ 1780 маркизъ *Жуффроа* (Jouffroy) построилъ пароходъ, длиною въ 22 сажени, который и былъ испытанъ на рѣкѣ Саонѣ; движителемъ служила ему атмосферная машина, которая поперемѣнно то закрывала то открывала два щита. Въ послѣдствіи щиты были замѣнены гребными колесами. Но опыты Жуффроа доказали только все неудобство атмосферной машины для движенія пароходовъ. — Сѣверо-Американцы считаютъ истиннымъ изобрѣтателемъ пароходовъ Фультона. *Фультонъ* и *Ливингстонъ* дѣлали первые опыты свои въ Парижѣ, въ 1803 году. Конечно, первая идея о пароходствѣ принадлежитъ не Фультону, но первый пароходъ, начавшій перевозить кладь и пассажировъ, устроенъ Фультономъ въ 1807 г., въ Ню-Іоркѣ. Въ Англіи, первый пароходъ, употребленный для перевозки пассажировъ, устроенъ въ 1812 г., на рѣкѣ *Клайдѣ* (Clyde); онъ назывался *Кометою*. Въ 1813 году построенъ другой, который ходилъ между Ярмаутомъ и Норвичемъ.

У насъ пароходы появились въ 1815 году. Въ этомъ году механикъ Бэрдъ (отецъ) устроилъ на простой лодкѣ печку, приладилъ къ ней небольшую паровую машину, и 3 ноября совершилъ первый паровой рейсъ, изъ Петербурга въ Кронштатъ, въ сопровожденіи адмирала Рикорда. Въ 1816 г. началъ ходить Бердовъ пароходъ, а въ 1818 г. построенъ первый казенный пароходъ, *Скорый*;

въ 32 силы. Теперь считается до 40 казенныхъ пароходовъ на Балтійскомъ, Черномъ и Каспійскомъ моряхъ, и нѣкоторые изъ нихъ снабжены машинами въ 540 силъ. Всѣхъ пароходовъ въ Россіи, можно полагать нынче до ста. Въ Англіи, въ Сѣверо-Американскихъ Штатахъ и во Франціи пароходы давно считаются сотнями.

Въ послѣднее время, устройство пароходовъ значительно усовершенствовалось, черезъ замѣненіе гребныхъ колесъ Архимедовыми винтами.

121. *Общее понятіе о пароходахъ.* — Вопросъ о пароходствѣ раздѣляется на три части: 1. Опредѣленіе выгоднѣйшей формы судна; 2. Выборъ и помѣщеніе паровой машины; и 3. Изысканіе лучшаго способа передачи движущей силы.

1. *Форма судна.* Внѣшняя форма судна подчиняется условію — представлять наименьшее сопротивленіе водѣ. По неудовлетворительности теоріи сопротивленія жидкихъ тѣлъ, въ нынѣшнемъ состояніи науки, необходимо ограничиться одними выводами изъ опытовъ.

Опыты показываютъ что сопротивленіе движенію судна пропорціонально площади поперечнаго сѣченія подводной части судна и почти вовсе независитъ отъ длины его. Поэтому, выгодно увеличивать длину судовъ, по возможности. Мачтовымъ судамъ придаютъ длину въ $3^1/_2$ и $3^3/_4$ болѣе ширины; длину морскихъ пароходовъ дѣлаютъ въ 5 и 6 разъ болѣе ширины, а рѣчныхъ гораздо болѣе этого, имѣя въ виду одну только возможность прохода въ колѣнахъ рѣки. Для рѣчнаго пароходства употребляютъ плоскодонныя суда, съ цѣлью уменьшить осадку въ водѣ и имѣть возможность ходить и въ низкія воды.

Наибольшее вліяніе на сопротивленіе движенію имѣетъ носъ судна. Опытомъ найдено, что переднюю часть судна выгодно ограничивать двумя наклонными гранями,

каждая подъ 45° къ горизонту, и впереди судна помѣщать *водо-рѣзъ* (катъ-ватеръ).

Бока и кормовая часть судна имѣютъ также вліяніе на сопротивленіе движенію. Опытомъ найдено что выгоднѣе всего бока ограничивать отвѣсными гранями, а корму кривыми поверхностями.

При хорошемъ устройствѣ судна, сопротивленіе воды не болѣе $^1/_{13}$ или даже $^1/_{19}$ того, какое встрѣчаетъ плоскость, равная площади поперечнаго сѣченія подводной части, движущаяся со скоростью судна.

2. *Выборъ паровой машины.* Для рѣчныхъ судовъ небольшаго размѣра выгоднѣе всего употреблять, такъ называемыя, *качающіяся паровыя машины*, то-есть, машины съ качающимся цилиндромъ, устроиваемыя по способу Модслая, потому-что онѣ занимаютъ менѣе мѣста, чѣмъ другія и устройствомъ своимъ проще. Но онѣ негодятся для морскаго судоходства, или для рѣчныхъ судовъ большаго размѣра, потому-что тогда, по причинѣ значительной толщины шиповъ, на которыхъ вращается цилиндръ, расходуется много работы на треніе.

Почти всегда на пароходахъ употребляютъ машины обыкновеннаго давленія, двойнаго дѣйствія, съ холодильникомъ. По крайней мѣрѣ это можно сказать о морскихъ пароходахъ. По причинѣ накипей, образующихся въ паровикѣ въ значительномъ количествѣ изъ морской воды, опасно было-бы подвергать сильному жару стѣны паровика. Эта опасность увеличилась-бы еще болѣе во время боковой качки судна. На рѣчныхъ пароходахъ это неудобство не столь значительно, и оттого для нихъ употребляютъ нынче съ выгодою машины средняго давленія — въ 2 и 3 атмосферы. Но ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ употреблять машинъ при слишкомъ-сильномъ давленіи и безъ холодильника. Конечно, въ Сѣверной Америкѣ строятъ морскіе пароходы съ машинами усиленнаго

давленія, но можетъ-быть это самое и причиною столь часто повторяющихся тамъ несчастныхъ случаевъ.

Что-бы дать понятіе о составѣ и расположеніи частей паровой машины на пароходѣ, приводимъ слѣдующее описаніе машины Уатта, приспособленной къ движенію парохода.

Чер. 164 представляетъ продольное сѣченіе парохода и машины.

Чер. 165 двѣ половины поперечныхъ разрѣзовъ судна, по двумъ линіямъ *XY* и *ZT*.

Топка *A* окружена водою; пламя образовавшееся изъ угля, расположеннаго на наклонныхъ колосникахъ *a*, *a*, проходитъ внутреннимъ оборотомъ *B* и направляется въ дымовую трубу *C*; отдѣляющійся изъ воды, паръ поднимается въ верхнюю часть паровика, гдѣ расположенъ предохранительный клапанъ *z*, входитъ въ паропроводную трубу *D* и направляется къ раздѣлительной коробкѣ *E*; въ соединеніи трубы *D* съ коробкою *E* помѣщенъ кранъ *s*, для управленія количествомъ впускаемаго пара. Въ коробкѣ *E* движутся два золотника *e*, *e*, на общемъ стержнѣ *f*; дѣйствіемъ золотниковъ паръ направляется попеременно то въ верхнюю, то въ нижнюю часть пароваго цилиндра *F*. Въ цилиндрѣ движется поршень *G* и сообщаетъ движеніе поперечинѣ *N*, посредствомъ стержня *d*. На концахъ поперечины висятъ два шатуна *h*, *h*, которыми передается движеніе концамъ *g*, *g*, двухъ равныхъ и параллельныхъ коромыселъ *gp*, вращающихся на общей оси *O*; другіе концы коромыселъ *p*, *p*, посредствомъ шатуновъ *k*, *k*, передаютъ движеніе поперечинѣ *U*, отъ которой идетъ шатунъ *j*, вращающій колѣнчатый валъ *W*. Концы вала выходятъ наружу; на нихъ насажены гребныя колеса *R*. Движеніе золотникамъ сообщается посредствомъ эксцентрика *L*, шатуна *ei* и колѣнчатаго рычага *iqr*. Паръ произведшій свое дѣйствіе охлаждается въ холодильникѣ *M*, въ который ввергается вода дождевою

струею, посредствомъ трубки съ краномъ *T*. Изъ холодильника, воздушнымъ насосомъ *S*, вода поднимается въ резервуаръ *V*, изъ котораго, трубкою *y*, часть этой нагрѣтой воды вливается въ паровикъ, а излишнее количество выводится наружу, трубкою *x'*. Кранами *u*, *u*, выпускается вода изъ паровика.

Обыкновенно валъ гребныхъ колесъ приводится въ движеніе двумя паровыми машинами, которыя дѣйствуютъ на два колѣна вала, расположенныя подъ прямымъ угломъ. Это способствуетъ равномѣрному движенію судна. Въ американскихъ пароходахъ одна только машина, а для уравненія движенія прилажены къ ободьямъ гребныхъ колесъ тяжеловѣсныя металлическія массы, которыя замѣняютъ маховики.

Мы нескажемъ ничего о попыткахъ англійскихъ механиковъ къ упрощенію состава пароходныхъ машинъ, черезъ уничтоженіе коромысла и передачу движенія стержня поршня прямо валу гребныхъ колесъ. Всѣ эти попытки оказались болѣе или менѣе неудобными.

3. *Передача движенія.* Первые изобрѣтатели пароходовъ пытались приводить въ движеніе суда посредствомъ веселъ, разнаго вида и устройства. Сынъ французскаго изобрѣтателя пароходовъ, Ахиллъ Жуффроа, предлагалъ въ недавнее время устроивать складные весла, и сообщать имъ попеременное движеніе взадъ и впередъ, подражая въ этомъ дѣйствію лапъ, водяныхъ птицъ. Но всѣ эти попытки оказались на дѣлѣ неудовлетворительными; и въ настоящее время только два способа употребляются для движенія пароходовъ; а именно: *гребныя колеса* и *архимедовъ винтъ*.

Обыкновенныя гребныя колеса состоятъ изъ нѣкотораго числа прямыхъ перьевъ, которыя укрѣпляются на концахъ желѣзныхъ спицъ колесъ, насаживаемыхъ на концы вала паровой машины. Такъ-какъ плоскости перьевъ проходятъ черезъ ось вала, или весьма мало отклоня-

ются отъ нея, то при дѣйствіи ихъ на воду движущая сила машины употребляется вся на сообщеніе движенія судну только тогда, когда перо дойдетъ до низу и приметъ отвѣсное положеніе. Во всѣхъ другихъ положеніяхъ пера часть работы движителя расходуется безъ пользы; и эта часть бываетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе скорость гребныхъ колесъ. Безполезная трата работы движителя увеличивается еще съ погруженіемъ перьевъ въ воду; и очевидно, что если-бы колесо было погружено по самую ось, то каждое перо, въ мгновенія погруженія и выхода изъ воды, вовсе неспособствовало-бы поступательному движенію судна. Опыты показываютъ что колеса дѣйствуютъ наилучшимъ образомъ, когда перья ихъ погружаются въ воду не болѣе 3 или 4 дюймовъ. Поэтому, выгодно было-бы устроивать такъ, что-бы перья погружались одинаково, при всякой нагрузкѣ и осадкѣ въ водѣ судна.

Для отвращенія неудобства происходящаго отъ наклоненія перьевъ къ поверхности воды, при погруженіи и при выходѣ, пытались устроивать колеса съ гребками, вращающимися на горизонтальныхъ осяхъ, такъ что они погружались въ воду отвѣсно, а потомъ двигались горизонтально. Но придуманные для этого способы оказались неудобными, по сложности механизмовъ и значительнымъ треніямъ.

Еще болѣе неудобствъ представляютъ гребныя колеса тѣмъ, что занимаютъ на суднѣ много мѣста, увеличиваютъ значительно ширину судна, а на военныхъ судахъ легко подвергаются непріятельскимъ выстрѣламъ.

Всѣ эти невыгоды заставили искать болѣе удобнаго способа сообщенія движенія пароходамъ, и этотъ способъ найденъ, въ недавнее время, въ архимедовомъ винтѣ.

2. *Архимедовъ винтъ.* Первые опыты, впрочемъ весьма неполные и неудачные, примѣненія винта къ движенію судовъ, сдѣланы были во Франціи, въ 1768 г., *Поктономъ* (Pauctон) и въ Англіи, въ 1819 г., *Уайтокомъ*

(Whytock). Въ 1823 году французскій Инженеръ *Делиль* (Delisle) предложилъ морскому министру во Франціи употребить винтъ вмѣсто гребныхъ колесъ, но это предложеніе оставлено безъ вниманія. Въ 1836 г. англійскій Инженеръ *Смиссъ* (Smith) получилъ привиллегію на введеніе винта и произвелъ опыты въ большихъ размѣрахъ, на паровомъ суднѣ, силою въ 80 лошадей. Эти опыты привели ко многимъ важнымъ выводамъ, относительно размѣровъ и расположенія новаго механизма.

Винтъ примѣненный къ движенію судна, состоитъ изъ оси, расположенной параллельно килю, и *нарѣза* изъ толстаго желѣзнаго листа, свернутаго винтомъ или спирально. При вращеніи винта въ водѣ обнаруживается давленіе, параллельно оси, которое и производитъ поступательное движеніе судна. Понятно однако-жъ что какъ дѣйствія на воду разныхъ точекъ винтовой поверхности не параллельны оси винта, то-есть, направленію движенія, то нѣкоторая часть работы движителя израсходуется безполезно на перемѣщеніе частицъ воды, и что хорошимъ устройствомъ винта можно только уменьшить эту потерю, но нельзя избѣгнуть ея совершенно.

Опыты Смисса показали: что вмѣсто цѣлаго оборота винта *(Чер. 166)* выгоднѣе дѣлать два полуоборота *(Чер. 167)*. Въ послѣднемъ случаѣ винтъ занимаетъ менѣе мѣста, при той-же поверхности дѣйствующей на воду; что выгоднѣе всего наклонять среднюю винтовую линію поверхности подъ 45° къ горизонту; что проекція винтовой поверхности на плоскость перпендикулярную къ оси должна быть равна $^1/_4$ площади поперечнаго сѣченія подводной части судна.

Относительно выгоднѣйшей скорости вращенія винта опыты *Нормана*, надъ пароходомъ *Наполеонъ*, показали, что выгодно увеличивать по-возможности эту скорость, потому-что, при быстромъ движеніи винта, инерція воды противопоставляетъ значительное противодѣйствіе, необ-

ходимое для дѣйствія винта и движенія судна. Въ устроенныхъ до сихъ поръ машинахъ, винтъ совершалъ отъ 140 до 200 оборотовъ въ минуту.

Винтъ помѣщается у кормы, фута на 2 ниже поверхности воды и устроивается сколько можно тщательнѣе и прочнѣе. Ось винта дѣлается изъ лучшаго желѣза, а нарѣзъ изъ котельнаго желѣза, толщиною въ 3 линій.

На *Чер. 168* показана форма винта въ пароходѣ *Наполеонъ*, Нормана.

Опыты показали что форма Нормана болѣе способствуетъ скорости парохода нежели Смисса. Сравнительно со скоростью, сообщаемою гребными колесами, опыты показываютъ, что въ тихую погоду пароходъ съ гребными колесами идетъ скорѣе, но въ бурную, или при волнующемся горизонтѣ скорость винтоваго судна болѣе. Изъ этого можно заключить, что для продолжительнаго плаванія винтовые пароходы преимущественнѣе обыкновенныхъ. Это подтвердила и компанія, снарядившая въ послѣднее время огромный пароходъ съ винтомъ, *Гретъ-Британъ*, въ 1200 лошад. силъ, для переѣздовъ изъ Англіи въ Ню-Іоркъ.

И въ Смиссовомъ и въ Норманновомъ винтѣ, части, смежныя съ осью, будучи почти параллельны движенію, приносятъ мало пользы и могутъ быть вовсе уничтожены. На этомъ замѣчаніи основаны два слѣдующія устройства.

Винтъ Ренни (Rennie). *(Чер. 169)*. Знаменитый англійскій инженеръ Ренни предлагаетъ замѣнить винтъ коническою спиралью; цѣль его состоитъ въ постепенномъ увеличеніи хода нарѣза. Ренни подражаетъ въ этомъ формѣ рыбьяго хвоста, вращая который животное быстро передвигается. Опыты покажутъ выгодно-ли это предложеніе.

Винтъ Эриксона или *Делиля*. На *Чер. 170* показано устройство винта, употребленное Эриксономъ въ Америкѣ

и Делилемъ во Франціи. Здѣсь вовсе нѣтъ средней части и винтообразныя перья расположены на поверхности барабана. Этихъ перьевъ 6, и всѣ они вмѣстѣ образуютъ почти цѣлый оборотъ винта. Наклоненіе средней линіи равно 45°. — И эта система требуетъ повѣрки опытомъ. — Въ заключеніе скажемъ нѣсколько словъ о выгодахъ и неудобствахъ винтоваго механизма.

При употребленіи винта:

1. Судно становится гораздо-помѣстительнѣе, и на военныхъ судахъ можно ставить баттареи, по всей ихъ длинѣ.

2. По своему положенію, ниже горизонта воды, винтъ неподвергается непріятельскимъ выстрѣламъ. На военныхъ корабляхъ и паровую машину можно расположить всю ниже горизонта воды.

3. Пароходъ съ винтомъ занимаетъ 0,6 ширины обыкновеннаго парохода, при той-же длинѣ.

4. Находясь весь въ водѣ, винтъ дѣйствуетъ хорошо, не-смотря на качку и наклоненіе судна, тогда какъ въ подобныхъ случаяхъ гребныя колеса оказываются весьма неудобными.

5. При употребленіи винта, центръ тяжести судна приходится ниже, и оттого устойчивость судна болѣе.

6. Дѣйствіе винта неперемѣняется, подобно дѣйствію колесъ, съ перемѣною нагрузки и осадки въ водѣ судна.

Неудобства винтоваго механизма состоятъ въ слѣдующемъ:

1. Непріятный шумъ отъ зубчатыхъ колесъ, которыя необходимы для сообщенія быстраго движенія винту. — Можно этого избѣгнуть, передавая движеніе ремнями.

2. Меньшая скорость хода въ тихую погоду, чѣмъ въ обыкновенныхъ пароходахъ; уменьшеніе скорости доходитъ до 0,12. Это неудобство выкупается тѣмъ, что

въ бурное время винты дѣйствуютъ гораздо-лучше гребныхъ колесъ.

122. *Постоянныя машины усиленнаго давленія.* — Машины усиленнаго давленія употребляются и какъ постоянныя (нелокомотивныя) машины: тогда онѣ могутъ быть съ холодильникомъ и безъ холодильника. Наиболѣе употребительныя машины этого рода устроиваются по способу, придуманному *Вульфомъ* (Woolf), въ 1804 году. Это, такъ называемыя, *машины съ расширеніемъ пара и съ холодильникомъ*. Упругая сила пара бываетъ въ нихъ отъ 3 до 4 атмосферъ. Машины Вульфа отличаются отъ Уаттовыхъ тѣмъ, что въ нихъ два цилиндра и два поршня, движущіеся вмѣстѣ. Оба цилиндра одинаковой вышины, но діаметръ одного болѣе другаго, такъ что вмѣстимость большаго цилиндра столько разъ превосходитъ вмѣстимость меньшаго, во сколько разъ упругая сила пара болѣе атмосфернаго давленія. Стержни обоихъ поршней сообщаютъ движеніе концу коромысла, посредствомъ параллелограма, точно также какъ и въ машинѣ Уатта. Пары дѣйствуютъ слѣдующимъ образомъ: когда оба поршня внизу, тогда краны *I*, *R*, *I* заперты *(Чер. 171)*, между тѣмъ какъ *U* и *U'* открыты. Паръ изъ котла входитъ въ нижнюю часть малаго цилиндра; тотъ, который наполнялъ собою верхнюю часть, проходитъ трубкою *WO* въ нижнюю часть большаго цилиндра и тамъ расширяется, по-мѣрѣ подъема поршня. Когда поршни дойдутъ до-верху, тогда краны *U* и *U'* запираются и открываются краны *I*, *R*, *I'*; паръ входитъ изъ котла въ верхнюю часть малаго цилиндра, изъ нижней части проходитъ въ верхнюю часть большаго цилиндра; въ это время нижняя часть послѣдняго сообщается съ холодильникомъ. Въ слѣдствіе этого, поршни приходятъ въ движеніе сверху внизъ. Такое, попеременное, движеніе поршней повторяется безпрестанно.

в) *Теорія дѣйствія паровыхъ машинъ.*

123. *Три вопроса о дѣйствіи паровой машины. Прежній способъ рѣшенія этихъ вопросовъ.* — Теорія дѣйствія паровыхъ машинъ имѣетъ предметомъ рѣшеніе слѣдующихъ вопросовъ:

1. По данному составу и размѣрамъ машины, опредѣлить ея полезное дѣйствіе, то-есть сопротивленіе какое она можетъ преодолѣть и скорость какую ему сообщить, и пріискать выгоднѣйшія величины сопротивленія и скорости.

2. Зная составъ и размѣры машины и задавъ себѣ скорость ея, опредѣлить сопротивленіе, какое она можетъ привести въ движеніе; или, наоборотъ, по данному сопротивленію, найти скорость.

3. По даннымъ сопротивленію и скорости, опредѣлить размѣры машины.

До сихъ поръ вопросы, относящіеся къ паровымъ машинамъ, рѣшались въ наукѣ посредствомъ слѣдующаго способа:

Предполагая что въ цилиндрѣ упругая сила пара таже самая что и въ паровикѣ, опредѣляли вычисленіемъ работу, передаваемую паромъ поршню, котораго скорость была извѣстна; потомъ, замѣчая что найденная работа гораздо болѣе дѣйствительнаго полезнаго дѣйствія машины, и приписывая эту разность вліянію треній и другихъ вредныхъ сопротивленій, уменьшали теоретическій выводъ, помножая на дробь, которой величину опредѣляли опытомъ, для разнаго рода паровыхъ машинъ.

Способъ этотъ весьма несовершененъ и нерѣшаетъ удовлетворительно всѣхъ вопросовъ о которыхъ мы говорили; хотя по нѣкоторымъ изъ нихъ и даетъ приблизительное и достаточное въ практикѣ рѣшеніе. Недостатки и неудовлетворительность его доказаны опытами французскаго инженера Памбура, которому наука обязана другимъ,

болѣе раціональнымъ, способомъ опредѣленія вычисленіемъ работы паровыхъ машинъ. Мы изложимъ въ послѣдствіи способъ Памбура. Но предварительно необходимо объяснить подробнѣе прежній способъ оцѣнки дѣйствія паровыхъ машинъ и показать его неудобства.

124. *Вычисленіе работы паровой машины посредствомъ коэфиціентовъ.* — Способъ, употребляемый и по-сю-пору для вычисленія работы паровыхъ машинъ, называютъ *вычисленіемъ посредствомъ коэфиціентовъ*. Онъ состоитъ въ слѣдующемъ.

При опредѣленіи работы принимаемой паровою машиною надобно различать два случая: дѣйствуетъ-ли паръ безъ расширенія, или расширяясь. Въ первомъ случаѣ, если назвать: S площадь поршня, въ квадратныхъ футахъ, p давленіе пара на квадратный футъ, въ пудахъ, V скорость поршня въ секунду, то pS будетъ давленіе пара на поршень, а pVS работа, доставляемая поршню въ секунду. Или, такъ-какъ VS представляетъ объемъ пара, расходуемый въ секунду, то можно сказать, что работа доставляемая поршню паромъ, равна объему израсходованнаго пара, помноженному на давленіе на единицу площади. Такъ напримѣръ, работа доставленная 20 куб. фут. пара, котораго упругая сила равна 2 атмосферамъ (117,31 пуд. на кв. футъ) будетъ равна:

$$20 \times 117{,}31 = 2346{,}2 \text{ пудофутамъ.}$$

И если такое количество пара расходуется машиною въ каждую 1", то работа, доставляемая паромъ въ каждую секунду, можетъ представиться $\frac{2346{,}2}{15} = 156{,}4$ паровыми лошадьми.

Когда послѣ впуска пара въ цилиндръ сообщеніе его съ котломъ прекращается, прежде нежели поршень окончитъ свой ходъ, тогда впущенный паръ, расширяясь, доставляетъ нѣкоторую работу, которую можно опредѣлить вычисленіемъ.

Пусть будетъ a объемъ впущеннаго пара при давленіи p. Этотъ паръ, расширяясь постепенно, увеличивается въ объемѣ. Предположимъ что эти увеличенія слѣдуютъ одно за другимъ въ геометрической, возрастающей, прогрессіи, которой показатель, $r = 1 + \frac{1}{b}$, можемъ сдѣлать весьма малымъ, придавая b большую величину. Поэтому, можемъ написать такую прогрессію:

$$\therefore a : ar : ar^2 : ar^3 : \ldots . ar^m \ldots . . (1).$$

Допуская что при расширеніи температура пара неперемѣняется, можемъ опредѣлить давленія пара, соотвѣтствующія всѣмъ этимъ объемамъ, по Маріотову закону. Такъ напримѣръ, давленіе y, соотвѣтствующее объему ar, найдемъ по пропорціи:

$$\frac{a}{ar} = \frac{y}{p} \text{ откуда } y = \frac{p}{r}.$$

Подобнымъ-же образомъ, найдемъ что давленія, соотвѣтствующія объемамъ: ar^2, ar^3, . . . , будутъ $\frac{p}{r^2}$, $\frac{p}{r^3}$, ...

Такъ что объемамъ: a, ar, ar^2, ar^3, . . . ar^m будутъ соотвѣтствовать давленія:

$$p, \frac{p}{r}, \frac{p}{r^2}, \frac{p}{r^3}, \ldots . \frac{p}{r^m}.$$

Остается опредѣлить работы, соотвѣтствующія всѣмъ малымъ приращеніямъ объемовъ. Для этого, можемъ предположить что давленіе пара остается неизмѣннымъ, въ продолженіе каждаго изъ этихъ приращеній; то-есть, что между объемами a и ar давленіе равно p,

« « ar и ar^2 « « $\frac{p}{r}$

« « ar^{m-1} и ar^m « « $\frac{p}{r^m}$

При переходѣ отъ объема a къ объему ar паръ обнару-

житъ работу, равную приращенію объема ar—a умноженному на давленіе p, то-есть $pa(r-1)$; или, такъ-какъ $r-1=\frac{1}{b}$, то эта работа будетъ:

$$\frac{ap}{b}.$$

Работа соотвѣтствующая второму приращенію объема будетъ равна произведенію изъ $ar(r-1)$ на давленіе $\frac{p}{r}$, то-есть:

$$ar(r-1).\frac{p}{r}=ap(r-1)=\frac{ap}{b}.$$

Такъ что работа при второмъ приращеніи объема будетъ та-же самая что и при первомъ. Подобнымъ образомъ можно удостовѣриться что всѣ работы, при постепенномъ увеличеніи объемовъ, будутъ равны между собою. Поэтому, полную работу получимъ повторивъ m разъ работу $\frac{ap}{b}$ то-есть:

$$\frac{mpa}{b}.$$

Работа объема a пара, при впускѣ въ цилиндръ, до расширенія, равна ap; и потому, полная работа τ будетъ:

$$\tau=ap+\frac{map}{b}=ap\left\{1+\frac{m}{b}\right\}.$$

Опредѣлимъ $\frac{m}{b}$. Полагая что паръ расширился n разъ противъ первоначальнаго объема a, получимъ объемъ послѣ расширенія

$$na.$$

Но послѣдній членъ прогрессіи (1) представляетъ также объемъ пара послѣ расширенія, слѣдовательно:

$ar^m = an$, или $r^m = n$, откуда $m\log r = \log n$, и $m = \frac{\log n}{\log r}$,

$$\frac{m}{b} = \frac{\log n}{b\log r} = \frac{\log n}{b\log\left\{1+\frac{1}{b}\right\}} = \log n \frac{1}{b\log\left\{1+\frac{1}{b}\right\}}$$

Дѣлая $b = 10000$, или $b = 100000$, находятъ что коэфиціентъ $\frac{1}{b\log\left\{1+\frac{1}{b}\right\}}$ неперемѣняется въ первыхъ трехъ десятичныхъ цифрахъ, и равенъ 2,303.

Поэтому:

$$\frac{m}{b} = 2{,}303.\ \log n.$$

$$\text{и } \tau = ap\left\{1 + 2{,}303.\ \log n\right\}$$

формула, по которой опредѣлимъ работу пара, зная объемъ его a, давленіе p и степень расширенія n.

Давленіе p на единицу площади соотвѣтствуетъ температурѣ пара въ котлѣ, но какъ другая грань поршня, сообщенная съ холодильникомъ, подвергается также давленію, замедляющему ходъ поршня, то работу этого давленія надобно вычесть изъ работы движущаго пара. Называя p' давленіе пара, оставшагося въ холодильникѣ, найдемъ что работа его, соотвѣтствующая объему na, будетъ

$$nap'.$$

Такъ что работа принятая поршнемъ будетъ:

$$\tau = ap\ (1 + 2{,}303.\ \log n) - nap',$$

$$\text{или } \tau = ap\left\{1 + 2{,}303.\ \log n - \frac{np'}{p}\right\}.$$

Число n можетъ быть замѣнено отношеніемъ между упругою силою пара p до расширенія и послѣ расширенія p_1, то-есть $\frac{p}{p_1}$; такимъ образомъ получимъ:

$$\tau = ap\left\{1 + 2{,}303.\log\frac{p}{p_1} - \frac{p'}{p_1}\right\}$$

Эта формула выведена независимо отъ того какъ совершается расширеніе, и оттого она примѣняется ко всѣмъ паровымъ машинамъ. Въ частномъ случаѣ надобно лишь опредѣлить объемъ a паровъ, расходуемый въ единицу времени; потомъ, манометромъ, опредѣлить давленіе пара p, и по температурѣ холодильника заключить о давленіи p'. Наконецъ p_1 найдемъ раздѣливъ p на число, показывающее во сколько разъ расширяется паръ.— Опредѣливъ τ въ пудофутахъ, если раздѣлимъ на 15, то найдемъ работу, принимаемую поршнемъ, въ паровыхъ или условныхъ лошадяхъ.

125. *Работа доставляемая единицею вѣса топлива.* — Положимъ что въ выведенной нами формулѣ, a представляетъ объемъ пара, доставленный однимъ пудомъ топлива, то можно замѣнить этотъ объемъ вѣсомъ пара, раздѣленнымъ на вѣсъ единицы объема. Называя q вѣсъ пара доставляемый единицею вѣса топлива, Π вѣсъ куб. фута пара, получимъ:

$$\tau = \frac{q}{\Pi} p \left\{ 1 + 2{,}303 . \log \frac{p}{p_1} - \frac{p'}{p_1} \right\}$$

выраженіе работы, доставляемой единицею вѣса топлива. Въ практикѣ нельзя получить всю работу, какую можетъ доставить топливо, потому-что, при лучшемъ устройствѣ топки и паровика, нельзя обратить въ пользу болѣе $^1/_2$ или, въ крайнемъ случаѣ, болѣе $^2/_3$ всего теплорода, доставляемаго топливомъ. Не-менѣе того однако-жъ, помощію этой формулы можно сравнивать между собою разнаго рода паровыя машины, придавая величинамъ, которыя входятъ въ формулу, предѣльныя ихъ значенія. Такъ напримѣръ, въ практикѣ, температура, до которой понижаютъ пары въ холодильникѣ, обыкновенно бываетъ около 32° Р-а; этой температурѣ соотвѣтствуетъ давленіе пара на квадратный футъ почти въ 4 пуда; прибавивъ къ тому упругою силу воздуха, отдѣляющагося изъ воды,

равную почти 3 пуд. на квадр. футъ, получимъ 7 пудъ давленія въ холодильникѣ; такъ-что въ предъидущей формулѣ надобно подставить $p' = 7$ пуд. Крайній предѣлъ расширенія былъ-бы тогда, когда $p_1 = p'$, то-есть когда-бы давленіе пара, послѣ расширенія, сдѣлалось равнымъ давленію паровъ и воздуха въ холодильникѣ. Вводя эти предположенія въ нашу формулу, получимъ:

1-е) Для машинъ съ расширеніемъ и съ холодильникомъ:

$$\tau = \frac{q}{\Pi} p \left\{ 1 + 2{,}303 . \log \frac{p}{7} - 1 \right\} \text{п. ф, или } \tau = \frac{q}{\Pi} p . 2{,}303 . \log \frac{p}{7} \text{ п. ф.} \quad (1)$$

2-е) Для машинъ съ холодильникомъ, безъ расширенія, гдѣ $p_1 = p$ и $\log \frac{p}{p_1} = 0$:

$$\tau = \frac{q}{\Pi} p \left\{ 1 - \frac{7}{p} \right\} \text{ пуд. фут.} \quad (2)$$

3-е) Для машинъ съ расширеніемъ, безъ холодильника, въ которыхъ p', атмосферное давленіе, равно $58{,}^{\text{пуд}}58$, и $p_1 = p'$:

$$\tau = \frac{q}{\Pi} p . 2{,}303 . \log \frac{p}{58{,}58} \text{ пуд. фут.} \quad (3).$$

4-е) Наконецъ, для машинъ безъ расширенія и безъ холодильника, въ которыхъ $p_1 = p$, $p' = 58{,}58$ пуд.:

$$\tau = \frac{q}{\Pi} p \left\{ 1 - \frac{58{,}58}{p} \right\} \text{ пуд. фут.} \quad (4).$$

126. ***Незначительность выгоды доставляемой машинами усиленнаго давленія.*** — По выведеннымъ формуламъ можно опредѣлять работу, какую доставляетъ паръ разнаго рода машинамъ. Эти формулы показываютъ что съ увеличеніемъ давленія пара p, работа доставляемая единицею вѣса топлива возрастаетъ, но весьма медленно, и отнюдь не пропорціонально давленію; и можно увѣриться, что при

давленіи въ 32 атмосферы получаегся работа едва лишь равная удвоенной работѣ, доставляемой паромъ при давленіи въ одну атмосферу. Поэтому нѣтъ особенной выгоды употреблять машины усиленнаго давленія, тѣмъ болѣе что съ увеличеніемъ упругой силы пара и температуры увеличивается безполезная трата пара, умножаются затрудненія въ устроеніи и содержаніи машины и опасность взрыва становится больше. Оттого, въ практикѣ рѣдко употребляютъ пары при упругой силѣ болѣе 4 или 5 атмосферъ.

127. *Разность между теоретическими выводами и дѣйствительностью.* — Работа какую на самомъ дѣлѣ доставляетъ единица топлива въ паровыхъ машинахъ гораздо менѣе той, какая находится по выведеннымъ нами формуламъ. Есть много тому причинъ. Укажемъ на главнѣйшія. Первая состоитъ въ томъ, что, по несовершенству топокъ и паропроводныхъ снарядовъ, болѣе половины теплорода разсѣвается и тратится, прежде нежели дойдетъ до пароваго цилиндра. Усовершенствованіемъ приборовъ, назначенныхъ для образованія и проведенія пара, можно уменьшить безполезную трату теплорода, но нельзя уничтожить ее совершенно. Вторая причина несогласія теоріи съ практикою состоитъ въ томъ, что въ теоріи предполагается расширеніе пара доведеннымъ до крайняго предѣла, что̀ никакъ не можетъ быть осуществлено на самомъ дѣлѣ. Далѣе, просачиваніе пара, котораго избѣгнуть невозможно при самомъ тщательномъ устройствѣ, потеря работы на треніе, сопротивленіе воздуха движенію частей машины и многія другія вредныя сопротивленія, сопровождающія дѣйствіе машины, наконецъ потеря работы на приведеніе въ движеніе золотниковъ и разнаго рода насосовъ, входящихъ въ составъ паровой машины, все это вмѣстѣ производитъ значительную разницу между работою, какую, по теоріи, принимаетъ поршень, и тою какая дѣйствительно передается

валу маховаго колеса машины. Такъ что, вообще, работу τ, вычисленную по предъидущему, надобно умножить на нѣкоторый дробный коэфиціентъ K, для полученія дѣйствительной работы. Найдено опытами что въ машинахъ двойнаго дѣйствія, съ холодильникомъ, устроенныхъ по системѣ Уатта, коэфиціентъ K имѣетъ слѣдующія величины:

Теоретическая работа машинъ.	При тщательномъ содержаніи машинъ.	При обыкновенномъ содержаніи.
4—8 лошад.	K=0,50	K=0,42
10—20 —	0,56	0,47
30—50 —	0,60	0,54
60—100 —	0,65	0,60

Найдено также опытами что въ машинахъ съ расширеніемъ и съ холодильникомъ, устроенныхъ по системѣ Вульфа, K имѣетъ слѣдующія величины:

Теоретическая работа машинъ.	При тщательномъ содержаніи машинъ.	При обыкновенномъ содержаніи.
4—8 лошад.	K=0,33	K=0,30
10—20 —	0,42	0,35
20—40 —	0,50	0,42
60—100 —	0,60	0,53

Нѣтъ достаточнаго числа опытовъ для опредѣленія коэфиціентовъ при дѣйствіи машинъ усиленнаго давленія, безъ холодильника, съ расширеніемъ и безъ расширенія пара. Казалось-бы только что въ этихъ случаяхъ можно употреблять коэфиціенты, найденные для машинъ съ холодильникомъ; тѣмъ болѣе что въ вычисленіяхъ подобна-

го рода всегда довольствуются приблизительными выводами.

Объяснимъ примѣромъ изложенную теорію.

Требуется опредѣлить дѣйствительную работу паровой машины обыкновеннаго давленія, при слѣдующихъ данныхъ: $p = 1{,}25$ ат. $= 73{,}^{пуд}22$; $a = 5$ куб. фут. въ секунду.

По формулѣ (2) найдемъ:

$$\tau = 5 \times 73{,}22 \left\{ 1 - \frac{7}{73{,}22} \right\} = 331{,}1 \text{ пуд. фут.} = \text{почти } 22 \text{ лош.}$$

Такова была-бы теоретическая работа. Дѣйствительную работу, принимаемую валомъ маховаго колеса, найдемъ умножая на коэфиціентъ, взятый изъ первой таблицы. Полагая что машина содержится тщательно, возьмемъ коэфиціентъ 0,56, и получимъ искомую работу:

$$\tau = 22 \times 0{,}56 = 12{,}32 \text{ лошадямъ.}$$

128. *Неудовлетворительность прежней теоріи.* — Изложенный нами способъ рѣшенія вопросовъ о дѣйствіи паровыхъ машинъ неточенъ и, во многихъ случаяхъ, неудовлетворителенъ, по слѣдующимъ причинамъ:

1. Въ этомъ способѣ предполагается что упругая сила пара въ цилиндрѣ та-же самая, что и въ паровикѣ; между тѣмъ какъ опыты показываютъ что давленіе пара на поршень, не только неравно, но и непропорціонально давленію въ паровикѣ, и что *оно всегда равно сопротивленію, противопоставляемому поршнемъ.*

2. Предположеніе что паръ расширяется въ цилиндрѣ по Маріотову закону, то-есть, что давленія его измѣняются обратно-пропорціонально объемамъ, не можетъ быть допущено въ паровыхъ машинахъ, потому-что, съ перемѣною объема пара перемѣняется и температура, отъ которой, какъ извѣстно, зависитъ упругая сила пара. Французскій Инженеръ Навье нашелъ, что отношеніе μ между объемомъ пара и объемомъ воды изъ которой

онъ образованъ, можетъ быть выражено слѣдующею, эмпирическою, формулою:

$$\mu = \frac{1}{\alpha + \beta p}$$

гдѣ p давленіе пара на единицу площади, α и β численные коэффиціенты, опредѣляемые опытомъ. Если назвать $\tilde{\omega}$ объемъ воды и Θ объемъ пара образованнаго изъ нея при давленіи p, то, по формулѣ Навье,

$$\Theta = \frac{\tilde{\omega}}{\alpha + \beta p}.$$

Тотъ-же объемъ воды, будучи обращенъ въ паръ, котораго давленіе равно p', дастъ объемъ пара

$$\Theta' = \frac{\tilde{\omega}}{\alpha + \beta p'}.$$

Стало-быть:

$$\Theta : \Theta' = \alpha + \beta p' : \alpha + \beta p$$

или $$\Theta : \Theta' = p' + \frac{\alpha}{\beta} : p + \frac{\alpha}{\beta};$$

то-есть объемы, занимаемые паромъ, обратно-пропорціональны, не давленіямъ p' и p, какъ то слѣдовало-бы по Маріотову закону, но *обратно-пропорціональны давленіямъ, увеличеннымъ постоянною величиною* $\frac{\alpha}{\beta}$.

Числа α и β выведены изъ опытовъ Памбура. Въ предположеніи что упругая сила пара выражена давленіемъ *въ пудахъ* на *квадратный футъ*, α и β имѣютъ слѣдующія величины:

Въ случаѣ паровыхъ машинъ съ холодильникомъ:

$$\alpha = 0{,}00004227 \ , \ \beta = 0{,}0000093.$$

Въ случаѣ машинъ безъ холодильника:

$$\alpha = 0{,}0001421 \ , \ \beta = 0{,}0000083.$$

3. Вычисленіемъ посредствомъ коэфиціентовъ (§. 127) можетъ быть опредѣлено, приблизительно, полезное дѣйствіе данной паровой машины, по извѣстнымъ ея размѣрамъ, давленію пара и скорости движенія поршня; но неможетъ быть опредѣлена скорость, по данному сопротивленію, или наоборотъ; не могутъ быть пріисканы сопротивленіе и скорость, соотвѣтствующія наибольшей полезной работѣ, то-есть, наивыгоднѣйшему дѣйствію машины.

Поэтому, прежняя теорія паровыхъ машинъ, какъ основанная на предположеніяхъ несогласныхъ съ опытами, незаслуживаетъ никакого довѣрія, и выведенныя нами формулы (§. 125) могутъ быть употребляемы въ практикѣ для приблизительнаго рѣшенія одного только вопроса — о величинѣ полезнаго дѣйствія машины, которой извѣстны размѣры и скорость поршня.

Рѣшеніе полнаго вопроса о дѣйствіи паровыхъ машинъ предложено первымъ *Памбуромъ*, который, доказавъ всю неудовлетворительность прежнихъ рѣшеній, вывелъ общую зависимость между количествомъ расходуемаго пара, преодолѣваемымъ сопротивленіемъ и скоростью движенія поршня (*).

Сущность теоріи Памбура состоитъ въ слѣдующемъ.

129. *Теорія Памбура.* — Представимъ себѣ машину, двойнаго дѣйствія, съ холодильникомъ и съ расширеніемъ пара, и станемъ разсматривать ее въ нормальномъ состояніи, то-есть, въ равномѣрномъ или періодическомъ движеніи.

Зависимость между всѣми величинами, входящими въ вопросъ о паровой машинѣ, можетъ быть выведена изъ двухъ условій: 1. Что, при установившейся въ машинѣ средней скорости движенія, работа доставляемая паромъ

(*) См. Théorie de la machine à vapeur, par F. M. G. de Pambour. 1839.

расходуется *вся* на противодѣйствіе поршня, которое происходитъ отъ разнаго рода полезныхъ и вредныхъ сопротивленій, преодолѣваемыхъ машиною; 2. Что количество пара, образующееся въ каждое мгновеніе въ паровикѣ, проходитъ *все* въ цилиндръ и, по произведеніи тамъ своего дѣйствія, охлаждается, или выпускается въ воздухъ.

Пусть будетъ p давленіе пара въ паровикѣ на 1 кв. футъ, въ пудахъ, и p_0 давленіе его при входѣ въ цилиндръ.

Если предположить что паръ, войдя въ цилиндръ, въ немъ-же и расширяется, то, при каждомъ размахѣ поршня, работа пара будетъ состоять изъ двухъ частей — одной до расширенія, другой въ продолженіе расширенія.

Для опредѣленія первой части, назовемъ H_0 пространство, какое пройдетъ поршень во время впуска пара, то-есть, до того мгновенія, когда прервется сообщеніе паровика съ цилиндромъ и начнется расширеніе. При давленіи p_0 на 1 кв. футъ, давленіе на площадь поршня S будетъ $p_0 S$, а работа его, на протяженіи H_0:

$$p_0 . S . H_0 .$$

Давленіе p_0 въ цилиндрѣ неизвѣстно, но оно можетъ быть опредѣлено, по извѣстцому объему пара и объему воды, изъ которой паръ образованъ. При каждомъ размахѣ поршня входитъ въ цилиндръ объемъ пара SH_0, а въ минуту, при n размахахъ, $n.S.H_0$. Называя $\tilde{\omega}$ объемъ воды, изъ которой образуется объемъ пара $n.SH_0$, получимъ, по формулѣ Навье (§. 128.)

$$n.SH_0 = \frac{\tilde{\omega}}{\alpha + \beta . p_0}$$

откуда $$p_0 = \frac{\tilde{\omega}}{\beta n S H_0} - \frac{\alpha}{\beta}$$

и стало-быть, работа пара до расширенія:

$$p_0 SH_0 = \frac{\tilde{\omega}}{\beta n} - \frac{\alpha}{\beta} SH_0 \quad \ldots\ldots \quad (1).$$

Вторая часть работы, во время расширенія, опредѣляется слѣдующимъ образомъ.

Разсмотримъ то мгновеніе, когда поршень прошелъ отъ начала какое-нибудь пространство x; объемъ занимаемый паромъ будетъ равенъ Sx. Назовемъ П давленіе его на 1 кв. футъ. Принимая въ соображеніе всѣ подобныя положенія поршня, въ продолженіе минуты, то-есть, при n размахахъ, найдемъ что объемъ занимаемый паромъ, впущеннымъ въ минуту, будетъ nSx. Такъ какъ этотъ объемъ образованъ изъ того-же что и прежде объема воды $\tilde{\omega}$, то зависимость между nSx и $\tilde{\omega}$ выразится уравненіемъ:

$$nSx = \frac{\tilde{\omega}}{\alpha + \beta . \Pi};$$

изъ котораго $\Pi = \frac{\tilde{\omega}}{\beta n Sx} - \frac{\alpha}{\beta}$; $\ldots\ldots$ (2)

то-есть, силу П можно разсматривать какъ равнодѣйствующую двумъ противоположнымъ силамъ: первая изъ нихъ, $\frac{\tilde{\omega}}{\beta n Sx}$, перемѣняется обратно-пропорціонально разстоянію x, точки своей приложенія до основанія цилиндра, вторая, — $\frac{\alpha}{\beta}$, постоянна.

Если H есть весь ходъ поршня въ цилиндрѣ, то $H—H_0$ будетъ часть хода, проходимая поршнемъ при расширеніи пара. Вычисляя работу силы $\frac{\tilde{\omega}}{\beta n Sx}$, на этомъ протяженіи, находятъ что она равна (*):

(*) Работа силы $\frac{\omega}{\beta n Sx}$, перемѣняющейся обратно-пропорціонально x, опредѣляется слѣдующимъ образомъ: (*Чер. 172.*).

$$m.\frac{\omega}{\beta nS}$$

гдѣ m численный коэфиціентъ, зависящій отъ степени расширенія, то-есть, отъ отношенія H къ H_0.

Пусть будетъ $DG=H_0$ пространство пройденное поршнемъ до расширенія, и $GB = H - H_0$ — въ продолженіе расширенія пара. Положенію G соотвѣтствуетъ давленіе $\frac{\omega}{\beta nSH_0}$, которое, для краткости назовемъ F; положеніямъ J, K, L.... B, будутъ соотвѣтствовать давленія, которыя можно опредѣлить вычисленіемъ. Для опредѣленія работы на протяженіи GB, раздѣлимъ линію GB на четное число частей, равныхъ каждая e. Положимъ что ихъ будетъ четыре: GJ, JK, KL и LB. Давленіе F въ точкѣ G изобразимъ линію GG'; давленія въ точкахъ J, K, L и B, опредѣлимъ вычисленіемъ и отложимъ на линіяхъ JJ', KK', LL', BB'. Ясно что $JJ' : F = DG$ или $H_0 : DJ$ или $H_0 + e$, откуда $JJ' = F.\frac{H_0}{H_0+e}$. Равнымъ образомъ $KK' = F.\frac{H_0}{H_0+2e}$; $LL' = F.\frac{H_0}{H_0+3e}$ и $BB' = F.\frac{H_0}{H_0+4e}$. Работа перемѣнной силы, на протяженіи GB, представится площадью криволинейной фигуры $GBB'G'$, которая, по Симпсоновой теоремѣ, равна:

$$\tfrac{1}{3}.e\left\{F + 2F.\frac{H_0}{H_0+2e} + 4\left(F.\frac{H_0}{H_0+e} + F.\frac{H_0}{H_0+3e}\right) + F.\frac{H_0}{H_0+4e}\right\}$$

Полагая $e=H_0$, выразимъ эту работу слѣдующимъ образомъ:

$$\tfrac{1}{3}.\ H_0F\left\{1 + \tfrac{2}{3} + 2 + 1 + \tfrac{1}{3}\right\} = 1{,}622.F.H_0;$$

или, подставляя, вмѣсто F, его величину $\frac{\omega}{\beta nSH_0}$, получимъ

$$1{,}622.\frac{\omega}{\beta nS}.$$

Такъ что, когда $H_0 = \frac{1}{5}H$, то-есть, когда паръ расширяется впятеро, противъ первоначальнаго объема, то искомая работа равна произведенію изъ $\frac{\omega}{\beta nS}$ на число 1,622. При другомъ отношеніи объемовъ пара, былъ-бы другой множитель. Стало-быть, вообще, если назвать m число, на которое слѣдуетъ умножить $\frac{\omega}{\beta nS}$, то искомая работа представится произведеніемъ:

$$m.\frac{\omega}{\beta nS}$$

Работа постоянной силы, $-\frac{\alpha}{\beta}$, на протяженіи $H—H_0$, равна

$$-\frac{\alpha}{\beta}(H-H_0).$$

Стало-быть, работа силы П, соотвѣтствующая единицѣ площади поршня, будетъ:

$$m.\frac{\tilde{\omega}}{\beta n S}-\frac{\alpha}{\beta}(H-H_0);$$

а работа той-же силы, соотвѣтствующая всей площади поршня S, будетъ равна:

$$m.\frac{\tilde{\omega}}{\beta n}-\frac{\alpha}{\beta}SH+\frac{\alpha}{\beta}SH_0 \quad . \quad . \quad . \quad (3).$$

Вся работа пара, въ продолженіе цѣлаго размаха, выразится суммою выраженій (1) и (3), то-есть:

$$\frac{\omega}{\beta n}-\frac{\alpha}{\beta}SH_0+m.\frac{\omega}{\beta n}-\frac{\alpha}{\beta}SH+\frac{\alpha}{\beta}SH_0$$

или $$\frac{\omega}{\beta n}\left\{1+m\right\}-\frac{\alpha}{\beta}SH.$$

Пусть будетъ p' давленіе на единицу площади пара, оставшагося въ холодильникѣ. Давленіе на площадь S будетъ $p'.S$, а работа его въ продолженіе цѣлаго размаха H

$$p'SH.$$

Эту работу слѣдуетъ вычесть изъ работы доставленной паромъ; такъ что, работа передаваемая поршню будетъ:

$$\frac{\omega}{\beta n}(1+m)-\frac{\alpha}{\beta}SH-p'.SH.$$

Такъ какъ машина предполагается въ равномѣрномъ или періодическомъ движеніи, то найденная работа движущей силы будетъ равна той, какая соотвѣтствуетъ противодѣйствію поршня. Назовемъ r давленіе на единицу

площади поршня, происходящее отъ всѣхъ сопротивленій, какія могутъ препятствовать его движенію. Давленіе на всю площадь будетъ $r.S$, а работа его, при одномъ ходѣ,

$$r.SH.$$

По закону передачи работы

$$r.SH = \frac{\omega}{\beta n}\left\{1 + m\right\} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + p'\right)SH. \quad \ldots \quad (4)$$

Таково будетъ выраженіе работы, передаваемой стержню поршня при каждомъ размахѣ. Помножая ее на n, получимъ работу, передаваемую въ минуту:

$$n.rSH = \frac{\omega}{\beta}\left(1 + m\right) - n\left(\frac{\alpha}{\beta} + p'\right)SH. \quad \ldots \quad (5)$$

или, называя $R = rS$ противодѣйствіе всего поршня и $V = nH$ скорость поршня въ минуту:

$$RV = \frac{\omega}{\beta}\left(1 + m\right) - \left(\frac{\alpha}{\beta} + p'\right)SV. \quad \ldots \quad (6).$$

Работа въ 1″ получится раздѣляя RV на 60, а въ лошадяхъ — раздѣляя, сверхъ того, на 15.

Формулы (5) и (6) показываютъ что передаваемая работа RV будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе V или n. Стало-быть выгодно уменьшать скорость поршня паровой машины. Но это уменьшеніе имѣетъ свой предѣлъ. Дѣйствительно, ни въ какомъ случаѣ давленіе пара въ цилиндрѣ не можетъ быть болѣе давленія въ паровикѣ; слѣдовательно, если въ уравненіи

$$nSH_0 = \frac{\omega}{\alpha + \beta p_0}$$

замѣнить p_0 давленіемъ въ паровикѣ p, то получится наименьшее число размаховъ n, въ 1′

$$n = \frac{\omega}{SH_0} \cdot \frac{1}{\alpha + \beta p}.$$

Подставляя эту величину въ (5) и называя τ первый членъ, получимъ формулу для опредѣленія наибольшей работы, какую можетъ передать паръ поршню:

$$\tau = \frac{\omega}{\beta}\left((1+m) - \frac{\alpha+\beta p'}{\alpha+\beta p}\cdot\frac{H}{H_0}\right) \quad \ldots \quad (7)$$

Когда машина безъ холодильника, тогда въ выведенныхъ формулахъ слѣдуетъ замѣнить p' атмосфернымъ давленіемъ, равнымъ 58,58 пуд. на 1 кв. футъ.

Когда машина безъ расширенія, тогда работа пара при каждомъ размахѣ приводится къ второму члену уравненія (1), если въ немъ замѣнить H_0 всею высотою хода H, и тогда уравненіе (4) приметъ слѣдующій видъ:

$$rSH = \frac{\omega}{\beta n} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + p'\right)SH$$

которое умножая на n, получимъ работу передаваемую въ 1'

$$RV = \frac{\omega}{\beta} - \left(\frac{\alpha}{\beta} + p'\right)SV.$$

Это выраженіе отличается отъ (6) тѣмъ только, что въ немъ m замѣнено нулемъ.

Наибольшая работа машины безъ расширенія будетъ равна

$$\tau = \frac{\omega}{\beta}\left(1 - \frac{\alpha+\beta p'}{\alpha+\beta p}\right).$$

Выведенныя здѣсь формулы рѣшаютъ всѣ вопросы, относящіеся къ паровымъ машинамъ. При употребленіи ихъ въ практикѣ, надобно умѣть опредѣлить R—противодѣйствіе поршня, происходящее отъ всѣхъ сопротивленій, полезныхъ и вредныхъ, сопровождающихъ движеніе машины. Въ постоянныхъ (нелокомотивныхъ) машинахъ R состоитъ изъ двухъ частей: одна происходитъ отъ полезнаго сопротивленія, преодолѣваемаго машиною, другая отъ треній, проявляющихся въ разныхъ точкахъ

машины. Назовемъ первую изъ нихъ Q, а вторую $F+fQ$, гдѣ F треніе машины, движущейся порожнемъ, а f увеличеніе тренія, соотвѣтствующее единицѣ полезнаго сопротивленія Q. Такимъ образомъ получимъ:

$$R = (1+f)\,Q + F.$$

Въ случаѣ паровозовъ нужно прибавить еще сопротивленіе воздуха, движущемуся поѣзду, и сопротивленіе движенію машины по рельсамъ.

Мы ограничимся этимъ краткимъ изложеніемъ сущности новой теоріи паровыхъ машинъ, отсылая читателей къ сочиненію Памбура, «*Théorie de la machine à vapeur*», въ которой она развита подробно.

г) *Составныя части паровыхъ машинъ.*

Разсмотрѣвъ общій составъ и теорію дѣйствія паровыхъ машинъ, займемся изслѣдованіемъ ихъ частей, въ томъ порядкѣ, въ какомъ онѣ слѣдуютъ одна за другою, отъ паровика къ холодильнику.

130. *Форма паровиковъ.* — *Паровики* можно дѣлать изъ котельнаго желѣза, изъ мѣдныхъ листовъ и чугуна. Употребленіе чугуна сопряжено съ большими неудобствами: по причинѣ значительной толщины, какую необходимо придавать ихъ стѣнамъ, они обходятся немногимъ дешевле желѣзныхъ и нагрѣваются труднѣе; сверхъ того, они представляютъ болѣе опасности взрыва. Оттого, у насъ запрещено закономъ употребленіе чугунныхъ паровиковъ, при машинахъ усиленнаго давленія. Мѣднымъ паровикамъ придаютъ толщину одинаковую съ желѣзными; въ слѣдствіе чего они обходятся дороже желѣзныхъ; а какъ теплопроводимость желѣза и мѣди почти одинакова, то желѣзные паровики предпочитаются мѣднымъ повсемѣстно, за исключеніемъ, когда вода, по особеннымъ своимъ свойствамъ, слишкомъ сильно истребляетъ желѣзо.

Желѣзные и мѣдные паровики дѣлаются изъ листовъ, предварительно продыравленныхъ по краямъ, которые накладываются одинъ на другой и скрѣпляются между собою *заклепными болтами*. Дѣлая паровики изъ чугуна, отливаютъ ихъ по частямъ и потомъ свинчиваютъ между собою болтами, а спаи заполняютъ *чугунною замазкою*.

При опредѣленіи формы паровика имѣютъ въ виду: 1. Чтобы паровикъ представлялъ возможно-большее, и по всѣмъ направленіямъ одинаковое, сопротивленіе внутреннему давленію пара, и 2. Чтобы форма паровика способствовала образованію наибольшаго количества пара. Имѣя въ виду наибольшее сопротивленіе разрыву, слѣдовало-бы придавать паровику форму цилиндра, ограниченнаго по концамъ сферическими отрѣзками. Но подобная форма невыгодна въ отношеніи къ образованію пара. Опытъ показываетъ что количество пара, образуемое паровикомъ, пропорціонально *площади нагрѣва*, то-есть величинѣ поверхности соприкасанія паровика съ пламенемъ и жаромъ топки и дымовыхъ оборотовъ. Обыкновенно топка располагается подъ паровикомъ, и весьма рѣдко внутри его. Для увеличенія поверхности нагрѣва, проводятъ жаръ изъ топки особыми ходами (оборотами), которые, или обходятъ паровикъ кругомъ, или проходятъ внутри.

Главнѣйшія формы, придаваемыя паровикамъ въ практикѣ, суть слѣдующія:

1. *Нюкоменовъ паровикъ*. Нюкоменъ придавалъ паровикамъ форму полушарьевъ, съ вогнутыми днищами. Въ подобныхъ паровикахъ топка располагается внизу, и занимаетъ $^1/_3$ пода; жаръ проходитъ сперва по поду, потомъ дымовымъ оборотомъ кругомъ паровика, и наконецъ выходитъ въ трубу. Иногда проводятъ жаръ изъ топки широкимъ внутреннимъ оборотомъ, имѣющимъ форму буквы *U*, что значительно увеличиваетъ площадь нагрѣва и сберегаетъ топливо. Нюкоменовы паровики могутъ быть

употребляемы при машинахъ обыкновеннаго и усиленнаго давленія — до 4 атмосферъ. Съ прибавкою внутренняго оборота, о которомъ мы говорили, и при хорошемъ качествѣ каменнаго угля, они обращаютъ въ паръ, однимъ пудомъ угля, отъ 7 до 8 пудовъ воды.

2. *Уаттовъ паровикъ.* Этотъ паровикъ представленъ въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ на *Чер. 173*; онъ имѣетъ форму длиннаго параллелопипеда, съ выпуклою крышкою, слегка выгнутыми боками и днищемъ, и съ плоскими гранями спереди и сзади. Подобные паровики употребляются при машинахъ обыкновеннаго давленія. Топка располагается внизу, обороты снаружи и, весьма рѣдко, внутри паровика. Жаръ обтекаетъ сперва дно паровика, потомъ, дошедши до конца, раздѣляется на два тока кирпичною перегородкою; одна часть идетъ лѣвымъ, другая правымъ оборотомъ. Оба оборота сходятся впереди паровика и выходятъ въ трубу; или, вмѣсто этого, жаръ проходитъ подъ паровикомъ, направляется въ одинъ изъ двухъ оборотовъ, (тогда другой закладывается кирпичомъ), обходитъ паровикъ кругомъ и выходитъ въ трубу.

Въ Уаттовыхъ паровикахъ площадь нагрѣва, равная 1-му квадратному футу, превращаетъ въ паръ около 7 фунтовъ воды въ часъ.

3. *Вульфовы паровики.* Въ машинахъ усиленнаго давленія употребляютъ цилиндрическіе паровики, съ двумя сферическими отрѣзками на концахъ *(Чер. 174)*. Сопротивленіе разрыву подобныхъ паровиковъ одинаково во всѣхъ точкахъ и болѣе чѣмъ Уаттовыхъ. Но цилиндрическіе паровики нагрѣваются не такъ хорошо; оттого въ нихъ расходъ топлива болѣе. Чтобы пособить этому, помѣщаютъ подъ паровикомъ цилиндрическія трубы G,G', называемыя *кипятильниками*. Эти трубы подвергаются самому сильному жару, и скоро перегараютъ, потому-что ихъ охватываетъ пламя со всѣхъ сторонъ. По време-

намъ ихъ вынимаютъ и замѣняютъ другими, неразламывая стѣнъ очага. Кипятильники располагаются подъ паровикомъ нѣсколько наклонно и сообщаются съ нимъ отвѣсными трубами *a*, *a*. Жаръ охватываетъ ихъ кругомъ, потомъ поднимается къ паровику, направляется въ оборотъ *C*, изъ него въ *C'*, и выходитъ въ трубу.

Длина цилиндрическаго паровика дѣлается въ 3, 4 и даже въ 10 разъ болѣе діаметра, который ни въ какомъ случаѣ не бываетъ болѣе 3½ футъ; такъ что, въ случаѣ надобности, вмѣсто одного, дѣлаютъ нѣсколько паровиковъ, небольшихъ діаметровъ. Извѣстно что сопротивленіе разрыву возрастаетъ съ уменьшеніемъ діаметра цилиндра. Въ слѣдующей таблицѣ показаны размѣры, обыкновенно придаваемые цилиндрическимъ паровикамъ, съ полушарьями на концахъ.

Сила машины.	Паровикъ.		Кипятильники.	
	Длина.	Діаметръ.	Длина.	Діаметръ.
2 лошади.	5 ф. 5 д.	2 ф. 2 д.	5 ф. 8 д.	— — 11 д
4 —	6 — 10 —	2 — 3 —	7 — 4 —	1 ф. — —
6 —	8 — 4 —	2 — 5 —	8 — 6 —	1 — 2 —
8 —	9 — 2 —	2 — 8 —	9 — 7 —	1 — 3 —
10 —	10 — 7 —	2 — 8 —	11 — — —	1 — 2 —
15 —	16 — 3 —	2 — 8 —	16 — 9 —	1 — 5½ —
20 —	22 — 2 —	2 — 10 —	22 — 9 —	1 — 8 —
25 —	27 — 8 —	2 — 10 —	28 — 2 —	1 — 8 —
30 —	30 — — —	3 — 3 —	31 — 9 —	2 — — —
40 —	32 — 10 —	3 — 7 —	38 — 10 —	2 — — —

Вульфовы паровики съ кипятильниками однимъ, пудомъ каменнаго угля, обращаютъ въ паръ отъ 5 до 7 пудовъ воды.

4. *Цилиндрическіе паровики безъ кипятильниковъ.* Часто употребляютъ цилиндрическіе паровики, безъ кипя-

тильниковъ, съ плоскими концевыми гранями и съ внутренними оборотами, или безъ оборотовъ. Плоскія грани паровика представляютъ сопротивленіе менѣе вогнутыхъ, оттого необходимо дѣлать ихъ толще. При хорошемъ устройствѣ паровика, безъ кипятильниковъ, но съ внутренними оборотами, 1 пудъ каменнаго угля обращаетъ въ паръ отъ 8 до 9 пудъ воды.

5. *Паровозные паровики.* Для паровозныхъ паровиковъ главное условіе — при наименьшемъ объемѣ образовать наибольшее количество пара. Съ этою цѣлью топку окружаютъ водою, и проводятъ жаръ множествомъ горизонтальныхъ трубокъ, которыя помѣщены въ нагрѣваемой водѣ. При маломъ діаметрѣ нагрѣвательныхъ трубокъ и при незначительной высотѣ дымовой трубы, необходимо особымъ средствомъ усиливать тягу воздуха: этого достигаютъ выпуская изъ цилиндровъ въ трубу паръ, произведшій свое дѣйствіе. Говоря о паровозахъ мы показали расположеніе паровика, нагрѣвательныхъ трубокъ и дымовой трубы.

6. *Пароходные паровики.* При устроеніи паровика для парохода требуется образовать паръ по возможности быстрѣе, неувеличивая излишне высоты дымовой трубы и недѣлая дымовыхъ оборотовъ слишкомъ узкими, потому что это способствовало-бы скорому засорѣнію и затрудняло-бы очистку накипей. Въ практикѣ на пароходахъ устроиваютъ разнаго рода паровики; какъ то :

а) Уаттовые паровики, для машинъ обыкновеннаго давленія. Они удобны для содержанія и чистки.

б) Паровики съ кипятильниками, употребляемые для образованія пара усиленнаго давленія.

в) Англійскіе. Механики предпочитаютъ для пароходовъ, большіе параллелопипедальные паровики, съ внутреннею топкою и отвѣсными оборотами. Подобные паровики неудобны для чистки и скоро измѣняются въ формѣ, но они весьма выгодны для сбереженія топлива.

г) Для пароходныхъ машинъ усиленнаго давленія лучше всего дѣлать паровики въ видѣ двухъ эксцентрическихъ цилиндровъ, съ гладкими днищами. Ось внутренняго цилиндра располагается параллельно, и нѣсколько ниже оси внѣшняго. Пространство между двумя цилиндрами наполняется водою, такъ что-бы покрыть верхъ внутренняго цилиндра, который замѣняетъ собою дымовой оборотъ. Топка распюлагается внутри этого цилиндра, или на одномъ концѣ его. Плоскія грани должны быть усилены желѣзными скрѣпами, и сверхъ того необходимо связать между собою внутренній цилиндръ съ внѣшнимъ такими-же скрѣпами, располагая ихъ параллельно плоскимъ днищамъ.

131. *Толщина стѣнъ.* — Толщина стѣнъ паровика зависитъ отъ формы его, размѣровъ и *дѣйствительнаго* давленія пара, то-есть, разности между давленіями на внутреннюю и внѣшнюю поверхность паровика. Опытомъ найдено что для совершенной безопасности слѣдуетъ придавать стѣнамъ, желѣзнаго и мѣднаго, цилиндрическаго паровика толщину, опредѣляемую по слѣдующей формулѣ:

$$e = 0{,}0092p.r + 0{,}12. \text{ дюйм.}$$

въ которой e толщина въ дюймахъ, p — дѣйствительное давленіе на квадратный дюймъ въ пудахъ, r — внутренній радіусъ паровика, въ дюймахъ.

Въ слѣдующей таблицѣ показаны діаметры паровиковъ и толщина стѣнъ, при давленіяхъ отъ 2 до 8 атмосферъ.

Діаметръ паровика.	Дѣйствительное давленіе пара, выраженное атмосферами.						
	2	3	4	5	6	7	8
дюйм.	лин.	лин.	лин.	лин.	лин.	лин.	лин.
20	1,540	1,900	2,260	2,620	2,980	3 340	3,700
22	1,576	1,972	2,368	2,764	3,160	3,556	3,952
24	1,612	2,044	2,476	2,908	3,340	3,772	4,204
26	1,648	2,116	2,584	3,052	3,520	3,988	4,456
28	1,684	2,188	2,692	3,196	3,700	4,204	4,708
30	1,720	2,260	2,800	3,340	3,880	4,420	4,960
32	1,756	2,332	2,908	3,484	4,060	4,636	5,212
34	1,792	3,404	3,016	3,628	4,240	4,852	5,464
36	1,828	2,476	3,124	3,772	4,420	5,068	5,716
38	1,846	2,548	3,232	3,916	4,600	5,284	5,968
40	1 900	2,620	3,340	4,060	4,780	5,500	6,220

Когда паровикъ ограниченъ плоскими стѣнами, тогда толщина ихъ должна быть болѣе и, сверхъ того, необходимо усиливать ихъ скрѣпами, которыя препятствовали-бы измѣненію формы паровика.

Паровики усиленнаго давленія, прежде употребленія въ дѣло, подвергаются испытанію, при давленіи большемъ того, при какомъ машина будетъ дѣйствовать. Паровики съ плоскими гранями неподвергаются испытанію, но въ подобныхъ паровикахъ упругая сила пара никогда не должна быть болѣе $1^1/_2$ атмосферы.

Испытаніе паровиковъ производится при давленіи *втрое* большемъ того, какому они будутъ подвержены постоянно. Для произведенія этого испытанія, наполняютъ водою паровикъ и кипятильники, закрываютъ всѣ отверзтія, и нагружаютъ предохранительные клапаны пробнымъ вѣсомъ; потомъ, гидравлическимъ прессомъ, сообщеннымъ съ паровикомъ, дѣйствуютъ до тѣхъ поръ, пока не начнутъ подниматься съ своихъ мѣстъ нагруженные клапаны.

132. *Вмѣстимость паровиковъ.* — Вмѣстимость паровика зависитъ отъ количества пара, какое онъ долженъ образовать въ единицу времени, а это количество — отъ величины площади нагрѣва.

Опыты показываютъ, что:

1. Въ Уаттовыхъ паровикахъ, съ плоскимъ или слегка вогнутымъ дномъ и боками, изъ желѣзныхъ или мѣдныхъ листовъ, площадь нагрѣва, равная 1-му квадратному футу, доставляетъ въ часъ 7 фунт. пара.

2. Въ Вульфовомъ паровикѣ съ кипятильниками 1 кв. футъ площади нагрѣва образуетъ въ часъ 8 ф. пара.

3. Въ локомотивныхъ паровикахъ съ нагрѣвательными трубками, при сильной тягѣ воздуха, количество пара, образуемое 1 кв. фут. въ часъ, доходитъ иногда до 20 фунт. и болѣе.

4. Въ чугунныхъ цилиндрическихъ паровикахъ съ кипятильниками 1 кв. футъ площади нагрѣва доставляетъ въ часъ не болѣе 3 или 4 ф.

Что-бы можно было опредѣлить вмѣстимость паровика, по этимъ даннымъ, надобно замѣтить что уровень воды въ паровикѣ никогда не долженъ быть ниже дымовыхъ оборотовъ; иначе, пламя охватывало-бы стѣны паровика, неосвѣжаемыя водою. Поэтому, часть паровика будетъ занята водою, а остальная часть паромъ. Слѣдующимъ образомъ, можно опредѣлить вмѣстимость части паровика занятой паромъ, по извѣстному объему пара, потребляемому машиною при каждомъ размахѣ.

Пусть будетъ A вмѣстимость паровика, занятая паромъ, a объемъ пара расходуемый машиною при каждомъ размахѣ и na вмѣстимость всего пароваго цилиндра. Предполагая равномѣрное движеніе, можно разсматривать что паръ впускается въ цилиндръ во время, равное $1/n$-ой части времени всего размаха. Въ началѣ хода поршня объемъ пара въ паровикѣ равенъ A, при давленіи p; въ то время, когда объемъ пара a перешелъ въ цилиндръ,

то-есть, въ $1/n$ часть времени всего размаха, въ паровикѣ образовалось $\frac{a}{n}$ новаго пара, при давленіи p. Поэтому, въ то мгновеніе, когда паръ перестанетъ входить въ цилиндръ, въ паровикѣ останется объемъ пара $A - a + \frac{a}{n}$, при давленіи p; или, правильнѣе говоря, такъ какъ это количество пара должно занять весь объемъ A, то его упругая сила p' будетъ менѣе p, во столько разъ, сколько разъ A болѣе $A - a + \frac{a}{n}$; а именно, по Маріотову закону будетъ:

$$p : p' = A : A - a + \frac{a}{n}$$

откуда:

$$p' = p - p.\frac{a}{A}\left\{1 - \frac{1}{n}\right\}.$$

Такъ что

$$p - p' = p.\frac{a}{A}\left\{1 - \frac{1}{n}\right\},$$

и

$$A = a\left(1 - \frac{1}{n}\right)\frac{p}{p - p'}.$$

Это уравненіе опредѣляетъ вмѣстимость A, по извѣстному объему a и давленіямъ p и p'.

Такъ напримѣръ, желая что-бы разность давленій $p - p'$ была не болѣе $1/_{30}p$, получимъ:

$$A = 30.a\left\{1 - \frac{1}{n}\right\}.$$

Когда паръ нерасширяется, тогда $n = 1$ и $A = 0$. Дѣйствительно, въ этомъ случаѣ объемъ пара образующагося въ паровикѣ совершенно равенъ тому, какой проходитъ въ цилиндръ, и стало-быть весь паровикъ могъ-бы быть наполненъ водою; но какъ случаются мгновенія, въ ко-

торыя нѣтъ сообщенія паровика съ цилиндромъ, то необходимо оставить нѣкоторое пространство надъ водою для пара. По правилу *Тредгольда* достаточно было-бы дѣлать $A = 3.a$. Въ практикѣ, въ Уаттовыхъ машинахъ, дѣлаютъ A отъ $12.a$ до $15.a$.

Въ машинахъ съ расширеніемъ пара, отношеніе $\frac{A}{a}$ зависитъ отъ величины n. Если, какъ въ машинѣ Вульфа, $n = 4$

то $$A = \frac{3}{4} \cdot 30.a = 22.a,$$

то-есть, почти впятеро болѣе объема, соотвѣтствующаго всему ходу поршня.

Когда $n = 3$, тогда $A = {}^2/_3 . 30.a = 20.a$, то-есть, въ 6 разъ болѣе объема всего хода.

Когда $n = 2$, тогда $A = 15.a$ то-есть въ 7 разъ болѣе объема всего хода.

Въ практикѣ наблюдаютъ слѣдующее правило:

Въ Уаттовыхъ паровикахъ объемъ занимаемый паромъ въ 12 и даже въ 15 разъ болѣе объема пара, расходуемаго при каждомъ размахѣ поршня, а вся вмѣстимость паровика втрое болѣе пространства занятаго паромъ; такъ что вода занимаетъ ${}^2/_3$ всей вмѣстимости паровика, или отъ 24 до 30 вмѣстимостей пароваго цилиндра.

Въ Вульфовыхъ машинахъ паровикъ наполняется до половины и вся вмѣстимость его равна отъ 24 до 30 объемовъ пара, расходуемаго при одномъ размахѣ поршня.

133. *Отверзтія въ паровикѣ.* — Въ верхней части паровика дѣлаютъ нѣсколько отверзтій, которыхъ назначеніе слѣдующее:

1. *Большой проходъ*, закрываемый чугунною плитою, привинчиваемою къ закраинамъ. Это отверзтіе дѣлается въ видѣ эллипса, котораго одна ось въ 18, другая въ 10 дюймовъ. Сюда опускается кочегаръ, для чистки внутри паровика и для починокъ.

2. *Паропроводное отверзтіе*, для проведенія пара изъ паровика къ цилиндру. По правилу Уатта, площадь паропроводнаго отверзтія должна содержать въ себѣ столько квадратныхъ дюймовъ, во сколько лошадей полагается машина.

3. Одно или нѣсколько отверзтій, закрываемыхъ *предохранительными* клапанами. Діаметръ этихъ отверзтій зависитъ отъ упругой силы пара и количества образуемаго пара въ 1 времени.

4. Небольшое отверзтіе, проводящее паръ къ *манометру*—прибору для измѣренія упругой силы пара.

5. Отверзтіе сквозь которое проходитъ проволока съ поплавкомъ на концѣ. Движеніе поплавка показываетъ измѣненія горизонта воды въ паровикѣ.

6. Отверзтіе для *питательной трубы*, снабжающей паровикъ водою.

7. Нѣсколько отверзтій, въ которыя вставляются *справочныя* и *указательныя* трубки, употребляемыя для узнанія горизонта воды.

Въ нижней части котла устроиваются краны, для выпуска воды изъ паровика.

134. *Снабженіе паровика водою.* — Для вознагражденія убыли воды, испаряющейся въ паровикѣ, необходимы приборы, которые-бы снабжали паровикъ водою безпрестанно, но въ такомъ лишь количествѣ, чтобы уровень воды оставался всегда на одной высотѣ. Эти приборы называются *питательными.*

Въ машинахъ обыкновеннаго давленія питательный приборъ имѣетъ слѣдующее устройство *(Чер. 175)*. Въ паровикъ опускается питательная труба *CD*, такъ что конецъ ея погруженъ ниже средняго уровня воды дюйма на четыре; верхній конецъ трубы оканчитается *воронкою M*, при которой есть двѣ трубки *t* и *t'*; одна приводитъ воду, доставляемую питательнымъ насосомъ, другая вы-

водитъ наружу лишнюю. Поплавокъ *N* привѣшенъ къ проволокѣ, которая проходитъ черезъ маленькой сальникъ и прикрѣпляется къ концу *B* небольшаго рычага, вращающагося около точки *C*. Къ плечу *aC* привѣшенъ стержень съ коническимъ клапаномъ *m*, который открываетъ или закрываетъ трубу, смотря по движенію поплавка *N*. На концѣ рычажка поивѣщенъ отвѣсъ *a*.

Когда по неисправности питательнаго прибора уровень воды опустится ниже конца трубы, тогда паръ, выходя трубою, предостережетъ кочегара объ угрожающей опасности, отъ излишняго пониженія уровня и слѣдующаго за нимъ перегара стѣнъ паровика, неосвѣжаемыхъ водою. Равнымъ образомъ, если упругая сила пара сдѣлается болѣе той, какая соотвѣтствуетъ высотѣ трубы *CD*, то давленіе пара заставитъ горячую воду подняться изъ паровика въ воронку, и тогда паръ, распространяющійся изъ горячей воды, укажетъ на приближающуюся опасность; въ то-же время уровень воды въ паровикѣ понижается и открываетъ конецъ трубы *CD*, которою, въ слѣдъ-за-тѣмъ выходитъ паръ.

При такомъ устройствѣ, питательный приборъ служитъ вмѣстѣ и предохранительнымъ снарядомъ отъ взрыва.

Высота трубы *CD* зависитъ отъ давленія пара. Наибольшее давленіе, до какого доходитъ паръ въ машинахъ обыкновеннаго давленія не превосходитъ 1½ атмосферы. Допуская этотъ высшій предѣлъ, и зная что ½ атмосферы соотвѣтствуетъ столбъ воды почти въ 17 футъ, слѣдовало-бы расположить приборъ такъ, чтобы разстояніе уровня воды въ воронкѣ до средняго уровня въ паровикѣ было около 17 футъ. Обыкновенно помѣщаютъ воронку футахъ въ 7 или 9 надъ паровикомъ.

Количество воды доставляемое питательнымъ насосомъ воронкѣ должно быть болѣе необходимаго для питанія паровика. Обыкновенно расчитываютъ размѣры насоса такъ, чтобы онъ доставлялъ воды вдвое болѣе того сколь-

ко испаряется въ паровикѣ. Если s представляетъ площадь поршня насоса, h ходъ его, n число размаховъ въ минуту, то количество поднятой воды въ 1′ будетъ nsh. Съ другой стороны, если S площадь нагрѣва и $\tilde{\omega}$ объемъ воды, обращаемой въ паръ въ 1 минуту, единицею площади, то объемъ испаряющейся воды будетъ $S\tilde{\omega}$; и, сообразно сказанному, должно быть :

$$nsh = 2S\tilde{\omega}.$$

Въ машинахъ усиленнаго давленія паровикъ снабжаютъ водою посредствомъ нагнетательнаго насоса, который приводится въ движеніе самою-же машиною. Для управленія количествомъ воды, употребляется кранъ. Вода доставляется или непрерывною струею или перемежно.

На *Чер. 176* представленъ питательный приборъ, съ непрерывною струею; l поршень насоса tt; u клапанъ, открывающійся снизу вверхъ, во всасывающей трубѣ cc; d другой клапанъ, пропускающій поднятую воду въ проводную трубку ff и въ паровикъ; кранъ a управляетъ количествомъ всасываемой воды. Кранъ f' служетъ для прерванія сообщенія съ паровикомъ, когда нужно осмотрѣть клапаны u и d. Отверзтіе h можетъ быть закрыто кружкомъ, придавливаемымъ винтомъ; но вмѣсто этого лучше придавить кружокъ рычажкомъ ii, съ гирькою k. Безъ этой предосторожности, если кочегаръ вздумаетъ закрыть кранъ f', незакрывъ прежде крана a, то вода, сдавливаемая поршнемъ, ненаходя выхода, сильно противодѣйствуетъ и можетъ разорвать стѣны насоса.

Для управленія количествомъ впускаемой воды, часто употребляютъ въ машинахъ усиленнаго давленія снарядъ, представленный на *Чер. 177*. Здѣсь мѣдный поплавокъ, пустой внутри, E, прикрѣпленъ къ одному концу рычага G, а къ другому концу прилаженъ стержень AB, съ двумя коническими клапанами; D трубка сообщающая при-

боръ съ питательнымъ насосомъ, *C* выпускная трубка. Поплавокъ поднимаясь запираетъ клапанъ *A* и открываетъ *B*; въ слѣдствіе чего, лишняя вода проходитъ въ трубку *C*.

135. *Указатели горизонта воды.* — Исправное снабженіе паровика водою весьма важно, для безопаснаго дѣйствія паровой машины. При могущемъ случиться поврежденіи въ питательномъ приборѣ, уровень въ паровикѣ понижается, и когда опустится ниже дымовыхъ оборотовъ, тогда стѣны паровика, не будучи освѣжаемы водою, сильно накаливаются и паровикъ подвергается опасности взрыва. По этой причинѣ, необходимо имѣть при паровикахъ приборы, показывающіе высоту уровня въ паровикѣ, и почаще справляться съ ихъ показаніями.

Простѣйшій приборъ — *двѣ справочныя трубки, (Чер. 178)* съ кранами. Нижній конецъ одной недоходитъ до уровня воды, дюймовъ на 6, другой, на столько-же, погруженъ ниже уровня; верхніе концы, открытые, выходятъ внѣ паровика. Открывая оба крана въ одно время, замѣчаютъ выходитъ-ли изъ обоихъ паръ или вода. Въ первомъ случаѣ будетъ мало воды, во второмъ слишкомъ много.

Для той-же самой цѣли служитъ поплавокъ, съ проволокою и рычажкомъ *(Чер. 179)*. Перемѣны уровня воды указываются кондомъ стрѣлки, движущейся по дугѣ *HB*, раздѣленной на части.

Въ предъидущемъ параграфѣ мы описали приборъ съ поплавкомъ, который указываетъ перемѣны уровня воды въ паровикѣ и предупреждаетъ опасныя послѣдствія излишняго пониженія уровня.

Лучшій указательный снарядъ состоитъ изъ трубки, толстаго стекла, придѣлываемой къ паровику съ боку, такъ что нижній конецъ ея погруженъ въ воду, а верхній въ паръ *(Чер. 180)*. Вода поднимается въ трубкѣ до той-

же высоты что и въ паровикѣ. Бѣлое стекло современемъ тускнетъ; лучше употреблять трубки изъ зеленаго стекла. — На пароходахъ и паровозахъ указанія этого прибора невѣрны, по причинѣ сильнаго колебанія воды.

136. *Манометры.* — Для узнанія упругой силы пара въ паровикѣ употребляются *манометры.*

Въ машинахъ обыкновеннаго давленія манометръ имѣетъ видъ стеклянной трубки, которой одинъ конецъ вмазывается въ паропроводную трубу или въ паровикъ *(Чер. 181).* Трубку наполняютъ ртутью до половины. Отъ давленія пара, ртуть понижается въ трубкѣ *a* и, въ тоже время, поднимается въ трубкѣ *b*. Давленіе пара измѣряется разностью горизонтовъ *b* и *a* ртути. На рейкѣ *P* дѣлаются дѣленія вдоль трубки. Дѣленія отстоятъ одно отъ другаго на $^1/_2$ дюйма; каждыя $^1/_2$ дюйма соотвѣтствуютъ одному дюйму давленія, потому-что, когда ртуть поднялась на $^1/_2$ дюйма въ одной трубкѣ, тогда въ то-же время опустилась на $^1/_2$ д. въ другой, отчего разность горизонтовъ сдѣлалась равною 1-му дюйму. Обыкновенно недѣлаютъ болѣе 7 или 8 дѣленій на рейкѣ, потому-что выше этихъ предѣловъ неможетъ подняться ртуть при дѣйствіи машины.

Иногда трубку *ab* дѣлаютъ изъ желѣза и вставляютъ въ нее стеклянную трубку *V*, чтобъ можно было наблюдать за ходомъ ртути. Сверхъ того, въ трубкѣ *V* находится поплавокъ *d*, изъ дерева или изъ жести; на поплавкѣ утверждается стержень, съ краснымъ шарикомъ *e* на концѣ. Движеніе шарика показываетъ движеніе ртути.

Устроивая манометръ для машины усиленнаго давленія, берутъ стеклянную трубку отъ 3 до 4 линій въ діаметрѣ и до 12 дюймовъ длины, въ одномъ концѣ запаянную. *(Чер. 182).* Нижній конецъ трубки погружаютъ въ чугунный ящикъ, наполненый ртутью; внутреннее пространство ящика сообщаютъ съ паропроводною трубою. Сверху ящикъ за-

крываютъ плотно чугунною крышкою. Стеклянная трубка проводится сквозь крышку въ отверзтіе, которое кругомъ трубки законопачивается и замазывается, для прерванія сообщенія съ воздухомъ. Дѣленія на рейкѣ, помѣщенной подлѣ трубки, дѣлаются такъ: когда давленіе пара равно одной атмосферѣ, тогда ртуть въ трубкѣ находится на одномъ горизонтѣ съ ртутью въ ящикѣ; на горизонтѣ ртути въ ящикѣ ставится *о*. По мѣрѣ увеличивающагося давленія пара, ртуть поднимается въ трубкѣ и сжимаетъ заключающійся въ ней воздухъ. Когда давленіе пара сдѣлается равнымъ 2 атмосферамъ, тогда воздухъ въ трубкѣ займетъ только половину прежняго объема; другая половина будетъ занята ртутью; оттого дѣленіе на срединѣ трубки назначается 1-ю. Понятно что это дѣленіе показываетъ перевѣсъ давленія пара подъ атмосфернымъ. Когда упругая сила пара дойдетъ до 3 атмосферъ, тогда воздухъ займетъ $^1/_3$ первоначальнаго объема; по этому дѣленіе соотвѣтствующее этой упругой силѣ должно быть на $^2/_3$ всей длины трубки, отъ 0, и т. д.

Опыты показали что манометры съ сжатымъ воздухомъ подвержены скорой порчѣ, и недаютъ вѣрныхъ показаній. Причиною тому окисленіе ртути, въ прикосновеніи съ сжатымъ воздухомъ, и раствореніе ртутной окиси въ ртути. Слѣдствіемъ этого бываютъ невѣрныя указанія манометра и тусклость стекла, которое покрывается внутри непрозрачною окисью ртути. Можно пособить этому неудобству, замѣняя воздухъ азотомъ. Но азотные манометры еще мало употребительны.

Для машинъ, въ которыхъ упругая сила неболѣе 5 или 6 атмосферъ, лучшій манометръ слѣдующій. *(Чер. 183)*. Въ пространную чугунную коробку *А* наливается ртуть, и въ нее погружается нижній конецъ трубки *В*, изъ листоваго желѣза. Коробка *А* плотно закрывается крышкою, и съ низу проводится въ нее паръ изъ паровика, трубкою *а*. Длина трубки *В* зависитъ отъ предѣль-

ной упругой силы пара, и опредѣляется полагая на каждую атмосферу по 30 дюймовъ. Въ верху трубка оканчивается открытою воронкою. Желѣзный поплавокъ *f* плаваетъ на ртути, отъ него проведена бечевка по двумъ отводнымъ шкивамъ *e* и *e*, и къ концу ея привѣшенъ отвѣсъ *p*. Движеніе отвѣса вдоль рейки *g*, *g*, указываетъ упругую силу пара. — Приборъ этотъ удобенъ тѣмъ, что въ случаѣ слишкомъ сильнаго давленія пара, онъ служитъ предохранительнымъ приборомъ отъ взрыва; въ подобномъ случаѣ паръ выбрасываетъ ртуть изъ трубки *B* и выходитъ наружу.

137. *Предохранительные клапаны.* — Для предупрежденія излишняго увеличенія упругой силы пара, при паровикахъ устроиваютъ клапаны, открывающіеся при предѣльномъ давленіи, и выпускающіе лишній паръ. Подобные клапаны, придуманные Папиномъ, называются *предохранительными*. Простѣйшій изъ нихъ состоитъ изъ сплошнаго или пустаго цилиндра или конуса, входящихъ плотно въ отверзтіе, въ крышкѣ паровика, и придавленныхъ сверху гирькою, или рычагомъ съ гирькою на концѣ. На *Чер. 184* представленъ вертикальный разрѣзъ предохранительнаго клапана. Къ отверзтію *a* въ крышкѣ паровика привинчена чугунная трубка *C*; къ верхнимъ закраинамъ трубки привинчены закраины бронзовой трубки *B*, которая покрывается подвижнымъ кружкомъ *A*. Движеніе этого кружка направляется или сквозною цилиндрическою втулкою *b*, отливаемою вмѣстѣ съ кружкомъ, или тремя или четырмя крыльями, которыхъ плоскости проходятъ черезъ ось трубки, а внѣшнія ребра касаются трубки *B* внутри. Крылья предпочитаются втулкамъ, потому что менѣе заграждаютъ проходъ пара и свободнѣе ходятъ въ трубкѣ *B*. Нижняя грань кружка *A* притерта гладко къ верхнему краю трубки *B*, такъ что кружокъ не можетъ входить въ трубку, на подобіе пробки, и поднимаясь, тотчасъ-же даетъ выходъ пару. Кружокъ окан-

чивается сверху остріемъ u, на которое накладывается рычажокъ LL', вращающійся на оси F. Для предупрежденія отклоненій рычажка въ сторону, служитъ развилина K; конецъ рычага загнутъ вверхъ, для удержанія привѣшиваемой гирьки Q.

Величина гирьки Q и положеніе ея на рычажкѣ опредѣлены такъ, что клапанъ поднимается и открываетъ отверзтіе, какъ скоро давленіе пара достигнетъ своего предѣла. Въ это мгновеніе моментъ давленія пара на клапанъ равняется моменту силы Q, относительно къ точкѣ F. Полагая отверзтіе круглымъ и называя діаметръ его d, а предѣльное давленіе пара на единицу площади p, получимъ давленіе пара $p.\frac{\pi d^2}{4}$. Если r есть разстояніе острія u до точки вращенія F, R разстояніе точки привѣса гирьки Q до той-же точки F, то

$$p.\pi.\frac{d^2}{4}.r = QR.$$

Обыкновенно дѣлаютъ $r = \frac{R}{10}$, и тогда

$$Q = \frac{\pi}{4} d^2.\frac{p}{10}, \text{ или } Q = 0{,}0785.pd^2.$$

При небрежномъ содержаніи клапана, треніе на оси вращенія и прилипаніе кружка къ краямъ выпускной трубки могутъ сдѣлаться столь значительными, что клапанъ не станетъ открываться, въ мгновеніе соотвѣтствующее предѣльному давленію пара, и котелъ подвергнется опасности взрыва. Чтобы клапанъ *не заклеивался*, надобно отпирать его по временамъ. Но самое важное неудобство клапановъ съ гирьками то, что гирьку можно передвигать, по незнанію, неосторожности или съ умысломъ.

Въ локомотивныхъ паровикахъ, вмѣсто гири, употребляютъ пружину, которой натяженіе можетъ измѣнять

машинистъ по произволу, посредствомъ гайки, навинчиваемой на отвѣсный стержень. Рейка съ дѣленіями показываетъ натяженія, соотвѣтствующія разнымъ положеніямъ гайки.

Отверзтіе, открываемое предохранительнымъ клапаномъ, должно быть достаточно для выпуска лишняго пара. Величина его зависитъ отъ площади нагрѣва и упругой силы пара. Нарочно дѣланными опытами найдено, что діаметръ отверзтія d достаточно дѣлать равнымъ:

$$d = 0{,}316\sqrt{\frac{C}{n-0{,}412}}$$

гдѣ d діаметръ въ дюймахъ, C площадь нагрѣва, въ кв. футахъ, n давленіе пара въ атмосферахъ.

138. *Причины взрыва паровиковъ.* — Взрывъ паровыхъ котловъ происходитъ отъ одной изъ трехъ слѣдующихъ причинъ:

1. Отъ чрезмѣрнаго увеличенія упругой силы пара.

2. Отъ излишняго пониженія горизонта воды въ паровикѣ.

3. Отъ перегара днища паровика, въ слѣдствіе образовавшихся на немъ известковыхъ накипей.

Чрезмѣрное увеличеніе упругой силы пара. Для предупрежденія чрезмѣрнаго увеличенія упругой силы пара, при паровикахъ устроиваютъ предохранительные клапаны, придуманные Папиномъ. Хорошій предохранительный клапанъ долженъ открываться въ то самое мгновеніе, когда давленіе пара достигнетъ высшаго предѣла, при которомъ машина можетъ работать безопасно. При обыкновенномъ устройствѣ предохранительныхъ клапановъ часто случается противное. Свободному движенію клапана мѣшаетъ треніе, и особенно прилипаніе, обнаруживающееся тѣмъ сильнѣе, чѣмъ болѣе залежался клапанъ на мѣстѣ, и чѣмъ значительнѣе поверхность прикосновенія кла-

пана къ краямъ паропроводнаго отверзтія. Въ недавнее время, французскій инженеръ *Шоссно*, занимавшійся долго изученіемъ паровыхъ машинъ, придумалъ вполнѣ удовлетворительное устройство предохранительнаго клапана. Въ клапанѣ Шоссно, паропроводное отверзтіе закрыто совершенно плотно, не-смотря на то, что поверхность соприкасанія клапана съ краями трубки не шире ¼ линіи. *(Чер. 185).* По причинѣ малой поверхности соприкасанія, прилипаніе здѣсь весьма незначительно и вліяніе атмосфернаго давленія совершенно ничтожно. Рычажокъ клапана свободно вращается на остріяхъ, такъ что треніе въ подпорныхъ точкахъ почти не существуетъ. Клапанъ помѣщенъ въ чугунной коробкѣ, которую запираютъ на ключь, или запечатываютъ свинцомъ. Послѣ того, ни кочегаръ, ни машинистъ, ни даже самъ владѣтель машины, не могутъ нагружать клапанъ, съ цѣлью увеличить давленіе пара. При подобномъ устройствѣ клапана, нѣтъ надобности часто повѣрять его исправность, какъ это дѣлалось прежде. Въ клапанѣ Шоссно нечего опасаться увеличенія прилипанія или тренія; и то и другое совершенно ничтожны, и нисколько не мѣшаютъ движимости клапана. Опытъ показалъ, что клапаны Шоссно дѣйствуютъ столь исправно, что отверзтіе открывается всегда въ то самое мгновеніе, когда давленіе пара достигнетъ назначеннаго предѣла. Выпущенный паръ выходитъ въ воздухъ широкою трубою *e*.

Хотя одного клапана, хорошо-устроеннаго, по способу Шоссно, достаточно для совершенной безопасности, однако-жъ, обыкновенно, изъ предосторожности, рядомъ съ большимъ клапаномъ устраиваютъ два другіе, поменьше. Устройство всѣхъ трехъ одинаково. Только малые клапаны незаперты въ коробкахъ.

Излишнее пониженіе горизонта воды въ паровикѣ. Указательный поплавокъ. При неисправномъ дѣйствіи прибора, снабжающаго паровикъ водою, горизонтъ воды по-

нижается. Излишнее пониженіе можетъ сдѣлаться причиною взрыва. Когда горизонтъ воды въ паровикѣ опустится ниже того мѣста, гдѣ начинаются дымовые обороты, тогда стѣнки паровика, неосвѣжаемыя водою, сильно накаливаются. Отъ прикосновенія воды къ раскаленному металлу образуется вдругъ столь значительное количество пара, что, не смотря на исправность предохранительныхъ клапановъ, весь лишній паръ не можетъ мгновенно вылетѣть и паровикъ подвергается опасности взрыва.

Способы, какіе употреблялись по-сіе-время для указанія горизонта воды въ паровикѣ и для предупрежденія излишняго пониженія, всѣ, болѣе или менѣе, неудовлетворительны. Такъ на-примѣръ, прозрачные указатели съ стеклянными трубками неудобны тѣмъ, что очень ломки, и сверхъ-того невѣрно указываютъ горизонтъ воды въ подвижныхъ паровикахъ, по причинѣ колебаній воды, а въ неподвижныхъ, отъ частыхъ засореній въ трубочкахъ и кранахъ. Они неудобны еще и потому, что стеклянныя трубки, чрезъ нѣкоторое время, теряютъ свою прозрачность. Указанія справочныхъ трубокъ съ кранами, употребляемыхъ преимущественно при пароходныхъ и паровозныхъ котлахъ, не заслуживаютъ большаго довѣрія: въ случаѣ паровъ усиленнаго давленія не рѣдко бываетъ что давленіе пара заставляетъ подниматься воду въ трубку, не смотря на то что горизонтъ воды ниже оконечности трубки. На-оборотъ, въ случаѣ паровъ обыкновеннаго давленія, атмосферное давленіе бываетъ иногда болѣе упругой силы пара, и тогда, изъ открытыхъ справочныхъ трубокъ не выходитъ ни паръ ни вода. Сверхъ-того, справочныя трубки неудобны тѣмъ, что онѣ не могутъ показывать горизонта воды, независимо отъ вниманія кочегара.

Наконецъ, поплавки, употребляемые при неподвижныхъ паровикахъ, какъ указатели горизонта воды и какъ сред-

ства къ своевременному снабженію котловъ водою, чрезвычайно несовершенны. Проволока, поддерживающая поплавокъ, нерѣдко останавливается въ сальникѣ, сквозь который она пропущена, и въ подобномъ случаѣ поплавокъ также останавливается. Повѣрка исправности поплавка, которую дѣлаютъ по временамъ, приводя въ движеніе рукою его коромысло, недостаточна для совершеннаго убѣжденія въ правильномъ дѣйствіи снабжающаго прибора. На пароходахъ поплавки этого рода вовсе не употребляются, потому-что при качкѣ судна проволока гнется и перестаетъ свободно двигаться въ сальникѣ. Поплавки съ клапаномъ и со свисткомъ могутъ только извѣстить о пониженіи горизонта, но не въ состояніи предупредить это пониженіе. Притомъ, рѣдко случается что-бы эти поплавки дѣйствовали исправно: свободное движеніе отвѣснаго прута и клапана затрудняется треніемъ и прилипаніемъ, которыя иногда бываютъ очень значительны.

Приборы Шоссно, предупреждающіе излишнее пониженіе горизонта воды, заслуживаютъ особеннаго вниманія.

На *Чер. 186* представленъ профиль и фасадъ *указательнаго поплавка* Шоссно. Указанія его отмѣчаются съ точностію на отвѣсной линейкѣ. Линейка раздѣлена на равныя части, и на ней означены предѣлы наибольшаго и наименьшаго возвышенія горизонта. Весь приборъ расположенъ надъ паровикомъ такъ, что кочегаръ, не оставляя своего мѣста у очага, можетъ слѣдить за перемѣнами горизонта воды въ паровикѣ. Внизу, подъ линейкою, помѣщенъ манометръ. При употребленіи такихъ приборовъ на пароходныхъ судахъ, необходимо располагать ихъ ближе къ срединѣ паровика, для уменьшенія вліянія качки судна на указанія прибора. Впрочемъ, качка судна ни въ какомъ случаѣ не можетъ отклонить проволоку отъ отвѣснаго направленія. Проволока *m* очень

тонка, и оттого движеніе ея въ сальникѣ не встрѣчаетъ потти никакого сопротивленія. Конецъ проволоки прикрѣпленъ къ коромыслу, которое свободно качается на оси *w*. Все это придаетъ указателю такую движимость, что малѣйшія колебанія воды сообщаются поплавку и указываются на линейкѣ.

Указательный поплавокъ Шоссно примѣняется одинаково къ паровикамъ усиленнаго давленія постоянныхъ и подвижныхъ машинъ.

Предохранительный поплавокъ. При исправномъ дѣйствіи указательнаго поплавка и при внимательномъ наблюденіи за указаніями его, со стороны кочегара, излишнее пониженіе горизонта воды въ паровикѣ становится вочти невозможнымъ. Указательный приборъ всегда безошибочно покажетъ кочегару высоту воды въ паровикѣ, и всегда вовремя напомнитъ о необходимости пополнить расходъ воды. Однако-жъ есть случаи, въ которыхъ эти указанія могутъ быть недостаточными. Когда по небрежности кочегара, или во время его отлучки отъ паровика, случится какая нибудь неисправность въ снабжающемъ приборѣ, тогда горизонтъ въ паровикѣ понизится и машина подвергнется опасности взрыва. Поэтому, необходимо имѣть при паровикѣ приборъ, который бы могъ предупреждать подобныя послѣдствія. Для этой цѣли Шоссно придумалъ *предохранительный поплавокъ*. Этотъ приборъ даетъ знать, большимъ шумомъ, о крайнемъ пониженіи горизонта и, въ то-же время, прекращаетъ горѣніе въ очагѣ, прежде нежели пониженіе горизонта сдѣлается опаснымъ. Предохранительный поплавокъ Шоссно изображенъ на *Чер. 187*. Онъ соединяетъ въ себѣ всѣ выгоды прежнихъ предохранительныхъ приборовъ и не имѣетъ ихъ недостатковъ. Поплавокъ *I*, помѣщенный на концѣ рычага *H*, поднимается и опускается, при перемѣнахъ горизонта воды въ паровикѣ. Понижаясь, онъ открываетъ полусферическій клапанъ *t* и выпускаетъ паръ, или въ свистокъ *k*,

или въ дымовые ходы, или въ очагъ, или, наконецъ, въ воздухъ. Рычагъ *H* столь длиненъ что, при дѣйствіи поплавка, клапанъ плотно запираетъ и во-время открываетъ отверзтіе. Поверхность соприкасанія клапана съ выпускною трубкою очень мала, и оттого прилипаніе клапана и трубки почти ничтожно. Конецъ рычага вращается на остріяхъ, что дѣлаетъ треніе чрезвычайно незначительнымъ. При подобномъ устройствѣ прибора можно быть увѣрену въ совершенной его исправности, на неопредѣленное время. Всякій разъ, когда горизонтъ воды въ котлѣ находится на требуемой высотѣ, давленіе воды на поплавокъ, снизу вверхъ, прижимаетъ плотно клапанъ къ выпускной трубкѣ. Но какъ скоро горизонтъ опустится ниже линіи *YY*, которой соотвѣтствуетъ давленіе воды снизу, равное вѣсу поплавка, то отверзтіе выпускной трубки тотчасъ-же откроется, и паръ устремится къ нѣсколькимъ свисткамъ, производя шумъ, слышный издали. Если, несмотря на это предостереженіе, по небрежности, или съ умысломъ, не будутъ приняты мѣры для дополненія котла водою, то, при дальнѣйшемъ пониженіи поплавка, отверзтіе выпускной трубки откроется совершенно, и тогда паръ начнетъ выходить въ такомъ количествѣ, что излишекъ его, направившись къ очагу или въ дымовые ходы, противоположно тягѣ воздуха, замедлитъ горѣніе, и прекратитъ его совершенно, когда горизонтъ воды понизится до линіи *WW*. Для возобновленія горѣнія, необходимо остановить притокъ пара къ очагу; и это сдѣлается возможнымъ тогда только, когда въ котелъ прибавятъ достаточное количество воды. Прибавка эта не сопряжена ни съ какою опасностію, потому-что стѣны паровика сохраняютъ температуру одинаковую съ водою.

Вмѣсто того чтобы останавливать паромъ горѣніе, можно выпустить его въ воздухъ. Этой предосторожности достаточно въ тѣхъ случаяхъ, когда кочегаръ не отлучается отъ паровика, какъ на-примѣръ, на пароходахъ.

Перегаръ днища паровика въ слѣдствіе накипей. Плавящіяся пробки. Вода содержитъ въ себѣ, почти всегда, землистыя и известковыя частицы, которыя, осаждаясь на днѣ паровика, прилипаютъ къ нему плотно и, со временемъ, образуютъ толстую кору, называемую *накипью*. Образовавшаяся накипь мѣшаетъ водѣ освѣжать днище паровика, которое отъ того сильно накаливается и перегараетъ. Для предупрежденія образованія накипей, необходимо по-чаще чистить днище. Покрывая дно паровика слоемъ илу, или разваренаго картофеля, можно предупредить совершенно образованіе сплошной коры накипей. При этихъ предосторожностяхъ, небудетъ никакой надобности въ приборахъ, для предупрежденія излишняго накаливанія днища. Но чтобы отклонить всякое сомнѣніе, на счетъ безопасности взрыва отъ перегара днища, можно устроить на днѣ паровика, въ мѣстахъ подверженныхъ самому сильному нагрѣву, такъ называемыя, *плавящіяся пробки*, т. е. вставки изъ легкоплавкаго металла, которыя расплавляются при извѣстной температурѣ, выпускаютъ воду изъ паровика и заливаютъ огонь въ очагѣ. Плавящіяся пробки употреблены въ первый разъ *Тривиссикомъ* (Trivithick) въ паровикахъ усиленнаго давленія. Въ послѣдствіи они усовершенствованы *Ивенсомъ* (Evans) и *Гали-Казалà* (Galy-Casalat). По способу Гали-Казалà, плавящаяся пробка помѣщается въ отвѣсной трубкѣ, которой верхняя часть, закрытая краномъ, проходитъ чрезъ крышку паровика, а нижняя оконечность придѣлана къ днищу такъ, что она отдѣляетъ воду отъ прикосновенія съ пробкою. Паръ сообщается съ внутренностью трубки нѣсколькими отверстіями, устроенными выше горизонта воды въ паровикѣ. При подобномъ устройствѣ, какъ скоро пробка расплавится, паръ устремится въ очагъ и остановитъ горѣніе. Паръ, устремившійся однажды къ очагу, остановится только послѣ замѣненія расплавившейся пробки новою. Можетъ случиться, что новая проб-

ка не закроетъ плотно прохода въ трубку, или потому, что какое-нибудь постороннее вещество попадетъ между пробкою и трубкою, или оттого, что давленіе пара не будетъ въ состояніи прижать пробку плотно къ мѣсту; въ такихъ случаяхъ паръ будетъ по-прежнему проходить въ очагъ и останавливать горѣніе. Для приведенія пробки въ надлежащее положеніе, необходимо прервать дѣйствіе машины, охладить паровикъ и открыть верхній кранъ трубки; что представляетъ много неудобствъ. Можно избѣгнуть этого, не дѣлая отверстій въ верхней части трубки, тѣмъ болѣе, что чрезъ эти отверзтія проникаютъ, вмѣстѣ съ паромъ, землистыя частицы, засоряющія современемъ трубку. На *Чер. 188* представленъ такой приборъ при паровикѣ паровоза. Здѣсь, какъ скоро пробка расплавится, паръ начнетъ стремиться къ очагу, но можетъ быть остановленъ посредствомъ крана *f*. Послѣ этого, не прерывая дѣйствія машины, отвинчиваютъ втулку *g* въ верхней оконечности трубки, вставляютъ новую пробку и прибиваютъ ее плотно къ коническому гнѣзду. Въ слѣдъ за тѣмъ, навинчиваютъ втулку и открываютъ кранъ. Понятно что описанный здѣсь приборъ начинаетъ дѣйствовать какъ скоро горизонтъ воды дойдетъ до линіи *WW*, потому-что тогда обнажится колпачекъ, въ который вдѣлана нижняя оконечность трубки, проводящей теплоту. Въ это время, пробка, неосвѣжаемая водою, начнетъ плавиться, между-тѣмъ какъ днище паровика, покрытое слоемъ воды, не подвергается опасности перегара. Въ этомъ отношеніи, описываемое здѣсь устройство совершеннѣе устройства Гали-Казала, потому что въ послѣднемъ пробка начинаетъ плавиться тогда только, когда днище паровика совершенно обнаружится.

Усовершенствованныя плавящіяся пробки могутъ быть примѣнены съ пользою къ паровикамъ съ внутреннимъ очагомъ, дно которыхъ обыкновенно бываетъ покрыто довольно тонкимъ слоемъ воды. Онѣ могутъ также пре-

дупреждать опасность взрыва отъ пониженія горизонта и отъ чрезмѣрнаго нагрѣва.

Надобно замѣтить только, что легкоплавкіе сплавы со временемъ измѣняются, въ слѣдствіе чего и температура, при которой они плавятся, также нѣсколько перемѣняется.

Приборъ для предупрежденія перегара стѣнъ паровика на пароходахъ. На пароходахъ случается иногда, что отъ продолжительнаго наклоненія судна на одну сторону стѣны паровика, неосвѣжаемыя водою, подвергаются опасности перегара. Въ Уаттовыхъ паровикахъ (обыкновеннаго давленія), можно предупредить это послѣдствіе, устроивая внутри котла вертикальныя перегородки, которыя уменьшаютъ колебаніе воды. Въ цилиндрическихъ котлахъ нельзя дѣлать перегородокъ: онѣ мѣшали бы чисткѣ паровика. Инженеръ Шоссно придумалъ для этого случая устройство, представленное на *Чер. 189*. Оно состоитъ изъ двухъ подвижныхъ заслонокъ *ce*, качающихся на осяхъ *e*. Какъ скоро котелъ наклонится въ одну сторону, тотчасъ одна заслонка прилегаетъ къ противоположной грани паровика и, переградивъ ходъ пламени, предупреждаетъ излишній нагрѣвъ котла съ этой стороны.

139. *Правила предосторожности, при употребленіи машинъ усиленнаго давленія.* — При употребленіи паровыхъ машинъ усиленнаго давленія, въ Россіи постановлены слѣдующія правила, къ непремѣнному исполненію. (*).

1. *Предѣлъ упругости.* Принимать, за наибольшій предѣлъ упругости пара, 6 атмосферъ, или 97½ фунтовъ на квадратный дюймъ; такъ что-бы дѣйствительное давленіе внутри котла было, за вычетомъ внѣшняго атмосфернаго, неболѣе 5 атмосферъ, или 81¼ фунтовъ на квадратный дюймъ.

(*) 13-го Ноября 1842 года.

2. *Матеріалъ для паровиковъ и форма ихъ.* Паровики дѣлать изъ мѣди, или изъ котельнаго желѣза, цилиндрическіе, съ круглыми оконечностями. Употребленіе чугуна на стѣны паровиковъ и внутреннихъ дымовыхъ ходовъ вовсе запрещается.

3. *Толщина стѣнъ паровиковъ.* Толщину стѣнъ паровиковъ опредѣлять, сообразно діаметру ихъ и принятой степени упругости пара, по формулѣ: $e = 0{,}0092\,pr + 0{,}12$; въ которой e означаетъ искомую толщину въ дюймахъ, p—дѣйствительное давленіе на квадратный дюймъ въ пудахъ, r—внутренній радіусъ котла въ дюймахъ.

Примѣчаніе 1. Наибольшая толщина стѣнъ паровика не должна превосходить 0,45 или $^9/_{20}$ дюйма. При подобной толщинѣ, и при давленіи въ $81^1/_4$ фунтовъ на квадратный дюймъ, соотвѣтствующій радіусъ паровика, выведенный изъ формулы, равенъ почти 18 дюйм. Слѣдовательно, при наибольшемъ предѣлѣ упругости пара, въ 6 атмосферъ, діаметръ паровика не долженъ быть болѣе 3 футъ.

Примѣчаніе 2. Стѣны дымовыхъ ходовъ, проходящихъ внутри паровика, должны быть толще котловыхъ.

4. *Приборы для узнанія горизонта воды.* На каждомъ паровикѣ имѣть мѣрительныя (справочныя) трубки и, сверхъ-того, указательныя, стеклянныя трубки. Трубки эти должны быть сдѣланы изъ зеленаго стекла, лучше сохраняющаго свою прозрачность, при возвышенной температурѣ.

Независимо отъ того, имѣть, на котлахъ постоянныхъ паровыхъ машинъ усиленнаго давленія, поплавокъ съ отвѣсомъ, по способу Шоссно.

Такъ какъ на пароходахъ, колебаніе воды въ паровикѣ, во время волненія, не дозволяетъ употребленія поплавковъ съ отвѣсомъ, то для подобныхъ машинъ ограничиться придѣлываніемъ къ паровикамъ справочныхъ и указательныхъ трубокъ.

5. *Приборы для опредѣленія упругости пара и предохранительные снаряды.* При каждомъ паровикѣ имѣть по два манометра съ воздухомъ и по два предохранительные клапана, которыхъ измѣренія должны быть сообразны съ величиною паровиковъ. Одинъ изъ этихъ клапановъ долженъ быть подъ рѣшеткою и запертъ ключемъ, чтобы сдѣлать его недоступнымъ для рабочихъ. Другой клапанъ можетъ быть оставленъ въ распоряженіи машиниста. Клапаны эти устроивать по способу Шоссно.

Діаметръ отверзтія, закрываемаго предохранительнымъ клапаномъ, опредѣлять по формулѣ: $d = 0{,}316\sqrt{\frac{C}{n-0{,}412}}$, въ которой d означаетъ искомый діаметръ клапана въ дюймахъ; C площадь нагрѣва, въ квадратныхъ футахъ; и n давленіе пара, выраженное въ атмосферахъ и неуменьшенное внѣшнимъ, атмосфернымъ, давленіемъ. Давленіе на клапанъ должно быть разсчитано по $16^1/_4$ фун., на каждый квадратный дюймъ его площади, и на каждую атмосферу дѣйствительнаго давленія въ паровикѣ. Закраины или поля клапана должны составлять не болѣе $^1/_{20}$ его діаметра.

Независимо отъ предохранительныхъ клапановъ, имѣть на паровикахъ по одной плавящейся пробкѣ, устроенной по способу Ивенса или Гали-Казала. Составъ этихъ пробокъ долженъ быть такой, что-бы онѣ расплавлялись при температурѣ 10°, по Реомюру, выше той, какая соотвѣтствуетъ припятой степени упругости пара.

Плавящіяся пробки должны быть расположены въ мѣстахъ, подверженныхъ самому сильному жару.

6. *Испытаніе паровиковъ.* Для удостовѣренія въ крѣпости паровиковъ, подвергать ихъ, прежде употребленія въ дѣло, давленію *втрое* болѣе того, какому они будутъ постоянно подвержены. Для произведенія этого испытанія, закроются предохранительные клапаны, и посредствомъ гидравлическаго пресса вдавится вода въ паро-

викъ такъ, что-бы клапаны, нагруженные пробнымъ вѣсомъ, соразмѣрнымъ утроенному давленію, начали подниматься съ своихъ мѣстъ. Кипятильники испытывать точно также.

Послѣ испытанія, заклеймить какъ паровикъ такъ и кипятильники. Клеймо должно изображать принятое давленіе пара, безъ вычета атмосфернаго внѣшняго давленія, также годъ и мѣсяцъ произведеннаго испытанія.

Испытанію подвергать паровики и кипятильники тогда только, когда они имѣютъ положенную, §. 3, толщину. Неиспытанные паровики и кипятильники не могутъ получить клейма, и неклейменные отнюдь не должны быть допущены къ употребленію.

При заклейменіи паровиковъ и кипятильниковъ, выдавать владѣльцу ихъ, или его довѣренному, свидѣтельство, за подписью производившаго испытаніе и присутствовавшаго при этомъ члена мѣстной полиціи. Свидѣтельство это должно всегда храниться у машиниста, или управляющаго машиною. Мѣра эта предупредитъ поддѣлку клеймъ и обезпечитъ отвѣтственность лицъ, производившихъ испытаніе.

При испытаніи отнюдь не увеличивать давленія, болѣе положеннаго этимъ пунктомъ, потому-что слишкомъ большое давленіе можетъ ослабить стѣны паровика до такой степени, что сопротивленіе ихъ сдѣлается менѣе нежели было до испытанія.

7. *Помѣщеніе паровиковъ.* Комната, въ которой помѣщается паровикъ, должна содержать объемъ воздуха, превышающій объемъ паровика не менѣе какъ въ 27 разъ. Она должна имѣть, съ двухъ противоположныхъ сторонъ, широкія окна, съ легкими рамами, отворяющимися наружу.

Паровики должны отстоять не менѣе 6¼ футовъ отъ стѣнъ, отдѣляющихъ ихъ помѣщеніе отъ другихъ комнатъ. Толщина этихъ каменныхъ или кирпичныхъ стѣнъ не должна быть менѣе 1¼ аршина.

Надъ комнатою, гдѣ помѣщаются паровики, не должно быть жилыхъ помѣщеній.

8. *Общія мѣры предосторожности.* Независимо отъ изложенныхъ здѣсь предохранительныхъ средствъ, когда послѣ тщательнаго испытанія паровика и прочихъ частей машины усиленнаго давленія, и по удостовѣреніи въ томъ, что приняты всѣ предосторожности, правилами предписанныя, машина будетъ пущена въ дѣйствіе, слѣдуетъ обращать особенное вниманіе на содержаніе всѣхъ частей въ постоянной исправности и на очистку котловъ, отъ образующихся накипей, и частными осмотрами удостовѣряться, что всѣ предохранительные приборы совершенно исправны.

9. Опыты показали, что при продолжительномъ дѣйствіи сильныхъ давленій металлы, неизмѣняясь ощутительно въ наружномъ видѣ, теряютъ часть своего сопротивленія. Поэтому, безопасность требуетъ, что-бы чрезъ каждые три года, паровики машинъ усиленнаго давленія были вновь подвергаемы испытанію, подобно первоначальному.

140. *Паровыя печи.* — Устройство печи имѣетъ большое вліяніе на расходъ топлива. Хорошо устроенная печь должна: 1. Сожигать совершенно топливо, непроизводя дыму; 2. Быть въ состояніи сожигать болѣе топлива нежели нужно для образованія пара, при нормальномъ состояніи машины; 3. Не представлять затрудненій при починкѣ и при чисткѣ; 4. Имѣть стѣны достаточной толщины, чтобы потеря теплоты была возможно-меньшая. — Два первыя условія самыя важныя. Печь должна быть въ состояніи образовать болѣе пара, нежели потребляетъ машина, иначе, случайная потеря пара, уменьшеніе тяги воздуха отъ засорившихся дымовыхъ оборотовъ, или другія причины остановили-бы или замедлили-бы дѣйствіе машины. Для удовлетворенія этимъ условіямъ, надобно опредѣлить, опытомъ, надлежащіе размѣры пяти составныхъ частей

паровой печи: *зольника, рѣшетки* на которой располагается топливо, *топки, дымовыхъ оборотовъ* и *дымовой трубы*. На *Чер. 189* представлены продольный и поперечный разрѣзы печи и вмазаннаго въ нее паровика, и планъ печи, послѣ снятія паровика.

Зольникъ. — *Зольнику* придаютъ форму прямоугольника, въ поперечномъ сѣченіи, и дѣлаютъ площадь прямоугольника равною площади рѣшетки. Вышина зольника неопредѣлена съ точностью опытомъ. При слишкомъ малой вышинѣ, зольникъ скоро наполняется золою и мелкимъ углемъ, и воздухъ въ немъ сильно нагрѣвается; оттого, колосники скоро перегараютъ. Избѣгая этого неудобства, въ низкихъ зольникахъ наливаютъ иногда на дно слой воды, въ нѣсколько дюймовъ. — Для управленія тягою воздуха устроиваютъ заслонку.

Рѣшетка. — Рѣшетка, на которой располагается топливо, дѣлается изъ чугунныхъ *колосниковъ*. Въ поперечномъ сѣченіи колосникъ представляетъ видъ трапеціи. Длина рѣшетки дѣлается въ $^1/_2$ длины паровика, а площадь ея опредѣляется такъ, что-бы на каждую *лошадь* дѣйствительной работы машины приходилось отъ $^2/_3$ до $^1/_2$ квадр. фута. Обыкновенно разсчитываютъ, что 1 кв. футъ площади рѣшетки сожигаетъ въ часъ $15^1/_2$ фунт. хорошаго каменнаго угля. При топкѣ дровами, на каждые $^1/_2$ пуда дровъ, сожигаемыхъ въ часъ, полагается 1 квад. футъ площади рѣшетки.

Разстояніе между колосниками опредѣляется такъ, что-бы площадь пустыхъ промежутковъ между колосниками была равна $^1/_7$ площади всей рѣшетки, при топкѣ каменнымъ углемъ, и $^1/_4$ при топкѣ дровами.

Разстояніе рѣшетки до средины дна паровика то-есть вышина топки дѣлается отъ 12 до 16 дюйм., въ случаѣ каменнаго угля, и отъ 24 до 36, въ случаѣ дровъ. По краямъ разстояніе рѣшетки отъ паровика вдвое менѣе.

Слой каменнаго угля на рѣшеткѣ не долженъ быть тол-

ще 2 или 2½ дюймовъ, и отнюдь не болѣе 3 д. — При употребленіи дровъ, располагаютъ полѣнья вдоль, съ промежутками, для свободнаго прохода воздуха.

Дымовые обороты и труба. — Подъ котломъ идетъ первый дымовой оборотъ. Онъ начинается вслѣдъ за колосниками и дно его располагается на 6 дюймовъ выше рѣшетки, въ случаѣ угля, и на 12 д. въ случаѣ дровъ. Поперечное сѣченіе его равно почти ½ площади рѣшетки. Сѣченія боковыхъ оборотовъ дѣлаются въ ½ площади рѣшетки, когда высота дымовой трубы не менѣе 100 футъ. При высотѣ трубы не болѣе 60 футъ, они дѣлаются въ ¼ площади рѣшетки. Это потому, что при меньшей тягѣ нужно болѣе мѣста для прохода дыму. — Боковые обороты ни въ какомъ случаѣ не должны быть выше линіи, до которой можетъ подниматься уровень воды въ паровикѣ.

Тамъ гдѣ оканчивается дымовой оборотъ и начинается труба, помѣщаютъ заслонку, опускную или вращающуюся, для управленія тягою воздуха. Заслонка дѣлается изъ чугуна или изъ котельнаго желѣза.

Размѣры дымовой трубы имѣютъ большое вліяніе на тягу воздуха и правильное гореніе. Вышина трубы дѣлается различно: отъ 12 до 120 футъ. Кажется что слишкомъ высокія трубы не приносятъ выгоды, соразмѣрной съ издержками на выведеніе ихъ и содержаніе. Въ Англіи дѣлаютъ высокія трубы, но это болѣе для того, что-бы вывести дымъ выше густаго тумана, какой нерѣдко покрываетъ городскія строенія. При хорошемъ устройствѣ трубы, можно достигнуть тѣхъ-же самыхъ результатовъ съ невысокими что и съ высокими трубами.

Опыты показываютъ, что топливо сгараетъ совершенно и безъ дыму, когда на каждый пудъ каменнаго, угля, сожигаемаго въ часъ, приходится по ½ квадратнаго фута площади поперечнаго сѣченія дымовыхъ оборотовъ и трубы, при вышинѣ трубы около 30 футъ. — При та-

ихъ размѣрахъ около половины массы воздуха проходитъ несгарая.

Желая сдѣлать болѣе совершеннымъ сгараніе топлива пробовали вводить холодный или теплый воздухъ въ дымовые обороты, непосредственно за топкою, и этотъ способъ оказался весьма хорошимъ. Впрочемъ, если размѣры рѣшетки и дымовыхъ ходовъ опредѣлены какъ слѣдуетъ, и масса воздуха, входящаго въ топку, достаточна для сгаранія топлива, то вводъ воздуха въ дымовые обороты излишенъ.

Поперечное сѣченіе дымовой трубы, должно быть одинаково, по всей вышинѣ: съуживаніе къ верху неприноситъ никакой пользы.

Форма поперечнаго сѣченія трубы, бываетъ двоякая: квадратная и круглая. Обѣ опѣ равно хороши, но при первой выведеніе кирпичной трубы удобнѣе и дешевле.

Надъ трубою необходимо устроить колпакъ изъ листоваго желѣза, оставляя для дыму свободный проходъ, вышиною отъ 12 до 15 дюймовъ. Колпакъ предохраняетъ трубу отъ охлажденія, во-время дождя и снѣгу.

141. *Разнаго рода топлива.* — Для топки паровыхъ печей употребляются: *каменный уголь, коксъ, дрова и торфъ.*

Каменный уголь—лучшее топливо: онъ доставляетъ наибольшее количество пара. Но каменный уголь бываетъ разныхъ сортовъ; лучшій тотъ который по сожженіи оставляетъ наименѣе золы, и въ осязаніи жиренъ и вязокъ. Впрочемъ, слишкомъ жирный уголь неудобенъ тѣмъ, что образуетъ сплошную массу, на которую пламя дѣйствуетъ съ трудомъ. Слишкомъ жирный уголь перемѣшиваютъ съ тощимъ.

Коксъ. Такъ называется очищенный каменный уголь. Онъ употребляется, преимущественно, на паровозахъ. Употребляя коксъ слѣдуетъ дѣлать рѣшетку меньше — не болѣе $^1/_2$ или $^1/_4$ той, какая для каменнаго угля.

Дрова. Дрова употребляются для топки паровыхъ печей только за недостаткомъ другаго топлива. Употребляются сосновыя и березовыя дрова. Впрочемъ, опытомъ найдено что всѣ роды дерева, при одинаковомъ вѣсѣ, доставляютъ одинаковое количество теплорода. Одна сажень сосновыхъ, аршинныхъ, дровъ замѣняетъ собою при топкѣ 20 пудъ хорошаго каменнаго угля. Употребляя для топки дрова, слѣдуетъ дѣлать рѣшетку вдвое менѣе той, какая дѣлается для каменнаго угля. Слой дровъ на рѣшеткѣ долженъ быть гораздо толще слоя каменнаго угля; иначе воздухъ будетъ проходить между дровъ, несожигая ихъ вполнѣ. Оттого, въ этомъ случаѣ, топка дѣлается глубже и длиннѣе: разстояніе рѣшетки до дна котла дѣлается до 3 фут.; площадь сѣченія трубы и дымовыхъ ходовъ дѣлается вдвое больше той, какая была-бы въ случаѣ каменнаго угля; то-есть, для сожженія въ часъ 1-го пуда дровъ надобно придавать 1 кв. футъ площади дымовыхъ ходовъ. Это потому, что дерева идетъ вдвое больше противъ каменнаго угля, на образованіе даннаго количества пара. Такъ-какъ въ этомъ случаѣ пламя охватываетъ снизу гораздо большую поверхность котла, а именно, почти половину всей нижней поверхности, то обыкновенно, въ случаѣ цилиндрическихъ котловъ, нагрѣваемыхъ дровами, недѣлаютъ боковыхъ дымовыхъ оборотовъ.

Торфъ. Для топки въ паровыхъ печахъ употребляется также торфъ, хотя вообще говоря, горѣніе торфа никогда не бываетъ слишкомъ дѣятельнымъ. Гораздо лучше примѣшивать къ торфу $^1/_4$ часть дровъ. Очагъ для торфа устроивается точно также какъ и для дровъ. —

Опытами найдены слѣдующія количества пара, образуемыя разнаго рода топливами, при хорошемъ устройствѣ печей, въ паровикахъ изъ котельнаго желѣза или мѣди:

1) Одинъ пудъ жирнаго каменнаго угля доставляетъ 5, 6 и 7 пудовъ паровъ, смотря по формѣ, устройству

паровика и давленію, при которомъ дѣйствуетъ машина. Иногда даже получали 8 п., но рѣдко.

2) Пудъ каменнаго угля, тощаго, въ мелкихъ кускахъ, доставляетъ 5 п. паровъ.

3) Коксъ, отъ 7 до 8 п.

4) Сосновыя и всякія другія, сухія, дрова, отъ 3 до 3½ п.

5) Древесный уголь, отъ 6 и 7½ п.

6) Плотный торфъ, сжатый машиною, отъ котораго остается до 8% золы, отъ 2½ до 3 п.

7) Большею частію торфъ недаетъ болѣе 1½ или 2 п.

142. *Количество топлива и работа соотвѣтствующая 1 пуду.* — Количество топлива, расходуемое на 1 лошадь, зависитъ отъ устройства паровой машины и тщательности съ какою она содержится. Среднимъ числомъ полагается слѣдующее:

Устройство машины.	Работа доставляемая 1 пудомъ каменнаго угля.		Количество топлива, на 1 лошадь, въ часъ.
	При лучшемъ содержаніи.	При обыкновенномъ содержаніи.	
Машины обыкновеннаго давленія, по системѣ Уатта, безъ расширенія и съ холодильникомъ	177120 пуд. ф.	147600 пуд. ф.	12 до 15 фунт.
Усиленнаго давленія, съ расширеніемъ и съ холодильникомъ . .	354240 — —	295200 — —	6 до 7½, но чаще всего 9½ ф.
Усиленнаго давленія, съ расширеніемъ, безъ холодильника . . .	305040 — —	180400 — —	10 до 12 ф.
Усиленнаго давленія, безъ расширенія и безъ холодильника (неподвижныя)	88560 — —	70454 — —	19½ до 24½ ф.

143. *Паропроводная труба.* — Изъ паровика проводится паръ въ раздѣлительную коробку мѣдною трубою. Діаметръ трубы долженъ быть тѣмъ болѣе, чѣмъ большее количество пара расходуетъ машина, то-есть чѣмъ сильнѣе машина. Въ практикѣ для машинъ обыкновеннаго давленія опредѣляютъ діаметръ паропроводной трубы по двумъ способамъ. По первому онъ дѣлается въ $^1/_8$ діаметра пароваго поршня. По второму, площадь поперечнаго сѣченія трубы содержитъ въ себѣ столько квадратныхъ дюймовъ, во сколько лошадей полагается машина.

Паропроводную трубу ставятъ на паровикѣ отвѣсно, потомъ изгибаютъ колѣномъ внизъ для воспрепятствованія водѣ попадать въ паровой цилиндръ вмѣстѣ съ паромъ. При значительной длинѣ трубы, обертываютъ ее соломою или обкладываютъ войлокомъ, для предупрежденія излишняго охлажденія пара.

При входѣ трубы въ раздѣлительную коробку устроиваютъ кранъ, повертывающійся на горизонтальной оси, отъ дѣйствія центробѣжнаго уравнителя.

144. *Раздѣлительная коробка. Золотники и краны* — *Раздѣлительною коробкою* называется чугунный ящикъ, въ который входитъ паръ изъ паровика, прежде нежели войдетъ въ паровой цилиндръ. Въ коробкѣ паръ направляется поперемѣнно то въ верхнюю то въ нижнюю часть цилиндра, или посредствомъ *золотниковъ* или посредствомъ *кранов*. Укажемъ на главнѣйшіе способы распредѣленія пара.

1. Коробка *B*, *(Чер. 190)* въ которую паръ входитъ непрерывно изъ паровика трубою *C*, сообщена съ цилиндромъ прямоугольными окошками *F* и *G*, а съ холодильникомъ окошкомъ *H*. Золотникъ *A* имѣетъ видъ прямоугольной коробки, съ плоскими закраинами *D* и *E*. Въ положеніи представленномъ на чертежѣ коробка покрываетъ окошки *G* и *H*, и въ слѣдствіе этого паръ изъ нижней части цилиндра проходитъ въ холодильникъ, въ

то время какъ изъ паровика окошкомъ *F* новый паръ входитъ въ верхнюю часть цилиндра, и поршень опускается. Когда онъ дойдетъ до низу, тогда, посредствомъ стержня *AI*, перемѣщаютъ золотникъ такъ, чтобы закраины *D* и *E* прилялись въ *E'* и *D'*.

Подобный механизмъ употребляется въ паровыхъ машинахъ Уатта, англійскаго устройства. Его можно приспособить и къ машинамъ съ расширеніемъ пара, сдѣлавъ коробку *A* длиннѣе, на величину діаметра окошка *F*. Дѣйствительно, при такомъ устройствѣ, верхняя закраина *D* закроетъ окошко *F* прежде нежели нижняя *E* дойдетъ до окошка *G*, и такимъ образомъ, прервется сообщеніе цилиндра съ паровикомъ, и поршень будетъ двигаться отъ расширяющагося пара.

Описанный нами способъ имѣетъ одно, важное, неудобство. Такъ-какъ внѣшняя грань коробки *A* находится постоянно въ сопрокосновеніи съ входящимъ паромъ а внутренняя сообщена съ холодильникомъ, то, отъ давленія пара, треніе закраинъ бываетъ очень значительно.

2. Избѣгая неудобства предъидущаго способа дѣлаютъ *трубчатый* золотникъ *(Чер. 191)*. Изъ паровика приводится паръ въ раздѣлительную коробку отверзтіемъ *a*, обходитъ цилиндрическій золотникъ *A* кругомъ и входитъ въ верхнюю часть цилиндра окошкомъ *B*; въ то-же самое время, изъ нижней части цилиндра паръ проходитъ въ холодильникъ окошкомъ *C* и трубою *D*. Въ слѣдствіе этого поршень *F* опускается. Когда поршень дойдетъ до низу, тогда, посредствомъ стержня *G*, перемѣщаютъ золотникъ такъ что плоскія его закраины *g* и *g'* переходятъ въ положенія *h* и *h'*. Въ этомъ положеніи золотника паръ изъ паровика проходитъ подъ поршень, а изъ верхней части цилиндра паръ, произведшій свое дѣйствіе, устремляется въ окошко *B*, проходитъ внизъ сквозь пустой внутри золотникъ и охлаждается въ холодильникѣ.

Это устройство, подобно предъидущему, можно приспособить къ машинѣ съ расширеніемъ пара.

Въ случаѣ значительнаго хода, слѣдуетъ, вмѣсто одного, употреблять два золотника, на одномъ общемъ стержнѣ, подобно тому какъ показано въ пароходной машинѣ (§. 121 *Чер. 164)*. Это измѣненіе необходимо, потому-что, при большой длинѣ золотника трудно приладить его къ стѣнамъ коробки такъ, чтобы не было просачиванія пара.

3. Можно распредѣлять паръ посредствомъ двухъ поршней A и A', движимыхъ общимъ стержнемъ I, *(Чер. 192)* въ цилиндрѣ малаго діаметра, параллельномъ паровому цилиндру. Паръ приводится трубою C и проходитъ въ верхнюю часть цилиндра окошкомъ F, въ то время какъ изъ нижней части, окошкомъ G, выходитъ въ трубу H и въ холодильникъ.

4. Можно также распредѣлять паръ посредствомъ коническаго крана, съ двумя внутренними проходами. На *Чер. 193* показанъ поперечный разрѣзъ крана въ гнѣздѣ. Изъ паровика паръ проходитъ трубою A, черезъ кранъ и направляется въ верхнюю часть цилиндра трубкою B; въ это самое время изъ нижней части цилиндра трубкою C, паръ произведшій дѣйствіе проходитъ въ холодильникъ трубкою D. По окончаніи хода поршня сверху внизъ, поворачиваютъ кранъ на $^1/_4$ оборота. Въ слѣдствіе этого, нижняя часть цилиндра C сообщается съ паровикомъ A, а верхняя B съ холодильникомъ. Вмѣсто коническаго крана съ внутренними проходами можно употребить кранъ въ видѣ плоской разгородки MN, приводимой въ попеременное вращательное движеніе на горизонтальной оси O. Раздѣленіе пара объясняется совершенно подобно тому, что и въ случаѣ коническаго крана. Бруски m и n опредѣляютъ величину хода разгородки.

Вообще распредѣленіе пара посредствомъ поршней и крановъ неудобно тѣмъ, что поверхности ихъ скоро об-

тираются, и тогда паръ просачиваетъ изъ одной части цилиндра въ другую.

5. Въ прежнее время для распредѣленія пара употребляли конические или сферические клапаны, приводимые въ движеніе стержнями, въ опредѣленныя мгновенія. Но опыты показали что клапаны неудобны, по причинѣ неизбѣжныхъ просачиваній пара.

145. *Механизмы для движенія раздѣлительныхъ золотниковъ и крановъ.* — Для сообщенія перемежнаго движенія золотникамъ, кранамъ и клапанамъ, въ прежнее время употреблялись колѣнчатые рычаги. Мы говорили о подобномъ устройствѣ при описаніи атмосферной машины. Оно неудобно по причинѣ неплавности движенія и потрясеній случающихся при всякой перемѣнѣ движенія.

Въ нынѣшнее время для движенія стержней золотниковъ и крановъ употребляются почти исключительно разнаго вида эксцентрики и шатуны. Объ одномъ изъ подобныхъ устройствъ мы говорили при описаніи Уаттовой машины. Опишемъ здѣсь, треугольный эксцентрикъ употребляемый въ Вульфовой машинѣ. *(Чер. 194).*

Чугунный эксцентрикъ *A*, ограниченный тремя равными дугами круга, каждая въ 60°, привинчивается къ кружку *B*, насаженному на конецъ горизонтальнаго вала *D*, получающаго непрерывное круговое движеніе отъ вала маховика, посредствомъ зубчатаго зацѣпленія. Эксцентрицитетъ *CD* дѣлается въ $^{2}/_{3}$ всей длины перпендикуляра, опущеннаго изъ вершины *C* на хорду *EF* противоположной дуги и вершина *C* располагается въ центрѣ кружка *B*. Треугольникъ помѣщаютъ въ проймѣ, ограниченной двумя параллельными брусками *HE* и *GF* и двумя дугами *HG* и *EF* желѣзнаго круга *I*, концентрическаго съ кружкомъ *B*. Къ кругу прилажены двѣ части *K* и *K'* желѣзнаго шатуна, Внутренній радіусъ круга *I* равенъ радіусу эксцентрика *A*, или что все равно разстояніи *EF* параллельныхъ брусковъ *HE* и *GF*.

При подобномъ устройствѣ, когда кружокъ *B* вращается по направленію *FEH*, тогда дуга *CE* поднимаетъ брусокъ *HE*, сначала быстро, подъ конецъ медленнѣе. Когда брусокъ *HE* займетъ крайнее положеніе *H'E'*, тогда, при дальнѣйшимъ вращеніи эксцентрика, дуга его *EF* будетъ касаться къ бруску *H'E'*, въ продолженіи $^1/_6$ части всего оборота: въ продолженіи этого времени брусокъ *H'E'* будетъ оставаться на мѣстѣ. Когда послѣ того дуга *CE* дойдетъ до положенія *CH*, тогда треугольникъ, нажимая нижній брусокъ *G'F'*, въ продолженіи $^2/_6$ оборота, заставитъ перейти въ положяніе *G"F"*. Въ этомъ положеніи остается брусокъ на мѣстѣ $^1/_6$ часть времени всего оборота, послѣ чего, опять поднимается, и въ $^2/_6$ оборота переходитъ изъ положенія *G"F"* въ положеніе *G'F'*. Перемежныя движенія вверхъ и внизъ круга *I* сообщаются стержнями *K* и *K'* золотникамъ въ раздѣлительной коробкѣ.

146. *Паровой цилиндръ.* — Скорость поршня въ цилиндрѣ бываетъ неодинакова. По правилу Уатта:

въ машинахъ, силою:	*поршень движется со скоростью:*
4 до 20 лошадей,	отъ 36 до 40 дюймовъ въ 1"
20 — 30 —	— 40 — 48 — —
30 — 60 —	— 48 — 50 — —
60 — 100 —	— 50 — 52 — —

Ходъ поршня, то-есть высота цилиндра дѣлается отъ 2 до 3 діаметровъ. Зная работу машины, выраженную лошадьми, можно опредѣлить діаметръ поршня и внутренній діаметръ цилиндра. Пусть будетъ *N* число лошадей, представляющее дѣйствительную работу машины, на валѣ маховаго колеса. Это число надобно умножить на нѣкоторое число $\frac{1}{K}$, сообразно съ тѣмъ что сказано въ §. 127, для полученія работы принимаемой поршнемъ. Полагая лошадь въ 15 пуд. фут. въ 1", получимъ работу на поршнѣ, въ 1"

$$15.\frac{N}{K}\text{ п. ф.}$$

Назовемъ d діаметръ поршня, p давленіе пара на единицу площади, p' давленіе пара въ холодильникѣ, V скорость поршня въ 1″; ясно что $\frac{\pi d^2}{4}(p-p')V$ представитъ работу принимаемую поршнемъ въ 1″. Отсюда получимъ уравненіе:

$$\pi d^2 (p-p') V = 15.\frac{N}{K},$$

изъ котораго выведемъ d.

Цилиндръ дѣлается изъ чугуна, тщательно обтачивается внутри, и покрывается сверху и снизу крышками, плотно привинчиваемыми къ закраинамъ. Внизу и вверху устроиваются въ цилиндрѣ два прямоугольныя окошка, для впуска и выпуска пара. Къ верхней крышкѣ придѣлывается *сальникъ*, — коробка съ конопатью, сквозь которую пропускается стержень поршня. На *Чер. 195* показанъ цилиндръ въ продольномъ разрѣзѣ.

147. *Поршень.* — Устройство и отдѣлка пароваго поршня имѣютъ большое вліяніе на дѣйствіе паровой машины. Поршень долженъ удовлетворять двумъ условіямъ:

1) Имѣть достаточную толщину, для удержанія паровъ, стремящихся изъ одной части цилиндра въ другую. Теорія показываетъ что отношеніе толщины поршня къ діаметру должно равняться коэфиціенту трежія f, соотвѣтствующему веществу, изъ котораго составлена внѣшняя обдѣлка поршня. Поэтому, если цилиндръ изъ чугуна а поршень обдѣланъ бронзою, или обмотанъ пенькою, то, какъ въ первомъ случаѣ $f = {}^1/_6$, а во второмъ ${}^1/_6$, слѣдуетъ дѣлать толщину поршня съ бронзовою обдѣлкою въ ${}^1/_6$ діаметра, а обмотаннаго пенькою въ ${}^1/_6$. Это правило наблюдается въ практикѣ.

2) По мѣрѣ того какъ поверхность поршня обтирает-

ся отъ употребленія, діаметръ его долженъ увеличиваться.

Поршни къ паровымъ цилиндрамъ дѣлаются двухъ родовъ: 1-е) обмотанные пенькою; 2-е) металлическіе. На *Чер. 196* и *197* представлены два примѣра устройства поршней.

Поршни съ пеньковою одеждою. Это самые употребительные поршни, для машинъ обыкновеннаго давленія. Въ составъ ихъ входятъ: *(Чер. 196)*, *основаніе A*, имѣющее видъ чугуннаго кружка, съ проймою на срединѣ для стержня, и съ выемкою внизу для закладки чеки или гайки, которыми прикрѣпляется стержень; *крышка B*, также съ проймою на срединѣ для пропуска стержня, она дѣлается съ отвѣсною закраиною, которая надѣвается на верхнюю часть основанія. На внѣшней поверхности поршня устроена выемка, въ которую кладется пенька, напитанная жиромъ и туго скрученная. Крышка привинчивается къ основанію винтами *d*, которыхъ концы входятъ въ стальныя гайки *e*, заложенныя предварительно въ гнѣзды, устроенныя въ основаніи. Это устройство необходимо, потому-что гаечный нарѣзъ въ чугунѣ слишкомъ непроченъ. Винты *d* употребляются для выдавливанія пеньковой одежды, по-мѣрѣ истребленія ея отъ тренія. Впрочемъ, это приходится дѣлать довольно рѣдко, потому-что отъ пара, проходящаго въ щели около болтовъ, пенька бухнетъ и плотно прилегаетъ къ цилиндру. Стержень поршня оканчивается широкою закраиною *f*, которая лежитъ на крышкѣ поршня. Нижній конецъ стержня оканчивается винтовымъ нарѣзомъ, на который навинчивается гайка, или продѣвается чекою.

Что-бы при движеніи поршня болты *d* неотвинчивались, дѣлаютъ квадратныя шляпки, кладутъ кругъ *g* касательно къ нимъ, и двѣ его лапы *h*, привинчиваютъ болтиками *k*.

Для уменьшенія тренія, необходимо смазывать пор-

шень. Съ этою цѣлью, по временамъ, наливаютъ растопленное сало на верхнюю грань поршня, черезъ особую воронку съ краномъ, устроенную въ крышкѣ цилиндра.

Поршни съ металлическою одеждою. Для машинъ усиленнаго давленія пеньковая одежда негодится: она слишкомъ скоро истребляется. Металлическая одежда дѣлается различно, изъ бронзовыхъ колецъ или сегментовъ, располагаемыхъ такъ, что по мѣрѣ истребленія ихъ отъ тренія, пружины выдавливаютъ одежду снутри.

На *Чер. 197* показанъ примѣръ устройства подобнаго поршня. Промежутокъ между крышкою *B* и основаніемъ *A* заполненъ бронзовыми сегментами *a*, расположенными въ закрой, въ четыре ряда: по два горизонтально и по два отвѣсно. Сегменты выдавливаются снутри концами пружинъ *b*, которыхъ средины прикрѣплены къ основанію поршня.

148. *Сальникъ.* — Въ томъ мѣстѣ гдѣ стержень проходитъ черезъ крышку цилиндра устроивается *сальникъ*, для предупрежденія просачиванія пара. Сальники дѣлаются съ *кожаною*, *пеньковою* и *металлическою обдѣлкою*.

Кожаная обдѣлка можетъ быть допущена только въ машинахъ обыкновеннаго давленія; даже и въ этомъ случаѣ, отъ сильной теплоты пара, кожа высыхаетъ и лишается упругости. Кожанью сальники устроиваются двояко. По первому способу, нѣсколько кожаныхъ кружковъ, надѣваются на стержень, одинъ на другой, и прижимаются одинъ къ другому и къ краямъ отверзтія винтами, пропущенными черезъ крышку сальника. По второму способу, кожаный воротъ надѣвается на стержень и верхній край ворота прижимается сверху закраиною крышки сальника.

Сальникъ съ пеньковою обдѣлкою устроиваются слѣдующимъ образомъ. Въ крышкѣ цилиндра (*Чер. 198*) дѣлается пройма, въ которую проходитъ свободно стержень. Вмѣстѣ съ крышкою отливается чугунная муфта *A*,

въ которую ввинчивается втулка *B*, которой нижній край скошенъ. На дно сальника кладется пакля *C*, напитанная жиромъ, и потомъ ввинчивается втулка. Въ верхней части втулки устроена воронка, наполняемая растопленнымъ саломъ.

Металлическая обдѣлка въ сальникахъ устроивается подобно тому, какъ подобная-же одежда въ поршняхъ. Стержень проходитъ сквозь чугунную коробку *(Чер. 199)*; между стѣнами коробки и бронзовыми секторами *E*, кладется тонкій слой пакли, пропитанной жиромъ. Секторы прижимаются къ стержню дѣйствіемъ спиральныхъ пружинъ *G*; концы пружинъ упираются въ стальные круги *C*. Стержень охваченъ, сверху и снизу, двумя стальными кольцами *H* и *I*, которыя, дѣйствуя какъ пружины, плотно сжимаютъ стержень. На срединѣ устроенъ желобокъ *K*, для сала, которое просачиваетъ изъ воронки *L*.

149. *Приводы для передачи и уравненія движенія.* — Движеніе стержня передается коромыслу, посредствомъ параллелограмма Уатта, а отъ коромысла переходитъ къ валу маховика, посредствомъ шатуна и мотыля. Объ этихъ приводахъ мы говорили въ статьѣ о преобразованіи движеній.

Передача движенія посредствомъ коромысла неудобна тѣмъ, что машина занимаетъ слишкомъ много мѣста. Иногда находятъ необходимымъ передать движеніе поршня валу маховика безъ употребленія коромысла. Въ подобныхъ случаяхъ, верхній конецъ стержня заставляютъ двигаться взадъ и впередъ, посредствомъ *правилокъ*, о которыхъ было говорено въ §. 36, и шатунами преобразовываютъ движеніе его въ круговое непрерывное. Примѣръ этому представляетъ передача движенія въ паровозахъ.

Движеніе паровой машины можетъ быть неравномѣрнымъ по двумъ причинамъ: по причинѣ измѣняющагося количества пара и его упругой силы, и по причинѣ

перемѣняющейся безпрестанно работы, передаваемой шатуномъ валу. Для предупрежденія излишнихъ отклоненій скорости машины отъ средней, употребляется центробѣжный регуляторъ, который, дѣйствуя на впускной кранъ, въ паропроводной трубѣ, управляетъ количествомъ входящаго пара. Для уменьшенія періодическихъ измѣненій скорости вала, отъ неравномѣрнаго дѣйствія шатуна, служитъ маховое колесо.

Объ опредѣленіи размѣровъ центробѣжнаго регулятора и маховаго колеса было говорено въ статьѣ объ уравниваніи движенія. (§. 43 и слѣд.).

150. *Холодильникъ.* — Холодильникъ долженъ вмѣщать въ себѣ не только холодную воду, впускаемую для охлажденія пара, при каждомъ размахѣ поршня, и ту, какая происходитъ отъ охлажденія пара, но, сверхъ того, вмѣстимость его должна быть достаточна для содержанія въ себѣ воздуха, отдѣляющагося изъ воды. Упругая сила этого воздуха, вмѣстѣ съ давленіемъ пара, остающагося въ холодильникѣ, при температурѣ около 32° Реомюра, замедляютъ ходъ поршня. Давленіе пара при 32° равно 4 пуд. на квадр. футъ; давленіе воздуха, отдѣляющагося изъ воды, бываетъ около 3 пудъ на кв. футъ; такъ что, въ суммѣ давленіе пара и воздуха въ холодильникѣ доходитъ до 7 пудъ на 1 кв. футъ. Принимая это за основаніе, можно опредѣлить *необходимую* вмѣстимость холодильника.

Назовемъ Q вѣсъ пара входящаго въ паровой цилиндръ, при каждомъ размахѣ поршня, Q' вѣсъ холодной воды, впускаемой для охлажденія пара (§. 107), то $Q+Q'$ будетъ вѣсъ впущенной воды и охлажденнаго пара. Пусть будетъ Θ объемъ этой воды. Опытомъ найдено, что вода, въ обыкновенномъ своемъ состояніи, содержитъ въ себѣ воздухъ, котораго объемъ, при среднемъ атмосферномъ давленіи, составляетъ $^1/_{20}$ объема воды. Поэтому, въ объемѣ Θ содержится $^1/_{20}\Theta$ воздуха, при температурѣ

10° (то-есть наружнаго воздуха) и при обыкновенномъ давленіи, въ 58,58 пудъ на 1 кв. футъ. При переходѣ въ холодильникъ, воздухъ расширится, потому-что температура его изъ 10° сдѣлается равною 32°, а давленіе, изъ 58,58 пудъ на кв. футъ, уменьшится до 3 пудъ. Полагая сперва, что температура неперемѣнилась, понятно что отъ уменьшенія давленія, объемъ $^1/_{20}\Theta$ перемѣнится въ $^1/_{20}\Theta \times \frac{58,58}{3} = {}^1/_{20}\Theta \times 19,53$. Потомъ, принимая въ соображеніе расширеніе отъ теплоты, и полагая коэфиціентъ расширенія смѣси пара и воздуха въ $\frac{1}{219}$ объема занимаемаго при 0° (Часть I. §. 43), найдемъ что 1 объема смѣси, нагрѣваясь отъ 0° до 10°, дѣлается $1 + \frac{10}{219}$, и таже самая 1-ца, при переходѣ отъ 0° до 32, перемѣняется въ $1 + \frac{32}{219}$. Стало-быть, объемъ $19,53 \times {}^1/_{20}\Theta$, при 10°, будетъ относиться къ искомому объему x, при 32°, какъ $1 + \frac{10}{219}$ къ $1 + \frac{32}{219}$, то-есть:

$$x : 19,53 \times {}^1/_{20}\Theta = 251 : 229$$

откуда $$x = 21,5 \times {}^1/_{20}\Theta,$$

то-есть, почти $x = \Theta$.

Поэтому, вмѣстимость холодильника должна быть не менѣе удвоеннаго объема Θ смѣшенія воды, впускаемой при каждомъ размахѣ, съ охлаждаемымъ паромъ.

Въ практикѣ дѣлаютъ эту вмѣстимость гораздо болѣе.

Холодильнику придаютъ форму цилиндра, и располагаютъ его подъ паровымъ цилиндромъ, въ чанѣ, наполненномъ холодною водою, изъ котораго она ввергается непрерывною дождевою струею, какъ-скоро откроютъ впускной кранъ.

На *Чер. 200* представлено расположеніе холодильника

и смежнаго съ нимъ воздушнаго насоса, въ машинѣ Уатта.

A холодильникъ, *B* отверзтіе, которымъ паръ приводится изъ цилиндра; *a* отверзтіе закрываемое заслонкою *cb*, для впуска холодной воды; *C* мѣдный клапанъ, сообщающій холодильникъ съ воздушнымъ насосомъ *F*; *D* поршень насоса, съ двумя окошками, закрываемыми клапанами *g*, *g'*, которые могутъ подниматься не выше правилокъ *E*, *E*; *L* труба съ клапаномъ *M*, для отведенія воды, поднятой воздушнымъ насосомъ.

151. *Насосы: воздушный, нагнетательный и для холодной воды.* — Такъ какъ воздушный насосъ, при каждомъ размахѣ долженъ очищать холодильникъ, то цилиндрическая вмѣстимость насоснаго става должна быть равна, по меньшей мѣрѣ, вмѣстимости холодильника.

Размѣры нагнетательнаго насоса опредѣляются по количеству воды, которое превращается въ паръ, въ паровикѣ, при каждомъ размахѣ поршня.

Измѣренія насоса, накачивающаго холодную воду изъ колодца, опредѣляются такъ, что-бы при каждомъ размахѣ вливалось въ чанъ столько воды, сколько нужно для охлажденія пара.

152. *Правила Уатта.* — Слѣдующія правила приняты Уаттомъ и его послѣдователями, при опредѣленіи составныхъ частей машинъ обыкновеннаго давленія. Приводя ихъ здѣсь, мы должны замѣтить, что Уаттъ, изъ предосторожности, придавалъ составнымъ частямъ своихъ машинъ измѣренія, нѣсколько болѣе нужныхъ.

Паровой цилиндръ и *поршень*. Діаметръ парового цилиндра *d*, въ дюймахъ, находится по слѣдующей формулѣ:

$$d = \sqrt{6050 \cdot \frac{N}{V}}$$

гдѣ *N* дѣйствительная работа машины, выраженная лошадьми; *V* скорость поршня, въ минуту, въ футахъ.

Такъ напримѣръ, если $N = 10$ лош., $V = 200$ фут., то $d = 17^1/_2$ дюймамъ.

Таблица

составленная по правиламъ Уатта, для опредѣленія размѣровъ цилиндра, скорости и числа ходовъ поршня, давленія и расхода пара, въ машинахъ обыкновеннаго давленія, двойнаго дѣйствія.

Работа машины въ лошадяхъ.	Цилиндръ.		Ходъ поршня.			Расходъ пара въ минуту, въ кубическ. футахъ.	Полезное сопротивленіе на 1 кв. д. площ. поршня, въ фунт.	Расходъ пара на 1 лошадь въ минуту, въ кубич. футахъ.	Полезное сопротивленіе на всю площадь поршня въ пудахъ.
	Діаметръ въ дюймахъ.	Площадь въ квадрат. дюйм.	Длина хода, въ одну сторону, въ футахъ.	Число двойныхъ ходовъ въ минуту.	Скорость въ минуту въ футахъ.				
лош.	дюйм.	кв. д.	фут.	ход.	фут.	к. ф.	фун.	к. ф.	пуд.
4	12	113,1	3	29	174	153	7,53	33,7	21,25
6	14	153,9	$3^1/_2$	27	189	202	7,55	33,6	29,03
8	16	201,1	4	26	192	268	7,60	33,5	38,11
10	$17^1/_2$	240,5	4	25	200	334	7,62	33,4	45,93
12	19	283,5	4	25	200	400	7,63	33,3	55,07
14	$20^3/_8$	334,1	4	25	200	465	7,63	33,2	63,98
16	$21^3/_4$	371,5	$4^1/_2$	23	207	531	7,63	33,2	70,96
18	23	415,5	$4^1/_2$	23	207	598	7,64	33,2	79,72
20	$23^3/_4$	443,0	5	$21^1/_2$	215	662	7,64	33,1	85,06
22	25	490,9	5	$21^1/_2$	215	728	7,64	33,1	93,54
24	26	530,9	5	$21^1/_2$	215	794	7,64	33,1	102,27
26	$26^3/_4$	562,0	$5^1/_2$	20	220	861	7,64	33,1	108,23
28	$27^7/_8$	610,3	$5^1/_2$	20	220	927	7,64	33,1	116,31
30	$28^1/_4$	626,8	6	19	228	993	7,64	33 1	120,39
36	$30^7/_8$	748,7	6	19	228	1192	7,64	33,1	147,32
40	$31^1/_2$	779,3	7	$17^1/_2$	245	1324	7,64	33,1	152,32
45	$33^1/_8$	875,4	7	$17^1/_2$	245	1490	7,64	33,1	169,88
50	$35^1/_8$	969,0	7	$17^1/_2$	245	1650	7,66	33,0	188,82
60	$38^1/_2$	1164,2	7	$17^1/_2$	245	1980	7,66	33,0	225,89
70	$40^3/_4$	1304,2	8	16	256	2310	7,66	33,0	251,93
80	$43^1/_2$	1486,2	8	16	256	2640	7,66	33,0	285,86
90	$46^1/_8$	1670,9	8	16	256	2970	7,66	33,0	321,52
100	$48^5/_8$	1857,0	8	16	256	3300	7,66	33,0	357,27

Расходъ пара. Количество пара, потребляемое маши-

ною обыкновеннаго давленія, равно 33 куб. футамъ въ минуту на лошадь.

*** Теорія даетъ только 26 куб. футъ; излишекъ, полагаемый по правилу Уатта, назначается на пополненіе безполезной траты пара, въ случаѣ если машина содержится несовершенно хорошо.

Объемъ воды, обращаемой въ паръ. Поэтому, объемъ воды обращаемой въ паръ, въ минуту, равенъ 0,0194 куб. фута; а въ часъ 1,165 куб. фута на лошадь.

Паропроводныя трубы. Діаметръ трубы проводящей пары изъ котла въ раздѣлительную коробку, опредѣляется двумя способами. По первому, онъ дѣлается въ $^1/_8$ діаметра поршня; такъ что, поперечное сѣченіе трубы равно $^1/_{23}$ площади поршня. По второму способу, площадь сѣченія трубы содержитъ въ себѣ столько квадратныхъ дюймовъ, во сколько лошадей полагается машина.

Клапанъ, впускающій паръ въ раздѣлительную коробку. Діаметръ впускнаго отверзтія дѣлается въ одинъ дюймъ на каждую лошадь, или площадь его — въ 0,785 квадр. дюйма на каждую лошадь.

Выпускной клапанъ. Діаметръ выпускнаго отверзтія (въ холодильникъ) долженъ быть въ $1^1/_8$ дюйма на лошадь, или площадь его должна быть въ $1^1/_8$ квадр. дюйма на лошадь.

Оба клапана должны открываться совершенно, а примыкающія къ нимъ трубы должны быть нѣсколько больше діаметрами.

Воздушный насосъ. Діаметръ его равенъ $^2/_3$ діаметра пароваго цилиндра. Ходъ воздушнаго поршня равенъ половинѣ хода поршня въ паровомъ цилиндрѣ. Такъ какъ этотъ насосъ выкачиваетъ воду только при восхожденіи своемъ, то *полезный* объемъ, образуемый имъ при каждомъ двойномъ размахѣ пароваго поршня, составляетъ лишь $^1/_2$ того, какой соотвѣтствуетъ ходу пароваго поршня.

Площадь *всасывающаго* клапана должна составлять $^1/_4$ площади воздушнаго насоса, или $^1/_9$ площади пароваго поршня.

Отверзтія въ поршнѣ одинаковы съ всасывающимъ клапаномъ.

Насосъ накачивающій холодную воду. Объемъ, производимый движеніемъ поршня, въ этомъ насосѣ долженъ быть отъ $^1/_{24}$ до $^1/_{18}$ объема пароваго цилиндра.

*** Если вода поднимается на небольшую высоту, такъ что нечего опасаться обремененія машины, или, если случится необходимость заставлять работать машину сильнѣе ея нормальной работы, то необходимо увеличить измѣренія насоса для холодной воды.

Кранъ которымъ холодная вода пускается въ холодильникъ. Обыкновенное отверзтіе этого крана должно быть въ $^1/_{30}$ квадр. дюйма на каждую лошадь; но кранъ долженъ быть такъ устроенъ, что-бы можно было увеличить его отверзтіе до $^1/_{18}$ квадр. дюйма на каждую лошадь.

Питательный резервуаръ. Горизонтъ воды въ этомъ резервуарѣ долженъ быть 8-ю футами выше горизонта воды въ паровикѣ.

Предохранительный клапанъ. Площадь отверзтія предохранительнаго клапана должна быть въ 0,628 квадр. дюйма на каждую лошадь, или діаметръ его въ $^9/_{10}$ дюйма на лошадь. Клапанъ долженъ быть прижатъ съ усиліемъ въ $2^1/_4$ фун. на каждую лошадь.

Коромысла. Горизонтальное разстояніе стержня пароваго поршня до отвѣсной линіи, проходящей черезъ ось маховаго колеса, должно быть равно утроенному ходу поршня. Разстояніе между центрами шиповъ на концахъ коромысла должно быть равно 3,0825 разъ взятой длинѣ хода поршня.

Параллелограммъ. Сопряженіе *G (Чер. 201)* дѣлается

на срединѣ полудлины *AB* коромысла. Длины сторонъ *BF* и *GD* дѣлаются отъ $^1/_2$ до $^3/_7$ хода поршня.

Уаттъ помѣщалъ центръ вращенія правилки *CB* на отвѣсной линіи, проходящей черезъ ось стержня поршня, на одной высотѣ съ серединою дуги, описываемой точкою *D*; однако-жъ удобнѣе бываетъ помѣщать точку *C* внѣ оси стержня, на той-же высотѣ.

Сѣченія четырехъ звеньевъ параллелограмма *FB* и *GD*, въ суммѣ равны $^1/_{144}$ площади поршня. Плоскіе бруски изъ которыхъ они составлены, имѣютъ ширину равную $^1/_{12}$ діаметра поршня, и толщину равную $^1/_{48}$ этого діаметра.

Сѣченіе каждаго болта, которыми скрѣплены звенья параллелограмма, должно составлять $^1/_{262}$ площади поршня; или діаметръ болта долженъ равняться 0,0526 діаметра поршня.

Стержень пароваго поршня. Стержень, изъ желѣза, долженъ имѣть діаметръ въ $^1/_{10}$ діаметра поршня; что соотвѣтствуетъ наибольшему давленію въ 38 пудъ на 1 квадр. дюймъ. Въ большихъ машинахъ можно придавать меньшій діаметръ стержню.

Шатунъ. Длина шатуна втрое болѣе хода поршня или вшестеро болѣе длины рукоятки мотыля.

Поперечное сѣченіе чугуннаго шатуна должно быть въ $^1/_{28}$ площади сѣченія цилиндра, что соотвѣтствуетъ наибольшей силѣ въ 14 пудъ на квадр. дюймъ. Шатунъ дѣлается съ утолщеніями по ребрамъ, и представляетъ въ сѣченіи видъ *(Чер. 202)*. Стороны квадрата описаннаго на этомъ сѣченіи равны, каждая, $^1/_{20}$ длины шатуна.

Площади сѣченій оконечностей шатуна равны $^1/_{33}$ площади поршня; что соотвѣтствуетъ наибольшей силѣ въ 17 пудъ на 1 квадр. дюймъ.

Маховое колесо. Діаметръ маховаго колеса долженъ

быть втрое или вчетверо больше хода поршня. Вѣсъ обода махового колеса опредѣляется по формулѣ: (§. 51),

$$P = 3060.\frac{n.N}{m.V^2}$$

гдѣ P вѣсъ обода въ пудахъ; n число, показывающее степень до которой желаютъ уравнять движеніе. Число n дѣлаютъ равнымъ отъ 20 до 25, когда паровая машина приводитъ въ движеніе механизмы, нетребующіе большой равномѣрности, какъ напр. мукомольныя, пильныя мельницы, насосы и т. п.; отъ 35 до 40, когда машина приводитъ въ движеніе бумагопрядильные станки, нумеровъ отъ 40 до 60; отъ 50 до 60, когда нумера пряжи выше 60-ти, то-есть, когда пряжа очень тонка. N число лошадей, представляющее дѣйствительную работу машины; m число оборотовъ маховаго колеса въ минуту; V скорость обода маховаго колеса, въ секунду, выраженная въ футахъ.

Паровикъ. Площадь нагрѣва дѣлается отъ 15 до 18 кв. футъ на каждую лошадь, дѣйствительной работы машины; или расчитывается что 1 квадр. футъ площади нагрѣва обращаетъ, въ 1', 0,02 куб. фута воды, и образуетъ изъ нея $3^1/_2$ куб фута пара, при давленіи въ одну атмосферу.

Рѣшетка. На каждую лошадь дѣйствительной силы машины полагается отъ $^2/_3$ до $^4/_5$ квадр. фута площади рѣшетки, или расчитывается что 1 квадр. футъ площади рѣшетки сожигаетъ въ часъ $15^1/_2$ фунтовъ каменнаго угля лучшей доброты.

Клеманъ полагаетъ что 1 кв. футъ сожигаетъ не болѣе 10 фунтовъ въ часъ, что, конечно относится къ посредственному углю.

При топкѣ дровами надобно полагать 1 квадр. футъ площади рѣшетки, на $^1/_2$ пуда дровъ сожигаемыхъ въ часъ. Площадь пустыхъ промежутковъ между колосниками

дѣлается въ $^1/_7$ всей площади рѣшетки, при топкѣ каменнымъ углемъ, и въ $^1/_4$ при топкѣ дровами.

Слой каменнаго угля на колосникахъ недолженъ быть толще 2 или $2^1/_2$ дюймовъ, и отнюдь не толще 3 дюйм.

Длина рѣшетки составляетъ $^1/_5$ длины паровика.

Разстояніе отъ рѣшетки до средины вогнутаго дна паровика дѣлается отъ 12 до 16 дюймовъ, при топкѣ углемъ, и отъ 24 до 36 дюймовъ, при топкѣ дровами. У краевъ это разстояніе вдвое менѣе.

Дымовые обороты и труба. Подъ печи возвышается надъ колосниками отъ 6 до 9 дюйм., въ случаѣ угля, и на 12 въ случаѣ дровъ. Сѣченіе оборота подъ паровикомъ равно $^1/_3$ площади рѣшетки. Сѣченіе боковыхъ оборотовъ въ $^1/_8$, а дымовой трубы въ $^1/_6$ площади рѣшетки.

Высота трубы дѣлается отъ 60 до 120 футъ.

153. *Сравненіе между собою разнаго рода системъ паровыхъ машинъ. — Машины обыкновеннаго давленія (Уатта)*, представляютъ слѣдующія выгоды:

Устройство ихъ проще другихъ машинъ; въ нихъ одинъ только поршень, и работа потребляемая треніемъ менѣе нежели въ машинахъ съ двумя цилиндрами (*Вульфа*). Такъ какъ упругая сила пара незначительна, то трата пара менѣе, и опасность взрыва не столь значительна.

Неудобства ихъ состоятъ въ томъ, что при работѣ, одинаковой съ машинами Вульфа (съ расширеніемъ и съ холодильникомъ), размѣры и вѣсъ ихъ болѣе и потребленіе топлива значительнѣе. Онѣ требуютъ не менѣе $27^1/_2$ куб. фут. воды на лошадь, въ часъ, для охлажденія и для пополненія испаряющейся воды въ котлѣ.

Машины съ расширеніемъ и съ холодильникомъ (Вульфа), среднимъ числомъ потребляютъ топлива $^1/_5$-ю менѣе чѣмъ машины обыкновеннаго давленія, и это ихъ главное достоинство. Невыгоды ихъ состоятъ въ томъ, что онѣ сложнѣе Уаттовыхъ машинъ; по причинѣ двухъ цилин-

дрови и двухъ поршней и болѣе сложнаго раздѣленія пара, трата пара значительнѣе и содержаніе машины въ исправности затруднительнѣе. Онѣ требуютъ не менѣе $10^1/_2$ куб. фут. воды. на лошадь, въ часъ, для образованія и охлажденія пара.

Машины съ расширеніемъ безъ холодильника. Машины усиленнаго давленія съ расширеніемъ и безъ холодильника выгодны тѣмъ, что нетребуютъ воды для охлажденія пара и что при одинаковой работѣ съ предъидущими, онѣ меньше вѣсомъ и размѣрами.

Онѣ невыгодны тѣмъ, что потребляютъ болѣе топлива, нежели машины усиленнаго давленія съ расширеніемъ и холодильникомъ; содержаніе ихъ въ исправности затруднительнѣе и трата пара тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе его упругая сила. Онѣ неудобны еще тѣмъ, что въ нихъ необходимо употреблять паръ не менѣе 4 или 5 атмосферъ, потому-что трата работы при выходѣ паровъ въ воздухъ составляетъ тѣмъ большую часть всей работы пара, чѣмъ меньше упругая сила пара. Оттого еще увеличивается опасность взрыва.

Машины усиленнаго давленія, безъ расширенія и безъ холодильника. Единственное ихъ удобство то, что размѣры ихъ и вѣсъ меньше нежели другихъ машинъ, при одной и той-же работѣ.

Онѣ неудобны тѣмъ, что потребляютъ много топлива; затруднительны для содержанія въ исправности и представляютъ опасность взрыва.

Изъ предъидущаго обзора выгодъ и недостатковъ разнаго рода паровыхъ машинъ слѣдуетъ:

1) Въ мѣстахъ, гдѣ топливо не очень дорого, слѣдуетъ предпочитать машины обыкновеннаго давленія.

2) Тамъ гдѣ топливо дорого и есть возможность содержать машину въ исправности, должно употреблять машины съ расширеніемъ и съ холодильникомъ.

3) На рѣчныхъ пароходахъ выгодно употреблять машины усиленнаго давленія, съ расширеніемъ и безъ холодильника; если только можно имѣть хорошихъ машинистовъ, для присмотра за исправнымъ дѣйствіемъ машины.

4) Для паровозовъ, предпочтительнѣе другихъ, — машины усиленнаго давленія, съ расширеніемъ или безъ расширенія, но безъ холодильника. Условіе наименьшаго вѣса и объема самое важное въ этомъ случаѣ.

IV.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

154. *Предметъ статьи.* — Говоря о составѣ фабричныхъ машинъ вообще (§. 5), мы сказали что во всякой изъ нихъ можно отличить три главныя части: пріемникъ, приводы движенія и *орудіе* или *исполнительный механизмъ*. *Орудіемъ* (outil, Werkzeug, tool) принято называть ту часть машины, которая дѣйствуетъ непосредственно на обрабатываемое вещество и производитъ полезное дѣйствіе. Въ мукомольной мельницѣ орудіе — *мельничный жерновъ*; въ лѣсопильной — *пила*; въ бумагопрядильной — *прядильный станъ*; и т. п. Понятно-что форма, размѣры и способъ дѣйствія орудій зависятъ отъ ихъ частнаго назначенія; и какъ число фабричныхъ производствъ чрезвычайно значительно, то и орудія должны быть весьма разнообразны. Изслѣдованіе всѣхъ исполнительныхъ механизмовъ, употребляемыхъ въ механическихъ производствахъ, не можетъ найти мѣста въ учебномъ курсѣ Ме-

ханики; тѣмъ болѣе, что правила, по которымъ устроиваются механическія орудія, основаны на точномъ знаніи фабричныхъ производствъ, которое составляетъ собою предметъ Технологіи.

Ограничимся краткимъ изложеніемъ сущности нѣкоторыхъ механическихъ производствъ, и укажемъ ходъ, какому слѣдуютъ при опредѣленіи формы и размѣровъ, употребляемыхъ въ нихъ орудій.

I. Насосы.

155. *Два рода насосовъ. Дѣйствіе всасывающихъ насосовъ.* — *Насосами* называются машины, употребляемыя для подъема жидкихъ тѣлъ, и преимущественно воды. Они бываютъ двухъ родовъ: *всасывающіе* и *нагнетательные*. Дѣйствіе всасывающихъ насосовъ основано на давленіи воздуха на поверхность жидкости. Представимъ себѣ отвѣсную трубу *M (Чер. 203)* открытую съ обоихъ концовъ и нижнимъ концомъ погруженную въ воду; понятно-что въ пустой трубѣ вода поднимется до той-же самой высоты, что и въ водоемѣ. Если вставить въ трубу *поршень*, то-есть, сплошную втулку *C*, плотно притертую къ поверхности трубы, то получится *всасывающая труба*, которой дѣйствіе будетъ слѣдующее. Положимъ что въ началѣ поршень находится на поверхности воды *AB*, то-есть что нѣтъ вовсе воздуха, между его нижнею гранью и водою. Когда станемъ поднимать поршень, тогда внизу будетъ стремиться образоваться пустота, которую тотчасъ-же заполнитъ вода, по причинѣ давленія воздуха на поверхность *AB*. При дальнѣйшемъ движеніи поршня, вода слѣдуетъ за нимъ, до тѣхъ поръ, пока столбъ воды подъ поршнемъ не уравновѣситъ собою атмосфернаго давленія. Поэтому, вода могла-бы подняться за поршнемъ почти до 34 футъ, (или точнѣе 33,9 ф.), если-бы подъ поршнемъ образовалась совершенная пустота. Но такъ не бы-

ваетъ на самомъ дѣлѣ, по слѣдующимъ причинамъ. Въ мгновеніе образованія пустоты подъ поршнемъ, часть воды превращается въ паръ, котораго давленіе уравновѣшиваетъ собою часть атмосфернаго давленія; къ этому давленію присоединяется упругая сила воздуха, освобождающагося изъ воды, и того, какой успѣваетъ всегда просачиваться между поршнемъ и поверхностью цилиндра. Просачиваніе воздуха кругомъ поршня бываетъ всегда столь значительнымъ, что если, приподнявъ поршень на нѣкоторую высоту, оставить его въ покоѣ, то, по прошествіи нѣкотораго времени, все пространство подъ нимъ наполнится воздухомъ, и вода понизится до горизонта въ водоемѣ. При безпрерывномъ и быстромъ движеніи поршня, этого не бываетъ, потому-что воздухъ неуспѣваетъ наполнить собою все пространство подъ поршнемъ. Не менѣе того, однако-жъ, онъ просачивается въ пустоту подъ поршнемъ и уменьшаетъ высоту столба поднимающейся воды. По всѣмъ этимъ причинамъ, вода не можетъ подняться за поршнемъ на 34 фута надъ поверхностью *AB*. Въ лучшихъ насосахъ она поднимается не выше 30 футъ, а въ обыкновенныхъ, — не выше 26 футъ.

Въ поршнѣ *C* сдѣлаемъ окошко и закроемъ его клапаномъ *m*, открывающимся кверху. На нижнемъ концѣ трубы устроимъ другое окошко, съ клапаномъ *n*, также открывающимся кверху. Сверхъ того, къ верхнему концу трубы придѣлаемъ рукавъ *p*, для выпуска воды. Устроенная такимъ образомъ труба, съ поршнемъ, двумя клапанами и рукавомъ, будетъ представлять *всасывающій насосъ*, въ простѣйшемъ видѣ. При подъемѣ поршня, клапанъ *m* закроется отъ давленія воздуха, клапанъ *n* откроется и вода войдетъ въ трубу. Если, поднявъ поршень на нѣкоторую высоту, станемъ его опускать, то давленіе воды закроетъ клапанъ *n* и откроетъ *m*; въ слѣдствіе этого, вода пройдетъ окошкомъ *m* въ верхнюю

часть трубы, и при дальнѣйшемъ дѣйствіи поршня поднимется до рукава *p*.

156. *Составныя части всасывающаго насоса.*—Обыкновенно всасывающій насосъ состоитъ изъ двухъ трубъ, *(Чер. 204)* одной *поршневой*, или, такъ называемаго *насоснаго става*, или *стакана*, въ которомъ движется поршень, другой *всасывающей*, погруженной нижнимъ концомъ въ водоемъ. Всасывающая труба отдѣляется отъ поршневой перегородкою, въ которой сдѣлано отверзтіе, закрывающееся сверху клапаномъ; другой клапанъ помѣщается на днѣ всысывающей трубы; или, одинъ клапанъ закрываетъ отверзтіе въ перегородкѣ, другой въ поршнѣ. Иногда въ верхней части насоса придѣлываютъ съ боку третью трубу, называемую *подъемною*, которая отдѣляется отъ поршневой клапаномъ, закрывающимся сверху. Подъемною трубою восходитъ вода на желаемую высоту. Насосъ имѣющій это устройство называется *подъемнымъ* (Pompe élévatoire, hohe Sätze).

Насосный ставъ обтачивается внутри сколько можно правильнѣе. Иногда дѣлаютъ его изъ дерева, но лучше отливать изъ чугуна или бронзы. Длина его опредѣляется ходомъ поршня. Если насосъ приводится въ дѣйствіе руками, то ходъ поршня бываетъ отъ 5 до 6 дюймовъ. Въ сильныхъ машинахъ, приводимыхъ въ движеніе паромъ или водою, ходъ поршня доходитъ до 6 футовъ. Діаметръ насоснаго става бываетъ отъ 5 до 12 дюйм., и очень рѣдко доходитъ до 20 дюймовъ. *Всасывающая труба* не должна быть длиннѣе 25 футъ. Діаметръ ея обыкновенно менѣе діаметра насоснаго става: а именно, первый дѣлается въ $^2/_3$ или въ $^1/_2$ послѣдняго. Менѣе этого не слѣдуетъ дѣлать, безъ особенной причины. Тоже самое относится и къ діаметру подъемной трубы. Діаметръ насоснаго става дѣлается болѣе діаметра всасывающей трубы, съ тою цѣлію, чтобы площадь отверзтій въ поршнѣ была почти равна площади сѣченія вса-

сывающей трубы. Когда разность между этими площадями значительна, тогда сжатіе воды причиняетъ большую потерю работы движителя. Длина *подъемной трубы* опредѣляется одною лишь силою движителя, и бываетъ иногда очень значительна. Есть примѣры подъемныхъ трубъ длиннѣе 100 саженъ.

Устроивая большіе насосы, дѣляютъ всѣ три трубы изъ чугуна, свинчивая ихъ закраины между собою. Въ небольшихъ насосахъ подъемную и всасывающую трубы дѣлаютъ изъ дерева, проверчивая въ немъ отверзтія, до 2 дюймовъ въ діаметрѣ. Средняя часть, то-есть насосный ставъ, можетъ быть изъ бронзы. Она привинчивается зачраинами къ деревяннымъ стволамъ, и дѣлается діаметромъ нѣсколько болѣе діаметровъ верхней и нижней трубъ. Всасывающая труба отдѣляется отъ стакана клапаномъ, а внизу придѣлывается къ ней жестяной, продырявленный шаръ, останавливающій посторонніе тѣла, которыя могли-бы попадать въ насосъ вмѣстѣ съ водою.

157. *Треніе поршня въ насосѣ.* — При дѣйствіи насоса обнаруживается треніе поршня въ насосномъ ставѣ, которое тѣмъ болѣе, чѣмъ плотнѣе ходитъ поршень въ поршневой трубѣ. Работа потребляемая треніемъ тратится безполезно. Она очень значительна, и должна быть принята въ расчетъ, при вычисленіи дѣйствія, производимаго насосами.

Треніе поршня зависитъ отъ давленія, съ какимъ онъ прижатъ къ стѣнамъ насоснаго става. Это давленіе не должно быть менѣе разности давленій, на верхнюю и нижнюю грани поршня. Называя p и p' давленія на единицы площадей, R радіусъ поршня, e толщину его, получимъ выраженіе давленія поршня, на стѣны насоснаго става:

$$2\pi R.e\ (p—p').$$

Этому давленію соотвѣтствуетъ треніе: $f.2\pi.R.e\ (p—p')$.

Если ходъ поршня въ насосѣ равенъ h, то работа тренія, при одномъ размахѣ, выразится такъ:

$$2\pi.R.f.e\ (p—p')\ h.\ \text{пуд. фут.}$$

т. е. работа, истрачиваемая на треніе, пропорціональна радіусу, толщинѣ и величинѣ хода поршня.

158. *Полезное дѣйствіе всасывающаго насоса.* — Поршень всасывающаго насоса не производитъ полезнаго дѣйствія, при движеніи своемъ сверху внизъ, потому-что тогда вода проходитъ лишь изъ нижней части въ верхнюю, отъ дѣйствія атмосфернаго давленія. При подъемѣ поршень поднимаетъ столбъ воды, котораго высота y. *(Чер. 205).* Сверхъ того, на него дѣйствуетъ сверху атмосферное давленіе, то-есть вѣсъ столба воды въ 33,9 фута, такъ что давленіе на поршень сверху равно $33{,}9 + y$. Нижняя грань подвержена давленію $33{,}9 — x$. Поэтому, дѣйствительное давленіе движителя выражается высотою столба воды:

$$y + x.$$

Называя S площадь, h ходъ поршня, и зная что кубическій футъ воды вѣситъ 1,73 пуд., получимъ полезное сопротивленіе:

$$1{,}73.S\ (y + x).$$

и полезную работу:

$$1{,}73.S.h\ (y + x).$$

То-есть, при каждомъ размахѣ поршня, *полезная работа равна произведенію изъ вѣса поднятой воды на отвѣсное разстояніе рукава до горизонта въ нижнемъ водоемѣ.*

159. *Вся работа движителя.* — Движитель доставляетъ работу, которой часть, $1{,}73.hS\ (x+y)$, употребляется на произведеніе полезнаго дѣйствія; другая часть, $2\pi.R.fe\ (p—p')h$, тратится на треніе; сверхъ того, если площадь всасывающей трубы болѣе площади отверзтія въ поршнѣ, то нѣкоторая работа тратится на сжатіе воды при прохо-

дѣ въ поршнѣ; равнымъ образомъ, теряется нѣкоторая работа при переходѣ воды изъ насоснаго става въ подъемную трубу, или въ рукавъ *ab*. По всѣмъ этимъ причинамъ, вся работа движителя бываетъ *вдвое* болѣе полезнаго дѣйствія, или, что все равно, *полезная рлбота бываетъ не болѣе 0,50 всей работы, доставляемой движителемъ.*

160. *Количество воды, поднимаемое всасывающимъ насосомъ.* — Если-бы клапаны закрывали отверзтія совершенно плотно, и поршень непропускалъ во-все воздуха и воды, изъ верхней части насоснаго става въ нижнюю, то при каждомъ размахѣ поршня объемъ поднимаемой воды былъ-бы равенъ объему, описываемому поршнемъ, то-есть $\pi.R^2.h$. На самомъ дѣлѣ, количество поднимаемой воды насосомъ оказывается менѣе, такъ что дѣйствительный объемъ бываетъ менѣе теоретическаго, $^1/_{10}$-ю и даже $^1/_5$-ю, смотря по тщательности отдѣлки поршня и клапановъ, и по скорости поршня. Вообще, количество воды, доставляемое насосомъ при каждомъ размахѣ, бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе скорость его движенія. Поэтому, выгодно увеличивать скорость движенія поршня, непереходя однако-жъ предѣла, при которомъ вода не успѣвала-бы слѣдовать за поршнемъ.

161. *Нагнетательные насосы.* — Въ нагнетательномъ насосѣ поршень дѣлается сплошной, безъ отверзтій и клапановъ *(Чер. 206)*. Опускаясь онъ нажимаетъ воду, поднятую прежде всасываніемъ изъ водоема. Всасывающій клапанъ *ef* помѣщается, какъ и прежде, тамъ гдѣ нижняя труба соединяется съ поршневою. Другой клапанъ *ac* помѣщенъ у начала подъемной трубы. При подъемѣ поршня, вода всасывается отверзтіемъ *ef* и наполняетъ собою насосный ставъ; когда-же поршень станетъ опускаться, тогда, отъ давленія его, вода входитъ въ подъемную трубу и поднимается на желаемую высоту. Эта высота зависитъ лишь отъ силы движителя. Когда поршень, до-

шедши до низу, начнетъ подниматься, тогда клапанъ *ac* запретъ подъемную трубу и удержитъ въ ней воду.

162. *Полезное дѣйствіе. Работа движителя.*—Полезное дѣйствіе въ нагнетательномъ насосѣ опредѣляется вѣсомъ воды, поднимаемой въ единицу времени, и высотою подъема. И въ самомъ дѣлѣ: при восхожденіи, поршень подвергается сверху атмосферному давленію, снизу давленію атмосферы безъ x; такъ что сопротивленіе движенію равно вѣсу столба x; или, называя S площадь поршня:

$$1{,}73.Sx.$$

При обратномъ движеніи, сверху дѣйствуетъ атмосферное давленіе, снизу атмосферное давленіе $+y$; сталобыть, дѣйствительное давленіе равно y, или

$$1{,}73.Sy.$$

Называя h ходъ поршня, взадъ или впередъ, получимъ работу при подъемѣ: $1{,}73.S.x.h$, и при обратномъ движеніи: $1{,}73.S.y.h$, а при полномъ размахѣ

$$1{,}73.S.h\,(y+x).$$

гдѣ $x+y$ равно H — высотѣ точки b надъ поверхностію горизонта, а произведеніе $1{,}73.Sh$ есть объемъ воды, поднимаемой при каждомъ размахѣ поршня.

Работа движителя будетъ вдвое болѣе полезной работы. Она находится прибавляя, къ полезной работѣ, ту, какая тратится на треніе и сжатія.

163. *Неправильность дѣйствія насосовъ. Средства для достиженія непрерывнаго истеченія.* — Во всасывающихъ насосахъ поднимающійся поршень подверженъ давленію столба воды, вышиною отъ верхняго конца подъемной трубы, или отъ рукава, до горизонта въ нижнемъ резервуарѣ; сверхъ того, движитель поднимаетъ вѣсъ поршня. При обратномъ движеніи нѣтъ другихъ сопротивленій кромѣ треній; сверхъ того, вѣсъ поршня дѣйствуетъ

въ пользу движителя. Отгого, дѣйствіе всасывающихъ насосовъ весьма неправильно.

Въ нагнетательныхъ насосахъ, какъ мы сказали, при подъемѣ поршня сопротивленіе движенію равно $1{,}73.S.x$; при обратномъ движеніи, оно равно $1{,}73.y$. Работы при подъемѣ и при спускѣ будутъ равны между собою только тогда, когда $x=y$, то-есть, когда положеніе поршня въ насосномъ ставѣ будетъ на равныхъ разстояніяхъ отъ нижняго горизонта и отъ выпускнаго отверстія поршневой трубы.

Для уравненія движенія насоса употребляется маховое колесо; или движущій валъ дѣлается о двухъ колѣнахъ, взаимно-перпендикулярныхъ, которыя сообщаютъ движеніе двумъ насосамъ; или, наконецъ, насосъ приводится въ дѣйствіе рычагомъ, на концѣ котораго, противоположномъ движителю, привѣшивается отвѣсъ, равный половинѣ сопротивленія.

Въ насосахъ устроенныхъ такъ, какъ было сказано въ предъидущихъ параграфахъ, вода вытекаетъ рукавомъ перемежно. Желая сдѣлать истеченіе непрерывнымъ, устроиваютъ при подъемномъ рукавѣ резервуаръ, наполненный воздухомъ *R (Чер. 207)*. Вода, вталкиваемая въ резервуаръ, сжимаетъ воздухъ, и когда клапанъ *m* затворится, тогда сжатый воздухъ, по свойственной ему упругости, нажимаетъ воду и гонитъ ее въ подъемный рукавъ.

Можно также сдѣлать истеченіе непрерывнымъ, соединяя два насоса, которыхъ поршни движутся въ противоположныя стороны.

164. *Устройство поршней и клапановъ.*—Самая важная часть всякаго насоса, требующая тщательной отдѣлки — поршень. Его дѣлаютъ многими способами. Опишемъ употребительнѣйшіе.

Простѣйшій поршень состоитъ изъ куска твердаго дерева, предварительно вываренаго въ маслѣ, и обдѣлан-

наго въ видѣ усѣченнаго конуса. Въ немъ дѣлается цилиндрическая пройма, діаметромъ почти равная половинѣ діаметра стакана. Сверху придѣлывается къ поршню желѣзная скобка, которой концы пропускаются въ дерево и закрѣпляются снизу гайками. Наружную поверхность поршня одѣваютъ кожею, для уменьшенія тренія и удержанія просачиванія воды и воздуха. Въ простѣйшихъ насосахъ одежда поршня состоитъ изъ куска подошвенной кожи, которая окружаетъ поршень въ видѣ ворота, и выступаетъ нѣсколько за верхнюю его грань, расширяясь къ верху. Выступающій край кожанаго ворота нажимается водою и воздухомъ, прилегаетъ плотно къ стѣнамъ насоса и прерываетъ сообщеніе верхней части съ нижнею. Иногда кожаный воротъ удерживаютъ на поршнѣ мѣднымъ кольцомъ, скошеннымъ внизу, съ тѣмъ что-бы вороту придать надлежащее расширеніе кверху. На нижнюю часть поршня насаживается другое кольцо и промежутокъ между ими заполняется связкою пеньки, напитанною растопленнымъ саломъ. Пеньковая одежда выступаетъ нѣсколько за кольцо и она одна только трется въ насосѣ. Въ большихъ насосахъ дѣлаютъ поршни изъ чугуна, съ пеньковою или металлическою одеждою, наподобіе поршней паровыхъ машинъ.

Клапаны въ насосахъ бываютъ двухъ родовъ: *подъемные* и *вращающіеся*. Подъемные имѣютъ видъ усѣченныхъ конусовъ, запирающихъ плотно отверзтіе. Внизу придѣлывается къ нимъ прутикъ, оканчивающійся шляпкою. Вращающіеся клапаны дѣлаются изъ кружковъ толстой кожи, напитанной жиромъ. Кружокъ прикрѣпляется однимъ краемъ къ поршню и нажимается сверху свинцовымъ кольцомъ. Иногда также кожу заключаютъ между двухъ мѣдныхъ кружковъ, изъ которыхъ нижній нѣсколько меньше затворяемаго отверзтія, верхній-же немного больше. Въ большихъ насосахъ клапаны дѣлаются изъ планокъ желтой мѣди, толщиною около 4 линій, которыя

вращаются на обыкновенныхъ шарнерахъ. Но это устройство неудобно тѣмъ, что если въ швы шарнера попадетъ постороннее тѣло, напримѣръ песокъ, то клапанъ перестанетъ исправно дѣйствовать. Вообще, вращающіеся клапаны запираютъ отверзтія плотнѣе подъемныхъ и оттого въ практикѣ употребляются преимущественнѣе.

165. *Причины по которымъ иногда насосы дѣйствуютъ неисправно.* — Неисправность въ дѣйствіи насосовъ происходитъ чаще всего отъ дурнаго устройства поршней и клапановъ, или отъ того, что отъ продолжительнаго употребленія поршень оботрется до того, что перестанетъ плотно ходить въ стаканѣ. Иногда клапаны обтираются болѣе съ одной стороны чѣмъ съ другой; это бываетъ когда одна сторона клапана тяжеле другой. Случается еще, что клапанъ перестаетъ вовсе подниматься. Испортившіеся клапаны доставляютъ менѣе воды, а иногда вода перестаетъ вовсе подниматься. Неисправность клапановъ обнаруживается, когда насосъ, приведенный въ дѣйствіе, доставляетъ воду нескоро, и не прежде какъ послѣ 10 или болѣе размаховъ. Обыкновенно въ такомъ случаѣ вливаютъ одно или два ведра воды въ подъемную трубу. Когда въ клапанной камерѣ нѣтъ воды, тогда при подъемѣ поршня, воздухъ просачиваетъ въ щели неисправныхъ клапановъ и оттого не можетъ образоваться пустота подъ поршнемъ.

Иногда также нужно бываетъ поливать водою и поршень. Это бываетъ когда кожаная обдѣлка поршня засохнетъ и перестанетъ плотно прилегать къ стакану; въ подобныхъ случаяхъ воздухъ попадаетъ подъ поршень и препятствуетъ дѣйствію насоса. Такъ бываетъ въ новыхъ насосахъ, или въ такихъ, которые рѣдко работаютъ.

Сверхъ того, воздухъ можетъ попасть во внутреннее пространство скважинами въ замазкѣ, спаивающей составныя части насоса, разсѣдинами въ разорвавшейся или

перетершейся кожѣ и другими путями. Когда насосныя трубы длинны и сдѣланы изъ чугуна, тогда составныя колѣна оканчиваются закраинами, между которыхъ кладутъ мягкое вещество, напримѣръ кожаный кружокъ, и потомъ свинчиваютъ ихъ болтами. Случается что кружокъ не хорошо очищенъ отъ песку, или слишкомъ гладокъ, такъ что въ соединеніи колѣнъ трубы остаются маленькія щели; въ эти щели будетъ проходить воздухъ. Оттого, вмѣсто чугунныхъ, лучше дѣлать свинцовыя трубы. Длинныя свинцовыя трубы могутъ быть цѣльныя.

Неисправные клапаны исправляютъ, перемѣняя кожу, или, если они изъ мѣди, отшлифовывая поверхность, пока клапанъ непристанетъ плотно къ краямъ отверзтія. Дурно замазанные спаи законопачиваютъ паклею.

166. *Примѣры.* — На слѣдующихъ чертежахъ представлены примѣры устройства насосовъ.

Чер. 208 представляетъ *всасывающій насосъ*, простѣйшаго устройства. Онъ состоитъ изъ деревянной трубы *AA*, съ пустотою отъ 4 до 6 дюймовъ діаметра; въ ней ходитъ поршень *e*, представленный на *Чер. 209*, приводимый въ движеніе рычагомъ *g* и стержнемъ *E*. — *B* насосный ставъ; часто вставляютъ въ него мѣдный или чугунный цилиндръ. Нѣсколько выше верхняго положеніе поршня вставленъ небольшой горизонтальный рукавъ, для выпуска поднятой воды. Всасывающая труба *HH* оканчивается сверху клапаномъ, который состоитъ изъ кожанаго кружка *dd*, напитаннаго горячимъ составомъ: изъ масла, сала и дегтю; на нижней его сторонѣ находится желѣзный или мѣдный кружокъ *hh*, нѣсколько менѣе отверзтія трубы. Подобный-же кружокъ *ee*, но нѣсколько болѣе отверзтія, находится и на другой сторонѣ. Всѣ три удерживаются вмѣстѣ болтомъ *gk*. Кружокъ *ee* чаще всего дѣлается изъ дерева. Кружокъ *d* оканчивается лапою *i*, на которую кладется мѣдная или желѣзная накладка и прибивается гвоздями къ торцу трубы *HH*.

Чер. 209 представляетъ поршень простѣйшаго устройства: онъ состоитъ изъ пустой деревянной втулки *ee*, чрезъ которую пропущены концы скобки *p,p*, удерживаемые снизу гайками; къ верхней части скобки прикрѣпляется стержень. Отверзтіе *B* поршня покрыто клапаномъ *e*. Внѣшняя поверхность поршня *dd* обточена въ видѣ конуса и обита кожанымъ воротомъ *gg*, котораго концы сшиваются.

Для большихъ насосовъ употребляется поршень съ двумя клапанами *(Чер. 210)*. Онъ бываетъ обыкновенно изъ чугуна, или изъ самаго твердаго дерева; снаружи нѣсколько коническій; его также обшиваютъ кожею *gg*, которая удерживается желѣзнымъ хомутомъ *oo*. Въ поршнѣ находятся два цилиндрическія отверзтія, покрываемыя клапанами. Чрезъ средину поршня проходитъ конецъ *f* стержня, удерживаемый гайкою *b*.

Описанному устройству предпочитается поршень, представленный на *Чер. 211*. Онъ состоитъ изъ цилиндра *B*, закрытаго коническимъ клапаномъ *C*, и изъ кольца *dd*, навинчиваемаго на цилиндръ. Между кольцомъ и закраиною *gg* помѣщены нѣсколько кружковъ *ZZ*, изъ плотной, подошвенной кожи; всѣ они сильно сдавлены вмѣстѣ кольцомъ *dd* и хорошо обточены. Къ дугѣ *fhf* привинченъ гайкою желѣзный стержень. Всѣ части поршня отлиты изъ бронзы или изъ зеленой мѣди.

Поршень представленный на *Чер. 212* весьма схожъ съ предъидущимъ, и отличается только тѣмъ, что здѣсь вмѣсто коническаго клапана находится кружокъ *TT*, хорошо притертый къ верхней грани стакана. Что-бы кружокъ немогъ отклоняться въ сторону, сдѣлана скобка, о 3 вѣтьвяхъ *f, k, i*.—*Чер. 213* представляетъ поршень, посредствомъ котораго поднимаютъ горячія жидкости. Поршни, употребляемые для этой цѣли, могутъ быть только металлическіе и обдѣлываются не кожею, а пенькою.

Чугунный или бронзовый поршень имѣетъ нѣсколько отверзтій *aa* и снаружи обмотанъ сплетенною веревкою, предварительно напитанною саломъ. Желѣзный стержень *C* соединенъ гайкою *b* съ поршнемъ, и имѣетъ гладко-обточенную шейку, съ закраиною на верху; притертая крышка можетъ подниматься и опускаться по этой шейкѣ.

Нагнетательный насосъ (Чер. 214), отличается отъ всасывающаго тѣмъ, что вода поднимается не въ ту трубу, въ которой движется поршень *D*, но въ особую *A*. Поршень *D* дѣлается сплошной; въ немъ нѣтъ клапана, но за то находится, кромѣ всасывающаго клапана *J*, въ трубѣ *A*, еще клапанъ *H*, который называется подъемнымъ.

Всѣ части представленнаго насоса металлическія; трубы изъ чугуна; клапаны *H* и *G* изъ бронзы. Поршневой стержень желѣзный. Стержень ходитъ въ сальникѣ.

Поршни употребляемые въ нагнетательныхъ насосахъ. Въ отношеніи къ простотѣ первое мѣсто занимаетъ поршень представленный на *Чер. 215*. Онъ имѣетъ видъ цѣльнаго, деревяннаго или чугуннаго цилиндра, соединеннаго съ стержнемъ *E* гайкою *b*; снаружи онъ обтянутъ кожею *LL*, которая крѣпко придавлена къ цилиндру тонкою бечевкою. Подобный поршень употребляется въ сильныхъ насосахъ.

Поршень представленный на *Чер. 216* предпочитается первому. Онъ дѣлается изъ крѣпкаго дерева, которое заключается между двухъ кружковъ изъ пробковаго дерева и сжимается желѣзнымъ болтомъ и гайкою *S*. Въ деревянной части выдѣлываются снаружи съ обѣихъ сторонъ, коническіе пазы *aa*, *bb*, въ которые вставляются куски кожи, укрѣпляемые гвоздями; сверхъ того и средняя часть обтягивается кожею. *E* ушко, посредствомъ котораго поршень соединяется со стержнемъ.

Чер. 217 представляетъ поршень чаще всего употребляемый; онъ состоитъ изъ двухъ металлическихъ кружковъ, соединенныхъ между собою болтомъ *S*. Между кружками положены войлочные, или кожанные, кружки *LL*. Болтъ *S* оканчивается сверху ушкомъ *E*, посредствомъ котораго соединяется со стержнемъ.

Поршень представленный на *Чер. 218* состоитъ изъ двухъ кожаныхъ воротовъ *LL*, которымъ придана форма, показанная на чертежѣ, посредствомъ прессованія. Кожаный кружокъ *m* положенъ между двухъ воротовъ и всѣ вмѣстѣ сдавлены двумя металлическими кружками *o*, *o*, и винтомъ съ гайкою *S*.

Чер. 219 представляетъ простой всасывающій клапанъ, для чугунныхъ насосовъ. Здѣсь, какъ и на всѣхъ слѣдующихъ чертежахъ, *A* представляетъ всасывающую трубу, *B* часть въ которой движется поршень. Кожаный кружокъ *d* имѣетъ хвостъ *f*, который прищемляется закраинами трубъ; кожа служитъ вмѣсто шарнира, и позволяетъ клапану подниматься и опускаться; *ee*, *hh*, желѣзные кружки, скрѣпленные винтомъ *g*; *k* кожаный кружокъ между закраинами.

Двойной клапанъ, представленный на *Чер. 220*, употребляется въ большихъ насосахъ; онъ состоитъ изъ мѣднаго кольца *fg*, съ закраиною, которая вставлена между трубъ *B* и *A*; она имѣетъ двѣ лапы *hh*; въ этихъ лапахъ помѣщенъ болтъ, проходящій чрезъ общій шарниръ двухъ клапановъ *CE*. Что-бы клапаны не приходили въ вертикальное положеніе, вставленъ между ими болтъ *h*.

Чер. 221 представляетъ конической клапанъ. Онъ состоитъ изъ конуса *C*, хорошо притертаго къ гнѣзду; обѣ части дѣлаются обыкновенно изъ бронзы. Уголъ *Cop* не долженъ быть болѣе 60°. Размѣръ частей назначается слѣдующимъ образомъ: радіусъ трубы *B* раздѣляютъ на 5 частей, и для большаго основанія конуса берется 4 а

для меньшаго 3; $op = 2$ част. Въ срединѣ части ff сдѣлано отверзтіе, въ которое входитъ стержень C; на концѣ его находится гайка или чека, чтобъ онъ не могъ выйти изъ отверзтія. Конусъ C на срединѣ выточенъ въ видѣ чашки, для уменьшенія вѣса.

2. Гидравлическій прессъ.

167. *Составъ гидравлическаго пресса. — Гидравлическомъ прессомъ* называется машина, употребляемая для произведенія сильныхъ давленій посредствомъ воды. Дѣйствіе его основано на законѣ равнаго давленія жидкихъ тѣлъ. *(Ч. I. §§ 44 и 47).* Въ составъ пресса входятъ слѣдующія части. Въ чугунный чанъ J *(Чер. 222)* погруженъ конецъ всасывающей трубы нагнетательнаго насоса. Въ насосномъ ставѣ, небольшаго діаметра, движется взадъ и впередъ сплошной металлическій поршень H. При подъемѣ поршня, клапанъ O поднимается, и вода изъ чана входитъ въ трубу. При обратномъ ходѣ поршня, клапанъ O закрываетъ сообщеніе съ чаномъ, и вода трубкою K проходитъ въ цилиндръ A большаго размѣра, въ который вставленъ поршень B. По извѣстной теоріи пресса (Ч. I. §. 47), давленіе на поршень B, снизу вверхъ, во столько разъ болѣе давленія поршня H, сверху внизъ, во сколько разъ площадь S поперечнаго сѣченія поршня B болѣе площади s поршня H.

Войдемъ въ нѣкоторыя подробности устройства гидравлическаго пресса.

Стержень I поршня нагнетательнаго насоса движется въ проймѣ чугунной стойки mn, и приводится въ попеременное движеніе рычагомъ GG', съ отвѣсомъ G' на одномъ концѣ. Въ стойкѣ mn устроены два глазка d и d', въ которыя вставляется болтъ, служащій осью вращенія рычагу GG'. Въ началѣ дѣйствія сопротивленіе бываетъ менѣе и ходъ поршня можетъ быть болѣе; подъ конецъ

сопротивленіе становится болѣе и ходъ поршня слѣдуетъ уменьшить. Сообразно съ этимъ, въ началѣ болтъ продѣвается въ глазокъ d', а подъ конецъ въ глазокъ d, поближе къ стержню I. Рычагъ прилаживается къ стержню въ точкѣ c, посредствомъ шарнира, подобно тому какъ было сказано въ §. 22, *Чер. 44*. Всасывающая труба R ввинчивается верхнимъ концомъ въ насосный ставъ; къ нижнему концу прилажена продырявленная чашка, для удержанія постороннихъ тѣлъ, случающихся въ водѣ. Поршень дѣлается діаметромъ нѣсколько менѣе діаметра насоснаго става. Для предупрежденія просачиванія воды устроивается кожаный сальникъ p, нажимаемый сверху бронзовою втулкою Q. Изъ насоснаго става вода входитъ въ горизонтальную трубку, изогнутую колѣномъ въ точкѣ l. Здѣсь помѣщается клапанъ, удерживающій воду отъ обратнаго движенія. Послѣ вставки клапана, отверзтіе завинчивается сверху втулкою N. Для предупрежденія излишняго увеличенія давленія воды въ прессѣ, устроивается предохранительный клапанъ L. Онъ состоитъ изъ стержня g, на которомъ лежитъ рычажокъ L съ гирькою на концѣ f. При предѣльномъ давленіи воды въ трубкѣ h, стержень g поднимается и вода выходитъ наружу каналомъ i. — Втулку M отвинчиваютъ, когда нужно выпустить воду изъ пресса, по окончаніи дѣйствія машины.

Насосъ сообщается съ корпусомъ пресса посредствомъ мѣдной трубки K, съ закраинами на концахъ, которыя прижимаютъ втулками e, съ наружными винтовыми нарѣзами. Подобный способъ соединенія предупреждаетъ просачиваніе, и даетъ возможность удобно собирать и разбирать машину, при переноскѣ съ одного мѣста на другое.

Корпусъ пресса есть чугунный цилиндръ A, пустой внутри, съ толстыми стѣнами. Діаметръ пустоты нѣсколько болѣе діаметра поршня. Для предупрежденія просачиванія

воды устроивается кольцеобразная камера a, въ которую вставляются два бронзовыя полукольца b и кожаный воротъ x, напитанный растопленнымъ саломъ. Вода попавъ въ камеру прижимаетъ края ворота къ поршню и къ стѣнкамъ камеры, и предупреждаетъ просачиваніе. Для уменьшенія тренія устроена воронка y, въ которую кладутъ паклю, напитанную саломъ, и прижимаютъ сверху кольцомъ. На верхнемъ концѣ стержня B прилаживается подъемная доска C, движущаяся между правилками D. Предметъ предназначаемый для сжатія располагается на доскѣ C и придавливается къ верхней доскѣ E.

168. *Давленіе производимое прессомъ.* — Давленіе производимое гидравлическимъ прессомъ опредѣляется по извѣстному отношенію между діаметрами насоснаго и прессоваго поршней и между плечами рычага и по данной движущей силѣ.

Назовемъ P давленіе на конецъ рычага G, m отношеніе между большимъ и малымъ плечомъ рычага; x давленіе насоснаго поршня. По извѣстной теоріи рычага найдемъ что:

$$x = m.P.$$

Называя d и D діаметры насоснаго и прессоваго поршней, Q давленіе производимое прессомъ, и непринимая въ соображеніе треній, выведемъ, по закону равнаго давленія:

$$Q : x = D^2 : d^2;$$

откуда

$$Q = x.\frac{D^2}{d^2};$$

и наконецъ

$$Q = m.P.\ \frac{D^2}{d^2}.$$

Такъ напримѣръ, если на рычагъ дѣйствуетъ человѣкъ, съ усиліемъ равнымъ $^1/_2$ пуда, то полагая: $m = 10$, $\frac{D}{d} = 20$, найдемъ $Q = 4000$ пудамъ.

Отсюда слѣдуетъ, что давленіе, производимое даннымъ гидравлическимъ прессомъ, можно увеличить произвольно, увеличивая P. При слишкомъ сильномъ давленіи, трубка K, проводящая воду, разрывается. Поэтому, высшій предѣлъ давленія опредѣлится *предѣломъ сопротивленія* матеріала, изъ котораго сдѣлана водопроводная трубка. Для предупрежденія излишняго увеличенія давленія, устроивается предохранительный клапанъ. Называя q наибольшее давленіе, какому можно подвергать безопасно, единицу площади листовой мѣди, изъ которой сдѣлана водопроводная трубка, δ діаметръ предохранительнаго отверзтія, m' отношеніе между плечами большимъ и малымъ рычажка L, получимъ предѣльную величину груза $У$, привѣшиваемаго къ концу f рычажка, по формулѣ

$$У = \frac{m'.q.\pi.}{4}\delta^2$$

Обыкновенно $m' = 10$; а какъ $\frac{\pi}{4} = 0{,}785$, то

$$У = 7{,}85.q\delta^2.$$

По этой формулѣ опредѣляютъ q— предѣльное давленіе воды на единицу внутренней площади, когда дана гирька $У$ и діаметръ δ. Или, опредѣляютъ гирьку $У$, задавъ себѣ δ и наибольшее давленіе q' на единицу площади, какому желаютъ подвергнуть сжимаемый предметъ. Само собою разумѣется что q' не болѣе q.

Толщину e, какую должны имѣть стѣнки водопроводной трубки, можно опредѣлить, по извѣстному діаметру ея и предѣльному давленію, какое можетъ случиться при употребленіи пресса.

Если назвать γ внутренній діаметръ трубки, въ дюймахъ,

e толщину стѣнъ, въ дюймахъ

n давленіе воды въ атмосферахъ,

то, въ случаѣ желѣзной или мѣдной трубки,

$$e = 0{,}0005.n\gamma + 0{,}22 \text{ д.};$$

въ случаѣ чугуна

$$e = 0{,}0007.n\gamma + 0{,}40 \text{ д.}$$

3. Мукомольныя мельницы.

169. *Размолъ хлѣбныхъ зеренъ.* — Для приготовленія хорошей муки, надобно сперва *очистить* зерно отъ постороннихъ веществъ: отъ комковъ земли и камешковъ, соломы, мякины и пыли; потомъ *размолоть* зерно; и наконецъ, *отдѣлить* муку отъ отрубей. Поэтому, приготовленіе муки состоитъ изъ трехъ главныхъ операцій: изъ *очистки, размола* зерна и *просѣва* муки.

1-ое дѣйствіе. Въ хорошо-устроенныхъ мельницахъ, для отдѣленія зерна отъ комковъ земли и камешковъ, употребляются *грохоты*; а для очищенія отъ соломы, мякины и пыли — *вѣялки.* Всѣ эти *зерночистительные приборы* помѣщаются въ верхнихъ частяхъ мельничнаго строенія и приводятся въ дѣйствіе общимъ движителемъ. Зерно въ мѣшкахъ поднимается въ верхній этажъ мельницы; откуда, опускаясь внизъ, проходитъ чрезъ зерночистительныя машины; потомъ поднимается вторично *норіями*, то-есть цѣпями съ ковшами, въ *воронки*, размѣщенныя надъ *жерновами.* Для проведенія зерна изъ одного мѣста въ другое, въ одномъ и томъ-же ярусѣ строенія, употребляются *архимедовые винты*, безъ внѣшнихъ оболочекъ: винты вращаются въ желобахъ, и нарѣзами своими приводятъ въ движеніе зерно.

2-ое дѣйствіе. Размолъ хлѣбныхъ зеренъ производится посредствомъ двухъ жернововъ, одного неподвижнаго, другаго вращающагося горизонтально. Неподвижный жерновъ называется *лежачимъ* или *нижникомъ;* вращающійся — *бѣгуномъ* или *верхникомъ*; а оба вмѣстѣ — *мельничнымъ по-*

ставомъ. Между верхникомъ и нижникомъ оставляется небольшой промежутокъ, уменьшающійся отъ центра къ окружности. На жерновахъ дѣлается *насѣчка*, въ видѣ желобковъ, направленныхъ отъ окружностей къ центрамъ. Зерно подсыпается изъ воронки въ *ячейку* — отверзтіе на срединѣ верхника. При быстромъ вращеніи верхника, центробѣжная сила отбрасываетъ зерно отъ центра къ окружности, гдѣ промежутокъ между жерновами такъ малъ, что зерно обращается въ муку. Насѣчка, правильно сдѣланная, способствуетъ размолу.

Способы употребляемые для размола можно раздѣлить на два рода: *обыкновенный* и *экономическій*. По первому способу зерно обращается въ муку въ одинъ пріемъ; по второму, оно пропускается нѣсколько разъ между жернововъ, и, послѣ каждаго размола, мука просѣивается, для отдѣленія отрубей. Преимущество экономическаго способа предъ обыкновеннымъ состоитъ въ томъ, что помощію его извлекается болѣе муки изъ зерна, и мука получается лучшаго качества. При обыкновенномъ способѣ размола, то-есть, когда зерно размалывается въ одинъ пріемъ, давленіе, какому подвергается зерно, слишкомъ значительно, и оттого получается не совсѣмъ хорошая мука.

При размолѣ употребляются иногда приборы для раздавливанія зерна; они состоятъ изъ двухъ чугунныхъ цилиндровъ, между которыхъ пускаютъ зерно, прежде нежели его молоть. Это дѣйствіе способствуетъ лучшему отдѣленію муки отъ отрубей.

3-іе дѣйствіе. Мука, вышедшая изъ жернововъ, падаетъ въ *мучной закромъ*. Оттуда поднимается норіями въ *холодильникъ* — приборъ для прохлажденія муки, согрѣвшейся между жерновами. Холодильникъ состоитъ изъ вертикальнаго вала, дѣлающаго въ минуту не болѣе 4 оборотовъ; на нижнемъ концѣ вала помѣщены небольшія досчечки, которыя перемѣшивая муку, прохлаждаютъ ее,

прежде нежели она попадетъ въ *пеклевальные* снаряды. *Пеклеваніе* имѣетъ цѣлію просѣять муку, и разсортировать, смотря по тонинѣ помола, на *крупчатку*, *1-го сорта* или *первачъ*, *ординарную*, *мѣсетку*, *отруби* и проч. Обыкновенно, пеклевальные снаряды имѣютъ видъ длинныхъ цилиндровъ или призмъ, обтянутыхъ сѣтчатою тканью; мука всыпается въ снарядъ, и, при вращеніи его, просѣивается.

170. *Діаметръ, вѣсъ и скорость жернова.* — Жернова бываютъ различной величины. Въ англійскихъ мельницахъ не придаютъ имъ болѣе 5 футъ діаметра; во Франціи употребляются жернова діаметромъ до 7 футъ. По видимому, чѣмъ болѣе жерновъ, тѣмъ лучше. Вѣсъ жернова долженъ быть тѣмъ больше, чѣмъ значительнѣе его дѣйствующая поверхность. Можно принять, какъ средній выводъ, изъ многихъ наблюденій, что на каждый квадратный футъ площади верхника, вѣсъ его долженъ быть въ 5 пудъ. Изъ чего слѣдуетъ: что если d діаметръ верхника, въ футахъ, то вѣсъ его P, въ пудахъ, выразится такъ:

$$P = 5.\frac{\pi d^2}{4}; \text{ или почти } P = 4.d^2.$$

Скорость вращенія бѣгуна непроизвольна; хотя и можно перемѣнять ее въ довольно-обширныхъ предѣлахъ. При слишкомъ-малой скорости, центробѣжная сила не въ состояніи отбросить зерно отъ центра, оттого оно дурно размалывается. Когда скорость слишкомъ велика, тогда зерно сильно нагрѣвается и мука пригараетъ. Чѣмъ болѣе діаметръ, тѣмъ меньше должно быть число оборотовъ въ единицу времени. При діаметрѣ въ 7 футъ, число оборотовъ доходитъ до 60 въ минуту. Въ англійскихъ мельницахъ жернова въ 5 футъ работаютъ самымъ выгоднымъ образомъ при 90 оборотахъ въ минуту. Вообще, при вычисленіяхъ, можно полагать что средняя скорость верхника, то-есть, скорость точки на $^2/_3$ радіу-

са, равна 13 футамъ въ секунду. Называя: d діаметръ, V среднюю скорость, N число оборотовъ въ секунду, получимъ:

$$V = \frac{2\pi}{3} Nd.$$

или, дѣлая $V = 13$ фут., выведемъ число оборотовъ в секунду:

$$N = \frac{6{,}28}{d}.$$

171. *Усиліе для вращенія верхника.* — Извѣстно что когда машина придетъ въ равномѣрное движеніе, тогда работы движителя и сопротивленій бываютъ равны между собою. Основываясь на этомъ, можно опредѣлить, приблизительно, сопротивленіе, противопоставляемое зерномъ верхнику, переходя послѣдовательно отъ движителя къ разнымъ частямъ мельницы, и опредѣляя во всѣхъ промежуточныхъ точкахъ вредныя сопротивленія. Подобнаго рода вычисленіемъ находятъ: что сила, нужная для вращенія жернова, полагая ее приложенною на $^2/_3$ радіуса, можетъ быть принята равною $^1/_{12}$ вѣса верхника и вращающейся съ нимъ оси.

Такъ какъ вѣсъ верхника равенъ $4.d^2$ пуд., то сопротивленіе зерна Q найдется по формулѣ

$$Q = \frac{4.d^2}{22} \text{ пуд.} = \frac{2}{11} \cdot d^2 = 0{,}18.d^2.$$

172. *Работа для вращенія оси жернова.* — Помножая сопротивленіе Q на среднюю скорость бѣгуна, то-есть на 13 фут., получимъ работу, издерживаемую движителемъ въ 1″, на движеніе жернова, или на размолъ:

$$QV = 2{,}35.d^2 \text{ пуд. фут.}$$

Основываясь на нѣкоторыхъ опытахъ, впрочемъ довольно сомнительныхъ, полагаютъ, что къ найденной ра-

ботѣ слѣдуетъ прибавить $^1/_3$, для приведенія въ дѣйствіе пеклевальнаго снаряда и на треніе. Допуская это, получимъ работу на оси жернова:

$$QV = 3{,}15.d^2 \text{ пуд. фут.}$$

Эти выводы относятся къ обыкновенному размолу. Въ случаѣ экономическаго, прибавляютъ еще $^1/_3$ работы; такъ что работа на оси жернова будетъ:

$$QV = 4{,}72.d^2 \text{ пуд. фут.}$$

При экономическомъ размолѣ тратится $^1/_3$ часть времени на повтореніе размола.

Все что здѣсь сказано относится къ работѣ верхника. Желая найти работу движителя, надобно знать способъ передачи движенія, и прибавить къ найденной работѣ ту, какая истратится при переходѣ отъ пріемника къ орудію.

173. *Количество зерна смалываемое въ 1″.* — Изъ многихъ опытовъ выведено: что для размола 1 пуда хлѣбныхъ зеренъ, при обыкновенномъ способѣ размола, нужно около 18268 пуд. фут. работы, считая работу на бѣгунѣ; поэтому, количество смолотаго зерна въ 1″, соотвѣтствующее работѣ $3{,}15.d^2$, найдется по пропорціи:

$$18268 : 1 = 3{,}15.d^2 : x.$$

откуда

$$x = \frac{3{,}15}{18268} \cdot d^2, \text{ или } x = 0{,}0001724.d^2 \text{ пуд. въ секунду.}$$

174. *Примѣръ.* — Для поясненія предъидущаго, положимъ что требуется устроить мукомольную мельницу, на три постава, съ жерновами діаметромъ въ 4 фута.

Вѣсъ бѣгуна равенъ:

$$P = 4.d^2 = 4 \times 4^2 = 64 \text{ пудамъ.}$$

Число оборотовъ въ секунду:

$$N = \frac{6,28}{d} = \frac{6,28}{4} = 1,57.$$

или, въ минуту: 94,2.

Работа, на каждомъ поставѣ, въ секунду:

$$QV = 3,15.d^2 = 3,15.\ 4^2 = 50,4 \text{ пуд. фут.};$$

работа на трехъ поставахъ въ секунду

152,2 пуд. фут.

Количество зерна, смолотаго въ секунду, на одномъ поставѣ:

$$x = 0,0001724.d^2 = 0,0001724 \times 16 = 0,002758 \text{ пуда.};$$

а въ часъ почти 10 пудовъ.

На всѣхъ трехъ поставахъ, въ часъ, будетъ смолото 30 пудовъ.

На *Чер. 223* представленъ вертикальный разрѣзъ мельничнаго постава и профиль главныхъ частей мукомольнаго механизма. *A* движущее колесо, приводитъ въ вращеніе шестерню *B*, на оси которой насажено большое зубчатое колесо *C*, вращающее шестерни *D*, *D*, *D*, трехъ мельничныхъ поставовъ. На верхнемъ концѣ *веретена E* навѣшенъ верхникъ *F*, посредствомъ *параплицы G*. Нижникъ *H* поддерживается деревянною связью *I*, *I*. Зерно изъ *воронки K* падаетъ въ наклонный *башмакъ L*, и оттуда въ ячейку *M*. Мука выходитъ изъ постава въ пространство *N*, обнесенное *обичайкою O*, и оттуда, *течкою P*, проводится въ мучной *закромъ Q*. Для облегченія выхода зерна изъ воронки *K* въ башмакъ и изъ башмака въ ячейку, употребляется *болтунъ T*, который вращаясь вмѣстѣ съ веретеномъ встряхиваетъ башмакъ.

4. Лѣсопильныя машины.

175. *Два рода пилъ для распилки дерева.* — Пилы, употребляемыя для распилки дерева, бываютъ двухъ родовъ:

прямыя и *круглыя*. Лѣсопильныя машины съ круглыми пилами движутся равномѣрнѣе и должны быть употребляемы преимущественнѣе.

Прямыя пилы движутся поперемѣнно, взадъ и впередъ. *(Чер. 224)*. Распиливаемый брусъ *H* утвержденъ на саняхъ *N* поперечинами *aa'*, прижимаемыми къ брусу болтами. Поперемѣнное движеніе сообщается пильной рамѣ шатуномъ *C*, прикрѣпленнымъ къ мотылю или къ колѣну вала *B*, вращаемаго движителемъ. На валѣ *B* помѣщается маховое колесо, для уравненія движенія.

Сани, вмѣстѣ съ брусомъ, должны подвигаться къ пиламъ, по мѣрѣ распилки. Сани состоятъ изъ двухъ толстыхъ лежней *N*, *N*, параллельныхъ между собою, подъ которыми укрѣплены двѣ зубчатыя рейки. Лежни движутся въ направляющихъ пазахъ. Рейки приводятся въ движеніе двумя небольшими шестернями *r*, насаженными на ось *q*, которой сообщается движеніе особымъ образомъ. Движеніе это должно быть перемежное, то-есть, съ пріостановками, потому-что пилы дѣйствуютъ на дерево только при нисхожденіи. Подобное движеніе сообщается шестернямъ *r*, посредствомъ храповаго колеса *l*, надѣтаго на одну съ ними ось *q*.

Есть много способовъ приведенія въ движеніе храповаго колеса. Приводимъ здѣсь лучшій. На оси одного изъ двухъ катковъ направляющихъ движеніе пильной рамы, помѣщается шипъ *p*, движущійся въ пазу изогнутаго рычага *k*; рычагъ вращается на оси *O*. Къ другому плечу рычага привѣшена собачка *m*, которая, при качательномъ движеніи рычага, скользитъ по зубцамъ храповаго колеса и сообщаетъ ему перемежное движеніе, а съ нимъ вмѣстѣ и санямъ. Другая собачка *n* препятствуетъ обратному движенію саней. Въ нижнемъ концѣ рычага *k* сдѣлано нѣсколько глазковъ, съ тѣмъ, чтобы, перемѣняя точку привѣса собачки, можно было управлять ходомъ саней, смотря по твердости распиливаемаго дерева. Но какъ

иногда ходъ саней, при каждомъ размахѣ, долженъ быть равенъ тому какой соотвѣтствуетъ $^1/_2$ зубца или $1^1/_2$ зубца на храповомъ колесѣ, то для этого употребляются двѣ другія собачки m' и n', размѣщенныя такъ, что когда двѣ первыя зацѣпляютъ за зубцы, тогда онѣ приходятся на серединѣ соотвѣтствующихъ зубцовъ.

176. *Усиліе движителя при распилкѣ. Вѣсъ пильной рамы.* — Такъ-какъ пила дѣйствуетъ только тогда, когда идетъ внизъ, то при восхожденіи движитель преодолѣваетъ одинъ лишь вѣсъ пильной рамы. При опредѣленіи работы, расходуемой движителемъ, нѣтъ надобности брать въ расчетъ работу, истрачиваемую на подъемъ рамы, потому-что ее возвращаетъ вполнѣ вѣсъ рамы, при обратномъ ходѣ. Но это попеременное дѣйствіе вѣса рамы, то въ пользу то во вредъ движителя, и перемежное дѣйствіе полезнаго сопротивленія дѣлаютъ движеніе неравномѣрнымъ. Для уравненія движенія придаютъ пильной рамѣ опредѣленный вѣсъ. Понятно что невыгодно было-бы дѣлать его болѣе сопротивленія дерева Q. Если-бы вѣсъ рамы Q' былъ равенъ Q, то движитель, поднявъ раму, не встрѣчалъ-бы никакого сопротивленія при обратномъ движеніи и при распилкѣ. Когда вѣсъ рамы менѣе сопротивленія Q, и равенъ напримѣръ Q', тогда при подъемѣ движитель будетъ встрѣчать сопротивленіе Q', а при обратномъ движеніи $Q—Q'$. Поэтому, уменьшеніемъ вѣса рамы можно способствовать уравномѣренію движенія; и самый выгодный случай будетъ, когда $Q—Q'=Q'$, или $Q' = \frac{Q}{2}$, то-есть, *когда вѣсъ пильной рамы будетъ равенъ половинѣ сопротивленія* Q, противопоставляемаго распилкою.

177. *Работа потребляемая распилкою.* — Опредѣляя опытомъ работу, потребляемую распилкою, находятъ, что на распилку одного квадратнаго фута свѣжаго дуба расходуется около 800 пуд. фут. работы. Дубовое бревно

толщиною въ 12 дюймовъ, можетъ быть подвинуто на 7 дюймовъ въ минуту; при чемъ распиленная площадь была-бы $^7/_{12}$ квадр. фута въ минуту, или почти 0,01 квадр. фута въ 1". Этой площади пильнаго разрѣза соотвѣтствуетъ работа:

$$0{,}01 \times 800 = 8 \text{ пуд. фут.}$$

Работа, какую надобно будетъ передать пильной рамѣ, будетъ болѣе найденной; треніе, инерція рамы, потрясенія при дѣйствіи пилы потребятъ нѣкоторую работу, которую надобно прибавить къ 8 пуд. фут. Полагается, приблизительно, что работа истрачиваемая на вредныя сопротивленія вдвое болѣе полезнаго дѣйствія. Такъ что работа, какую долженъ доставить движитель пилѣ, разрѣзающей свѣжій дубъ, будетъ не менѣе 24 пуд. фут. въ секунду.

Въ случаѣ сухаго дуба надобно полагать вполтора раза болѣе, то-есть, по меньшей мѣрѣ, 36 пуд. фут. въ 1".

При распилкѣ хвойнаго лѣсу, работа бываетъ менѣе $^1/_4$-ю, такъ что ее можно положить въ 18 пуд. фут. въ 1".

При распилкѣ вяза работа бываетъ болѣе, тремя четвертями, то-есть $24 + 18 = 42$ п. ф. въ 1".

178. *Площадь распиливаемая машинною лошадью въ часъ.* — Такъ-какъ для распилки 0,01 кв. фута въ 1", свѣжаго или сухаго дуба, хвойнаго лѣсу и вяза, нужны работы въ 24, 36, 18, 42 пуд. фут., то работѣ одной лошади, въ 15 п. ф. въ 1", будутъ соотвѣтствовать слѣдующія площади:

Въ случаѣ свѣжаго дуба: $0{,}01.\frac{15}{24}$.

Въ случаѣ сухаго дуба: $0{,}01.\frac{15}{36}$.

Въ случаѣ хвойнаго лѣсу: $0{,}01.\frac{15}{18}$.

Въ случаѣ вяза: . . . . . $0{,}01.\frac{15}{42}$.

Перемножая эти выводы на 3600, получимъ площади, распиливаемыя въ часъ, работою одной машинной лошади, а именно:

Свѣжаго дуба 22,5 квадр. фут.
Сухаго дуба 15,0 — —
Хвойнаго лѣсу 30,0 — —
Вяза почти 13,0 — —

179. *Число размаховъ пилы и скорость.* — Можно безъ неудобства заставить пилы дѣлать въ 1 минуту до 120 размаховъ. Рукояткѣ мотыля или колѣну вала придаютъ длину въ $^1/_2$ фута, такъ что:

ходъ пилы равенъ 1 футу.

Умножая ходъ пилы на 240, — число размаховъ въ минуту, и раздѣляя на 60, получимъ скорость пилы въ 1″

$$V = 4 \text{ футамъ.}$$

180. *Вѣсъ пильной рамы вмѣстѣ съ пилами.* — Называя S площадь, какую требуется распилить въ 1″, и полагая напримѣръ распилку свѣжаго дуба, умножимъ S на 800, и получимъ $800.S$ работу всѣхъ пилъ. Раздѣливъ работу на скорость $V = 4$ фут., получимъ $200.S$ пуд. — среднее усиліе Q, производимое пилами на дерево; а какъ для наибольшей равномѣрности движенія вѣсъ рамы Q' долженъ равняться половинѣ Q, то:

$$Q' = 100.S \text{ пуд.}$$

Въ случаѣ сухаго дуба, $Q' = 150.S$ пуд.
Въ случаѣ хвойнаго лѣсу, $Q' = 75.S$ пуд.
Въ случаѣ вяза, ... $Q' = 175.S$ пуд.

181. *Вѣсъ маховаго колеса.* — Для уравненія движенія, на валѣ, сообщающемъ движеніе пильной рамѣ, помѣщается маховое колесо, котораго вѣсъ опредѣляется по формулѣ:

$$P = \frac{19680}{V^2}.$$

въ которой P вѣсъ маховаго колеса въ пудахъ, V скорость средней окружности маховаго колеса, въ футахъ.

182. *Круглыя пилы.* — Круглымъ пиламъ, безъ неудобства, можно придавать угловую скорость въ 6 футъ въ 1". Сани можно подвигать въ секунду на $^1/_2$ дюйма. Такъ что, полагая среднюю толщину бревна въ 15 дюймовъ, получимъ площадь пильнаго разрѣза, въ 1", 0,052 кв. фута. Этой площади разрѣза, сдѣланнаго въ свѣжемъ дубѣ, соотвѣтствуетъ работа:

$$0{,}052 \times 800 = 41{,}6 \text{ пуд. фут.}$$

Такъ-какъ въ этомъ случаѣ нѣтъ потери работы на потрясенія, происходившія въ предъидущемъ случаѣ отъ перемежнаго движенія пильной рамы, то будетъ только потеря работы на треніе. Повидимому, достаточно увеличить найденную работу $^1/_4$, на преодолѣніе треній. Такимъ образомъ, работа движителя на каждую пилу, въ секунду, будетъ почти 48 пуд. фут.

Допуская тѣ-же самыя отношенія что и прежде, для другихъ породъ лѣсу, найдемъ:

Для сухаго дуба: 72 п. ф.
Для хвойнаго лѣса: 36 п. ф.
Для вяза: . . . . . 84 п. ф.

Поступая также какъ и въ случаѣ прямыхъ пилъ, найдемъ что одной лошади, въ часъ, соотвѣтствуютъ площади разрѣза:

Свѣжаго дуба: 58,5 кв. фут.
Сухаго дуба . 39 кв. фут.
Хвойнаго лѣса 78 кв. фут.
Вяза . . . . . 33,4 кв. фут.

183. *Передача движенія.* — Когда данъ движитель лѣсопильной машины, то извѣстно бываетъ число оборотовъ въ 1", дѣлаемыхъ валомъ пріемника, и дано число размаховъ пильной рамы, или число оборотовъ круглой пилы; по этимъ даннымъ легко опредѣлить радіусы зуб-

чатыхъ колесъ, сообщающихъ движеніе пріемника валу мотыля. Впрочемъ, вмѣсто зубчатыхъ колесъ, въ этомъ случаѣ, выгоднѣе будетъ употребить передаточные ремни, потому-что сучья, часто попадающіеся въ деревѣ, мѣшаютъ правильному ходу пилъ.

Для опредѣленія числа зубцовъ храноваго колеса, назовемъ e пространство, проходимое бревномъ въ минуту. Возьмемъ шестерню о какомъ нибудь числѣ зубцовъ, и положимъ что начальная окружность шестерни содержитъ въ себѣ k разъ величину e. Такъ-какъ сани проходятъ въ минуту пространство e, то и точка взятая на окружности пройдетъ въ минуту пространство e; или, иначе, шестерня совершитъ одинъ оборотъ въ k минутъ; а какъ храповое колесо помѣщено на одной оси съ нею, то и оно совершитъ одинъ оборотъ въ k минутъ. Откуда слѣдуетъ, что пилы, дѣлающія въ минуту 120 полныхъ размаховъ, сдѣлаютъ $120.k$ размаховъ въ то время, какъ храповое колесо совершитъ одинъ оборотъ. Поэтому, если сдѣлать $120.k$ зубцовъ на храповомъ колесѣ, то оно, при каждомъ размахѣ пилы подвинется на 1 зубецъ.

184. *Примѣръ.* — Положимъ что требуется устроить лѣсопильную машину съ прямыми пилами, которая могла-бы распиливать въ часъ 210 квадр. футъ хвойнаго лѣсу.

Слѣдуя указанному ходу, найдемъ:

$$\text{Число пилъ: } \frac{210}{30} = 7.$$

$$\text{Число машинныхъ лошадей: } \frac{18.7}{15} = 8^{1}/_{2}.$$

Полагая что пильная рама совершаетъ 120 размаховъ въ минуту и сани подвигаются на $^{1}/_{2}$ фута въ 1′, или на 0,1 дюйма въ 1″, и дѣлая ходъ рамы равнымъ 1 футу, получимъ скорость рамы въ 1″:

$$V = 4 \text{ ф.}$$

Площадь пильнаго разрѣза, въ 1",

$$S = {}^{1}/_{30} \text{ кв. фут.}$$

Вѣсъ пильной рамы:

$$Q = 75.S = \frac{75}{30} = 2{,}5 \text{ пуд.}$$

Если сдѣлать діаметръ маховаго колеса въ 4 фута, то скорость его средней окружности, въ 1", будетъ:

$$V = \frac{120}{60} \times 4.\,\pi = 25{,}12 \text{ фут.}$$

Слѣдовательно, вѣсъ маховаго колеса:

$$P = \frac{19680}{(25{,}12)^2} = 31{}^{1}/_{2} \text{ пуд.}$$

Число оборотовъ вала пріемника и число оборотовъ мотыля въ 1' послужатъ къ опредѣленію діаметровъ шкивовъ для передачи движенія.

Сани подвигаются на полфута въ минуту. Если возьмемъ шестерню, которой окружность втрое болѣе, то-есть въ $1{}^{1}/_{2}$ фута, то надобно будетъ сдѣлать: $3 \times 120 = 360$ зубцовъ на храповомъ колесѣ.

V.

ДИНАМОМЕТРИЧЕСКІЕ ПРИБОРЫ.

185. *Цѣль динамометровъ.* — Опредѣленіе величины силъ и ихъ работы составляетъ одинъ изъ важнѣйшихъ вопросовъ практической Механики. На точномъ рѣшеніи этого вопроса основано правильное употребленіе движущихъ силъ и машинъ, и вѣрная оцѣнка ихъ дѣйствій. Приборы для измѣренія силъ и ихъ работы, называемые *Динамометрами*, до сихъ поръ были весьма несовершенны. Оттого многіе вопросы, важные въ практикѣ, ненаходили удовлетворительныхъ рѣшеній. Первыя попытки по устройству динамометровъ имѣли мало успѣха, отъ того что, приготовленіемъ динамометровъ занимались, почти всегда, люди, мало знакомые съ основными началами Механики. Въ наше время, при всеобщемъ стремленіи къ распространенію началъ практической Механики, вопросъ о динамометрахъ не могъ остаться безъ удовлетворительнаго рѣшенія. *Моренъ* (Morin), офицеръ французской ар-

тиллеріи, занимаясь десять лѣтъ сряду опытами надъ треніемъ, тягою повозокъ и судовъ, и надъ работою движителей и машинъ, обратилъ особенное вниманіе на устройство динамометровъ, и, послѣ многихъ опытовъ, довелъ динамометрическіе приборы до значительной степени совершенства. Мы покажемъ сущность приборовъ Морена, сказавъ предварительно объ обыкновенныхъ способахъ опредѣленія величины силъ и ихъ работы.

186. *Приборы для измѣренія величины силъ.* — Простѣйшій приборъ для измѣренія силъ — *пружинный безмѣнъ*, котораго составъ и употребленіе объяснены въ 1-ой части, (§. 3.). Для той-же самой цѣли употребляются разнаго рода динамометры, изъ которыхъ извѣстнѣйшій и наиболѣе употребительный — *динамометръ Реніе*. Главная составная часть всякаго динамометра—стальная пружина. Какой-бы ни былъ составъ динамометра, пружина должна имѣть свойство сгибаться, пропорціонально дѣйствующимъ на нее силамъ. Какъ скоро, при употребленіи такой пружины, опредѣлена постоянная зависимость между прогибомъ пружины и соотвѣтствующимъ ей усиліемъ, то, въ данномъ случаѣ достаточно измѣрить прогибъ, для полученія соотвѣтствующаго ему усилія.

Въ динамометрѣ Реніе *(Чер. 225)* употреблена двойная стальная пружина *ABCDEF*. Къ верхней дугѣ *ABC* прикрѣпленъ мѣдный лимбъ *GHI*, въ центрѣ котораго утверждена стрѣлка *bg*, приводимая въ движеніе колѣнчатымъ рычагомъ *edc*. Конецъ *c* рычага скрѣпленъ съ срединою *a* дуги *FE* брускомъ *ac*. При дѣйствіи силы, сжимающей или разстягивающей динамометръ, конецъ стрѣлки *bg* движется по лимбу и указываетъ величину измѣряемой силы. Дѣленія на лимбѣ назначены по опыту. Силу прикладываютъ къ одному изъ двухъ концовъ *A* и *D*; другой укрѣпляютъ неподвижно.

187. *Опредѣленіе опытомъ работы машины. Динамометрическій нажимъ Прони.* — Пружиннымъ безменомъ или

динамометромъ можно опредѣлить величину силы или сопротивленія, но нельзя опредѣлить *работу* силы, на нѣкоторомъ протяженіи, или среднюю величину перемѣнной силы.

Въ 1821 году, извѣстный французскій ученый, *Прони* (de Prony) придумалъ приборъ, для измѣренія работы, принимаемой валомъ паровой машины. Приборъ Прони, называемый *Динамометрическимъ нажимомъ* (Frein dynamometrique), скоро вошелъ во всеобщее употребленіе и послужилъ къ рѣшенію опытомъ многихъ вопросовъ практической Механики. Опишемъ его въ томъ видѣ, въ какомъ употреблялъ его нѣмецкій механикъ Эгенъ, при опытахъ надъ гидравлическими колесами въ Вестфаліи.

Приборъ Прони представленъ въ двухъ проекціяхъ на *Чер. 226*. Онъ состоитъ изъ чугуннаго хомута, котораго двѣ половинки скрѣплены болтами; по бокамъ устроены небольшія закраины. Внѣшняя поверхность хомута тщательно обточена и отполирована. Къ испытываемому валу хомутъ прилаживается посредствомъ шести длинныхъ болтовъ, съ винтами *c*, *c*, пропущенными въ ушки *d*, *d*. Что-бы, при вращеніи, винты нескользили по валу, заклиниваютъ плотно промежутки между хомутомъ и валомъ. Укрѣпивъ хомутъ на валѣ, обтягиваютъ его снаружи цѣпью, составленною изъ желѣзныхъ листовъ; листы скрѣпляются между собою болтами, пропускаемыми въ шарниры; концы цѣпи прикрѣплены къ толстымъ болтамъ *e*, *e*. Болты *ee* пропускаются сквозь деревянный брусъ, называемый *рычагомъ нажима*. Подъ рычагомъ расположена на хомутѣ деревянная подушка. Въ рычагѣ и въ подушкѣ, проверчено нѣсколько дыръ, въ которыя впускается масло, для смазки поверхности хомута. На концѣ рычага *f* привѣшенъ поддонъ, на который кладутъ разновѣсы.

При употребленіи нажима для измѣренія работы, принимаемой или передаваемой валомъ машины, разобщаютъ

валъ съ приводами, которые онъ приводитъ въ движеніе, прижимаютъ нажимъ и придаютъ рычагу горизонтальное положеніе; послѣ того, устроиваютъ надъ рычагомъ и подъ нимъ упорки, которыя недозволяютъ рычагу отклоняться отъ горизонтальнаго положенія, болѣе какъ на три градуса, и принятствуютъ вращаться вмѣстѣ съ валомъ. Пустивъ машину въ ходъ, увеличиваютъ постепенно грузъ на поддонѣ, и въ то-же время прижимаютъ цѣпь къ хомуту, посредствомъ болтовъ e, e. Все это дѣлаютъ до тѣхъ поръ, пока валъ начнетъ вращаться съ нормальною своею скоростью, при чемъ рычагъ нажима долженъ занимать горизонтальное положеніе. Понятно что, при подобномъ состояніи машины, вся работа, принимаемая валомъ отъ движителя, употребится на преодолѣніе тренія цѣпи на поверхности хомута. Если назвать F это треніе, r радіусъ поверхности хомута, V_1 угловую скорость вала, то $F.r.V_1$ будетъ работа, расходуемая на треніе, въ единицу времени, или, что все равно, работа принимаемая валомъ отъ движителя, въ каждую единицу времени. Такъ какъ треніе F уравновѣшиваетъ собою нагрузку поддона P, то называя R плечо силы P, то-есть, разстояніе центра вращенія вала до направленія вѣса P, получимъ:

$$PR = Fr, \text{ откуда } F = \frac{PR}{r},$$

слѣдовательно, работа τ, принимаемая валомъ въ единицу времени, представится такъ

$$\tau = P.R.V_1$$

то-есть, *произведеніемъ изъ нагрузки P, на пространство, какое стремится пройти въ единицу времени точка привѣса поддона.*

Во всемъ этомъ предполагается что весь приборъ расположенъ равновѣсно, то-есть такъ, то центръ его тяжести находится надъ осью, въ отвѣсной плоскости, про-

ходящей черезъ центръ вращенія. Для достиженія этого, уравновѣшиваютъ отвѣсомъ рычагъ и привѣшенный къ нему поддонъ.

Гашетъ (Hachette) замѣнялъ грузъ *P* на поддонѣ натяженіемъ веревки, привязанной къ неподвижному динамометру. Но безпрестанныя качанія рычага и динамометра крайне затрудняютъ наблюденіе, и только имѣя много навыку, можно опредѣлить среднее положеніе рычага и среднюю величину силы *P*.

Понсле (Poncelet) предложилъ помѣстить параллельно динамометру кружокъ *(Чер. 227)* приводимый въ равномѣрное вращеніе безконечною бечевкою; карандашъ, прилаженный къ пружинѣ динамометра, чертилъ кривую линію на кружкѣ и показывалъ послѣдовательныя величины натяженія *P*. Это измѣненіе значительно усовершенствовало приборъ Прони; но въ этомъ видѣ онъ можетъ употребляться только для опытовъ продолжающихся незначительное время, потому что, когда кривая линія на кружкѣ, пересѣчется сама собою нѣсколько разъ, тогда затруднительно вывести законъ измѣненія силы *P* и величину работы вала.

Вообще, при употребленіи прибора Прони, надобно наблюдать что-бы движеніе испытываемаго вала было или совершенно равномѣрнымъ, или, по крайней мѣрѣ, періодически-равномѣрнымъ, иначе инерція машины будетъ имѣть вліяніе на результатъ опыта.

Размѣры динамометрическаго нажима зависятъ отъ скорости вращенія вала и отъ передаваемой имъ работы. (*).

(*) Для опытовъ надъ гидравлическими колесами, Эгенъ употреблялъ хомутъ, котораго внутренній діаметръ былъ въ 12 *д.*, толщина хомута 1 *д.*, а ширина 6 *д.*, и закраины въ 1 *д.* Цѣпь состояла изъ 8 желѣзныхъ листокъ, въ 2 линіи толщины и въ 4 *д.* ширины. Болты для прикрѣпленія къ рычагу были длиною въ 2 фута и діаметромъ въ 1 дюймъ. Рычагъ имѣлъ стороны поперечнаго сѣченія отъ 6 до 8 дюйм. Вѣсъ всего прибора доходилъ отъ 12 до 15 пудовъ.

Чѣмъ болѣе діаметръ хомута, тѣмъ менѣе давленіе цѣпи и треніе въ каждой точкѣ, и тѣмъ удобнѣе производить опыты. Можно придавать хомуту:

діам. въ 6 д., при ск. отъ 20–30 обор. въ 1′, и при раб. отъ 6– 8 л.
— 12–16 — — 15–30 — — — 15–25 л.
— 28–32 — — 15–30 — — — 40–60 л.

188. *Приборъ Морена для опытовъ надъ тягою.* — Въ настоящее время лучшими динамометрическими приборами считаются приборы *Морена* (Morin). Они устроиваются двоякіе: *для опытовъ надъ тягою* и *для измѣренія работы валовъ*.

Приборы назначаемые для измѣренія силы и работы лошадей и другихъ животныхъ въ манежахъ, при движеніи повозокъ или плуговъ, и при тягѣ судовъ бечевою, устроиваются слѣдующимъ образомъ.

Двѣ совершенно-одинаковыя, стальныя полосы, *aa′* и *bb′* (*Чер. 228*) размѣщаются параллельно между собою, на ребро, и оканчиваются проушинами, въ которыя вставляются соединительные болты. Одна изъ нихъ *bb′*, прикрѣпляется срединою къ предмету приводимому въ движеніе. Съ этою цѣлью, устроена лапа *c* изъ чугуна, съ проймою, въ которую пропускается полоса *bb′* и прижимается винтомъ *g*. Другая полоса *aa′* пропущена въ другую лапу *d*, съ кольцомъ *r*, на которое дѣйствуетъ движущая сила. Такъ какъ опыты показываютъ что стальной полосѣ не слѣдуетъ придавать прогибъ болѣе $^1/_{10}$ ея длины, то для предупрежденія излишняго увеличенія прогиба, въ динамометрѣ Морена придѣлываютъ къ задней лапѣ *c* двѣ толстыя чугунныя скобы *ii*, соединенныя между собою болтами *e*. Въ болты упирается передняя пружина *aa′*, когда прогибъ ея достигнетъ высшаго предѣла.

Послѣдовательныя измѣненія прогибовъ пружины, отмѣчаются на бумагѣ, кисточкою, напитанною тушью, карандашемъ или перомъ особаго устройства, вставляемыми

въ переднюю лапу. Бумага передвигается равномѣрно подъ оконечностью кисточки, пера или карандаша. Съ этою цѣлью длинную бумажную полосу навиваютъ предварительно на запасный цилиндръ *l*, съ котораго она переходитъ на пріемникъ *g* и поддерживается подъ перомъ тремя катками. При непрерывномъ движеніи бумаги, перо чертитъ на ней кривую линію, которой изгибы представятъ законъ измѣненія силы. Къ задней лапѣ с прилаживается другое перо, которое, оставаясь неподвижнымъ, вмѣстѣ съ лапою, чертитъ прямую линію, соотвѣтствующую силѣ равной нулю.

Движеніе бумагѣ сообщаютъ различно. При опытахъ надъ тягою лошадей въ повозкахъ, можно передать бумагѣ движеніе отъ ступицы одного изъ переднихъ колесъ, посредствомъ безконечной струны и передаточнаго шкива. На продолженіи оси шкива помѣщается безконечный винтъ, параллельно пружинамъ; винтъ вращаетъ шестерню, насаженную на ось небольшаго мѣднаго цилиндра *n*, на который навивается шелковая нитка и передаетъ движеніе коническому барабану *m* и пріемнику *g*. Измѣненіе діаметра барабана *m* расчитано такъ, что при равномѣрномъ вращеніи движущаго цилиндра *n*, вращеніе пріемника *g* замедляется пропорціонально увеличенію его внѣшняго діаметра, по причинѣ навертывающейся бумаги. — При опытахъ надъ тягою судовъ, движеніе бумагѣ сообщается часовымъ механизмомъ.

Понятно что если бумага движется подъ перомъ со скоростью, которая находится въ извѣстномъ отношеніи со скоростью повозки или судна, то длина бумаги представитъ собою, по нѣкоторому масштабу, пространство пройденное повозкою или судномъ. Если-же движеніе сообщается бумагѣ часовымъ механизмомъ, и движеніе повозки равномѣрно, то въ равныя времена будутъ передвигаться равныя части бумаги; и потому, длина всей бумаги представитъ собою, также по нѣкоторому масшта-

бу пространство пройденное повозкою. А какъ ординаты кривой линіи, вычерчиваемой перомъ, пропорціональны усиліямъ движителя и величинѣ сопротивленія повозки или судна, то, въ обоихъ случаяхъ, площадь фигуры, ограниченной кривою линіею, линіею абсциссъ и двумя какими нибудь ординатами, будетъ пропорціональна работѣ движителя и равнаго ему сопротивленія. Для опредѣленія этой работы, достаточно лишь вычислить площадь этой фигуры, и опредѣлить опытомъ отношеніе между единицею ея и единицею работы.

Динамометръ съ бумажнымъ листомъ, длиною до 10 саженъ, можетъ опредѣлять работу движителя на протяженіи одной версты, а съ часовымъ механизмомъ — въ продолженіи $^3/_4$ часа. Для опытовъ на большемъ протяженіи, или продолжающихся большее время, вмѣсто бумажной полосы, прилаживаютъ къ динамометру *счетный механизмъ* слѣдующаго устройства.

Сквозь заднюю лапу *c* *(Чер. 229)* пропущена ось, на которую, надъ пружинами навинченъ кружокъ *B*, 6-ти дюймовъ въ діаметрѣ, а снизу, подъ лапами насаженъ шкивъ *D*, приводимый въ движеніе ступицею повозки или часовымъ механизмомъ. Подпорка *E*, отлитая вмѣстѣ съ переднею лапою *d*, поддерживаетъ счетный механизмъ, который такимъ образомъ слѣдуетъ за всѣми движеніями передней стальной полосы. Главная часть счетнаго механизма,—катокъ *T*, *(Чер. 230)* насаженный на ось, параллельную кружку *B* и направленію движущей силы. Въ началѣ, то-есть пока стальная полоса неизогнута, катокъ прикасается къ самому центру кружка *B*, и слѣдовательно, остается неподвижнымъ при вращеніи кружка. Потомъ, когда стальная полоса погнется, катокъ вмѣстѣ съ переднею лапою *d* удаляется отъ центра и приходитъ въ движеніе отъ вращающагося кружка, со скоростью тѣмъ большею, чѣмъ болѣе прогибъ полосы и чѣмъ быстрѣе вращеніе кружка. Такъ какъ прогибъ по-

лосы пропорціоналенъ движущей силѣ, а скорость кружка — скорости движенія повозки, то число оборотовъ катка будетъ пропорціонально работѣ движителя. Это число указывается стрѣлкою, движущеюся по кругу, раздѣленному на равныя части.

189. *Приборъ Морена для опытовъ надъ работою валовъ фабричныхъ машинъ.* — Точное опредѣленіе работы, принимаемой валомъ машины, въ продолженіе ея дѣйствія, необходимо во многихъ случаяхъ. Приборъ Ирени, о которомъ мы уже говорили (§. 187.), неудобенъ въ практикѣ, по многимъ причинамъ, и въ особенности потому что, во время опыта, часть машины, подвергаемая испытанію, должна быть разобщена со всѣми механизмами, которые она приводитъ въ движеніе. Хорошій динамометрическій приборъ долженъ удовлетворять слѣдующимъ условіямъ:

1. Измѣрять работу въ продолженіи значительнаго времени, и независимо отъ того, движется-ли машина равномѣрно или нѣтъ;

2. Не требовать участія и даже присутствія наблюдателя; и

3. Не прерывать дѣйствія машины, въ продолженіи опыта.

Всѣмъ этимъ условіямъ удовлетворяетъ приборъ Морена *(Чер. 231)*.

На валѣ поддерживаемомъ двумя чугунными подпорами помѣщены три чугунные шкива, равныхъ діаметровъ: первый *A* насаженъ наглухо, второй *C* вольно, третій *B* также вольно, но этотъ послѣдній можетъ вращаться на валѣ только въ нѣкоторыхъ предѣлахъ. Приборъ помѣщается между движущимъ и испытываемымъ валами. До начала опыта, ремень идущій отъ движущаго вала накинутъ на вольный шкивъ; приступая къ опыту перекидываютъ ремень съ вольнаго на глухой шкивъ и тогда приборъ приходитъ въ движеніе. По шкиву *B* проведенъ

ремень, который долженъ передавать движеніе испытываемому валу. Такъ-какъ шкивъ насаженъ на валъ прибора вольно, то для сообщенія ему движенія устроиваютъ на ободѣ выступъ, въ который упирается стальная полоса, вдѣланная въ валъ *D*, по направленію радіуса. Полоса, вращаясь вмѣстѣ съ валомъ, давитъ на выступъ, гнется и сообщаетъ вращательное движеніе шкиву *B* и испытываемому валу. Шкивъ *B* перемѣщается пропорціонально прогибу пружины и величинѣ сопротивленія, противопоставляемаго испытываемымъ валомъ. Для опредѣленія прогибовъ пружины, на одной спицѣ шкива помѣщаютъ карандашъ, который чертитъ кривую линію на бумагѣ *d*, движущейся равномѣрно. Другой карандашъ, неподвижный, чертитъ прямую линію, соотвѣтствующую первому прогибу. Механизмъ для движенія бумаги совершенно похожъ на описанный при динамометрахъ для тяги. Въ составъ его входитъ уравнительный барабанъ *k*, которому сообщается движеніе слѣдующимъ образомъ. *(Чер. 232)*. На валѣ *D* помѣщено вольное зубчатое кольцо *e*, сцѣпляющееся съ шестерню *f*; ось шестерни расположена въ плоскости перпендикулярной къ оси вала, но непересѣкается съ нею. На одной оси съ шестернею находится безконечный винтъ *g*, сцѣпляющійся съ шестернею, насаженною на ось малаго цилиндра *h*, на который навивается шелковая нитка, движущая коническій барабанъ *k*. Если-бы зубчатое кольцо было насажено на валъ наглухо, то бумага оставалась-бы на барабанѣ безъ движенія. Но если кольцо, насаженное вольно, удержать на мѣстѣ особымъ механизмомъ *y*, при вращеніи вала, въ то время какъ шестерня *g* вращается вмѣстѣ съ валомъ *D*, то эта шестерня придетъ въ вращеніе на своей оси и заставитъ двигаться коническій барабанъ и бумажную полосу.

Описанное здѣсь устройство неможетъ быть употреблено для опредѣленія работы машины въ продолженіи

значительнаго времени — сутокъ, недѣли и болѣе, въ чемъ иногда случается надобность. Для приспособленія его и къ этой цѣли, замѣняютъ бумагу и карандашъ кружкомъ и счетнымъ приборомъ—подобно тому, что было сказано о динамометрахъ для тяги. Кружокъ вращается со скоростью, пропорціональною пространству, проходимому окружностью шкива, а катокъ счетнаго прибора удаляется отъ центра, пропорціонально усиліямъ, обнаруживающимся на поверхности шкива. Поэтому, число оборотовъ катка будетъ пропорціонально работѣ, передаваемой испытываемому валу.

КОНЕЦЪ.

ОГЛАВЛЕНІЕ

ВТОРОЙ ЧАСТИ НАЧАЛЬНЫХЪ ОСНОВАНІЙ МЕХАНИКИ.

ОБЗОРЪ ПОСЛѢДОВАТЕЛЬНЫХЪ УСПѢХОВЪ МЕХАНИКИ.

§§ Стр.

Механика у древнихъ — Механика послѣ возрожденія наукъ въ Европѣ, до изобрѣтенія высшаго анализа — Развитіе Механики со времени изобрѣтенія высшаго анализа . . . . . I—XXI

ЧАСТЬ ВТОРАЯ.

ПРИКЛАДНАЯ МЕХАНИКА.

ВВЕДЕНІЕ.

1—4. Два рода техническихъ производствъ. — Цѣль механической обработки. — Мѣра полезнаго дѣйствія. — Сравненіе между собою механическихъ производствъ и движителей. — Предметъ науки . . . . . 1—5

I.

ОБЩАЯ ТЕОРІЯ ДВИЖЕНІЯ МАШИНЪ.

I. Приложеніе закона передачи работы къ движенію машинъ.

§§		Стран.
5—6.	Три составныя части машинъ. — Понятіе о физическомъ составѣ машинъ. — Общее уравненіе движенія машинъ	6—10
7.	Вліяніе движителя, вредныхъ сопротивленій, вѣса и иперціи машины на полезное дѣйствіе	10—13

II. Главныя обстоятельства движенія фабричныхъ машинъ.

8.	Отличительное свойство движенія машинъ. — Постепенный ходъ машины.	13—15
9—10.	Выгоды равномѣрнаго и неудобства перемѣннаго движенія. — Причины неравномѣрнаго движенія и общіе способы уравненія движенія	15—18

III. Общія правила составленія фабричныхъ машинъ.

11—12.	Невозможность полнаго рѣшенія вопроса о составѣ машины. — Общій ходъ при составленіи машины .	18—22
13.	Назначеніе и выгоды доставляемыя машинами. — Невозможность вѣчныхъ движеній	22—23

II.

ПРИВОДЫ ДВИЖЕНІЙ.

I. Приводы для передачи и преобразованія движеній.

15—18.	Десять вопросовъ о преобразованіи движеній. — Преобразованіе прямолинейнаго непрерывнаго въ прямолинейныя непрерывное и возвратное, и въ круговыя непрерывное и возвратное	25—30

§§ Стран.

19—21. Преобразованіе круговаго непрерывнаго движенія въ круговыя непрерывное и возвратное и въ прямолинейное возвратное . . . . . 30—43

22—23. Преобразованіе прямолинейнаго и круговаго возвратныхъ движеній въ прямолинейныя и круговыя возвратныя . . . . . 43—48

II. Приводы для измѣненія движеній.

24—33. Раздѣленіе приводовъ для измѣненія движеній. — Сцѣпленіе и расцѣпленіе частей машины . . . . 48—56

34. Приводы для измѣненія скорости . . . . . 56—57

III. Приводы для сохраненія неизмѣннымъ направленія движенія.

35—36. Приводы для предупрежденія отклоненій отъ даннаго направленія . . . . . 57—59

37—38. Приводы для предупрежденія обратныхъ движеній . 59—61

IV. Приводы для уравниванія движеній.

39—41. Три рода уравнительныхъ приводовъ. — Модераторы: крылатые маховики и нажимы . . . . . 61—64

42—43. Регуляторы: Уравнивающіе барабаны и центробѣжный регуляторъ . . . . . 64—74

44. Маховики. Общая теорія ихъ дѣйствія . . . . . 74—78

V. Передача движенія посредствомъ мотылей и зубчатыхъ зацѣпленій.

45—51. Дѣйствіе мотылей. — Маховое колесо для мотылей двойнаго дѣйствія . . . . . 78—95

52—59. Зубчатыя зацѣпленія. — Прямое зацѣпленіе. — Условія зацѣпленія. — Кулачное зацѣпленіе . . . . . 95—111

60—61. Накосное зацѣпленіе. — Размѣры зубцовъ . . . . 112—119

III.

ДВИЖИТЕЛИ И ПРІЕМНИКИ ИХЪ РАБОТЫ.

62. Условія которымъ долженъ удовлетворять движитель. — Раздѣленіе фабричныхъ движителей . . . . . 119—121

I. Живые движители.

§§		Стран.
63.	Работа живыхъ движителей. — Пріемники работы человѣка	121—124
64—67.	Работа лошади. — Конные приводы. — Значеніе *машинной* лошади	124—127
68—69.	Выводы изъ опытовъ надъ работою живыхъ движителей. — Переноска и перевозка по горизонтальному направленію	127—131

II. Вѣтеръ, разсматриваемый какъ движитель.

70—71.	Запасъ работы вѣтра. — Крылья вѣтряныхъ мельницъ. — Примѣры устройства вѣтряныхъ мельницъ.	132—135

III. Вода, разсматриваемая какъ движитель.

72—74.	Запасъ работы воды. — Общая теорія и раздѣленіе гидравлическихъ пріемниковъ.	136—142
75—84.	Подливныя колеса съ плоскими и съ кривыми перьями	142—158
85—87.	Наливная колеса	158—171
88—89.	Полуналивныя колеса	171—174
99.	Висячія колеса	174—176
91—94.	Турбины	176—183
95.	Сравненіе между собою гидравлическихъ колесъ	183—185
96—97.	Водостолбовыя машины	185—193

IV. Водяной паръ, разсматриваемый какъ движитель.

1. Свойства пара.

98—101.	Образованіе пара въ пустомъ пространствѣ. — Насыщающіе и ненасыщающіе пары. — Упругая сила пара	193—200
102—106.	Вѣсъ водянаго пара. — Количество теплорода въ единицѣ вѣса пара	200—210
107—110.	Количество холодной воды для охлажденія пара. — Количество теплорода доставляемое топливомъ. — Количество воздуха для сожженія топлива. — Количество топлива для образованія пара	210—215

2. Паровыя машины.

111—112.	Разнаго рода паровыя машины	215—219
113—114.	Обзоръ послѣдовательныхъ усовершенствованій паровыхъ машинъ, отъ перваго намека въ древности до Ньюкомена	219—224

§§		Стран.
115—116.	Ньюкоменова машина. — Усовершенствованія Уатта	224—234
117.	Описаніе машины Уатта	234—239
118—119.	Машины усиленнаго давленія. — Изобрѣтеніе паровозовъ. — Понятіе о составѣ паровоза	239—242
120—121.	Примѣненіе силы пара къ судоходству. — Общее понятіе о пароходахъ съ гребными колесами и съ архимедовымъ винтомъ	242—252
122.	Постоянныя машины усиленнаго давленія	252
123—127.	Теорія дѣйствія паровыхъ машинъ. — Вычисленіе полезнаго дѣйствія посредствомъ коэфиціентовъ	253—262
128—129.	Неудовлетворительность прежней теоріи. — Теорія Памбура	262—271
130—132.	Составныя части паровыхъ машинъ. — Паровики. — Форма, толщина стѣнъ, вмѣстимость паровиковъ	271—280
133—137.	Отверзтія въ паровикѣ. — Снабженіе водою. — Указатели горизонта воды. — Предохранительные клапаны. — Манометры	280—289
138.	Причины взрыва паровиковъ. — Усовершенствованные приборы отъ взрыва	289—297
139.	Правила предосторожности при употребленіи машинъ усиленнаго давленія	297—301
140—145.	Паровыя печи. — Топлива. — Паропроводная труба. — Раздѣлительныя коробки. — Золотники и краны	301—311
146—148.	Паровой цилиндръ. — Поршень. — Сальникъ	311—315
149	Приводы для передачи и уравненія движенія	315—316
150—151.	Холодильникъ. — Насосы: воздушный, нагнетательный и для холодной воды	316—318
152.	Практическія правила Уатта	318—324
153.	Сравненіе между собою паровыхъ машинъ	324—326

IV.

ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МЕХАНИЗМЫ.

154.	Предметъ статьи	327—328

1. Насосы.

155—160.	Дѣйствіе всасывающихъ насосовъ. — Составныя части. — Треніе поршня въ насосѣ, полезное дѣйствіе и работа движителя, количество поднимаемой воды	328—333

§§		Стран.
161—162.	Нагнетательные насосы. — Полезное дѣйствіе, работа движителя	333—334
163.	Неправильность дѣйствія насосовъ. — Средства для достиженія непрерывнаго движенія. — Уравниваніе движенія	334—335
164—166.	Устройство поршней и клапановъ. — Причины неисправности насосовъ. — Примѣры	335—342

2. Гидравлическій прессъ.

167.	Составъ гидравлическаго пресса	342—344
168.	Давленіе производимое прессомъ	344—346

3. Мукомольныя мельницы.

169.	Размолъ хлѣбныхъ зеренъ. — Три главныя операціи .	346—348
170—174.	Діаметръ, вѣсъ и скорость жернова. — Усиліе для вращенія верхника. — Работа для вращенія оси жернова. — Количество смалываемаго зерна. — Примѣръ .	348—351

4. Лѣсопильныя машины.

175.	Два рода пилъ для распилки дерева	351—353
176—181.	Усиліе движителя при распилкѣ. — Вѣсъ пильной рамы. — Работа потребляемая распилкою. — Площадь распиливаемая въ часъ. — Число размаховъ и скорость пилы	353—356
182—184.	Круглыя пилы. — Передача движенія. — Примѣръ .	356—358

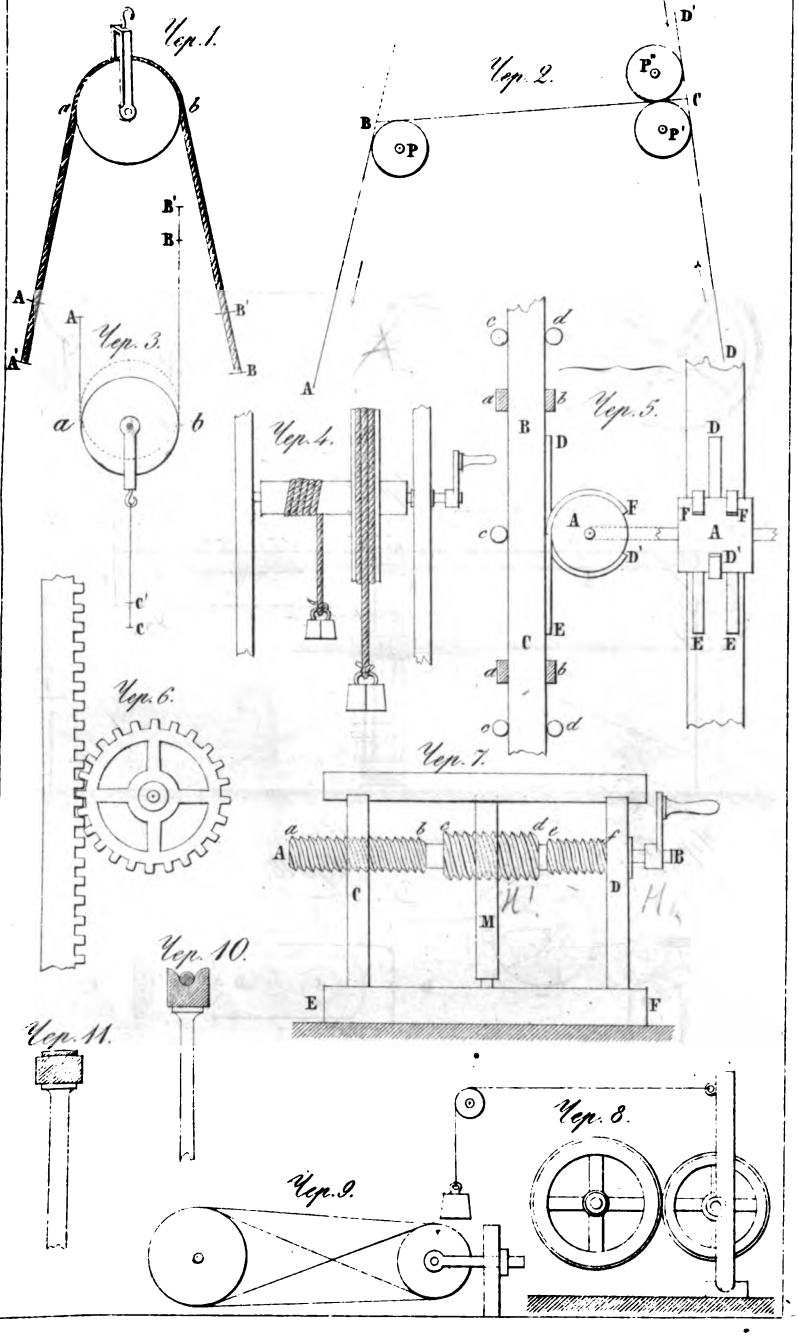
V.

ДИНАМОМЕТРИЧЕСКІЕ ПРИБОРЫ.

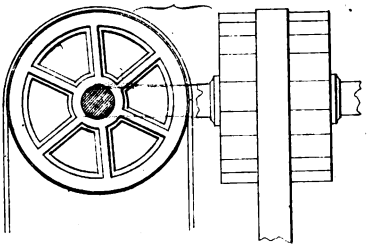
185—186.	Цѣль динамометровъ.—Приборы для измѣренія силъ	358—360
187.	Приборы для измѣренія работы. — Динамометрическій нажимъ Прони	360—363
188—189.	Динамометрическіе приборы Морена	363—369

ОПЕЧАТКИ.

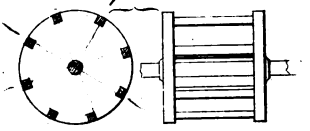
Стран.	*Строка*	*Напечатано:*	*Исправить:*
13	28	раждаго	каждаго
38	8 снизу	фифрами	цифрами
49	24	неподвижно	вольно
70	1 снизу	CA	CJ
71	1	CA	CJ
—	2	KCA	KCJ
—	19	$Ad' = Dd$	$Dd' = Ad$
97	24	CT'	$C'T$
103	2	$a'tb'$	$a't'b'$
—	15	$T't$	Tt
109	5	C	C'
113	19	EPS	EPZ
123	14	грудою	грудью
126	7	b	d
219	11 снизу	Spiritualia	Spiritalia
—	6 —	KG	KO
226	7	Q	g

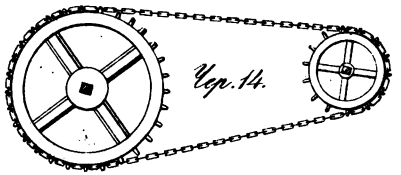

Чер. 1.
Чер. 2.
Чер. 3.
Чер. 4.
Чер. 5.
Чер. 6.
Чер. 7.
Чер. 8.
Чер. 9.
Чер. 10.
Чер. 11.

Чер. 12.



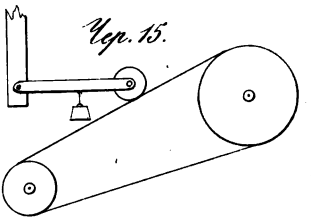
Чер. 13.



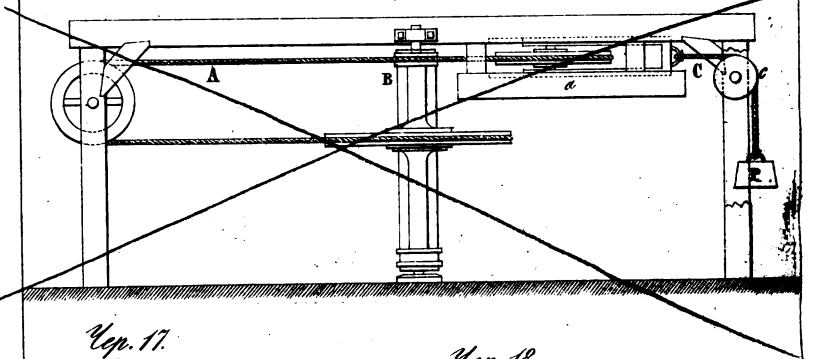


Чер. 14.

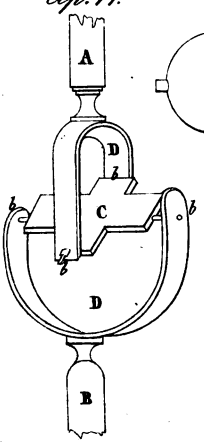
Чер. 15.



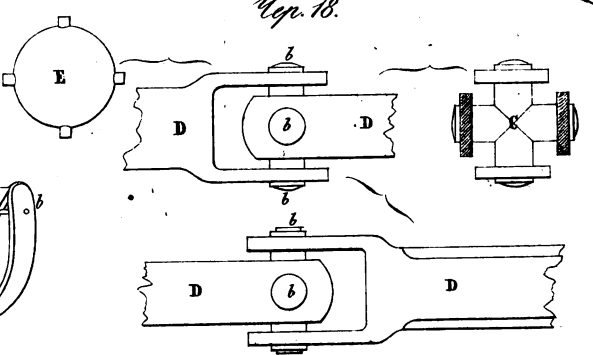
Чер. 16.



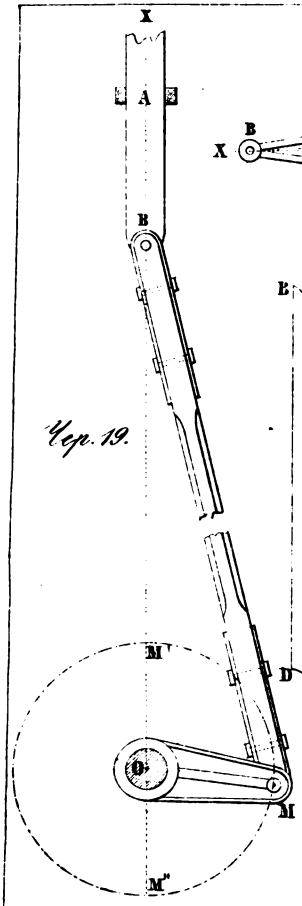
Чер. 17.



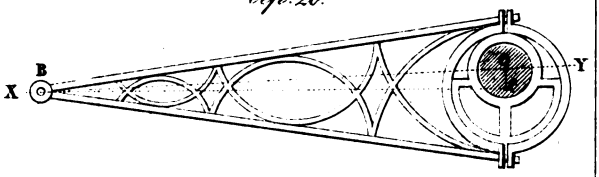
Чер. 18.



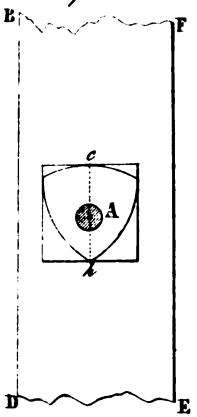
Чер. 19.



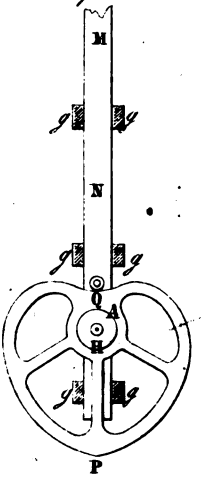
Чер. 20.



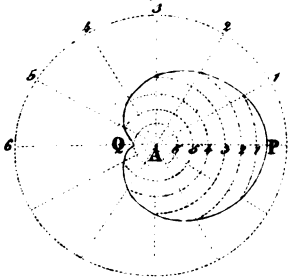
Чер. 21.



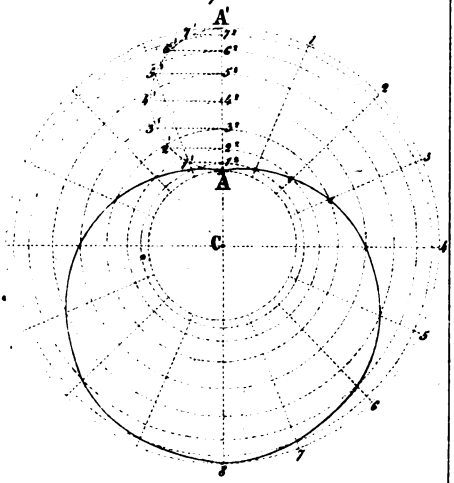
Чер. 22.

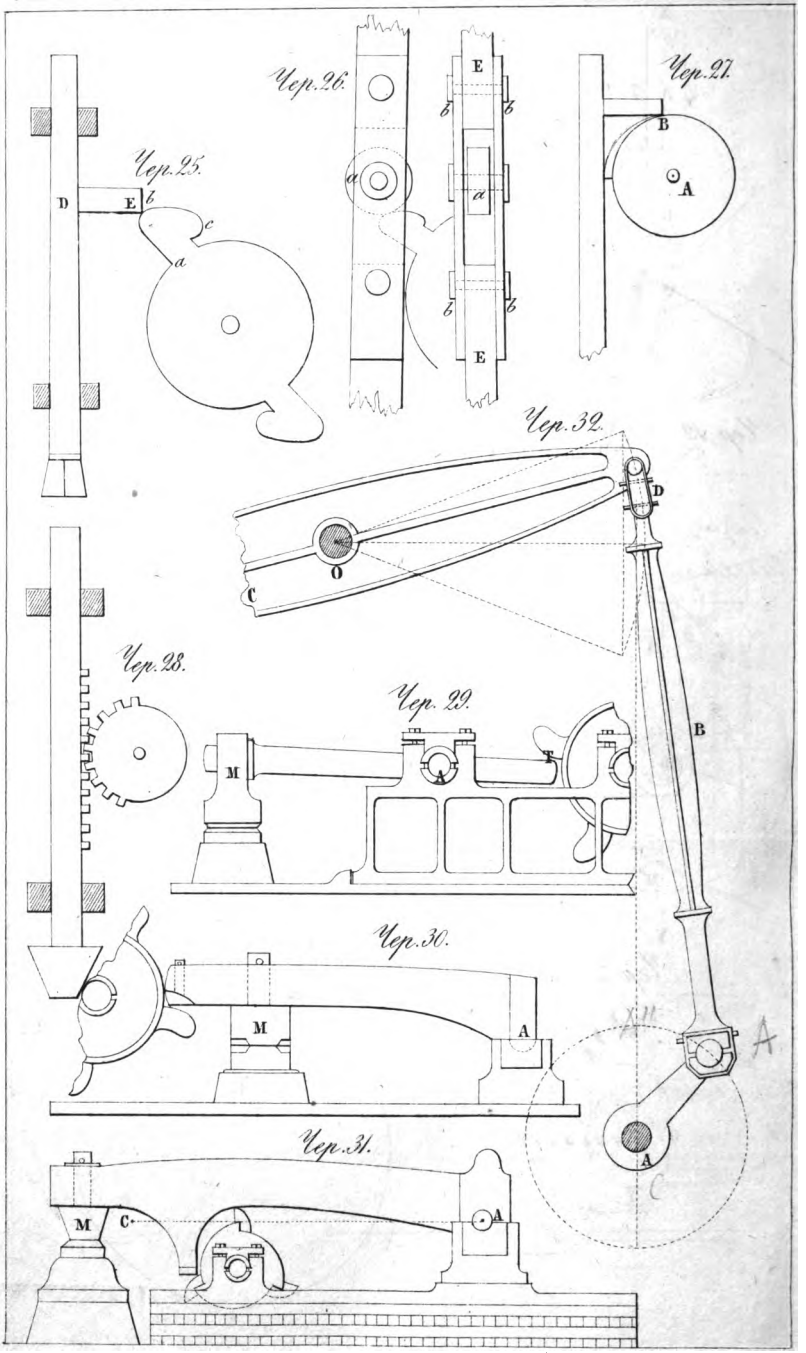


Чер. 23.

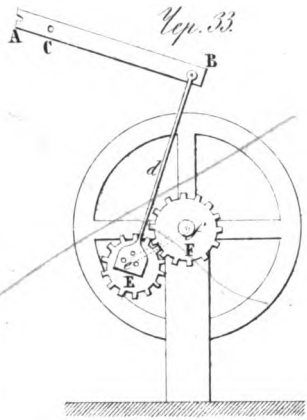


Чер. 24.

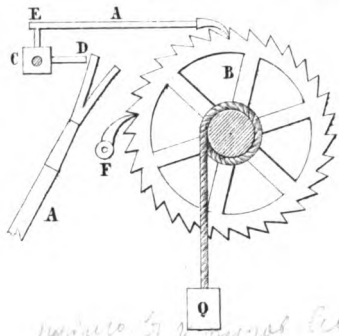



Чер.26.
Чер.27.
Чер.25.
Чер.32.
Чер.28.
Чер.29.
Чер.30.
Чер.31.
D
E
b
c
a
B
A
C
O
M

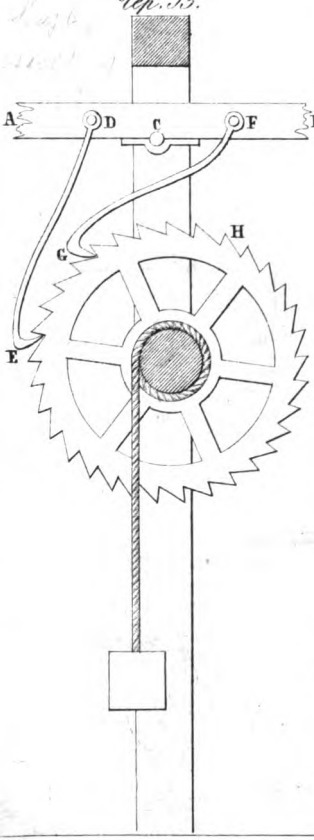
Чер. 33.



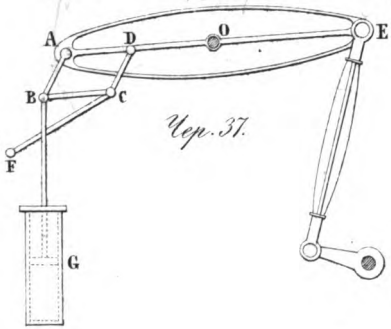
Чер. 34.



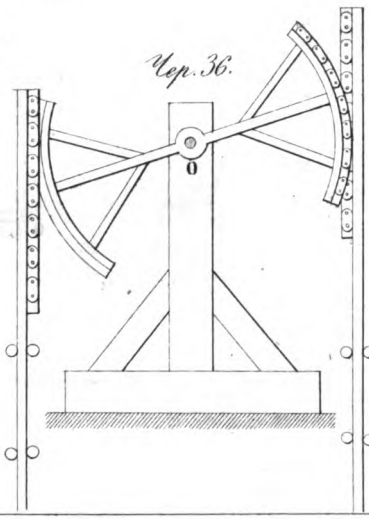
Чер. 35.

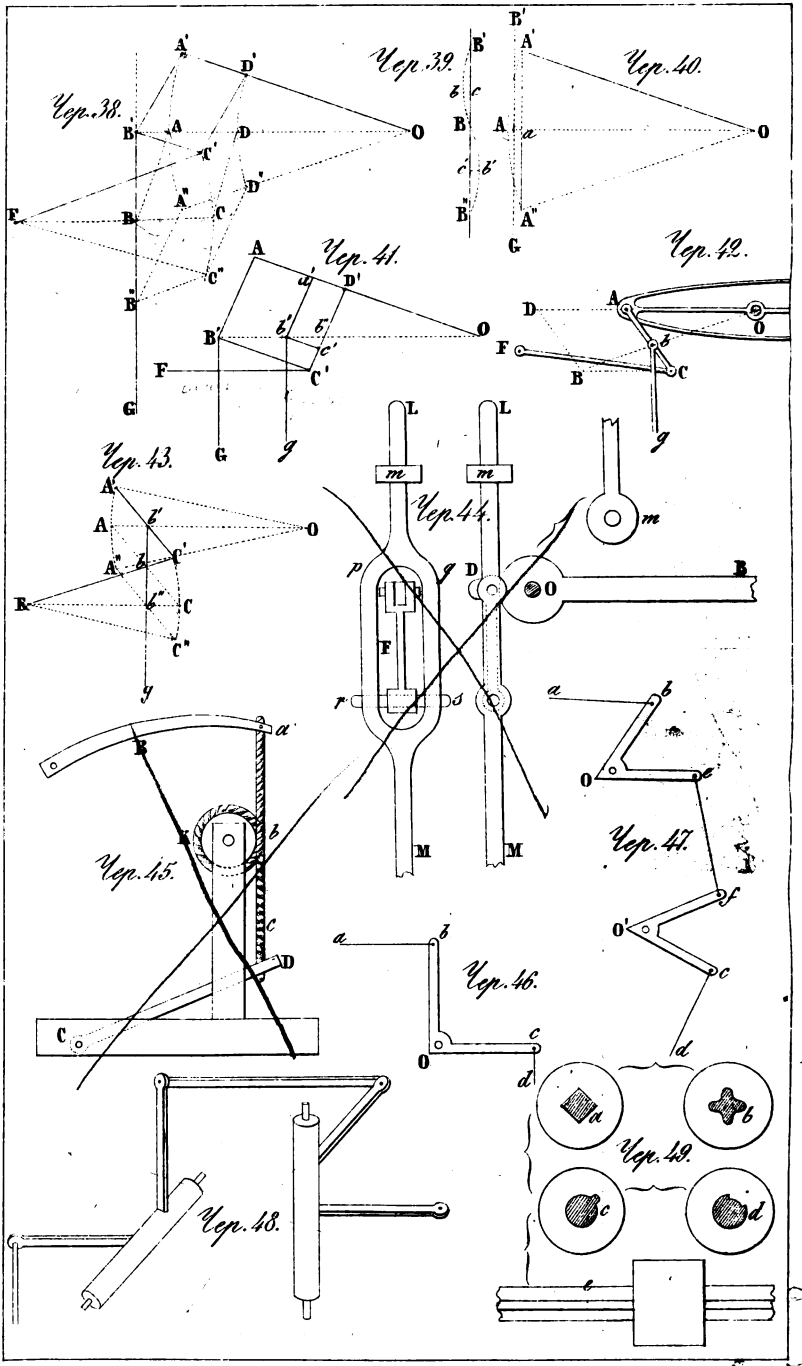


Чер. 37.

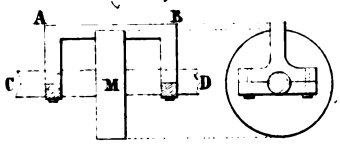


Чер. 36.

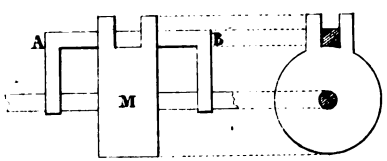



Чер. 38.
Чер. 39.
Чер. 40.
Чер. 41.
Чер. 42.
Чер. 43.
Чер. 44.
Чер. 45.
Чер. 46.
Чер. 47.
Чер. 48.
Чер. 49.

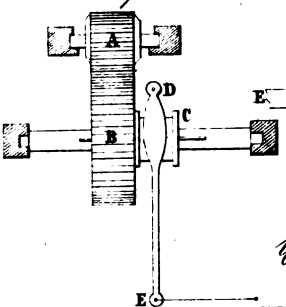
Чер. 50.



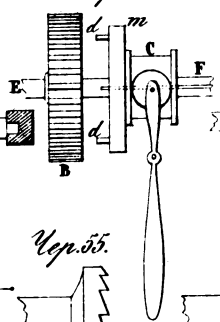
Чер. 51.



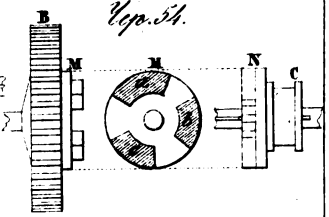
Чер. 52.



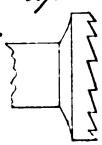
Чер. 53.



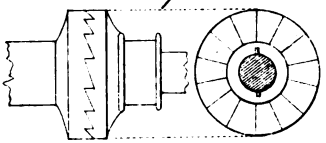
Чер. 54.



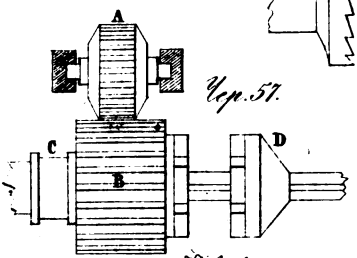
Чер. 55.



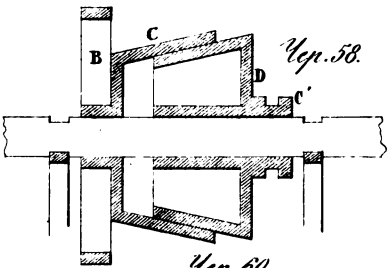
Чер. 56.

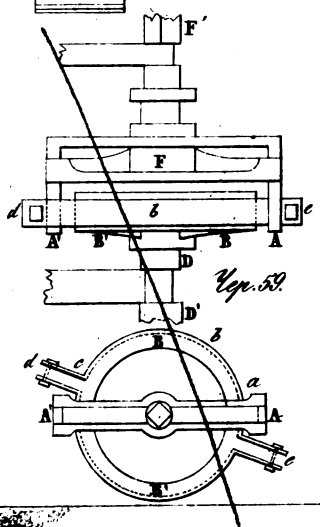


Чер. 57.



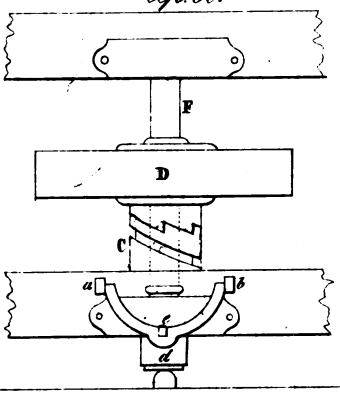
Чер. 58.

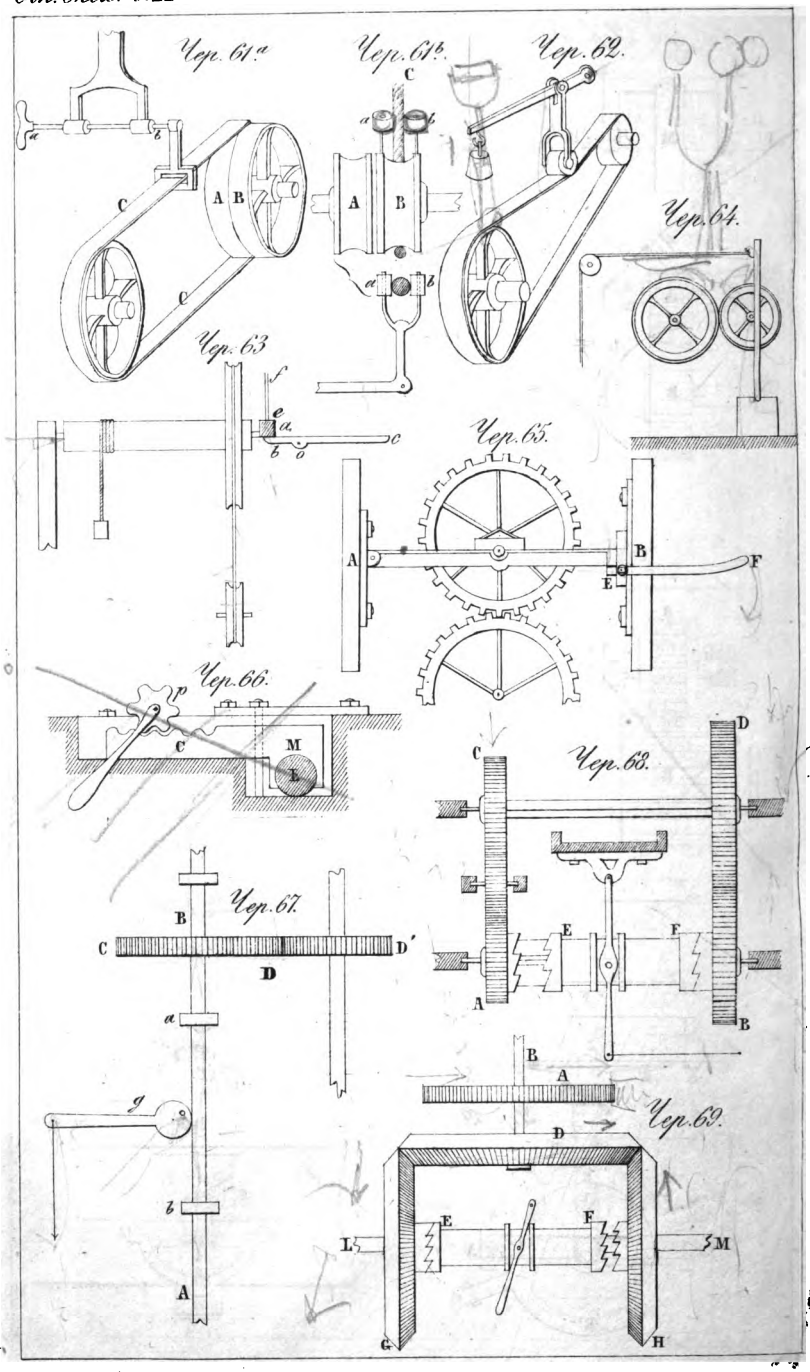




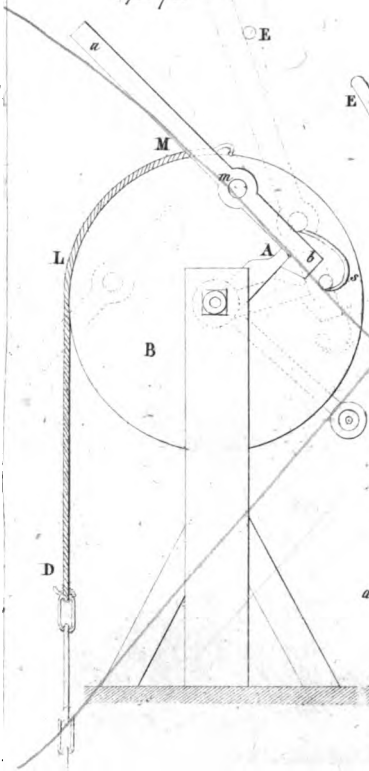
Чер. 59.

Чер. 60.

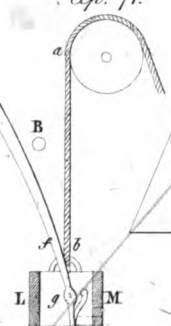



Чер. 61.а
Чер. 61.б
Чер. 62.
Чер. 64.
Чер. 63
Чер. 65.
Чер. 66.
Чер. 68.
Чер. 67.
Чер. 69.

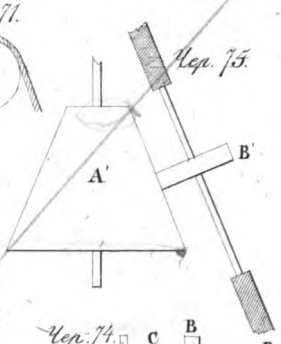
Чер. 70.



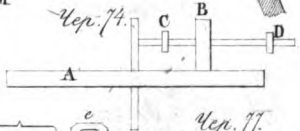
Чер. 71.



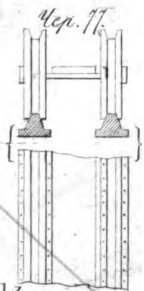
Чер. 75.

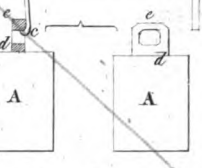


Чер. 74.

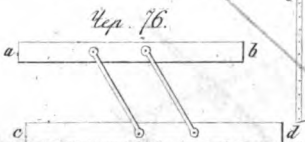


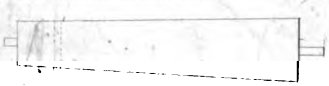
Чер. 77.



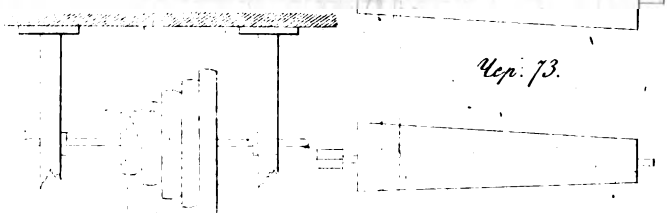


Чер. 76.

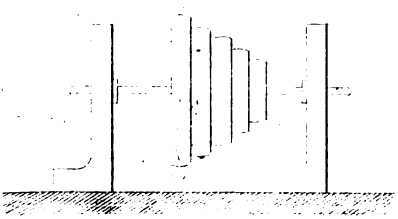




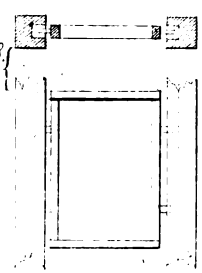
Чер. 73.



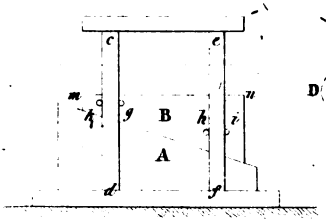
Чер. 72.



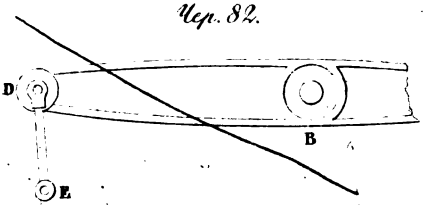
Чер. 78.

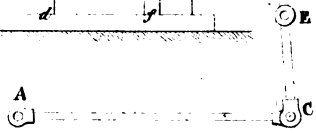


Чер. 79.

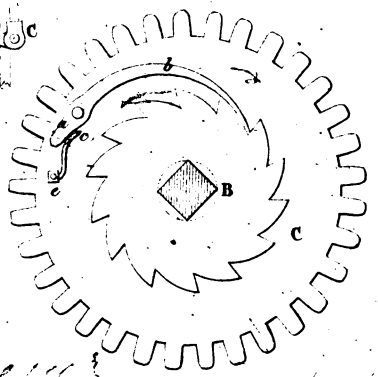


Чер. 82.

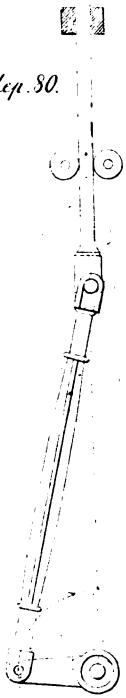




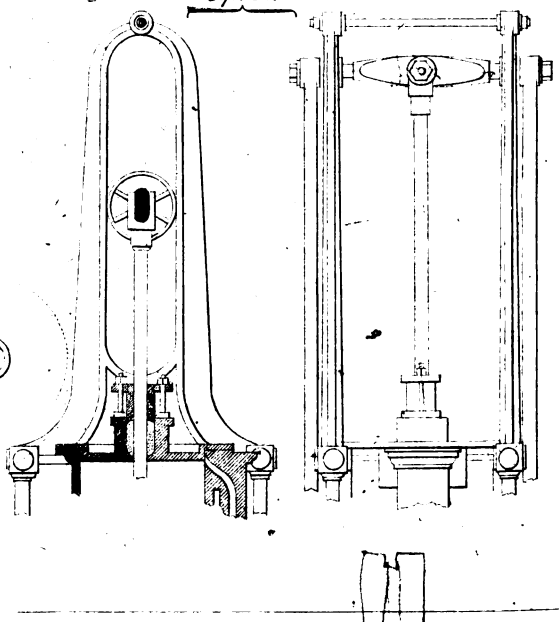
Чер. 83.



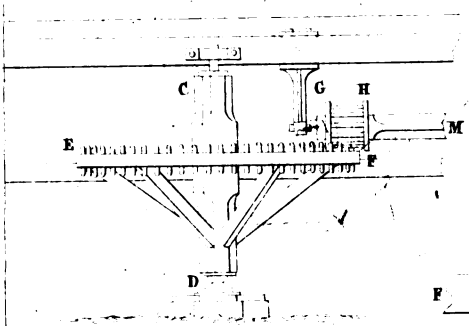
Чер. 80.



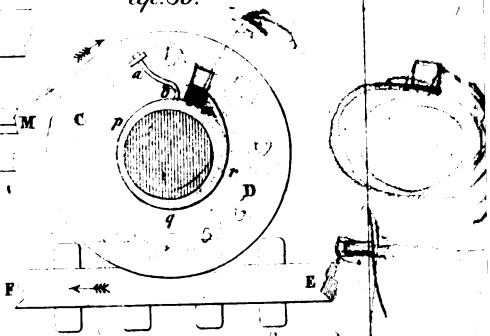
Чер. 81.



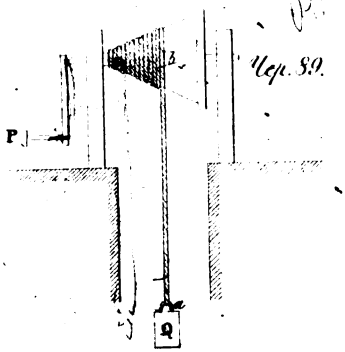
Чер. 84.



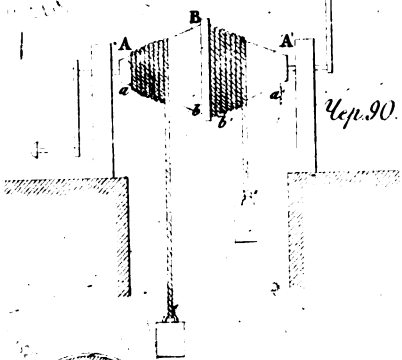
Чер. 85.



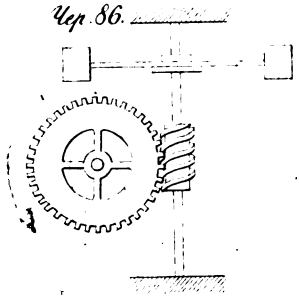
Чер. 89.



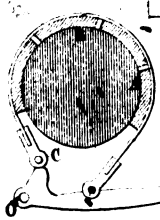
Чер. 90.



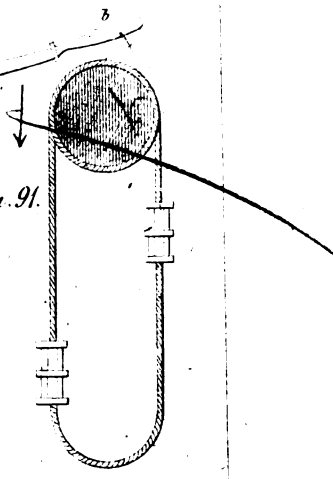
Чер. 86.



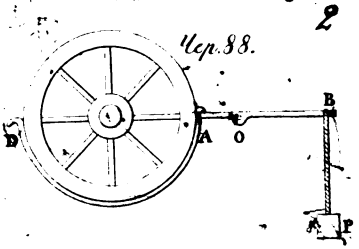
Чер. 87.



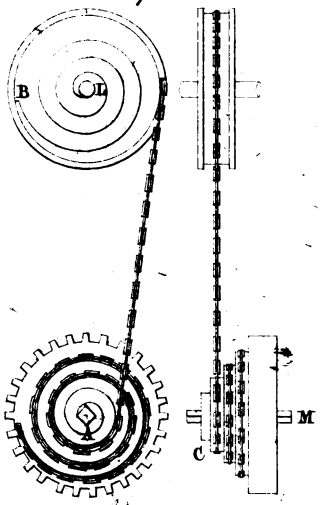
Чер. 91.



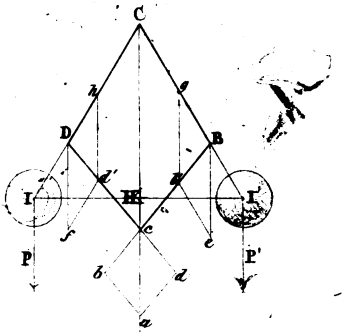
Чер. 88.



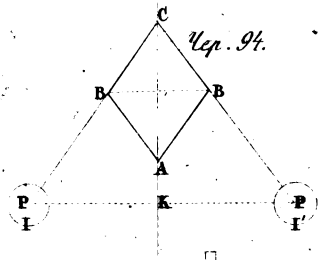
Чер. 92.



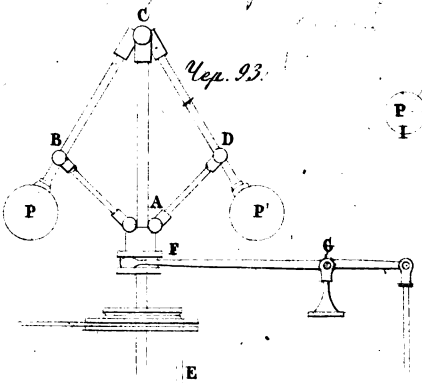
Чер. 95.



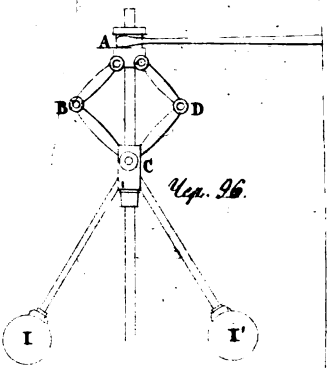
Чер. 94.



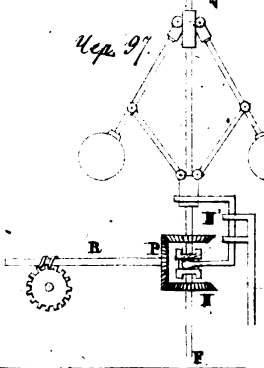
Чер. 93.



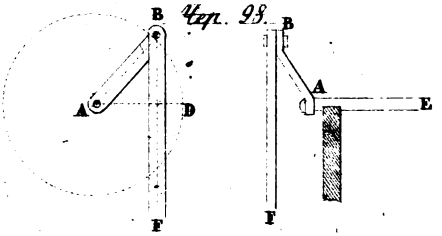
Чер. 96.



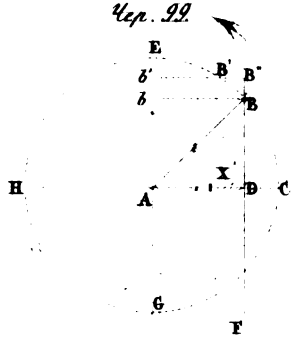
Чер. 97.



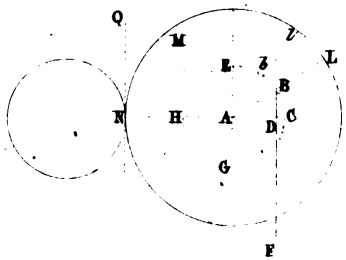
Чер. 98.



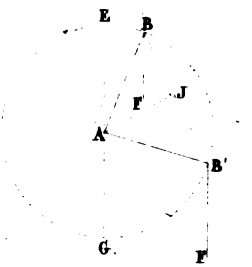
Чер. 99.



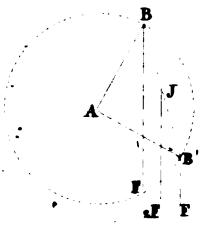
Чер. 103.



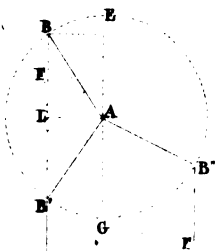
Чер. 101.



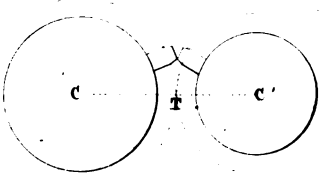
Чер. 100.



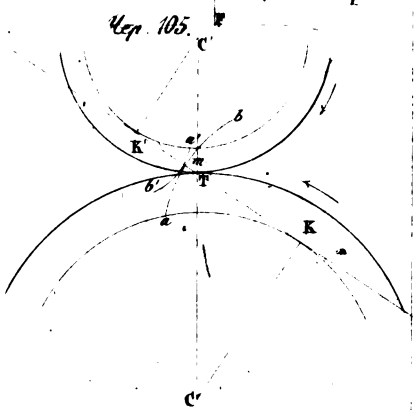
Чер. 102.



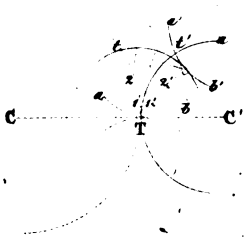
Чер. 104.



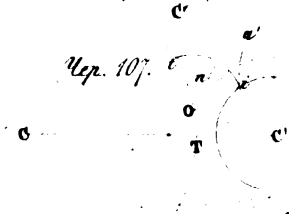
Чер. 105.



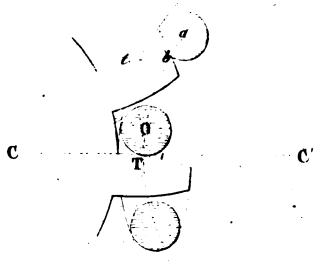
Чер. 106.



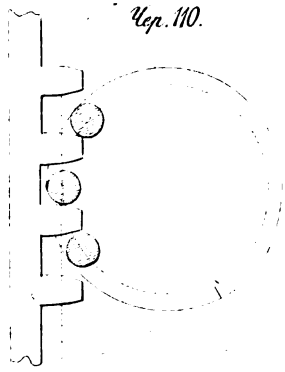
Чер. 107.



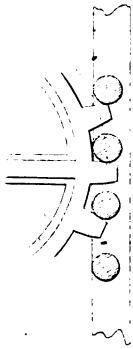
Чер. 108.



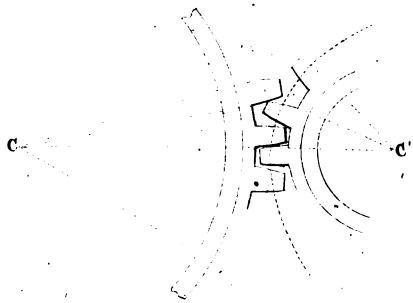
Чер. 110.



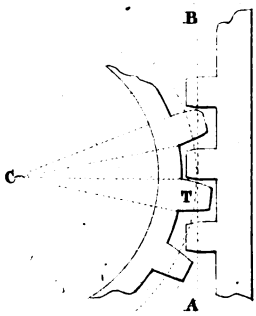
Чер. 109.



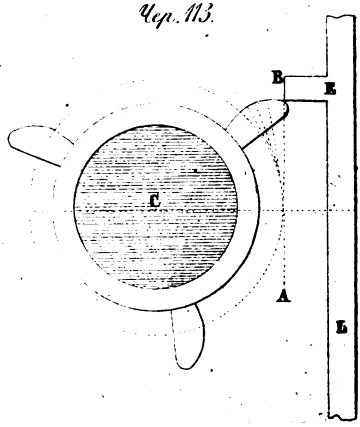
Чер. 111.



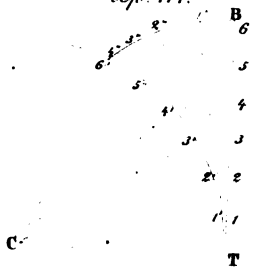
Чер. 112.



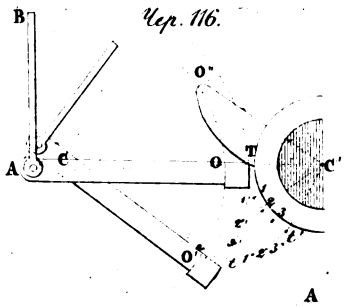
Чер. 113.



Чер. 114.



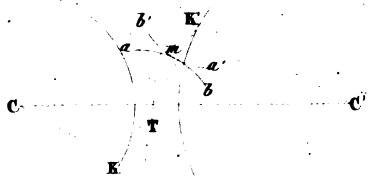
Чер. 116.



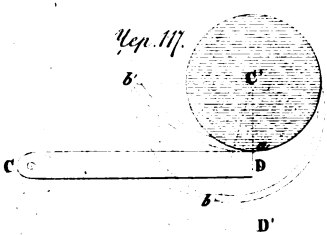
Чер. 115.



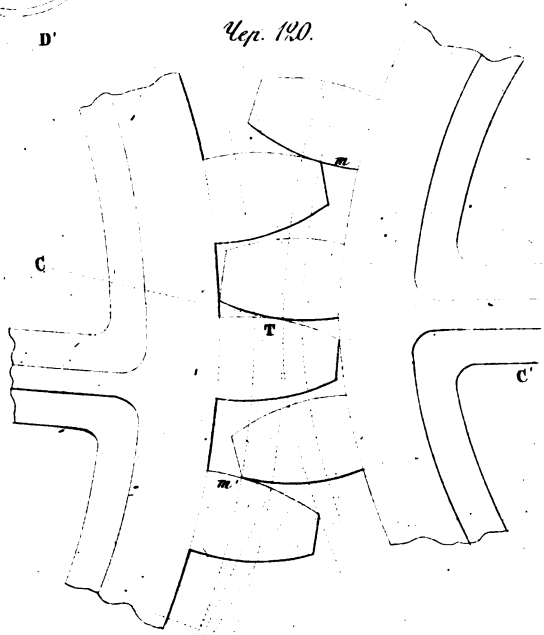
Чер. 119.



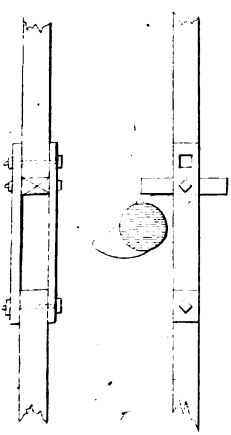
Чер. 117.



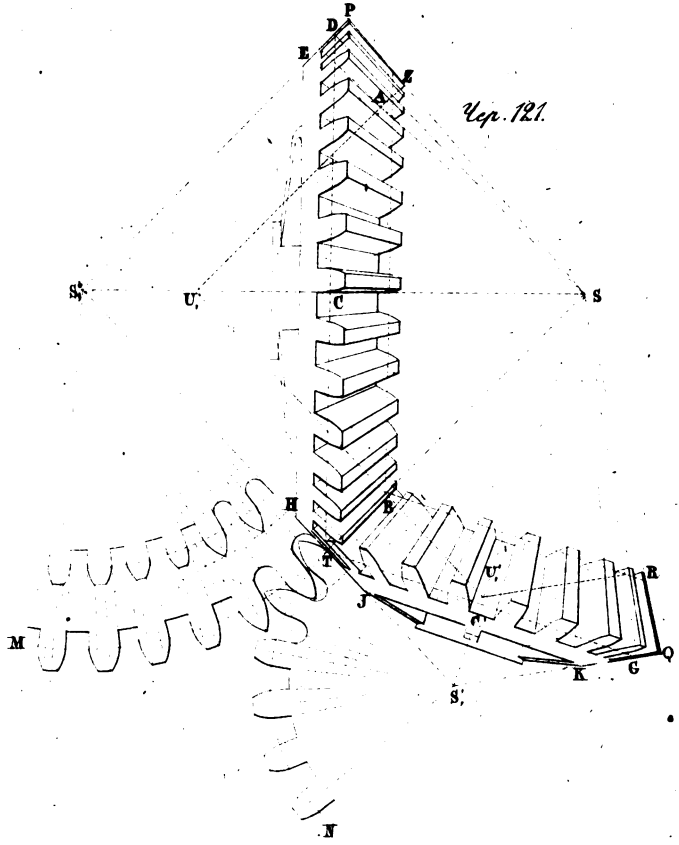
Чер. 120.



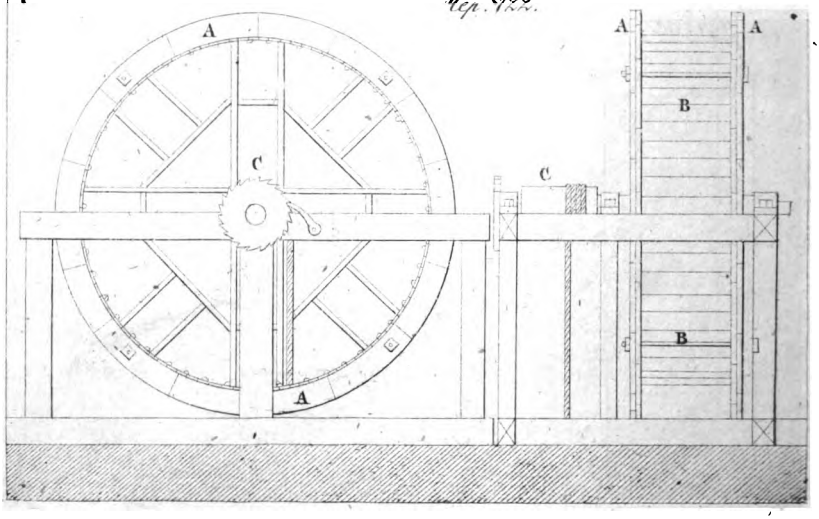
Чер. 118.



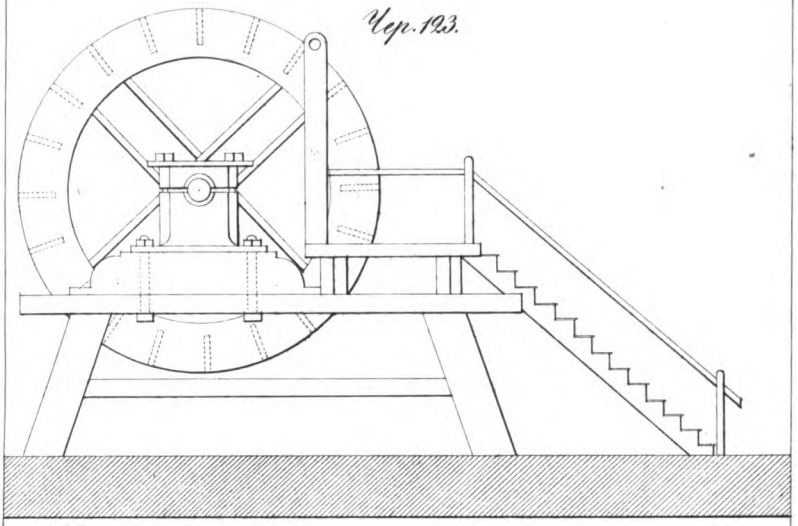
Чер. 121.

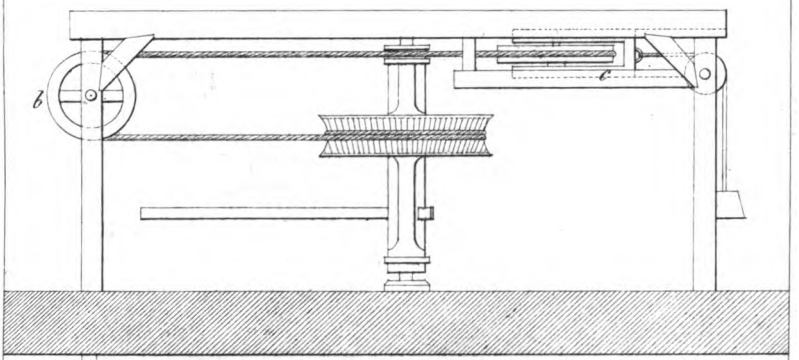


Чер. 122.

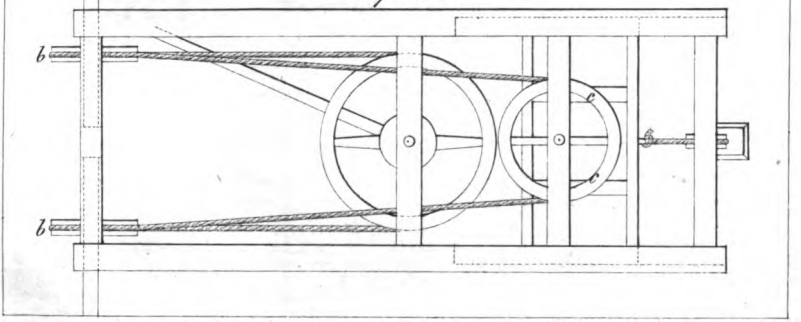


Чер. 193.

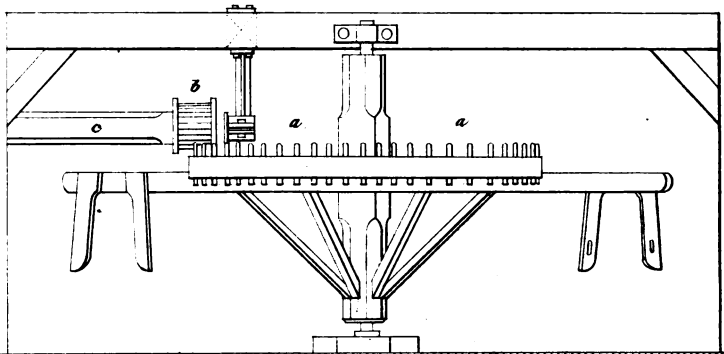




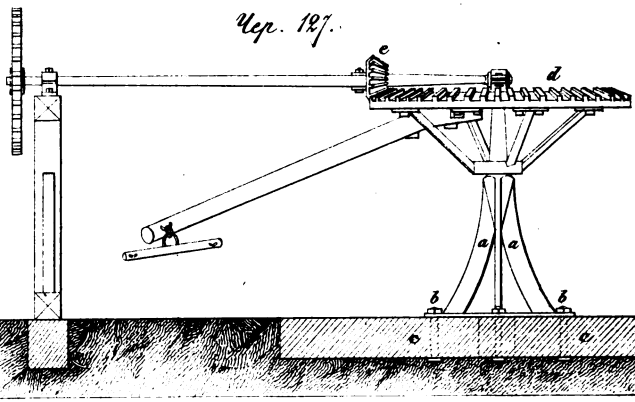
Чер. 194.



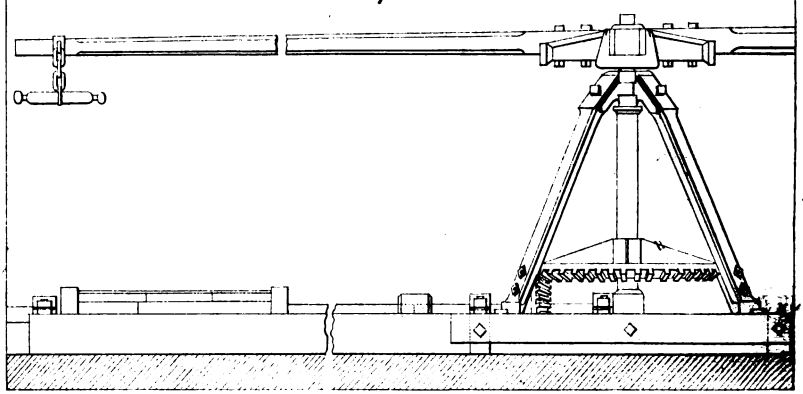
Чер. 125.

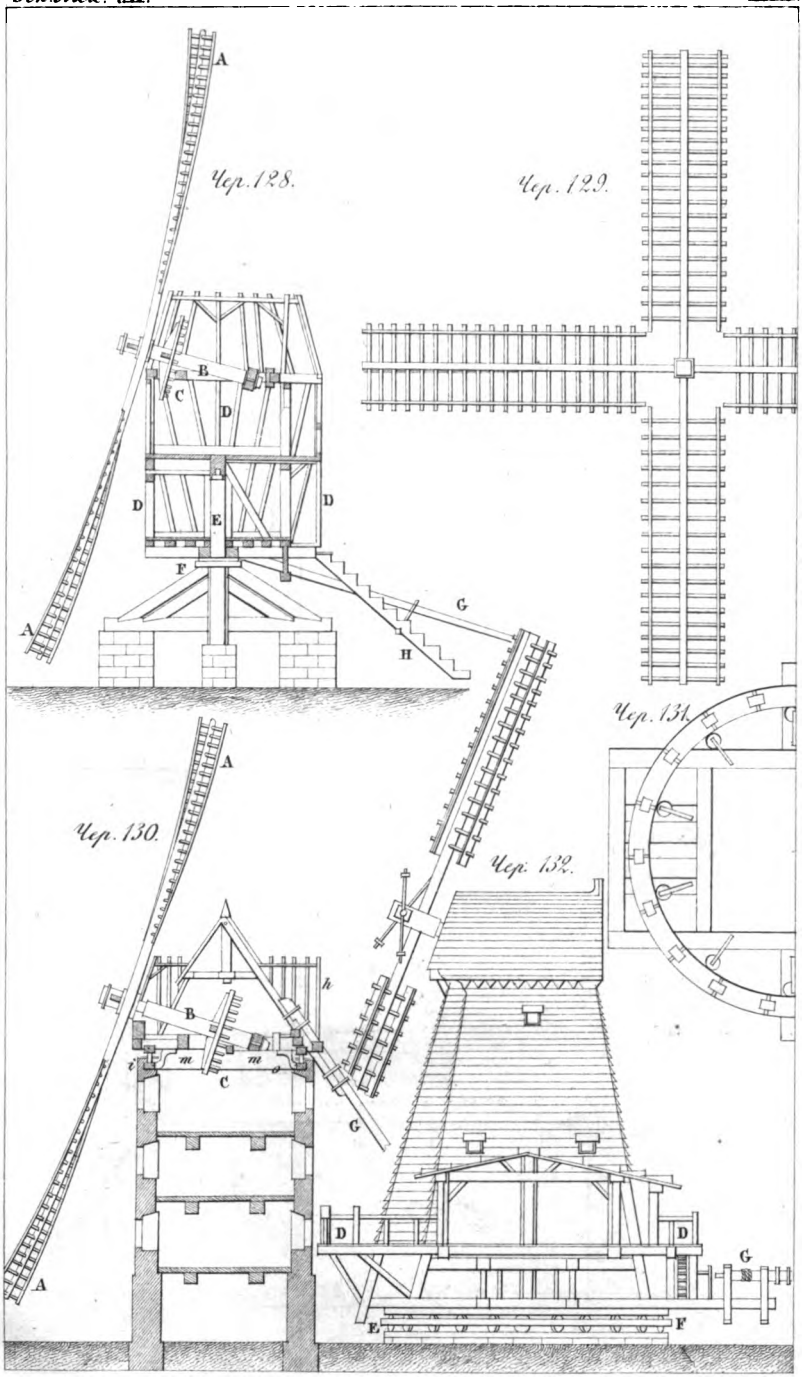


Чер. 127.

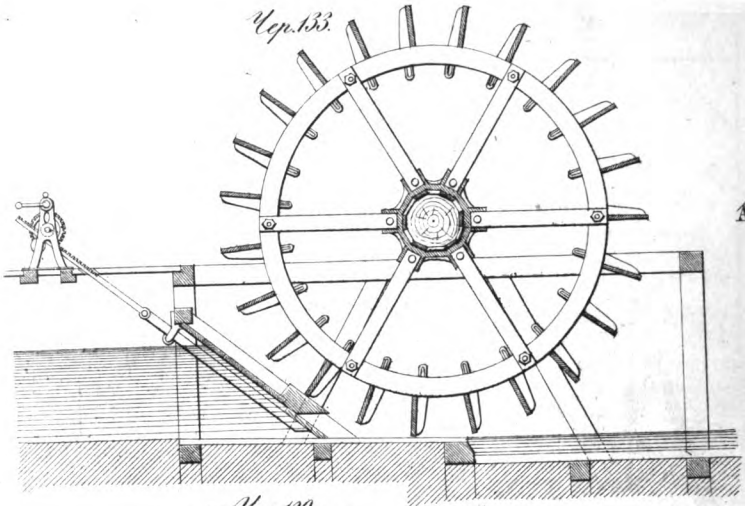


Чер. 126.



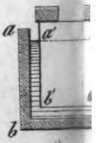

Чер. 128.
Чер. 129.
Чер. 130.
Чер. 131.
Чер. 132.
A
B
C
D
E
F
G
H
h
i
m
n
o

Чер. 133.

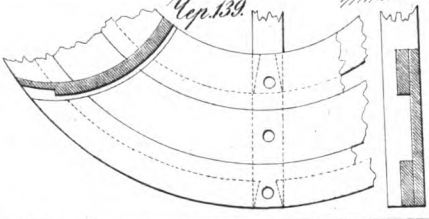




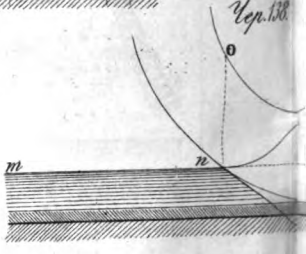
Чер.



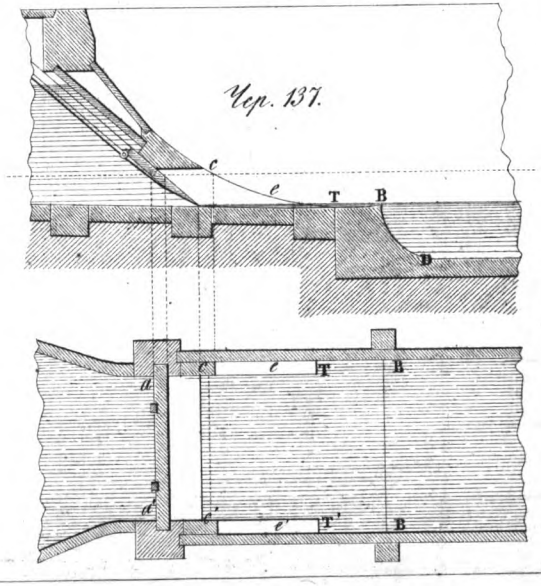
Чер. 139.



Чер. 138.



Чер. 137.



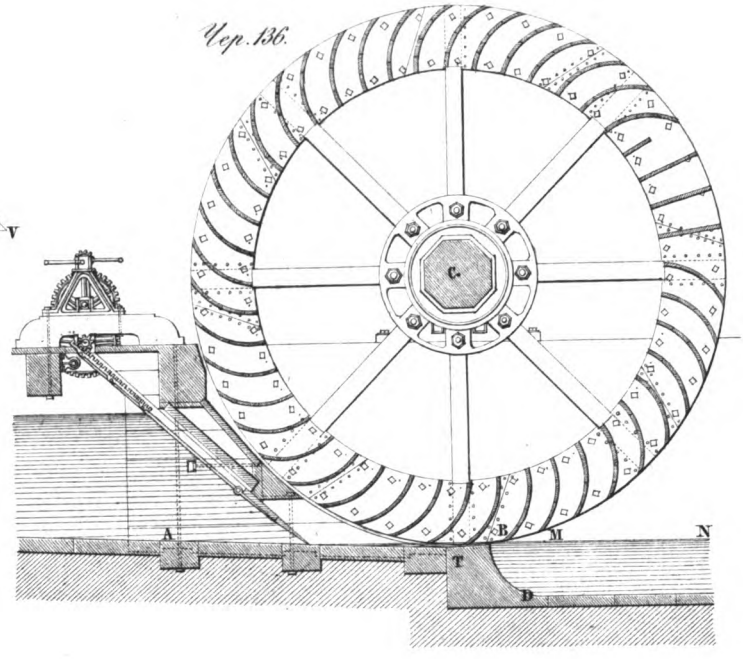
Чер. 141



134.

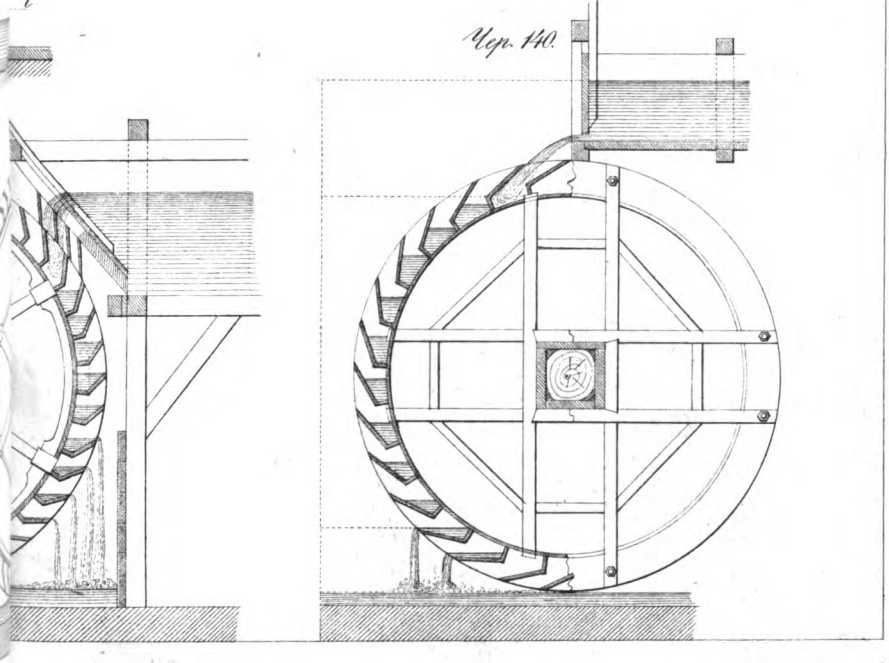


Чер. 136.

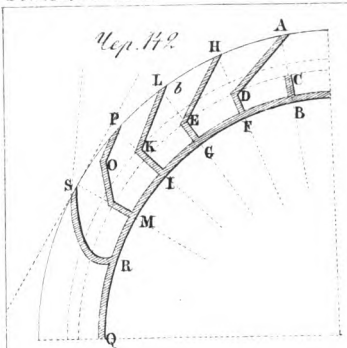


i

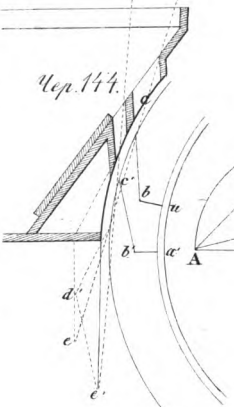
Чер. 140.



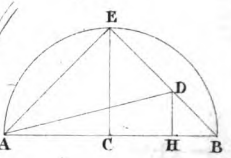
Чер. 142.



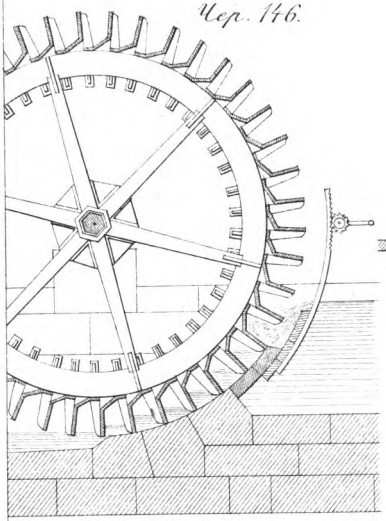
Чер. 144.



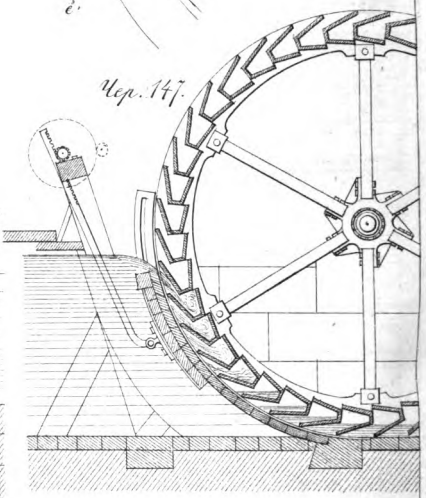
Чер. 145.



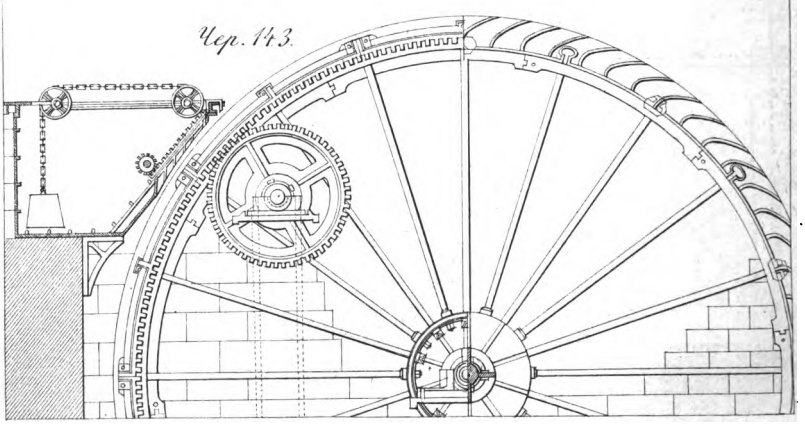
Чер. 146.

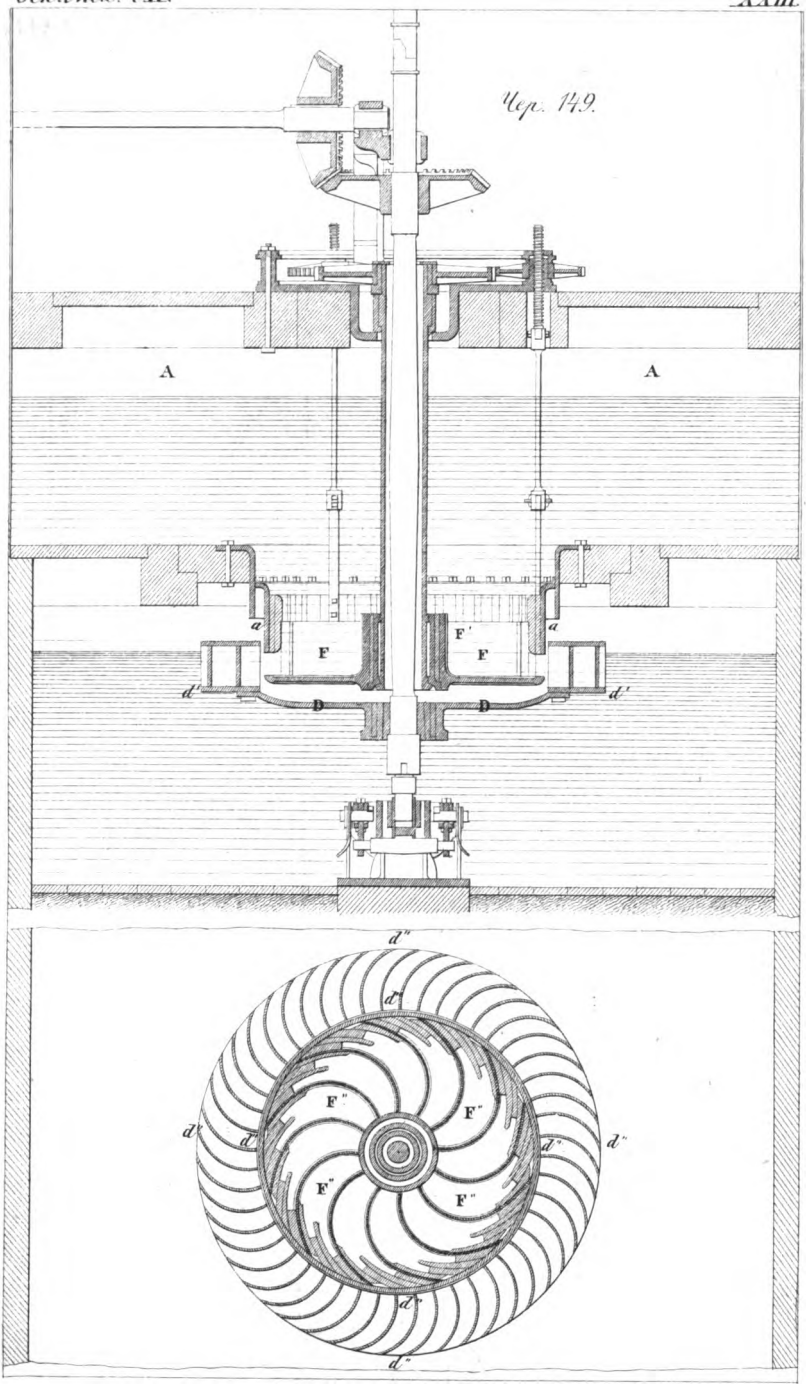


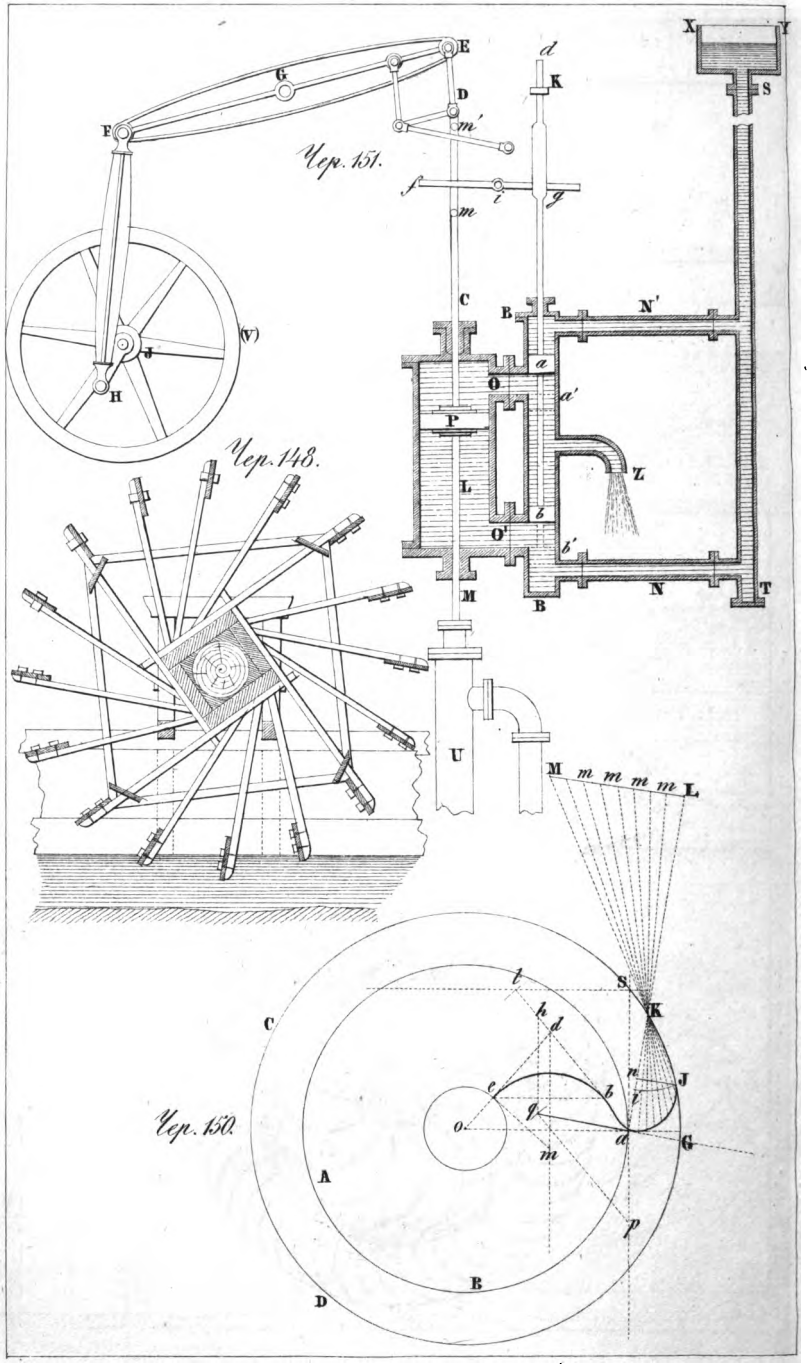
Чер. 147.



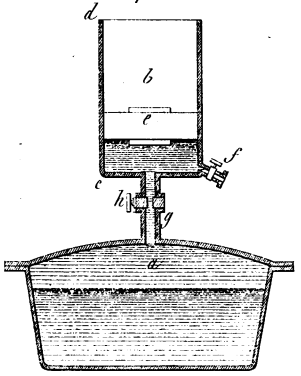
Чер. 143.



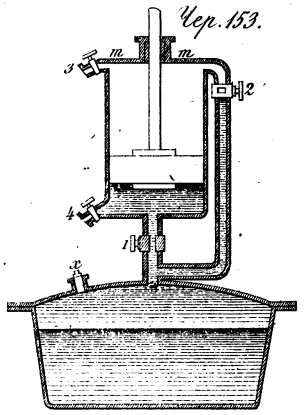

Чер. 149.
A
A
a
a
F
F'
F
d'
d'
D
D
d''
d''
d''
d''
d''
d''
d''
d''
F''
F''
F''
F''


Чер. 151.
Чер. 148.
Чер. 150.
E
G
D
F
m'
f
i
g
m
d
K
X
Y
S
C
B
N'
a
O
a'
P
L
Z
b
O'
b'
M
B
N
T
U
(V)
J
H
M m m m m L
S
K
C
h
d
e
b
n
J
i
g
o
a
G
m
A
p
B
D

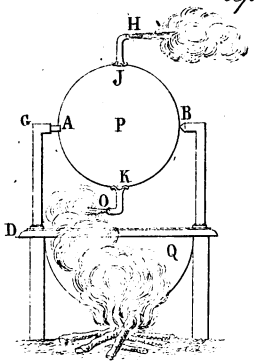
Чер. 152.

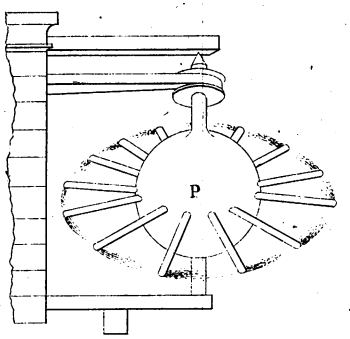


Чер. 153.

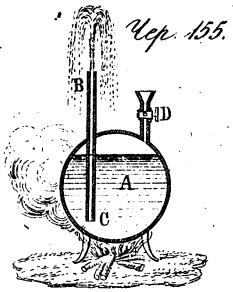


Чер. 154.

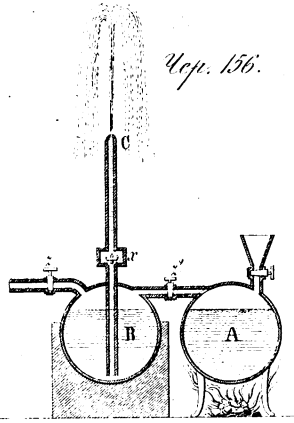




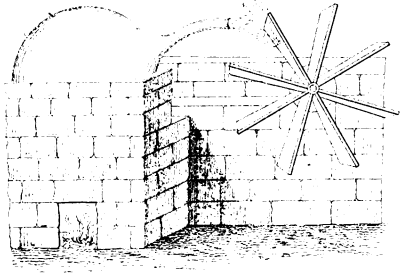
Чер. 155.



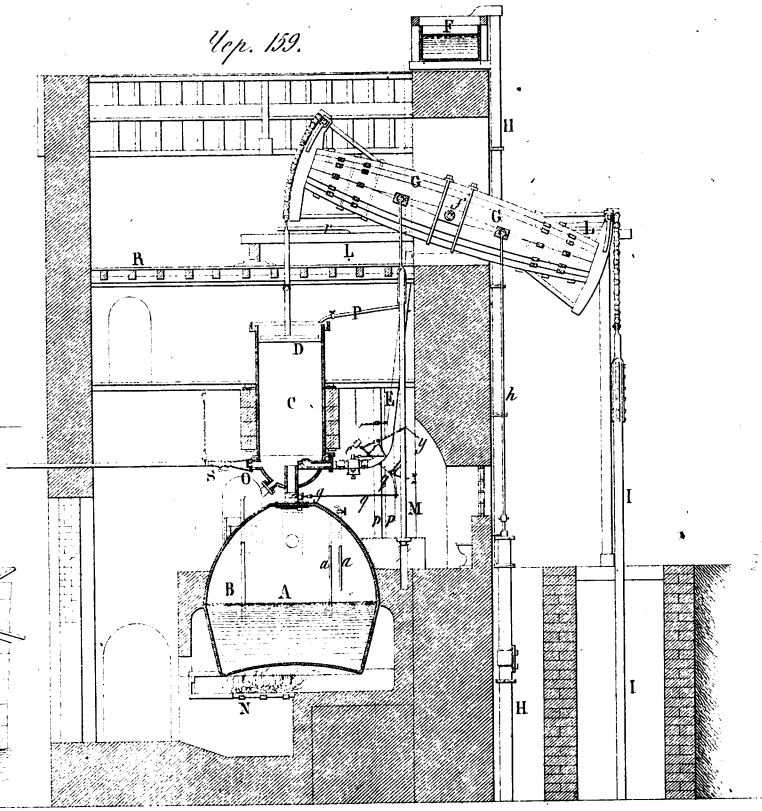
Чер. 156.



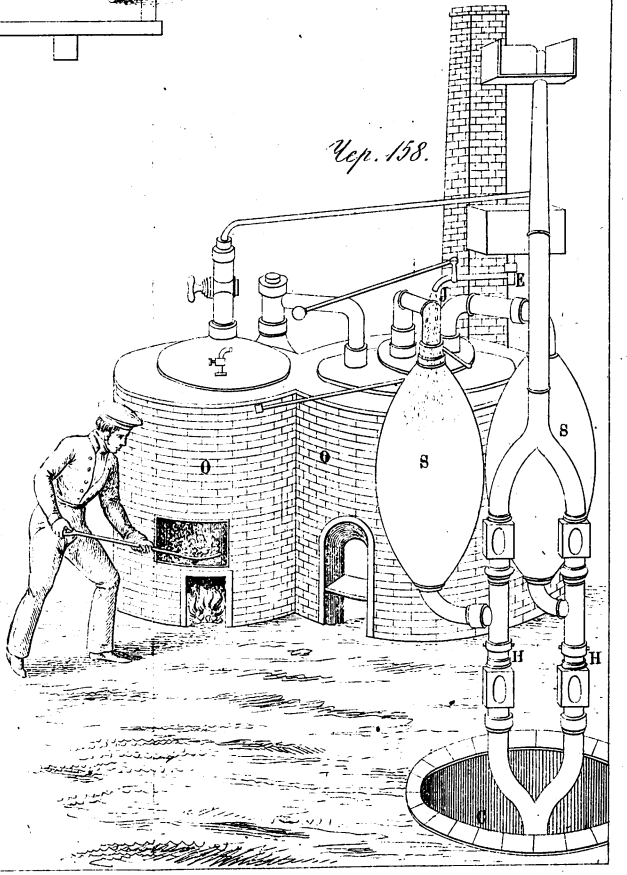
Чер. 157.

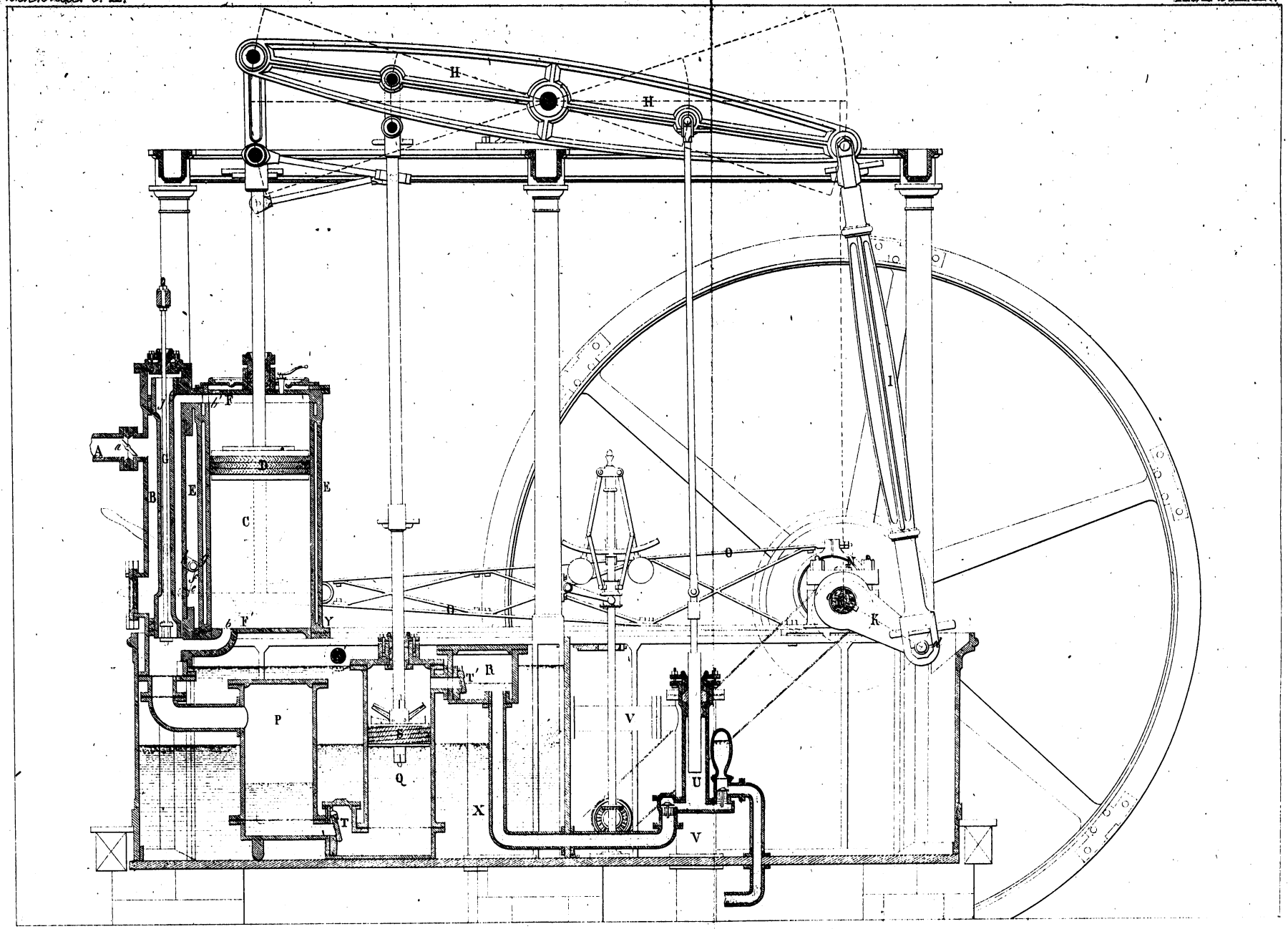


Чер. 159.

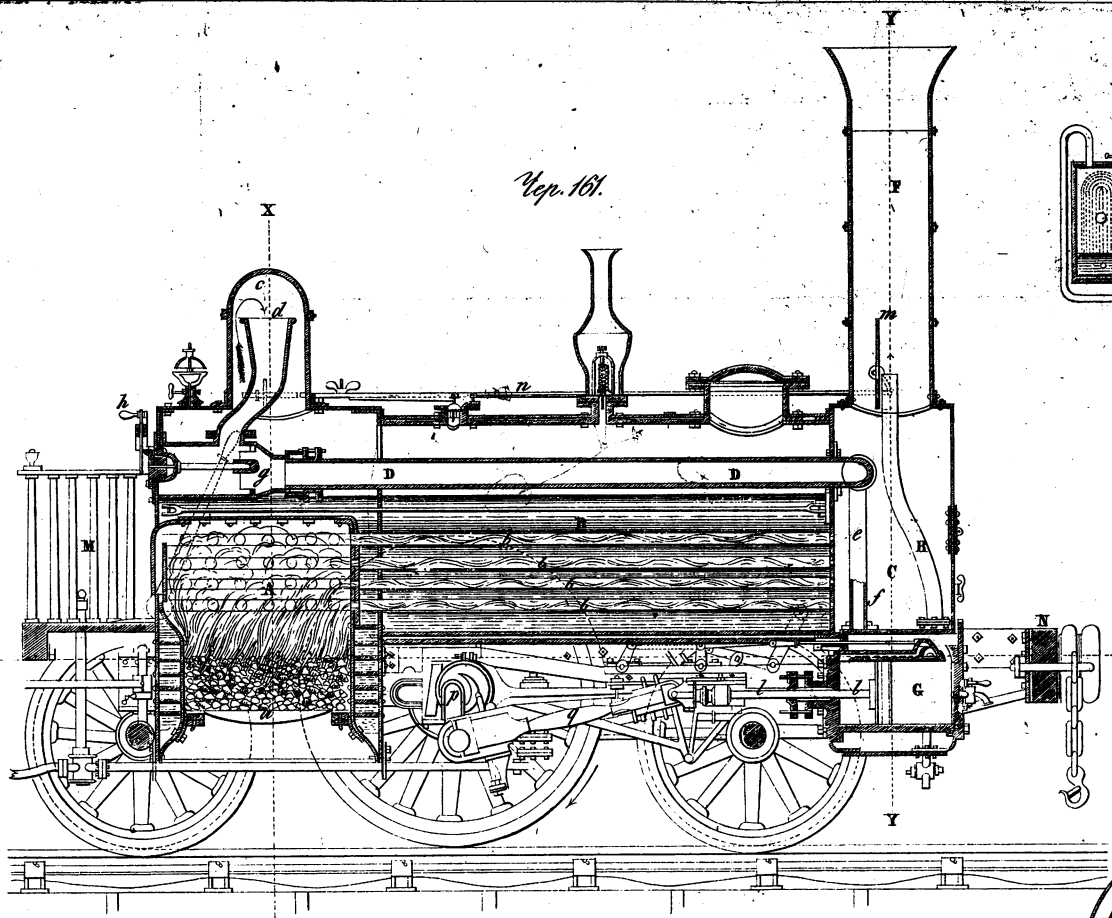


Чер. 158.

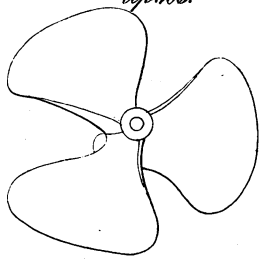



H
H
I
A
B
C
D
E
E
F
F
G
K
L
M
N
O
P
Q
R
S
T
T'
U
V
V
X
Y

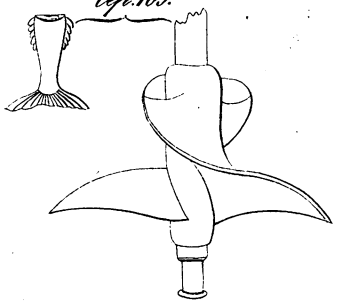
Черт. 161.

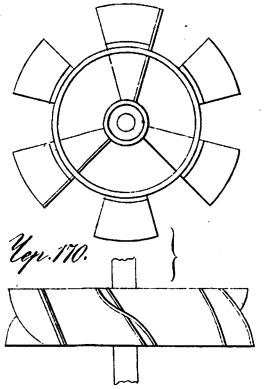


Черт. 168.



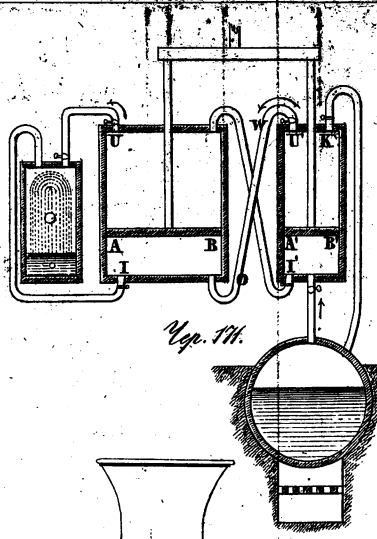
Черт. 169.



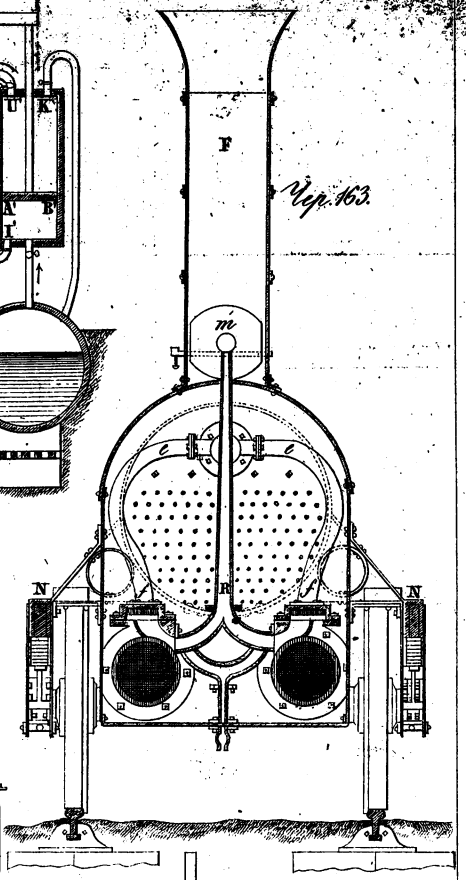


Черт. 170.

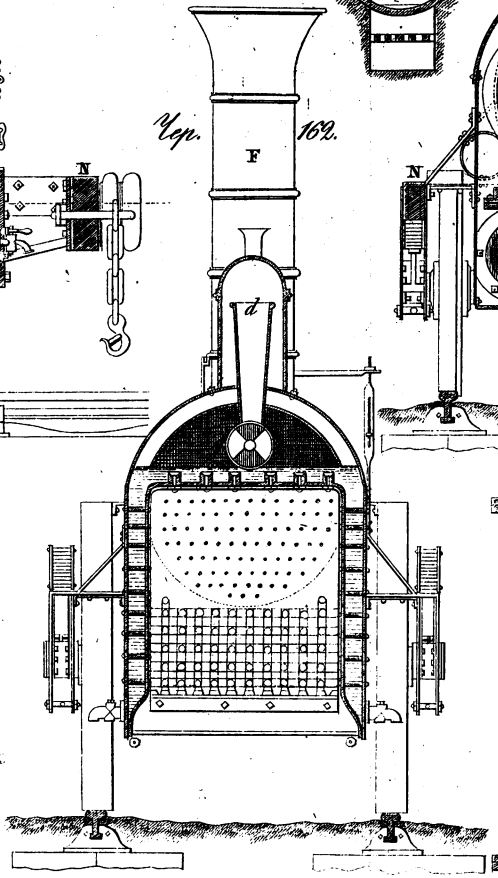
Черт. 171.



Черт. 163.



Черт. 162.



Черт. 172.

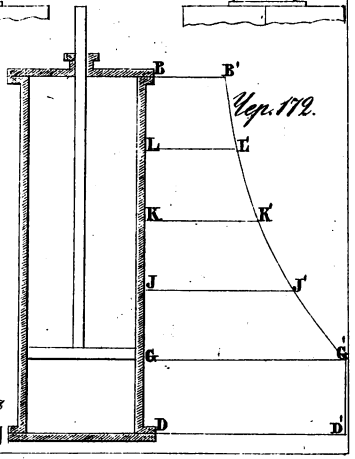


Fig. 164.

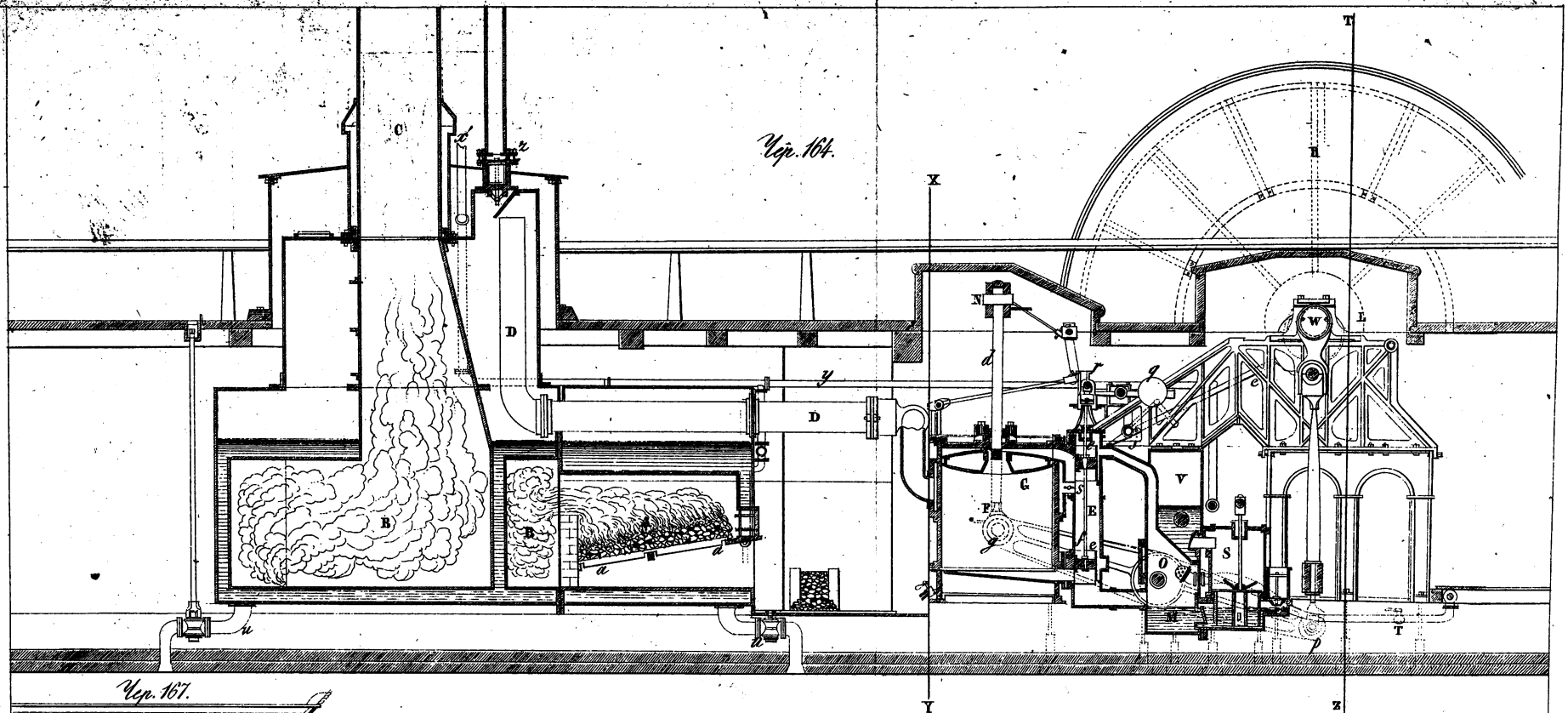


Fig. 167.

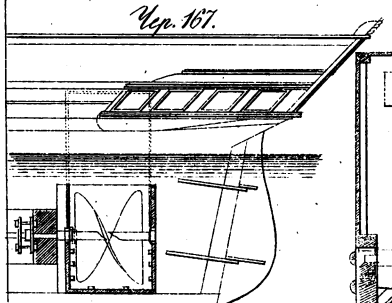


Fig. 165.

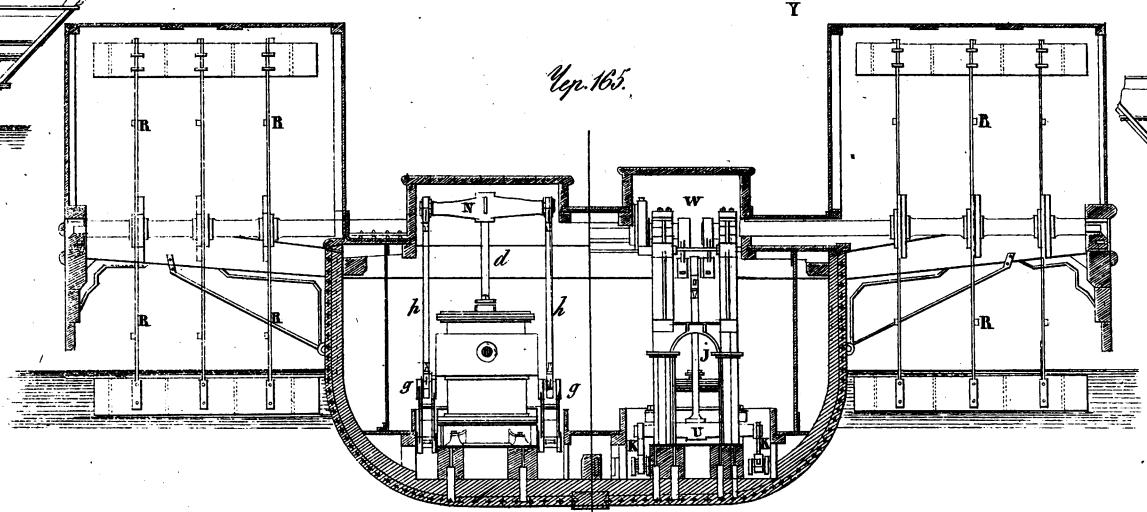
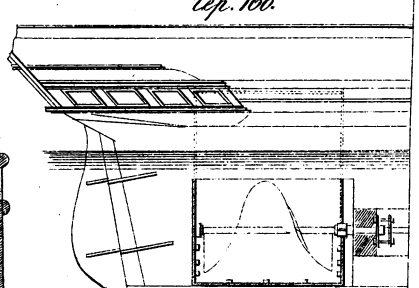
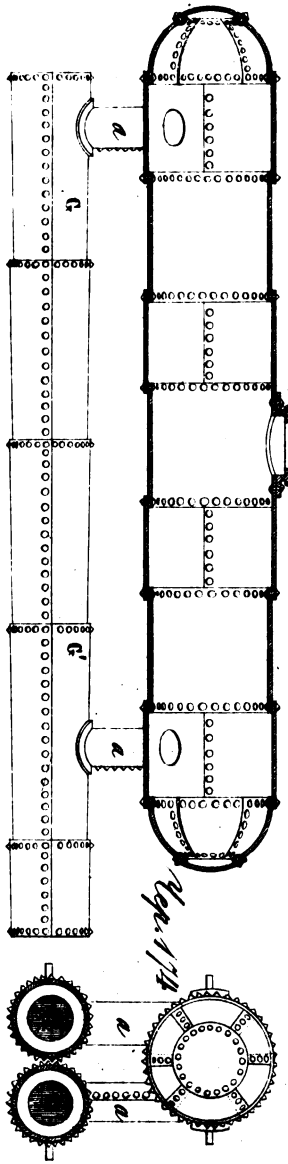
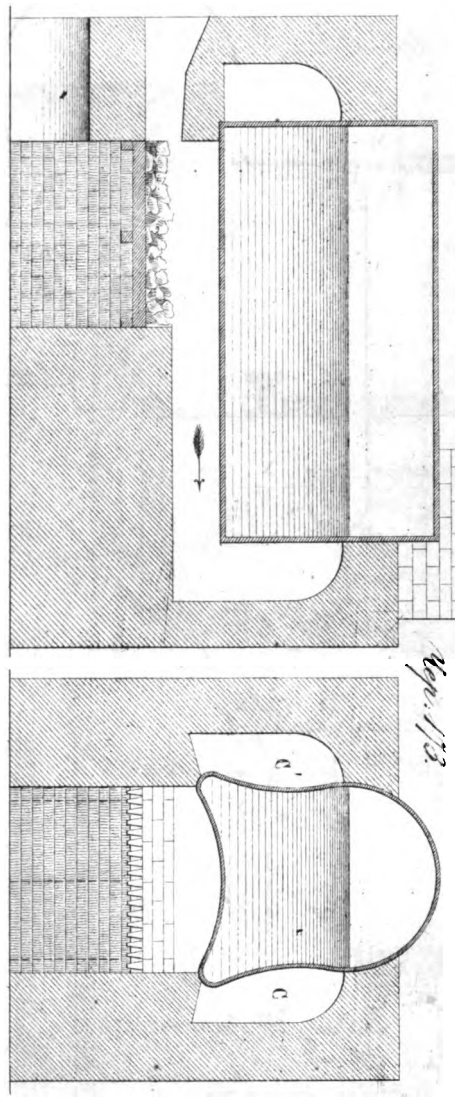


Fig. 166.

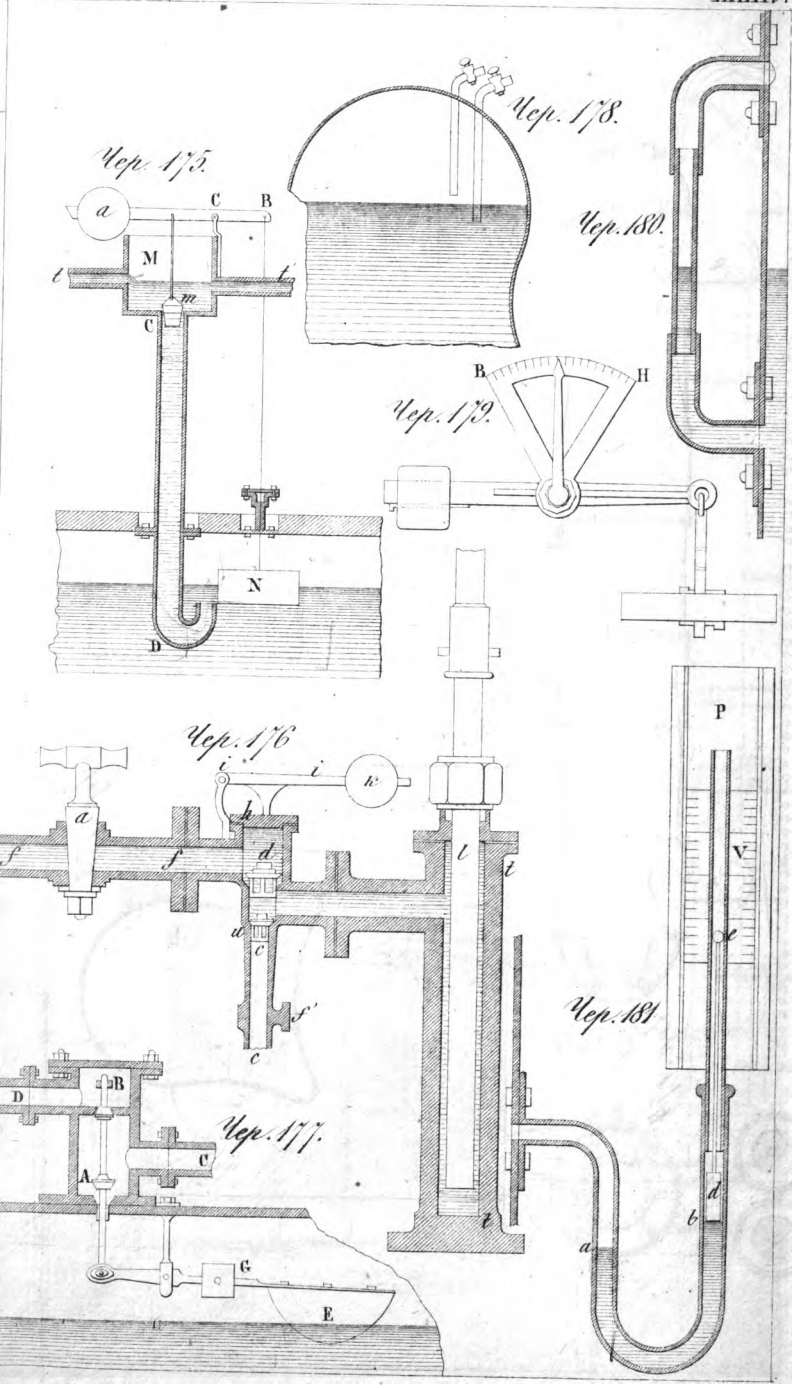




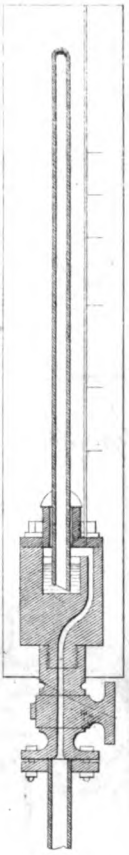
Черт. 14.



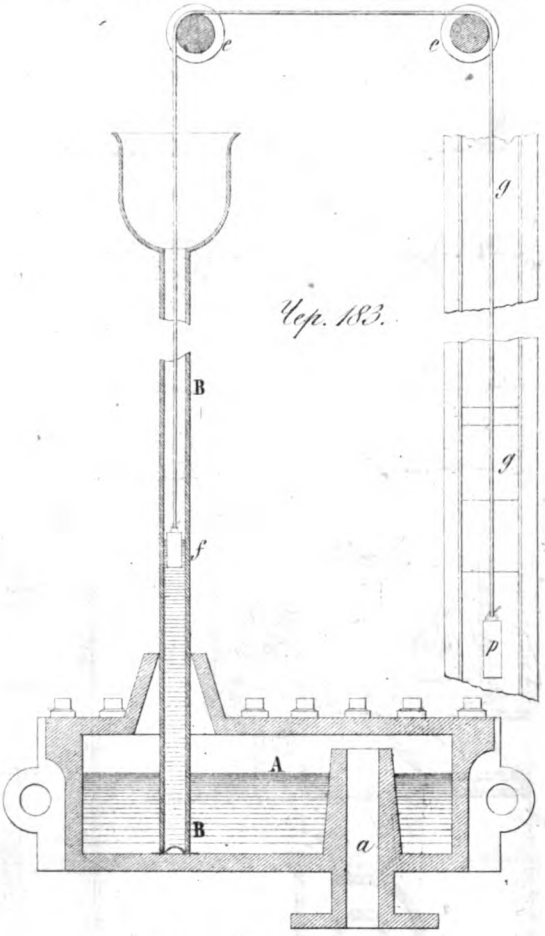
Черт. 15.


Чер. 175.
Чер. 178.
Чер. 180.
Чер. 179.
Чер. 176
Чер. 181
Чер. 177.
a
C
B
M
t
m
N
D
H
P
V
d
b
A
E
G

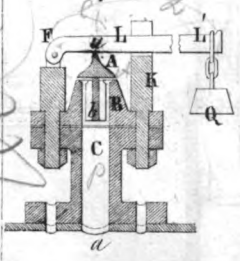
Чер. 182.



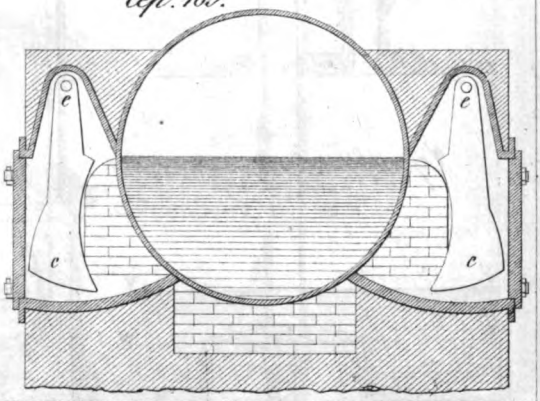
Чер. 183.

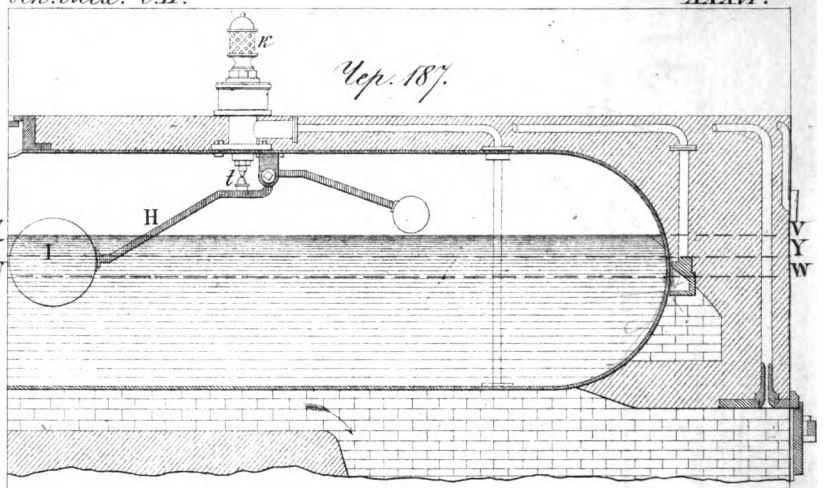


Чер. 184.

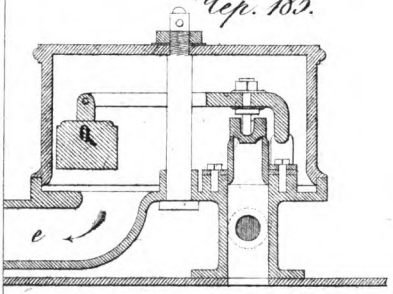


Чер. 189.

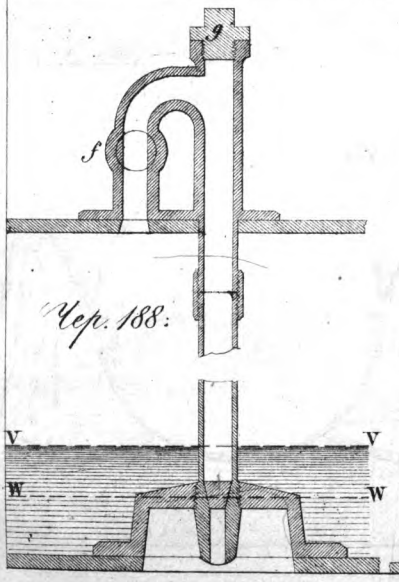




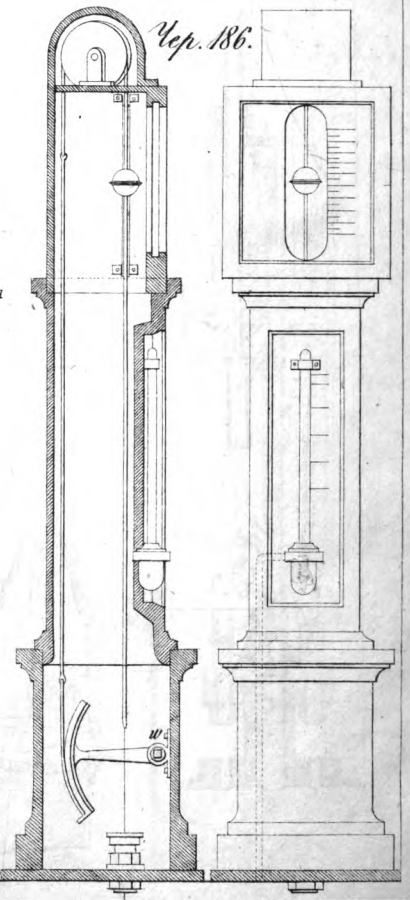
Чер. 187.



Чер. 185.

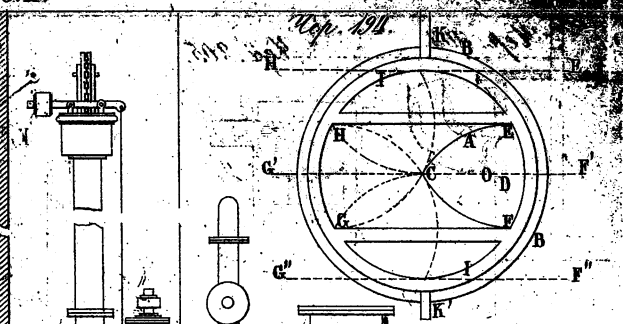


Чер. 188.

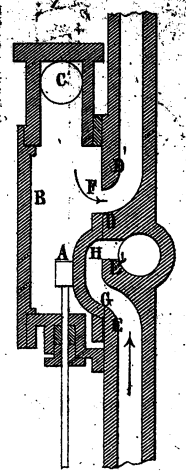


Чер. 186.

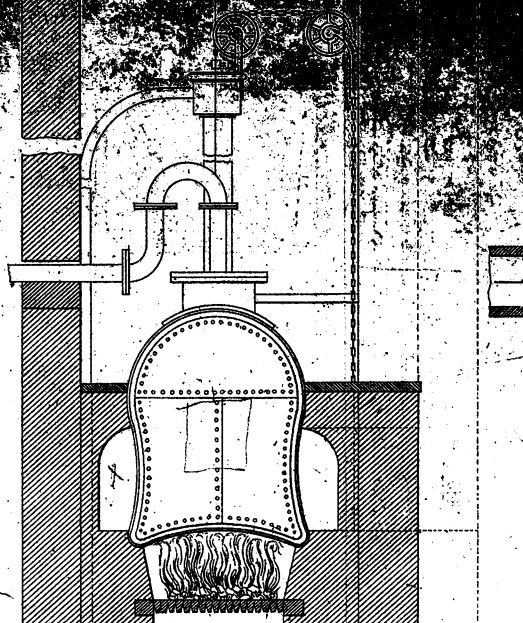
Черт. 191.

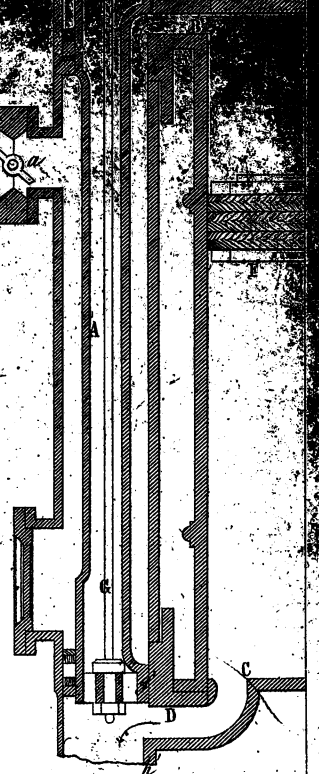


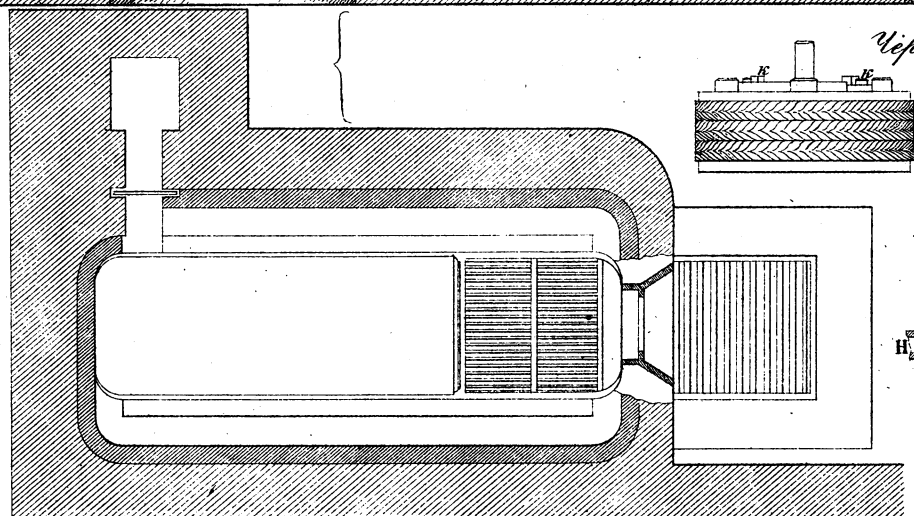
Черт. 190.



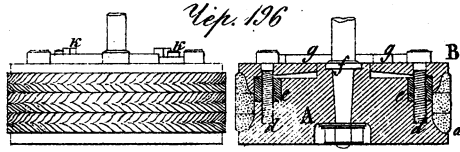
Черт. 189.

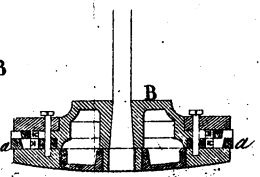




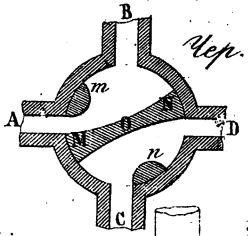


Черт. 196

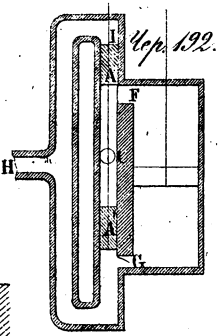




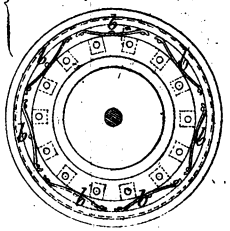
Черт. 193.



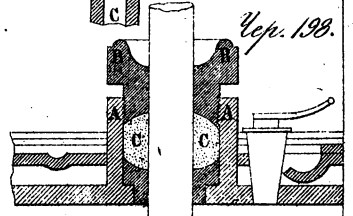
Черт. 192.



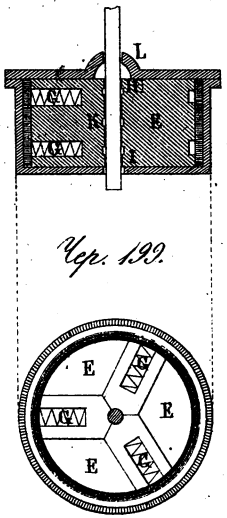
Черт. 197



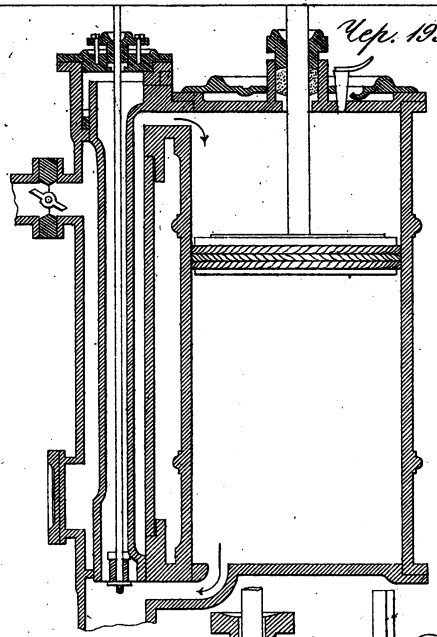
Черт. 198.



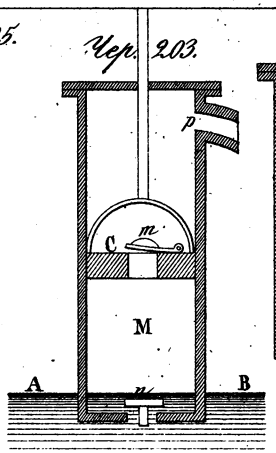
Чер. 199.



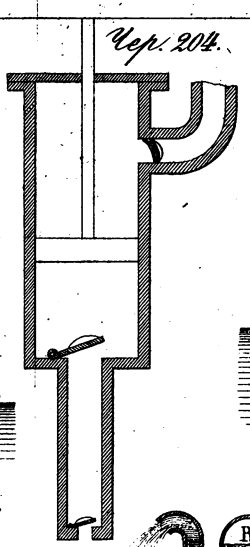
Чер. 195.



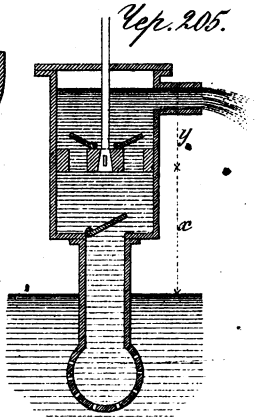
Чер. 203.

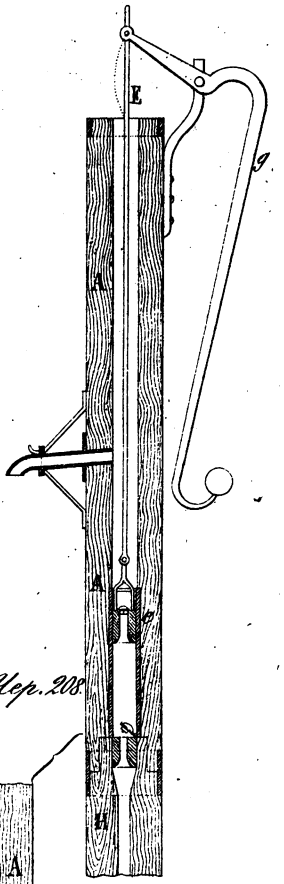


Чер. 204.

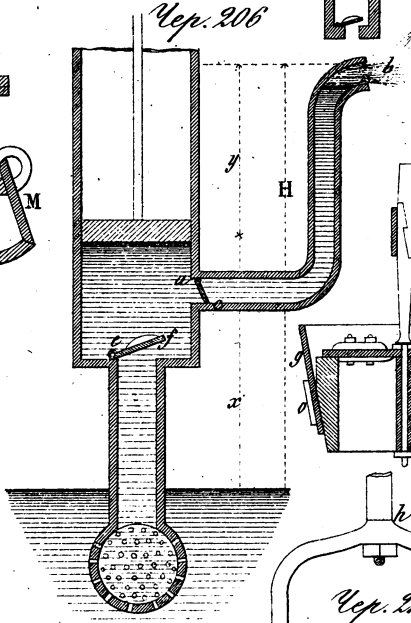


Чер. 205.

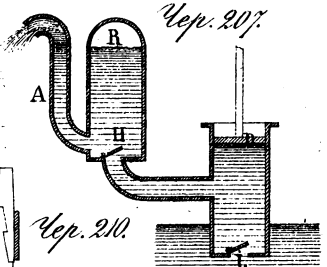




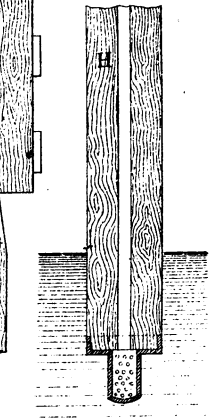
Чер. 206



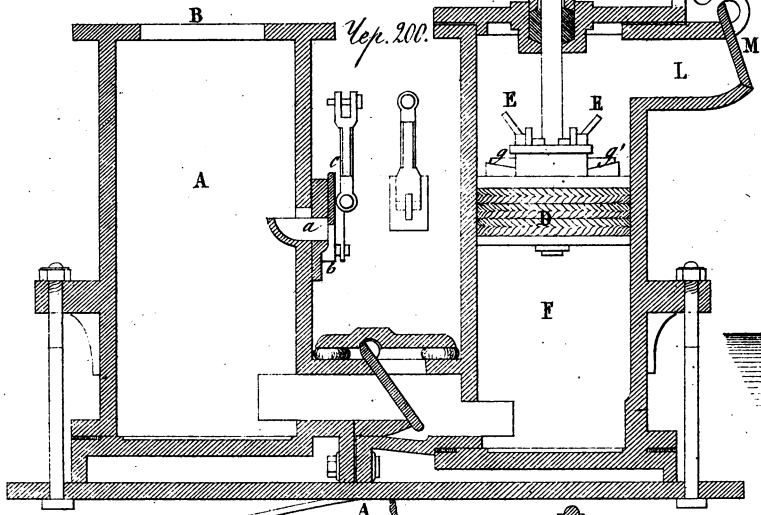
Чер. 207.



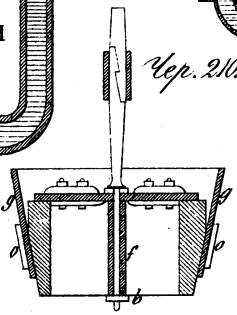
Чер. 208.

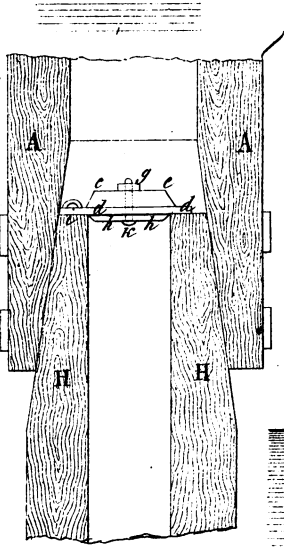


Чер. 200.

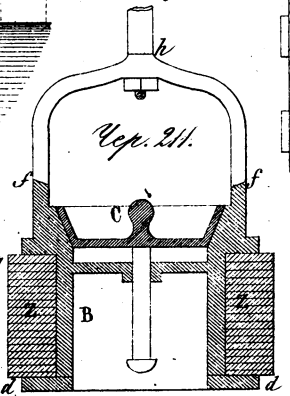


Чер. 210.

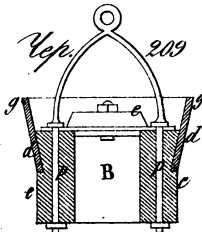




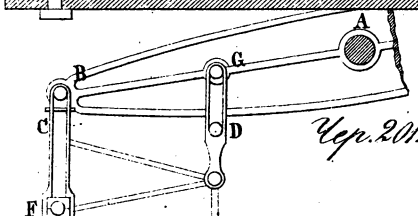
Чер. 211.



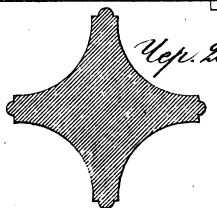
Чер. 209



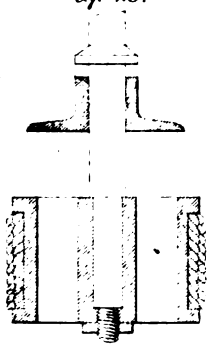
Чер. 201.



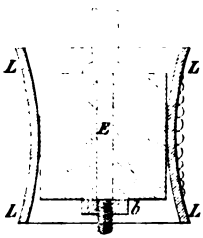
Чер. 202.



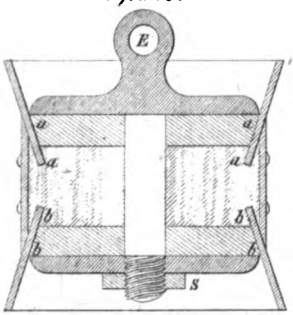
Чер. 213.

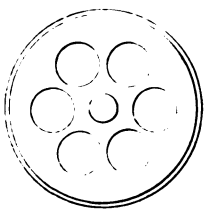


Чер. 215.

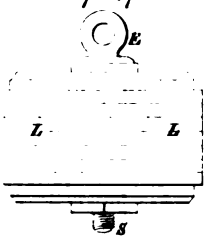


Чер. 216.

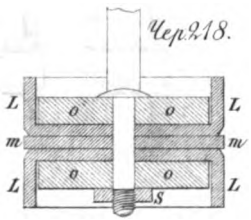




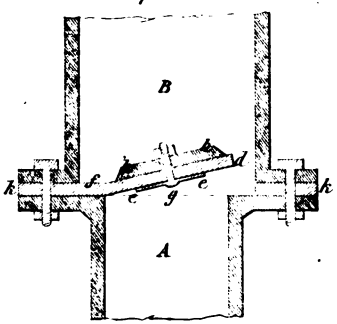
Чер. 217.

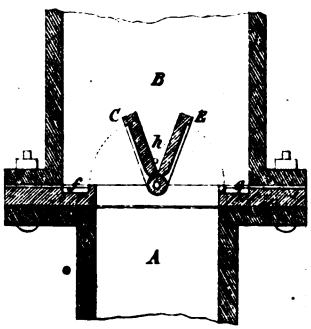


Чер. 218.



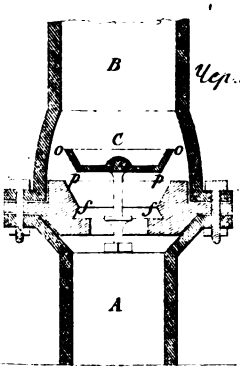
Чер. 219.

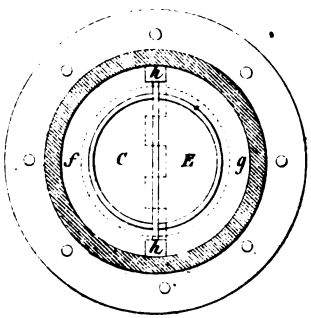




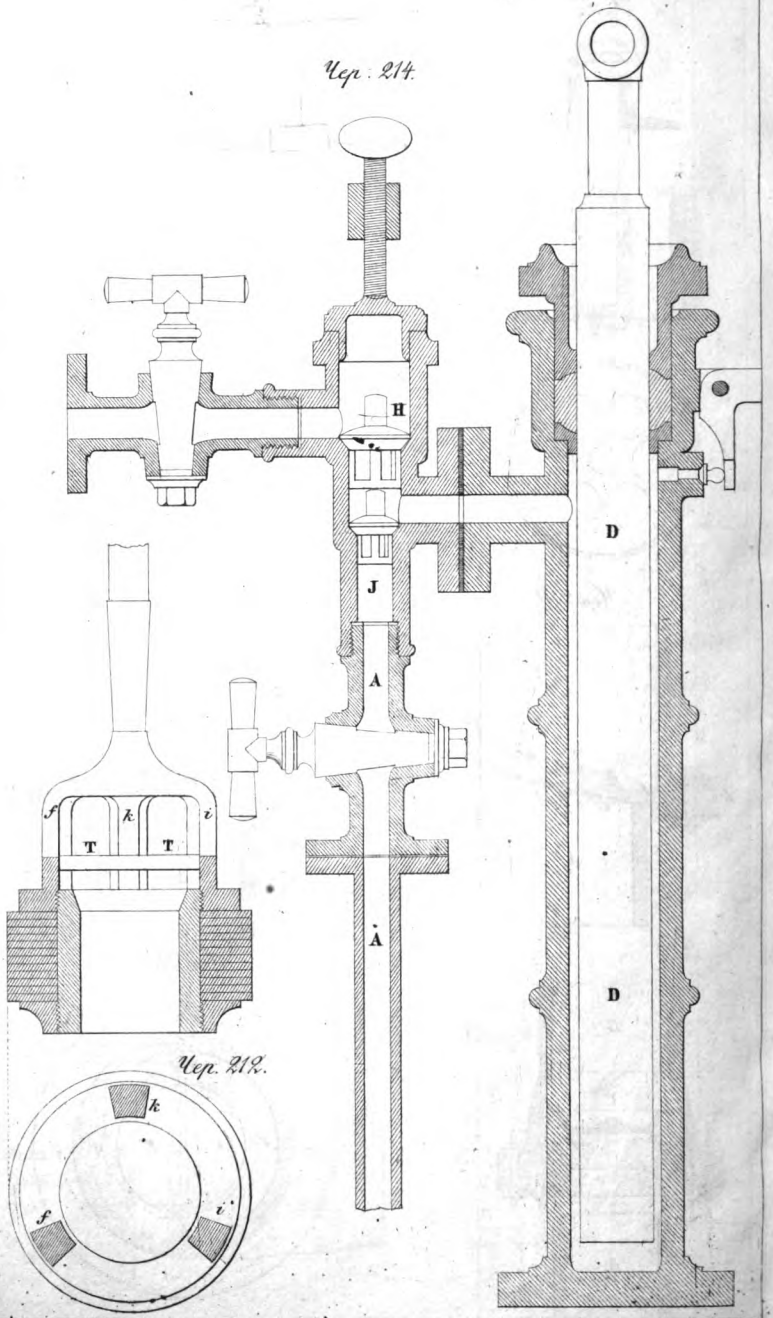
Чер. 220.

Чер. 221.

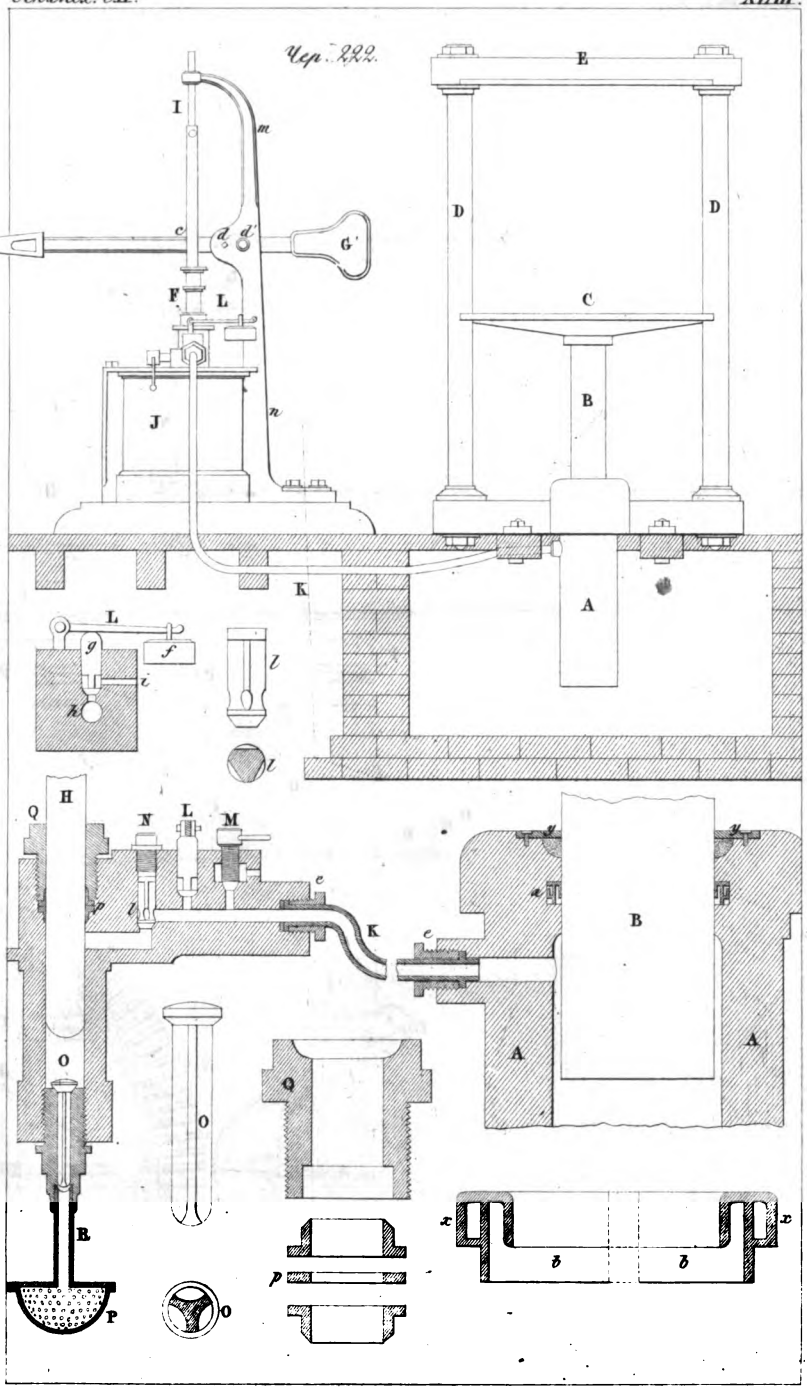


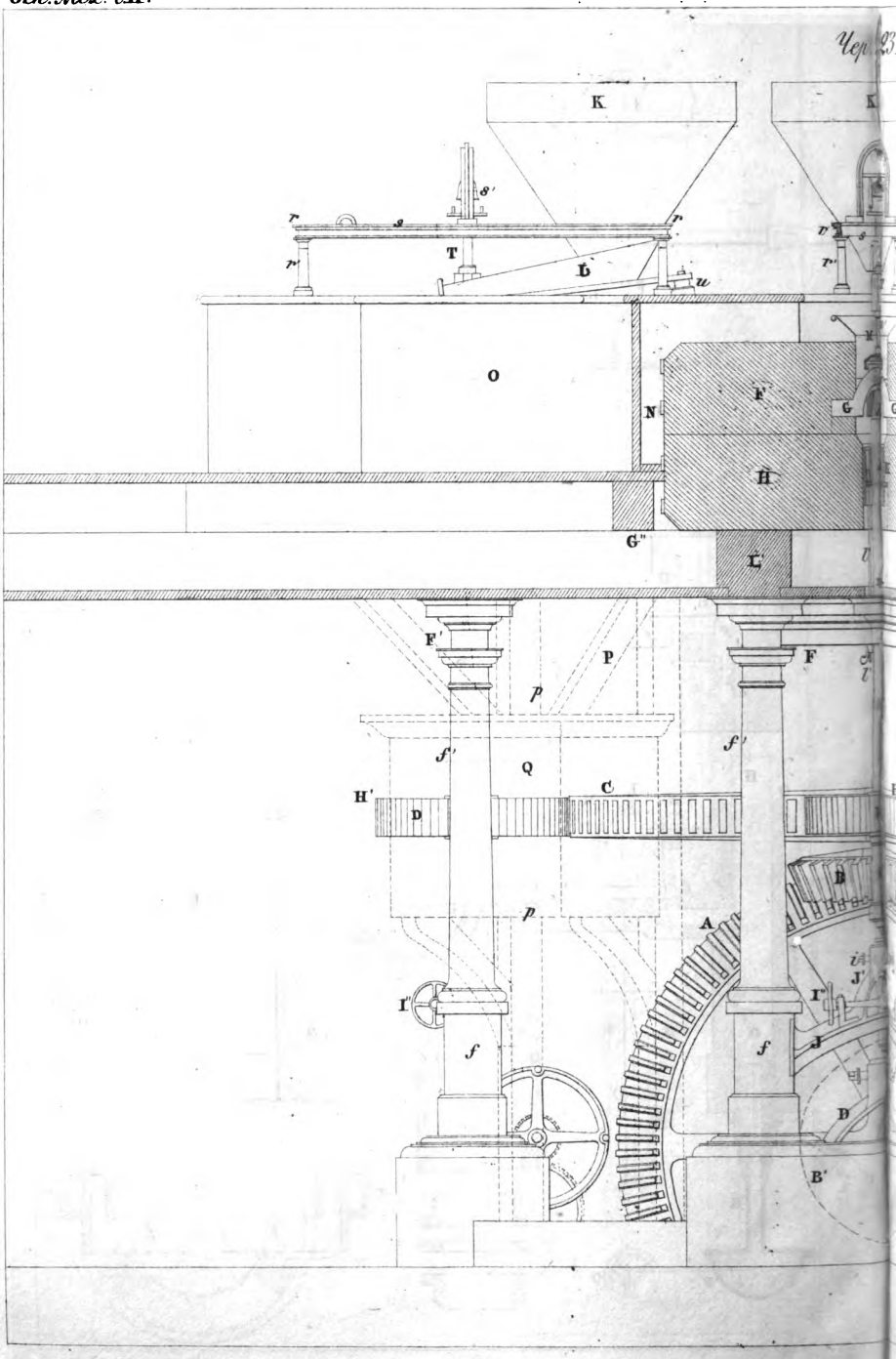


Чер. 214.

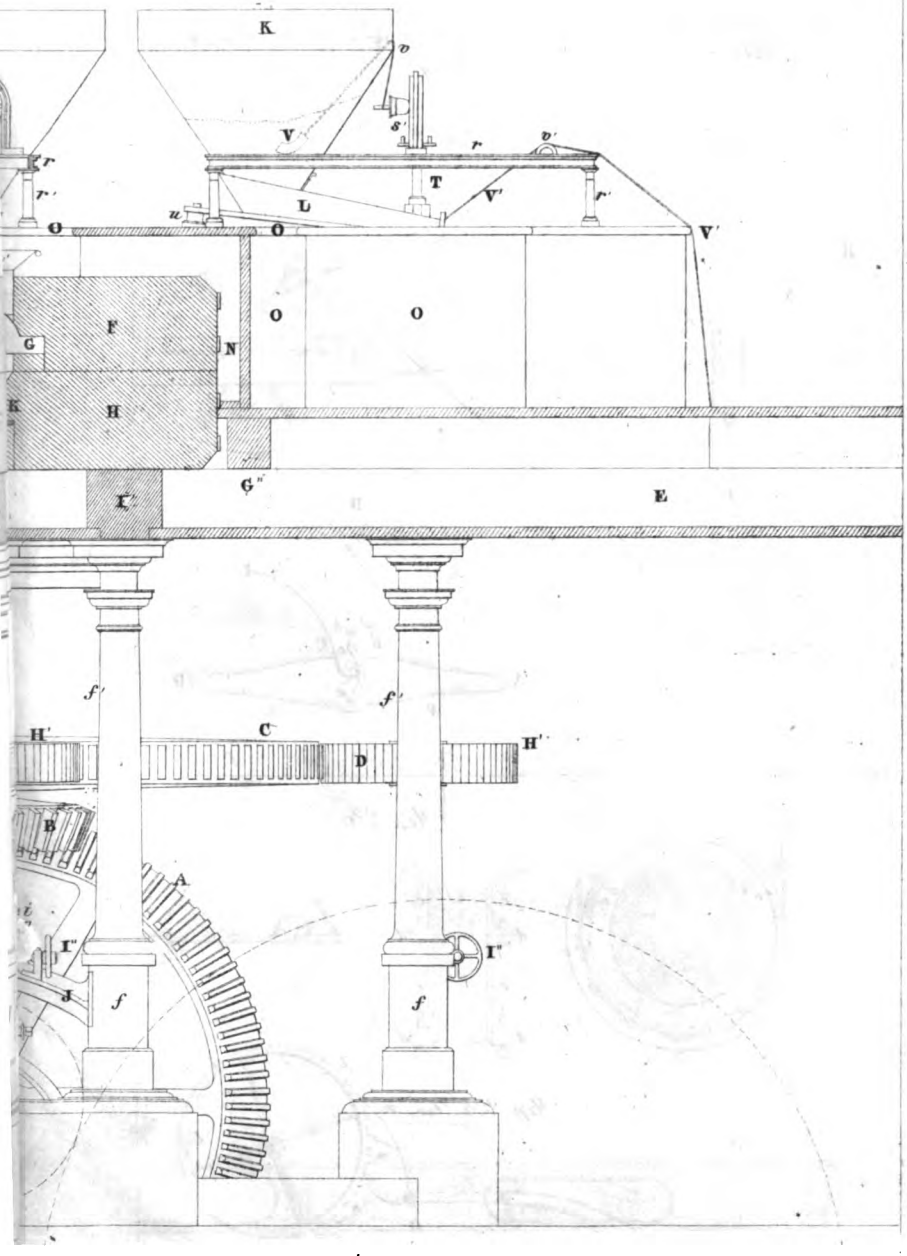


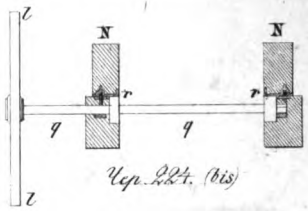
Чер. 212.


Чер. 222.
E
I
m
D
D
c
d
d'
G
C
F
L
B
J
n
K
A
L
g
f
i
k
l
l
H
Q
N
L
M
e
K
e
B
p
l
O
O
Q
A
A
E
P
O
p
x
x
b
b


K
T
b
O
N
F'
H
G"
L'
F'
P
p
f'
Q
C
H'
D
A
B
I'
J'
J
f
B'

3.

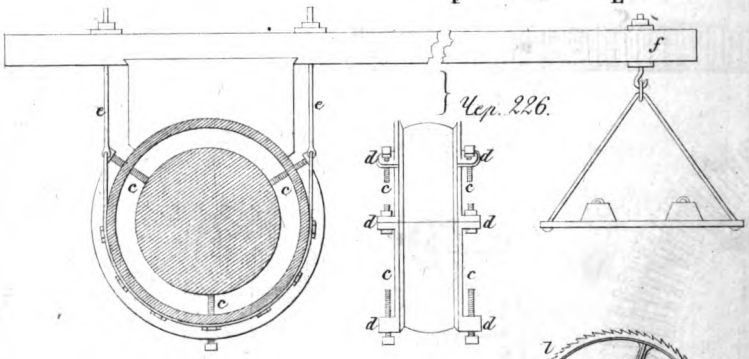




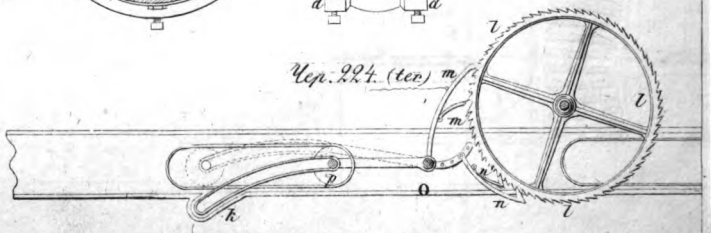
Чер. 224. (bis)

Чер. 224.

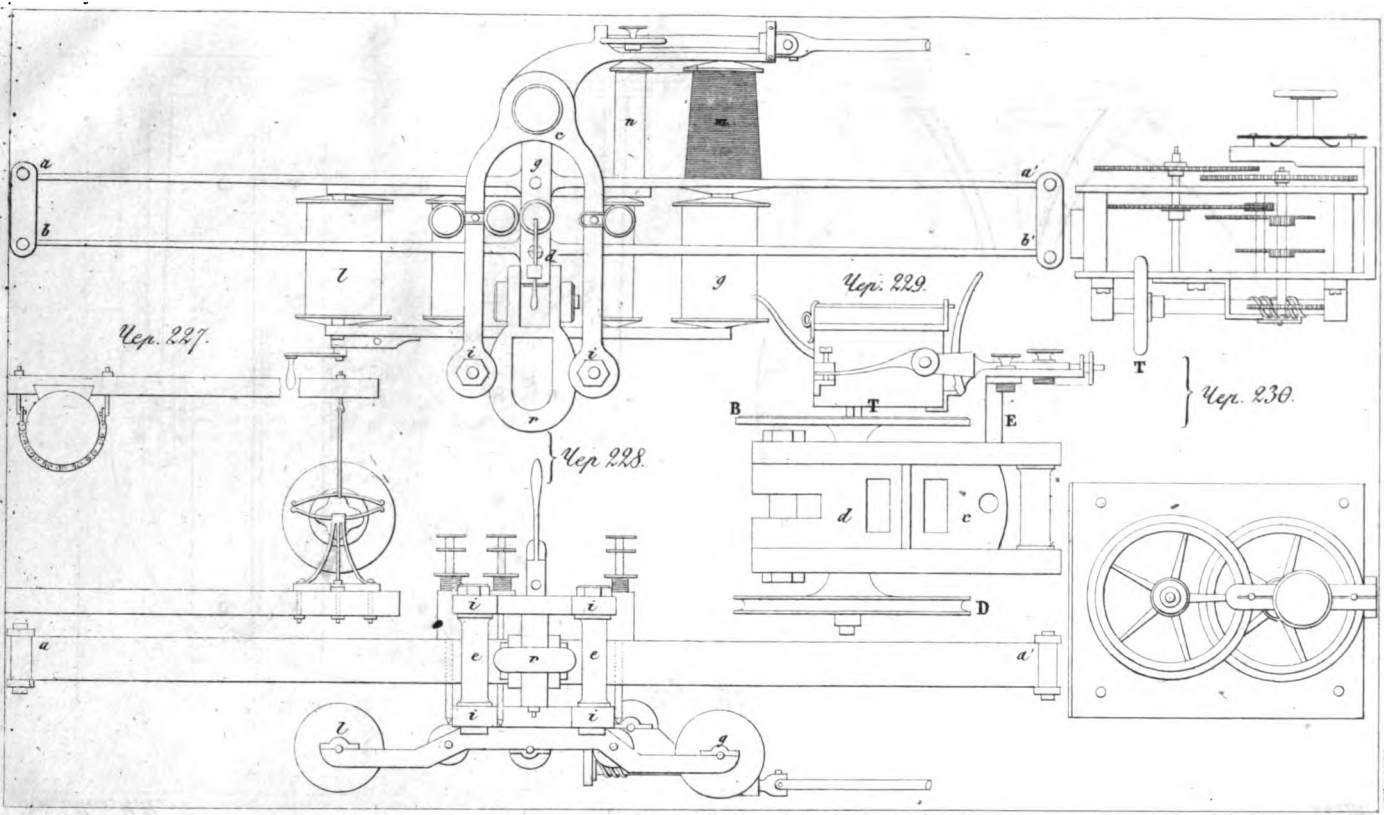
Чер. 225.



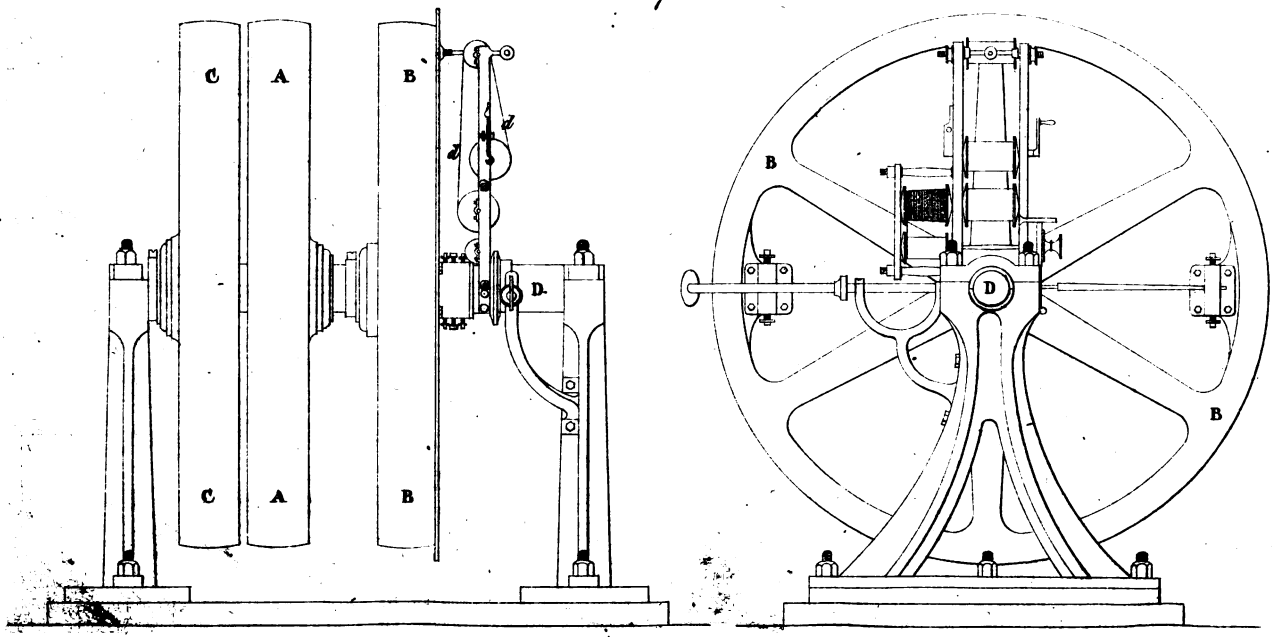
Чер. 226.



Чер. 224. (ter)


Чер. 227.
Чер. 228.
Чер. 229.
Чер. 230.
a
b
c
d
e
g
i
l
n
r
T
B
E
D
a'
b'

Чер. 231.



Чер. 232.

