Р135Ї4Х

На дом не выдается

К VI
К VI-206
Библиотека Московского Политехнического Училища
Февр. 1935
Р 135747
По инвентарному описи № 6823
ПРОВЕРЕНО 1945
ПРОВЕРЕНО 1952
Библиотека Московского Политехнического Училища

Лекціи
о
Паровыхъ Машинахъ

читанныя въ Технологическомъ Институтѣ въ 188½ учебномъ году

И. А. Вышнеградскимъ.

С. Петербургъ
1881.

О Паровыхъ Машинахъ

Предметъ настоящаго курса есть детальное изученіе дѣйствія и устройства паровыхъ машинъ. Типовъ этихъ машинъ очень много, но во всякомъ случаѣ единственныя машины, имѣющія практическое примѣненіе состоятъ въ непосредственномъ дѣйствіи пара на ходящіе прямолинейно взадъ и впередъ въ цилиндрахъ поршни, отъ которыхъ уже движеніе передается далѣе, преобразуясь въ большей части случаевъ въ круговое при посредствѣ шатуна и кривошипа.

И эти поршневыя машины бываютъ тоже очень разнообразны; по способу дѣйствія пара онѣ могутъ быть раздѣлены на такія, въ коихъ паръ, вошедшій въ цилиндръ оканчиваетъ въ немъ свое дѣйствіе, и на такія, въ которыхъ паръ, дѣйствуя въ машинѣ, переходитъ изъ одного цилиндра въ другой.

Мы будемъ разсматривать сначала исключительно машины перваго рода, и только окончивъ ихъ изученіе, перейдемъ къ указанію особенностей машинъ второго рода, обыкновенно именуемыхъ сложными машинами (compound engines). Изученіе ихъ мы начнемъ съ распредѣленія пара.

Глава I.

Распредѣленіе пара.

1. Распредѣлительные аппараты бываютъ весьма различны, но самый употребительный приборъ для этой цѣли есть коробчатый золотникъ (фиг. 1), который состоитъ изъ коробки, скользящей по такъ называемому столу, т. е. по особой площадкѣ обработанной съ наружной части цилиндра. На этой площадкѣ находятся три прямоугольныя отверстія, изъ коихъ средне (у) служитъ для выхода изъ цилиндра отработавшаго (мятаго) пара, а два крайніе d и p вводятъ паръ въ правую и лѣвую части цилиндра. Самый золотникъ представляетъ собою не высокую коробку, стѣнки которой идущія перпендикулярно къ оси цилиндра и производятъ распредѣленіе пара, стѣнки эти называются закраинами. Допустимъ сначала, что разстояніе между внутренними краями этихъ закраинъ равно разстоянію между внутренними краями каналовъ, ведущихъ въ цилиндръ, и разстояніе между наружными краями закраинъ золотника равно разстоянію между наружными краями тѣхъ-же каналовъ. Положимъ, что

Движеніе золотника и поршня связано между собою слѣдующимъ образомъ: когда золотникъ находится въ положеніи (I), а слѣд. оба впускные каналы закрыты, то поршень находится въ своей лѣвой мертвой точкѣ (A). Если начнемъ двигать золотникъ вправо, то паръ идетъ изъ котлѣ черезъ отверстіе (α) въ лѣвую сторону цилиндра; въ это же время канаръ (B) соединяется съ холодильникомъ или атмосферою, и слѣдовательно паръ изъ правой части цилиндра получаетъ свободный выходъ. Положимъ, что это движеніе золотника продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не дойдетъ до средины своего хода и въ теченіе этаго времени золотникъ передвинется, положимъ, на четверть хода, то есть займетъ положеніе (II); въ этомъ положеніи отверстіе (α) будетъ соединено съ котломъ, а (β) съ холодильникомъ; при томъ оба отверстія будутъ вполнѣ открыты, когда поршень изъ средняго своего положенія начнетъ двигаться къ своей правой мертвой точкѣ, золотникъ начинаетъ уже двигаться назадъ и постепенно задвигаетъ оба отверстія (α и β), и когда поршень будетъ находиться въ своей правой мертвой точкѣ (B), золотникъ займетъ положеніе (III), одинаковое съ (I); въ этомъ положеніи

золотникъ не останавливается, а продолжаетъ свое движеніе съ права на лѣво, отверстіе (B), т. е. правая часть цилиндра сообщается съ котломъ, а лѣвая съ холодильникомъ; поршень пойдетъ съ права на лѣво, пока не займетъ свое среднее положеніе. Въ это время золотникъ займетъ положеніе (IV), при которомъ оба окна вполнѣ открыты; затѣмъ поршень продолжаетъ двигаться къ своей лѣвой мертвой точкѣ, а золотникъ снова будетъ двигаться въ обратную сторону, т. е. слѣва направо. Очевидно, что при этомъ получается распредѣленіе пара, дѣйствующаго безъ расширенія и безъ сжатія, характеризующееся тѣмъ, что паръ впускается и выпускается на всей длинѣ хода поршня. Такое распредѣленіе можетъ быть произведено, если на главный валъ машины, принимающій движеніе отъ поршня черезъ посредство шатуна и кривошипа, будетъ посаженъ эксцентрикъ, коего эксцентриситетъ равенъ ширинѣ окна и составляетъ съ кривошипомъ уголъ въ 90°; и этотъ эксцентрикъ безконечно длиннымъ шатуномъ (или другимъ устройствомъ, равносильнымъ съ безконечно длиннымъ шатуномъ) будетъ соединенъ со стержнемъ золотни-

ка. На самомъ дѣлѣ, принимая такое устройство мы, очевидно, получимъ, что среднее положеніе золотника будетъ соотвѣтствовать мертвымъ точкамъ главнаго кривошипа, (а слѣдовательно и поршня) и крайнія положенія золотника будутъ соотвѣтствовать среднимъ положеніямъ главнаго кривошипа, при которыхъ поршень будетъ занимать положеніе, весьма мало отличное отъ своего средняго положенія.(*) При этомъ нужно только принять въ соображеніе, что эксцентриситетъ эксцентрика долженъ быть поставленъ относительно кривошипа такимъ образомъ, чтобы, при движеніяхъ въ одну сторону золотника и поршня, первый находился непрерывно впереди послѣдняго т, е, чтобы при выходѣ кривошипа изъ внутренней мертвой точки эксцентриситетъ эксцентрика прошелъ уже половину пути,

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

отдѣляющаго эту мертвую точку отъ наружной. Это движеніе имѣетъ важность въ томъ отношеніи, что оно прямо указываетъ, какимъ образомъ можно измѣнить направленіе движенія машины; для этаго стоитъ только повернуть на 180° эксцентрикъ на главномъ валу машины: направленіе движенія золотника измѣнится, а вмѣстѣ съ тѣмъ измѣнится и направленіе вращенія вала машины.

2. Описанное распредѣленіе пара имѣетъ много недостатковъ, при чемъ: 1) нельзя устроить сжатіе пара, которое весьма полезно, такъ какъ вредное пространство необходимо существуетъ въ каждой машинѣ, и нарушить его вліяніе можно только чрезъ достаточное сжатіе пара; 2) нельзя заставить поршень начать движеніе отъ своей мертвой точки при полномъ давленіи пара, такъ какъ паръ начинаетъ входить, напримѣръ, въ левую сторону цилиндра въ тотъ же моментъ, когда поршень выходитъ изъ лѣвой мертвой точки, и при томъ паръ начинаетъ входить весьма узкимъ отверстіемъ, вслѣдствіе чего поршень долженъ пройти нѣкоторый путь вправо, прежде чѣмъ давленіе въ лѣвой

части цилиндра установится и паръ приметъ надлежащее давленіе во вредномъ пространствѣ; 3.) поршень, выходя изъ мертвой точки, встрѣчаетъ съ той стороны, въ которую двигается, значительное сопротивленіе, такъ какъ паръ начинаетъ выходить только въ тотъ моментъ, когда поршень выходитъ изъ мертвой точки; притомъ паръ вначалѣ выходитъ весьма узкимъ отверстіемъ, такъ что поршень долженъ пройти изъ мертвой точки нѣкоторый путь прежде, чѣмъ съ правой стороны не установится давленіе холодильника или атмосферы; и 4.) машина дѣйствуетъ совершенно безъ расширенія, слѣдовательно вся работа, которая могла-бы произойти отъ такого расширенія теряется.

Чтобы устранить эти неудобства, очевидно нужно устроить распредѣленіе пара такъ, чтобы:

во 1-хъ) каналы для впуска пара въ правую и лѣвую часть цилиндра были уже открыты и сообщены съ котломъ въ ту пору, какъ поршень находился въ правой и лѣвой мертвыхъ точкахъ, или, какъ говорятъ обыкновенно, въ машинѣ должно быть опереженіе впуска;

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

въ 3-хъ) сообщеніе парового канала съ выпускнымъ отверстіемъ должно прекращаться не въ тотъ же моментъ, какъ устанавливается его сообщеніе съ котломъ, а нѣсколько раньше, для того, чтобы могло произойти сжатіе мѣднаго пара;

въ 4-хъ) сообщеніе парового канала съ котломъ должно прекратиться не въ тотъ же моментъ, какъ начинается сообщеніе этаго канала съ выпускнымъ отверстіемъ, а нѣсколько раньше, для того, чтобы паръ могъ дѣйствовать расширеніемъ.

Всѣхъ этихъ цѣлей можно достигнуть, измѣнивши нѣсколько устройство золотника, эксцентриситетъ и положеніе на валѣ эксцентрика (*), а

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

именно въ этомъ случаѣ:

1.) Ширина закраинъ золотника дѣлается нѣсколько больше ширины впускного окна (фиг 2.), такъ что разстояніе между внутренними краями закраинъ меньше разстоянія между внутренними краями паровыхъ оконъ, а разстояніе между наружными краями закраинъ больше разстоянія между наружными краями паровыхъ оконъ. Когда золотникъ устраиваютъ такимъ образомъ, то полуразность разстояній между наружными краями золотниковой доски и между наружными краями паровыхъ оконъ, то есть длина ав (фиг 2.) называется наружного или внѣшнего перекрышего золотника. А полуразность разстояній между внутренними краями паровыхъ оконъ и внутренними краями золотниковой доски называется внутреннего перекрышего золотника.

2.) Эксцентриситетъ эксцентрика дѣлаютъ болѣе ширины окна, именно онъ равенъ ширинѣ окна + наружная перекрыша.

3.) Эксцентрикъ ставятъ такимъ образомъ, чтобы его эксцентриситетъ не былъ перпендикулярен къ

направленіе кривошипа, но такъ чтобы этотъ эксцентриситетъ составлялъ съ кривошипомъ прямой уголъ (считая оного такъ по направленію движенія вала машины) т.е. эксцентрикъ занимается не въ положеніи Ов (фиг 3.), а въ положеніи Ос, когда кривошипъ направленъ по АО, при чемъ уголъ β=вос называется угломъ опереженія, угломъ предвареніе или угломъ упрежденія эксцентрика.

Чтобы объяснить себѣ дѣйствіе механизма съ этими измѣненіями, положимъ сначала, что длина шатуна золотника есть величина безконечно большая. Очевидно, что золотникъ будетъ въ своемъ среднемъ положеніи тогда, когда эксцентриситетъ эксцентрика составитъ прямой уголъ съ линіею мертвыхъ точекъ машины, когда кривошипъ будетъ въ мертвой точкѣ, центръ эксцентрика будетъ отстоять отъ нея на уголъ равный 90°+β (фиг 4.). Когда кривошипъ повернется изъ нея на уголъ α, то эксцентрикъ будетъ отстоять отъ своей мертвой точки на 90°+α+β, а какъ при разстояніи эксцентрика въ 90° отъ мертвой точки, золотникъ занимаетъ средне положеніе, то разстояніе

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

$$P = r.\sin(\alpha+\beta)$$

Какъ же велики будутъ, при разсматриваемомъ положеніи эксцентрика, отверстія - впускное и выпускное? Прежде, чѣмъ открыть впускное отверстіе, золотникъ долженъ пройти длину, равную величинѣ внѣшней перекрыши, а потому, чтобы получить величину впускнаго окна, при разсматриваемомъ положеніи кривошипа, надо найденное выше перемѣщеніе золотника изъ его средняго положенія, т. е. r. sin (α уменьшить на величину внѣшней перекрыши (которую назовемъ черезъ a); такъ - эта

чтобы получить открытіе выпускаго окна надо изъ количества $r.\sin(\alpha+\beta)$ вычесть величину внутренней перекрыши (которую обозначимъ черезъ b), и, такимъ образомъ, получимъ, что когда кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ α, то величина впускнаго отверстія равна

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

и величина выпускнаго отверстія равна

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

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

Пусть линія AB есть линія мертвыхъ точекъ (фиг 5.). Черезъ произвольную точку (O), взятую на этой прямой, проведемъ прямую, наклоненную къ линіи AB подъ угломъ β (уголъ опереженія эксцентрика) и къ этой прямой, изъ той-же точки O, проведемъ линію перпендикуляр-

ную (OD); на этой послѣдней прямой отъ точки O откладываемъ величину OD = эксцентриситету эксцентрика = r. На этой линіи r, какъ на діаметрѣ, описываемъ кругъ. Затѣмъ изъ точки O, какъ изъ центра, описываемъ радіусами, равными наружной и внутренней перекрышѣ двѣ окружности. Если, сдѣлавши эти всѣ построенія, проведемъ черезъ точку O произвольную прямую OC, то соотвѣтствующая направленію OC кривошипа величина впускного окна изобразится отрѣзкомъ B, C хорды OC (заключеннымъ между ея пересѣченіями съ окружностью, описанною на діаметрѣ равномъ эксцентриситету и съ окружностью, описанною радіусомъ равнымъ наружной перекрышѣ). Отрѣзокъ же A, C той же хорды, (заключенный между ея пересѣченіями съ окружностью, описанною на діаметрѣ равномъ эксцентриситету и съ окружностью, описанною радіусомъ, равнымъ внутренней перекрышѣ) представитъ, соотвѣтствующую направленію OC кривошипа, величину выпускного окна. На самомъ дѣлѣ, уголъ COD, какъ опирающійся на діаметръ и имѣющій вершину на окружности, есть прямой, слѣдовательно OC = OD. cos (COD).

Но уголъ COD = 90° - β - COB; уголъ-же

COB есть уголъ описанный кривошипомъ при переходѣ изъ мертвой точки въ положеніе OC; этотъ уголъ мы назвали черезъ α; слѣдовательно:

$$COD = 90^\circ - \beta - \alpha, \text{ и}$$

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

И такъ, какъ OB, OA, суть величины внѣшней и внутренней перекрышъ, т. е. - a и b, то

$$B,C = OC - OB, = r.\sin(\alpha+\beta) - a$$

также $A,C = OC - OA, = r.\sin(\alpha+\beta) - b$.

Но по вычисленному, $r.\sin(\alpha+\beta) - a$ есть величина впускного окна, и $r\sin(\alpha+\beta) - b$ - величина выпускного окна. Такимъ образомъ, если желаемъ составить себѣ ясное понятіе о положеніи золотника при какомъ угодно положеніи кривошипа и о величинѣ отверстія паровыхъ оконъ, то нужно только построить по вышеизложеннымъ правиламъ діаграмму; чтобы имѣть возможность на одномъ и томъ же чертежѣ находить величины паровыхъ оконъ и при прямомъ, и при обратномъ ходѣ поршня нужно только продолжить линію OD въ другую сторону и, отложивъ OE = OD, на OE, какъ на діаметрѣ, описать окружность. Обѣ эти окружности, для краткости, будемъ впредь наз-

вать кругами діаграммы. Имѣя этотъ чертежъ, можемъ опредѣлить величину впускнаго и выпускнаго отверстій при каждомъ положеніи кривошипа, и, слѣдовательно, можемъ опредѣлить также положеніе кривошипа: 1.) Соотвѣтствующее началу впуска (величина впускнаго окна есть нуль и возрастаетъ); 2.) Соотвѣтствующее началу расширенія (величина впускнаго окна есть нуль и убываетъ); 3.) Соотвѣтствующее началу выпуска (величина выпускнаго окна есть нуль и возрастаетъ); 4.) Соотвѣтствующее началу сжатія (величина выпускнаго окна есть нуль и убываетъ). На фиг. 6. изображены всѣ подробности такой діаграммы, изъ нея видимъ:

Когда кривошипъ находится въ правой мертвой точкѣ R, величина впускнаго окна въ правую часть цилиндра есть V_1P_1, а величина выпускнаго окна изъ лѣвой части цилиндра есть W_1P_1. Съ движеніемъ кривошипа по направленію стрѣлки, обѣ эти величины возрастаютъ до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не займетъ положенія OZ; затѣмъ обѣ эти канала начинаютъ убывать. При положеніи кривошипа OK_4, ве-

личина впускнаго канала обращается въ нуль, а величина выпускнаго окна = VW_4, и слѣдовательно этому положенію кривошипа соотвѣтствуетъ начало расширенія въ правой части цилиндра, а выпускъ изъ лѣвой части, при положеніи кривошипа OK_4, все еще продолжается; этотъ выпускъ прекращается при направленіи OK_5, проведенномъ черезъ центръ O и пересѣченіе W_5 круга діаграммы (построеннаго на эксцентриситетѣ, какъ на діаметрѣ) съ окружностью внутренней перекрыши. Съ этаго момента начинается сжатіе въ лѣвой части цилиндра, а расширеніе въ правой продолжается пока не откроется выпускъ, что случится тогда, когда кривошипъ займетъ положеніе OK_7, проходящее, черезъ точку пересѣченія W_7 другаго круга діаграммы, съ окружностью внутренней перекрыши. При этомъ положеніи сжатіе въ лѣвой части цилиндра продолжается до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не достигнетъ положенія OK_8, проходящаго черезъ точку V_8 пересѣченія втораго круга діаграммы съ окружностью наружной перекрыши. Съ этаго момента начинается впускъ пара въ лѣвую часть

цилиндра, выпускъ-же изъ правой части будетъ продолжаться. Затѣмъ въ лѣвой части цилиндра начнется расширеніе, когда кривошипъ займетъ положеніе OK_9, проходящее черезъ точку U_9 пересѣченія втораго круга діаграммы съ окружностью наружной перекрыши, при этомъ положеніи кривошипа выпускъ изъ правой части цилиндра будетъ все еще продолжаться, пока кривошипъ не приметъ положенія OK_{10}, проходящаго черезъ точку U_{10} пересѣченія втораго круга діаграммы съ окружностью внутренней перекрыши. Съ этаго момента начинается сжатіе пара въ правой части цилиндра, расширеніе-же въ лѣвой еще не прекращается и будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока кривошипъ не займетъ положенія OK_5, проходящаго черезъ пересѣченіе U_5 перваго круга діаграммы съ окружностью внутренней перекрыши. Съ этаго момента лѣвая часть цилиндра сообщена съ выпускомъ пара, а въ правой продолжается сжатіе. Оно оканчивается, и въ правую часть цилиндра начинается впускъ пара тогда, когда кривошипъ принимаетъ направленіе OK_3, проходящее черезъ пересѣченіе U_3 перваго круга діаграммы съ окружностью, описанною ра-

діусомъ, равнымъ наружной перекрышѣ.

Такимъ образомъ эта замѣчательная діаграмма, изобрѣтенная Цейнеромъ, даетъ весьма удобное средство опредѣлить всѣ положенія кривошипа, при которыхъ происходитъ перемѣна въ распредѣленіи пара.

Чтобы найти соотвѣтствующія этимъ положеніямъ кривошипа положенія поршня стоитъ только изъ точекъ R, R_3, R_4, R_6, R_7, и R_8 опустить перпендикуляры на начерченныя вверху діаграммы прямыя параллельныя линіи мертвыхъ точекъ кривошипа и изъ точекъ R_1, R_9, R_{10}, R_5 и R_3 опустить подобные же перпендикуляры на такія же прямыя, начерченныя внизу діаграммы. При этомъ увидимъ слѣдующее: когда поршень находящаяся въ своей мертвой точкѣ H, - впускъ въ правую часть цилиндра и выпускъ изъ лѣвой части открыты. Затѣмъ поршень начинаетъ двигаться къ другой своей мертвой точкѣ, при чемъ впускъ пара въ правую часть цилиндра и выпускъ его изъ лѣвой части остаются открытыми. Когда поршень придетъ въ точку H_4, впускъ пара въ правую часть прекращается, и въ ней начинается расширеніе пара; выпускъ

же пара изъ лѣвой части цилиндра продолжается. Послѣ того, когда поршень придетъ въ точку H_6, выпускъ пара изъ лѣвой части цилиндра прекращается, и въ ней начинается сжатіе пара; расширеніе же въ правой части продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не придетъ въ точку H_7. Въ этотъ послѣдній моментъ начинается выпускъ пара изъ правой части цилиндра, а сжатіе въ лѣвой части продолжается. Далѣе, когда поршень достигнетъ положенія H_8 сжатіе въ лѣвой части цилиндра оканчивается и начинается впускъ въ нее изъ котла свѣжаго пара, а выпускъ изъ правой части цилиндра продолжается. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не дойдетъ до своей мертвой точки H и изъ нея снова до H_9. Въ точкѣ H_9 впускъ въ лѣвую часть цилиндра оканчивается и начинается въ ней расширеніе, а выпускъ изъ правой части продолжается, пока поршень не дойдетъ до положенія H_{10}. При этомъ выпускъ изъ правой части цилиндра прекращается и начинается въ ней сжатіе пара, а расширеніе въ лѣвой части продолжается, пока поршень не достиг-

нетъ положенія H_5. Въ этой точкѣ расширеніе въ лѣвой части оканчивается и начинается выпускъ изъ нея пара. Сжатіе же въ правой продолжается, пока поршень не достигнетъ положенія H_3. Въ этой точкѣ сжатіе въ правой части цилиндра оканчивается и начинается впускъ въ нее пара изъ котла, а выпускъ пара изъ лѣвой части еще продолжается. Все это происходитъ въ продолженіи всего того времени, которое нужно поршню, чтобы изъ точки H_3 дойти до мертвой точки H_1 и затѣмъ отъ точки H снова до точки H_4. Наша діаграмма относится къ тому случаю, когда длина шатуна, соединяющаго кривошипъ со стержнемъ поршня равна безконечно большой величинѣ. Такъ какъ это условіе на практикѣ не бываетъ соблюдено, то чертежъ не совершенно вѣренъ, и его слѣдуетъ измѣнить, а именно при опредѣленіи положеній поршня, соотвѣтствующихъ даннымъ положеніямъ кривошипа, придется переносить различныя точки окружности, описываемой кривошипомъ, на линію мертвыхъ точекъ не перпендикулярныя къ ней послѣдней, а дугами, имѣющими радіусъ, равный длинѣ шатуна, и центръ на линіи мертвыхъ точекъ.

Такъ, чтобы найти дѣйствительное разстояніе поршня отъ мертвыхъ точекъ A и D (фиг 7) въ тотъ моментъ, когда кривошипъ находится въ положеніи N должно взять въ циркуль длину NB шатуна и засѣчь этого длиною на линіи мертвыхъ точекъ центръ B, а затѣмъ изъ B, какъ изъ центра радіусомъ BN описать дугу NE до линіи мертвыхъ точекъ, длины EA и ED и будутъ разстоянія поршня отъ мертвыхъ точекъ при положеніи N кривошипа.

3. На основаніи предыдущаго видно, что діаграмма Цейнера приложима не только къ машинамъ съ шатунами поршней очень большой длины, но и къ такимъ, шатуны поршней коихъ не очень велики, и единственное условіе, которое требуется для правильности нашего построенія есть то, что длина шатуна эксцентрика должна имѣть безконечную длину. Выходя изъ этого предположенія, мы прямо приняли, что среднее положеніе золотника, положеніе при которомъ оба отверстія одинаково перекрыты, соотвѣтствуетъ тому положенію эксцентрика, при которомъ его эксцентриситетъ съ линіею мертвыхъ точекъ составляетъ прямой

угол. Тоже предположеніе доставило нам основную формулу для разстоянія золотника отъ его средняго положенія.

По этой формулѣ путь, пройденный золотникомъ отъ средняго положенія его выражается черезъ

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

Разсмотримъ теперь какъ велики ошибки, вводимыя такимъ предположеніемъ въ случаѣ, когда длина шатуна эксцентрика будетъ конечная. Для этаго замѣтимъ сначала, что когда поршень машины находится въ правой мертвой точкѣ, то золотникъ долженъ находиться относительно оконъ праваго и лѣваго въ точно такомъ-же положеніи, въ какомъ онъ находится относительно оконъ лѣваго и праваго, когда поршень находится въ другой мертвой точкѣ; такъ въ устойчивательности и выверяютъ положеніе золотника (*), тогда очевид-

(*) Чтобы произвести такую выверку съ самаго начала временно закрѣпливаютъ эксцентрикъ на валѣ подъ угломъ приблизительно вѣрнымъ, и установивъ кривошипъ въ одну изъ мертвыхъ точекъ н.п.м. въ лѣвую, посредствомъ измѣненій длины стержня золотника приводятъ сей послѣдній въ такое положеніе, чтобы лѣвое впускное окно было

но среднее положеніе золотника; т. е. то, при которомъ оба отверстія ведущія въ цилиндръ одинаково перекрыты, будетъ въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ положеній золотника при мертвыхъ точкахъ кривошипа, а потому разстояніе отъ вала машины до средняго положенія золотника (то есть до того положенія, при которомъ оба паровые канала перекрыты одинаково снаружи и одинаково изнутри) будетъ

открыто на заданную величину, н. п. м. на два миллиметра; за тѣмъ переводятъ кривошипъ въ противоположную мертвую точку, и смотрятъ на сколько при этомъ открыто правое впускное окно; если оно открыто также на два миллиметра, то золотникъ поставленъ верно, если же нѣтъ, если н. п. м. правое окно при правой мертвой точкѣ окажется открытымъ на пять миллиметровъ вмѣсто двухъ, то приводятъ это открытіе къ двумъ м. м., передвигая золотникъ на полтора м. м., черезъ измѣненіе длины стержня, и на другіе полтора м. м., черезъ измѣненіе положенія эксцентрика; за симъ опять переводятъ кривошипъ въ лѣвую мертвую точку, и оказавшуюся неправильность снова исправляютъ тѣмъ же способомъ. При аккуратности двѣ три операціи такого рода достаточны для выверки золотника.

средняя ариѳметическая между разстояніями золотника отъ вала при мертвыхъ точкахъ кривошипа. Посмотримъ все на сколько это разстояніе отъ оси вала до средняго положенія золотника разнится отъ того, которое слѣдуетъ изъ предположенія о безконечной длинѣ шатуна эксцентрика. Чтобы опредѣлить положенія золотника, соотвѣтствующія двумъ крайнимъ положеніямъ поршня въ его мертвыхъ точкахъ, поступимъ слѣдующимъ образомъ: пусть кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ произвольный уголъ α (фиг. 8) въ это время эксцентриситетъ эксцентрика составляетъ съ тѣмъ своимъ положеніемъ, которое соотвѣтствуетъ его мертвой точкѣ уголъ $90^\circ + \alpha + \beta$, (гдѣ β есть уголъ опереженія); пусть это положеніе эксцентриситета изображается линіею OI. Вычислимъ при этомъ положеніи эксцентрика разстояніе центра вала отъ средины золотника.

Длину шатуна DI, эксцентрика означимъ черезъ b, а длину идущаго до какой ни есть опредѣленной точки (въ нашемъ случаѣ до средины) золотника отрѣзка DB, соединяющаго ша-

тунъ съ золотникомъ черезъ l_1.

Очевидно

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

Но OC есть проекція эксцентриситета r на линію мертвыхъ точекъ, слѣдовательно

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

Изъ чертежа тотчасъ находимъ также:

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

слѣдовательно:

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

Входящій сюда квадратный корень можно разложить въ строку, при чемъ, ограничиваясь членами пропорціональными $\frac{r^2}{l^2}$, получимъ:

$$OB = r.\sin(\alpha+\beta) + l_1 + l\left\{1 - \frac{r^2}{l^2}\cos^2(\alpha+\beta)\right\}^{\frac{1}{2}} =$$

$$= r.\sin(\alpha+\beta) + l_1 + l\left\{1 - \frac{r^2}{2l^2}\cos^2(\alpha+\beta)\right\} =$$

$$= r.\sin(\alpha+\beta) + l_1 + l - \frac{r^2}{2l}\cos^2(\alpha+\beta) \quad \ldots (1.)$$

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

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

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

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

Средняя ариѳметическая этихъ двухъ разстояній, которая согласно предыдущему изображаетъ разстояніе центра вала отъ середины золотника въ среднемъ его положеніи, будетъ:

$$l + l_1 - \frac{r^2}{2l}\cos^2\beta. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

Если мы отбросимъ члены, пропорціональные $\frac{r^2}{l}$, какъ въ томъ случаѣ, когда предполагаемъ $\frac{r}{l}$ безконечно малою величиною, то это разстояніе было бы просто $l + l_1$. Слѣдовательно ошибка въ опредѣленіи средняго положенія золотника, сдѣланная вслѣдствіе нашего предположенія, выражается послѣднимъ членомъ

$$\frac{r^2}{2l}\cos^2\beta.$$

Ошибка же которая происходитъ въ разстояніи отъ средняго положенія золотника до его положенія соотвѣтствующаго произвольному углу α кривошипа, опредѣляется, если сличимъ существительное разстояніе между этими положеніями

ли, составляющее на основаніи предыдущаго:

$$r.\sin(\alpha+\beta)+l+l_1-\frac{r^2}{2l}\cos^2(\alpha+\beta)-\left[l+l_1-\frac{r^2}{2l}\cos^2\beta\right]=$$
$$=r.\sin(\alpha+\beta)+\frac{r^2}{2l}\left\{\cos^2\beta-\cos^2(\alpha+\beta)\right\}$$

съ тѣмъ разстояніемъ, которое получится, если предположимъ въ этомъ выраженіи $l=\infty$; а какъ предыдущее выраженіе при $l=\infty$ обращается въ $r.\sin(\alpha+\beta)$, то величина

$$\frac{r^2}{2l}\left\{\cos^2\beta-\cos^2(\alpha+\beta)\right\}$$

представляетъ ошибку, которую мы сдѣлали въ разстояніи золотника отъ его средняго положенія, а слѣдовательно и въ величинѣ открытія паровыхъ оконъ; обозначимъ эту ошибку черезъ f и разберемъ какое вліяніе она имѣетъ на опредѣляемыя діаграммою величины открытія паровыхъ оконъ при разныхъ положеніяхъ поршня. При $\alpha=0$ и при $\alpha=180^\circ$, членъ $f=0$, т. е. въ мертвыхъ точкахъ кривошипа разстояніе золотника отъ средняго положенія, а слѣдовательно и величины открытія оконъ опредѣлены діаграммою Цейнера вполнѣ правильно. Также членъ этотъ обращается въ нуль при $\alpha=180^\circ-2\beta$ и при $\alpha=360^\circ-2\beta$, такъ что вообще у насъ будутъ четыре точки, въ кото-

рыхъ степень открытія оконъ опредѣляемая діаграммою вполнѣ точно, и въ этихъ точкахъ слѣдовательно мы ошибки не дѣлаемъ. Затѣмъ, чтобы получить точки, въ которыхъ ошибка достигаетъ наибольшей величины, приравниваемъ нулю производную отъ f по α; получаемъ:

$$2\cos(\alpha+\beta)\sin(\alpha+\beta)=0$$

или $\sin 2(\alpha+\beta)=0.$

Это равенство будетъ исполнено, когда

$$2(\alpha+\beta)=180^\circ;\ 360^\circ;\ 540^\circ;\ 720^\circ;\ (K\Pi)$$

т. е. когда

$$\alpha=90^\circ-\beta;\ 180^\circ-\beta;\ 270^\circ-\beta;\ 360^\circ-\beta;\ \left(\frac{K\Pi}{2}-\beta\right).$$

Такимъ образомъ имѣемъ четыре точки въ коихъ величина f достигаетъ наибольшаго своего значенія. Первая и третья изъ этихъ точекъ соотвѣтствуетъ тому положенію золотника, въ которомъ, по діаграммѣ, оба паровыя отверстія вполнѣ открыты; точки же вторая и четвертая соотвѣтствуютъ положеніямъ кривошипа oa и ob (фиг. 9.), когда оба отверстія совершенно закрыты и ошибка состоитъ въ томъ, что по діаграммѣ, при направленіяхъ oa и ob, имѣетъ мѣсто среднее положеніе золотника, то есть оба канала из-

нутри перекрыты одинаково и снаружи тоже, между тѣмъ какъ въ дѣйствительности, при этихъ положеніяхъ кривошипа, золотникъ нѣсколько выдвинутъ изъ средняго своего положенія, т. е, одно окно при этомъ перекрыто нѣсколько болѣе другаго, но въ сущности результатъ получается тотъ-же, что и при діаграммѣ, то есть оба окна закрыты. Для насъ всего важнѣе съ совершенною точностью опредѣлить положеніе золотника въ мертвыхъ точкахъ поршня, такъ какъ по самой цѣли, для которой введены перекрыши и уголъ опереженія эксцентрика, необходимо, чтобы впускныя и выпускныя отверстія были до извѣстной степени открыты, когда поршень находится въ мертвыхъ точкахъ и діаграмма даетъ намъ положеніе золотника въ этихъ точкахъ, совершенно правильно, въ другихъ точкахъ есть нѣкоторая ошибка въ положеніи золотника, но ошибка эта достигаетъ наибольшей величины при такихъ положеніяхъ золотника, когда оба канала или совершенно открыты, или совершенно закрыты, то есть тогда, когда она никакого существеннаго влія-

нія указать не можетъ. Да и въ этихъ точкахъ величины ошибки, достигающей своихъ наибольшихъ значеній, совершенно ничтожны. Эти наибольшія значенія ошибки будутъ:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{при } \alpha = 90^\circ - \beta \ldots & \text{ошибка} & = + \frac{r^2}{2l}\cos^2\beta \\ \text{"} \quad \alpha = 180^\circ - \beta \ldots & \text{"} & = - \frac{r^2}{2l}\sin^2\beta \\ \text{"} \quad \alpha = 270^\circ - \beta \ldots & \text{"} & = + \frac{r^2}{2l}\cos^2\beta \\ \text{"} \quad \alpha = 360^\circ - \beta \ldots & \text{"} & = - \frac{r^2}{2l}\sin^2\beta \end{array}\right\}$$

Если положимъ $r = 8$ $l = 160$ сантиметрамъ и $\beta = 30^\circ$, то ошибки эти будутъ:

при $\alpha = 90^\circ - \beta$ и $\alpha = 270^\circ - \beta$:

$$F = \frac{8 \cdot 8}{2 \cdot 160} \cdot \frac{3}{4} = \frac{3}{20} = 0{,}15 \text{ сантиметра.}$$

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

$$F = \frac{8 \cdot 8}{2 \cdot 160} \cdot \frac{1}{4} = \frac{1}{20} = 0{,}05 \text{ сантиметра}$$

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

Такимъ образомъ вполнѣ гармонируетъ

Лит. Ф. Кремеръ Пет. ст. Гребецкая ул. 20.

вопросъ: какъ по даннымъ элементамъ распредѣлительнаго прибора найти самое распредѣленіе пара. не надо до 4Д

4. Приступимъ къ рѣшенію обратнаго вопроса, то есть посмотримъ какимъ образомъ по данному распредѣленію пара опредѣлить всѣ элементы распредѣлительнаго прибора.

Для этаго прежде всего замѣтимъ, что на основаніи діаграммы направленія кривошипа, при которыхъ происходятъ начало и конецъ впуска и начало и конецъ выпуска составляютъ равные углы съ тѣмъ положеніемъ кривошипа, при которомъ впускное и выпускное отверстія имѣютъ наибольшія величины. Слѣдовательно, если изъ четырехъ главныхъ моментовъ въ распредѣленіи пара: начало впуска, конецъ впуска (или начало расширенія), начало выпуска, конецъ выпуска (или начало сжатія) даны три, то четвертый уже заданъ быть не можетъ, а опредѣляется самъ собою, съ помощью діаграммы. Сверхъ того, если дано будетъ распредѣленіе пара въ правой части цилиндра, то оно этимъ самымъ опредѣлено и въ лѣвой части. Слѣдовательно вообще, относительно распредѣленія пара можетъ быть назна-

чено не болѣе трехъ опредѣленныхъ условій, и по нимъ вполнѣ опредѣляются какъ остальныя условія распредѣленія пара, такъ и всѣ элементы распредѣлительнаго прибора.

Положимъ что намъ дано:

1) Положеніе поршня, при которомъ начинается впускъ въ правую часть цилиндра.

2) Положеніе поршня, при которомъ начинается выпускъ изъ лѣвой его части, и

3) Положеніе поршня, при которомъ начинается сжатіе въ лѣвой части цилиндра.

Чтобы рѣшить вопросъ, откладываемъ на линіи мертвыхъ точекъ отъ точки A длины: AB, AC и AD (фиг. 10), представляющія разстоянія отъ правой мертвой точки до положеній поршня, соотвѣтствующихъ началу впуска (B.) въ правую часть, началу выпуска (C.) изъ лѣвой части и началу сжатія (D.) въ лѣвой части. Берёмъ въ циркуль длину шатуна поршня и поставивъ одну изъ его ножекъ послѣдовательно въ точки B, C, и D, а другую на линію мертвыхъ точекъ, описываемъ длиною шатуна дуги BB', CC' и DD' до пересѣченія съ окружностью, представляющею путь центра кри-

вошипа. Точки B', C' и D' представляютъ положенія этой цапфы, соотвѣтствующія тремъ взятымъ положеніямъ поршня. Положеніе F цапфы кривошипа, при которомъ начинается расширеніе, опредѣлится, если проведемъ OF подъ угломъ къ OD' равнымъ углу C'OB'. Затѣмъ соединяемъ точки B', C', и D' съ O, дѣлимъ уголъ C'OD' по поламъ прямою OG; уголъ этой прямой съ линіею мертвыхъ точекъ представитъ собою дополненіе до угла опереженія эксцентрика. Чтобы опредѣлить затѣмъ эксцентриситетъ эксцентрика и объ перекрышѣ золотника, вообразимъ на минуту, что вопросъ уже рѣшенъ, и пусть OF' величина наружной перекрыши. Изъ точки F проведемъ касательную къ кругу, описываемому кривошипомъ до пересѣченія съ OG въ точкѣ G и черезъ точку F' прямую F'G'; линіи FG и F'G' будутъ параллельны и треугольники OFG и OF'G' подобны, слѣд.

$$OG' : OG = OF' : OF.$$

Но $OF = R$ = длинѣ кривошипа;

$OF' = a$ = наружной перекрышѣ золотника;

$OG' = OH + HG' = a + h$ (гдѣ h есть высота парового окна)

и $OG = OE + EG = R + EG$.

Слѣдовательно предыдущая пропорція дастъ:

$$a + h : R + EG = a : R;$$

или $Ra + Rh = Ra + a.EG$.

откуда:

$$Rh = a.EG;$$

и

$$a = \frac{Rh}{EG}.$$

Такъ какъ R и h даны напередъ, а EG можетъ быть прямо взято изъ чертежа, то величина a опредѣлится этимъ равенствомъ; эксцентриситетъ r опредѣлится равенствомъ $r = a + h$.

Внутренняя перекрыша получится, если, описавъ на только что опредѣленномъ эксцентриситетѣ, какъ на діаметрѣ окружность, замѣтимъ точки ея пересѣченія C'' и D'' съ направленіемъ кривошипа, соотвѣтствующимъ началу и концу выпуска изъ лѣвой части цилиндра. Тогда:

$$b = OC'' = OD''.$$

Замѣтимъ, что довольно часто встрѣчаются въ паровыхъ машинахъ слѣдующія отношенія:

$AB = \frac{1}{100}$ всего хода поршня

$AC = \frac{3}{100}$ " " "

AD отъ $\frac{92}{100}$ до $\frac{85}{100}$.

Такимъ образомъ вопросъ объ устройствѣ распредѣлительнаго прибора

по даннымъ условіямъ разрѣшенъ и остается только найти:

a) начало выпуска изъ правой части цилиндра;

b) начало сжатія въ правой;

c) начало расширенія въ лѣвой;

и d) начало впуска въ лѣвую часть цилиндра.

Для опредѣленія этихъ четырехъ точекъ дѣлаемъ по другую сторону линіи мертвыхъ точекъ такое же построеніе какъ и прежде; направленія кривошипа, при которыхъ получатся разсматриваемыя нами четыре точки (a, b, c, d) будутъ совершенно симметричны съ найденными уже четырьмя точками. Но, не смотря на это, впускъ, выпускъ, расширеніе и сжатіе въ одной части цилиндра будутъ начинаться не въ тѣхъ же разстояніяхъ отъ соотвѣтствующей мертвой точки, какъ въ другой части цилиндра, такъ какъ разстоянія поршня отъ его мертвыхъ точекъ, отвѣчающія симметрическимъ положеніямъ кривошипа, не будутъ одинаковыя и разница будетъ тѣмъ больше, чѣмъ короче шатунъ. Это можно отчасти исправить, сдѣлавъ закрышку правой части золотника неодинаковою съ закрышкой его

лѣвой части. Тогда наружная и внутренняя перекрыши для лѣваго пароваго канала будутъ другія, чѣмъ для праваго и мы можемъ задать себѣ кромѣ трехъ упомянутыхъ выше направленій кривошипа, еще два направленія (такъ какъ прибавились двѣ неизвѣстныя), которыя можно выбрать, напримѣръ, такъ, чтобы начало впуска и выпуска при обратномъ движеніи поршня происходило на томъ же разстояніи отъ лѣвой мертвой точки, на какомъ, при прямомъ движеніи, оно происходило относительно правой мертвой точки.

Въ практикѣ, при рѣшеніи вопроса объ устройствѣ распредѣлительнаго прибора, обыкновенно обращаютъ большое вниманіе на то обстоятельство, чтобы тѣ называемыя линейныя опереженія (то есть величины открытія окна въ то время, когда поршень находится въ своей мертвой точкѣ) со стороны впуска и выпуска имѣли извѣстныя и опредѣленныя величины. Такимъ образомъ задаются два элемента распредѣлительнаго прибора; остается задать себѣ еще одну величину, для чего можно выбрать или голо-

женіе поршня при началѣ сжатія, или положеніе его при началѣ выпуска, или наконецъ положеніе его при началѣ расширенія.

Зададимъ себѣ, напримѣръ, положеніе поршня при началѣ впуска и линейное опереженіе его со стороны впуска, и найдемъ величину эксцентриситета и угла опереженія. Дѣлаемъ опять начертежъ (фиг. 11) и положимъ, что заданному положенію поршня при началѣ впуска соотвѣтствуетъ положеніе кривошипа въ точкѣ a, а заданная величина линейнаго опереженія со стороны впуска есть e; тогда BE=e.

Разсматривая чертежъ имѣемъ:

$$OE : OA = R : OC, \text{ и}$$

$$OF : OA = R : OD,$$

или

$$OA \times R = OE \times OC,$$

$$OA \times R = OF \times OD;$$

Неизвѣстныя величины здѣсь суть OA, OE, OC, OF и OD. Но эти пять неизвѣстныхъ приводятся къ двумъ, въ самомъ дѣлѣ:

$$OA = a + h; \quad OE = a + e;$$

$$OC = \frac{R}{\sin\beta}; \quad OF = a$$

$$OD = \frac{R}{\cos(90^\circ - \beta + \delta)} = \frac{R}{\sin(\beta - \delta)}$$

гдѣ δ есть уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ при началѣ впуска. Съ помощью этихъ равенствъ легко

решить два вышенаписанныя уравненія, которыя представляются въ такомъ видѣ:

$$R(a+h) = (a+e)\frac{R}{\sin\beta}$$

$$R(a+h) = a\cdot\frac{R}{\sin(\beta-\delta)};$$

или $$(a+h)\sin\beta = a+e$$

$$(a+h)\sin(\beta-\delta) = a$$

а изъ этихъ двухъ уравненій получаемъ a и β, а именно:

$$a(1-\sin\beta) = h.\sin\beta - e;$$

$$a\{1-\sin(\beta-\delta)\} = h\sin(\beta-\delta);$$

или $$\frac{1-\sin\beta}{1-\sin(\beta-\delta)} = \frac{h.\sin\beta - e}{h\sin(\beta-\delta)}$$

$$h.\sin(\beta-\delta) - h.\sin\beta.\sin(\beta-\delta) =$$

$$= h.\sin\beta - e - h.\sin\beta.\sin(\beta-\delta) + e.\sin(\beta-\delta)$$

или $h.\sin(\beta-\delta) = h.\sin\beta - e + e.\sin(\beta-\delta)$.

Здѣсь только одна неизвѣстная: уголъ β, которая отсюда и можетъ быть найдена. Замѣтимъ, кстати, что величину этаго угла можно найти помощью чертежа. Для этаго преобразуемъ наше уравненіе и напишемъ его въ такомъ видѣ:

$$h.\sin\beta.\cos\delta - h\cos\beta.\sin\delta =$$

$$= h.\sin\beta - e + e.\sin\beta.\cos\delta - e\cos\beta.\sin\delta$$

или $\sin\beta\{h-(h-e)\cos\delta\} + (h-e).\sin\delta\cos\beta = e$;

или, полагая:

$$h-(h-e)\cos\delta = A.$$

$$(h-e)\sin\delta = B,$$

получимъ:

$$e = A\sin\beta + B\cos\beta.$$

Найдемъ теперь уголъ β, опредѣляемый этимъ уравненіемъ. Для этаго на произвольной прямой отложимъ линію ав = А (фиг. (12), изъ крайней точки в линіи ав возстановимъ перпендикуляръ и на немъ отложимъ вс. равное В. Соединимъ точки а и с прямою ас и на ней, какъ на діаметрѣ, опишемъ окружность. Затѣмъ, отъ точки а отложимъ хорду ад = е. Четыреугольникъ авсд будетъ замкнутый, слѣдовательно его сторона ад будетъ равна суммѣ проэкцій прочихъ его сторонъ на какое нибудь направленіе, и какъ сд перпендикулярно къ ад, то и получимъ, что:

$$ад = A\sin б + B\cos б; \text{ или}$$
$$e = A\sin б + B\cos б.$$

Но мы имѣли:

$$e = A.\sin\beta + B\cos\beta.$$

Отсюда видимъ, что уголъ β = б, и слѣд. β находится графическимъ построеніемъ безъ всякаго вычисленія. По опредѣленіи β уже не затруднительно найти величину а и эксцентриситетъ а+h; что касается до внутренней перекрыши, то она должна быть опредѣлена изъ другихъ данныхъ.

5.) Обыкновенный (простой) коробча-

тый золотникъ, нами разсмотрѣнный если онъ приводится въ движеніе круглымъ эксцентрикомъ, хотя можетъ допускать значительное расширеніе, и чрезъ перестановку эксцентрика это расширеніе можетъ измѣняться, но вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняется необходимо и другіе элементы распредѣленія пара, элементы, которые необходимо сохранять постоянными. Имѣя это въ виду, обыкновенно въ машинахъ имѣющихъ значительное расширеніе пара, оно производится другимъ способомъ. - Одно изъ простѣйшихъ устройствъ этаго рода есть кулачокъ эксцентрикъ, соединенный съ коробчатымъ золотникомъ.

Этотъ механизмъ состоитъ въ томъ, что на главномъ валѣ машины, или на другой оси, дѣлающей равное съ главнымъ валомъ число оборотовъ, насажена кулачный эксцентрикъ, на который пружиною или грузомъ насаживается, соединенный неизмѣняемымъ образомъ со стержнемъ золотника, катокъ, могущій катиться по сказанному кулачному эксцентрику, который вычерчивается на основаніи слѣдующихъ соображеній:

Такъ какъ впускъ и расширеніе въ правой части цилиндра сопровождаются выпускомъ изъ лѣвой части и наоборотъ, то очевидно во время впуска въ правую часть золотникъ долженъ занимать положеніе (1), во время расширенія въ правой части положеніе (2), во время впуска въ лѣвую часть положеніе (3), и во время расширенія въ лѣвой части положеніе (4). (фиг. 18).

При этомъ очевидно, что закраины золотника должны быть чуть чуть шире впускныхъ оконъ, для того, чтобы быть вполнѣ увѣренными въ томъ, что когда впускное окно закрыто закраиною, то ни впуска, ни выпуска пара не происходитъ. Положимъ для простоты, что ширина закраины равна 1,25 ширины 1 впускнаго окна, и что выпускное окно имѣетъ тоже самую ширину, какъ закраина; промежутки между внутренними ребрами впускныхъ оконъ и смѣнными ребрами выпускнаго окна очевидно должны быть равны также 1,25 1; предполагая затѣмъ, что во время расширенія впускное окно перекрывается одинаково и впереди и сзади, получимъ, что полная длина золотника будетъ между на-

ружными ребрами закраинъ 7,1251, —
а между внутренними изъ ребрами 4,625т.

Видно изъ фигуръ, что

перемѣщеніе золотника изъ (1) въ (2) равно 1,125т;
" " " (2) " (3) " 2,25т;
" " " (3) " (4) " 1,125т;
" " " (4) " (1) " 2,25т.

Если на валъ насадимъ дискъ, концентрическій съ осью и описанный произвольнымъ радіусомъ Оа (фиг. 14) и въ то же время стержень золотника сдѣлаемъ такой длины, чтобы золотникъ находился въ положеніи (1), когда катокъ рамки опирается на дискъ, то ясно, что золотникъ перемѣщаться не будетъ вовсе и будетъ постоянно сохранять положеніе (1). Но если мы возьмемъ не полный дискъ радіуса Оа, а только дугу, отвѣчающую углу, который описываетъ кривошипъ во время впуска въ правую часть цилиндра, и запишемъ съ этою дугою соединимъ посредствомъ переходной кривой другую, описанную радіусомъ Ов = Оа + 1,125т, то катокъ переходя на эту дугу увлечетъ золотникъ въ положеніе (2); если дугу, описанную радіусомъ Ов возьмемъ такой длины, чтобы она соотвѣтствовала углу описываемому кривошипомъ во время

расширенія въ правой части и затѣмъ, соединимъ ее посредствомъ переходной кривой съ третьею дугою, которая будетъ описана радіусомъ

$$Oc = Ob + 2,25l = Oa + 3,375l,$$

то катокъ, переходя на эту послѣднюю дугу увлечетъ за собою золотникъ въ положеніе (3), въ которомъ онъ и будетъ оставаться, пока подъ каткомъ будетъ проходить дуга этаго радіуса; если эта дуга будетъ сдѣлана такой длины, что она будетъ соотвѣтствовать углу, описываемому кривошипомъ во время впуска въ лѣвую часть цилиндра и переходная кривая соединится съ дугою, описанною радіусомъ

$$Od = Oc - 1,125l = Ob + 1,125l = Oa + 2,5l,$$

то, переходя на эту дугу, катокъ увлечетъ золотникъ въ положеніе (4), при которомъ и будетъ происходить расширеніе въ лѣвой части цилиндра. Переходная кривая къ дугѣ, описанной радіусомъ Oa, переведетъ затѣмъ золотникъ въ положеніе (1).

в) Описанный механизмъ можетъ быть устроенъ для произвольной степени расширенія, но эта степень расширенія измѣняемой быть не можетъ; въ машинахъ-же работаю-

щихъ съ расширеніемъ пара измѣряемымъ расширенія представляетъ весьма важное удобство и потому съ цѣлью собственно расширенія лишь весьма рѣдко употребляется описанный золотникъ, а всего чаще въ машинахъ съ значительнымъ расширеніемъ устраивается сложный золотникъ, состоящій изъ двухъ отдѣльныхъ золотниковъ, которые оба приводятся въ движеніе круглыми эксцентриками и изъ коихъ одинъ назначенъ для распредѣленія пара безъ расширенія его, а другой собственно производитъ расширеніе; этотъ послѣдній обыкновенно устроенъ такъ, что его можно переставлять и получать такимъ образомъ различныя степени расширенія. Системъ подобныхъ сложныхъ золотниковъ очень много. Изъ нихъ весьма часто употребляется въ практикѣ двойной золотникъ Мейера (изобрѣтенный въ 1842 г.). Онъ удобенъ въ томъ отношеніи, что его очень легко переставлять съ помощью небольшой рукоятки и получать, такимъ образомъ то или другое расширеніе, начиная отъ мертвой точки поршня и до полнаго его хода; послѣдняго, впрочемъ, можно достигнуть только въ

томъ случаѣ, если отказаться отъ опереженій пара, т.е. если устроимъ первый обыкновенный золотникъ такъ, чтобы паръ начиналъ входить и выходить прямо въ мертвыхъ точкахъ поршня. Машина, снабженная Мейеровскимъ золотникомъ, смотря по надобности, можетъ работать и съ очень большимъ и съ очень малымъ расширеніемъ, даже безъ всякаго расширенія если только собственно распредѣлительный золотникъ сдѣланъ безъ перекрышъ, и эксцентрикъ безъ угла опереженія, что впрочемъ обыкновенно не дѣлается.

Устройство золотника Мейера фиг. 15 слѣдующее: онъ состоитъ изъ коробчатаго золотника AA, который скользитъ по столику BB, содержащему паровыя окна, ведущія паръ въ правую и въ лѣвую часть цилиндра и выводящія отработавшій паръ. Золотникъ этотъ отличается отъ обыкновеннаго только тѣмъ, что приемъ паръ идетъ въ цилиндръ не около наружныхъ его реберъ, а черезъ каналы, въ немъ сдѣланные.

Сверху этого золотника лежатъ двѣ пластинки CC, въ коихъ нарѣзаны гайки — правая и лѣвая. Черезъ эти гайки проходитъ стержень,

на коемъ тоже нарѣзаны правый и лѣвый винты. Этотъ стержень черезъ сальники выходитъ съ обѣихъ сторонъ изъ распредѣлительной коробки; по выходѣ отъ-туда, онъ соединяется съ шатуномъ, идущимъ отъ эксцентрика, коимъ и приводится въ поступательное движеніе. Вращательное же движеніе онъ можетъ получать (отъ руки, или отъ регулятора) независимо отъ шатуна. Нижній золотникъ приводится въ движеніе другимъ эксцентрикомъ и двигается совершенно независимо отъ пластинокъ С, Поворачивая винтъ Д, можемъ приближать или удалять по произволу пластинки С и С, одну отъ другой, и тѣмъ самымъ измѣнять степень расширенія пара. Разсматривая внимательно устройство этаго золотника, мы видимъ, что все вліяніе верхнихъ пластинокъ будетъ состоять въ томъ, что онѣ, по временамъ, станутъ закрывать каналы а и в, слѣдовательно, не позволятъ пару входить въ цилиндръ, не смотря на то, что каналы с и д будутъ находиться въ сообщеніи съ а и в; на сообщеніе же каналовъ с и д съ выпускного трубого е, слѣдовательно, на сжатіе пара въ цилиндрѣ, и на вы-

Кремеръ Литографія Красная, д. 22.

пускъ пара изъ цилиндра верхнія пластинки никакого вліянія не имѣютъ; ихъ вліяніе такимъ образомъ ограничивается исключительно тѣмъ, что закрывая въ извѣстные моменты каналы a и в, они не дозваляютъ пару входить во внутрь цилиндра и тѣмъ производятъ его расширеніе.

7.) Разберемъ же подробно, какимъ образомъ происходитъ распредѣленіе пара въ машинѣ, снабженной Мейеровскимъ золотникомъ, при семъ можно ограничиться исключительно разсмотрѣніемъ впуска и расширенія пара, такъ какъ выпускъ и сжатіе будутъ здѣсь происходить точно такъ же, какъ при обыкновенномъ золотникѣ. Поэтому мы можемъ разсматривать только сообщеніе каналовъ a и в съ паровою коробкою, и задача наша будетъ состоять въ томъ, чтобы опредѣлить для каждаго положенія кривошипа на сколько эти каналы будутъ открыты и въ теченіе какой части оборота машины они будутъ оставаться закрытыми.

Представимъ себѣ нижній золотникъ A (фиг. 16.) и положимъ, что пластинки B, B находятся въ положеніи, представленномъ на чертежѣ; при чемъ

одна пластинка закрываетъ отчасти пропускной каналъ а нижняго золотника. Спрашивается при какомъ положеніи кривошипа отверстіе а совершенно будетъ закрыто? Пусть d — половина разстоянія между наружными ребрами пропускныхъ каналовъ а и в нижняго золотника, l длина пластинки верхняго золотника, x — половина разстоянія между внутренними краями верхнихъ пластинокъ; по предыдущему, мы сдѣлаемъ самую ничтожную ошибку въ изученіи распредѣленія пара, если примемъ, что среднее положеніе золотника соотвѣтствуетъ направленію эксцентриситета эксцентрика, перпендикулярному къ линіи мертвыхъ точекъ, и слѣдовательно предположимъ, что оно не зависитъ ни отъ величины эксцентриситета, ни отъ угла опереженія эксцентрика; на этомъ основаніи можемъ принять, что несмотря на различіе эксцентриситетовъ и угловъ опереженія эксцентриковъ для обоихъ золотниковъ средняя положенія ихъ середокъ представляются одною и тою же точкою C. Пусть разстояніе перемѣннаго положенія средокъ золотниковъ отъ C будутъ: z для нижняго

и z' для верхняго золотника. Назовемъ кромѣ того, черезъ d ширину пропускныхъ каналовъ нижняго золотника. Очевидно, что разстояніе наружнаго ребра пропускнаго канала отъ точки C будетъ $L-z$, а разстояніе наружнаго ребра верхней пластинки отъ той же точки C будетъ $l+x-z'$, слѣдовательно разстояніе наружныхъ реберъ канала a и пластинки B будетъ

$$L-z-(l+x-z')=L-l-x-(z-z').$$

Если эта величина будетъ отрицательная, то каналъ a закроютъ совершенно *); если же найденное выраженіе будетъ положительное, то ка-

---

*) Предполагая, конечно, что внутренній край пластинки B никогда не достигаетъ внутренняго ребра канала a, и на это при разсчетѣ длины пластинокъ необходимо обратить вниманіе; предположеніе это будетъ выполнено, если при всѣхъ положеніяхъ обоихъ золотниковъ разстояніе внутренняго ребра канала отъ точки C будетъ больше, чѣмъ разстояніе отъ той же точки внутренняго края верхней пластинки, а какъ первое разстояніе есть $L-d-z$ и второе есть $x-z'$ то разсматриваемое условіе приведется къ неравенству: $L-d-z>x-z'$ или $L-d-x-(z-z')>0$ которое должно быть исполнено при всѣхъ положеніяхъ распредѣлительнаго прибора.

нал открыт на величину этого выраженія; само собою понимается однако, что если положительное значеніе найденнаго выраженія больше d, то каналъ открытъ всетаки не болѣе, какъ на d; для положеній кривошипа, при коихъ

$$L - l - x - (\xi - \xi') = 0$$

каналъ или открывается или закрывается, смотря потому возрастаетъ или убываетъ величина $L - l - x - (\xi - \xi')$ при переходѣ черезъ нуль.

Если распредѣлительный приборъ установленъ, то L, l и x суть извѣстныя постоянныя величины, а ξ и ξ' суть величины перемѣнныя, измѣняющіяся вмѣстѣ съ положеніемъ кривошипа; величина x измѣняется вмѣстѣ съ вращеніемъ винта, соединяющаго пластинки, но отъ положенія кривошипа не зависитъ такъ что, желая изучить распредѣленіе пара въ теченіе оборота машины и предполагая, что въ теченіе этого времени не трогаемъ винтъ, соединяющій пластинки, можемъ сказать, что степень открытія пропускного канала измѣняется только съ измѣненіемъ величинъ ξ и ξ'. Но величины ξ и ξ' представляютъ разстоянія между общимъ среднимъ положеніемъ золотниковъ

и их положеніями соотвѣтствующими произвольному углу α кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ; слѣдовательно z и z' суть ничто иное, какъ хорды круговъ діаграммы, соотвѣтствующихъ эксцентрикамъ верхняго и нижняго золотниковъ, проведенныя черезъ центръ круга кривошипа подъ угломъ α къ линіи мертвыхъ точекъ. Поэтому, если проведемъ линію AA_1, (фиг. 17.) мертвыхъ точекъ поршня, возставимъ къ ней перпендикуляръ DD, и къ нему подъ углами β, β' соотвѣтственно равными угламъ опереженія обоихъ эксцентриковъ, проведемъ прямыя OK, OH, отложимъ на нихъ эксцентриситеты обоихъ эксцентриковъ и на нихъ, какъ на діаметрахъ, опишемъ окружности: $Oabcdef$, $Oa'b'c'd'e'f'$; если затѣмъ проведемъ направленіе Oc подъ угломъ α къ линіи мертвыхъ точекъ, то будетъ

$$Oc' = z'; \; Oc = z; \; cc' = z - z'.$$

Такимъ образомъ будемъ въ состояніи для каждаго положенія кривошипа опредѣлить z, z' и $z - z'$, а слѣдовательно будемъ знать величину открытія пропускнаго канала.

Такимъ образомъ начерченные два круга діаграммы даютъ представленіе о томъ, какъ измѣняется открытіе

тая часть канала нижняго зеркала вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія кривошипа. Чтобы дать себѣ ясный отчетъ въ этомъ, прослѣдимъ значеніе величинъ ξ, ξ' и $\xi-\xi'$ черезъ всю окружность, описываемую кривошипомъ. Замѣчая, что значенія ξ и ξ' будутъ положительныя, когда хорды круговъ діаграммы, представляющія ихъ численныя значенія, лежатъ по тую сторону центра, по которую находится соотвѣтствующее имъ положеніе центра кривошипа, и что значенія ξ и ξ' будутъ отрицательныя, когда хорды, представляющія собою ихъ численныя значенія лежатъ по другую сторону центра, нежели соотвѣтствующее имъ положеніе центра кривошипа, мы получимъ слѣдующую таблицу значеній ξ, ξ' и $\xi-\xi'$.

Направленіе кривошипа	Величина ξ	Величина ξ'	Величина $\xi-\xi'$.
OA.	+Oa.	+Oa'.	-aa'.
OB.	+Ob.	+Ob.	0.
OC.	+Oc.	+Oc'	+cc'.
OD.	+Od.	+Od'	+dd'.
OE.	+Oe.	0.	+Oe.
OF.	+Of.	-Of'	+ff'
OG.	0.	-Og'.	+Og'
OA'.	-Oa	-Oa'	+aa'

OB_1.	$-Ob$.	$-Ob$.	O.
OC_1.	$-Oc$.	$-Oc'$.	$-cc'$.
OD_1.	$-Od$.	$-Od'$.	$-dd'$.
OE_1.	$-Oe$.	O.	$-Oe$.
OF_1.	$-Of$.	$+Of'$.	$-ff'$.
OG_1.	O.	$+Og'$.	$-Og'$.

Такимъ образомъ величина $z-z'$, при движеніи центры кривошипа по полуокружности отъ B къ B' будетъ положительною, а при движеніи по полуокружности отъ B' до B. она будетъ отрицательною; отнимая найденныя величины $z-z'$ отъ суммы $l-l-x$, мы найдемъ величины открытія пропускнаго канала при каждомъ положеніи кривошипа, и слѣдовательно можемъ составить себѣ совершенно ясное понятіе о томъ, на какой части хода поршня происходитъ впускъ пара и съ какой части другаго хода начинается расширеніе пара.

8. Вопросъ этотъ можно рѣшить еще нагляднѣе; можно составить чертежъ, изъ котораго не только легко опредѣлится величина открытія окна для каждаго положенія кривошипа, но прямо видны всѣ измѣненія, происходящія въ этомъ открытіи вмѣстѣ съ

измѣненіемъ положенія кривошипа. Для этаго предварительно докажемъ слѣдующую теорему: если два круга пересѣкаются, и черезъ общую ихъ точку проведемъ прямую и замѣтимъ ея вторичныя пересѣченія съ каждымъ изъ двухъ круговъ, то разность между полученными такимъ образомъ хордами, идущими по одному направленію, равна идущей по тому же направленію и проходящей черезъ общую точку двухъ круговъ, хордѣ третьяго круга, котораго діаметръ, имѣя одинъ конецъ въ точкѣ пересѣченія данныхъ круговъ, параллеленъ и равенъ замыкающей сторонѣ треугольника, построеннаго на проходящихъ черезъ общую точку діаметрахъ данныхъ круговъ. Пусть OAA', OBB' (фиг 18) данныя окружности, OA', OB' — ихъ діаметры, проходящіе черезъ общую ихъ точку O; соединяемъ A' съ B' и проводимъ прямую CD' черезъ точку O параллельно $B'A'$; на этой прямой откладываемъ OC' и OD', равныя $A'B'$ и на каждой изъ отложенныхъ прямыхъ строимъ, какъ на діаметрѣ, окружности OCC' и ODD'; проводимъ черезъ O произвольную хорду $DOCAB$; требуется доказать, что

$$OD = OC = OB - OA.$$

Для доказательства соединяемъ пересѣченіе этой хорды и всѣхъ окружностей съ концами ихъ діаметровъ противоположными O. Полученные при A, B, C, D углы суть прямые, какъ опирающіеся на діаметры и вершинами лежащіе на окружностяхъ; потому AB есть проэкція на DB линіи B'A', OC и OD суть проэкціи на DB діаметровъ OC' и OD', а какъ діаметры эти равны и параллельны A'B', то ихъ проэкціи на DB равны проэкціи A'B' на ту же прямую DB, слѣдовательно:

$$OC = OD = AB = OB - OA.$$

Что и требовалось доказать.—

Замѣтимъ при этомъ, что OC' идетъ по направленію, параллельному прямой, идущей отъ конца A' діаметра окружности, которой принадлежитъ вычитаемая хорда, къ концу діаметра B' окружности, которой принадлежитъ уменьшаемая хорда, и что хорда OC, равная разности хордъ данныхъ круговъ, идетъ по тому же направленію, какъ и обѣ данныя хорды; напротивъ того OD' идетъ по направленію параллельному прямой, идущей отъ конца діаметра B' окружности, которой принадлежитъ хорда уменьшаемая, къ концу діаметра A' окружности, которой принадлежитъ вычитаемая хорда, и равная разности

этихъ хордъ хорда OD идетъ по направленію, противоположному взятымъ хордамъ данныхъ окружностей. Изъ этаго замѣчанія слѣдуетъ дополненіе нашей теоремы, состоящее въ томъ, что если мы условимся откладывать діаметръ вспомогательнаго круга по направленію, параллельному прямой, идущей отъ конца діаметра окружности, заключающей вычитаемую хорду, къ концу діаметра окружности, заключающей уменьшаемую хорду, то идущая по одинаковому съ данными хордами направленію хорда вспомогательнаго круга изобразитъ по величинѣ искомую разность данныхъ хордъ, а направленіемъ своимъ опредѣлитъ знакъ искомой разности, именно знакъ этотъ положительный, если хорда вспомогательнаго круга идетъ по тому же направленію, какъ и хорды данныя, и отрицательный, если хорда вспомогательнаго круга идетъ по направленію, противоположному хордамъ данныхъ круговъ. Въ этомъ, впрочемъ, легко убѣдиться и не прибѣгая къ построенію круга на OD', а построивши только кругъ на OC' и проведши черезъ оба данные круга секущую OB'' такую, что вычитаемая хорда OA'' больше уменьшаемой хорды OB''.

9. Основываясь на только что доказан-

ной теоремѣ легко построить чертежъ, изображающій ходъ измѣненій въ открытіи пропускного каналa. Величина этаго открытія, какъ уже прежде было найдено, составляетъ:

$$L - l - x - (\xi - \xi').$$

Для построенія $(\xi - \xi')$, отвѣчающаго произвольному положенію кривошипа, нужно на основаніи только что доказаннаго поступить слѣдующимъ образомъ: проводимъ линію мертвыхъ точекъ AX (фиг. 19.) и къ ней перпендикуляръ OY. Отъ этаго перпендикуляра откладываемъ въ сторону, противоположную направленію вращенія вала, углы YOZ и YOU, равные угламъ β и β' опереженія эксцентриковъ, приводящихъ въ движеніе нижній и верхній золотники и откладываемъ длины OZ и OU, соотвѣтственно равные эксцентриситетамъ обоихъ эксцентриковъ; соединяемъ концы этихъ эксцентриситетовъ прямою линіею ZU; затѣмъ черезъ центръ O чертежа проводимъ прямую OK', равную и параллельную ZU и на ней, какъ на діаметрѣ описываемъ окружность. Хорды этой окружности, идущія по направленіямъ кривошипа изображаютъ собою соотвѣтствующія этимъ направленіямъ

величины ($\xi - \xi'$), которыя будутъ положительными, если хорды идутъ по направленію кривошипа, и отрицательными, если эти хорды идутъ по направленію, противоположному кривошипу. Поэтому, напримѣръ, при направленіи кривошипа OB величина $\xi - \xi'$ будетъ отрицательная, но величина равная Od', а при направленіи OD кривошипа, величина $\xi - \xi'$ будетъ положительная и величина ея равна Oc'''. Построивъ такимъ образомъ окружность, для изображенія измѣненій въ величинѣ $\xi - \xi'$, легко уже перейти къ чертежу, изображающему измѣненія въ открытіи пропускнаго канала. Для этаго стоитъ только изъ центра O радіусомъ равнымъ L-l-x описать окружность. Тогда, чтобы получить величину открытія пропускнаго канала при какомъ угодно положеніи кривошипа, нужно поступать такимъ образомъ: проведемъ черезъ O разсматриваемое направленіе кривошипа и замѣтимъ точку его пересѣченія съ окружностью, имѣющею радіусъ L-l-x, и отмѣтимъ отъ O точку пересѣченія того же направленія съ окружностью, изображающею ходъ измѣненія $\xi - \xi'$; разстояніе этихъ точекъ пе-

реонгенія и представитъ соотвѣтствующую разсматриваемому положенію кривошипа величину открытія пропускнаго канала, которая будетъ положительная, если $\xi - \xi' < L - l - x$, и отрицательная, если $\xi - \xi' > L - l - x$; отрицательная величина открытія покажетъ только, что каналъ закрытъ. Съ помощью этихъ замѣчаній легко разобрать ходъ измѣненій въ открытіи пропускнаго канала; пусть окружность $cc'c''c''$ описана радіусомъ $L - l - x$; на основаніи предыдущаго, получимъ величину пропускнаго окна:

При мертвой точкѣ A . . . . . cd
При направленіи кривошипа OB . . . $c'd'$
При направленіи OC . . . . . $c''d''$
" " OD . . . . . 0.
Отъ OD до OG . . . . . 0.

При направленіи кривошипа OG пропускное окно снова отъ нѣкоторыхъ и остается открытымъ въ теченіе всей остальной части оборота кривошипа. Слѣдовательно въ данномъ случаѣ существіемъ второго золотника впускъ пара въ цилиндръ закрытъ въ то время, какъ кривошипъ вращается отъ OD до OG. Поэтому, если впускной въ цилиндръ каналъ не закрытый тихоходнымъ золотникомъ прежде чѣмъ кривошипъ займетъ положеніе OG, то паръ снова начнетъ

входить въ цилиндръ при этомъ положеніи кривошипа, что уничтожитъ всѣ выгоды, доставляемыя расширеніемъ пара. Поэтому необходимо сообразить нижній золотникъ такъ, чтобы въ моментъ вторичнаго открытія верхнимъ золотникомъ пропускнаго канала нижняго золотника, сей послѣдній закрывалъ собою впускной каналъ въ цилиндръ. Чтобы опредѣлить на какой части окружности, описываемой кривошипомъ, впускъ пара закрытъ дѣйствіемъ нижняго золотника, описываемъ кругъ OBB'B'', изображающій движеніе нижняго золотника и кругъ aa'a'a'', имѣющій радіусъ, равный наружной перекрышѣ. Пересѣченія этихъ окружностей дадутъ направленія OP и ON кривошипа, при которомъ впускъ закрывается и открывается. Такимъ образомъ впускъ пара въ правую часть цилиндра не закрытъ нижнимъ золотникомъ, когда кривошипъ описываетъ дугу NABCDP и закрытъ, когда онъ описываетъ остальную часть окружности. Поэтому въ нашемъ случаѣ вторичнаго впуска въ правую часть цилиндра не произойдетъ. Онъ можетъ быть, какъ тотчасъ увидимъ, при другомъ значеніи величины β и мы укажемъ на средства избѣгнуть этого недостатка; но

предварительно мы должны заняться разборомъ того, какое вліяніе оказываетъ на расширеніе разстояніе x между пластинками верхняго золотника Менера.

10. Если мы уменьшимъ разстояніе x между пластинками, то радіусъ L-l-x круга $cc'c''c'''$... увеличится на столько же, на сколько уменьшится величина x; если, напримѣръ, мы радіусъ этого круга сдѣлаемъ равнымъ Oc_1, то слѣдствіемъ этого будетъ то, что длина дуги, на которой паръ впускается, увеличится и паръ будетъ входить въ то время, какъ кривошипъ описываетъ дугу $N_1B_1C_1$. Если, напротивъ, увеличимъ разстояніе x между пластинками верхняго золотника, то радіусъ L-l-x круга $cc'c''$ уменьшится на столько же, на сколько увеличилось разстояніе x, вслѣдствіе этого длина дуги, описываемой кривошипомъ въ то время, какъ впускается паръ, уменьшится (расширеніе увеличится). Если, напримѣръ, увеличеніе разстоянія x будетъ равно Cc_2, то впускъ пара окончится, когда кривошипъ имѣетъ направленіе OD_2, такъ что впускъ пара будетъ продолжаться только то время, въ теченіе котораго кривошипъ описываетъ дугу $N_1B_1C_1$, а впуска нѣтъ когда кривошипъ опи-

сываетъ остальную часть окружности.
Если бы мы имѣли въ виду опредѣлить величину пропускнаго окна для различныхъ положеній кривошипа, то принимая въ соображеніе, что какъ бы ни было велико открытіе окна, оно въ какомъ случаѣ болѣе ширины самаго окна быть не можетъ, — мы могли бы поступить для нахожденія величины пропускнаго окна слѣдующимъ образомъ: взявъ $Oc = L - l - x$ отложимъ отъ точки c по направленію радіуса OC длину ce, равную ширинѣ окна; радіусомъ oe опишемъ окружность, и заштрихуемъ всю площадь, лежащую между окружностями $ccc'c'''$ и $ee'e''$... и притомъ находящуюся внѣ окружности $dd'd''d'''$... Тогда та часть направленія кривошипа, которая падаетъ на заштрихованную площадь, представляетъ соотвѣтствующую этому положенію кривошипа величину пропускнаго канала. Изъ предыдущаго видно, что, если, повертывая винтъ, станемъ раздвигать верхнія пластинки Мейеровскаго золотника, то разстояніе x будетъ увеличиваться и степень расширенія возрастать; если же на оборотъ, повертывая винтъ въ обратную сторону, станемъ сдвигать

Лит. А. Кремеръ Пет. ст. 5 Гребецкая пр. 20

листника В, то расширеніе будетъ уменьшаться. Интересно знать, до какой степени можно увеличивать, или уменьшать степень расширенія пара. Относительно уменьшенія расширенія (или увеличенія части размаха, на которой впускается паръ) должно замѣтить, что оно имѣетъ свой предѣлъ, вслѣдствіе того, что нижній золотникъ, устроенный съ перекрытіемъ и перекрышами, производитъ расширеніе независимо отъ верхняго золотника. Очевидно, слѣдовательно, что Мейеровскимъ золотникомъ нельзя произвести расширенія меньше того, которое производится нижнимъ золотникомъ. Но всегда ли можно сдѣлать какое угодно малое расширеніе, наблюдая только, чтобы оно было не меньше только что приведеннаго предѣла? Чтобы это было возможно, необходимо и достаточно, чтобы послѣ совершившейся въ ней есть отсѣчки пара черезъ закрытіе пропускнаго канала верхнимъ золотникомъ, открытіе того же канала совершилось непремѣнно ужe послѣ того, какъ паровое окно цилиндра закрылось нижнимъ золотникомъ. Не трудно видѣть, что при устройствѣ, къ которому относится чертежъ 19, это условіе выполнено вслѣдствіе того, что

направленіе OK' діаметра вспомогательнаго круга лежитъ впереди (по направленію вращенія) того положенія OP кривошипа, при которомъ производится отпѣчка пара нижнимъ золотникомъ. Вслѣдствіе этаго, въ какой бы точкѣ ни послѣдовало начало расширенія дѣйствіемъ верхняго золотника, т. е. при какомъ бы положеніи кривошипа, лежащемъ ранѣе OP, ни послѣдовало закрытіе пропускнаго канала верхнимъ золотникомъ, опоздалое открытіе этаго канала послѣдуетъ при направленіи, которое принимаетъ кривошипъ послѣ положенія OP (такъ какъ два пересѣченія всякаго круга, описаннаго изъ центра съ окружностью dd'd''... лежатъ по разныя стороны діаметра OK' сей послѣдній, и потому всякая окружность, описанная изъ центра и пересѣкающая кругъ dd'd''... ранѣе OP пересѣчетъ во второй разъ эту окружность позже OK', а слѣдовательно также позже, чѣмъ OP). Другое дѣло было бы, если бы начало отпѣчки производилось нижнимъ золотникомъ, наступало послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ направленіе OK' (рис. 20). Въ этомъ случаѣ открытіе пропуск-

наго канала, закрывшагося при направленіи OS' послѣдуетъ при OP' прежде чѣмъ впускъ пара будетъ закрытъ нижнимъ золотникомъ: въ этомъ случаѣ послѣднее положеніе кривошипа, при которомъ можетъ еще закрываться пропускной каналъ, будетъ OS, лежащее впереди OP на двойной уголъ сего послѣдняго съ діаметромъ OK'. Чтобы избѣгнуть этого неудобства, т. е. чтобы предѣломъ для уменьшенія расширенія пара служило расширеніе, производимое нижнимъ золотникомъ, необходимо согласно выше объясненному, чтобы вторичное открытіе пропускнаго канала происходило всегда послѣ того, какъ впускное окно закрыто нижнимъ золотникомъ. Очевидно, если соображать элементы всего прибора такимъ образомъ, чтобы діаметръ вспомогательной окружности совпадалъ съ тѣмъ направленіемъ кривошипа, при которомъ нижній золотникъ закрываетъ впускное окно, то предѣломъ уменьшенія расширенія будетъ то, которое производится нижнимъ золотникомъ. Такимъ образомъ всегда и должно устраивать золотникъ Мейера и въ дальнѣйшемъ изслѣдованіи мы всегда и будемъ предполагать та-

хое устройство.

11. Чтобы разобрать, существуетъ ли предѣлъ и увеличенію расширенія въ золотникѣ Мейера, замѣтимъ, что увеличеніе расширенія производимое черезъ увеличеніе x и соотвѣтственное уменьшеніе $L-l-x$. Наибольшее значеніе этой величины будетъ, очевидно, при $x=0$, и какъ нѣтъ никакой нужды, чтобы это наибольшее значеніе было больше, чѣмъ діаметръ OB (рис. 21) вспомогательнаго круга *), то мы мо-

---

*) Дѣйствительно если сдѣлаемъ $L-l$ равнымъ діаметру OB вспомогательнаго круга, то при $x=0$ пластинка закроетъ сверху каналъ нижняго золотника въ то же время какъ каналъ цилиндра задвинется нижнимъ золотникомъ; если $L-l<OB$, то и при $x=0$ пластинка верхняго золотника закроетъ каналъ нижняго прежде, чѣмъ нижній золотникъ задвинетъ каналъ цилиндра т. е. мы не будемъ въ состояніи пускать паръ въ цилиндръ на всей этой части радіуса, которая допускается нижнимъ золотникомъ. Если же $L-l>OB$, то изъ этаго не произойдетъ потерь, такъ какъ всегда пускать паръ въ цилиндръ невыго-

жемъ выбрать L и l такъ, чтобы $L-l$ равное OA было въ тоже время равно OB. Тогда при $x=0$ расширеніе будетъ начинаться въ то время, когда впускное окно закроется нижнимъ золотникомъ. Если затѣмъ станемъ увеличивать x, полагая его послѣдовательно равнымъ AC'', AD'', AE'', AF'', AG, то расширеніе будетъ увеличиваться, начинаясь соотвѣтственно при положеніяхъ кривошипа: OC, OD, OE, OF, OG. Если затѣмъ сдѣлаемъ x больше OA или $x > L-l$, то величина $L-l-x$ сдѣлается отрицательною. Но для всѣхъ положеній кривошипа между A и G разность $\xi-\xi'$ есть также величина отрицательная, такъ какъ OH', OJ', изображающія численныя значенія разстоянія $\xi-\xi'$ при направленіяхъ OH и OJ' кривошипа прямо противоположны этимъ направленіямъ; поэтому если, напр. $x=AH''$, то $L-l-x=-OH''$, и какъ при положеніи OH кривошипа $\xi-\xi'=-OH'$, то при этомъ положеніи кривошипа:

$$L-l-x-(\xi-\xi')=OH'-OH''=0,$$

то есть, пропускной канаѣ закроется

будетъ на длину размаха большей того, что допускается нижнимъ золотникомъ.

ся при положеніи OH кривошипа, которое найдемъ, описавши радіусомъ OH'' окружность до пересѣченія съ вспомогательнымъ кругомъ и полученную точку пересѣченія соединивъ съ O. Точно такъ же найдемъ, что при $x = AJ''$, расширеніе начнется при направленіи кривошипа OJ, наконецъ при $x = AA'$, расширеніе начнется въ ту пору, какъ кривошипъ находится въ мертвой точкѣ. Отсюда видно, что предѣла увеличенію расширенія нѣтъ, только при устройствѣ золотника нужно заботиться, чтобы можно было раздвинуть пластинки на разстояніе AA', не открывая пропускнаго канала около внутренняго его ребра, т. е. соображивши всѣ элементы распредѣлительнаго прибора такъ, чтобы при наибольшемъ разстояніи пластинокъ верхняго золотника и наибольшемъ его надвиганіи на правую сторону нижняго золотника, не могло выйти положенія, изображеннаго на фиг. 22. Мы уже выше видѣли, что для этаго должно быть исполнено неравенство:

$$L - d - x - (\xi - \xi') > 0.$$

Это неравенство мы и будемъ имѣть въ виду при опредѣленіи размѣровъ золотни-

ка, здѣсь же замѣтимъ, что, на основаніи предъидущаго, въ Мейеровскомъ золотникѣ увеличивать расширеніе пара можно безпредѣльно, но уменьшать расширеніе болѣе того, какъ это позволяетъ нижній золотникъ, нельзя; во всякомъ случаѣ, расширеніе, доставляемое Мейеровскимъ золотникомъ, можетъ измѣняться въ весьма обширныхъ предѣлахъ.

12. Перейдемъ теперь къ нахожденію размѣровъ Мейеровскаго прибора. Сначала слѣдуетъ выбрать надлежащее опереженіе со стороны впуска пара, потомъ наименьшую степень расширенія, которую хотимъ получить, и наконецъ положеніе поршня, которому соотвѣтствуетъ начало сжатія пара въ нерабочей части цилиндра. Имѣя эти три данныя можемъ опредѣлить всѣ размѣры нижняго Мейеровскаго золотника и эксцентрика, приводящаго его въ движеніе; когда же эти размѣры опредѣлены, то остается найти элементы верхняго золотника и его эксцентрика; для этаго можно поступить слѣдующимъ образомъ: чертимъ кругъ, изображающій движеніе нижняго золотника и окружность, радіусъ коей равенъ

наружной перекрышѣ того же нижняго золотника. Черезъ ихъ пересѣченіе С. (фиг 23.) пройдетъ то направленіе ОВ кривошипа, при которомъ начинается расширеніе дѣйствіемъ нижняго золотника. На это направленіе ОВ, какъ уже знаемъ, должен упасть діаметръ вспомогательнаго круга. Но какъ этотъ діаметръ параллеленъ прямой, идущей черезъ концы діаметровъ круговъ діаграммы, относящихся отдѣльно къ нижнему и верхнему золотникамъ, то, проводя черезъ конецъ А діаметра ОА круга нижняго золотника прямую АХ, параллельную ОВ, найдемъ, что конецъ діаметра круга, относящагося къ движенію верхняго золотника, лежитъ на прямой АХ; длину этаго діаметра (равнаго эксцентриситету эксцентрика верхняго золотника) можемъ выбрать по произволу; онъ только не можетъ быть меньше перпендикуляра ОД, опущеннаго изъ точки О на прямую АХ. Если эксцентриситетъ второго эксцентрика будетъ послѣдовательно принимать значенія: ОЕ, ОF, ОG, ОХ, то діаметръ вспомогательнаго круга будетъ послѣдовательно

принимать величины: AE, AF, AG, AH, такъ что съ увеличеніемъ эксцентриситета второго эксцентрика возрастаетъ и діаметръ вспомогательнаго круга; это обстоятельство полезно потому, что чѣмъ больше кругъ этотъ, тѣмъ быстрѣе отворяются и закрываются пропускные каналы и очень потому, что влечетъ за собою увеличеніе эксцентриситета второго эксцентрика, но очевидно нѣтъ причины стремиться, чтобы окна пропускныхъ каналовъ закрывались и открывались быстрѣе, чѣмъ окна впускныхъ каналовъ, и поэтому всего рациональнѣе рѣшиться на равную скорость открытія и закрытія оконъ пропускнаго и впускнаго каналовъ, чтобы достигнуть этой одинаковой скорости, мы должны будемъ діаметръ вспомогательнаго круга сдѣлать равнымъ эксцентриситету перваго эксцентрика. Въ такомъ случаѣ величина эксцентриситета второго эксцентрика опредѣлится очень легко черезъ отложеніе на прямой AX части AH, равной OA и черезъ соединеніе O съ H. Эксцентриситетъ второго эксцентрика будетъ OH, а его уголъ отклоненія равенъ HOY. Нерѣдко, впрочемъ, для простоты устройства ремлаютъ

эксцентриситетъ второго эксцентрика равнымъ эксцентриситету первого, противъ этаго нельзя сдѣлать никакого особенно серьезнаго возраженія, но, согласно предъидущему, выбравъ для второго эксцентрика длину, равную OA, одинаковую съ эксцентриситетомъ первого эксцентрика, слѣдуетъ описать радіусомъ OA окружность до пересѣченія съ AX въ A' и принять угломъ опереженія второго эксцентрика равнымъ A'OY съ цѣлью направить діаметръ вспомогательнаго круга по OB. этого часто не дѣлаютъ, а располагаютъ эксцентриситетъ второго эксцентрика прямо противъ кривошипа, принимая его уголъ опереженія равнымъ 90°, и черезъ такое устройство золотника Мейера теряетъ часть своихъ достоинствъ, именно возможность уменьшать расширеніе до той степени, которая производится нижнимъ золотникомъ.

Опредѣливши такимъ или другимъ образомъ эксцентриситетъ и уголъ опереженія второго эксцентрика, нужно найти элементы самаго золотника, т. е. величины d и b и наибольшее значеніе x (кое-наименьшее зна-

ченіе есть, очевидно, нуль). Мы получили уже одно уравненіе для опредѣленія этихъ величинъ изъ того условія, что при совершенномъ сдвиганіи пластинокъ, расширеніе начинается съ той точки, гдѣ уже оно производится нижнимъ золотникомъ; для этаго L-l должно равняться діаметру вспомогательнаго круга, который опредѣленъ предъидущими построеніями; называя его черезъ D, получимъ первое условіе для опредѣленія L и l въ такомъ видѣ:

$$L-l=D.$$

Далѣе L и l должны еще удовлетворять тому условію, чтобы, ни при какомъ положеніи прибора пропускной каналъ не могъ имѣть открытія около внутренняго ребра, подобно тому, какъ это изображено на фиг. 22, и для этаго, согласно вышенайденному, необходимо чтобы,

$$\xi-\xi'+x<L-d.$$

Это условіе должно быть выполнено при наибольшемъ значеніи $\xi-\xi'$ и x; но наибольшее значеніе $\xi-\xi'$ равно діаметру D вспомогательнаго круга, а величина x достигнетъ наибольшаго своего значенія X_0 при наибольшемъ расширеніи, которое желаетъ допустить.

Эта наибольшая величина легко опредѣляется чертежемъ, слѣдующимъ образомъ (фиг. 24): описываемъ кругъ ABDЄ радіусомъ, равнымъ $L-l$ и чертимъ вспомогательный кругъ OEЄ, радіусомъ $\frac{L-l}{2}$; проводимъ направленіе OB кривошипа, отвѣчающее началу наибольшаго расширенія, которое желаемъ имѣть и продолжаемъ до пересѣченія его въ точкѣ E съ вспомогательнымъ кругомъ; радіусомъ EO описываемъ дугу до пересѣченія съ линіею мертвыхъ точекъ. Тогда линія $AC = BE$ и будетъ $= x_0$. Вставляя эту величину въ предъидущее неравенство, а также замѣняя $\xi - \xi'$ его наибольшимъ значеніемъ D получимъ условіе:

$$D + x_0 < L - d,$$

или такъ какъ $D = L - l$

то $$L - l + x_0 < L - d,$$

или $$l > x_0 + d,$$

а какъ величину l желательно сдѣлать по возможности малою, чтобы уменьшить давленіе и пропорціональное ему треніе верхняго золотника, то и слѣдуетъ взять

$$l = x_0 + d + 2 \text{ м.м.}$$

Тогда $$L = L - l + l = D + x_0 + d + 2 \text{ м.м.}$$

гдѣ 2 м.м. прибавлено на запасъ прикры-

тіе пропускнаго клапана съ внутренней стороны. Такимъ образомъ весьма легко опредѣлится всѣ элементы распредѣлительнаго прибора Мейера.

13. Кромѣ разобраннаго въ предыдущемъ подробно золотника Мейера для расширенія пара часто употребляется золотникъ Фарко. (фиг. 25). Золотникъ этотъ состоитъ изъ такой же коробки, какъ и золотникъ Мейера, съ двумя каналами, каждый изъ которыхъ въ верхней части раздѣленъ перегородкою надвое, затѣмъ изъ двухъ пластинокъ к, к, съ отверстіями δ и рожками l, l; пластинки эти могутъ двигаться по золотнику АА. Затѣмъ въ паровой коробкѣ находятся два небольшіе выступа в, в, (по одному съ каждой стороны), въ которые упираются верхніе пластинки к, к, уносимые нижнимъ золотникомъ. Между рожками в, в, находится еще неподвижная пластинка, которой длина можетъ измѣняться. Предположимъ, что оба золотника находятся въ среднемъ своемъ положеніи, что пластинки занимаютъ изображенныя на чертежѣ мѣста, и допустимъ, сначала, что внутреннее

разстоянія между рожками b, b и концами внутренней пластинки, равно какъ разстоянія концовъ пластинокъ к до выступовъ в, равны эксцентриситету эксцентрика, приводящаго въ движеніе нижній золотникъ. При этомъ, когда нижній золотникъ начнетъ двигаться въ какую нибудь сторону, то пластинка к дойдетъ только до выступа в (въ самомъ концѣ размаха золотника) и рожокъ b (также только въ концѣ размаха золотника) прикоснется къ пластинкѣ а, но не ударится объ нее, и слѣдовательно приборъ въ такомъ видѣ производитъ распредѣленіе пара точно такъ, какъ оно производилось бы однимъ нижнимъ золотникомъ. Но если сдѣлаемъ пластинку а нѣсколько длиннѣе напр. придадимъ ей длину а', такъ что, при изображенномъ на чертежѣ расположеніи прибора, рожки b, b будутъ отстоять отъ концовъ пластинки на длину x-x, то когда нижній золотникъ будетъ двигаться изъ своего средняго положенія, напр., вправо, рожокъ b лѣвой накладки ударится о пластинку а', когда нижній золотникъ

пройдетъ путь $r-x$; при этомъ остановится лѣвая накладка k, и золотникъ AA будетъ продолжать двигаться, слѣдовательно каналы $б, б$ лѣвой стороны золотника будутъ закрываться (сверху) накладкою k, конецъ которой, при концѣ разлада золотника, сдвинется съ него болѣе чѣмъ прежде, такъ что величина свѣса изъ l обратится въ $l+x$. Затѣмъ нижній золотникъ начнетъ возвращаться къ своему среднему положенію, при чемъ накладка будетъ двигаться вмѣстѣ съ нимъ. Когда золотникъ будетъ въ среднемъ положеніи, разстояніе края накладки отъ выступа будетъ:

$$r+l-(l+x)=r-x.$$

Но такъ какъ $r-x<r$, то, при дальнѣйшемъ движеніи золотника влѣво, наступитъ такое положеніе, что край накладки k упрется въ выступъ $в$; это случится какъ только путь, пройденный нижнимъ золотникомъ влѣво, сдѣлается равенъ $r-x$. При дальнѣйшемъ движеніи ~~x~~ нижняго золотника влѣво, накладка, упираясь въ выступъ $в$, начнетъ на золотникъ надвигаться,

и когда онъ достигнетъ крайняго лѣваго положенія, она надвинется на величину x, такъ что снова край накладки будетъ свѣшиваться на величину b, то есть придетъ относительно золотника въ прежнее положеніе, открывъ собою сверху лѣвые каналы этаго золотника; не трудно видѣть, что буквально тоже самое происходитъ и съ правою накладкою. Обѣ накладки, двигаясь по золотнику, вслѣдствіе упора въ пластинку a', закрываютъ впускные каналы тогда, когда они нижнимъ золотникомъ еще не закрыты, и въ слѣдствіе упора въ выступы b, приводятся въ свое первоначальное положеніе. Дѣйствіе описаннаго механизма очень просто, такъ какъ требуется приводить въ движеніе съ помощью эксцентрика лишь одинъ только золотникъ AA, а перемѣщеніе накладокъ k по золотнику производится упорами ik въ выступы b пластинки a. Но при этомъ, чтобы имѣть возможность измѣнять степень расширенія пара, слѣдуетъ пластинку a сдѣлать перемѣнной длины, и это достигается слѣдующимъ образомъ: пласти-

Изд. Ф. Крамеръ

ка и уголчатая нескрытая (фиг. 26.) и надѣвается на вертикальную ось, проходящую черезъ сальникъ, устроенный въ крышкѣ распредѣлительной коробки. Вращая ось, мы ставимъ пластинку въ то или другое положеніе, и вслѣдствіе этаго получаемъ ту или другую степень расширенія пара. Съ перваго взгляда на это приспособленіе кажется, что какъ будто увеличеніе и уменьшеніе въ немъ степени расширенія произвольно; на самомъ дѣлѣ: положимъ, что наименьшій діаметръ пластинки сдѣланъ равнымъ полному разстоянію между выступами в, уменьшенному на сумму двѣнадцати насадокъ и на учетверенный эксцентриситетъ эксцентрика, движущаго нижній золотникъ, а большой сдѣланъ равнымъ наименьшему увеличенному на удвоенный эксцентриситетъ эксцентрика. Тогда, если на направленіи рожковъ поставимъ большой діаметръ пластинки, то лишь только золотникъ начнетъ двигаться изъ своего средняго положенія вправо, лѣвая насадка сдѣлается уже неподвижною, а слѣдовательно если пропускной каналъ нижняго золотника раздѣлить нѣсколькими перегородками на части, изъ которыхъ ширина каждой рав-

на величину наружной перекрыши нижняго золотника, то всѣ эти отверстія будутъ задвинуты верхнею накладкою въ тотъ моментъ, какъ откроется нижнимъ золотникомъ проходъ пара въ цилиндръ. Слѣдовательно расширеніе начнется прямо съ мертвой точки поршня.

Если же по направленію линіи рожковъ поставимъ малый діаметръ пластинки, то согласно вышеобъясненному, паръ будетъ впускаться подъ вліяніемъ только нижняго золотника все время длины хода поршня. Но изъ этаго еще не слѣдуетъ, чтобы можно было начинать расширеніе на какой угодно части хода поршня, такъ какъ для возможности начала расширенія, при данномъ положеніи поршня не достаточно только задвинуть впускное отверстіе при этомъ положеніи поршня, для того необходимо еще чтобы впускное отверстіе оставалось открытымъ все то время, которое поршень употребляетъ для движенія отъ мертвой точки до разсматриваемаго положенія. Условіе это въ механизмѣ Фарко выполнено не для всѣхъ положеній поршня.

На самомъ дѣлѣ: отложимъ кругъ, хорды котораго представляютъ пути, пройденные золотникомъ изъ средняго его положенія, и проведемъ его діаметръ OB (фиг. 27); если по обѣ стороны этаго діаметра проведемъ прямыя OC и OC' подъ равными къ OB углами, то эти прямыя будутъ равны, т.е. положенія занимаемыя нижнимъ золотникомъ, при углахъ кривошипа AOC и AOC', будутъ одинаковы, а слѣдовательно, если мы установимъ наружную пластинку а такъ, чтобы роликъ упирался въ нее при углѣ AOC', то онъ упрется въ нее еще и при углѣ AOC, такъ какъ при направленіи кривошипа OC положеніе нижняго золотника, а слѣдовательно и увлекаемой имъ пластинки тоже, что и при OC'; поэтому задвиганіе пропускнаго канала нижняго золотника, вмѣсто того, чтобы начаться при OC', начнется при OC, и расширеніе начнется (т.е. пропускной каналъ будетъ совсѣмъ задвинутъ) при направленіи кривошипа OD, которое получимъ, проведши хорду OD, равную OC + ширина пропускнаго канала. Эта хорда OD

будетъ непременно лежать между OA и OB, такъ что OB представляетъ собою предѣльное положеніе кривошипа, при которомъ еще можетъ начинаться расширеніе. Поэтому при употребленіи золотника Фарко можно начинать расширеніе при произвольномъ положеніи кривошипа между OA и OB, но между OB и OE начинать это расширеніе нельзя (OE здѣсь представляетъ то направленіе кривошипа, при коемъ начинается расширеніе, производимое существіемъ одного низшаго золотника), и слѣдовательно полезность расширенія золотника Фарко будетъ прерываться при положеніи OB кривошипа; очевидно она будетъ наибольшая, когда OB будетъ составлять наибольшій уголъ съ OA, а это случится тогда, когда будетъ совершенно уничтоженъ уголъ опереженія золотника, т. е. когда эксцентриситетъ эксцентрика будетъ поставленъ перпендикулярно къ направленію кривошипа. Въ этомъ случаѣ, при безконечной длинѣ шатуна поршня, можно будетъ удлинять длину хода поршня, на который впускается паръ, отъ 0 до половины его размаха, а впуска пара на длинѣ хода поршня, большей чѣмъ половина размаха и меньшей

той части хода, на которой производится расширеніе нижнимъ золотникомъ, помощью прибора Фарко — положительно произвести нельзя, тогда какъ приборъ Мейера, какъ видѣли выше, позволяетъ измѣнять расширеніе произвольнымъ образомъ.

14. Разсматривая оба предыдущія распредѣленія для расширенія пара легко замѣтить одинъ общій имъ обоимъ недостатокъ, заключающійся въ большой медленности движенія, закрывающаго впускныя окна въ моментъ начала расширенія. Недостатокъ этотъ имѣетъ существенную важность, такъ какъ въ теченіе долгаго времени, продолжающаго на то, чтобы впускное отверстіе изъ маленькой величины, которую оно имѣетъ, обратилось въ нуль, паръ изъ распредѣлительной коробки проходитъ въ цилиндръ, но какъ при этомъ встрѣчается значительное сопротивленіе, то паръ понижаетъ свое давленіе внутри цилиндра, и отъ того происходитъ ударъ, т. е. необратимое явленіе, уменьшающее достоинство машины. Въ цѣляхъ избѣгнуть этаго недостатка американецъ Корлисъ —

устроить особый механизмъ для распредѣленія пара, въ которомъ открытіе впускныхъ оконъ производится дѣйствіемъ эксцентрика, закрытіе же ихъ производится посторонней силою, — именно посредствомъ противовѣса, который поднимается во время открытія крана или пружиною, которая сжимается въ тоже время, эта посторонняя сила развивается очень быстро, далее съ нѣкоторымъ ударомъ закрываетъ впускной золотникъ; дабы устроить на этомъ началѣ распредѣленіе пара Корлисъ построилъ свой механизмъ такъ, что движеніе золотника, служащее для открытія впускнаго отверстія, находится въ зависимости отъ эксцентрика; въ тотъ же моментъ, когда должно начаться расширеніе, впускной золотникъ расцѣпляется съ эксцентрикомъ, и можетъ получить независимое отъ него движеніе: тутъ то и начинаетъ дѣйствовать противовѣсъ или сжатая предварительно пружина, которыя въ теченіе совершенно незамѣтнаго времени закрываютъ золотникъ.- Но какъ связь впускныхъ золотниковъ съ пружиною-

крайне затруднило бы употребленіе ихъ въ качествѣ выпускныхъ кранов, то Корлисъ употребилъ для своего распредѣленія четыре крана, изъ которыхъ два служатъ для впуска пара, и устроены на вышеобъясненномъ началѣ, а два служатъ для выпуска пара и находятся въ постоянной связи съ эксцентрикомъ.- Это раздѣленіе впускныхъ и выпускныхъ кранов доставило Корлису возможность достигнуть еще другаго важнаго результата: онъ расположилъ впускные краны на верхней и выпускные на нижней производящей цилиндра возлѣ самыхъ крышекъ его, черезъ что значительно уменьшились вредныя пространства, и въ тоже время вода, образующаяся въ цилиндрѣ отъ сгущенія пара, получила возможность свободнаго выхода.- Наконецъ Корлисъ привелъ механизмъ расцѣпляющій эксцентрикъ съ впускными клапанами въ связь съ регуляторомъ, такъ что при высокомъ стояніи регулятора, т. е. при большой скорости машины расцѣпленіе впускнаго крана съ ~~регулятор~~ эксцентрикомъ ~~ромъ~~ происходитъ раньше, (и слѣдовательно расширеніе бываетъ бо

ше), а при меньшей скорости машины, т.е. при низкомъ стояніи регулятора это расширеніе происходитъ позднѣе, т.е. расширеніе получается меньше. Оригинальное распредѣленіе Корлисса въ томъ видѣ, какъ оно было на Лондонской выставкѣ 1862 года въ сущности имѣло слѣдующее устройство: (фиг. 28, 29, 30.) эксцентрикъ, совершенно обыкновенный, сидитъ на главномъ валѣ машины и приводитъ въ движеніе дискъ посредствомъ цапфы b, разстояніе которой отъ центра опредѣлено такъ, что дискъ можетъ вращаться на 90°. къ этому диску укреплены четыре цапфы, на которыя подвѣшены четыре шатуна: два изъ нихъ, направленные къ нижней части цилиндра, вращаютъ выпускные, а два, направленные къ верхней части, вращаютъ впускные клапаны: расположеніе этихъ и другихъ видно въ разрѣзѣ цилиндра фиг. 29; соединеніе выпускныхъ крановъ съ шатунами не имѣетъ ничего особеннаго, впускные же соединены съ шатунами посредствомъ кулаковъ (фиг. 29), въ которые упираются шатуны при-

ленъ къ, укрѣпленнымъ на концахъ шатуновъ; этимъ пружинамъ придана такая форма, что кулакъ придерживается къ шатуну, дѣйствіемъ той же пружины къ: такимъ образомъ давленіемъ выступа пружины на кулакъ производится движеніе открывающее впускное отверстіе крана, обратное же движеніе, запирающее впускное отверстіе, производится противовѣсомъ в, подвѣшеннымъ къ другому плечу впускного рычага. Противовѣсъ сдѣланъ въ видѣ гири, и ходитъ въ особомъ цилиндрѣ, который его направляетъ, причемъ дѣйствіемъ клапана внизу цилиндра при подъемѣ противовѣса воздухъ можетъ входить въ цилиндръ, а при опусканіи выходить не можетъ, и сжимаясь составляетъ упругую подушку, ослабляющую ударъ противовѣса. Если бы шатунъ управляющій движеніемъ впускного крана всегда оставался въ нижнемъ сдѣтленіи, то это распредѣленіе не устраняло бы тою-

недостатка, который состоитъ въ медленномъ закрываніи впускныхъ оконъ при началѣ расширенія, такъ какъ при этомъ хотя клапанъ закрывался бы устройствомъ противовѣса, но это устройство было бы крайне медленное, ибо останавливалось бы давленіемъ выступа шатуна на кулакъ рычага. Чтобы получить быстрое закрываніе, необходимо расцѣпить шатунъ съ кулакомъ, и это дѣлается посредствомъ стержня w расположеннаго въ той же вертикальной плоскости, въ которой вращается шатунъ: когда шатунъ приводимый въ движеніе эксцентрикомъ поднимется до того, что упрется въ стержень w, то давленіемъ его послѣдняго при дальнѣйшемъ движеніи шатуна выступъ его пружины опустится и будетъ снятъ съ кулака: противовѣсъ получитъ полное свое устройство, быстро закроетъ отверстіе, причемъ начнется расширеніе пара; при этомъ кулакъ рычага останется внутри петли, образуемой пружиною x; при обратномъ движеніи шатуна, выступъ пружины будетъ болѣе и болѣе приближать-

ся къ кулаку рычага и захватить его, когда достигнетъ мертвой точки: тогда начнется вновь открывающее кранъ движеніе, сопряженное съ подъемомъ груза.

Изъ этаго описанія видно, что начало расширенія опредѣляется здѣсь моментомъ, въ который упрется стержень w въ шапкуъ сочлененный съ рычагомъ впускнаго крана. Чтобы измѣнить этотъ моментъ надъ стержнемъ помѣщенъ небольшой клинъ (v) къ которому онъ прижатъ согнутою пружиною, имѣющею одинъ конецъ неподвижный, а другимъ концемъ укрѣпленною къ стержню; перестановляя этотъ клинъ можемъ поднимать или опускать стержень и слѣд. увеличивать или уменьшать ту часть размаха, на которой паръ впускается въ цилиндръ.— Оба клина v, v как видно изъ фиг. 28 посажены на горизонтальный стержень u, u, который посредствомъ колѣнчатаго рычага соединенъ съ регуляторомъ такимъ образомъ, что вмѣстѣ съ увеличеніемъ скорости машины стержень ww, опуска-

гося, и съ уменьшеніемъ скорости подымагося.) не надо до 99

15. Быстрота закрытія впускныхъ оконъ и удобства представляемыя идеею Корлиса относительно измѣненія расширенія посредствомъ регулятора такъ значительны, что вслѣдъ за появленіемъ машинъ Корлиса явилось множество различныхъ системъ распредѣленія, основанныхъ на той же идеѣ, въ сущности не отличающихся отъ устройствъ Корлиса, но представляющихъ нѣкоторыя усовершенствованія его идеи. Сюда относится между прочимъ патентъ Инглиза и Спенсера, (рис. 31, 32, 33, 34), которыхъ машина устроена слѣдующимъ образомъ: Въ ней имѣются тѣ же четыре крана, что и въ оригинальной системѣ Корлиса, тотъ же дискъ, приводимый въ движеніе шатуномъ эксцентрика, сидящаго на главномъ валѣ, и тѣ же привѣшенные къ диску четыре шатуна, изъ которыхъ два соединены постоянно съ рычагами выпускныхъ крановъ, а два идущіе къ впускнымъ кранамъ могутъ съ ними расцѣп-

литься. До сих поръ слѣдовательно никакого существеннаго отличія отъ Корлиса здѣсь не имѣется. Отличіе состоитъ въ устройствѣ шатуновъ, сцѣпленныхъ съ впускными кранами, и въ томъ, что вмѣсто противовѣсовъ для закрыванія впускныхъ кранов употреблены пружины, а также въ способѣ измѣненія расширенія посредствомъ регулятора.

Въ патентѣ Инглиса и Спенсера идущій къ впускному клапану шатунъ P (фиг. 32 и 33.) состоитъ изъ двухъ частей $PP'P_2$ и P_3; первая часть съ одной стороны оканчивается головкою P_2 надѣвающеюся на центру диска E, а съ другой параллелепипедомъ P_3; головка и параллелепипедъ соединены между собою винтомъ P', утвержденнымъ въ параллелепипедѣ P_3 и могущимъ болѣе или менѣе вкручиваться въ головку P_2 въ которой онъ закрѣпляется контръ-гайкою. Это устройство служитъ для очень точнаго регулированія длины шатуна во время сборки машины; другая часть шатуна содержитъ головку, надѣвающуюся на центру рычага крана. Эта головка оканчивается двумя пластинками, образующими вилку, въ коемъ привинчивается, обрабо-

тающая снаружи въ видъ параллелепипеда трубка bb; бока этаго параллелепипеда нѣсколько стѣнены, и къ нимъ привинчены пластинки ее изъ закаленной стали; во внутрь трубки b,b накрѣпко вставлена другая трубка, въ которую входитъ стержень a, укрѣпленный въ параллелепипедѣ P_2; къ этому же параллелепипеду привинчены сверху и снизу двѣ пружины r, r, которыя своими крючками dd защѣпляютъ за стальныя пластинки ee и дѣйствуя на нихъ передаютъ головкѣ P_3 движеніе, сообщаемое дискомъ головкѣ P. Между лапками вилки, коими оканчивается головка P_3 утверждена ось малаго рычага c, другое кольцо b котораго сочленено съ шатуномъ T, конецъ коего противоположный сочлененному съ b мы на минуту представимъ себѣ неподвижнымъ. Когда дискъ E вращается, то онъ посредствомъ шатуна P передаетъ снаго-ла вращеніе рычагу L и открываетъ впускъ пара въ цилиндръ, но, двигаясь, шатунъ перемѣщаетъ ось рычага b, и какъ кольцо b этаго рычага соединено съ шатуномъ, имѣющимъ неподвижный конецъ, то голо-

женіе рычага о изменяется и онъ въ скоромъ времени приходитъ въ положеніе, изображенное на фиг. 33, при чемъ раскрываетъ пружины, и головка P_3 освобождается отъ связи съ головкою P. Эта послѣдняя продолжаетъ двигаться увлекаемая дискомъ, головка же P получаетъ полную возможность принять какое угодно движеніе отъ рычага L, этому рычагу и сообщается теперь быстрое движеніе, закрывающее впускной клапанъ посредствомъ слѣдующаго устройства: На одной оси съ рычагомъ L и краномъ сидитъ рычагъ L', коего конецъ соединенъ шатуномъ b со стержнемъ t, на которомъ сидятъ (фиг. 31, 32) два поршня F и F', изъ коихъ первый двигается съ зазоромъ внутри цилиндра M, а второй плотно входитъ въ цилиндръ, отлитый вмѣстѣ съ крышкою цилиндра M. Въ то время, какъ шатунъ P увлекалъ головку P_3, поршень F сжималъ пружину R, а поршень F'- воздухъ; какъ же только головка P_3 освободилась отъ вліянія диска тотчасъ пружина R и сжатый воздухъ сообщаютъ рычагу L вращательное движеніе по направленію про-

тивоположному съ предыдущимъ движеніемъ, кранъ закроется и начнется расширеніе пара; а головка P будетъ продолжать двигаться, не имѣя никакого вліянія на кранъ до тѣхъ поръ, пока пружины снова не упадутъ на пластинки e и снова не начнутъ увлекать головку P_3, при чемъ кранъ опять откроется и пружина R снова сожмется.

Такимъ образомъ можно бы было производить постоянное расширеніе пара. Чтобы его измѣнить - очевидно нужно только измѣнить положеніе того конца шатуна J, который мы предполагали неподвижнымъ. Этотъ конецъ и соединенъ съ однимъ концомъ рычага K, другой конецъ котораго перестанавливается устройствомъ регулятора. Рычагъ K имѣетъ на себѣ небольшой зубчатый секторъ, сцѣпляющійся съ другимъ такимъ же сегментомъ, который производитъ передвиженіе конца шатуна J, идущаго къ другому концу цилиндра, и производящаго тѣмъ то же дѣйствіе, которое производится здѣсь. Краны употребляются здѣсь неполные, т. е. не закрывающіе собою всей окружности

Лит. Ф. Кроллеръ Пом. ст. б. Гребецкая ул. 20.

коробки, въ которой двигаются, для того чтобы ихъ не приходилось часто перемѣнять вслѣдствіе вытиранія и происходящей отъ того неплотности, они соединены съ осью слѣдующимъ образомъ: на ось надѣта призма, боковыми своими гранями плотно прилегающая къ боковымъ граням паза, выдѣланнаго въ кранѣ, и приводящая его въ обращеніе, основаніемъ же своимъ паз, будучи длиннѣе упомянутой призмы къ ней не прилегаетъ, что и дозволяетъ той поверхности крана, которая скользитъ по поверхности коробки, удаляться отъ оси въ случаѣ вытиранія стѣнокъ коробки и самаго крана.

16. Кромѣ механизма Инглиза и Спенсера въ большомъ употребленіи находится еще распредѣленіе Корлисса по его второму патенту, изображенное на фиг. 35, 36 и 37.- Въ этомъ устройствѣ подобно, какъ и въ двухъ предъидущихъ, эксцентрикомъ главнаго вала приводится въ движеніе дискъ (имѣющій здѣсь для уменьшенія вѣса форму треугольника съ округленными углами), къ которому подвѣшены два шатуна идущіе къ выпускнымъ кранамъ и сцѣпляющіеся съ ними постоянно; двѣ другія тяги

идутъ не прямо къ впускнымъ кранамъ, какъ въ предъидущихъ системахъ, а къ двумъ умнымъ рычагамъ, могущимъ вращаться около общей расположенной внизу оси. Вдоль каждаго изъ рычаговъ идетъ пружина, наверху посредствомъ тяги сочленяющаяся со стержнемъ, который приводитъ въ движеніе впускной кранъ; на этомъ стержнѣ имѣется поршень, проходящій черезъ сальникъ и двигающійся внутри цилиндра, представляющаго собою воздушный буферъ. Въ точкѣ сочлененія стержня съ пружиною находится стальная пластинка, за которую можетъ задѣвать лапка, укрѣпленная на самомъ концѣ рычага и представляющая собою промежуточный членъ соединяющій эксцентрикъ главнаго вала съ впускнымъ краномъ. Пока это соединеніе существуетъ, распредѣленіе Корлисса ничѣмъ не отличается отъ обыкновеннаго, но снимая лапку съ пластинки стержня впускнаго клапана, можемъ дѣйствіемъ пружины укрѣпленной къ рычагу закрыть клапанъ, причемъ воздушный буферъ поглотитъ ударъ производимый пру-

ленного.- Расцѣпленіе лапки со стержнемъ производится особою вертикальною пластинкою, находящеюся посредствомъ рычага въ связи съ мудрствующимъ регулятора, такъ что при увеличеніи скорости машины вертикальная пластинка приближается въ лапкѣ, и расширение начинается раньше, а при уменьшеніи скорости вертикальная пластинка удаляется отъ лапки и расширеніе начинается позднѣе.

17. Разсматривая ближе описанную систему распредѣленія, мы замѣчаемъ, что въ мертвыхъ точкахъ кривошипа одинъ изъ выпускныхъ клапановъ непремѣнно долженъ быть открытъ, а другой закрытъ, а какъ оба выпускные клапана вообще сразу открыты быть не могутъ, то изъ этаго легко заключаемъ, что непремѣнно будетъ извѣстный уголъ, описываемый кривошипомъ, въ теченіе котораго оба выпускные клапана будутъ закрыты; при одномъ изъ положеній кривошипа внутри этаго угла очевидно будетъ среднее положеніе всего высекаемаго прибора, т.е. такое,

при которомъ оба выпускныя отверстія будутъ равно перекрыты; это положеніе выпускнаго прибора будетъ соотвѣтствовать также среднему положенію эксцентрика, которое будетъ имѣть мѣсто, когда эксцентриситетъ стоитъ подъ прямымъ угломъ къ линіи мертвыхъ точекъ, - и какъ при немъ паръ очевидно будетъ сжиматься въ одной части цилиндра, напр. правой, и не будетъ еще выходить изъ другой, напр. лѣвой, то изъ этаго слѣдуетъ, что разсматриваемое среднее положеніе эксцентрика будетъ предшествовать мертвой точкѣ кривошипа на сумму угловъ необходимаго для того, чтобы перекрыша лѣваго выпускнаго крана сошла съ отверстія и угла опережденія со стороны выпуска.

Изъ этаго видно, что во всякомъ случаѣ, если имѣется одинъ эксцентрикъ приводящій въ движеніе сразу оба выпускные краны, то этотъ эксцентрикъ долженъ идти впереди кривошипа на уголъ превосходящій прямой на сумму угла соотвѣтствующаго перекрышѣ выпускнаго крана и угла опережденія со стороны выпуска.

Слѣдовательно въ этомъ отношеніи собственное распредѣленіе Корлиса

подчинено тѣмъ же самымъ условіямъ, какъ и распредѣленіе посредствомъ обыкновеннаго золотника, - а изъ этаго слѣдуетъ весьма важное свойство этаго парораспредѣленія относительно предѣловъ, внутри которыхъ можетъ быть измѣняемо расширеніе посредствомъ машины Корлисса.

Чтобы разобрать этотъ вопросъ замѣтимъ прежде всего, что весь механизмъ долженъ быть расположенъ такъ, чтобы сцѣпленіе шатуна съ рычагомъ впускнаго крана происходило въ тотъ моментъ, когда движеніе шатуна обращается: это необходимо для того, чтобы избѣжать ударовъ весьма вредно дѣйствующихъ на прочность приходящихъ въ сцѣпленіе частей; такимъ образомъ слѣдовательно сцѣпленіе шатуна съ рычагомъ, опредѣляющее собою начало открывающаго движенія п.п. лѣваго клапана, должно послѣдовать въ то время, когда эксцентрикъ находится въ лѣвой мертвой точкѣ (a) (фиг. 38), и слѣдовательно кривошипъ удаленъ отъ лѣвой мертвой точки на тупой уголъ aCA равный 90° + полный уголъ опереженія эксцентрика. - Но дѣйствительное открытіе лѣваго клапана должно послѣдовать въ

то время, когда кривошипъ занимаетъ положеніе CB', очень близкое къ своей мертвой точкѣ, такъ что это открытіе произойдетъ при положеніи эксцентрика Cb' очень близкомъ къ Cb (причемъ уголъ $bCB = aCA$). Поэтому въ теченіе всего угла $ACB' = aCb'$ лишь и будетъ происходить движеніе лѣваго впускнаго клапана, но впускной каналъ еще не откроется, и слѣдовательно все это движеніе должно быть употреблено единственно на снятіе перекрышки клапана съ лѣваго впускнаго канала; да сіи каналъ долженъ оставаться во всякомъ случаѣ открытымъ, пока поршень придетъ въ свою лѣвую мертвую точку и начнетъ двигаться съ лѣва на право, а потому расцѣпленіе шатуна съ рычагомъ лѣваго впускнаго канала можетъ послѣдовать только послѣ того, какъ кривошипъ прошелъ точку B (фиг. 39.), а эксцентрисиетъ соотвѣтствующую ей точку b.- Послѣ того можетъ только начаться расширеніе. Но какъ каждому положенію распредѣляющаго механизма соотвѣтствующему положенію эксцентриситета внутри угла $dCz = bCz$ отвѣчаетъ совершенно одинаковое съ нимъ

расположеніе внутри угла bCz, то отсюда слѣдуетъ, что если расширеніе не произойдетъ въ то время, когда эксцентриситетъ находится внутри угла bCz, то оно не произойдетъ также и тогда, когда оно находится внутри угла dCz, и лѣвый впускной каналъ закроется безъ расширенія тогда, когда эксцентриситетъ займетъ положеніе d' соотвѣтствующее b', при которомъ этотъ каналъ откроется: это будетъ случай естественнаго расширенія, при которомъ поршень будетъ проходить подъ полнымъ давленіемъ наибольшій путь, немного разнящійся отъ полнаго размаха поршня.

Если построимъ положеніе кривошипа 2 соотвѣтствующее положенію 2 эксцентрика, то получимъ уголъ BCZ, который описывается кривошипомъ паровaго поршня въ то время, когда расширеніе возможно, и слѣдовательно на пути поршня соотвѣтствующемъ этому углу будетъ дѣйствительно возможно расширеніе, и начало расширенія, и если расширеніе, при какомъ либо размахѣ поршня внутри этаго угла не произойдетъ, то оно вообще не произой-

дѣть въ теченіе разсматриваемаго размаха, и слѣдовательно паръ въ теченіе этаго размаха будетъ дѣйствовать почти безъ расширенія.

Если бы мы совершенно уничтожили перекрышу выпускныхъ кранов, и всякое опереженіе со стороны выпуска, то эксцентриситетъ эксцентрика расположился бы прямо подъ прямымъ угломъ къ кривошипу машины, - и путь поршня на которомъ могло бы начинаться расширеніе привелся бы ровно къ первой половинѣ размаха, т.е. расширеніе могло бы начинаться въ произвольной части между началомъ и серединою размаха поршня. Но какъ въ дѣйствительности ни перекрыши выпускныхъ кранов, ни опереженіе со стороны выпуска уничтожены быть не могутъ, то расширеніе при разсматриваемомъ устройствѣ можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ начала размаха до 0,375 или такъ тамъ до 0,4 размаха.

18. Ограниченность предѣловъ, внутри которыхъ можно измѣнять расширеніе въ оригинальной системѣ Корлисса, есть важное неудобство, для избѣжанія котораго существуетъ много варіантовъ распредѣленія

Корлиса. Изъ вышеизложеннаго разбора обстоятельствъ этаго парораспредѣленія видно, что главною причиною сказанныхъ неудобствъ является соединеніе въ одномъ эксцентрикѣ механизма и для впуска и для выпуска пара. Если механизмы эти приводить въ движеніе отдѣльными эксцентриками, то неудобства этого можно избѣжать; одинъ изъ удачнѣйшихъ опытовъ такого устройства распредѣлительнаго механизма съ сохраненіемъ всѣхъ преимуществъ распредѣленія Корлиса представляетъ машина Зульцера (изъ Винтерштура въ Швейцаріи). Въ этой машинѣ (черт. 40, 41, 42, и 43) вдоль станины идетъ валъ, дѣлающій одинаковое число оборотовъ съ главнымъ валомъ машины, и на этотъ валъ посажено по два круглыхъ эксцентрика, дѣйствіемъ которыхъ отпираются впускные клапаны, и по два кулачныхъ эксцентрика, служащіе къ открыванію выпускныхъ клапановъ; запираніе тѣхъ и другихъ производится посредствомъ спиральныхъ пружинъ, верхніе концы которыхъ укрѣплены неподвижно. Передача движенія выпускнымъ клапанамъ отъ кулачныхъ эксцентриковъ проис-

вадится слѣдующимъ образомъ: стержень клапана выходитъ снаружи черезъ сальникъ, и проходитъ черезъ направляющій, сочленяясь посредствомъ небольшой тяги съ однимъ колѣномъ рычага, другое колѣно котораго сочленено съ стержнемъ, верхнею своею частью подвѣшеннымъ посредствомъ небольшого рычага къ устью машины; на верхнемъ концѣ этаго стержня находится катокъ, который вслѣдствіе давленія передаваемаго пружиною черезъ нижній рычагъ стержню постоянно прижатъ къ кулачному эксцентрику; выступъ же сего послѣдняго соображенъ такимъ образомъ, чтобы лѣвый клапанъ отворялся незадолго до мгновенія, когда поршень машины достигаетъ лѣвой мертвой точки (т.е. чтобы получалось опереженіе выпуска), и чтобы онъ запирался незадолго до того времени, когда въ лѣвую сторону цилиндра начинается впускъ пара (т.е. чтобы получалось нѣкоторое сжатіе пара). Что касается до впускного механизма, то онъ состоитъ подобно выпускному изъ клапана, который нажима-

стая пружиною къ своему седлу, и который можетъ открываться посредствомъ сочлененнаго со стержнемъ клапана рычага; другой конецъ этаго рычага соединенъ со стержнемъ помѣщеннымъ между двумя пластинками составляющими шатунъ эксцентрика: концы этихъ пластинокъ соединены между собою поперечною могущею вращаться около горизонтальной оси, и имѣющею въ серединѣ круглую дыру: черезъ эту дыру проходитъ вышеупомянутый стержень, оканчивающійся рамкою, помѣщенною внутри пластинокъ эксцентриковаго шатуна; нижній конецъ этой рамки соединенъ посредствомъ небольшой тяги съ однимъ колѣномъ рычага; на другое колѣно котораго дѣйствуетъ пружина, приводящая въ движеніе мудраго регулятора. Близъ шарнера, соединяющаго тягу съ рамкою стержня помѣщеннаго внутри шатуна, укрѣплена стальная закаленная пластинка. Такая же стальная пластинка соединяетъ между собою обѣ половинки шатуна эксцентрика. Эта послѣдняя пластинка при движеніи

эксцентрика описываетъ сомкнутую кривую имѣющую удлиненную лицевидную форму, и до тѣхъ поръ пока она не встрѣтитъ пластинку внутренняго стержня шатуна, впускной клапанъ остается закрытымъ, такъ какъ шатунъ эксцентрика только скользитъ по стержню, сочлененному съ рычагомъ передающимъ движеніе впускному клапану, самый же стержень, рычагъ и клапанъ остаются неподвижными. Когда же пластинка шатуна эксцентрика встрѣтитъ пластинку стержня, то производя на нее давленіе, она откроетъ клапанъ, и клапанъ этотъ остается открытымъ, пока прикосновеніе между обѣими пластинками продолжается: но какъ движеніе обѣихъ пластинокъ не одинаково, то пластинка шатуна, скользя нѣкоторое время по пластинкѣ стержня, оставляетъ ее и тогда впускной клапанъ запирается пружиною. Продолжительность прикосновенія между пластинками, разумѣется, существеннымъ образомъ зависитъ отъ того, какъ расположена ша-

стинка стержня относительно пластинки шатуна, которая какъ видно изъ чертежа укрѣплена такъ, что на средней линіи шатуна приходится ея конецъ; положеніе же пластинки стержня зависитъ отъ регулятора: если регуляторъ стоитъ низко, т. е. если машина ходитъ тихо, то пластинка стержня располагается ближе къ пластинкѣ шатуна и вслѣдствіе того прикосновеніе пластинокъ, а потому и впускъ пара продолжается дольше; если же регуляторъ стоитъ высоко, т. е. машина ходитъ скоро, то пластинка стержня удаляется отъ пластинки шатуна, время прикосновенія между ними уменьшается, и впускъ пара сокращается. Въ машинѣ Зульцера бывшей на выставкѣ элементы были опредѣлены такъ, что часть размаха, соотвѣтствующая впуску могла измѣняться отъ нуля до 0,7 всего размаха поршня, — что составляетъ предѣлы уже довольно значительные; не представилось бы затрудненіе опредѣлить всѣ размѣры такъ, чтобы впускъ пара могъ происходить далѣе на $\frac{8}{10}$ размаха поршня.

19. Для изслѣдованія дѣйствія ме-

ханизма Зульцера и опредѣленія его размѣровъ по заданному распредѣленію пара возьмемъ его изображеніе на фиг. 44.

Пусть на ней O представляетъ центръ вала, на которомъ сидитъ эксцентрикъ, и OA пусть будетъ его эксцентриситетъ въ томъ положеніи когда выступъ L шатуна только что начинаетъ дѣйствовать на площадку KI соединенную со среднимъ стержнемъ BL, и слѣдовательно впускной клапанъ только что начинаетъ открываться. Назовемъ черезъ l всю длину шатуна AB, черезъ l_1 и l_2 длину частей, на которыя онъ дѣлится выступомъ L, такъ что $AL = l_1$ и $BL = l_2$. Пусть въ этомъ положеніи механизма, C будетъ точка соединенія средняго стержня съ рычагомъ впускнаго клапана, и D точка его соединенія съ тягою подвѣшивающею стержень къ рычагу регулятора; проведемъ прямую OC и поставимъ къ ней перпендикуляръ YO; допустимъ что разстояніе отъ C и D до точекъ вращенія E и F будутъ между собою равны и параллельны, тогда стержень BD, увлекаемый въ движеніе выступомъ L шатуна, хотя

и будетъ принимать послѣдовательно различныя положенія, но всѣ эти положенія будутъ между собою параллельны, и слѣдовательно, уголъ γ, составляемый между OC и направленіемъ стержня BD въ различныхъ его положеніяхъ будетъ оставаться постояннаго величиною. Вообразимъ что при дальнѣйшемъ вращеніи эксцентрика вслѣдствіе давленія выступа L на площадку JH рычагъ впускного клапана повернулся на извѣстный уголъ δ; на такой же уголъ повернулась и тяга поддерживающая нижній конецъ стержня, новое положеніе которого $B'D'$ опредѣлить. Изъ E и F опишемъ радіусами $CE = DF$ дуги CC' и DD' имѣющіе центральный уголъ δ, - и черезъ точки C', D' проведемъ прямую $B'C'D'$, которая по построенію будетъ параллельна BD. Средняя точка K площадки JH соединенной со стержнемъ опишетъ дугу KK' одинаковую съ CC' и DD'; слѣдовательно новое положеніе K этой средней точки площадки опредѣлить весьма легко, проведя перпендикуляръ $H'K'J'$ къ $B'D'$ черезъ K' и отложивъ $H'K' = J'K' = HK = LK$ найдемъ новое положеніе площадки, чтобы достать найти соот-

вѣтствующее ему положеніе шатуна и эксцентрика, достаточно замѣтить, что одинъ конецъ A' шатуна долженъ находиться на окружности описываемой эксцентрисситетомъ, другой B' на прямой $B'D'$, а третья точка L' удаленная отъ A' на длину l, должна лежать на прямой $H'G'$. Построивъ такимъ образомъ новое положеніе всего механизма, назовемъ соотвѣтствующій ему уголъ главнаго кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ черезъ α, а уголъ опереженія эксцентрика (*) черезъ β, обозначимъ также черезъ

a — постоянную длину OC

b — разстояніе $CK = C'K'$.

x — длину $K'K'' = D'D''$ изображающую перемѣщеніе площадки GH вдоль стержня, при передвиженіи эксцентрика изъ A въ A'.

y — длину $KK'' = DD''$ изображающую перемѣщеніе площадки GH перпендикулярно къ стержню.

z — разстояніе $L'K'$ точки прикосновенія выступа съ пластинкою отъ ея середины при положеніи эксцентрисситета въ A',

l — половину длины пластинки

Лит. Ф. Кремеръ. Пет. ст. Б. Гребецкая ул. 20.

$JH = J'H'$.

ξ — уголъ между изгибающимся направленіемъ шатуна и постояннымъ направленіемъ опоры.

Возьмемъ за самъ сомкнутый многоугольникъ $OCKK'L'A'O$, и положимъ нулемъ сумму проекцій всѣхъ его сторонъ на направленіи BD' и на направленіе къ нему перпендикулярное. Получимъ два уравненія

$$a\cos\gamma + z.\sin(\alpha+\beta+\gamma) = x + b + l_1\cos\xi$$

$$a.\sin\gamma - z.\cos(\alpha+\beta+\gamma) = y + z + l_1\sin\xi.$$

Но какъ изъ треугольника $B'K'L'$ имѣемъ

$$\sin\xi = \frac{z}{l_2}$$

то предыдущія два равенства приводятся къ виду:

$$z.\sin(\alpha+\beta+\gamma) = -a.\cos\gamma + x + b + l_1\sqrt{1-\left(\frac{z}{l_2}\right)^2}$$

$$z.\cos(\alpha+\beta+\gamma) = a.\sin\gamma - y - z.\frac{l_1}{l_2}$$

Разлагая въ второму корень квадратный, входящій въ первое уравненіе получимъ это равенство въ такомъ видѣ

$$z.\sin(\alpha+\beta+\gamma) = a\cos\gamma + x + b + l_1 - \frac{l_1}{2l_2}.\frac{z}{l_2}z$$

Если отбросимъ здѣсь послѣдній членъ,

*) т. е. уголъ составляемый эксцентриситетомъ съ VO въ этомъ положеніи, когда главный кривошипъ находится въ мертвой точкѣ.

то сдѣлаемъ ошибку, которая выразится въ уголахъ z черезъ $\frac{l_1}{2l_2} \cdot \frac{z}{l_2}$; но въ машинахъ Зульцера $\frac{l_1}{2l_2}$ значительно меньше единицы, а $\frac{z}{l_2}$ всегда есть очень малая дробь такъ какъ $z < e$, а напр. въ машинѣ бывшей на Вѣнской выставкѣ $\frac{e}{l_2} = \frac{1}{20}$ и $\frac{l_1}{2l_2} = \frac{1}{6}$. Такимъ образомъ для этой машины ошибка, которая получится отъ пренебреженія послѣднимъ членомъ составитъ менѣе, чѣмъ одну одноцвадцатую долю длины z; пренебрегая такою ошибкою мы приведемъ предъидущія уравненія къ такому виду:

$$z \sin(\alpha+\beta+\gamma) = -a\cos\gamma + x + b + l_1 \quad \ldots (1.)$$

$$z \cos(\alpha+\beta+\gamma) = +a\sin\gamma - y - z\frac{l_1}{l_2} \quad \ldots (2)$$

Входящія въ эти уравненія величины x и y не независимы между собою, такъ какъ x изображаетъ перпендикуляръ изъ окружности на діаметръ, а y одинъ изъ его отрѣзковъ. Вслѣдствіе сего, если назвать черезъ R длину рычаговъ CE и DF поддерживающихъ стержень, то будетъ:

$$y : x = x : (2R - y)$$

откуда

$$y = \frac{x^2}{2R - y}$$

или пренебрегая величиною y сравнительно съ $2R$,

$$y = \frac{x^2}{2R} \quad \ldots\ldots (3).$$

Написанныя уравненія справедливы только для періода сцѣпленія выступа шатуна съ пластинкою стержня и потому необходимо должно быть еще

$$z > -e \qquad z < +e \quad \ldots\ldots (4).$$

Написанными уравненіями (1), (2), и (3) вмѣстѣ съ неравенствами (4) вполнѣ опредѣляется движеніе всего механизма во время сцѣпленія выступа съ пластинкою, — и это движеніе весьма легко найти, если размѣры механизма даны. Дѣйствительно, положимъ, что прежде всего найти уголъ (α') составляемый кривошипомъ съ линіею мертвыхъ точекъ въ тотъ моментъ, когда происходитъ сцѣпленіе между выступомъ шатуна и пластинкою стержня; для этаго положенія очевидно $x = 0$, $y = 0$ а величина z будетъ имѣть нѣкоторое опредѣленное значеніе, которое обозначимъ черезъ z' и которое должно заключаться въ предѣлахъ $+e$ и $-e$. Подъ этому начало сцѣпленія и слѣдовательно начало открытія впускнаго клапана опредѣлится равенствами:

$$r \sin(\alpha' + \beta + \gamma) = -a \cos\varphi + b + l,$$

$$r \cos(\alpha' + \beta + \gamma) = +a \sin\varphi - z' \frac{l}{l_2}$$

При чемъ

$$z' > -e \text{ и } z' < +e.$$

Первое изъ только что написанныхъ уравненій послужитъ къ тому, чтобы по даннымъ $a, b, r, l, l_2, \gamma, \beta$ найти уголъ α'; изъ второго найдется z', а посредствомъ неравенствъ указывающихъ предѣлы угла z' будетъ произведена повѣрка, возможно ли дѣйствительно существованіе при тѣхъ размѣрахъ, которые даны механизму.

Подобнымъ же образомъ легко найти тотъ уголъ кривошипа съ мнимо мертвыхъ точекъ; при которомъ происходитъ расцѣпленіе; обозначивъ искомый уголъ черезъ α'', а величины x и y для момента расцѣпленія черезъ x'' и y'', и замѣтивъ что для момента расцѣпленія $z = +e$, получимъ на основаніи уравненій (1), (2), и (3).

$$r \sin(\alpha'' + \beta + \gamma) = -a \cos\gamma + x'' + b + l,$$

$$r \cos(\alpha'' + \beta + \gamma) = a \sin\gamma - e\frac{l}{l_2} - y''$$

$$y'' = \frac{x''^2}{2R}.$$

Съ помощью этихъ трехъ уравненій легко опредѣлятся всѣ три неизвѣстныя.

$$\alpha'', x'', y''.$$

Такимъ образомъ по даннымъ—

элементамъ распредѣлительнаго прибора можно найти какъ моментъ сжатія такъ и моментъ расширенія. Не трудно также видѣть, что для каждаго положенія кривошипа, заключеннаго между его положеніями соотвѣтствующими началу сжатія и концу его, можно посредствомъ уравненій (1), (2) и (3). найти величину открытія клапана, которая очевидно пропорціональна длинѣ (x); дѣйствительно въ этомъ случаѣ будутъ даны: всѣ элементы распредѣлительнаго прибора и уголъ α, а затѣмъ уравненія (1), (2) и (3) будутъ заключать только три неизвѣстныя: x; y, z. Легко найти также все движеніе клапана посредствомъ чертежа, подобнаго діаграммѣ Цейнера. Дѣйствительно уравненія (1) и (2) даютъ:

$$x = r\sin(\alpha+\beta+\gamma) - (b+b_1-a\cos\gamma)$$

$$z\frac{b}{b_1} = -r\cos(\alpha+\beta+\gamma) + a\sin\gamma - y.$$

Для построенія перваго уравненія проведемъ линію мертвыхъ точекъ AB (фиг. 45) и построивъ на ней окружность описываемую кривошипомъ, проведемъ подъ угломъ $\beta+\gamma$ къ линіи AB прямую OD, и касательно къ этой прямой построимъ окружность имѣющую діа-

метръ равный r, хорда OB этой окружности, проведенная подъ угломъ α къ линіи мертвыхъ точекъ, какъ извѣстно, представляетъ величину:

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

и потому если радіусомъ $Oe' = b+b_1$ — $\delta_{ер}$ изъ O какъ изъ центра опишемъ окружность то длина ее', будетъ представлять собою величину x, (которая опредѣляетъ степень открытія клапана) соотвѣтствующую углу α кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ. Изъ чертежа получимъ и направленіе OF кривошипа, при которомъ клапанъ открывается, и степень открытія aa' въ мертвой точкѣ кривошипа, и величину gg' наибольшаго открытія клапана равно какъ и направленія OG кривошипа при которомъ это наибольшее открытіе имѣетъ мѣсто, и наконецъ направленіе OH кривошипа, при которомъ клапанъ окончательно закроется, даже и въ такомъ случаѣ когда длина de пластинки столь велика, что расширеніе выступа шайбы въ паровикѣ произойдетъ уже послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ положеніе OH.

Изъ сего построенія видно, что, пока существуетъ сцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою отсѣчки, открытіе клапана въ системѣ Зульцера происходитъ по тому же закону, какъ и открытіе парового окна въ обыкновенномъ золотникѣ съ наружнымъ перекрытіемъ $b+b_1$ - асоѕ γ, управляемомъ круглымъ эксцентрикомъ по оси эксцентриситета, имѣющимъ уголъ опереженія равный $\beta+\gamma$. -

Чтобы графически опредѣлить положеніе кривошипа, при которомъ происходитъ расцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою, и слѣдовательно начинается расширеніе пара, вслѣдствіе закрытія впускнаго клапана дѣйствіемъ пружины, воспользуемся уравненіемъ:

$$z\frac{b}{b_2} = a\sin\gamma - y - r\cos(\alpha+\beta+\gamma)$$

въ которомъ вмѣсто z поставимъ $+e$; для большаго удобства графическаго построенія замѣтимъ, что величина y будетъ вообще весьма мала, такъ какъ она выражается черезъ $\frac{x^2}{2R} = \frac{x}{2R}\cdot x$, слѣдовательно будетъ сравнительно съ x высшаго порядка; замѣтивъ это и отбрасывая величину y, получимъ α'' т.е.

угол кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которомъ начинается расширеніе пара; онъ опредѣлится уравненіемъ

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) = a\sin\gamma - e\frac{b}{b_2}$$

Если вторая часть будетъ положительная, то и $\cos(\alpha''+\beta+\gamma)$ будетъ тоже положительный, т.е. $\alpha''<90°$. и слѣдовательно расширеніе послѣдуетъ между мертвою точкою и направленіемъ OY кривошипа, если же вторая часть отрицательная, то $\alpha''>90°$. т.е. расширеніе послѣдуетъ послѣ того, какъ кривошипъ пройдетъ черезъ направленіе OY. Имѣя это въ виду для построенія того положенія кривошипа, при которомъ соотвѣтствуетъ начать расширеніе пара, достаточно изъ точки y какъ центра радіусомъ равнымъ численной величинѣ $a\sin\gamma - e\frac{b}{b_2}$ описать окружность и замѣтить ея пересѣченія съ окружностью $Ofaegh$; изъ двухъ найденныхъ пересѣченій слѣдуетъ соединить съ центромъ O то, которое лежитъ на полуокружности gaO если $a\sin\gamma > e\frac{b}{b_2}$, и то которое лежитъ на полуокружности

фкО, если $\sin\varphi < e\frac{l}{l_2}$; такимъ образомъ получается въ каждомъ изъ этихъ случаевъ тѣ направленія кривошипа, при которыхъ произойдетъ расцѣпленіе выступа шатуна съ пластинкою, и слѣдовательно начнется расширеніе пара.

Въ этомъ послѣднемъ построеніи конечно есть небольшая ошибка, происходящая отъ того, что пренебрегаемъ величиною y; но если R достаточно велико, то это ошибка ничтожная; при такихъ же величинахъ R её необходимо исправить: и во всѣхъ случаяхъ получится вполнѣ удовлетворительное приближеніе, если мы построивъ предъидущимъ способомъ направленіе кривошипа при началѣ расширенія возьмемъ изъ чертежа соотвѣтствующую этому направленію величину x, т.е. лежащую на этомъ направленіи хорду круга діаграммы, и затѣмъ найдемъ y удовлетворяющее равенству:

$$y = \frac{x^2}{2R}.$$

которое и отнимемъ отъ разности $\sin\varphi - e\frac{l}{l_2}$; когда она положительная, или прибавимъ къ ней когда она отрицательная, и наконецъ радіусомъ равнымъ полученной разности или суммѣ изъ точки y, какъ

центра засѣчемъ окружность Ofaedh, и выбравъ одну или другую изъ точекъ пересѣченія смотря по знаку выраженія $a \sin p - e \frac{l}{l_2} - y$ соединимъ её съ центромъ O. Полученное такимъ образомъ направленіе кривошипа будетъ всегда чрезвычайно мало отличаться отъ того, при которомъ наличается расширеніе.

Такимъ образомъ распредѣленіе пара посредствомъ механизма Зульцера находится безъ затрудненія, какъ только даны элементы распредѣлительнаго прибора. Для простоты предположимъ, что плеча рычага соединяющаго клапанъ со стержнемъ равны между собою: если бы это небыло исполнено, то входящія въ служащія уравненія величины открытія клапана будутъ собственно представлять собственно перемѣщенія стержня по его направленію, и чтобы получить дѣйствительную величину открытія клапана, нужно полученное въ послѣдующемъ этимъ именемъ количество умножить на отношеніе того плеча рычага, которое соединено съ клапаномъ къ тому плечу того же рычага, которое соединено съ стержнемъ.

Условившись въ этомъ, чтобы рѣшить обратную задачу прежде всего замѣтимъ, что на основаніи уравненія (1) наибольшее открытіе клапана будетъ тогда, когда $\alpha+\beta+\gamma=\frac{\pi}{2}$, и величина этаго наибольшаго открытія (H), какъ видно изъ уравненія (1) опредѣляется равенствомъ:

$$H = r-(b+b_1-a\cos\gamma) \ldots (5)$$

На основаніи того же уравненія (1) линейное опереженіе (h) со стороны впуска опредѣлится равенствомъ:

$$h = r\sin(\beta+\gamma)-(b+b_1-a\cos\gamma) \ldots (6)$$

Притомъ, чтобы клапанъ удовлетворительно имѣлъ линейное опереженіе опредѣляемое этимъ уравненіемъ, необходимо, чтобы соотвѣтствующая ему величина z заключалась между $+e$ и $-e$, что на основаніи уравненія (2) даетъ неравенства:

$$\left.\begin{array}{l} -e\frac{l}{l_2} < a\sin\gamma - r\cos(\beta+\gamma) - \frac{h^2}{2R} \ldots \\ +e\frac{l}{l_2} > a\sin\gamma - r\cos(\beta+\gamma) - \frac{h^2}{2R} \ldots \end{array}\right\} \ldots (7)$$

Уголъ α' кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ соотвѣтствующій началу открытія клапана будетъ удовлетворять условію:

$$0 = r\sin(\alpha'+\beta+\gamma)-(b+b_1-a\cos\gamma) \ldots (8)$$

При чемъ какомъ того будутъ вы-

полнены неравенства:

$$\left.\begin{aligned} -e\frac{l}{l_2} &< a\sin\gamma - r\cos(\alpha'+\beta+\gamma) \\ +e\frac{l}{l_2} &> a\sin\gamma - r\cos(\alpha'+\beta+\gamma) \end{aligned}\right\} \quad \ldots (9)$$

Наконецъ уголъ α'' кривошипа съ мертвыхъ точекъ, при которомъ начинается расширеніе удовлетворяетъ равенству:

$$e\frac{l}{l_2} = a\sin\gamma - r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) - \frac{x''^2}{2R} \quad \ldots (10)$$

гдѣ

$$x'' = r\sin(\alpha''+\beta+\gamma) - (b+b_1 - a\cos\gamma) \quad \ldots (11)$$

Независимо отъ этихъ условій въ тѣхъ случаяхъ когда требуется, чтобы наибольшее открытіе H клапана наступало въ теченіе періода впуска пара, должны быть исполнены еще два условія

$$\left.\begin{aligned} -e\frac{l}{l_2} &< a\sin\gamma - \frac{H^2}{2R} \\ +e\frac{l}{l_2} &> a\sin\gamma - \frac{H^2}{2R} \end{aligned}\right\} \quad \ldots (12)$$

Къ этимъ условіямъ полезно прибавить еще одно, состоящее въ томъ чтобы скорость клапана въ моментъ его открытія была наивозможно большая, т.е. чтобы $\frac{dx}{d\alpha}$ при $\alpha = \alpha'$ имѣло свою наибольшую величину, а для этого должно быть исполнено условіе:

$$\sin(\alpha'+\beta+\gamma) = 0.$$

или

$$b+b_1 - a\cos\gamma = 0. \quad \ldots (13)$$

Разсматривая всю совокупность этих условій мы видимъ, уравненія (5), (6), (8), (10), (11) и (13) должны быть удовлетворены посредствомъ величины x'' и элементовъ распредѣлительнаго прибора. Эти послѣдніе однако должны удовлетворять только пяти уравненіямъ (5), (6), (8), (10) и (13), такъ какъ (10) можетъ быть удовлетворено величиною x'' и кромѣ того извѣстной системѣ неравенствъ.

Принимая въ соображеніе уравненіе (13) мы можемъ привести остальные четыре уравненія къ слѣдующему виду:

$$\left.\begin{array}{l} H = V;\quad h = r\sin(\beta+\gamma);\quad \sin(\alpha'+\beta+\gamma) = 0 \\ b + b_1 = a\cos\gamma;\quad \frac{e_1}{e_2} = a\sin\gamma - r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) - \frac{x''^2}{2R} \\ x'' = r\sin(\alpha''+\beta+\gamma) \end{array}\right\} A.$$

Первое уравненіе опредѣляетъ эксцентриситетъ r эксцентрика, второе — сумму $(\beta+\gamma)$, третье можетъ не можетъ быть удовлетворено кромѣ α' такъ, что въ этомъ случаѣ мы не можемъ назначить уголъ α' по произволу, и должны его принять равнымъ $-(\beta+\gamma)$; четвертое и пятое уравненія удовлетворяются съ помощью величины x'' и разности $\frac{e_1}{e_2}$ такъ что остается еще значительное число элементовъ распредѣли-

тельнаго прибора въ нашемъ произволѣ, и предоставивъ себѣ распорядиться или на основаніи другихъ соображеній мы можемъ удовлетворить всѣмъ уравненіямъ выведеннымъ изъ условій распредѣленія пара, и за тѣмъ останется еще удовлетворить шести неравенствамъ которые очевидно можно написать слѣдующимъ образомъ:

$$
\left.
\begin{array}{ll}
 & a\sin\gamma + \frac{el}{l_2} \;\Big\rangle\; r\cos(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R}; \\
j) & a\sin\gamma - \frac{el}{l_2} \;\Big\langle\; r\cos(\beta+\gamma) + \frac{h^2}{2R}; \\
 & a\sin\gamma + \frac{el}{l_2} \;\Big\rangle\; r\cos(\alpha'+\beta+\gamma); \\
j) & a\sin\gamma - \frac{el}{l_2} \;\Big\langle\; r\cos(\alpha'+\beta+\gamma); \\
 & a\sin\gamma + \frac{el}{l_2} \;\Big\rangle\; \frac{H^2}{2R}; \\
j) & a\sin\gamma - \frac{el}{l_2} \;\Big\langle\; \frac{H^2}{2R};
\end{array}
\right\} \quad (B.)
$$

Относительно этихъ неравенствъ замѣтимъ:

1) Что два неравенства послѣднихъ строкъ изображаютъ условіе того, что расширеніе пара начинается позже того направленія кривошипа, при которомъ клапанъ получаетъ наибольшее свое открытіе, и слѣдовательно если по заданію расширеніе начинается ранѣе этаго положенія, то два неравенства послѣднихъ строкъ не должны было принимаемы въ соображеніе. Такимъ образомъ неравенства эти

имѣютъ значеніе лишь въ томъ случаѣ, если $\alpha''+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$, если же $\alpha''+\beta+\gamma < \frac{\pi}{2}$, то неравенствъ этихъ вовсе не слѣдуетъ разсматривать.

2) Общая тремъ неравенствамъ (j) первая часть на основаніи полнаго и частнаго изъ числа уравненій (A) приводится къ выраженію

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma)+\frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)$$

и слѣдовательно уже опредѣлена и измѣняема быть не можетъ; замѣчая это и принимая въ соображеніе, что на основаніи третьяго изъ уравненій (A), $\cos(\alpha'+\beta+\gamma)=1$, очевидно можемъ условіе изображаемыя тремя неравенствами (j) привести къ слѣдующему виду:

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma)+\frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma) < r\cos(\beta+\gamma)+\frac{h^2}{2R}$$

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma)+\frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma) < r$$

$$r\cos(\alpha''+\beta+\gamma)+\frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma) < \frac{H^2}{2R}.$$

Изъ коихъ послѣднее, какъ уже замѣчено выше имѣетъ мѣсто только въ томъ случаѣ, когда $\alpha''+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$; такъ какъ въ этомъ случаѣ $\cos(\alpha''+\beta+\gamma)<0$, да и при томъ же $r=H$, то совершенно ясно что это послѣднее неравенство будетъ исполнено всегда, когда оно будетъ имѣть значеніе; что касается двухъ первыхъ нера-

вексть, то прежде всего видно, что если R достаточно велико, для того чтобы можно было пренебрегать членами пропорціональными $\frac{1}{2R}$, то, и первыя два неравенства тоже удовлетворяются приводясь къ условіямъ:

$$\cos(\alpha''+\beta+\gamma) < \cos(\beta+\gamma);\quad \cos(\alpha''+\beta+\gamma) < 1.$$

что очевидно будетъ исполнено, каковъ бы ни былъ уголъ α''; поэтому какъ видно неисполненіе перваго и второго неравенствъ можетъ послѣдовать лишь въ случаѣ малаго R, отъ вліянія членовъ обратно пропорціональныхъ R, и тогда самый простой способъ удовлетворить этимъ двумъ неравенствамъ состоитъ въ томъ, чтобы увеличить длину R, до того, чтобы члены ей обратно пропорціональные потеряли сказанное свое вліяніе.- Такимъ образомъ способы (γ) неравенствъ (B) будутъ исполнены, что же касается основной части неравенствъ (B), то замѣтивъ (въ) что $\sin\gamma$ его величина:

$$\frac{el}{l_2} + r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma).$$

$$\left.\begin{array}{l}
\frac{2el}{l_2}\Big\} r\cos(\beta+\gamma) + \frac{R^2}{2R} - \left\{(r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\} \\
\frac{2el}{l_2}\Big\} r \ldots\ldots\ldots - \left\{r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\} \\
\frac{2el}{l_2}\Big\} r \ldots\ldots\ldots - \left\{r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right\}
\end{array}\right\} \quad (C)$$

Лит. Ф. Кремеръ Пет. ст. б. Гребецкая ул. 20.

Вторыя части первыхъ двухъ изъ только что написанныхъ трехъ неравенствъ, какъ видно изъ предыдущаго, будутъ всегда положительныя, равно какъ и вторая часть третьяго неравенства, если $\alpha+\beta+\gamma > \frac{\pi}{2}$ и потому они представляютъ собою дѣйствительныя условія, которыя должны быть удовлетворены, и которыя необходимо принимать въ соображеніе при выборѣ c, b, b_2; если эти величины будутъ избраны соображаясь съ удобствами конструкціи такъ, чтобы только что разобранныя неравенства удовлетворялись, то затѣмъ остается выбрать только величины α и γ, такъ чтобы было удовлетворено уравненіе:

$$a \sin\gamma - \frac{cb}{b_2} = r\cos(\alpha+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha+\beta+\gamma).$$

При этомъ α опредѣлится удобствомъ всего расположенія, и γ найдется изъ только что написаннаго уравненія.-

Такимъ образомъ будетъ разрѣшенъ вопросъ о нахожденіи элементовъ распредѣлительнаго прибора Зульцера для одного впередъ заданнаго расширенія, т.е. для даннаго угла α^0; но задача при построеніи механизма Зульцера гораздо обширнѣе; она заключается въ томъ, чтобы имѣть возможность измѣнять расширеніе въ заданныхъ довольно далеко другъ

отъ друга отстоящихъ предѣлахъ.— Чтобы рѣшить эту задачу представимъ себѣ, что съ самаго начала мы изложеннымъ способомъ найдемъ всѣ элементы распредѣлительнаго прибора, соотвѣтствующіе нормальному расширенію, т.е. тому съ которымъ машина должна обыкновенно работать. По самому устройству механизма Зульцера изъ всѣхъ элементовъ распредѣлительнаго прибора съ удобствомъ можетъ быть измѣняемъ только одинъ,— а именно уголъ γ, составляемый между стержнемъ сцѣпленнымъ съ рычагомъ впускного клапана, и прямою соединяющею ось вала эксцентрика съ точкою соединенія между рычагомъ впускного клапана и стержнемъ.— Но какъ только мы начинаемъ измѣнять уголъ γ, то очевидно условіе:

$$b + l_1 - a\cos\gamma = 0.$$

перестаетъ исполняться, т.е. мы при измѣненіи расширенія теряемъ то преимущество, которое состоитъ въ томъ, чтобы клапанъ въ моментъ своего открытія имѣлъ наибольшую скорость.— Но очевидно что чѣмъ меньше при переходѣ отъ нормальной степени расширенія къ

другимъ будетъ измѣняться $\cos\gamma$ тѣмъ будетъ меньше отличаться отъ нуля сумма $b+b_1-a\cos\gamma$, и слѣдовательно тѣмъ менѣе будетъ нарушаться сказанное преимущество. Изъ этаго очевидно, для сохраненія возможно большей скорости клапана при открытіи, - что уголъ γ при нормальномъ расширеніи должен быть выбираемъ по возможности малымъ, такъ какъ при малой величинѣ γ измѣненія его оказываютъ весьма мало на $\cos\gamma$, который остается очень близкимъ къ единицѣ.-

Къ тому же заключенію приходимъ разсматривая выраженіе наибольшаго открытія клапана

$$H = r - (b+b_1 - a\cos\gamma)$$

И эта величина вмѣстѣ съ измѣненіемъ расширенія будетъ измѣняться тѣмъ меньше, чѣмъ ближе къ нулю уголъ γ при нормальномъ расширеніи.-

Разсматривая затѣмъ выраженіе линейнаго опереженія

$$h = r\sin(\beta+\gamma) - (b+b_1 - a\cos\gamma)$$

и преобразовывая его въ видъ:

$$h = (a + r\sin\beta)\cos\gamma + r\cos\beta\sin\gamma - (b+b_1)$$

мы можемъ замѣтить слѣдующее: изъ соображенія о величинѣ линейнаго опереженія при нормальномъ рас-

ширенія пара опредѣляется суммой угловъ $\beta+\gamma$, и слѣдовательно, чѣмъ меньше будетъ при нормальномъ расширеніи величина γ, тѣмъ больше будетъ β, и слѣдовательно тѣмъ значительнѣе будетъ коэффиціентъ $a+r\sin\beta$ при $\cos\gamma$, входящій въ только что написанное выраженіе линейнаго опереженія при произвольной степени расширенія; и тѣмъ меньше будетъ коэффиціентъ $r\cos\beta$ при $\sin\gamma$ въ томъ же выраженіи, такъ что чѣмъ меньше мы возьмемъ γ при нормальномъ расширеніи, тѣмъ больше будутъ въ выраженіи линейнаго опереженія члены, которые мало измѣняются съ измѣненіемъ расширенія, и тѣмъ меньше будутъ члены сильно съ нимъ измѣняющіеся, такъ что и съ этой точки зрѣнія выборъ маленькой величины для γ при нормальномъ расширеніи представляется полезнымъ. -

Разсматривая наконецъ уравненіе

$$r\sin(\alpha'+\beta+\gamma)=b+b_1-a\cos\gamma$$

опредѣляющее уголъ α' при которомъ начинается впускъ пара замѣчаемъ что при маломъ нормальномъ значеніи γ вначалѣ съ увеличеніемъ γ вторая часть возрастаетъ по очень медленно, и какъ первая часть при томъ же

условіи возрастала бы быстрѣе, если бы уголъ α' не уменьшался, то очевидно уголъ α' будетъ убывать, и какъ вообще онъ будетъ отрицательный, то численная величина его будетъ увеличиваться, но во всякомъ случаѣ въ меньшей пропорціи чѣмъ γ. Такая измѣнчивость угла α' не имѣетъ сколько нибудь замѣтнаго вліянія на устойчивіе машины, такъ какъ вслѣдствіе этаго измѣняется лишь разстояніе поршня отъ мертвой точки въ моментъ начала впуска, а измѣненія этаго разстоянія около мертвой точки какъ извѣстно чрезвычайно малы даже и при значительныхъ измѣненіяхъ въ углѣ кривошипа къ линіи мертвыхъ точекъ.-

Такимъ образомъ вообще изъ соображеній относящихся къ измѣняемости расширенія посредствомъ механизма Зульцера слѣдуетъ что для нормальнаго расширенія уголъ γ долженъ быть взятъ по возможности малымъ, а слѣдовательно и $\sin\gamma$ долженъ быть не великъ, а такъ какъ $\sin\gamma$ удовлетворяетъ условію, по которому

$$\sin\gamma = \frac{e}{r} + r\cos(\alpha''+\beta+\gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)$$

то оказывается что если а довольно

велико, то и величину $\frac{cl}{l_2}$ можно брать не очень малою, чтобы съ нѣкоторымъ запасомъ удовлетворять условіямъ (C); если же величина a мала (что вообще дурно) то съ цѣлью уменьшенія γ должно брать $\frac{cl}{l_2}$ какъ можно меньшимъ только чтобы удовлетворить неравенствамъ (C). -- Во всякомъ случаѣ одинако, какъ показываетъ предъидущее уравненіе уголъ γ не можетъ быть нулемъ, и подавно не можетъ быть меньше нуля, если только $\alpha''+\beta+\gamma$ меньше чѣмъ $\frac{\pi}{2}$, и это обыкновенно и будетъ, такъ какъ машины съ такимъ сложнымъ и дорогимъ механизмомъ, какъ Эуберовъ, устроиваются съ цѣлью работать нормальнымъ образомъ при очень значительномъ расширеніи.-

Чтобы эти замѣчанія относительно выбора γ, назовемъ черезъ α_0'' и α_1'' наименьшій и наибольшій изъ угловъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ, при которыхъ желаемъ, чтобы начинался расширеніе; если соотвѣтствующіе имъ величины γ обозначимъ черезъ γ_0 и γ_1 то найдемъ для опредѣленія этихъ угловъ равенства

$$a\sin\gamma_0 = \frac{cl}{l_2} + r\cos(\alpha_0''+\beta+\gamma_0) + \frac{\{r\sin(\alpha_0''+\beta+\gamma_0)-(b+b_1-a\cos\gamma_0)\}^2}{2R}$$

$$a\sin\gamma_1 = \frac{cl}{l_2} + r\cos(\alpha_1''+\beta+\gamma_1) + \frac{\{r\sin(\alpha_1''+\beta+\gamma_1)-(b+b_1-a\cos\gamma_1)\}^2}{2R}$$

которыя съ помощью равенства относящагося къ нормальному распредѣленію пара весьма легко приводятся къ слѣдующему виду:

$$\sin\gamma_0 = \sin\gamma + \frac{r}{a}\left[\cos(\alpha_0''+\beta+\gamma_0) - \cos(\alpha''+\beta+\gamma)\right]$$
$$+ \frac{1}{2Ra}\left[\left\{r\sin(\alpha_0''+\beta+\gamma_0) - (b+l_1 - a\cos\gamma_0)\right\}^2 - r^2\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right]$$

$$\sin\gamma_1 = \sin\gamma + \frac{r}{a}\left\{\cos(\alpha_1''+\beta+\gamma_1) - \cos(\alpha''+\beta+\gamma)\right\}$$
$$+ \frac{1}{2Ra}\left[\left\{r\sin(\alpha_1''+\beta+\gamma_1) - (b+l_1 - a\cos\gamma_1)\right\}^2 - r^2\sin^2(\alpha''+\beta+\gamma)\right]$$

Такъ какъ $\frac{r}{a}$ есть малая величина, а точно также $b+l_1-a\cos\gamma_1$ и $b+l_1-a\cos\gamma_0$ не много отличаются отъ нуля, то очевидно, что $\sin\gamma_1$ и $\sin\gamma_0$ не будутъ много отличаться отъ $\sin\gamma$.-

Съ помощью послѣднихъ уравненій величины γ_0 и γ_1 найдутся весьма легко съ помощью послѣдовательныхъ приближеній, если сначала пренебречь членами обратно-пропорціональными $\frac{1}{2Ra}$.

Предположимъ, что намъ даны слѣдующія условія распредѣленія пара:

Наибольшее поднятіе клапана $H=30$.

Линейное опереженіе со стороны впуска при нормальномъ расширеніи $h=0$

Уголъ кривошипа съ мертвыхъ точекъ, при которомъ наступаетъ нормальное расширеніе $\alpha''=0$

Наименьшій уголъ кривошипа съ мертвыхъ точекъ, при кото-

ромъ можетъ начинаться расширеніе $\alpha_0 = 30°$.
Наибольшій уголъ кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ при которомъ можетъ начинаться расширеніе. $\alpha_1'' = 150°$.

Положимъ сверхъ того, что на основаніи разсмотрѣнныхъ конструктивныхъ соображеній удобнымъ сдѣлать:

Разстояніе отъ оси вала эксцентрика до точки соединенія центральнаго стержня съ рычагомъ впускного клапана . . . . $a = 640$.

Длину шатуна эксцентрика . . $l = 670$.

Разстояніе выступа шатуна отъ центра хомута надѣтаго на эксцентрикъ . . . . . $l_1 = 450$.

И за симъ разстояніе выступа до конца шатуна . . . . . $l_2 = 220$.

Плечо рычага впускного клапана . . . . . $h = 100$.

На основаніи изложенной теоріи тѣтаъ получаемъ:

Эксцентриситетъ эксцентрика: $r = H = 30$.

Сумма угла (β) опереженія эксцентрика и угла (γ) между центральнымъ стержнемъ и прямою идущею отъ оси вала эксцентрика къ точкѣ соединенія этого стержня съ рычагомъ впускного клапана, опредѣляется условіемъ:

$$2 \sin(\beta+\gamma) = h; \quad \text{или } 30 \sin(\beta+\gamma) = 7{,}5$$

откуда $\sin(\beta+\gamma) = 0{,}25$ и $\beta+\gamma = 14° 30'$

На основаніи сего:

$\alpha'' + \beta + \gamma = 74^\circ 30'$

$\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) = 0,26724$

$\sin(\alpha'' + \beta + \gamma) = 0,96363$

$a \sin\gamma - \frac{el}{l_2} = r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) + \frac{r^2}{2R}\sin^2(\alpha'' + \beta + \gamma)$

$= 30 \times 0,26724 + \frac{900}{200} \times 0,929 = 10,0172 + \frac{9}{2} \times 0,9286$

$= 10,0172 + 4,1787 = ; \ldots \quad a \sin\gamma - \frac{el}{l_2} = 14,196$

Наименьшій предѣлъ для дроби $\frac{el}{l_2}$ опредѣляется неравенствами (C) изъ коихъ первое даетъ:

$\frac{2el}{l_2} \Big\} 30 \times 0,96815 + \frac{(7,5)^2}{200} - 14,196 = 15,130$

$\frac{2el}{l_2} \Big\} 30 - 14,196 \qquad = 15,804$

Откуда видно, что неравенствамъ (C) можно удовлетворить принявъ $\frac{2el}{l_2}$ далѣе равнымъ 16. Но какъ величина e выходитъ при этомъ уже очень малою, и такъ какъ a довольно велико, то мы примемъ $\frac{2el}{l_2}$ значительно большимъ, чтобы несомнѣваться въ возможности удовлетворить всѣмъ условіямъ при измѣненіи степени расширенія; пусть $\frac{2el}{l_2} = 80$; тогда $\frac{el}{l_2} = 40$ и $a \sin\gamma = 54,196$; $\sin\gamma = 0,0847$; $\gamma = 4^\circ 50'$

$\beta = 14^\circ 20' - \gamma = 14^\circ 30' - 4^\circ 50' \qquad \beta = 9^\circ 40'$

$\cos\gamma = 0,996$; $a \cos\gamma = 637,44$

$b + l_1 = 637,44$; $b = 637,44 - 450 \qquad b = 187,44$

Чтобы найти γ_0 пренебрегаемъ сначала членомъ обратно пропорціональнымъ R^2; тогда:

$$\sin p_0 = \sin p + \frac{30}{640}\cos(30^\circ + 9^\circ 40' + p_0) - \frac{30}{640} \times \cos 74^\circ 30'$$
$$= 0{,}0847 + 0{,}0157 + \frac{3}{64}\cos(39^\circ 40' + p_0)$$

Отсюда легко видеть, посредствомъ попытокъ, что p_0 очень близко къ 6°; для повѣрки и большаго приближенія вычисляя съ помощью сей величины вторую часть выраженія для $\sin p_0$ и замѣчая что $b + b_1 - a\cos p_0 = 637{,}44 - 640 \cdot 0{,}9945 = 0{,}96$.

получимъ:

$$\sin p_0 = 0{,}0690 + 0{,}0328 + \frac{1}{200 \times 640}\left\{(30\sin(45^\circ 40') - 0{,}96)^2 - 900 \cdot \sin^2 74^\circ 30'\right\} =$$
$$= 0{,}0986$$

а какъ по таблицамъ 0,0986 есть синусъ 5°40', то величина для p_0 принята слишкомъ большая. Вычисляя вторую часть предъидущаго равенства въ предположеніи что $p_0 = 5^\circ 40'$ находимъ

$$\sin p_0 = 0{,}0690 + 0{,}0300 + \frac{1}{200 \cdot 640}\left\{\left[30\sin(45^\circ 20') - 0{,}77\right]^2 - 835{,}74\right\} =$$
$$= 0{,}1020 - 0{,}0032 = 0{,}0988.$$

И такъ это число очень близко къ 5°40', то и можно принять, что $p_0 = 5^\circ 40'$.

Вычисляя подобнымъ же образомъ p_1 найдемъ:

$$\sin p_1 = 0{,}0847 + \frac{3}{64}\cos(150 + 9^\circ 40' + p_1) - \frac{3}{64}\cos(74^\circ 30') =$$
$$= 0{,}0690 - \frac{3}{64}\cos(30^\circ - 9^\circ 40' - p_1)$$

Вычисляя вторую часть въ предположеніи $p_1 = 1^\circ 20'$ находимъ, что она составляетъ 0,0247; это не много гарантія

отъ $\sin 1^\circ 20'$; поэтому принимая $\gamma_1 = 1^\circ 2$ для повѣрки вставляемъ еще эту величину въ члены, обратнопропорціональные $\frac{1}{2Ka}$ и находимъ что они будутъ:

$$\frac{1}{200.640}\left[30\sin(19^\circ+2,43)^2-835,74\right]=0,0054$$

и $\sin\gamma_1 = 0,0247 - 0,0054 = 0,0193$.

Сравнивая это число съ таблицами легко видѣть, что $\gamma_1 = 1^\circ 10'$. Такимъ образомъ чтобы получить начало расширенія могущее измѣняться въ предѣлахъ отъ $\alpha'' = 30^\circ$ до $\alpha'' = 150^\circ$ нужно измѣнять γ отъ $1^\circ 10'$ до $5^\circ 40'$.

При этомъ наибольшее открытіе клапана будетъ измѣняться отъ $r-(b+l_1-a\cos\gamma_0)$ до $r-(b+l_1-a\cos\gamma_1)$ т.е. отъ $30-0,96=29,04$ до $30+2,43=32,43$.

Должно впрочемъ имѣть въ виду, что первый предѣлъ будетъ еще меньше, такъ какъ расширеніе стержня въ шатунномъ при $\alpha_0 = 30^\circ$ произойдетъ прежде, чѣмъ клапанъ достигнетъ наибольшаго открытія, а именно онъ закроется, когда достигнетъ высоты надъ седломъ равной:

$$30\cos(30^\circ+9^\circ 40'+5^\circ 40')-0,96=20,38\,\text{дм}.$$

Линейное опереженіе будетъ измѣняться отъ:

$20 \sin(15^\circ 20') - 0,96$ до $20 \sin(10^\circ 50') + 2,43$
или отъ . . . 6,97; до . . . 8,04.
Уголъ кривошипа съ мертвою точкою при которомъ начинается впускъ пара будетъ опредѣляться при $\gamma_0 = 5^\circ 40'$ уравненіемъ:

$$20 \sin(\alpha_0' + 9^\circ 40' + 5^\circ 40') = 0,96; \quad \alpha_0' = -16^\circ 10'.$$

а при $\gamma_1 = 1^\circ 10'$ уравненіемъ:

$$20 \sin(\alpha_1' + 9^\circ 40' + 1^\circ 10') = -2,43; \quad \alpha_1' = -15^\circ 50'.$$

Такимъ образомъ какъ видно и линейное опереженіе и положеніе кривошипа, при коемъ начинается впускъ пара, измѣняются весьма мало, и затѣмъ чтобы вопросъ можно было считать разрѣшеннымъ удовлетворительно нужно намъ только повѣрить существительно ли сдвиженіе имѣетъ мѣсто при крайнихъ величинахъ γ, какъ въ моментъ, когда происходитъ впускъ, такъ и въ мертвой точкѣ кривошипа и наконецъ при наибольшемъ открытіи клапана; эта послѣдняя повѣрка впрочемъ нужна только для наименьшаго γ, такъ какъ при наибольшемъ γ, какъ уже выше замѣчено сдвиженіе прекратится раньше чѣмъ клапанъ достигнетъ наибольшей высоты.

Съ цѣлію произвести означенную

повторяя всего удобнее прямо воспользоваться неравенствами (7), (9) и (12); въ нихъ $\frac{e_1}{e_2} = 40$ и за тѣмъ:

$$a \sin \gamma_0 = 640 \times 0{,}0988 = 63{,}232.$$
$$a \sin \gamma_1 = 640 \times 0{,}0193 = 12{,}352.$$
$$r \cos(\beta + \gamma_0) = 30 \times 0{,}9644 = 29{,}932.$$
$$r \cos(\beta + \gamma_1) = 30 \times 0{,}9822 = 29{,}466.$$
$$r \cos(\alpha_0' + \beta + \gamma_0) = 30 \times 0{,}9999 = 29{,}997.$$
$$r \cos(\alpha_1' + \beta + \gamma_1) = 30 \times 0{,}9962 = 29{,}886.$$
$$h_0 = 6{,}97.$$
$$h_1 = 8{,}07.$$
$$H_1 = 32{,}43.$$

Подставляя эти величины въ упомянутыя неравенства, получимъ:

$$-40 < 63{,}232 - 29{,}932 - \frac{48{,}57}{200} < 40.$$
$$-40 < 12{,}352 - 29{,}466 - \frac{65{,}12}{200} < 40.$$

$$-40 < 63{,}232 - 29{,}997 < 40.$$
$$-40 < 12{,}352 - 29{,}886 < 40.$$

$$-40 < 12{,}352 - \frac{104{,}97}{200} < 40.$$

Что очевидно справедливо, и слѣдовательно элементы распредѣлительнаго прибора найдены правильно.-

На основаніи предыдущаго легко разрѣшить графическимъ образомъ задачу о нахожденіи элементовъ распредѣлительнаго прибора. Для этой цѣли проводимъ линію мертвыхъ точекъ (фиг. 45 а), AOB, изъ центра O.

откладываемъ по ней линію $Oa = h$, равную линейному опереженію со стороны вуза и въ точкѣ a возстановляемъ перпендикуляръ, которой засѣкаемъ изъ центра O радіусомъ, равнымъ $H = r$, и зовемъ полученную точку g съ центромъ O, на прямой Og какъ на діаметрѣ строимъ окружность; касательная OD, къ этой окружности, проведенная черезъ центръ O, составитъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $\beta + \gamma$. Затѣмъ проводимъ по направленіе OE кривошипа, при которомъ должно начинаться расширеніе, когда машина идетъ своимъ нормальнымъ ходомъ; это направленіе можетъ упасть или между Og и OA или между Og и OB.

Въ первомъ случаѣ (фиг. 46а) eg представляетъ собою величину $r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma)$ продолжая eg въ сторону отъ e къ g и засѣкая на продолженной линіи точку K изъ O какъ изъ центра радіусомъ OK равнымъ R, и затѣмъ описывая радіусомъ OK изъ K какъ центра дугу Oe', мы получимъ, что:

$$e'g = r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) + \frac{x^2}{2R}$$

и такъ какъ эта величина на основаніи уравненія (9) должна рав-

няться:

$$a \sin\gamma - e\frac{l}{l_2}$$

то чтобы найти e остается только назначить величины a, γ, l и l_2.

Въ случаѣ если точка E упадетъ между C и B (фиг. 45 в), то построеніе измѣняется только въ томъ отношеніи, что длина

$$eg = -r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma)$$

и вслѣдствіе того для построенія линіи ee' которая была бы равна $-r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) - \frac{x^2}{2R}$, мы продолжаемъ прямую ge не въ сторону отъ e къ g, а напротивъ отъ g къ e, и засѣкая радіусомъ $OK = R$, описываемъ дугу Oe'; тогда:

$$e'g = -r\cos(\alpha'' + \beta + \gamma) - \frac{x^2}{2R}$$

а какъ эта величина на основаніи уравненія (9) должна равняться $e\frac{l}{l_2} - a\sin\gamma$, то опять выбравъ a, γ, l, l_2, можемъ изъ равенства:

$$e\frac{l}{l_2} - a\sin\gamma = e'g.$$

опредѣлить величину e.

Послѣ этаго построенія надо удостовѣриться въ томъ исполняются ли неравенства, которымъ долженъ удовлетворять распредѣлительный приборъ, и затѣмъ отыскавъ крайнія величины для γ, отвѣчающія наибольшему и наимень-

шему расширенію, повторить и для нихъ справедливость тѣмъ же неравенствъ. Вопросъ этотъ послѣ всего вышеобъясненнаго не представляетъ никакихъ затрудненій и мы на немъ останавливаться не будемъ.-

21. Въ тѣхъ случаяхъ, когда машина должна измѣнять направленіе своего движенія, необходимо имѣть средства быстро и удобно переставлять золотникъ ея, производящій распредѣленіе пара. Для этаго обыкновенно на главномъ валѣ машины закрѣпляютъ два эксцентрика, штанги которыхъ сочленяются съ концами особой полосы, по которой можетъ скользить головка стержня золотника; полоса эта, приводимая въ движеніе эксцентриками, черезъ посредство шатуновъ, съ своей стороны, сообщаетъ движеніе золотнику; она называется обыкновенно кулисою. Различныхъ системъ кулисъ очень много. Весьма употребительна кулиса Стефенсона, изображенная на фиг. 49. Она состоитъ изъ двухъ эксцентриковъ, закрѣпленныхъ на оси O; концы шатуновъ B, B, этихъ эксцентриковъ соединены посредствомъ шарнировъ съ особой дугой C, C, внутри которой помѣщенъ ползунъ R, представ-

Лит. Ф. Крамаръ. Пет. ст. с. Бронницкая д. 20.

лающій собою головку стержня золотника Г. Кулиса, посредствомъ тяги, направленной почти вертикально (С.Е) и хватающей или за конецъ дуги (какъ на чертежѣ), или за середину ея, - подвѣшена къ рычагу ХЕ, сидящему на особой неподвижной оси, и уравновѣшена противовѣсомъ Х. Рычагъ ХЕ, къ которому подвѣшена кулиса, приводится въ движеніе посредствомъ тяги FЭ, хватающейся за конецъ колѣна F рычага ХЕ. Другой конецъ этой тяги Э соединенъ съ рычагомъ ЭМ, находящимся въ рукахъ машиниста. Дѣйствуя на этотъ рычагъ, машинистъ можетъ установить кулису такъ, что ползунъ будетъ близъ одной или другой оконечности ея, или же въ произвольной промежуточной точкѣ. Если поставить механизмъ такимъ образомъ, чтобы центры обоихъ эксцентриковъ лежали по ту же сторону вала, по которую лежитъ и золотникъ, то шатуны эксцентриковъ или могутъ оставаться открытыми, или перекрещиваться.

Въ первомъ случаѣ получается кулиса съ открытыми, во второмъ съ перекрещенными шатунами. Кромѣ того, если поставить кривошипъ машины въ мертвую точку и если при этомъ

углы, составленные эксцентриситетами съ перпендикуляромъ къ направленію движенія долотника, равны между собою, то кулиса получаетъ названіе кулисы съ равными углами опереженія; если же углы не равны, то получается кулиса съ неравными углами опереженія. Разберемъ сначала кулису съ открытыми шатунами и равными углами опереженія.

Изъ самого устройства вышеописаннаго механизма видно, что преимущественное вліяніе на движеніе долотника оказываетъ одинъ или другой эксцентрикъ, смотря потому, какой конецъ кулисы лежитъ ближе къ направленію движенія долотника: тотъ, который сочлененъ съ первымъ, или тотъ, который сочлененъ со вторымъ эксцентрикомъ. Обозначимъ (фиг. 50.) черезъ b_1 длину стержня долотника (относительно головки стержня до середины долотника), черезъ b - длину шатуновъ эксцентриковъ, черезъ r ихъ эксцентриситетъ, черезъ β общій уголъ опереженія и черезъ $2c$ - длину кулисы; вообразимъ, что кривошипъ повернулся изъ мертвой точки N на уголъ α; при этомъ центры обоихъ эксцентриковъ повернулись на тотъ же уголъ и со-

ставляютъ съ перпендикуляромъ къ линіи мертвыхъ точекъ углы $\alpha+\beta$ и $\alpha-\beta$. Пусть при этомъ разстояніе точки въ которой находится головка стержня отъ середины кулисы, равно u. Сдѣлаемъ допущеніе, что когда, вслѣдствіе вращенія вала, кулиса колеблется, головка стержня, перемѣщаясь по направленію движенія долотника, прикасается къ кулисѣ постоянно въ одной и той же точкѣ ея, то есть находится отъ середины кулисы постоянно въ одномъ разстояніи u. Проводимъ хорду AB кулисы и, такъ какъ увидимъ впослѣдствіи, что кулиса должна быть описана радіусомъ, равнымъ длинѣ шатуновъ эксцентриковъ, слѣдовательно будетъ имѣть весьма большой радіусъ кривизны, то можно принять, что длина хорды AB равна длинѣ дуги AB или равна $2c$. Постараемся опредѣлить при этомъ произвольномъ положеніи кулисы и вала соотвѣтствующее положеніе середины долотника. Для этаго сначала въ зависимости отъ угла α, описаннаго валомъ, и разстоянія u ползуна (головки стержня) отъ середины кулисы, опредѣлимъ уголъ, составляемый хордою кулисы съ направленіемъ дви-

женія ползунка, а также и нѣкоторыя другія величины, которыя при дальнѣйшихъ вычисленіяхъ будутъ встрѣчаться. Изъ концевъ кулисы опускаемъ перпендикуляры BC и AD на направленіе движенія ползунка. Тогда, очевидно, получимъ:

$$\sin\delta = \frac{CE}{BE} = \frac{ED}{AE} = \frac{CE+ED}{BE+AE} = \frac{CD}{2c} = \frac{OD-OC}{2c},$$

но $OD = OM + MD = r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{AJ^2 - AN^2} =$

$$= r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{l^2 - (AD - JM)^2}.$$

А изъ чертежа видно, что

$$AD = AE.\cos\delta = (c-u)\cos\delta.$$

$$JM = r\cos(\alpha+\beta);$$

поэтому

$$OD = r\sin(\alpha+\beta) + \sqrt{l^2 - \left\{(c-u)\cos\delta - r\cos(\alpha+\beta)\right\}^2}$$

Такъ какъ уголъ δ весьма не великъ, то $\cos\delta$ можно принять равнымъ единицѣ; такъ какъ величины r и c очень не велики сравнительно съ l, то можно пренебречь частями $c-u$ и r, пропорціональными дробямъ $\left(\frac{c-u}{l}\right)^2$ и $\left(\frac{r}{l}\right)^2$; въ такомъ случаѣ будетъ:

$$OD = r\sin(\alpha+\beta) + l\left\{1 - \left[\frac{(c-u) - r\cos(\alpha+\beta)}{l}\right]^2\right\}^{\frac{1}{2}}$$

$$= r\sin(\alpha+\beta) + l - \frac{1}{2}\frac{(c-u)^2}{l} + \frac{(c-u)r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\alpha+\beta)}{l}$$

$$= l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} + \frac{cu}{l} + r\sin(\alpha+\beta) + \frac{(c-u)r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\alpha+\beta)}{l}$$

Точно такимъ же образомъ можно бы найдти OC; но длина этой линіи полу-

ченной изъ выраженія для OD, если перемѣнимъ (u) на (-u) и (α) на (-α); тогда будемъ:

$$OC = l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} - \frac{cu}{l} + r\sin(\beta-\alpha) + \frac{(c+u)r\cos(\beta-\alpha)}{l} - \frac{1}{2}\frac{r^2\cos^2(\beta-\alpha)}{l}$$

Отсюда:

$$CD = OD - OC = \frac{2cu}{l} + r\left\{\sin(\alpha+\beta) + \sin(\alpha-\beta)\right\} + \frac{rc}{l}\left\{\cos(\alpha+\beta) - \cos(\alpha-\beta)\right\} - \frac{ru}{l}\left\{\cos(\alpha+\beta) + \cos(\alpha-\beta)\right\} - \frac{r^2}{2l}\left\{\cos^2(\alpha+\beta) - \cos^2(\alpha-\beta)\right\}.$$

или:

$$CD = \frac{2cu}{l} + 2r\sin\alpha\cos\beta - \frac{2rc}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{2ru}{l}\cos\alpha\cos\beta + \frac{r^2}{2l}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}$$

а потому:

$$\sin\delta = \frac{CD}{2c} = \frac{u}{l} + \frac{r}{c}\sin\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{ru}{cl}\cos\alpha\cos\beta + \frac{r^2}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}.$$

Такимъ образомъ опредѣленъ уголъ, составляемый хордою кулисы съ направленіемъ движенія стержня. Теперь опредѣлимъ разстояніе OK центра вала отъ середины золотника при произвольномъ положеніи кривошипа. Разстояніе

$$OK = OC + CE + EL + LK.$$

LK есть длина стержня золотника (отъ головки стержня до середины золотника), и равна по принятому обозначенію l_1.

EL есть весьма малая величина, равная разстоянію между дугой кулисы, описан-

ной большимъ радіусомъ (который обозначимъ черезъ ρ) и хордой этой дуги.

Для вычисленія EL возстановимъ къ хордѣ въ ея серединѣ перпендикуляръ PQ, и изъ L проведемъ до пересѣченія съ нимъ въ S прямую, параллельную хордѣ. Очевидно PS будетъ проэкція EL на PQ и какъ уголъ между EL и PQ, очевидно равенъ δ, то, принимая согласно предыдущему $\cos\delta = 1$, получимъ:

$$EL = PQ - QS,$$

но

$$PQ = \frac{c^2}{2\rho - PQ} \text{ и } QS = \frac{u^2}{2\rho - QS}.$$

Или, такъ какъ PQ и QS очень малы сравнительно съ 2ρ, то можно принять:

$$PQ = \frac{c^2}{2\rho}; \text{ и } QS = \frac{u^2}{2\rho}.$$

Слѣдовательно:

$$EL = \frac{c^2 - u^2}{2\rho}.$$

Очевидно также что:

$$CE = (c+u)\sin\delta.$$

Замѣняя въ этомъ выраженіи $\sin\delta$ его величиною найдемъ:

$$CE = \frac{(c+u)u}{l} + \frac{(c+u)r}{c}\sin\alpha\cos\beta -$$

$$- \frac{(c+u)r}{l}\sin\alpha\sin\beta - \frac{(c+u)ur}{cl}\cos\alpha\cos\beta +$$

$$+ \frac{(c+u)r^2}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}.$$

Вставляя затѣмъ въ выраженіе OK полученныя значенія OC, CE, EL и LK,

найдемъ:

$$OK = l_1 + l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} - \frac{cu}{l} + \frac{c^2-u^2}{2\rho} + (c+u)\frac{u}{l} +$$

$$+ (c+u)r\left\{\frac{\sin\alpha\cos\beta}{c} - \frac{\sin\alpha\sin\beta}{l}\right\} -$$

$$- (c+u)r\left[\frac{u}{cl}\cos\alpha\cos\beta - \frac{r}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}\right] -$$

$$- r\sin(\alpha-\beta) + \frac{(c+u)r\cos(\alpha-\beta)}{l} - \frac{r^2}{2l}\cos^2(\alpha-\beta) =$$

$$= l_1 + l + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) + r\sin\beta\cos\alpha +$$

$$+ \frac{ur}{c}\sin\alpha\cos\beta + r\frac{c^2-u^2}{cl}\cos\alpha\cos\beta +$$

$$+ \frac{r^2}{4cl}\left\{(u-c)\cos^2(\alpha-\beta) - (u+c)\cos^2(\alpha+\beta)\right\} =$$

$$= l_1 + l + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) + \frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha +$$

$$+ \left\{r\sin\beta + \frac{r(c^2-u^2)}{cl}\cos\beta\right\}\cos\alpha -$$

$$- \frac{r^2}{4cl}\left\{(c-u)\cos^2(\alpha-\beta) + (c+u)\cos^2(\alpha+\beta)\right\}.$$

Съ помощью этой формулы предполагая въ ней сперва $\alpha = 0$, потомъ $\alpha = 180^\circ$, опредѣлимъ положеніе золотника сперва при одной, потомъ при другой мертвой точкѣ кривошипа. Вычисляя OK для угла $\alpha = 0^\circ$, получимъ:

$$OK' = l + l_1 + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) + r\sin\beta +$$

$$+ \frac{(c^2-u^2)}{cl}r.\cos\beta - \frac{r^2}{4cl}(2c.\cos^2\beta).$$

А подставляя $\alpha = 180^\circ$, получимъ:

$$OK'' = l + l_1 + (c^2-u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) - r\sin\beta -$$

$$- \left(\frac{c^2-u^2}{cl}\right)r\cos\beta - \frac{r^2}{4cl}\left\{2c\cos^2\beta\right\}.$$

Средняя арифметическая этих двух расстояний будет:

$$OK = l + l_1 + (c^2 - u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right) - \frac{r^2}{2l}\cos^2\beta.$$

Эта величина зависит от u, то есть от того, в какой точке кулисы стержень золотника на нее опирается; из этаго слѣдуетъ, что если золотник при одномъ положеніи кулисы одинаково перекрываетъ паровыя окна въ мертвыхъ точкахъ кривошипа, то при другихъ положеніяхъ кулисы это вообще не будетъ. Между тѣмъ вышесказанное условіе весьма важно, и чтобы ему удовлетворить, нужно - или устроить стержень золотника такимъ образомъ, чтобы онъ, вмѣстѣ съ измѣненіемъ положенія кулисы, могъ сокращаться и удлиняться, - или же выбрать элементы всего прибора такъ, чтобы OK не зависѣло отъ u. Но u входитъ только въ членъ:

$$(c^2 - u^2)\left(\frac{1}{2\rho} - \frac{1}{2l}\right),$$

и слѣдовательно, полагая $\rho = l$, мы достигнемъ того, что во всѣхъ положеніяхъ кулисы перекрыша праваго окна въ правой мертвой точкѣ будетъ одинакова съ перекрышею лѣваго окна въ лѣвой мертвой точкѣ; поэтому радіусъ закругленія кулисы долженъ равняться длинѣ шатуна эксцент-

рика. Принимая это и вычитая изъ OK, соотвѣтствующаго произвольному углу α, величину разстоянія средняго положенія золотника отъ центра вала, мы получимъ перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія, которое выразится черезъ

$$\frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha + r\left\{\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right\}\cos\alpha -$$

$$-\frac{r^2}{4cl}\left\{(c-u)\cos^2(\beta-\alpha)+(u+c)\cos^2(\beta+\alpha)-2c.\cos^2\beta\right\}$$

Послѣдній членъ этаго равенства при $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 180^\circ$ обращается въ 0, слѣдовательно въ самыхъ важныхъ для правильнаго распредѣленія пара точкахъ этотъ послѣдній членъ не имѣетъ никакого вліянія, а въ остальныхъ точкахъ имѣетъ значеніе весьма малое, и слѣдовательно при вычисленіи величины искомаго перемѣщенія золотника членъ этотъ можетъ быть отброшенъ. Назовемъ перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія черезъ x; значеніе выраженія $r.\left\{\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right\}$ черезъ A, и величину $\frac{ur}{c}\cos\beta$ черезъ B.

Тогда получимъ, отбрасывая послѣдній членъ

$$x = A.\cos\alpha + B.\sin\alpha,$$

гдѣ A и B зависятъ отъ угла опереженія β, длины l шатуна эксцентрика, эксцентриситета r, длины c ку-

лисы и такъ называемаго градуса расширенія u. Если распредѣлительный приборъ уже устроенъ, то β, l, r и c извѣстны, и какъ, установивъ кулису въ нѣкоторой опредѣленной точкѣ, будемъ знать также и градусъ расширенія u, то слѣдовательно для всякаго градуса расширенія намъ будутъ извѣстны вполнѣ оба коэффиціента A и B. Зная же эти величины, можно построить величину x, соотвѣтствующую какому угодно значенію α, слѣдующимъ образомъ: черезъ центръ вала (фиг. 51.) проведемъ прямую линію, соотвѣтствующую линіи мертвыхъ точекъ кривошипа. На этой линіи отъ центра отложимъ длину $OZ = A$ и изъ конца ея возставимъ перпендикуляръ, на которомъ отложимъ длину $ZY = B$. Соединимъ Y съ O и на полученной прямой OY, какъ на діаметрѣ, опишемъ окружность. За тѣмъ проведемъ подъ угломъ α произвольное направленіе кривошипа OX; длина этой прямой до пересѣченія съ описанною окружностью будетъ:

$$A.\cos\alpha + B.\sin\alpha,$$

какъ въ томъ легко убѣдиться на основаніи теоремы о суммѣ проэкцій сторонъ замкнутаго многоуголь-

ника, а слѣдовательно эта длина представитъ перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія, соотвѣтствующее углу α, вращенія кривошипа.

Такимъ образомъ перемѣщеніе золотника, управляемаго кулисою, находится очень простымъ построеніемъ, одинаковымъ съ тѣмъ, которое было найдено для простаго эксцентрика. Если за тѣмъ опишемъ изъ того же центра O двѣ окружности радіусами, равными наружной и внутренней перекрышѣ, то точно также, какъ прежде, найдемъ величины впускнаго и выпускнаго оконъ, соотвѣтствующія какому угодно положенію кривошипа.

Замѣтимъ, что діаграмма, опредѣляющая собою распредѣленіе пара посредствомъ кулисы Стефенсона, совпадетъ съ діаграммою, опредѣляющею распредѣленіе пара, производимое, простымъ эксцентрикомъ, коего эксцентриситетъ

$$r' = \sqrt{A^2 + B^2},$$

а уголъ отклоненія есть $\operatorname{arc.tg} \frac{A}{B}$. Слѣдовательно распредѣленіе пара кулисою совершается точно также, какъ и помощью простого эксцентрика. Разница состоитъ только въ томъ, что при обыкновенномъ эксцен-

рихъ мы не имѣемъ возможности измѣнять ни эксцентриситетъ, ни уголъ опереженія эксцентрика; кулиса же представляетъ для этаго весьма удобное средство, такъ какъ она замѣняетъ эксцентрикъ, коего эксцентриситетъ ($r' = \sqrt{A^2+B^2}$) и уголъ опереженія ($\operatorname{arctg}\frac{A}{B}$) зависитъ отъ разстоянія u, которое машинистъ можетъ измѣнить по произволу.

22. Весьма замѣчательное распредѣленіе пара, получается въ томъ случаѣ, когда кулиса поставлена въ мертвую точку, т. е. когда $u = 0$; тогда $B = 0$ и слѣдовательно центръ круга діаграммъ лежитъ на линіи мертвыхъ точекъ кривошипа. Въ этомъ случаѣ распредѣленіе пара совершается такъ, какъ это показываетъ чертежъ (фиг. 52), изъ котораго видно, что какъ въ правой, такъ и въ лѣвой части цилиндра поршень идетъ на встрѣчу входящему пару такое же пространство, какое онъ проходитъ подъ полнымъ давленіемъ, что паръ расширяется на весьма маломъ пространствѣ ($\angle BOC$) и сжимается на точно такомъ же пространствѣ; поэтому работа, доставляемая паромъ, дѣйствующимъ при полномъ давленіи

есть нуль, и слѣдовательно въ продолженіи всего оборота въ правой части цилиндра производится лишь весьма малая работа, соотвѣтствующая избытку работы пара, расширяющагося въ то время, когда кривошипъ описываетъ уголъ BOC при начальномъ давленіи, равномъ давленію въ котлѣ,— надъ работою пара, сжимающагося въ то время, когда кривошипъ описываетъ уголъ C'OB' при начальномъ давленіи, равномъ давленію атмосферы. Этотъ избытокъ работы, весьма незначителенъ и совершенно недостаточенъ для того, чтобы сообщить машинѣ движеніе. Поэтому машина, въ которой кулиса поставлена на мертвую точку, начинаетъ быстро замедлять свое движеніе, не смотря на то, что во время этого замедленнаго движенія распредѣленіе пара продолжается, слѣдовательно мертвая точка кулисы можетъ быть употребляема для остановки машинъ, снабженныхъ распредѣленіемъ помощью кулисъ.

Также весьма замѣчательное распредѣленіе пара получается въ томъ случаѣ, когда крайнія точки A и B кулисы придутъ на линію

стержня золотника, т. е. когда $u = \pm c$.
Тогда:

$$A = r \sin\beta, \text{ и } B = \pm r \cos\beta.$$

Очевидно, что распредѣленіе пара будетъ такого, какъ будто бы одного изъ эксцентриковъ вовсе и не существовало, а распредѣленіе пара производилось прямо тѣмъ эксцентрикомъ, къ шарнирному которого подвинута головка стержня золотника.

23. Мы нашли, что при кулисѣ Стефенсона со двумя эксцентриками

$$x = r\left\{\sin\beta + \frac{c^2 - u^2}{cl}\cos\beta\right\}\cos\alpha + \frac{ur}{c}\cos\beta . \sin\alpha \ldots (1.)$$

(гдѣ u есть, по прежнему, разстояніе средней точки кулисы до того мѣста ея, гдѣ въ настоящее время находится головка стержня золотника).

Мы покажемъ также графическій способъ построенія величины x и нахожденія распредѣленія пара въ данномъ положеніи кулисы.

Линейное опереженіе со стороны впуска или величина впускныхъ оконъ въ то время, когда поршень находится въ мертвой точкѣ, получается изъ найденной величины x, полагая въ ней уголъ $\alpha = 0$, и отнимая отъ полученнаго значенія x величину наружной перекрыши. Поэтому линей-

ное опереженіе будетъ равно

$$r\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cdot\cos\beta\right) - a.$$

Это линейное опереженіе зависитъ отъ u, то есть отъ того, какая точка кулисы находится въ соприкосновеніи съ головкою опережнаго золотника.

Если u уменьшается, то опереженіе увеличивается и при $u=0$ опереженіе будетъ maximum, а при $u=c$ опереженіе будетъ minimum. Наибольшая величина опереженія есть:

$$r\left(\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right) - a;$$

а наименьшая его величина равна:

$$r\sin\beta - a.$$

Разность между ними, равная $\frac{rc}{l}\cos\beta$, показываетъ намъ степень измѣняемости линейнаго опереженія. Эта измѣняемость считается въ практикѣ недостаткомъ кулисы Стефенсона. Для уменьшенія ея есть простое средство, состоящее въ томъ, чтобы сдѣлать углы опереженія обоихъ эксцентриковъ неравными. Разсмотримъ же теперь устройство кулисы съ неравными углами опереженія, изъ коихъ одинъ большій назовемъ черезъ δ, а другой - меньшій черезъ ε; назовемъ полусуммы этихъ угловъ черезъ β и полуразность

черезъ γ; въ такомъ случаѣ очевидно будетъ:

$$\delta = \beta + \gamma.$$
$$\varepsilon = \beta - \gamma.$$

Представивъ подъ этимъ видомъ углы опереженія, легко замѣчаемъ, что углы составляемые эксцентриками съ перпендикуляромъ къ направленію движенія золотника будутъ между собою равны не при мертвой точкѣ поршня, а тогда, когда кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $= -\gamma$, а потому и выйдетъ, что опредѣленное нами перемѣщеніе золотника x будетъ соотвѣтствовать углу кривошипа съ линіею мертвыхъ точекъ поршня, равному не α, но $\alpha - \gamma$, такъ что въ ту пору, какъ кривошипъ составляетъ съ линіею мертвыхъ точекъ уголъ $\alpha - \gamma$, золотникъ отстоитъ отъ своего средняго положенія въ разстояніи

$$x = A\cos\alpha + B\sin\alpha,$$

а когда кривошипъ составляетъ съ направленіемъ линіи мертвыхъ точекъ уголъ α, то разстояніе золотника отъ средняго положенія будетъ:

$$A\cos(\alpha+\gamma) + B\sin(\alpha+\gamma),$$

Лит. К. Кремеръ. Пет. ст. Б. Гребецкая ул. 22.

гдѣ γ есть полуразность угловъ опереженія обоихъ эксцентриковъ. Только что найденное выраженіе перемѣщенія даетъ, при $\alpha=0$.

$$x = A\cos\gamma + B\sin\gamma - a,$$

а потому величина линейнаго опереженія будетъ:

$$A\cos\gamma + B\sin\gamma - a.$$

Вставляя сюда вмѣсто A и B ихъ значенія, найдемъ, что наше линейное опереженіе будетъ:

$$r\left\{\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right)\cos\gamma + \frac{u}{c}\cos\beta\sin\gamma\right\} - a$$

$$= r\left\{\left(\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right)\cos\gamma + \frac{u}{c}\left(\cos\beta\sin\gamma - \frac{u}{l}\cos\beta\cos\gamma\right)\right\} - a$$

Перемѣнный членъ этаго выраженія есть:

$$\frac{ru}{c}\cos\beta\left\{\sin\gamma - \frac{u}{l}\cos\gamma\right\},$$

и слѣдовательно, чтобы линейное опереженіе измѣнялось по возможности мало, нужно выбрать для γ такое значеніе, чтобы величины этаго перемѣннаго члена, отвѣчающія разнымъ значеніямъ u, были, по возможности близки между собою. Но какъ при $u=0$. весь разсматриваемый членъ обращается въ нуль, то значитъ нужно выбрать такое γ, чтобы и при другихъ значеніяхъ u, членъ этотъ возможно мало разнился отъ нуля. Чтобы достигнуть этого мы возьмемъ такое γ, чтобы при наибольшемъ

значенія и членъ этотъ былъ нуль. Называя черезъ c_1 наибольшее значеніе для u, получимъ, на основаніи этаго, что уголъ γ долженъ удовлетворять условію

$$\sin\gamma - \frac{c_1}{l}\cos\gamma = 0,$$

или

$$tg\,\gamma = \frac{c_1}{l}.$$

Если $c_1 = c$, т. е. если кулиса устроена такъ, что головка стержня можетъ стать прямо противъ шапуна эксцентрика, то $tang\,\gamma = \frac{c}{l}$ и слѣдовательно $\sin\gamma = \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}$ и $\cos\gamma = \frac{l}{\sqrt{c^2+l^2}}$. Принимая это значеніе для γ, мы получимъ перемѣнный членъ въ такомъ видѣ:

$$\frac{ru\cos\beta}{c} \cdot \frac{c-u}{\sqrt{c^2+l^2}}$$

Вычисляя значеніе его для 0, 1, 2, 3, 4 градуса, то есть для $u = 0, \frac{c}{4}, \frac{2c}{4}, \frac{3c}{4}, \frac{4c}{4}$ мы найдемъ, что соотвѣтствующія значенія этаго перемѣннаго члена будутъ

Значенія u.	Значенія перемѣннаго члена линейнаго опрѣленія
0.	0.
$\frac{c}{4}$.	$\frac{3}{16} \cdot \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}} \cdot r\cos\beta$.
$\frac{2c}{4}$.	$\frac{4}{16} \cdot \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}} \cdot r\cos\beta$
$\frac{3c}{4}$.	$\frac{3}{16} \cdot \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}} \cdot r\cos\beta$
$\frac{4c}{4}$.	0.

Между тѣмъ при $\gamma = 0$ перемѣнный членъ есть $\frac{ru^2}{c}\cos\beta$, и его значеніе при

тѣхъ же градусахъ кулисы будетъ:

Значенія u.	Значенія перемѣннаго члена линейнаго опереженія
0.	0.
$\frac{c}{4}$.	$\frac{1}{16} \cdot \frac{rc}{l} \cos\beta$.
$\frac{2c}{4}$.	$\frac{4}{16} \cdot \frac{rc}{l} \cos\beta$.
$\frac{3c}{4}$.	$\frac{9}{16} \cdot \frac{rc}{l} \cos\beta$.
c.	$\frac{16}{16} \cdot \frac{rc}{l} \cos\beta$.

Наибольшая величина перемѣннаго члена при неравныхъ углахъ опереженія равна $\frac{4}{16} \cdot \frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}} \cdot r. \cos\beta$, и при равныхъ углахъ равна $\frac{16}{16} \cdot \frac{c}{l} r. \cos\beta$, то есть измѣняемость перемѣннаго члена въ первомъ случаѣ слишкомъ въ четверо меньше, чѣмъ во второмъ. Все это справедливо для 1º, 2º, 3º и 4º кулисы; но посмотримъ, что будетъ дѣлаться съ линейнымъ опереженіемъ при заднемъ ходѣ, то есть при −1º, −2º, −3º и −4º; тамъ мы увидимъ, что измѣняемость опереженія при неравныхъ углахъ опереженія гораздо больше, чѣмъ при равныхъ, а именно: такъ какъ при переходѣ къ заднему ходу, u измѣняетъ свой знакъ, то подставляя −u вмѣсто u, получимъ перемѣнный членъ для задняго хода въ такомъ видѣ:

$$= \frac{-ur}{c} \cdot \cos\beta \left(\sin\gamma + \frac{u}{l} \cos\gamma\right),$$

что, при $\tan\gamma = \frac{c}{l}$, будетъ

$$= \frac{-w}{r}\cos\beta.\left(\frac{c+u}{\sqrt{c^2+l^2}}\right).$$

Вставляя здѣсь послѣдовательно $0, \frac{c}{4}, \frac{2c}{4}, \frac{3c}{4}, \frac{4c}{4}$ на мѣсто u, найдемъ значеніе этаго члена для задняго хода при неравныхъ углахъ опереженія. Они будутъ:

Значенія u.	Значенія перемѣннаго члена линейнаго опереженія.
0.	0.
$\frac{c}{4}$.	$\frac{5}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}\cdot r.\cos\beta$.
$\frac{2c}{4}$.	$\frac{12}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}\cdot r.\cos\beta$.
$\frac{3c}{4}$.	$\frac{21}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}\cdot r.\cos\beta$.
$\frac{4c}{4}$.	$\frac{32}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}\cdot r.\cos\beta$.

Здѣсь степень измѣняемости линейнаго опереженія выражается черезъ: $\frac{32}{16}\cdot\frac{c}{\sqrt{c^2+l^2}}\, r.\cos\beta$, то есть она при заднемъ ходѣ въ восемь разъ больше, чѣмъ при переднемъ, и почти вдвое больше, чѣмъ при равныхъ углахъ опереженія. Это невыгодное для задняго хода машинъ обстоятельство не особенно важно для тѣхъ машинъ, въ которыхъ задній ходъ употребляется въ исключительныхъ случаяхъ, а потому, если отъ неправильности распредѣленія при заднемъ

ходъ въ нѣмъ и испрашивается нѣсколько больше топлива, то это не составляетъ большой потери, лишь бы при переднемъ ходѣ величина линейнаго опереженія была постоянна. Поэтому обыкновенно въ такихъ машинахъ углы опереженія дѣлаются неравными, и уголъ опереженія эксцентрика передняго хода дѣлается больше на величину 2ρ, гдѣ ρ опредѣляется условіемъ, что его тангенсъ равенъ половинной длинѣ кулисы, дѣленной на длину шатуна эксцентрика. Другой способъ уменьшить измѣняемость перемѣннаго члена состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать кулису по возможности короткою, а длину шатуна по возможности большою. Въ самомъ дѣлѣ мы можемъ представить перемѣнный членъ въ кулисѣ въ такомъ видѣ:

$$\cos\beta\,\frac{u}{c}\cdot\left(\frac{u}{c}\right) = \cos\beta\left(\frac{u}{c}\right)^2\cdot\left(\frac{c}{c}\right).$$

здѣсь членъ $\frac{u}{c}$ измѣняется отъ 0 до 1. и уменьшить его мы не можемъ, слѣдовательно, чтобы уменьшить измѣненіе всего этаго члена, нужно сократить увеличивая l. и уменьшая c.

24. Отсюда разсматривая распредѣленіе пара въ различныхъ положеніяхъ кулисы, мы видимъ, что:

$$x = r\left(\sin\beta + \frac{c^2-u^2}{cl}\cos\beta\right)\cos\alpha + \frac{ur}{c}\cos\beta\sin\alpha =$$

$$= A\cos\alpha + B\sin\alpha.$$

Поставимъ кулису въ мертвую точку, т. е. положимъ, что $u=0$; тогда $B=0$. На чертежѣ это выражается такимъ образомъ (такъ какъ $B=0$.), что окружность діаграммы имѣетъ свой центръ на линіи мертвыхъ точекъ кривошипа и распредѣленіе пара происходитъ совершенно такимъ же образомъ, какъ будто эксцентриситетъ эксцентрика по направленію совпадалъ съ кривошипомъ поршня.

Вмѣстѣ съ измѣненіемъ величины u измѣняются также величины A и B, а какъ координаты центра круга діаграммы суть $\frac{A}{2}$ и $\frac{B}{2}$, то значитъ вмѣстѣ съ измѣненіемъ u измѣняется и положеніе центра этаго круга, чтобы ясно представить себѣ законъ этаго измѣненія, вспомнимъ, что при $u=0$ координаты центра круга діаграммы суть:

$$x' = \frac{r}{2}\left(\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right);\quad y' = 0;$$

перенесемъ въ эту точку начало координатъ, и обозначимъ черезъ ξ, η координаты центра круга діаграммы, отнесенныя къ новому началу и со-

отвѣтствующія произвольной величинѣ u; тогда:

$$\xi = \frac{A}{2} - x'; \quad \eta = \frac{B}{2};$$

Вставляя сюда вмѣсто A, B, x' ихъ найденныя значенія, получимъ:

$$\xi = -\frac{ru^2}{2lc}\cos\beta; \quad \eta = \frac{ur}{2c}\cos\beta;$$

выключая отсюда u, находимъ уравненіе кривой, которая представляетъ геометрическое мѣсто, занимаемое центрами круговъ діаграммы при различныхъ значеніяхъ u. въ такомъ видѣ:

$$\eta^2 = -\frac{rl.\cos\beta}{2c}.\xi,$$

а отсюда видимъ, что величина ξ можетъ быть только отрицательною, и кривая, изображающая послѣдовательныя положенія центра вспомогательнаго круга, есть парабола, обращенная вогнутостью къ центру круга, изображающаго движеніе кривошипа.

24. Теперь остается рѣшить еще одинъ вопросъ, относящійся къ кулисѣ Стефенсона и состоящій въ томъ: какимъ образомъ нужно подвѣсить эту кулису, чтобы, по крайней мѣрѣ, весьма приблизительно, исполнилось предположеніе, служащее основаніемъ ея теоріи и состоящее въ томъ,

что вальцы и отъ d вовсе не зависитъ, то есть, что если мы поставимъ кулису такъ, что она, при одномъ положеніи кривошипа, прикасается въ головкѣ стержня золотника на разстояніи и отъ середины кулисы, то эта головка останется на томъ же разстояніи и отъ этой середины во все время вращенія вала. Чтобы это было исполнено, очевидно необходимо, чтобы точка кулисы, въ которой прикасается къ ней головка стержня, двигалась по направленію стержня; въ чемъ приблизиться по возможности къ выполненію этаго условія, нужно подвѣсить кулису такъ, чтобы по крайней мѣрѣ точка, за которую она подвѣшена, двигалась какъ можно ближе къ прямой, изъ, лежащей направленіи стержня. Но кулису можно подвѣсить только тремя образомъ, чтобы она висѣла на одномъ полномъ рычагѣ, другое полное колѣно которое соединяется съ рычагомъ, находящимся подъ рукою машиниста, слѣдовательно кулиса при каждомъ изъ различныхъ градусовъ расширенія будетъ подвѣшена въ неизмѣнной точкѣ. Поэтому точка подвѣса въ какомъ случаѣ не будетъ

двигаться по прямой, а станетъ описывать дугу круга, и слѣдовательно остается подвѣсить кулису по крайней мѣрѣ такъ, чтобы хорды, проведенныя черезъ концы дугъ, описываемыхъ точкою привѣса кулисы при разныхъ ея градусахъ, были всѣ параллельны между собою и параллельны направленію стержня золотника. По этому центръ вращенія тяги, подвѣшивающей кулису, долженъ быть расположенъ на перпендикулярѣ къ стержню золотника, проходящемъ черезъ положеніе, занимаемое точкою привѣса кулисы въ среднемъ ея положеніи. Сверхъ того, чтобы дуга, описываемая кулисою, какъ можно менѣе разнилась отъ прямой, параллельной направленію движенія стержня необходимо, чтобы подвѣшивающая тяга была, по возможности длинной. Чтобы выполнить эти условія нужно сначала отыскать положенія а. и в. (фиг. 53.) занимаемыя точкою, за которую привѣшена кулиса при одной и при другой мертвой точкѣ кривошипа; прямую ав сдѣлать параллельною стержню золотника, изъ середины ея возставить перпендикуляръ и центръ

вращенія тяги расположить на этомъ перпендикулярѣ въ возможно удаленномъ разстояніи отъ стержня золотника. Чтобы отыскать положенія точки привѣса кулисы при мертвыхъ точкахъ поршня, положимъ, что кулиса подвѣшена за свою середину и найдемъ абсциссу точки подвѣса, то есть ея разстояніе отъ центра валя (линія OK) (фиг. 54) при произвольномъ направленіи кривошипа

$$OK = OD - DK,$$

гдѣ, по вышенайденному:

$$OD = r.\sin(\alpha+\beta) + l - \frac{c^2}{2l} - \frac{u^2}{2l} + \frac{cu}{l} +$$

$$+ \frac{(c-u).r\cos(\alpha+\beta)}{l} - \frac{r^2}{2l}\cdot\cos^2(\alpha+\beta),$$

а

$$DK = ED + EK = AE.\sin\delta + EJ\sin\delta =$$

$$= AJ.\sin\delta = c\sin\delta.$$

Но

$$\sin\delta = \frac{u}{l} + \frac{r}{c}\cdot\sin\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\sin\beta\sin\alpha -$$

$$- \frac{ur}{cl}\cdot\cos\beta\cos\alpha + \frac{r^2}{4cl}\left\{\cos^2(\alpha-\beta) - \cos^2(\alpha+\beta)\right\}.$$

Подставляя это въ выраженіе для DK, получимъ (сокративши и пренебрегши членами, пропорціональными $\frac{r^2}{2l}$).

$$OK = r\sin\alpha.\cos\beta + \frac{cr}{l}\cos\beta\cos\alpha +$$

$$+ \frac{ur}{l}\sin\beta\sin\alpha + l - \frac{c^2+u^2}{2l}.$$

Это есть величина абсциссы точки привѣса при какомъ угодно углѣ α.

Чтобы найти абсциссы точки привѣса при одной и другой мертвой точкѣ кривошипа, подставимъ сюда вмѣсто α значенія 0° и 180°. Полагая $\alpha = 0$ получимъ

$$OK' = r\sin\beta + \frac{cr}{l}\cos\beta + l - \frac{c^2+u^2}{2l}.$$

А подставляя вмѣсто α — 180°, получимъ:

$$OK'' = -r\sin\beta - \frac{rc}{l}\cos\beta + l - \frac{c^2+u^2}{2l}.$$

Средняя ариѳметическая этихъ значеній представитъ собою абсциссу точки привѣса кулисы въ серединѣ ея размаха. Эта абсцисса будетъ:

$$x' = l - \frac{c^2+u^2}{2l}.$$

Если мы расположимъ центръ вращенія тяги на перпендикулярѣ, проходящемъ черезъ точку имѣющую эту абсциссу, то точка привѣса кулисы будетъ катиться по дугѣ, которой хорда параллельна направленію стержня; если при томъ эту тягу сдѣлаемъ столь длинною, какъ только это возможно, то условіе правильной подвѣски кулисы будетъ исполнено для того градуса расширенія, коему соотвѣтствуетъ величина u. Если назовемъ черезъ l' длину тяги, подвѣшивающей кулису, то высота точки вращенія надъ стержнемъ золотника будетъ оче-

видно $l' = u\cos\varepsilon$, гдѣ ε есть уголъ кулисы съ перпендикуляромъ къ направленію стержня золотника при среднемъ положеніи кулисы; принимая, какъ прежде $\cos\varepsilon = 1$, получимъ, что ордината центра вращенія есть $l' - u$; абсцисса этаго центра, по предъидущему, равна $l - \frac{c^2+u^2}{2l}$.

Такимъ образомъ опредѣлится центръ вращенія тяги, подвѣшивающей кулисы, для каждаго значенія u; вмѣстѣ съ измѣненіемъ u должны измѣняться и координаты центра вращенія. При $u=0$ эти координаты будутъ:

$$x_0' = l - \frac{c^2}{2l}; \quad y_0' = l'.$$

Обозначая черезъ x' и y' координаты того же центра при всякомъ другомъ значеніи u, перенося начало координатъ въ точку x_0' y_0' и называя координаты центра вращенія, отнесенныя къ новому началу черезъ ξ и η, получимъ:

$$\xi = x' - x_0' = -\frac{u^2}{2l}$$
$$\eta = y' - y_0' = -u,$$

откуда

$$\frac{\eta^2}{2l} = \frac{u^2}{2l} = -\xi$$

или

$$\eta^2 = -2l\xi.$$

Но есть центръ вращенія тяги, подвѣшивающей кулису при измѣненіи u

долженъ описывать параболу, коей параметръ равенъ удвоенной длинѣ шатуна.

Но мы подвѣсивъ нашу кулису такимъ образомъ, что подвѣшивающая точка описываетъ не параболу, а окружность, по этому желательно чтобы эта окружность имѣла радіусъ, по возможности, близкій къ радіусу кривизны параболы въ ея вершинѣ. А такъ какъ радіусъ кривизны нашей параболы равняется $\frac{b}{2}$, то плечо рычага, къ коему подвѣшена кулиса должно по длинѣ равняться шатуну эксцентрика.

Это условіе трудно возможно исполнить, такъ какъ рычагъ выходитъ уже слишкомъ длиненъ. Въ такомъ случаѣ дѣлаютъ плечо рычага для подвѣса кулисы гораздо короче, не смотря на то, что это влечетъ за собою нѣкоторую неправильность въ распредѣленіи пара и слѣдовательно увеличеніе расхода топлива.

Въ подобныхъ случаяхъ надо, рычагъ, къ коему подвѣшивается кулиса, сдѣлать возможно близкимъ къ длинѣ шатуна и для этаго можно поступить слѣдующимъ образомъ. Возьмемъ длину подвѣшивающей

тяги сообразно съ мѣстными условіями, найдемъ правильное положеніе центра вращенія этой тяги для мертвой точки кулисы и ея двухъ послѣднихъ градусовъ. Пусть эти точки будутъ A, B, C; если черезъ эти точки невозможно провести окружность, центръ которой удобно бы было укрѣпить, то передвигаемъ B и C параллельно направленію стержня въ B' и C' до тѣхъ поръ, пока не получимъ возможности провести черезъ A, B' и C' окружность, которой центръ укрѣпляется безъ затрудненій. Тогда B' и C' представляютъ крайнія положенія того конца рычага, къ коему подвѣшена тяга. По этимъ положеніямъ и нужно сдѣлать зубья на дугѣ, находящейся при рычагѣ, коимъ управляетъ машинистъ. Замѣтимъ, что ни въ какомъ случаѣ не слѣдуетъ для удобства установки измѣнять положеніе точки A, соотвѣтствующей мертвой точкѣ кулисы, иначе можетъ случиться, что при мертвой своей точкѣ кулиса будетъ распредѣлять паръ такъ, что онъ будетъ продолжать работать и машину нельзя будетъ остановить черезъ постановку кулисы въ мертвую точку.

Буквально тоже самое разсужденіе прилагается и къ тому случаю, когда кулиса подвѣшена въ нижней точкѣ, а не въ серединѣ.

25. Чтобы перейти къ кулисѣ съ перекрещивающимися шатунами, нужно употребить слѣдующее правило: возьмемъ двѣ кулисы, изъ коихъ одна съ перекрещивающимися шатунами (фиг. 55.) A, а другая съ неперекрещивающимися B. Первое положеніе кулисы, т.е. A, можно получить изъ второго, т.е. B, перевернувъ кулису (B) на 180 градусовъ, около линіи мертвыхъ точекъ, и такъ какъ при этомъ c удлаяется равнымъ -c, то подставивъ это значеніе во всѣ прежде выведенныя нами формулы, мы можемъ примѣнить ихъ и къ этому новому случаю, такъ что особыхъ какихъ либо выводовъ при домъ не вспрѣтится.

26. Кулиса Гука обращена выпуклостью къ центру вала и привѣшена къ неподвижной точкѣ (фиг. 56.). Стержень золотника оканчивается шатуномъ, головка котораго скользитъ внутри кулисы, и шатунъ домъ подвѣшенъ тягою a къ рычагу, могущему вращаться около неподвижной

точки т. Такимъ образомъ, чтобы перевести золотника изъ одного положенія въ другое, мы передвигаемъ уже не самую кулису (которая въ настоящемъ случаѣ подвѣшена къ неподвижной точкѣ и перемѣщаться не можетъ), а шатунъ стержня, который у насъ подвѣшенъ, такъ его, приводя головку этаго шатуна въ прикосновеніе съ различными точками кулисы, мы можемъ сообщить нашему золотнику то, или другое движеніе. Чтобы сдѣлать нужное вычисленіе, допустимъ (какъ это приблизительно и бываетъ), что кулиса подвѣшена за средняго точку своей хорды и воспользуемся тѣми данными, которыя мы имѣли уже раньше. Сначала опредѣлимъ уголъ δ. Уголъ этотъ мы опредѣлили прежде въ томъ предположеніи, что на направленіи движенія стержня лежитъ произвольная точка кулисы; а такъ какъ въ настоящемъ случаѣ на направленіи движенія стержня золотника постоянно находится средняя точка кулисы, то выраженіе для δ здѣсь будетъ проще и для опредѣленія его слѣдуетъ только въ прежде выведенномъ

нами выраженіи для δ положить $u=0$. Такимъ образомъ получимъ, отбрасывая членъ, пропорціональный $\frac{r^2}{2l}$:

$$\sin\delta = \frac{r}{c}\sin\alpha\cos\beta - \frac{r}{l}\sin\beta\sin\alpha.$$

Главный вопросъ и здѣсь точно также какъ въ кулисѣ Стефенсона состоитъ въ томъ, чтобы опредѣлить разстояніе между положеніемъ золотника, соотвѣтствующимъ какому угодно положенію кривошипа и среднимъ положеніемъ золотника. Опуская перпендикуляры dD, fF и eE, получимъ, что длина

$$OB = OG + GD - DE - EF + FC + CB.$$

Выражая всѣ входящія сюда величины посредствомъ угла вращенія кривошипа и элементовъ распредѣлительнаго прибора, найдемъ:

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

гдѣ r. есть эксцентриситетъ эксцентрика,

$$GD = \sqrt{l^2 - \{c.\cos\delta - r.\cos(\beta+\alpha)\}^2}$$

Полагая здѣсь $\cos\delta = 1$, и сохраняя только первыя два члена развертыванія корня квадратнаго получимъ:

$$GD = l - \frac{1}{2}\left(\frac{c - r.\cos(\alpha+\beta)}{l}\right)^2.$$

Или преобразовывая и отбрасывая членъ, пропорціональный $\frac{r^2}{l}$, получимъ:

$$GD = l - \frac{c^2}{2l} + \frac{cr.\cos(\beta+\alpha)}{l} =$$

$$= l - \frac{c^2}{2l} + \frac{cr}{l}\cos\beta.\cos\alpha - \frac{cr}{l}\sin\beta\sin\alpha;$$

$$DE = (c-u)\sin\delta = r\sin\alpha\cos\beta - \frac{ur}{c}\sin\alpha\cos\beta -$$
$$- \frac{cr}{l}\sin\alpha\sin\beta + \frac{ru}{l}\sin\alpha\sin\beta.$$

Да и если только радіусъ дуги, которымъ описана кулиса, достаточно великъ, то EF можно считать равнымъ ef, а ef (какъ и въ кулисѣ Стефенсона) $= \frac{c^2-u^2}{2\rho}$ (гдѣ ρ есть радіусъ кулисы).

И такъ:

$$EF = \frac{c^2-u^2}{2\rho}.$$

5.) Называя fc черезъ l', получимъ:

$$FC = \sqrt{l'^2-(FF)^2}.$$

Но FF можно принять равнымъ разстоянію между головкою шатуна подвѣшивающаго золотника и срединою кулисы, то есть положить $FF = u$. Тогда будетъ:

$$FC = \sqrt{l'^2-u^2} = l' - \frac{u^2}{2l'}.$$

Если за симъ длину стержня золотника OB означимъ черезъ l'', то вставляя всѣ найденныя величины въ выраженіе для OB (послѣ сокращеній) будемъ имѣть:

$$OB = r\sin\beta\cos\alpha + \frac{cr}{l}\cos\beta\cos\alpha + \frac{ur}{c}\sin\alpha\left(\cos\beta - \frac{c}{l}\sin\beta\right) +$$
$$+ l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'} - \frac{c^2}{2\rho}.$$

Полагая, что $\alpha = 0$, получимъ для одной изъ мертвыхъ точекъ:

$$OB' = r\left\{\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right\} + l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}.$$

А полагая $\alpha = 180^\circ$, получимъ для другой мертвой точки:

$$OB'' = -r\left\{\sin\beta + \frac{c}{l}\cos\beta\right\} + l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}.$$

Средняя арифметическая этихъ двухъ разстояній будетъ:

$$OB''' = l + l' + l'' - \frac{c^2}{2l} - \frac{c^2}{2\rho} + \frac{u^2}{2\rho} - \frac{u^2}{2l'}.$$

Изъ этаго выраженія завнящаго отъ u, видимъ, что если не примемъ особыхъ мѣръ, то вообще положеніе золотника при лѣвой мертвой точкѣ поршня относительно лѣваго окна не будетъ одинаково съ его положеніемъ относительно праваго окна при правой мертвой точкѣ поршня, но этого, какъ уже знаемъ, допустить нельзя и слѣдовательно нужно выбрать размѣры распредѣлительнаго механизма такъ чтобы OB''' отъ u не зависѣло. Для этого достаточно положить $l' = \rho$, т.е. взять радіусъ кулисы равнымъ не длинѣ шатуна эксцентрика (какъ въ Стефенсоновой кулисѣ), а длинѣ шатуна, идущаго къ стержню золотника. Чтобы опредѣлить разстояніе x отъ средняго положенія золотника до того, которое онъ занимаетъ при углѣ α вращенія вала, нужно изъ OB вычесть OB''' и мы получимъ (полагая уже $l' = \rho$)

$$x = r\left\{\sin\beta + \frac{e}{l}\cos\beta\right\}\cos\alpha + \frac{ur}{c}\left(\cos\beta - \frac{e}{l}\sin\beta\right)\sin\alpha.$$

Если означимъ черезъ A и B коэффиціенты при $\cos\alpha$ и $\sin\alpha$ въ послѣднемъ

равенствъ, то получимъ опять, что:

$$x = A\cos\alpha + B\sin\alpha,$$

гдѣ A и B отъ α не зависятъ. Чтобы начертить діаграмму, опредѣляющую распредѣленіе пара съ помощью этой кулисы, надо сдѣлать такое же построеніе, какое выше сдѣлано для кулисы Стефенсона. Коэффиціентъ A въ этомъ выраженіи не зависитъ отъ u, т.е. отъ такъ называемаго градуса расширенія и вслѣдствіе того, абсциссы центровъ круговъ діаграммы, изображающихъ распредѣленіе пара при различныхъ градусахъ расширенія, всѣ равны, и самые центры лежатъ всѣ на одной и той же прямой перпендикулярной къ линіи мертвыхъ точекъ, и круги эти пересѣкаютъ линію мертвыхъ точекъ въ одной и той же точкѣ. Отсюда слѣдуетъ, что линейное опереженіе со стороны впуска будетъ, при кулисѣ Цуха, независимо отъ градуса расширенія. Это обстоятельство и составляетъ достоинство кулисы Цуха; но она состоитъ изъ большаго числа отдѣльныхъ частей, чѣмъ кулиса Стефенсона, а потому сложнѣе этой послѣдней.

Кромѣ разсмотрѣнныхъ двухъ кулисъ существуетъ еще много другихъ.

Изъ нихъ кулиса Аллана, отличается тѣмъ, что въ ней и кулиса, и стержень подвижны и подвѣшены на двухъ плечахъ одного и того же рычага ів (фиг. 57). Измѣняемость линейнаго опереженія со стороны впуска въ этой кулисѣ меньше, чѣмъ въ кулисѣ Стефенсона, но все таки существуетъ; поэтому она хуже, чѣмъ кулиса Гука, и будучи сложнѣе ея, едва ли можетъ быть особенно рекомендуема къ употребленію.

27. Чтобы опредѣлить размѣры такой кулисы, замѣтимъ, что когда головка стержня золотника придвинута къ концу кулисы, то нашъ механизмъ дѣйствуетъ какъ простой эксцентрикъ, къ шатуну котораго придвинута головка золотника. Слѣдовательно эксцентриситетъ и уголъ опереженія эксцентриковъ опредѣляется безъ затрудненій, когда зададутся себѣ условія распредѣленія пара при крайнихъ градусахъ кулисы. Длина шатуновъ эксцентриковъ будетъ взята наибольшая, какую только допускаютъ размѣры обстоятельствъ, а длина кулисы, по возможности, уменьшена насколько. Довольно часто въ этомъ случаѣ встрѣчаются слѣдующія отношенія: $\frac{\text{длина кулисы}}{\text{эксцентриситетъ}} = 5-9$;

$\frac{\text{длина шатуна}}{\text{эксцентриситетъ}} = 20 - 30$; радіусъ кулисы, согласно найденному выше, должно сдѣлать равнымъ длинѣ шатуна золотника. Затѣмъ по вычерченному, найдемъ центръ вращенія и длину рычага, къ которому подвѣшена кулиса. Тогда геометрическое расположеніе частей кулисы опредѣлено и остается только придать частямъ надлежащіе размѣры. Усиліе дѣйствующее на кулису, есть сопротивленіе движенію золотника, представляющее собою тренія, которое золотникъ испытываетъ во время своего движенія. Это треніе происходитъ подъ давленіемъ, равнымъ давленію пара въ котлѣ на всю поверхность золотника безъ давленія атмосферы на ту часть поверхности, которая сообщается съ выпускною трубою. Полагая, что усиліе равное этому тренію дѣйствуетъ на середину кулисы, очевидно, можемъ себѣ представить кулису въ видѣ балки, подпертой по концамъ и подверженной изгибающему усилію въ серединѣ; ширину кулисы нужно взять такъ, чтобы площадь прикосновенія головки стержня съ кулисою была, по возможности, большая, при чемъ давленіе

допускаемое на единицу площади кулисы не должно превышать двадцати килограммовъ на кв. сантиметра.

28. Распредѣленіе пара въ паровыхъ машинахъ не имѣющихъ вращательнаго движенія совершается или посредствомъ клапановъ или посредствомъ золотниковъ, или посредствомъ крановъ; въ водокачальныхъ машинахъ, служащихъ для выкачиванія воды изъ рудниковъ обыкновенно употребляется первый способъ.- Сущность устройства этихъ машинъ заключается въ слѣдующемъ:

Въ шахтѣ, назначенной къ отводу воды изъ рудниковъ, устанавливаются на извѣстномъ вертикальномъ другъ отъ друга разстояніи (обыкновенно 50-60 метровъ) нагнетательные насосы, а въ самомъ низу шахты - всасывающій насосъ; этотъ послѣдній поднимаетъ воду на незначительную высоту въ особый резервуаръ, изъ котораго она уже поступаетъ въ нагнетательные насосы. Отводныя трубы этихъ насосовъ устанавливаются обыкновенно такимъ образомъ, что при самомъ нижнемъ положеніи нагнетательныхъ поршней (которые

всѣ подвешены къ одному стержню и потому имѣютъ одинъ и тотъ же размахъ) вода въ отводной трубѣ каждаго насоса стоитъ на одинаковомъ уровнѣ съ самымъ вернимъ положеніемъ нижней площади поршня слѣдующаго насоса; при началѣ восходящаго движенія поршней вода въ отводныхъ трубахъ насосовъ начинаетъ понижаться, приходитъ на одинаковый уровень съ нижнею площадью поршня, когда послѣдній находится въ своемъ среднемъ положеніи, и наконецъ приходитъ на уровень нижняго конца размаха поршня, когда поршень находится въ верхнемъ концѣ. Такимъ образомъ при восходящемъ движеніи стержня вода, переходящая въ нагнетательные насосы, помогаетъ движенію поршней въ теченіи первой половины размаха, и замедляетъ его въ теченіе второй половины.

Стержень, который несетъ на себѣ всѣ поршни насосовъ и спускается на всю глубину шахты мы будемъ называть главнымъ стержнемъ (maître tige) машины. Онъ или составляетъ непосредственное продолженіе пароваго стержня, и въ такомъ случаѣ машина называется машиною

прямого дѣйствія (à traction directe) или же соединяемая съ паровымъ цѣпнемъ при посредствѣ коромысла и параллелограмовъ, причемъ машина называется машиною съ коромыслом (machine à balancier). Это послѣднее устройство гораздо сложнѣе первого, но оно имѣетъ преимущество въ томъ отношеніи, что не стѣсняетъ устья шахты. Какимъ бы образомъ, впрочемъ, ни была устроена машина, дѣйствіе ея всегда одно и тоже, а именно давленіемъ пара на паровой поршень производится восходящее движеніе машины, и работа пара употребляется на подъемъ стержня, на подъемъ воды на небольшую высоту дѣйствіемъ всасывающаго насоса и на преодолѣніе вредныхъ сопротивленій, встрѣчаемыхъ какъ водою при ея движеніи въ трубахъ, проходя черезъ клапаны и тому подобное, такъ и самыми органами собственно паровой машины. Чтобы это движеніе началось, очевидно необходимо, чтобы давленіе пара на поршень на извѣстную величину превосходило всѣ сопротивленія движенію стержня вверхъ (вѣсъ стержня, вредныя

сопротивленія, вѣсъ воды поднимаемой всасывающимъ насосомъ); пока давленіе пара больше суммы всѣхъ этихъ сопротивленій, скорость восходящаго движенія постоянно увеличивается, и достигаетъ наибольшей величины только тогда, когда паръ вслѣдствіе расширенія уменьшитъ свое давленіе до того, что оно станетъ равно всѣмъ сопротивленіямъ. Затѣмъ скорость машины начнетъ уменьшаться и обратится въ нуль въ концѣ восходящаго размаха.

Изъ этаго видно, что собственно машинъ безъ расширенія этой системы быть не можетъ и такъ называемыя машины безъ расширенія суть машины съ слабымъ расширеніемъ, происходящимъ быть можетъ только на одной или двухъ сравнительно всего размаха и слѣдовательно приносящимъ столь малую экономію въ горючемъ матеріалѣ, что машины имѣющія такое расширеніе называютъ обыкновенно машинами безъ расширенія.

Когда поршень машины достигъ своего верхняго положенія, то онъ, смотря по устройству машины, или остается нѣкоторое, впрочемъ, очень малое, время висѣть въ этомъ по-

ложеніи, или тотчасъ же начинаетъ свой нисходящій размахъ. Чтобы произвести остановку въ верхнемъ концѣ размаха съ машиного соединяютъ обыкновенно особый приборъ, называемый катарактомъ. Это есть ни что иное, какъ маленькій насосъ, котораго поршень поднимается (и всасываетъ воду) дѣйствіемъ машины во время ея нисходящаго размаха, а затѣмъ падаетъ дѣйствіемъ противовѣса и выталкиваетъ изъ насоса воду черезъ отверстіе, которое можно регулировать особымъ краномъ, такъ что время употребляемое на это выталкиваніе будетъ болѣе или менѣе продолжительно, смотря по отверстію крана. Въ поршнемъ этого катаракта соединяется стержень, на которомъ дѣлаетъ выступъ, назначенный къ тому, чтобы при извѣстномъ положеніи поршня катаракта, (обыкновенно высока не далеко отъ конца его нисходящаго движенія) ударять въ особый рычагъ, и тѣмъ отворять клапанъ, производящій сообщеніе между обѣими половинами цилиндра и атмосферою или холодильникомъ, смотря по тому, будетъ ли машина

безъ охлажденія пара или съ охлажденіемъ. Понятно, что устройствіемъ этаго прибора можно произвести сообщеніе между верхнею и нижнею частью цилиндра спустя произвольное время послѣ того, какъ поршень достигъ своего крайняго верхняго положенія, а пока этого сообщенія нѣтъ, машина начать нисходящее движеніе не можетъ, ибо хотя, какъ тотчасъ увидимъ, вѣсъ стержня и превосходитъ вѣсъ воды, заключенной въ отводныхъ трубахъ насосовъ и слѣдовательно могъ бы, опускаясь, отворить клапаны этихъ трубъ и начать свое нисходящее движеніе, но давленіе расширенного пара этому препятствуетъ и слѣдовательно должно быть достаточно сильно для того, чтобы удержать стержень отъ нисхожденія, отчего въ машинахъ съ остановкою вверху ограничивается степень расширенія пара. Въ машинахъ, у которыхъ остановки вверху нѣтъ, уравнительное сообщеніе обѣихъ половинъ цилиндра производится устройствіемъ самой машины, и какъ только это сообщеніе имѣетъ мѣсто, главный стержень и всѣ соединенные съ нимъ поршни начинаютъ нисходящее движеніе. Для этого необходимо, чтобы

вѣсъ главнаго стержня превосходитъ вѣсъ столба воды, заключеннаго въ отводныхъ трубахъ насосовъ и при томъ не только на величину вредныхъ сопротивленій, но и еще на извѣстный грузъ, который мы будемъ въ послѣдствіи называть перевѣсомъ стержня; работа этого перевѣса очевидно будетъ положительная во все время нисходящаго движенія стержня, и слѣдовательно скорость этого послѣдняго сначалы постоянно возрастать, если бы движенію всей системы не представлялось какого нибудь значительнаго сопротивленія. Обыкновенно въ водокачальныхъ машинахъ сопротивленіе это представляется тѣмъ, что сообщеніе между верхнею и нижнею частью цилиндра прекращается прежде, чѣмъ стержень достигъ своего крайняго нижняго положенія; паръ заключенный въ этой части цилиндра, которая сообщается съ котломъ во время работы пара (нижней — въ машинахъ прямого дѣйствія и верхней — въ машинахъ съ коромысломъ) сжимается, упругость его начинаетъ возрастать и слѣдовательно явится постепенно увеличивающаяся, поднимающая всю систему сила;

они достигнетъ послѣ нѣкоторраго сжатія пара до того, что поравняется съ перевѣсомъ стержня: въ этотъ моментъ машина достигнетъ наибольшей скорости и затѣмъ вслѣдствіе дальнѣйшаго возрастанія упругости сжимаемаго пара, нисходящее движеніе машины замедляется и наконецъ прекращается совершенно. Въ то мгновеніе, какъ скорость машины есть нуль, и насосные клапаны еще не закрылись, очевидно на машину дѣйствуетъ значительная поднимающая сила, состоящая въ избыткѣ давленія сжатаго пара надъ перевѣсомъ стержня и потому поршень непремѣнно подвинется къ верху, клапаны закроются и машина почти тотчасъ придетъ въ покой, ибо по закрытіи клапановъ стержень будетъ поднимаиься къ верху дѣйствіемъ избытка въ давленіи сжатаго пара уже не надъ однимъ только перевѣсомъ стержня, а надъ полнымъ его грузомъ. Въ скоромъ времени послѣ этаго мгновенія дѣйствіемъ другого катаракта открывается клапанъ, пускающій паръ въ цилиндръ и начинается новый восходящій размахъ. Кромѣ тѣхъ частей машины, которыхъ существенное дѣйствіе мы старались объяснить въ

предыдущемъ, водоподъемныя машины имѣютъ еще одну часть, весьма важную и въ большей части случаевъ необходимую для правильнаго ихъ дѣйствія. Это есть балансиръ съ противовѣсомъ, располагаемый ниже цилиндра въ машинахъ прямаго дѣйствія, и совпадающій съ балансиромъ передающимъ дѣйствіе пара главному стержню въ машинахъ съ коромысломъ. Чтобы совершенно ясно представить себѣ роль, которую играетъ этотъ балансиръ, вообразимъ себѣ машину съ довольно сильнымъ расширеніемъ, такъ какъ работа пара въ этой машинѣ въ теченіе полнаго размаха должна равняться работѣ поднимаемаго груза главнаго стержня и такъ какъ отъ момента, въ который начался расширеніе, упругость пара постепенно убываетъ, то очевидно, что давленіе пара на поршень въ началѣ размаха должно быть больше, чѣмъ грузъ стержня, и при томъ должно превосходить этотъ грузъ тѣмъ болѣе, чѣмъ значительнѣе употребляемое расширеніе. Этотъ избытокъ давленія пара надъ грузомъ стержня ускоряетъ его движеніе и очевидно, что наибольшая скорость, которую

получаетъ стержень данной массы при восходящемъ размахѣ, будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше упомянутый избытокъ давленія, т.е. чѣмъ больше расширеніе. Но большая скорость машины весьма невыгодна для ея прочности, и потому въ практикѣ считаютъ необходимымъ, чтобы наибольшая скорость стержня при восходящемъ движеніи не превосходила 2-2,5 метровъ; чтобы заключить скорость въ этихъ предѣлахъ при значительномъ расширеніи нѣтъ другаго средства, какъ взять движущіяся массы достаточно большими, чтобы не смотря на значительную величину движущей силы, сообщаемая ею скорость была умѣренная. При очень глубокихъ шахтахъ и не очень сильномъ расширеніи грузъ стержня, необходимый для сообщенія водѣ въ трубахъ надлежащей скорости, бываетъ достаточенъ для того, чтобы умѣрить скорость машины согласно съ вышесказаннымъ. Но если расширеніе значительное, или шахта не чрезмѣрно глубокая, то для увеличенія движущихся массъ усиливаютъ вѣсъ стержня и соединяютъ этотъ стержень посредствомъ шатуна съ коромысломъ, на другой конецъ котораго

Лит. Ф. Кремеръ СПБ.

навѣшивается грузъ, равный тому, на который увеличенъ вѣсъ стержня; такимъ образомъ движущіяся массы въ машинѣ значительно увеличиваются, между тѣмъ какъ производящій работу грузъ главнаго стержня остается безъ перемѣны.

Изъ сдѣланнаго описанія водокачальныхъ машинъ очевидно, что распредѣленіе въ нихъ пара должно происходить слѣдующимъ образомъ:

1.) Послѣ того, какъ поршень пробылъ нѣкоторое время въ нижнемъ своемъ положеніи, долженъ открыться клапанъ, сообщающій котелъ съ низомъ цилиндра; при этомъ верхняя часть цилиндра должна быть сообщена съ холодильникомъ.

2.) Послѣ того, какъ поршень прошелъ нѣкоторое пространство вверхъ и паръ долженъ начать дѣйствовать расширеніемъ, слѣдовательно при открытомъ клапанѣ, сообщающемъ верхъ цилиндра съ холодильникомъ, впускной клапанъ для нижней части цилиндра долженъ закрыться.

3.) Передъ самымъ концомъ восходящаго разгона впускной клапанъ, сообщающій верхнюю часть цилиндра съ холодильникомъ, долженъ закрыться, такъ что весьма небольшую часть разгона поршень сдѣлаетъ при дѣйствіи рас-

расширяющагося пара на нижнюю сторону поршня и сжимающагося на верхнюю сторону поршня.

4) По окончаніи восходящаго размаха или немедленно, или послѣ нѣкоторой остановки долженъ открыться клапанъ, сообщающій нижнюю часть цилиндра съ верхнею (клапанъ равновѣсія) между тѣмъ какъ клапаны: впускной въ нижнюю часть цилиндра и выпускной изъ верхней части цилиндра должны оставаться закрытыми. При этомъ начнется нисходящій размахъ поршня.

5.) Передъ концемъ нисходящаго размаха долженъ закрыться клапанъ равновѣсія, такъ что нѣкоторую часть нисходящаго размаха поршень долженъ сдѣлать подъ давленіемъ расширяющагося пара на верхнюю его сторону и сжимающагося пара на нижнюю его сторону, при всѣхъ клапанахъ закрытыхъ.

6.) Послѣ закрытія клапана равновѣсія долженъ почти немедленно открыться выпускной клапанъ и при этомъ положеніи распредѣлительнаго прибора, т.е. при закрытомъ клапанѣ впускномъ и равновѣсія и при открытомъ клапанѣ выпускномъ долженъ произойти конецъ нисходящаго

размаха.

7) После некоторой остановки въ самомъ нижнемъ положеніи поршня, впускной клапанъ долженъ открыться и долженъ начаться восходящій размахъ при открытомъ впускномъ клапанѣ, при открытомъ выпускномъ клапанѣ и при закрытомъ клапанѣ равновѣсія. Чтобы произвести своевременное разобщеніе и сообщеніе верхней и нижней части цилиндра между собою, а также верхней части съ холодильникомъ и нижней части съ котломъ, находящіяся въ особой коробкѣ, раздѣленной перегородками (фиг. 58) на отдѣленія, три клапана A, B, C, изъ коихъ первый служитъ для соединенія котла съ нижнею частью цилиндра (впускной клапанъ), второй — для соединенія нижней части цилиндра съ верхнею (клапанъ равновѣсія) и третій — для соединенія верхней части цилиндра съ холодильникомъ (выпускной клапанъ). Эти клапаны запираются и отпираются съ помощью слѣдующаго механизма.

Съ поршнемъ воздушнаго насоса соединенъ стерженъ DD' (фиг. съ 59 по 64), который имѣетъ постоянно движе-

ніе, направленное въ ту же сторону, какъ и паровой поршень. Кромѣ того имѣется стержень EE', соединенный съ рычагомъ катаракта. Этотъ стержень укрѣпленъ по другую сторону оси вращенія рычага катаракта, нежели поршень его послѣдняго, такъ что стержень EE' имѣетъ движеніе по направленію противоположному съ поршнемъ катаракта. Замѣтимъ сначала, что послѣ начала восходящаго размаха парового поршня выступъ, сидящій на стержнѣ DD' захватываетъ рычагъ катаракта и поднимаетъ его къ верху, при чемъ стержень EE' опускается. Затѣмъ съ началомъ нисходящаго размаха парового поршня рычагъ катаракта освобождается, поршень его начинаетъ падать, а стержень EE' подниматься, такъ что стержень EE' имѣетъ восходящее движеніе во время части восходящаго размаха и въ теченіе всего нисходящаго размаха. Два стержня DD', EE' снабжены выступами; выступы стержня DD', дѣйствуютъ на рычаги, въ которыхъ подвѣшены клапаны, запирая эти клапаны и приводятъ рычаги въ такое положеніе, что укрѣпленные на нихъ кулаки сцѣпляются съ зубцами особыхъ задержекъ, такъ что, не

смотря на противовѣсы, стремящіеся привести рычаги, по окончаніи дѣйствія выступовъ стержня DD', въ первоначальное положеніе, рычаги остаются въ томъ положеніи, въ которое они приводятся дѣйствіемъ упомянутыхъ выступовъ и задержекъ. Выступы стержня EE' напротивъ служатъ для отпиранія клапановъ, которое производится дѣйствіемъ привѣшенныхъ къ рычагамъ противовѣсовъ, получающихъ полное свое вліяніе на рычаги черезъ то, что выступы Перлина EE' ударяя въ задержки, снимаютъ ихъ зубья съ кулаковъ, находящихся на рычагахъ.

Такимъ образомъ дѣйствіемъ стержня DD' клапаны закрываются, и дѣйствіемъ стержня EE' клапанъ открывается. Послѣ этого не трудно понять всю игру этаго распредѣлительнаго механизма, который на прилагаемомъ чертежѣ изображенъ въ шести различныхъ положеніяхъ. На этихъ чертежахъ a, b, c суть оси вращенія рычаговъ, въ коихъ посредствомъ тягъ a', b', c', рычаговъ a'', b'', c'', и тягъ a''', b''', c''' подвѣшены клапаны: впускной (A), равновѣсія (B) и выпускной (C). На тѣхъ же осяхъ a, q, c закѣплены кривые рычаги a, б, в, на которые дѣй-

отворотъ выступы стержня DD' и кулачки, сдѣланныя съ задержками α, β, γ.

Представимъ себѣ съ самаго начала механизмъ въ такомъ положеніи, какъ изображено на фиг. 5. При этомъ впускной клапанъ открытъ, выпускной клапанъ открытъ, а клапанъ равновѣсія закрытъ. Паръ входитъ въ нижнюю часть цилиндра и выходитъ изъ верхней; слѣд. поршень идетъ вверхъ подъ полнымъ давленіемъ пара. Стержень DD' поднимается, точно такъ же, какъ стержень EE'; на выступъ этого послѣдняго A'' лежитъ задержка α, вскорѣ вслѣдъ за этимъ выступъ D стержня DD' задѣваетъ рычагъ катаракта, стержень EE' начинаетъ опускаться, и его выступъ освобождаетъ задержку α; послѣ того выступъ A' стержня C'D' подходитъ къ рычагу a, оборачиваетъ его около оси и приводитъ въ положеніе, какъ на фиг. 6; при этомъ впускной клапанъ закрывается и удерживается въ закрытомъ положеніи задержкою α, клапанъ равновѣсія остается закрытымъ и выпускной клапанъ остается открытымъ. Паръ расширяется въ нижней части цилиндра и выходитъ изъ верхней; поршень идетъ вверхъ при давленіи пара постепенно убывающемъ вслѣдствіе расширенія; стержень

DD' поднимается, а EE' опускается отъ продолжающагося дѣйствія выступа D на рычагъ катаракта. Передъ концомъ восходящаго размаха выступъ C' ударяетъ въ рычагъ в выпускнаго клапана и распредѣлительный механизмъ приходитъ въ положеніе, изображенное на фиг. 61, при этомъ выпускной клапанъ закрывается, впускной остается закрытымъ и клапанъ равновѣсія остается закрытымъ. Поршень идетъ къ верху подъ дѣйствіемъ пара, расширяющагося съ нижней стороны поршня и сжимающагося съ верхней его стороны. Это продолжается самое короткое время, а въ слѣдъ затѣмъ выступъ B' стержня EE' (который продолжаетъ опускаться отъ дѣйствія выступа верхняя DD' на рычагъ катаракта) ударяетъ въ задержку B рычага клапана равновѣсія, который дѣйствіемъ противовѣса открывается; весь распредѣлительный приборъ приходитъ въ положеніе, изображенное на фиг. 62, при которомъ впускной и выпускной клапаны закрыты, а клапанъ равновѣсія открытъ. Поршень, подвергающійся съ обѣихъ сторонъ одинаковому давленію начинаетъ свой нисходящій размахъ, при чемъ стержень DD' начинаетъ удаляться внизъ, между тѣмъ

хахъ стержень EE' связанный съ рычагомъ катаракта теперь уже освобожденнаго отъ вліянія стержня DD' поднимается и освобождаетъ задержку β. Передъ концомъ нисходящаго размаха выступъ A' стержня DD' ударяетъ въ рычагъ клапана равновѣсія и закрываетъ его; распредѣлительный приборъ приходитъ въ положеніе, изображенное на фиг. 63; при чемъ всѣ клапаны: впускной, выпускной и равновѣсія закрыты; поршень двигается замедленнымъ движеніемъ книзу, сжимая паръ въ нижней части цилиндра и расширяя его въ верхней.

Почти одновременно съ закрытіемъ клапана равновѣсія выступъ γ' поднимающагося стержня EE' освобождаетъ отъ задержки рычагъ выпускнаго клапана; этотъ послѣдній открывается и происходитъ еще большее замедленіе въ движеніи поршня, совершающееся при закрытыхъ клапанахъ впускномъ и равновѣсія и при открытомъ выпускномъ клапанѣ, согласно изображенному на фиг. 64. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока поршень не остановится, и затѣмъ спустя нѣкоторое время, зависящее отъ регулированія катаракта, выступъ A" стержня EE' ударитъ

въ задержку, удерживающую отъ вращенія рычагъ впускного клапана. Этотъ клапанъ отворится и распредѣлительный приборъ приметъ расположеніе, изображенное на фиг. 59, при чемъ снова начнется восходящій размахъ.

Если желаютъ, чтобы машина кромѣ остановки внизу размаха имѣла еще остановку вверху его, то открываніе клапана равновѣсія (то есть освобожденіе задержки, удерживающей рычагъ, къ коему этотъ клапанъ подвѣшенъ) производятъ не посредствомъ стержня EE', а посредствомъ стержня второго катарракта, которой регулируютъ такъ, что остановка вверху продолжается около $\frac{1}{4}$ времени, употребляемаго на остановку внизу.

29. Паровые молота представляютъ собою также машины простого устройства, не имѣющія вращательнаго движенія; въ нихъ въ настоящее время довольно рѣдко употребляется самодѣйствующее распредѣленіе пара, такъ какъ при отковкѣ большихъ вещей, для которыхъ собственно и употребляются паровые молота, рѣдко приходится имъ пользоваться, необходимо — нужныя измѣненія въ силѣ удара, остановки для поворо-

чиванія и передвиганія отковываемаго предмета, и другія тому подобныя обстоятельства заставляютъ въ большей части случаевъ употреблять ручное распредѣленіе пара, и съ этою цѣлью весьма часто употребляется въ настоящее время кранъ Вильсона, конструкція котораго соображена замѣчательно хорошо въ томъ отношеніи, что онъ, весьма быстро измѣняя направленіе движенія пара, въ тоже время требуетъ для своего движенія лишь весьма малаго усилія не смотря на высокое давленіе распредѣляемаго имъ пара.

Устройство крана Вильсона состоитъ въ слѣдующемъ: въ слабо коническомъ гнѣздѣ находится ключъ, которой можно поворачивать посредствомъ укрѣпленнаго къ нему стержня K. (фиг. 65); этотъ ключъ состоитъ изъ двухъ горизонтальныхъ и двухъ вертикальныхъ перегородокъ; вертикальныя перегородки соединены между собою трубою L, паръ приводится къ гнѣзду черезъ коробку M, которая каналами N и E соединена съ гнѣздомъ; паръ выводится трубою Q, которая каналомъ K соединена съ среднею частью гнѣзда, заключеннаго между горизонтальными пере-

городками ключа; каналы Г. и Г. ведутъ паръ въ нижнюю и въ верхнюю часть цилиндра, а винтъ И служитъ для уравновѣшенія избытка давленія приходящаго пара на верхнюю горизонтальную перегородку сравнительно съ нижнею (имѣющею меньшую площадь). Всѣ стѣнки, кромѣ горизонтальныхъ, входящія въ составъ ключа этого крана, какъ видно изъ объяснянаго схематическаго чертежа, расположены такимъ образомъ, что производимыя на нихъ паромъ давленія взаимно уравновѣшиваются внутри самаго ключа, а не переносятся на стѣнки гнѣзда; отъ этаго треніе этого крана при его вращеніи чрезвычайно слабо и усиліе, необходимое для его обращенія, не велико.

30. Разсмотримъ теперь размѣры распредѣлительнаго прибора.

Самая существенная часть этихъ размѣровъ есть безъ сомнѣнія паровые проемы, служащіе для прохода пара въ цилиндръ. Они должны быть достаточно велики для того, чтобы паръ могъ свободно проходить въ цилиндръ, не теряя замѣтно своего давленія на этомъ переходѣ; теоретическое опредѣленіе этихъ размѣровъ было-бы до крайности слож-

и трудно, а потому мы обращаемся къ разсмотрѣнію существующихъ машинъ, чтобы найти тѣ размѣры, которые выработаны для этаго практикою.

Разсматривая различныя существующія постоянныя паровыя машины, мы находимъ въ этомъ отношеніи большое разнообразіе; а именно есть машины, въ которыхъ отношеніе между площадью поршня и площадью впускнаго окна составляетъ 40, 30, 20 и 10. Но не трудно замѣтить, что лишь въ весьма небольшомъ числѣ машинъ встрѣчаются числа близкія къ 40 и къ 10; въ наибольшемъ числѣ это отношеніе весьма близко къ 20, и изъ разсмотрѣнія таблицы, заключающей въ себѣ до 30 существующихъ машинъ, можно убѣдиться, что мы не отступимъ сколько нибудь замѣтно отъ обыкновенно встрѣчающихся размѣровъ, если для скоростей поршня, не большихъ чѣмъ 1 метръ, примемъ отношеніе между площадью впускнаго проема и площадью поршня равнымъ $\frac{1}{25}$, а при скоростяхъ отъ 1.го метра до 1,25 возьмемъ это отношеніе $= \frac{1}{20}$. и наконецъ при скоростяхъ около 1,5 и 2 метровъ примемъ это отношеніе $= \frac{1}{15}$. Что касается до выпускнаго проема, то онъ

дѣлается больше впускного и только въ рѣдкихъ случаяхъ сдѣлается ему равнымъ, а также рѣдко превосходитъ его больше, чѣмъ въ два раза; обыкновенно же отношеніе между площадями выпускного и впускного отверстій бываетъ отъ 1,25 до 1,5. Отношеніе между шириною и высотою промѣва также встрѣчается довольно разнообразное. Есть машины, въ которыхъ это отношеніе составляетъ 12, и есть машины, гдѣ оно равно 3; всего чаще встрѣчается числа близкія къ 6, при чемъ высота окна весьма часто имѣетъ величину очень близкую къ $\frac{1}{10}$ части діаметра поршня.

Въ пароходныхъ машинахъ, размѣры коихъ собраны въ сочиненіи Фремеквилля, для пароходовъ съ лопавками, дѣлающихъ обыкновенно медленные, чѣмъ винтовые, встрѣчаются слѣдующія величины отношенія между площадью поршня и площадью парового промѣна:

31,25; 25,64; 26,31; 22,73; 20; 22,22,40; 16,95; 15,38; 25,35,71;

Какъ видно и здѣсь встрѣчаются значительныя колебанія разсматриваемаго отношенія. Принимая во вниманіе, что слишкомъ большое отверстіе

менѣе вредно, чѣмъ слишкомъ малое, изъ предъидущихъ чиселъ можно заключить, что для пароходныхъ машинъ съ лопатками, отношеніе площади поршня къ площади выпускнаго отверстія можетъ быть принято равнымъ 20.

Въ тѣхъ же машинахъ отношеніе между площадями выпускнаго и впускнаго отверстій имѣетъ слѣдующія величины:
1, 44; 1, 91; 1, 27; 1, 70; 1, 67; 1, 56; 1, 35; 1, 70; 2, 44; 2, 18;

Изъ этихъ чиселъ видно, что принимая разсматриваемое отношеніе равнымъ 1,5 мы получимъ числа весьма близко подходящія къ обыкновенно употребляемымъ.

Для тѣхъ же машинъ отношеніе между шириною и высотою впускнаго окна имѣетъ величину:
5, 5; 8, 5; 7, 3; 7, 6; 6, 5; 18; 22; 8; 13, 3; 9, 4.

Какъ видно, наиболѣе часто встрѣчающіяся значенія этого отношенія заключены между 7 и 9.

Для пароходныхъ винтовыхъ машинъ имѣемъ по таблицамъ того же сочиненія слѣдующія числа для отношенія между площадью поршня и поперечнымъ сѣченіемъ паровaго впускнаго окна:
20; 16; 13; 14, 70; 14, 28; 13, 16; 16, 39; 13, 51; 11, 49; 10, 99; 9; 13, 16; 12, 82; 16, 39.

Изъ этихъ чиселъ видно, что наиболѣе

часто встрѣчаются числа отъ 13 до 16, такъ что принимая отношеніе это равнымъ 14 мы можемъ быть увѣрены, что получаемые размѣры немного будутъ отличаться отъ существительно употребляемыхъ. Отношеніе между поперечными сѣченіями выпускного и впускного отверстій имѣютъ въ этихъ же машинахъ слѣдующія значенія:
1,67; 2,14; 1,65; 1,80; 1,82; 1,34; 1,2; 2,04; 1,95; 2,22; 1,71; 1,45; 1,50.

Среднее число этихъ отношеній очень близко къ 1,75 и можетъ быть принято къ руководству.

Отношеніе между шириною и высотою отверстія въ этихъ же машинахъ имѣетъ слѣдующія величины:
8,3; 13,1; 9,3; 17; 8,6; 10; 11,2; 12; 17,4; 20; 8,8; 8,1.

Среднее изъ этихъ чиселъ несколько въ 12. и можетъ служить для опредѣленія разсматриваемаго отношенія для всѣхъ строящихся машинъ.

Въ локомотивахъ, которыхъ размѣры помѣщены въ сочиненіи Лемаешье, отношеніе площади поршня къ площади паровозного прохода имѣетъ слѣдующія величины:
11,98; 10,11; 8,81; 8,82; 7,96; 7,96; 7,22; 7,96; 7,22; 8,82; 7,96; 8,82; 7,22; 7,22; 6,29; 7,96; 5,26; 7,22; 7,22; 5,52.

Изъ этихъ чиселъ видно, что въ локомотивахъ, гдѣ поршень имѣетъ весьма значительную скорость, паровые проходы дѣлаются сравнительно гораздо больше, чѣмъ въ фабричныхъ и пароходныхъ машинахъ; какъ среднее изъ предыдущихъ чиселъ можно принять, что площадь парового прохода въ локомотивахъ составляетъ осьмую часть площади поршня. Отношеніе площади выпускного отверстія къ площади впускного въ тѣхъ же локомотивахъ составляетъ:

1,6; 1,7; 1,9; 2; 1,9; 1,8; 1,9; 1,8; 1,9; 1,9; 1,9; 1,9; 2; 1,8; 1,8; 1,8; 2,2; 2,7; 2,1.

Эти числа, какъ видно очень близки къ 2, такъ что можно принять, что площадь выпускного отверстія въ локомотивахъ вдвое больше площади впускного отверстія.

Отношеніе ширины къ высотѣ впускного отверстія для тѣхъ же локомотивовъ имѣетъ слѣдующія величины:

4,37; 9,53; 6,25; 7,5; 7,5; 8; 7,5; 6; 7,5; 6,25; 6,13; 8; 7,38; 8; 8,5; 7,15; 7; 7,78; 11,6; 7.

Эти числа показываютъ, что хотя и существуютъ значительныя отступленія отъ средняго числа, но 7,5 можетъ быть принято за нормальную величину отношенія между шириною и высотою

впускныя отверстія.

Перегородки, отдѣляющія впускное и выпускное отверстіе, должно дѣлать такой величины, чтобы закраина золотника съ обѣими своими перекрышами (наружною и внутреннею) могла на нихъ помѣщаться.

Не рѣдко встрѣчаются отступленія отъ этого правила, но едва ли эти отступленія не должно признать конструктивною ошибкою; для возможно безпрепятственнаго движенія пара черезъ пролеты ширину перегородки не слѣдуетъ дѣлать меньше, чѣмъ длина закраины, а для возможнаго уменьшенія площади, на которую производится давленіе, не слѣдуетъ ширину перегородки дѣлать больше, чѣмъ длина закраины.

Каналы служащій для провода пара въ цилиндръ, иногда дѣлаютъ съ высотою чуть чуть большею, чѣмъ высота пролета, съ цѣлью имѣть возможность безъ затрудненія обработать края отверстій, которые должны быть совершенно прямые и не имѣть ни какихъ зазубринъ. Для объясненія этого прилагается чертежъ (фиг. 66).

Высота коробки составляющей золотникъ, должна бы дѣлаться не меньше, чѣмъ высота выпускнаго отверстія, дабы струя пара, выходя-

щаго изъ выпускнаго отверстія подъ золотникъ, находила себѣ свободное помѣщеніе, но иногда при недостаткѣ мѣста высоту коробки золотника уменьшаютъ и менѣе; во всякомъ случаѣ она не должна быть меньше, чѣмъ высота впускнаго окна.

31. Стѣнки золотниковъ изготовляются обыкновенно отъ 1,5 до 3. сантиметровъ толщиною; самая обыкновенная ихъ толщина составляетъ 2 сантиметра, стержень приводящій золотникъ въ движеніе имѣетъ обыкновенно такое устройство, что его можно удлинять и укорачивать безъ затрудненія, что необходимо для надлежащей выварки золотника при сборкѣ машины. Для этого стержень снабжается винтомъ, который и служитъ для измѣненія его длины. Иногда, впрочемъ довольно рѣдко, винтъ этотъ располагается при соединеніи золотника со стержнемъ. Большею частію онъ находится на другомъ концѣ стержня при соединеніи его въ шатунномъ эксцентрикѣ, какъ изображено на фиг. 67. Въ этомъ случаѣ A есть ось, соединяющая стержень золотника съ шатуномъ эксцентрика, B есть вилка, надѣтая на стержень C и закрѣпленная посредствомъ двухъ гаекъ. Соединеніе золотника со

стержнемъ должно быть сдѣлано такимъ образомъ, чтобы золотникъ безпрепятственно могъ подаваться по направленію, перпендикулярному къ плоскости его прикосновенія съ цилиндромъ. Это совершенно необходимо, такъ какъ въ противномъ случаѣ истираніе закраинъ золотника и стѣнки цилиндра можетъ имѣть своимъ послѣдствіемъ не плотное между ними прикосновеніе. Имѣя это въ виду поступаютъ слѣдующимъ образомъ: или отливаютъ вмѣстѣ съ золотникомъ лапки, между коими помѣщается гайка, служащая для скрѣпленія золотника со стержнемъ, согласно изображенному на фиг. 68; или на золотникѣ надѣвается коробка, съ которою (фиг. 69.) стержень соединяется нецилиндрическимъ образомъ, а между коробкою и золотникомъ устраивается пружина, наклоняющая золотникъ къ поверхности цилиндра; или, и это бываетъ всего чаще (фиг 70), на золотникъ накладывается желѣзная рамка съ привинченными или привинченными къ обѣимъ противоположнымъ сторонамъ стержнями. Одинъ изъ нихъ служитъ для сообщенія золотнику движенія, а другой, проходя черезъ сальникъ и выходя въ наружу, служитъ

только для направленія движенія.

Иногда высоты пролетовъ для впуска пара выходятъ черезъ чуръ велики, въ этомъ случаѣ для уменьшенія эксцентриситета эксцентрика раздѣляютъ эти пролеты по высотѣ на нѣсколько равныхъ частей, устроивъ въ золотникѣ также нѣсколько закраинъ (изъ которыхъ каждая, конечно, должна быть снабжена полною наружною и полною внутреннею перекрышею) и для надлежащія сообщенія посредствомъ каналовъ между среднею частью золотника и тѣми полостями, въ которыя выходитъ паръ изъ отверстій не примыкающихъ къ выпускному каналу.

Примѣромъ тому можетъ служить золотникъ, изображенный на фиг. 71, и состоящій собственно изъ трехъ золотниковъ, соединенныхъ между собою каналами a, a, изъ нихъ средній служитъ для закрытія и открытія двухъ среднихъ отверстій и сообщенія ихъ попеременно съ котломъ и съ выпускною трубкою, а два крайнихъ служатъ для закрыванія и открыванія крайнихъ отверстій и для попеременнаго сообщенія ихъ то съ котломъ, то съ каналами a, a и черезъ ихъ посредство съ выпускною трубою D. Иногда зо-

лотники эти устроивается нѣсколько иначе, а именно, какъ изображено на фигурѣ 72, гдѣ заштрихованная вертикальная полость сообщается съ котломъ, а вся остальная внутренность коробки съ выводящею паръ трубою D.

32. Усиліе нужное для движенія золотника опредѣляется главнѣйшимъ образомъ треніемъ его о поверхность прикосновенія со стѣнкою цилиндра. Это треніе происходитъ подъ давленіемъ, оказываемымъ на обѣ стороны золотника паромъ, пришедшимъ изъ котла въ распредѣлительную коробку и паромъ уходящимъ изъ цилиндра въ выводную трубу, при чемъ давленіе, производимое на коробку золотника въ мѣстахъ ея прикосновенія со стѣнкою цилиндра, уравновѣшиваетъ обѣ сказанныя давленія. Если назовемъ черезъ h (фиг. 73) высоту впускного окна, черезъ b его ширину, черезъ a наружную и черезъ e внутреннюю перекрышу, черезъ $(1+\delta)h$ высоту выпускного окна и черезъ E толщину боковыхъ стѣнокъ коробки, соприкасающихся съ стѣнками цилиндра, то подвергающаяся сверху давленію пара, приходящаго изъ котла, поверхность золотника будетъ:

$$\left\{(1+\delta)h+2(h+a+e)+2(h+a)\right\}(b+2E).$$

Подвергающаяся же снизу давленію выходящаго пара поверхность золотника будетъ:

$$\{(1+\delta)h+2(h+a)\}b,$$

эти двѣ поверхности не измѣняются во все время движенія золотника и не измѣняется также и давленіе, производимое на нихъ паромъ. Поверхности, стоящія противъ оконъ паровыхъ каналовъ, какъ и подымающее давленіе, на нихъ производимое, при разныхъ положеніяхъ золотника, будутъ различны; если для большей простоты вычисленій принять, что эти давленія равны нулю, то усиліе, прижимающее золотникъ къ цилиндру, будетъ:

$$p\{(1+\delta)h+2(h+a+e)+2(h+a)\}(b+2\varepsilon)-$$
$$-p'\{(1+\delta)h+2(h+a)\}b,$$

гдѣ p есть давленіе пара, притекающаго въ цилиндръ и p' давленіе пара выходящаго изъ цилиндра; это усиліе будетъ очевидно болѣе, чѣмъ дѣйствительное, а потому, принимая это выраженіе за величину усилія, прижимающаго золотникъ и расчитывая прочность всѣхъ частей сообразно съ нимъ, мы можемъ быть увѣрены, что эти части не будутъ слабы, а нѣсколько излишняя прочность въ нихъ не измѣнитъ, такъ какъ не-

подвижность всѣхъ частей, передающихъ движеніе распредѣлительному прибору, есть одно изъ важнѣйшихъ условій правильнаго его дѣйствія и правильнаго хода машины.

Величина усилія, которое нужно для передвиганія золотника, составляетъ приблизительно 0,08 величины давленія. Вычислимъ это усиліе для машины, для которой имѣются слѣдующія числа:

$b = 25$; $h = 3,8$; $a = 1$; $e = 0,2$; $E = 2,5$ $\delta = 1$; $P = 8$; $P' = 1$;

тогда будетъ:

$$P\{(1+\delta)h + 2(h+a+e) + 2(h+a)\}(b+2E) = 8.30.27,2 = 6528.$$

$$P'\{(1+\delta)h + 2(h+a)\}b = 1.25 \times 17,2 = 430.$$

и слѣдовательно усиліе, прижимающее золотникъ къ поверхности скольженія, будетъ 6098 килограммовъ: принимая, какъ это сказано выше, что коэффиціентъ тренія равенъ 0,08, мы получимъ, что усиліе для движенія золотника необходимое составляетъ 0,08, 6098 = 488 килограммовъ.

Предполагая, что наши числа относящіяся къ локомотиву, что колеса его имѣютъ окружность въ 4 метра длиною, что эксцентриситетъ эксцентрика составляетъ 6 сантиметровъ, а длина кривошипа 30 $\frac{c}{m}$ и что

локомотивъ идетъ со скоростью 40 километровъ въ часъ, мы получимъ слѣдующія числа для опредѣленія работы истрачиваемой на движеніе золотника.

Число оборотовъ колесъ въ теченіи часа:

$$\frac{40,000}{4} = 10,000,$$

Число оборотовъ колесъ въ секунду:

$$\frac{10,000}{3600} = 2,78.$$

Путь проходимый золотникомъ въ 1"

$$2 \times 12 \times 2,78 = 66,72 \frac{c}{m} = 0,6672 \text{ метра.}$$

Работа истрачиваемая для движенія золотника въ секунду:

$$488 \times 0,6672 = 326 \text{ килограмметр.}$$

или $4\frac{2}{5}$ лошадиныхъ силы.

Къ этому надо присоединить еще работу тренія на эксцентрикѣ; и какъ діаметръ его при обыкновенномъ діаметрѣ осей въ $17\frac{c}{m}$ нельзя сдѣлать менѣе $36\frac{c}{m}$, то путь, проходимый точкою приложенія давленія на эксцентрикъ, будетъ въ секунду:

$$2,78 \times 1,13 = 3,14 \text{ метра,}$$

а потому работа тренія будетъ:

$$0,08 \times 488 \times 3,14 = 122 \text{ килограммеtра,}$$

а всего получается 450 килограммет-ровъ въ секунду или 6 лошадиныхъ силъ.

При большихъ золотникахъ, какіе

напримѣръ встрѣчаются въ пароходныхъ машинахъ, эта потеря становится еще больше.

33. Значительная потеря, происходящая отъ тренія золотника о поверхность его прикосновенія съ цилиндромъ, давно уже привела къ мысли по возможности разгружать золотникъ, то есть устраивать его такимъ образомъ, что бы онъ былъ совсѣмъ не нажатъ паромъ на поверхность соприкосновенія, или былъ прижатъ къ этой поверхности весьма слабо.

Первый уравновѣшенный золотникъ былъ устроенъ Ваттомъ. Онъ устроенъ слѣдующимъ образомъ: (фиг. 74, 75, 76 и 77). Къ паровому цилиндру съ той стороны, гдѣ находятся впускныя отверстія (2,2), привинченъ своею плоскою стороною полуцилиндръ (c,c,c,c), въ которомъ находятся два расширенія или коробки, служащія для помѣщенія набивки. Внутри этого полуцилиндра можетъ двигаться другой полуцилиндръ (d,d) снабженный закраинами (b,b). Къ этому полуцилиндру наклиниваются набивки g,g, при помощи наклонныхъ плоскостей E' (фиг. 76, 77), образующихъ боковыя стѣнки коробокъ, клиньевъ (10,10) и нажимательныхъ винтовъ 14,14.

Полуцилиндръ d, d внутри пустой съ обоихъ концовъ открытой, онъ соединенъ со стержнемъ (a), дѣйствіемъ котораго и приводится въ движеніе. Низъ полуцилиндра (c, c) сообщается съ холодильникомъ F. Понятно изъ чертежа, какимъ образомъ производится здѣсь распредѣленіе пара, притекающаго изъ котла трубою E'' (фиг. 74) и вытекающаго изъ цилиндра по пустотѣ золотника въ холодильникъ F. Такъ какъ паръ изъ котла окружаетъ золотникъ со всѣхъ сторонъ между набивками, то его давленіе на золотникъ уравновѣшиваетъ другъ друга; точно также уравновѣшиваются и давленія пара холодильника, имѣющія мѣсто внутри трубы золотника.

Такимъ образомъ этотъ золотникъ ни сколько не нагнетъ паромъ на стѣнки цилиндра и его движеніе происходитъ чрезвычайно легко. Неудобства этого золотника состоятъ во 1-мъ въ томъ, что паръ, притекающій изъ котла, находясь въ постоянномъ прикосновеніи съ длинною трубкою, сообщающеюся съ холодильникомъ, значительно охлаждается, во 2-мъ въ трудности поддерживать набивку въ исправномъ состояніи, особенно при сколько нибудь высо-

комъ давленіи; первое неудобство можетъ быть устранено, если раздѣлить золотникъ на двѣ части и устроить его отдѣльно для верхняго и отдѣльно для нижняго отверстія, но второе неудобство остается въ полной силѣ, и было причиною того, что этотъ золотникъ въ настоящее время совершенно оставленъ, — и замѣняется коробчатымъ золотникомъ.

Попытокъ уравновѣсить коробчатый золотникъ было сдѣлано чрезвычайно много. Самое простое къ тому средство представляется въ уничтоженіи верхней стѣнки золотника, отдѣляющей сообщенное съ холодильникомъ пространство отъ распредѣлительной коробки, и замѣнѣ ея крышкою самой распредѣлительной коробки (фиг. 78). Это средство представляется на первый взглядъ вполнѣ достигающимъ цѣли, но ясно, что такое устройство весьма не надежно, ибо малѣйшее выпираніе достаточно для того, чтобы золотникъ не прилегалъ плотно къ крышкѣ распредѣлительной коробки, и слѣдствіемъ этаго будетъ прямой токъ пара изъ котла въ холодильникъ.

Для устраненія этаго недостатка были придуманы различныя сред-

ства:

1. Пирсъ предложилъ сдѣлать стѣнку, къ которой прилегаетъ верхняя часть золотника, подвижною, и положеніе ея регулировать посредствомъ двухъ винтовъ (фиг. 79.).

2. Стуртъ предложилъ сдѣлать крышку въ видѣ наклонной плоскости (фиг. 80) и регулировать надлежащее прикосновеніе золотника къ этой наклонной плоскости посредствомъ двухъ боковыхъ винтовъ.

3. Жобенъ предложилъ сдѣлать золотникъ въ видѣ треугольной призмы (фиг. 71. 72) и нажимать на нее другую треугольную призму посредствомъ винтовъ, проходящихъ черезъ крышку распредѣлительной коробки.

Всѣ эти три способа, въ сущности представляющіе различныя примѣненія одного и того же принципа, оказались не практическими вслѣдствіе крайней затруднительности регулировать прикосновеніе золотника съ плоскостью, нажимаемою къ нему посредствомъ винтовъ.

Совершенно своеобразное уравновѣшеніе золотника сдѣлано Кровелье (фиг. 83). Онъ сдѣлалъ распредѣлительную коробку подвижною и соединилъ съ нею

золотникъ, проведши паръ въ коробку черезъ отверстіе въ стѣнкѣ цилиндра. Но какъ въ этомъ случаѣ давленіе пара поднимаетъ всю распредѣлительную коробку, то для уравновѣшенія ея на верхнюю плоскость коробки положена пара катковъ, нажимаемыхъ на коробку доскою, которая посредствомъ четырехъ винтовъ притянута къ цилиндру. Это устройство могло бы быть примѣнено къ небольшимъ машинамъ, и на Парижской выставкѣ 1867 г. была машина Бурдона, снабженная такимъ приспособленіемъ. Какъ видно этотъ способъ уравновѣшенія имѣетъ ту общую сторону съ вышечисленными, что положеніе опорной поверхности золотника регулируется посредствомъ винтовъ, и вѣроятно въ примѣненіи онъ встрѣтилъ бы тоже затрудненіе, что и предъидущіе три способа.

Гораздо совершеннѣйшее устройство представляютъ собою уравновѣшенные золотники съ самодѣйствующимъ регулированіемъ. Типъ такого устройства представляетъ золотникъ Фрилинга Мейера, въ которомъ доска, прилегающая къ верхней поверхности золотника, представляетъ (фиг. 84) снабженное отверстіемъ дно цилиндра,

соединяющагося посредствомъ сальника съ кромкою распредѣлительной коробки; доска закрывающая этотъ сальникъ нажимается сверху избыткомъ атмосферного давленія надъ давленіемъ холодильника, съ коимъ сообщена полость вышеупомянутаго цилиндра; этимъ способомъ оно цилиндра довольно плотно прижато къ золотнику; описанное устройство можетъ быть употреблено для машинъ съ отдѣленіемъ пара, но на его исправность не всегда можно положиться.

Кромѣ вышеупомянутыхъ есть еще особые способы уравновѣшенія золотниковъ, состоящіе въ томъ, чтобы часть ихъ поверхности подвергать весьма низкому давленію, имѣющемуся въ холодильникѣ, при чемъ конечно приходится отдѣлить эту часть поверхности отъ остальной посредствомъ набивокъ.

Фиг. 85, 86 изображаютъ золотникъ, въ которомъ набивка, отдѣляющая поверхность, подвергающуюся низкому давленію, нажимается посредствомъ пара. Какъ видно, къ золотнику привинченъ кругъ CD, тщательно обточенный по наружной окружности; на этотъ кругъ надѣто кольцо AB, и промежутокъ между ними наполненъ

набивкою изъ пеньки или каучука. Своими закраинами кольцо JH плотно прилегаетъ къ крышкѣ коробки, въ которой сдѣлано отверстіе, сообщающееся съ холодильникомъ. Давленіе пара на кольцеобразную нижнюю часть кольца JH плотно прижимаетъ его къ крышкѣ и не позволяетъ пару производить давленіе сверху на поверхность CD, которая такимъ образомъ вмѣсто давленія пара приходящаго изъ котла подвергается давленію пара уходящаго въ холодильникъ. Въ этомъ случаѣ діаметръ круга CD можетъ быть выбранъ такъ, чтобы разность давленій пара на нижнюю и верхнюю его сторону совершенно уравновѣшивала давленіе, прижимающее золотникъ къ его опорной плоскости; тогда сопротивленіе движенію золотника будетъ состоять только въ треніи кольца JH, производимаго давленіемъ пара на его поверхность.

Весьма часто встрѣчается подобное же устройство, въ которомъ набивка насыщается посредствомъ пружинъ (фиг. 87). Обыкновенно въ верхней доскѣ золотника устраивается круговой желобъ, внутри коего помѣщается набивочное кольцо, которое

спиральными или плоскими пружинами, лежащими на дне желоба, начинающегося къ крышкѣ распредѣлительной коробки, въ которой оканчивается маленькая трубочка, соединенная съ холодильникомъ. Ясно, что этотъ золотникъ отличается отъ предыдущаго лишь тѣмъ, что набивочное кольце начинается къ крышкѣ распредѣлительной коробки не давленіемъ пара, а пружинами.

Весьма остроумный способъ уравновѣшенія золотника представляетъ еще соединеніе золотника посредствомъ небольшой тяги съ поршнемъ, могущимъ ходить въ сальникѣ, вдѣланномъ въ крышкѣ распредѣлительной коробки (фиг. 88). Оно могло бы считаться рѣшительнымъ отвѣтомъ на вопросъ объ уравновѣшеніи золотника, если бы не было соединено съ яснымъ практическимъ неудобствомъ, состоящимъ въ томъ, что тяга по необходимости употребляется весьма коротенькая, вслѣдствіе чего, разумѣется, она во время движенія золотника принимаетъ положенія значительно уклоняющіяся отъ оси поршня, который самъ перекати-

вается, портитъ набивку и скоро приходитъ въ негодность.

Кажется наилучшій способъ уравновѣшенія золотника состоитъ въ томъ, чтобы сдѣлать часть его поверхности подвижною по направленію перпендикулярному къ опорной плоскости, - и эту часть поверхности подпереть независимо отъ плоскости скольженія золотника посредствомъ подставки, движеніе которой, получаемое его вслѣдствіе перемѣщенія золотника, должно быть связано съ возможно меньшимъ числомъ сопротивленій. На этой идеѣ основанъ золотникъ устроенный Це (Zeh) и изображенный на фиг. 89. Въ золотникомъ вмѣстѣ отлитъ короткій цилиндръ, открытый съ обѣихъ сторонъ и отверстіе этого цилиндра закрыто поршнемъ прилегающимъ плотно къ его стѣнкамъ, а снизу этотъ поршень подпертъ подставкою, могущею вращаться около точки своей опоры. Понятно, что во время движенія золотника подставка наклоняется то вправо, то влѣво и поршень постоянно находится въ движеніи. Противъ этого устройства можно сдѣлать только то возраженіе, что и здѣсь непрѣтаемыя косые

давленіе подставки на поршень, которое должно портить набивку и приводить золотникъ въ негодность, а также и то, что при этомъ устройствѣ все таки возбуждается треніе между стѣнками цилиндра и поршнемъ, которое увеличиваетъ сопротивленіе встрѣчаемое золотникомъ при движеніи.

Обѣ эти возраженія устранены въ золотникѣ Линднера, который (фиг. 90) отличается отъ вышеописаннаго золотника только тѣмъ, что подставка внизу не имѣетъ неподвижной точки, а снабжена дугою, которая можетъ катиться по тщательно отшлифованной поверхности, служащей ей опорою; эта дуга описана изъ центра, лежащаго въ точкѣ соединенія подставки съ поршнемъ, и разумѣется, что при такомъ устройствѣ получается, что:

1.) поршень не имѣетъ вовсе вертикальнаго движенія внутри цилиндра,

2.) направленіе прямой, соединяющей опорную точку подставки съ точкою ея соединенія съ поршнемъ, всегда идетъ по оси поршня.

Единственное треніе, которое здѣсь встрѣчается вслѣдствіе самаго управляющаго устройства, есть треніе въ точкѣ соединенія подставки

съ поршнемъ, но при ничтожномъ плечѣ, на которомъ существуетъ здѣсь треніе, это обстоятельство не имѣетъ никакого практическаго значенія.

Въ виду этихъ важныхъ достоинствъ уравновѣшеннаго золотника Линднера прилагаются (фиг. 91, 92, 93, 94 и 95) детальные чертежи этого золотника съ Мейеровскими пластинками для машинъ съ расширеніемъ пара.

Чертежи довольно ясны, а потому здѣсь не помѣщается подробное ихъ описаніе, а присовокупляется только нѣсколько замѣчаній.

Изображенныя на этихъ чертежахъ пружины служатъ къ тому чтобы золотниковъ не откидывался къ верху при перемѣнѣ хода и въ случаѣ сильнаго сжатія пара внутри цилиндра.

Для плотнаго прилеганія набивки поршня къ цилиндру золотника въ задъ набивочнаго кольца проведенъ паръ изъ распредѣлительной коробки, посредствомъ нѣсколькихъ отверстій. Подставка, пластинка по которой она катится и упорный центръ въ поршнѣ сдѣланы изъ закаленной стали.

Замѣтимъ, что въ обоихъ пред-

ставленныхъ чертежахъ золотниковъ не вполнѣ уравновѣшенъ, и съ него снята только часть давленія; не трудно измѣнить конструкцію такимъ образомъ, чтобы уравновѣшеніе было болѣе полное, но вполнѣ уравновѣшивать золотникъ и не слѣдуетъ, дабы онъ былъ нѣсколько прижатъ къ стѣнкѣ, содержащей паровые проемы и не пропускалъ пару.

94. Въ большихъ паровыхъ машинахъ устройство распредѣленія посредствомъ золотниковъ встрѣчаетъ весьма большія неудобства, какъ по трудности устроивать эти золотники уравновѣшенными, такъ и потому, что устройство ихъ обыкновенно бываетъ сопряжено съ необходимостью сдѣлать въ цилиндрѣ значительныя вредныя пространства. Вслѣдствіе этого для большихъ паровыхъ машинъ преимущественно употребляются клапаны съ двойнымъ сѣдломъ, приводимые въ движеніе кулачными эксцентриками; эти уравновѣшенные клапаны представляютъ весьма большія преимущества сравнительно съ золотниками, а именно:

1.) движеніе ихъ требуетъ сравнительно весьма небольшой силы, такъ какъ давленіе пара на нихъ можно почти вполнѣ уравновѣсить;
2.) они очень быстро закрываютъ и открываютъ паровыя окна, и слѣд. при ихъ употребленіи избѣгается въ паровыхъ машинахъ невыгодное явленіе, состоящее въ переводѣ пара при маломъ отверстіи изъ коробки имѣющей большее давленіе въ цилиндръ имѣющій меньшее давленіе.
3.) при ихъ употребленіи значительно уменьшается вредное пространство, такъ какъ клапаны могутъ быть расположены возлѣ самыхъ впускныхъ и выпускныхъ отверстій.

Эти преимущества столь значительны, что съ избыткомъ вознаграждаютъ нѣсколько большую сложность устройства и нѣсколько большую дороговизну такихъ машинъ сравнительно съ тѣми, которыя существуютъ золотникомъ. Описанная выше и изображенная на фиг. 42, 43, 44, 45. машина Зульцера представляетъ одинъ изъ наилучшихъ примѣровъ употребленія клапановъ въ качествѣ распредѣлительныхъ приборовъ.

Лит. Ф. Кремеръ СПБ.

Глава II^ая

Охлаждение пара.

1. Паровыя машины устраиваются или съ охлаждениемъ пара, или безъ охлажденія пара; въ послѣднемъ парѣ окончившій свое дѣйствіе выпускается прямо въ атмосферу, которая въ этомъ случаѣ и представляетъ собою холодный источникъ термической паровой машины, въ которой паръ выпускается подъ давленіемъ во всякомъ случаѣ не ниже атмосфернаго, слѣдовательно при температурѣ не меньшей ста градусовъ по Цельзію. Въ машинахъ съ охлажденіемъ пара,- отработавшій паръ впускается въ особый сосудъ, въ которомъ температура поддерживается искусственнымъ образомъ не выше 35-50 градусовъ по Цельзію; въ этомъ случаѣ паръ охлаждается, понижаетъ свое давленіе и большею частью обращается въ воду; сосудъ, служащій для охлажденія пара, называется холодильникомъ.

Холодильники бываютъ двухъ родовъ: 1) холодильники съ внутреннимъ охлажденіемъ, гдѣ въ томъ же сосудѣ, въ которомъ протекаетъ паръ, впрыскивается и вода, смѣшивающаяся съ паромъ и производящая его охлажденіе; эти холодильники употребляются по преимуществу; и 2) хо-

лодильники съ нарузнымъ охлажденіемъ; употребляющіяся въ нѣкоторыхъ машинахъ и устроенные такимъ образомъ, что отработанный паръ выпускается въ особый сосудъ, соприкасающійся своими стѣнками съ охлаждающею жидкостью; эти стѣнки состоятъ обыкновенно изъ мѣдныхъ трубъ, заключенныхъ въ сосудѣ, и паръ двигается большею частью внутри этихъ трубъ, а снаружи ихъ циркулируетъ вода холодная. Въ такого рода холодильникахъ охлаждающая вода не смѣшивается съ паромъ, что для морскихъ машинъ весьма важно, такъ какъ при этомъ получается возможность имѣть для питанія котла прѣсную воду, не смѣшанную съ большимъ количествомъ морской воды, которая даетъ осадки, вредящіе и дѣйствію и прочности котла. Но за то для обыкновенныхъ, постоянныхъ машинъ холодильники съ нарузнымъ охлажденіемъ, какъ по своей громоздкости, такъ и по большой стоимости трубъ, необходимыхъ для полученія достаточной поверхности, способной охладить паръ, - неудобны и рѣдко употребляются.

2. Холодильникъ съ внутреннимъ охлажденіемъ состоитъ изъ сосуда, соединеннаго съ одной стороны съ выходною трубою парового цилиндра, черезъ которую въ сосудъ этотъ приходитъ окончившій свое дѣйствіе паръ;

съ другой стороны холодильникъ соединенъ съ резервуаромъ холодной воды другою трубою, оканчивающуюся особымъ устройствомъ, назначеннымъ къ разбиванію струи воды на возможно мелкія части, чтобы она могла лучше перемѣшиваться съ паромъ и охлаждать его. Количество воды этой трубою доставляемой регулируется обыкновенно особымъ краномъ, помощью котораго можно устанавливать усиливать ослаблять и совершенно прекращать вбрызгиваніе въ холодильникъ холодной воды. Вмѣстѣ съ водою, которая вбрызгивается въ холодильникъ, въ него входитъ также значительное количество воздуха, который, при обыкновенномъ атмосферномъ давленіи, содержится въ водѣ въ пропорціи до 5% по объему; этотъ воздухъ освобождается изъ воды при пониженномъ давленіи холодильника и долженъ быть изъ него удаленъ вмѣстѣ съ водою вбрызгиваемою и водою получаемою черезъ охлажденіе пара. Для этого служитъ обыкновенно особый насосъ, именуемый воздушнымъ, такъ какъ по объему весьма значительная часть продуктовъ, выкачиваемыхъ посредствомъ него изъ холодильника, состоитъ изъ воздуха. Этотъ насосъ стоитъ или снаружи холодильника или внутри его; первый типъ есть конструкція Ватта; второй принадлежитъ Кодзлею. Воздушный

насосъ устанавлается и двойнаго и простаго дѣйствія; въ первомъ случаѣ онъ подобно всякому насосу двойнаго дѣйствія снабженъ четырьмя клапанами, двумя всасывающими и двумя выпускными; если же воздушный насосъ простаго дѣйствія, то въ немъ вмѣсто двухъ клапановъ обыкновенно устраивается три; одинъ изъ нихъ отдѣляетъ стаканъ насоса отъ холодильника, другой находится въ поршнѣ насоса, и третій служитъ для отдѣленія стакана насоса отъ помѣщенія, въ которое всасывается вода. Во время нисходящаго движенія поршня два клапана, отдѣляющіе стаканъ насоса съ одной стороны отъ холодильника, съ другой стороны отъ пріемника, въ который вытачиваются продукты, содержащіеся въ холодильникѣ, закрыты; въ началѣ закрытъ также клапанъ поршня. По мѣрѣ же того, какъ поршень опускается, въ пространствѣ надъ поршнемъ давленіе, первоначально равное атмосферному, уменьшается, давленіе же подъ поршнемъ, которое при началѣ нисходящаго размаха равно давленію въ холодильникѣ, увеличивается; когда эти два давленія сравняются между собою, клапанъ поршня открывается, и, продукты, заключавшіеся подъ поршнемъ, переходятъ наверхъ его; при этомъ очевидно въ стаканѣ на-

соса до самаго конца нисходящаго размаха будетъ сохраняться одно и тоже давленіе, которое будетъ заключаться между давленіемъ холодильника и давленіемъ атмосферы. Затѣмъ начнется восходящій размахъ; клапанъ поршня закроется; давленіе подъ поршнемъ станетъ уменьшаться и когда оно сдѣлается равнымъ давленію въ холодильникѣ, то клапанъ, отдѣляющій холодильникъ отъ стакана насоса, откроется и вода вмѣстѣ съ воздухомъ изъ холодильника начнетъ переходить въ стаканъ подъ поршнемъ; въ то же время давленіе надъ поршнемъ станетъ возрастать, и когда оно сравнится съ атмосферным, — то клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ пріемника, въ который выкачивается воздухъ и вода, открывается, и вода вмѣстѣ съ воздухомъ выходятъ изъ стакана насоса. Все это продолжается до самаго конца восходящаго размаха. Чтобы составить себѣ совершенно правильное понятіе о способѣ дѣйствія воздушнаго насоса, замѣтимъ еще одну его особенность, происходящую изъ того, что имъ выкачивается не однородная жидкость, а смѣсь воды и газовъ; особенность эта состоитъ въ слѣдующемъ: когда клапанъ, отдѣляющій холодильникъ отъ стакана насоса, открывается, вода въ холодильникѣ стоитъ обыкновенно выше этого клапана; въ то

все время пространство подъ поршнемъ наполнено только водою; поэтому вода тотчасъ по открытіи клапана устремляется подъ поршень и слѣдитъ за нимъ; это продолжается до тѣхъ поръ, пока ея уровень въ холодильникѣ не понизится до уровня клапана. Начиная съ этого момента, при дальнѣйшемъ движеніи поршня кверху, ничто не мѣшаетъ воздуху и отчасти пару идти изъ холодильника въ насосъ, и часть его дѣйствительно перейдетъ туда и помѣстится непосредственно подъ поршнемъ; отъ этого уровень воды упадетъ въ насосѣ и поднимется въ холодильникѣ. Затѣмъ поршень продолжаетъ подниматься; часть воды снова переходитъ изъ холодильника въ стаканъ; уровень воды въ холодильникѣ снова доходитъ до клапана, накопившійся воздухъ и паръ частью снова переходятъ подъ поршень насоса, уровень воды снова падаетъ въ стаканѣ насоса и поднимается въ холодильникѣ и т. д., и все это продолжается во тѣхъ поръ, пока поршень не достигнетъ своей верхней мертвой точки, такъ что во время восходящаго размаха уровень воды въ холодильникѣ нѣсколько разъ опускается и поднимается, и воздухъ приходитъ въ стаканѣ насоса пузырями. При нисходящемъ размахѣ

когда открывается клапанъ поршня, въ пространство надъ нимъ проходятъ сначала воздухъ и паръ, помѣщающіеся подъ поршнемъ, а затѣмъ уже начинаетъ переходить вода, и при этомъ никакихъ особенныхъ явленій не замѣчается. Должно обратить вниманіе на ту роль, которую играетъ клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ пріемника, въ который выкачиваются продукты охлажденія пара; если бы его не было, то насосъ могъ бы дѣйствовать столь же исправно, и разница заключалась бы только въ томъ, что клапанъ поршня открывался бы при нисходящемъ движеніи нѣсколько позднѣе, такъ какъ его открытіе могло бы послѣдовать только послѣ того какъ воздухъ подъ поршнемъ былъ бы сжатъ до давленія атмосферы; но поршень, при своемъ нисходящемъ размахѣ, до момента открытія клапана побуждался бы къ движенію разностью атмосфернаго давленія надъ давленіемъ подъ поршнемъ, а во время восходящаго размаха долженъ бы былъ преодолѣвать ту же разность; въ присутствіи клапана отдѣляющаго отъ насоса пріемникъ выкачиваемыхъ продуктовъ, давленіе на верхнюю сторону поршня въ стаканѣ во время нисходящаго размаха постепенно убываетъ, а потому работа давленія, побуждающаго поршень къ движе

нію во время опусканія — меньше; работа давленія, сопротивляющагося его подъему во время восходящаго размаха будетъ также меньше, нежели въ томъ случаѣ, когда клапана въ верхней части стакана не имѣется, такъ какъ давленіе на верхнюю сторону поршня меньше атмосфернаго и поравняется съ нимъ только въ тотъ моментъ, когда нагнетательный клапанъ откроется. Такимъ образомъ клапанъ этотъ уменьшаетъ неравномѣрность усилія, требующагося для движенія воздушнаго насоса, и въ этомъ отношеніи слѣдовательно способствуетъ болѣе равномѣрному ходу машины.

Независимо отъ этого клапанъ, отдѣляющій стаканъ насоса отъ внѣшняго пространства, въ которое выкачиваются продукты сгорѣванія, приноситъ еще существенную пользу въ другомъ отношеніи. Если бы этого клапана не было, то при началѣ восходящаго размаха клапанъ поршня сталъ бы закрываться очень быстро, такъ какъ это закрытіе производилось бы перевѣсомъ полнаго атмосфернаго давленія надъ почти совершенно пустотою, образующеюся въ стаканѣ насоса подъ поршнемъ при началѣ его восходящаго движенія. Такое быстрое закрытіе клапана поршня необходимо сопровождается значитель-

нымъ ударомъ, дѣйствующимъ и на поршень воздушнаго насоса, и на всѣ тѣ органы, при посредствѣ которыхъ онъ приводится въ движеніе. Этотъ ударъ значительно ослабляется, если стаканъ насоса отдѣленъ клапаномъ отъ внѣшняго пространства, такъ какъ при началѣ восходящаго движенія поршня внутри стакана подъ поршнемъ имѣется давленіе гораздо меньшее атмосферного. Правда, что за то при началѣ нисходящаго движенія поршня производится довольно сильный ударъ вслѣдствіе закрытія самаго клапана, стоящаго вверху воздушнаго насоса, но какъ сѣдло этого клапана утверждено прямо въ неподвижныхъ частяхъ машины, то сказанный ударъ вовсе не производитъ того вреднаго дѣйствія, которое производитъ ударомъ клапана, сидящаго въ поршнѣ воздушнаго насоса.–

Для лучшаго объясненія устройства описывающихъ приборовъ съ внутреннимъ описываніемъ на черт. ~~94~~ ~~106~~ изображены различные типы употребляемыхъ холодильниковъ; изъ нихъ первый (черт. ~~94~~ 2, ~~95, 96~~) устроенъ въ общемъ по типу Баттео, второй (черт. ~~97~~ 4) по типу Модслея, а третій, четвертый и пятый (черт. 98, 6, 7, 11, 12 ~~99 — 106~~) имѣютъ насосы двойнаго дѣйствія. Разсматривая означенные чертежи

видимъ, что охлаждающій приборъ, изображенный на фиг. 94, 95, 96 состоитъ изъ двухъ отдѣльныхъ чугунныхъ цилиндровъ, изъ которыхъ правый представляетъ собою стаканъ насоса, а лѣвый есть холодильникъ. Оба цилиндра установлены на одномъ общемъ чугунномъ ящикѣ, въ которомъ укрѣплено сѣдло всасывающаго клапана; около сѣдла въ ящикѣ имѣется отверстіе, закрытое привинченною крышкою, для возможности осматривать клапанъ. Выше стакана насоса (правый цилиндръ) находится небольшой бакъ, въ которомъ собирается теплая вода, отводимая изъ этого бака особою трубою; внутри холодильника (лѣвый цилиндръ) находится привинченная къ чугунному ящику поднимающаяся вверхъ труба, которая можетъ закрываться и открываться болѣе или менѣе посредствомъ каучукового клапана, которому движеніе сообщается при помощи соединеннаго съ нимъ стержня отъ особаго ручнаго маховика, устройство котораго изображено на фигурѣ 96. Дѣйствіемъ этого клапана въ устьѣ трубы образуется большее или меньшее кольцеобразное отверстіе, черезъ которое холодная вода вбрызгивается въ видѣ распадающагося фонтана въ холодильникъ и весьма хорошо перемѣшивается съ мятымъ паромъ, поступающимъ въ

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

Фиг. 9/4 изображаетъ общее устройство холодильника по типу Модзлея; какъ видно изъ чертежа воздушный насосъ поставленъ внутри цилиндра А, составляющаго собственно холодильникъ, въ который трубою Д притекаетъ мятый паръ, а яблокомъ Е притекаетъ холодная вода предварительно прошедшая черезъ регулирующій кранъ Ж; эта вода идетъ въ холодильникъ изъ бака, внутри котораго онъ помѣщенъ (съ того же цѣлью, которая была объяснена при описаніи пре-

дящаго холодильника). Надъ воздушнымъ насосомъ и здѣсь находится камера, въ которой собирается теплая вода, отводимая трубою J. Изображенный на чертежѣ холодильникъ имѣетъ только два клапана, а именно одинъ внутри поршня, а другой отдѣляющій стаканъ воздушнаго насоса отъ внѣшняго пространства. Клапана же отдѣляющаго холодильникъ отъ стакана воздушнаго насоса здѣсь нѣтъ, и вслѣдствіе того дѣйствіе воздушнаго насоса нѣсколько видоизмѣняется сравнительно съ тѣмъ, что было объяснено выше. Восходящій размахъ при этомъ устройствѣ ничѣмъ не отличается отъ восходящаго размаха и при существованіи между холодильникомъ и насосомъ клапана, такъ какъ этотъ послѣдній при восходящемъ размахѣ открытъ; но при нисходящемъ движеніи поршня прежде всего воздухъ находящійся непосредственно подъ поршнемъ сжимается, увеличиваетъ давленіе на поверхность воды въ стаканѣ и вода эта имѣющая свободное сообщеніе съ холодильникомъ понижаетъ свой уровень внутри насоснаго стакана и повышаетъ его въ холодильникѣ. Это продолжается до тѣхъ поръ, пока вслѣдствіе постепеннаго пониженія поршня давленіе поверхъ его не сдѣлается на вѣсъ

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

Фиг. ~~38~~ 6 и ~~39~~ 7 изображаютъ холодильникъ съ горизонтальнымъ насосомъ двойнаго дѣйствія; здѣсь холодильникомъ собственно служитъ пространство А, въ которое вода приводится сжатыми трубами Е и Е' черезъ кранъ F изъ трубы J, а паръ приводится трубою D. Воздушный насосъ В расположенъ внизу холодильника и отдѣленъ отъ него двумя всасывающими клапанами d и d';

резервуаръ теплой воды K находится въ верхней части холодильника и отдѣленъ отъ насоса двумя напорными клапанами f и f'. Какъ видно изъ чертежа сальникъ воздушнаго насоса находится подъ водою съ цѣлью предотвратить просачиваніе воздуха; клапаны здѣсь прямоугольные, сдѣланные изъ вулканизированнаго каучука, опирающагося на бронзовыя рѣшетки, изображенныя на фигурѣ 101; на фиг. 100 изображено приспособленіе, которое довольно часто употребляется для того, чтобы остановить дѣйствіе холодильника (на случай его починки) и продолжать дѣйствіе паровой машины безъ охлажденія пара. Для этого на трубѣ A отводящей мятый паръ изъ цилиндра устраивается клапанъ F, который имѣетъ форму двойнаго конуса и можетъ быть насажъ винтомъ или къ верхнему или къ нижнему своему сѣдлу; въ первомъ случаѣ, который и изображенъ на чертежѣ, паръ изъ трубы A идетъ внизъ, и за симъ боковою трубкою отводится въ холодильникъ; во второмъ случаѣ паръ изъ трубы A идетъ наверхъ и отводится въ атмосферу.

Фиг. 102–103 представляютъ другой холодильникъ съ горизонтальнымъ насо-

сомъ двойнаго дѣйствія и съ каучуковыми круговыми клапанами, устроенными по системѣ Пенна, и изображенными детально на черт. 104. Холодильникъ имѣетъ здѣсь видъ прямоугольнаго ящика, въ нижней части котораго помѣщенъ насосъ; съ одной стороны его находится клапанный ящикъ, раздѣленный по серединѣ перегородкою, отдѣляющею всасывающій (нижній) и нагнетательный (верхній) клапаны, сообщающіеся съ лѣвою стороною поршня, отъ такихъ же клапановъ, работающихъ на его правой сторонѣ. При такомъ расположеніи насоса весьма нерѣдко систему верхнихъ клапановъ поднимаютъ нѣсколько надъ насосомъ съ тою цѣлію, чтобы воздухъ проходящій черезъ всасывающій клапанъ нашелъ себѣ помѣщеніе въ клапанной коробкѣ, по возможности не входя въ самый стаканъ насоса. Какъ видно при обоихъ холодильникахъ съ воздушными насосами двойнаго дѣйствія, употреблены каучуковые клапаны вмѣсто металлическихъ, весьма часто употребляемыхъ въ насосахъ простаго дѣйствія. Причина предпочтенія каучуковыхъ клапановъ заключается въ значительной скорости движенія, которую обыкновенно придаютъ насосамъ двойнаго дѣйствія, приводимымъ

въ движеніе прямо отъ стержня паровагo поршня. При этой значительной скорости удары металлическихъ клапановъ весьма сильны и дѣйствіе ихъ очень скоро разстраивается; удары же каучуковыхъ клапановъ весьма значительно смягчаются ихъ упругостью, и для большаго облегченія этихъ ударовъ по примѣру Пенна каучуковые клапаны обыкновенно подраздѣляютъ на отдѣльные круглые клапаны, имѣющіе въ діаметрѣ не болѣе 18 сантиметровъ; такое подраздѣленіе весьма полезно какъ для уменьшенія силы удара, такъ и для того, чтобы порча одного или нѣсколькихъ изъ большаго числа клапановъ не могла остановить дѣйствія насоса.

На фиг. ~~105~~ 14 и ~~106~~ 15 изображенъ холодильникъ устроенный подобно предъидущему, но въ которомъ клапаны расположены не съ боку, а по концамъ насоса.–

39. Для опредѣленія размѣровъ охлаждающаго прибора всего важнѣе знать количество воды, потребной для охлажденія; въ механической теоріи теплоты показано, что если означимъ черезъ J количество охлаждаемаго пара, а черезъ J' искомое для его охлажденія количество воды, то:

Лит. Ф. Крегеръ Пост. ст. С.П.Б.

$$\frac{G'}{G} = \frac{t - t' + xr}{t' - t_0} = \frac{t + r - t' - (1-x)r}{t' - t_0} =$$

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

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

Количество охлаждающей воды весьма существенно зависитъ отъ ея температуры; чѣмъ меньше температура употребляемой для охлажденія воды, тѣмъ меньше также количество ея потребно для охлажденія. Обыкновенно не встрѣчается затрудненія, чтобы имѣть для охлажденія воду, которой температура не выше 15° по Цельзію, и слѣдовательно въ предъидущей формулѣ можно полагать $t_0 = 15$. Температура охлаждаемаго пара также оказываетъ вліяніе на количество воды, употребляемой для охлажденія, но вліяніе это сравнительно весьма слабое; такъ на-

примѣръ, предполагая $t' = 40$, $t_0 = 15$, $x = 1$, мы получимъ:

при $t = 152, 100, 40$

$$\frac{\varrho'}{\varrho} = 24,5,\ 23,9,\ 23,1$$

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

при $t = 152, 100, 40$

$$\frac{\varrho'}{\varrho} = 20,5,\ 19,6,\ 18,5$$

Только что приведенныя числа показываютъ въ то же время, что степень влажности охлаждаемаго пара имѣетъ большое вліяніе на количество охлаждающей воды, а именно: чѣмъ влажнѣе паръ поступающій въ холодильникъ, тѣмъ менѣе требуется воды для его охлажденія. Но намъ извѣстно, что при томъ же начальномъ давленіи дѣйствующаго въ цилиндрѣ пара, температура пара, оканчивающаго свое дѣйствіе и поступающаго въ холодильникъ будетъ тѣмъ ниже, и степень влажности тѣмъ больше, чѣмъ больше степень расширенія пара во время его дѣйствія. Поэтому расширеніе пара, кромѣ прямаго своего вліянія на увели-

ченіе полезнаго дѣйствія, приносить еще и косвенную пользу, уменьшая количество воды, необходимой для охлажденія пара и слѣдовательно сокращая расходы какъ на ея доставленіе къ машинѣ, такъ и на выкачиваніе ея посредствомъ воздушнаго насоса.

Самое важное вліяніе на количество потребной для охлажденія воды оказываетъ температура продуктовъ охлажденія. Если вычислимъ величину отношенія $\frac{G_1}{G}$, предполагая $t = 100°$, $x = 1$ и $t_0 = 15°$, при различныхъ значеніяхъ температуры t', то получимъ слѣдующую таблицу:-

Температура продуктовъ охлажденія по Цельзію.	Давленіе въ холодильникѣ въ атмосферахъ.	Отношеніе вѣса охлажденной воды къ вѣсу охлажденнаго пара.
15	0,018	∞
20	0,025	126,00
25	0,035	62,50
30	0,046	41,30
35	0,062	30,70
40	0,080	24,40
45	0,104	20,10
50	0,132	17,10
55	0,167	14,80
60	0,210	13,10
65	0,260	11,70

Температура продуктовъ охлажденія по Цельзію.	Давленіе въ холодильникѣ въ атмосферахъ.	Отношеніе вѣса охлаждаемой воды къ вѣсу охлаждаемаго пара.
70	0,330	10,54
75	0,400	9,70
80	0,480	8,76
85	0,590	8,00
90	0,700	7,46
95	0,840	6,93
100	1,000	6,35

Изъ этой таблицы видно: 1) что съ увеличеніемъ температуры продуктовъ охлажденія давленіе внутри холодильника возрастаетъ, но въ началѣ это возрастаніе весьма медленно, а потомъ становится все быстрѣе и быстрѣе; 2) что съ возрастаніемъ допускаемаго въ холодильникъ давленія, количество потребной воды уменьшается, притомъ сначала весьма быстро, а по мѣрѣ приближенія давленія къ атмосферному — все медленнѣе и медленнѣе, слѣдовательно, наоборотъ, съ возрастаніемъ количества охлаждающей воды давленіе въ холодильникѣ падаетъ сначала очень быстро, а потомъ по мѣрѣ увеличенія количества воды паденіе давленія становится все медленнѣе и медленнѣе, и наконецъ, 3) что начиная съ того количества воды, которое достаточно, чтобы

довести давленіе до 0,08 атмосферы (40 градусовъ температуры) давленіе, съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ количества охлаждающей воды хотя и понижается, но пониженіе это едва замѣтно. Изъ этого видно, что представляется серьезное неудобство въ томъ, чтобы спускать температуру продуктовъ охлажденія ниже 35-40 градусовъ, такъ какъ при дальнѣйшемъ пониженіи выгода, получаемая отъ уменьшенія давленія, не вознаграждаетъ расходовъ на доставленіе къ машинѣ холодной воды и на выкачиваніе изъ холодильника продуктовъ охлажденія.-

Практика Ватта состояла въ томъ, чтобы доставлять для охлажденія паровъ количество воды, превосходящее въ 27 разъ по вѣсу количество охлаждаемаго пара, что соотвѣтствуетъ давленію холодильника въ 0,07 атмосферы. По предыдущему разсчету при давленіи холодильника въ 0,08 атмосферы, отношеніе между вѣсомъ охлаждающей воды и охлаждаемаго пара составляетъ 24,4. Инъ охлажденіе употребляется, по преимуществу для машинъ, дѣйствующихъ съ значительнымъ расширеніемъ пара; а изъ цилиндра такихъ машинъ паръ выходитъ съ большимъ процентомъ влажности даже и въ томъ случаѣ, если онъ при началѣ своего

дѣйствія совершенно сухъ: поэтому согласно приведеннымъ даннымъ, и если не заботиться о понижеціи давленія въ холодильникѣ далѣе 0,1 атмосферы, то въ большинствѣ случаевъ можно принимать, что количество охлаждающей воды должно превосходить количество охлаждаемаго пара не болѣе какъ въ 20 разъ. Это число и можно полагать въ основаніе всего разсчета охлаждающаго прибора, когда встрѣчается затрудненіе въ дешевой доставкѣ воды къ машинѣ; во всѣхъ же случаяхъ, въ которыхъ этого затрудненія не имѣется, благоразумнѣе слѣдовать правилу Ватта, разсчитывая, что на охлажденіе пара потребно количество воды въ 27 разъ больше по вѣсу противъ количества охлаждаемаго пара; при томъ, при опредѣленіи количества охлаждаемаго пара, должно считать, что машина дѣйствуетъ съ наименьшимъ возможнымъ для нея расширеніемъ; такъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда для временнаго увеличенія производимой машиною работы предполагается иногда дѣйствовать совсѣмъ безъ расширенія пара, - должно принимать, что при каждомъ размахѣ поршня количество охлаждаемаго пара наполняетъ весь объемъ цилиндра, что этотъ паръ совершенно сухой, и что температура его равна температурѣ внутри котла.

40. На основаніи предыдущаго, не трудно опредѣлить объемъ продуктовъ охлажденія, который долженъ быть удаленъ изъ холодильника посредствомъ воздушнаго насоса во время одного оборота вала машины. На самомъ дѣлѣ, пусть I будетъ вѣсъ пара, расходуемаго при данномъ оборотѣ вала машины, и пусть 5 означаетъ удѣльный объемъ воды; произведеніе $I\sigma$ очевидно будетъ представлять объемъ воды, образующейся вслѣдствіе охлажденія изъ пара, расходуемаго въ машинѣ при каждомъ оборотѣ вала машины; къ этому объему присоединится объемъ, охлаждающей воды, который согласно приведенному въ параграфѣ 39 равенству будетъ:

$$I\sigma' = I\sigma \frac{t - t' + x r}{t_1' - t_0}$$

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

$$0,05 I\sigma' = 0,05 I\sigma \frac{t' - t + x r}{t' - t_0}$$

По входѣ въ холодильникъ этотъ воздухъ расширяется какъ вслѣдствіе того, что давленіе въ холодильникѣ меньше атмосфернаго, такъ и вслѣдствіе того, что температура холодильника выше температуры, которую имѣлъ воздухъ въ холодильника. Чтобы вычислить объемъ принимаемый воздухомъ, послѣ того какъ онъ взошелъ въ холодильникъ, назовемъ черезъ h выраженную въ миллиметрахъ высоту столба ртути, уравновѣшивающаго давленіе въ холодильникѣ, а черезъ T_0 и T' — означимъ абсолютныя температуры охлаждающей воды и холодильника; въ такомъ случаѣ на основаніи закона Ге-Люссака и Маріотта объемъ принимаемый воздухомъ по входѣ его въ холодильникъ будетъ:

$$0,05\,G_б \times \frac{760}{h} \cdot \frac{T'}{T_0} = 0,05\,G_б\,\frac{t'-t+\varkappa r}{t'-t_0} \cdot \frac{760}{h} \cdot \frac{T'}{T_0}.$$

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

$$G_б\left[1+\frac{t-t'+\varkappa r}{t'-t_0}\left\{1+0,05\cdot\frac{760}{h}\cdot\frac{T'}{T_0}\right\}\right]$$

Опредѣленный этою формулою объемъ продуктовъ охлажденія не будетъ совершенно правиленъ, такъ какъ мы не приняли въ соображеніе, что не весь паръ взошедшій въ холодильникъ осаждается

и принимаетъ состояніе капельной жидкости, а что напротивъ часть его остается въ видѣ пара, и слѣдовательно занимаетъ сравнительно гораздо большій объемъ, чѣмъ предполагается при выводѣ означенной формулы. На этомъ основаніи объемъ жидкости, которую нужно выкачать воздушнымъ насосомъ изъ холодильника вообще больше, чѣмъ найденный нами объемъ продуктовъ сгорѣванія; а какъ сверхъ того объемъ жидкости выкачиваемой насосомъ всегда меньше, чѣмъ объемъ описываемый поршнемъ насоса во время всасывающаго размаха, то этотъ послѣдній объемъ должен вообще значительно превосходить численную величину послѣдне написанной формулы. Чтобы найти практическій коефиціентъ, на который ее надобно помножить, дабы получить надлежащій объемъ воздушнаго насоса, всего лучше сравнить результаты формулы съ дѣйствительнымъ объемомъ воздушныхъ насосовъ исполненныхъ и хорошо дѣйствующихъ паровыхъ машинъ.

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

$h = 62^{mm}$; $T' = 273 + 35 = 308$; $T_0 = 273 + 15 = 288$
и слѣдовательно

$$\frac{t - t' + x}{t' - t_0} = 24,40; \quad 0,05 \frac{760}{h} \cdot \frac{T'}{T_0} = 0,677$$

а потому объемъ продуктовъ охлажденія составитъ по выведенной формулѣ.

$$Gb\{1 + 24,40(1 + 0,677)\} = 41,9196 = 0,04191\, G_{\text{куб. метр.}}$$

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

$$1,273 \times 0,04191v = 0,0534v$$

т.е. теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія составляетъ немного болѣе $1/19$ объема цилиндра. Между тѣмъ, Редтенбахеръ въ своемъ Resultate

гит Maschinenbau даетъ правило, что въ машинахъ низкаго давленія системы Ватта, т. е. дѣйствующихъ безъ расширенія, діаметръ воздушнаго насоса простаго дѣйствія долженъ составлять $\frac{2}{3}$ діаметра пароваго поршня и размахъ воздушнаго насоса равенъ половинѣ размаха пароваго поршня; по этому объемъ который описывается поршнемъ воздушнаго насоса, въ дѣйствительности составляетъ $\frac{2}{9}$ объема, описываемаго паровымъ поршнемъ, т. е. этотъ объемъ слишкомъ въ четверо болѣе теоретическаго объема продуктовъ охлажденія вычисленнаго въ предыдущемъ параграфѣ; въ машинахъ, построенныхъ самимъ Ваттомъ, объемъ описываемый поршнемъ воздушнаго насоса составляетъ $\frac{1}{8}$ объема описаннаго паровымъ поршнемъ, такъ что этотъ объемъ въ два съ половиною раза больше теоретическаго объема продуктовъ охлажденія; наконецъ, существуетъ весьма много машинъ, гдѣ объемъ воздушнаго насоса составляетъ отъ $\frac{1}{6}$ до $\frac{1}{7}$ объема описываемаго паровымъ поршнемъ и гдѣ слѣдовательно воздушный насосъ приблизительно въ три раза превосходитъ теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія.

Принимая въ соображеніе, что маши-

ны, изъ коихъ заимствованы эти послѣдніе данныя относительно охлажденія дѣйствуютъ очень хорошо, можно принять вообще за правило, что для нахожденія объема воздушнаго насоса слѣдуетъ, опредѣливъ по выше данной формулѣ для одного оборота вала теоретическій объемъ продуктовъ охлажденія, увеличить его отъ двухъ съ половиною до трехъ разъ; полученное произведеніе и будетъ объемъ воздушнаго насоса простаго дѣйствія; воздушный насосъ двойнаго дѣйствія будетъ конечно вдвое меньше, т. е. будетъ равенъ теоретическому объему продуктовъ охлажденія, получаемыхъ при одномъ оборотѣ вала, увеличенному на 25% или на 50%.-

40. Опредѣливъ объемъ, который долженъ быть описываемъ поршнемъ воздушнаго насоса, слѣдуетъ задать себѣ длину его размаха и затѣмъ найти площадь поршня. При заданіи длины размаха нужно руководствоваться слѣдующими соображеніями: 1) насосъ дѣйствуетъ тѣмъ лучше, удары клапановъ его тѣмъ слабѣе, случаи остановки тѣмъ рѣже, чѣмъ меньше скорость поршня; 2) чрезвычайно важно, чтобы передача движенія поршню воздушнаго насоса была по возможности простая,

и входила естественнымъ образомъ въ установку машины; 3) расположеніе всѣхъ частей охлаждающаго прибора должно было по возможности на виду, чтобы осмотръ ихъ былъ не затруднителенъ.

Всѣ эти условія весьма легко исполнить въ машинахъ съ коромысломъ, гдѣ воздушный насосъ подвѣшивается къ параллелограмму такимъ образомъ, что размахъ его обыкновенно составляетъ половину размаха поршня. Оно также легко выполнимо и при такъ называемыхъ машинахъ прямаго дѣйствія (т.е. безъ коромысла), если не встрѣчается препятствія посадить на валъ машины особый кривошипъ, или сдѣлать особое колѣно для приведенія въ движеніе воздушнаго насоса, который тогда располагается по сосѣдству съ паровымъ цилиндромъ; если оказывается неудобнымъ устройство особаго кривошипа или колѣна на валъ воздушнаго насоса, то нерѣдко, особенно при горизонтальныхъ машинахъ, или устанавливаютъ холодильникъ по продолженію оси цилиндра такъ, что паровой поршень и поршень насоса укрѣпляются на одномъ и томъ же стержнѣ, или передаютъ движеніе отъ головки стержня пароваго поршня особому коромыслу, къ которому уже привѣшивается пор-

шень воздушнаго насоса; конечно въ первомъ случаѣ поршень насоса получаетъ большую скорость, и первое изъ приведенныхъ условій остается недостаточно выполненнымъ, но за то два другія условія выполнены превосходно; во второмъ случаѣ можно придать поршню насоса уменьченную скорость, но очевидно второе и третье изъ указанныхъ для воздушнаго насоса условій остаются совсѣмъ неудовлетворенными, особенно для горизонтальныхъ машинъ, при которыхъ холодильникъ и воздушный насосъ въ этой системѣ приходится ставить въ особой ямѣ. Имѣя это въ виду, а равно принимая въ соображеніе тотъ фактъ, что существуютъ и хорошо дѣйствуютъ даже такія машины въ которыхъ скорость воздушнаго насоса доходитъ до двухъ метровъ, можно принять за правило, что если для подвѣшиванія поршня воздушнаго насоса къ валу будетъ затруднительно посадить на немъ особый кривошипъ или сдѣлать особое колѣно, то преимущественно должно стараться укрѣпить поршень воздушнаго насоса на паровомъ штокѣ, при чемъ конечно онъ имѣетъ размахъ, равный размаху пароваго поршня; если же устройство кривошипа или колѣна на главномъ валѣ не затруднительно, то

этотъ послѣдній способъ приведенія въ движеніе воздушнаго насоса должно предпочесть, и для уменьшенія скорости поршня воздушнаго насоса размахъ его сдѣлать отъ 1/2 до 1/3 размаха пароваго поршня, наблюдая чтобы скорость поршня была отъ 40 до 70 сантиметровъ въ секунду.

41. Всасывающій клапанъ воздушнаго насоса долженъ быть разсчитанъ такимъ образомъ, чтобы продукты охлажденія, которые подъ/ходятся при всасывающемъ движеніи поршня воздушнаго насоса переходитъ изъ холодильника въ стаканъ насоса единственно только избыткомъ давленія въ холодильникѣ надъ давленіемъ въ стаканѣ насоса подъ поршнемъ, проходили черезъ этотъ клапанъ при каждомъ всасывающемъ размахѣ поршня въ количествѣ равномъ совокупному ихъ вѣсу поступающему въ холодильникъ при одномъ оборотѣ, или при одномъ полуоборотѣ вала, смотря по тому будетъ ли воздушный насосъ простаго или двойнаго дѣйствія; и такъ какъ давленіе, подъ которымъ вода поступаетъ изъ холодильника въ стаканъ насоса можно считать для всѣхъ машинъ съ охлажденіемъ приблизительно одинаковымъ, то и скорость движенія черезъ всасывающій клапанъ можно считать также одинаковою для всѣхъ машинъ;

если назовемъ эту скорость черезъ u и черезъ A площадь отверстія клапана, а черезъ t продолжительность его всасывающаго размаха, то объемъ продуктовъ отдѣленія прошедшій въ теченіе этого времени въ насосный стаканъ будетъ $A.u.t$; называя все черезъ n число оборотовъ главнаго вала машины въ минуту, получимъ въ случаѣ употребленія насосовъ простаго дѣйствія $nt = 30$, а потому объемъ продуктовъ отдѣленія, переходящихъ въ насосный стаканъ при одномъ всасывающемъ размахѣ поршня составитъ $A.u.\frac{30}{n}$.

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

за одинъ оборотъ вала

$$Au\frac{30}{n} = V \text{ или } A = \frac{nV}{30u} = \frac{V}{v}\cdot\frac{1}{30u}\cdot nv.$$

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

$$\frac{A}{W} = \frac{V}{v}\cdot\frac{1}{u}$$

Но если назовемъ черезъ N номинальную силу машины въ паровыхъ лошадяхъ,

Лит. Ф. Кремеръ СПБ.

то по правилу Ватта, будетъ $N = 65\,W$ и предыдущее равенство приведется къ

$$65\,\frac{A}{N} = \frac{1}{U}\,\frac{V}{v}$$

откуда

$$U = \frac{\left(\frac{V}{v}\right)}{65\left(\frac{A}{N}\right)}$$

Въ трехъ изъ существующихъ машинъ имѣемъ соотвѣтственно:

$$\frac{A}{N} = 0,0010\ ;\quad 0,0014\ ;\quad 0,0012$$

$$\frac{V}{v} = 0,171\ ;\quad 0,170\ ;\quad 0,172$$

а потому на основаніи предыдущей формулы получимъ соотвѣтственно:

$$U = 2,63\ ;\quad 1,87\ ;\quad 2,21$$

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

$$A = \frac{V}{v} \cdot \frac{W}{U}.$$

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

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

43. Холодная вода поступаетъ въ холодильникъ подъ давленіемъ равнымъ разности давленій атмосферы и холодильника, уменьшенной на потерю напора вслѣдствіе встрѣчаемыхъ водою препятствій и увеличенной на напоръ, который имѣетъ вода поступающая въ холодильникъ надъ тѣмъ мѣстомъ, гдѣ она во внутрь холодильника входитъ; этотъ послѣдній напоръ можетъ быть и отрицательный въ томъ случаѣ если вода, какъ это часто бываетъ, должна подниматься изъ колодца, расположеннаго ниже холодильника. Называя его черезъ h, и обозначая черезъ H выраженную въ столбѣ воды разность между давленіемъ атмосферы и давленіемъ холодильника, а черезъ h' потерю напора, происходящую отъ сопротивленій при входѣ, мы получимъ что скорость воды входящей въ холодильникъ выразится формулою

$$\sqrt{2g(H+h-h')};$$

а слѣдовательно называя черезъ A площадь поперечнаго сѣченія трубы, приводящей воду и черезъ t время одного полнаго оборота машины, получимъ, что объемъ воды входящей въ холодильникъ при одномъ оборотѣ вала машины будетъ

$$At\sqrt{2g(H+h-h')}$$

а какъ $t = \frac{60}{n}$, то этотъ объемъ выразится черезъ

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

и слѣдовательно вѣсъ воды поступающей въ холодильникъ будетъ

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

Полагая эту величину равною вычисленному напередъ вѣсу воды потребной для охлажденія, получимъ величину A, т. е. площадь поперечнаго сѣченія приводящей трубы: для этого надобно только знать величины H, h и h'; величина H для всѣхъ холодильниковъ можетъ быть принята равною девяти метрамъ; h опредѣлится въ каждомъ частномъ случаѣ смотря по положенію резервуара, изъ котораго берется охлаждающая вода; что же касается до h', то эту величину выражающую потерю напора вслѣдствіе различныхъ встрѣчаемыхъ водою препятствій вообще благоразумно предположить довольно значительною, такъ какъ послѣдствіемъ такаго предположенія будетъ лишь нѣкоторое увеличеніе діаметра трубы приводящей воду, и слѣд. увеличеніе притока воды, уменьшить который всегда возможно посредствомъ притиранія крана, который всегда ставится на трубѣ, и служитъ для регулированія притока

воды. Чтобы назначить правильную величину разности $H - h'$ въ предъидущей формулѣ, всего лучше опредѣлить ее черезъ сравненіе результатовъ формулы съ размѣрами приводной трубы существующихъ машинъ. — Мы уже упоминали прежде, что количество холодной воды, употребляемой для охлажденія пара въ машинахъ системы Ватта превосходитъ по вѣсу количество охлажденнаго пара въ 27 разъ, и какъ расходъ пара въ этихъ машинахъ на одинъ оборотъ вала составляетъ $1,273\,v$ килограмма, (гдѣ v есть объемъ описываемый паровымъ поршнемъ при одномъ размахѣ), то вѣсъ охлаждающей воды будетъ $27 \times 1,273\,v = 34,37\,v$, и слѣдовательно для машинъ Ватта, низкаго давленія, для которыхъ можно положить $h = 0$, будетъ

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

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

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

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

Величина $\frac{A}{P}$ составляетъ въ существующихъ машинахъ число очень близкое къ 0,00006, а слѣдовательно для нихъ будетъ

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

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

равняется не одному метру а четыремъ метрамъ. Что касается до яблока или вообще прибора служащаго къ раздѣленію на части струи воды, то его долженъ располагать какъ можно ближе къ трубѣ, приводящей паръ въ холодильникъ, и притомъ такъ, чтобы струи холодной воды встрѣчали паръ и перемѣшивались съ нимъ возможно лучше.

Существующій способъ введенія холодной воды въ холодильникъ, по весьма справедливому замѣчанію Редтенбахера, заключаетъ въ себѣ одинъ значительный недостатокъ, а именно: самое важное для надлежащаго охлажденія пара очевидно состоитъ въ томъ, чтобы въ холодильникъ немедленно послѣ сообщенія его съ цилиндромъ ввести количество воды, достаточное для того, чтобы сразу обратить въ воду большое количество пара вдругъ прибывающаго въ холодильникъ; затѣмъ количество нужной холодной воды становится уже гораздо меньше, такъ какъ она должна отнимать лишь небольшое количество теплоты, скопляющееся въ парѣ, переходящемъ въ холодильникъ вслѣдствіе его сжатія при постепенномъ перемѣщеніи пароваго поршня. Поэтому всего раціональнѣе было бы тотчасъ по сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ вводить въ

сей послѣдний большое количество воды, а за тѣмъ уменьшать это количество въ значительной степени; существующій способъ представляетъ явленіе прямо противоположное. Такъ какъ вода побуждается къ вливанію въ холодильникъ избыткомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ холодильника, а это послѣднее случается по сообщеніи холодильника съ цилиндромъ имѣетъ еще порядочную величину, то скорость воды вливающейся при этомъ въ холодильникъ не велика; а затѣмъ по мѣрѣ того, какъ пустота образуется внутри холодильника, вода все съ большею и большею скоростью, и слѣдовательно все въ большемъ и большемъ количествѣ туда вливается, такъ что когда вода нужна въ большой массѣ, ея доставляется мало, а когда ея почти не требуется, напротивъ, она доставляется въ чрезвычайномъ избыткѣ; поэтому, согласно съ замѣчаніемъ Редтенбахера было бы очень полезно вгонять воду въ холодильникъ не внѣшнимъ атмосфернымъ давленіемъ, а насосомъ, который могъ бы втаскивать воду въ холодильникъ прямо въ моментъ его сообщенія съ цилиндромъ.

44. Для отвода теплой воды вытекающей изъ холодильника устраивается

особая труба, которая примыкает на извѣстной высотѣ къ резервуару, въ который первоначально выводятъ изъ насоса продукты охлажденія; этой трубѣ придаютъ значительное поперечное сѣченіе съ цѣлію по возможности уменьшить скорость движенія по ней воды. Обыкновенно эта скорость принимается не болѣе двухъ метровъ въ секунду, и слѣдовательно напоръ, который нужно имѣть для сообщенія этой скорости, составляетъ отъ 20 до 25 сантиметровъ, такъ что вода въ резервуарѣ, получающемъ ее изъ насоса, должна стоять надъ отверстіемъ трубы не менѣе, чѣмъ на этой высотѣ. Изъ этого слѣдуетъ необходимость имѣть надъ клапаномъ въ резервуарѣ постоянный столбъ воды, который впрочемъ и полезенъ съ другой точки зрѣнія, а именно въ томъ отношеніи, что клапаны, а также въ случаѣ насоса простаго дѣйствія и сальникъ будучи постоянно закрыты водою не могутъ пропускать воздуха во внутрь воздушнаго насоса.- При устройствѣ резервуара для теплой воды необходимо озаботиться тѣмъ, чтобы его поперечное сѣченіе было значительно болѣе, чѣмъ поперечное сѣченіе клапана; въ противномъ случаѣ при открытіи клапана весь столбъ воды надъ нимъ стоящій долженъ очень

быстро пріобрѣсти замѣтную скорость, что временно значительно усиливаетъ давленіе требующееся отъ поршня и производитъ на него дѣйствіе подобное сильному удару. Въ особенности эта предосторожность имѣетъ большое значеніе въ томъ случаѣ, когда вслѣдствіе значительнаго превышенія надъ воздушнымъ насосомъ уровня резервуара, въ который окончательно удаляется теплая вода, необходимо бываетъ придать столбу воды прямо надъ насосомъ большую высоту. Въ этомъ случаѣ весьма полезно устраивать воздушный колоколъ надъ выпускнымъ клапаномъ насоса такъ, чтобы по мѣрѣ поступленія подъ колоколъ воды, воздухъ въ немъ сжимался и давленіемъ своимъ сообщалъ постепенно водѣ требуемую скорость. При этомъ обыкновенно надъ выпускными клапанами поршня оставляютъ слой воды, который бы никогда не былъ менѣе 15 или 20 сантиметровъ, и который предотвращалъ бы просачиваніе воздуха во внутрь насоса, и затѣмъ на этой высотѣ надъ клапанами располагаютъ отверстіе отводной трубы, а выше его ставятъ воздушный резервуаръ. При такомъ устройствѣ вода будетъ входить въ резервуаръ исключительно только отъ момента открытія

выпускнаго клапана, до момента окончанія размаха поршня воздушнаго насоса, а вытекать будетъ постоянно подъ усиленнымъ давленіемъ воздушнаго резервуара; поэтому въ моментъ открытія клапана количество воды въ резервуарѣ находящейся и давленіе въ немъ воздуха будутъ наименьшія, и слѣдовательно ударъ при открытіи клапана будетъ очень слабый; затѣмъ, когда клапанъ откроется, давленіе начнетъ возрастать, а также начнетъ усиливаться скорость движенія воды, которая вмѣстѣ съ давленіемъ достигнетъ своего maximum въ концѣ размаха поршня воздушнаго насоса, и затѣмъ будетъ постоянно убывать до новаго открытія клапана. Такимъ образомъ получается сообщеніе водѣ скорости весьма постепенное, что особенно важно, если поршень насоса ходитъ быстро.— Расположенія подобныя описанному поэтому и встрѣчаются по преимуществу въ машинахъ съ воздушнымъ насосомъ двойнаго дѣйствія, въ которыхъ поршень имѣетъ обыкновенно скорость равную скорости пароваго поршня и доходящую иногда до двухъ метровъ въ секунду.—

45. Чтобы первоначально пустить въ ходъ паровую машину съ охлажденіемъ пара, надобно предварительно удалить

воздухъ изъ холодильника и достигнуть нормальнаго давленія внутри его; съ этою цѣлью къ холодильнику обыкновенно приспособляютъ два клапана, называемые продувательными, и приводимые въ движеніе руками; изъ нихъ одинъ служитъ для сообщенія холодильника съ паровымъ котломъ, а другой съ атмосферою; когда машина пускается въ ходъ, то холодильникъ наполненъ водою до того уровня, до котораго его возможно наполнять при существующемъ горизонтѣ воды въ бакѣ холодной воды; когда при этомъ открываются оба клапана, то паръ изъ котла идетъ въ холодильникъ, отчасти гаснетъ сгущается въ прикосновеніи съ холодною водою, а отчасти выгоняетъ воздухъ черезъ клапанъ, сообщающій холодильникъ съ атмосферою. Впусканіе пара продолжается до тѣхъ поръ, пока воздухъ будетъ совсѣмъ выгнанъ изъ холодильника, что нетрудно узнать, закрывъ оба клапана, и соединивъ холодильникъ съ вакуметромъ, который въ случаѣ совершеннаго устраненія воздуха изъ холодильника тотчасъ показываетъ значительное понижеціе давленія. Впрочемъ иногда не устраиваютъ означенныхъ здѣсь клапановъ, и тогда продуваніе холодильника дѣлается при посредствѣ распредѣлительнаго золотника,

который расцѣпляютъ съ эксцентрикомъ, и ручками переставляютъ такъ, чтобы паръ изъ котла могъ идти прямо въ холодильникъ; воздухъ и излишній паръ выходятъ сейчасъ тогда выходъ отчасти черезъ воздушный насосъ, а отчасти черезъ кранъ служащій для впрыскиванія холодной воды.

Размѣры продувательныхъ клапановъ довольно произвольны; ихъ всего удобнѣе относить къ объему холодильника; во многихъ машинахъ это отношеніе опредѣлено такимъ образомъ, что на каждый кубическій метръ объема холодильника приходится въ поперечномъ сѣченіи 25 квадратныхъ сантиметровъ для впускного и до 50 квадратныхъ сантиметровъ для выпускного клапана.

Сверхъ отверстій для продувательныхъ клапановъ, обыкновенно встрѣчаемыхъ въ холодильникахъ значительныхъ размѣровъ, въ нихъ дѣлается еще особое отверстіе плотно закрываемое тѣмъ же способомъ, какъ отверстіе для качегара въ паровыхъ котлахъ; это отверстіе необходимо для возможности, не разбирая холодильника, вычищать скопляющіяся въ немъ нечистоты, а именно остатки масла и сала, приносимые паромъ, а равно механическія примѣси, приносимыя охлаждающею водою, и осаждающіяся изъ нея соли. не над. до 72

46. Въ виду нѣкотораго уголощенія

паровой машины черезъ присоединеніе къ ней воздушнаго насоса сдѣлано было много попытокъ къ тому, чтобы производить охлажденіе безъ воздушнаго насоса. Принципъ, на которомъ основано устройство большей части охлаждающихъ приборовъ безъ воздушнаго насоса состоитъ въ томъ, что въ началѣ каждаго размаха вода и воздухъ скопившіеся въ холодильникѣ выталкиваются изъ него мятымъ паромъ, который конечно должень имѣть давленіе болѣе атмосфернаго, — а затѣмъ уже мятый паръ охлаждается самъ. Такимъ образомъ однако теряется возможность расширять паръ до надлежащей степени, и среднее давленіе въ холодильникѣ выходитъ больше, чѣмъ въ случаѣ употребленія воздушнаго насоса, такъ что расходъ топлива въ случаѣ уничтоженія воздушнаго насоса, не приноситъ столь значительной пользы, чтобы изъ за этого упрощенія отказываться и отъ возможности расширять паръ въ надлежащей степени, и отъ возможности надлежащимъ образомъ уменьшать давленіе на нерабочую сторону поршня. Въ цѣлію дать болѣе точное понятіе объ устройствѣ на этомъ принципѣ или так называемыхъ продувательныхъ холодильниковъ, на стр. 107 и 108 изображенъ одинъ

ичъ весьма хорошихъ типовъ этихъ холодильниковъ изобрѣтенный Барклаемъ; онъ представляетъ собою вертикальную трубу B, діаметромъ равную съ выпускною паровою трубою, съ которою выпускная труба соединена въ самомъ верху фланцемъ D; она имѣетъ на верху расширеніе, внутри котораго помѣщается другая труба C меньшаго діаметра, сообщенная фланцомъ E съ трубою, посредствомъ которой можетъ приливаться охлаждающая вода; нижнее отверстіе трубы C закрыто клапаномъ A, который посредствомъ рычага F, стержня I и кулачнаго эксцентрика K открывается и закрывается два раза въ теченіе одного оборота машины. Нижняя часть трубы B прямоугольная, снабжена четырьмя клапанами L, по одному на каждой сторонѣ прямоугольнаго сѣченія и помѣщена внутри цистерны, принимающей теплую воду и всѣ прочіе продукты охлажденія. Дѣйствіе этого холодильника состоитъ въ томъ, что паръ, при сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ, имѣющій давленіе большее, чѣмъ атмосферное, входитъ во внутрь холодильника при закрытомъ клапанѣ A, давленіемъ своимъ открываетъ клапаны L, и выгоняя изъ холодильника продукты охлажденія, собравшіеся въ немъ, т. е. воду и воздухъ, наполня-

етъ собою его объемъ; въ этотъ моментъ открывается клапанъ A, охлаждающая вода устремляется въ холодильникъ, осаждаетъ паръ тамъ находящійся, затѣмъ клапанъ A закрывается и находящаяся въ холодильникѣ вода, какъ образовавшаяся изъ осажденнаго пара, такъ и служившая для охлажденія, вмѣстѣ съ выдѣлившимся изъ сей послѣдней воздухомъ, остаются внутри холодильника до новой присадки машины.-

47. Значительно болѣе усовершенствовано въ сравненіи съ предъидущимъ устройство холодильника безъ воздушнаго насоса, изобрѣтенное Макъ-Картеромъ, который примѣнилъ къ холодильнику принципъ двойнаго запора, вообще употребляемый въ тѣхъ случаяхъ, когда необходимо вывести тѣло изъ одной среды, имѣющей извѣстное давленіе въ другую, имѣющую давленіе меньшее, — не измѣняя существеннымъ образомъ давленія первой среды.- Этимъ способомъ онъ достигъ того, что можетъ выпускать изъ цилиндра паръ, подъ давленіемъ значительно меньшимъ атмосфернаго. Холодильникъ Макъ-Картера изображенъ на фиг. 109 и 110 въ вертикальномъ и въ горизонтальномъ разрѣзахъ. Онъ состоитъ изъ двухъ ящиковъ, стоящихъ одинъ надъ другимъ и

Лит. Ф. Крелгеръ С.П.Б

раздѣленныхъ между собою клапаномъ a, который при помощи рычаговъ d насадъ къ своему сѣдлу наружными пружинами f, напряженіе которыхъ можно регулировать при помощи винтовъ h. Труба e, съ помощью которой паръ выпускается изъ цилиндра, и труба e', приводящая охлаждающую воду, сообщаются съ холодильникомъ въ верхней его части. Клапанъ помѣщенный въ самомъ верху холодильника, служитъ для его продуванія. Нижнее отдѣленіе холодильника разобщено съ атмосферою помощью клапана b, такого же устройства какъ и клапанъ a. Оба эти клапана бронзовые, и прикасаются къ сѣдламъ не прямо, а при посредствѣ каучуковыхъ прокладокъ, введенныхъ съ цѣлію сдѣлать запоръ болѣе герметическій. Нижняя часть, какъ видно, снабжена еще тремя трубчатыми отростками: k, l, m; первый (k) находится въ прямомъ сообщеніи съ котломъ, второй (l) съ наружнымъ воздухомъ, и третій (m) съ резервуаромъ холодной воды; всѣ эти три клапана насажены къ своимъ сѣдламъ посредствомъ пружинъ или противовѣсовъ, и на ихъ стержняхъ сидятъ пальцы, на которые могутъ дѣйствовать кулаки особой оси, приводимой въ движеніе отъ главнаго вала паровой машины. Дѣйствіемъ кулаковъ каждый клапанъ отворя-

Глава II

ется въ опредѣленное для него мгновеніе, и затѣмъ закрывается вновь прурѣнною или противовѣсомъ.

Дѣйствіе этого холодильника состоитъ въ слѣдующемъ: сначала, когда машина пускается въ ходъ, его продуваютъ, чтобы выгнать воздухъ, и затѣмъ пускаютъ холодную воду въ верхнюю часть холодильника; паръ тамъ осаждается и образуется пустота. Затѣмъ машина ходитъ, и продукты отгаждения скопляются въ верхнемъ отдѣленіи холодильника въ теченіе нѣсколькихъ оборотовъ вала машины.(1) Когда продукты отгаждения скопятся въ такомъ количествѣ, что дальнѣйшее ихъ прибавленіе значительно увеличило бы давленіе внутри холодильника, клапанъ к открывается; паръ изъ котла входитъ въ нижнее отдѣленіе холодильника, и выгоняетъ имѣющійся въ нѣмъ воздухъ; затѣмъ поднимается клапанъ т, и въ нижнее отдѣленіе холодильника пускается струя холодной воды, которая осаждаетъ паръ; въ нижнемъ отдѣленіи образуется пустота: давленіе въ верхнемъ отдѣленіи получаетъ перевѣсъ надъ давленіемъ нижняго: клапанъ а отворяется, и продукты отгаж-

(1) Число этихъ оборотовъ зависитъ отъ объема холодильника; чѣмъ этотъ объемъ больше, тѣмъ рѣже нужно его опаражнивать.

денія, скопившіеся въ верхнемъ отдѣленіи переходятъ въ нижнее; въ обоихъ отдѣленіяхъ устанавливается одинаковое давленіе, и клапанъ а вѣтвіемъ пружины F запирается; затѣмъ поднимается клапанъ b, который пускаетъ въ нижнее отдѣленіе атмосферный воздухъ, такъ что здѣсь устанавливается давленіе равное атмосферному; клапанъ b. подъ вліяніемъ вѣса воды надъ нимъ находящейся, отворяется, выпускаетъ воду, и затворяется снова, причемъ въ нижнемъ отдѣленіи остается опять атмосферное давленіе. Между тѣмъ вверху опять скопляются постепенно продукты охлажденія, и послѣ того они опять опрасываются въ нижнее отдѣленіе тѣмъ же способомъ, какъ прежде и такъ далѣе. При этомъ способѣ на удаленіе изъ холодильника объема продуктовъ охлажденія равнаго объему нижняго отдѣленія холодильника тратится равный ему объемъ пара, котораго давленіе посредствомъ особаго притертаго клапана доводится до давленія приблизительно равнаго 1,1 атмосферы, и по опытамъ, произведеннымъ надъ одною машиною Вульфа имѣвшею размѣръ въ 914 миллиметровъ при большомъ поршнѣ въ 535 миллим. и большомъ поршнѣ въ 635 миллим., въ холодильникѣ поддерживалось давленіе въ 0,16 атмосферы,

причемъ діаметръ верхняго отдѣленія былъ 610 миллим., и высота 1067 миллим., діаметръ же нижняго отдѣленія былъ 732 миллим. и высота 305 миллим., такъ что объемъ верхняго конденсирующаго пространства почти въ полтора раза превосходилъ объемъ малаго цилиндра, и при такомъ большомъ объемѣ холодильника оказывалось возможнымъ производить опорожниваніе продуктовъ охлажденія черезъ 5 – 8 оборотовъ машины, не измѣняя замѣтно давленія внутри холодильника.

Обсуждая вышеприведенныя данныя легко придти къ заключенію, что собственно никакой экономіи въ топливѣ нельзя ожидать отъ этого устройства, такъ какъ дабы вынать изъ холодильника продукты охлажденія, здѣсь требуется пара столько же, какъ и въ томъ случаѣ, когда бы для движенія воздушнаго насоса употреблялся особый паровой цилиндръ, въ которомъ поршень описывалъ бы объемъ равный объему воздушнаго насоса, и паръ, имѣющій начальное давленіе въ 1,1 атмосферы, употреблялъ бы объемъ расширенія и охлажденія, между тѣмъ какъ при обыкновенномъ устройствѣ воздушнаго насоса, уменьшающаго давленіе въ холодильникѣ не до 0,16 атмосферы, какъ здѣсь, а до 0,1

атмосферы, его сопротивленіе движенію на основаніи произведенныхъ опытовъ, со включеніемъ всѣхъ вредныхъ сопротивленій приводится къ избытку давленія не болѣе какъ въ одну двадцатую долю атмосферы на нерабочую сторону парового поршня. Сравнивая на основаніи приведенныхъ чиселъ эти два способа удаленія продуктовъ охлажденія, мы получаемъ, что при употребленіи воздушнаго насоса отъ пара, работающаго въ цилиндрѣ, требуется при каждомъ оборотѣ вала работа, даже меньшая, чѣмъ при конденсаторѣ Макъ-Нартера, а слѣдовательно паръ расходуемый въ этомъ приборѣ на удаленіе продуктовъ охлажденія, и дѣйствующій, какъ показано выше, при весьма невыгодныхъ условіяхъ, затрачивается совершенно даромъ, и потому употребленіе воздушнаго насоса несравненно выгоднѣе, чѣмъ охлажденіе посредствомъ аппарата Макъ-Нартера.

48. Съ цѣлью устроить охлажденіе пара безъ воздушнаго насоса въ 1868 году была сдѣлана, и весьма большое вниманіе возбудила попытка воспользоваться сильною силою поступающихъ въ холодильникъ охлаждающей воды и охлажденнаго пара для удаленія продуктовъ охлажденія; Александръ Мортонъ и

Барнкай спорятъ между собою о правѣ первенства въ изобрѣтеніи устроенныхъ съ этого числа аппаратовъ, получившихъ названіе холодильниковъ эфекторовъ, которые основаны на слѣдующихъ соображеніяхъ.

Въ обыкновенномъ холодильникѣ съ внутреннимъ охлажденіемъ, охлаждающая вода подводится къ входу въ холодильникъ избыткомъ атмосфернаго давленія надъ давленіемъ въ холодильникѣ, причемъ этимъ избыткомъ производится значительная работа, употребляемая на увеличеніе живой силы воды, которая устремляется въ холодильникъ съ большою скоростію, и теряетъ эту скорость вслѣдствіе ударовъ и неправильныхъ движеній, которыя она въ холодильникѣ принимаетъ. Такимъ образомъ работа избытка давленія атмосферы надъ холодильникомъ не приноситъ въ этомъ случаѣ никакой пользы; но мало того, работа эта приноситъ существенный вредъ, такъ какъ она обращается въ теплоту, и увеличиваетъ температуру продуктовъ охлажденія, а слѣдовательно и среднее давленіе внутри холодильника; работу эту вычислить весьма легко; если предположить согласно правилу Ватта, что количество охлаждающей воды дости

по вѣсу въ 27 разъ превосходитъ количество охлаждаемаго пара, то работа, доставляемая давленіемъ атмосферы при входѣ въ холодильникъ охлаждающей воды, составитъ на каждый килограммъ охлаждаемаго пара (предполагая давленіе въ холодильникѣ равнымъ $\frac{1}{10}$ атмосферы):

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

Но кромѣ этой потери работы здѣсь имѣется еще другая, а именно паръ въ концѣ разлаки поршня предъ выходомъ своимъ въ холодильникъ имѣетъ давленіе, значительно превосходящее давленіе въ холодильникѣ и составляющее не менѣе 0,2 атмосферы; переходя въ холодильникъ онъ понижаетъ это давленіе до 0,1 атмосферы и обращается въ воду: этотъ процессъ можно себѣ представить такимъ образомъ, что паръ сначала безъ передачи и заимствованія теплоты расширяется и пріобрѣтаетъ извѣстную живую силу, часть которой затѣмъ тратится на сжатіе пара вслѣдствіе его обращенія въ воду при отнятіи теплоты; разность между всею работою пріобрѣтенною при расширеніи пара и работою потраченною на его сжатіе при обращеніи въ воду, въ совокупности съ работою про-

изводимого рабочимъ паромъ на вытѣсненіе изъ пароваго цилиндра пара въ холодильникъ, — вся обращается при обыкновенномъ холодильникѣ въ теплоту вслѣдствіе тренія, ударовъ и разныхъ сопротивленій, между тѣмъ какъ хотя нѣкоторою частью этой работы, совокупно съ работою доставляемою давленіемъ атмосферы на охлаждающую воду можно бы было воспользоваться для удаленія изъ холодильника продуктовъ охлажденія.

Чтобы составить себѣ понятіе о величинѣ этой работы вообразимъ себѣ паровую машину работающую при начальномъ давленіи въ четыре атмосферы, или при начальной температурѣ въ 144° по Цельзію, съ охлажденіемъ пара, причемъ въ холодильникѣ поддерживается давленіе въ 0,1 атмосферы, и слѣд. температура въ 46°,21 по Цельзію. Если паръ расширяется отъ 4 атмосферъ до 0,1 атмосферы давленія, и если допустимъ, что онъ въ началѣ заключаетъ въ себѣ 10% влажности, то пропорція (x_0) пара въ смѣси въ концѣ расширенія опредѣлится какъ извѣстно уравненіемъ:

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

гдѣ $T_0 = 273 + 144$ и $T_1 = 273 + 46,21$, а

$x_0 = 0,9$; такъ какъ при этомъ будетъ $\tau_0 = 0,42711$; $\tau_1 = 0,14903$; $r_0 = 505,117$; $r_1 = 574,312$, то

$$x_1 = \frac{T}{r_1}\left\{\tau_0 - \tau_1 + \frac{x_0 r_0}{T_0}\right\} =$$

$$\frac{319,21}{574,312}\left\{0,42711 - 0,14903 + \frac{0,9 \times 505,117}{417}\right\} =$$

$= 0,756$, а потому измѣненіе внутренней энергіи килограмма пара выражающееся какъ извѣстно черезъ

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

гдѣ c есть теплоемкость воды, при разсматриваемомъ расширеніи будетъ

$$424\{145,31 - 46,28 + 0,9 \times 461,5 - 0,76 \times 538,8\} =$$

$= 47460$ килограмм.-метровъ.

Такимъ образомъ одинъ килограммъ пара во время своего расширенія отъ 4 атмосферъ до 0,1 атмосферы доставляетъ работу въ 47460 килограммметровъ; изъ этой работы передается поршню машины только одна часть, соотвѣтствующая расширенію пара до того давленія p, который онъ имѣетъ въ паровомъ цилиндрѣ, въ моментъ его сообщенія съ холодильникомъ. Предполагая послѣдовательно, что это давленіе (p) будетъ

0,7; 0,6; 0,5; 0,4; 0,3; 0,2 атмосферы: и употребляя вычисленіе одинаковое съ только что приведеннымъ найдемъ соотвѣтственно, что пропорція (x) пара въ смѣси въ моментъ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ и работа (L) переданная поршню машины при расширеніи пара внутри цилиндра будутъ:

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

$x = 0,8227; 0,8174; 0,8091; 0,8014; 0,7918; 0,7792.$

$L = 23040; 24380; 26869; 29833; 33038; 36828.$

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

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

$K = 24420; 23080; 20591; 17627; 14422; 10632.$

Удѣльный объемъ (U) смѣси въ моментъ сообщенія цилиндра съ холодильникомъ опредѣлится по формулѣ $x u + \sigma$, гдѣ u удѣльный объемъ насыщеннаго пара, соотвѣтствующій конечному давленію въ холодильникѣ, и $\sigma = 0,001$ = удѣльному объему воды. По этой формулѣ получимъ

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

$U = 1,900; 2,183; 2,566; 3,139; 4,070; 5,878$ кубическихъ метровъ.

Удѣльный же объемъ смѣси расширившейся до 0,1 атмосферы по той же формулѣ будетъ 11,060 куб. метра; а по-

тому работа, поглощаемая при обращеніи этой смѣси въ воду, составитъ

$[11,060 - 0,001] \times 0,1 \times 10334 = 11,059 \times 0,1 \times 10334$

работа с/с доставляемая при этомъ сбрасываемаго пара рабочимъ паромъ дѣйствующимъ на поршень и выталкивающимъ мятый паръ изъ цилиндра въ холодильникъ будетъ

$$И \times 0,1 \times 10334$$

вычитая разность этихъ двухъ работъ найдемъ, что изъ работы производимой расширеніемъ пара по сообщеніи цилиндра съ холодильникомъ поглощается на его сжатіе при обращеніи въ воду:

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

9461; 9169; 8773; 8181; 7210; 5363

килограмм-метровъ.

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

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

$M = 14959$; 13911; 11818; 9446; 7212; 5269.

Присоединяя сюда работу приносимую водою устремляющеюся въ холодильникъ

при обыкновенномъ способѣ охлажденія, работу, которая на каждой килограммъ охлаждаемаго пара составляетъ согласно вышенайденному 251 килограммметръ, получимъ, что полная работа (N) обращаемая внутри обыкновеннаго холодильника въ теплоту составитъ при

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

$N = 15210;$ $14162;$ $12069;$ $9697;$ $7463;$ 5520

килограммметровъ.

Если бы струю охлаждающей воды, а равно и струю охлаждаемаго пара направить болѣе правильнымъ образомъ, чѣмъ это дѣлается въ холодильникѣ обыкновеннаго устройства, и произвести вращательное ихъ движеніе такъ, чтобы при этомъ сохранилась въ видѣ живой силы хотя нѣкоторая часть вышеисчисленной работы, то этою живою силою струи жидкости образовавшейся черезъ движеніе, можно бы воспользоваться для того, чтобы всю эту жидкость извлечь изъ холодильника преодолѣвъ атмосферное давленіе, такъ какъ работа для этого нужная очевидно только на $\frac{1}{4}$ превосходитъ работу доставляемую давленіемъ атмосферы при входѣ охлаждающей воды въ холодильникъ, и слѣдовательно составляетъ всего 200 килограммметровъ. Изъ предыдущихъ чиселъ видно, что въ самомъ

неблагопріятномъ случаѣ полная живая сила струи, образовавшейся черезъ сжатіе, будетъ въ 21 разъ превосходить работу, нужную для удаленія изъ холодильника воды въ немъ накопляющейся. Дѣйствіемъ этой живой силы вмѣстѣ съ жидкостью могъ бы быть извлеченъ и воздухъ растворенный въ охлаждающей водѣ, и совокупно съ нею вошедшій въ холодильникъ; дѣйствительно для удаленія изъ холодильника воздуха нужно израсходовать работу на его сжатіе до атмосфернаго давленія; работа эта на каждый килограммъ расходуемаго машиною пара выразится черезъ

$$\frac{p_0 u_0}{k-1}\left\{\left(\frac{p_1}{p_0}\right)^{\frac{k-1}{k}}-1\right\}$$

гдѣ p_0 есть начальное давленіе воздуха, (въ нашемъ случаѣ 0,1 атмосферы или 1033 килограмма на квадратный метръ), p_1 есть конечное давленіе (въ нашемъ случаѣ одна атмосфера или 10334 килограмма на квадратный метръ), k есть отношеніе теплоемкости воздуха при постоянномъ давленіи къ его теплоемкости при постоянномъ объемѣ, т.е. 1,41 и u_0 есть первоначальный объемъ сжатаго воздуха, получаемый въ холодильникѣ на каждый килограммъ расходуемаго пара. Объемъ

этотъ, составляющій при атмосферномъ давленіи и температурѣ 15° Ц. пять процентовъ объема охлаждающей воды, т.е. 0,05 × 27 × 0,001 кубическаго метра очевидно при температурѣ холодильника въ 46 градусовъ и при давленіи въ нѣсколько равномъ 0,1 атмосферы будетъ

$$u_0 = 0,05 \times 27 \times 0,001 \times 10 \times \frac{273 + 46}{273 + 15} =$$

$$= 0,0135 \times \frac{319}{288} = 0,015 \text{ кубич. метра.}$$

Вставляя всѣ эти числа въ предъидущую формулу находимъ, что для удаленія изъ холодильника воздуха, вошедшаго туда вмѣстѣ съ водою охлаждающею одинъ килограммъ пара, нужна работа всего въ 37 килограммметровъ, и потому, если даже предположить, что обращается въ теплоту вся работа доставляемая расширеніемъ воздуха, приходящаго въ холодильникъ, то и тогда для извлеченія всѣхъ продуктовъ охлажденія нужно на каждый килограммъ расходуемаго пара, издержать работу не превышающую 300 килограммметровъ, т. е. нужная работа составляетъ едва семнадцатую долю того запаса живой силы, который, при самомъ сильномъ расширеніи внутри цилиндра, будетъ въ струѣ жидкости обра-

зовавшейся черезъ смѣшеніе, если только это смѣшеніе и дальнѣйшее движеніе струи происходятъ безъ дѣйствія вредныхъ сопротивленій. Конечно этихъ вредныхъ сопротивленій совершенно избѣжать нельзя, но какъ исчисленный запасъ живой силы весьма великъ сравнительно съ потребною работою, то можно надѣяться, что при правильномъ устройствѣ прибора для смѣшенія и вывода струи, въ ней останется живая сила, достаточная для удаленія изъ холодильника всей накопляющейся въ немъ воды и всего входящаго съ нею воздуха.-

49. Мортонъ, для того чтобы употребить въ пользу часть работы обращающейся въ теплоту при обыкновенныхъ холодильникахъ, устроилъ приборъ весьма похожій на инжекторъ Жиффара. Приборъ этотъ примѣненный къ машинѣ съ двумя сопряженными цилиндрами, въ томъ видѣ какъ онъ былъ испытанъ Макуорнъ Рэнкиномъ изображенъ на фигурѣ 111.

Фланцы А и В служатъ для соединенія съ приборомъ выпускныхъ трубъ обѣихъ цилиндровъ машины; С есть фланецъ, къ которому укрѣпляется труба, приводящая охлаждающую воду; эта послѣдняя вступаетъ въ вертикальный, съуживающійся къ низу конусъ обхваченный ена-

рубом другимъ концомъ, въ который входитъ мятый паръ приходящій трубою А; холодная вода выходящая отверстіемъ D смѣшивается съ этимъ паромъ, охлаждаетъ его, нѣсколько нагрѣвается, и образовавшаяся струя нагрѣтой воды выходитъ черезъ отверстіе E, и смѣшивается съ мятымъ паромъ, приходящимъ трубою B, охлаждаетъ и этотъ паръ, вновь нѣсколько нагрѣвается, и устремляется затѣмъ въ отверстіе F, по проходѣ черезъ которое вступаетъ въ коническую расширяющуюся трубу, причемъ скорость воды мало по малу замедляется, отсиваясь ея сила преобразовывается въ работу, и вода при выходѣ преодолѣваетъ атмосферное давленіе.-

Независимо отъ описанныхъ частей по оси прибора идетъ центральный стержень I, выходящій изъ прибора посредствомъ сальника. Этимъ стержнемъ можетъ быть болѣе или менѣе закрыто отверстіе D, и т. о. можетъ регулироваться и далѣе можетъ быть совсѣмъ остановленъ притокъ холодной воды, а слѣдовательно и дѣйствіе прибора. Этотъ стержень имѣетъ впрочемъ еще и другое назначеніе; какъ видно изъ чертежа онъ внутри пустой съ проваленными въ средней его части отверстіями, посредствомъ которыхъ и трубки M

Лит. А. Краснера С.П.Б.

внутренняя полость стержня сообщается съ камерою H, съ которою съ другой стороны сообщается котелъ посредствомъ трубки N; внутри камеры H находится клапанъ состоящій изъ двухъ плотно притертыхъ къ камерѣ поршней, соединенныхъ между собою короткою штангою; давленіе пара на верхній поршень уравновѣшивается, такъ какъ паръ небольшимъ отверстіемъ въ тѣлѣ поршня сдѣланнымъ можетъ проходить поверхъ его, и слѣдовательно давленіе на обѣ его поверхности будетъ одно и тоже; давленіе же на верхнюю поверхность нижняго клапана уравновѣшивается отчасти спиральною пружиною I, отчасти давленіемъ мятаго пара, который посредствомъ трубки KL сообщается съ нижнею частью камеры H. Если давленіе мятаго пара будетъ низкое, то давленіе пара приходящаго изъ котла пересиливаетъ совокупное давленіе пружины и мятаго пара; весь клапанъ опускается и закрываетъ верхнимъ своимъ поршнемъ отверстіе трубки N; такъ что полость стержня разобщается съ котломъ; когда же давленіе мятаго пара отъ какихъ бы то ни было причинъ усиливается, то оно совокупно съ давленіемъ пружины на нижнюю поверхность клапана вдви-

Паровыя машины Листъ 5ый

маетъ его, открываетъ сообщеніе полости стерженя съ котломъ, изъ котораго затѣмъ паръ идетъ по трубкѣ M и выбрасываясь черезъ отверстіе S усиливаетъ притокъ воды, ея скорость и всасывающее дѣйствіе, - посредствомъ чего мятый паръ лучше извлекается изъ цилиндровъ, и давленіе въ нихъ на нерабочую сторону поршня уменьшается.

50. При опытахъ произведенныхъ Макуорнъ Рэнкиномъ съ Инжекторомъ Мортона измѣрялось количество охлаждающей воды, температура струи входящей и выходящей изъ холодильника, давленіе на нерабочую сторону поршня а также вѣсъ пара расходуемаго въ цилиндрахъ. При этомъ оказалось, что давленіе на нерабочую сторону поршня было около 1/6 доли атмосферы, и что количество воды потребляемой аппаратомъ Мортона весьма значительно, а именно при среднемъ расходѣ 10 фунтовъ пара въ минуту, количество расходуемой холодной воды было 716,4 фунта, т.е. холодной воды расходовалось по вѣсу въ 72 раза больше сравнительно съ вѣсомъ сгущаемаго пара; температура холодной воды была 8,33 Цельзія, а температура уходящей изъ

аппарата воды была 30°Ц; температура пара въ моментъ соединенія цилиндра съ холодильникомъ была 90°Ц; изъ чего видно, что конденсаціонная вода, употребляемая на охлажденіе каждаго килограмма пара, уносила съ собою количество теплоты, превосходившее первоначальную величину теплоты, въ охлаждающей водѣ заключенную, на

$$72 \times \{30 - 8,33\} = 1560 \text{ килограмметровъ,}$$

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

$$606,5 + 0,305 \times 90 - 30 = 603 \text{ килограмметровъ,}$$

т. е. охлаждаемый паръ терялъ теплоты въ 2½ раза меньше чѣмъ пріобрѣтала теплоты охлаждающая вода.

Это обстоятельство Рэнкинъ объяснилъ тѣмъ, что количество истраченнаго пара опредѣлялось при опытахъ на основаніи объема описываемаго поршнемъ, — и предполагено было при вычисленіяхъ, что паръ былъ совершенно сухой, между тѣмъ онъ могъ заключать значительное количество

воды, такъ что вѣсъ расходуемаго пара былъ опредѣленъ невѣрно; чтобы рѣшить можно ли допустить это объясненіе, постараемся опредѣлить ту степень влаж/ности, которую паръ долж/ен имѣть, чтобы столь сильно увеличить количество теплоты оказывающейся въ продуктахъ охлаж/денія; пусть и будетъ разность удѣльныхъ объемовъ пара и воды, σ удѣльный объемъ воды, а x пропорція пара въ смѣси; удѣльный объемъ смѣси какъ извѣстно будетъ $xu+\sigma$; называя черезъ y дѣйствительное число килограмовъ смѣси заключенной въ томъ ж/е объемѣ, который наполняется однимъ килограммомъ сухаго пара, мы получимъ равенство

$$y(xu+\sigma)=u+\sigma$$

Сверхъ того: вода въ смѣси была при температурѣ 90°, так ж/е какъ и паръ; поэтому количество теплоты теряемой каж/дымъ ея килограммомъ было 90-30= =60 килограмм-градусовъ; но въ y килограммахъ смѣси воды было $y(1-x)$, слѣдовательно собственно отъ примѣшанной къ пару воды получилась часть 1560 единицъ, содер/жащихся въ продуктахъ охлаж/денія, изображ/аемая черезъ

$$60y(1-x).$$

Другая ж/е часть 1560 единицъ добавленныхъ продуктомъ охлаж/денія пара

изобразится черезъ

$$y.x.603.$$

Слѣдовательно мы получимъ

$$603.yx + 60y(1-x) = 1560$$

или

$$543\,yx + 60y = 1560.$$

А какъ въ нашемъ случаѣ $u = 2,3344$ и $\delta = 0,001$, то выведенное на предъидущей страницѣ уравненіе напишется такъ

$$2,3344\,yx + 0,001\,y = 2,3354$$

Опредѣляя изъ этихъ двухъ уравненій y и x найдемъ

$$y = 27 \qquad x = 0,037.$$

Эти числа показываютъ, что объясненіе данное Ронкиномъ совершенно неправдоподобно, такъ какъ такой громадный расходъ изъ котла, составляющій 27 килограммовъ вмѣсто одного исчисленнаго при опытахъ по объему описанному поршнемъ, непремѣнно былъ бы замѣченъ, — а потому гораздо вѣроятнѣе, что во время опытовъ паръ проходилъ частью по центральному стержню прямо изъ котла, — такъ что для образованія пустоты въ холодильникѣ, прямо зависящей отъ удаленія продуктовъ истаяденія, острая сила отработавшаго пара и воды была недостаточна, и требовалась еще острая сила свѣжаго неработавшаго пара, который выходилъ изъ котла. Справедливость такаго

заключенія подтверждается и тѣмъ обстоятельствомъ, что скорость холодной воды опредѣленная прямымъ измѣреніемъ расхода и точнымъ опредѣленіемъ площади поперечнаго сѣченія, черезъ которое она протекала въ аппаратъ Мортона составляла при опытахъ Ренкина 43,2 фута, между тѣмъ уровень бака былъ на 5 футовъ ниже отверстія, и при давленіи внутри холодильника въ 1/6 атмосферы (до 6 футовъ водянаго столба), теоретическая скорость вытеканія, не принимая въ соображеніе никакихъ вредныхъ сопротивленій, сжатія струи, сопротивленій отъ постепенно расширяющагося воздуха и т. п. составляетъ всего $\sqrt{64(35-5-6)}$ т. е. 40 футовъ: поэтому скорость, которую вода имѣла въ опытахъ Ренкина не могла быть произведена простымъ давленіемъ атмосферы, и болѣе чѣмъ вѣроятно, что она производилась посредствомъ значительнаго расхода пара черезъ центральный стержень.

Вѣроятно такіе результаты, какъ громадный расходъ воды для охлажденія, и большой расходъ пара прямо изъ котла для извлеченія продуктовъ охлажденія и были причиною того, что изобрѣтеніе Мортона, которое при его появленіи на которые даже всѣмъ опытные инженеры

называли величайшимъ усовершенствованіемъ паровой машины послѣ Ватта, не нашло себѣ обширныхъ примѣненій. На Вѣнской выставкѣ 1873 года машины съ охлажденіемъ пара были вообще снабжены воздушнымъ насосомъ. Эжекторы были представлены Нёртингомъ изъ Ганновера; они дѣйствуютъ безъ помощи пара изъ котла, но за то употребляемая для нихъ холодная вода предварительно поднимается на извѣстную высоту посредствомъ насоса, и затѣмъ уже падаетъ въ эжекторъ; устройство самаго аппарата по системѣ Нёртинга изображено въ разрѣзѣ на стр. 112, фиг. 1, гдѣ h представляетъ трубу, черезъ которую мятый паръ входитъ въ приборъ, а i расширяющуюся коническую трубу служащую для удаленія продуктовъ охлажденія. Здѣсь очевидно такое, какъ и въ первоначальномъ аппаратѣ Мортона, стремленіе необходимымъ увеличить среднюю силу струи охлаждающей воды и пара, но для этого усиленія вмѣсто притока свѣжаго пара, употреблено паденіе воды съ довольно значительной высоты, что вновь служитъ подтвержденіемъ прежнаго заключенія, что въ эжекторахъ средняя сопротивленія поглощаютъ отъ значительную часть энергіи, которая доставляется съ одной сто

ромъ расширеніемъ пара, а съ другой атмосферным давленіемъ, что остатокъ этой работы недостаточенъ для удаленія продуктовъ охлажденія, хотя работа для этого потребная и весьма не велика.

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

51. Согласно объясненному въ параграфѣ 35, цѣль, которую имѣютъ въ виду при устройствѣ холодильниковъ съ нарушнымъ охлажденіемъ при морскихъ машинахъ, состоитъ въ томъ, чтобы снабжать прѣсною водою паровые котлы, для которыхъ представляетъ много неудобствъ морская вода, заключающая въ себѣ въ растворѣ до трехъ процентовъ различныхъ солей; это процентное содержаніе солей по мѣрѣ обращенія воды въ паръ внутри котла, и по мѣрѣ питанія его тою же соленою водою, очень быстро увеличивается, и хотя насыщеніе воды солями въ морской водѣ заключенными происходитъ при содержаніи ихъ въ растворѣ въ количествѣ около 38 %, но осадокъ этихъ солей въ твердомъ видѣ на стѣнкахъ котла начинаетъ уже при 12 процентномъ ихъ содержаніи,

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

Весьма важное значеніе питанія морскихъ котловъ прѣсною водою происходитъ

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

Кромѣ этихъ прямыхъ выгодъ примѣненіе питанія прѣсною водою: 1) дозволяетъ съ меньшими котлами производить тоже количество пара, что и при соленой водѣ, такъ какъ теплопроводность стѣнокъ, согласно объясненному, при прѣсной водѣ значительно больше, чѣмъ при соленой; 2) избавляетъ отъ необходимости чистить котлы; предохраняетъ паровой цилиндръ отъ царапинъ, которыя легко являются при употребленіи соленой воды, такъ какъ при образованіи изъ нея пара, легко вмѣстѣ съ нимъ увлекаются земистыя частицы, которыя попадая между поршнемъ и стѣнками цилиндра, значительно повреждаютъ

сей послѣдній.

Объ употребленіи прѣсной питательной воды для судовъ дальняго плаванія протекаетъ еще особая выгода, состоящая въ значительномъ сохраненіи внутри судна для полезнаго груза того мѣста, которое при питаніи котла соленою водою пришлось бы занять углемъ, излишне употребленнымъ въ машинахъ безъ нагруженнаго обгаражденія.

Предполагая только 20% сбереженія производимаго въ топливѣ отъ употребленія прѣсной питательной воды, и считая по 2 килограмма угля въ часъ на лошадиную силу получимъ, что 500 сильный пароходъ, долженствующій 14 дней пробыть въ морѣ; долженъ имѣть при обыкновенномъ питаніи котловъ морскою водою запасъ угля, составляющій 14×24×2×500= = 336000 килограммовъ; при прѣсной же питательной водѣ на 20% или слишкомъ на 67 тоннъ менѣе, такъ что такой пароходъ можетъ принять товаровъ на 67 тоннъ болѣе въ томъ случаѣ, когда употребляетъ прѣсную воду, нежели въ томъ случаѣ, когда употребляетъ соленую воду для питанія своихъ котловъ.

Впрочемъ употребленіе нагруженнаго обгражденія влечетъ за собою и одну весьма серіозную невыгоду. Опытъ показалъ, что доло-

вычность котловъ сильно уменьшается отъ употребленія прѣсной воды, такъ что котлы при соленой водѣ, служащіе обыкновенно около девяти лѣтъ, при прѣсной водѣ не служатъ долѣе пяти лѣтъ, и должны смѣняться вслѣдствіе того, что желѣзо оказывается сильно разъѣденнымъ и пострадавшимъ. Это объясняется тѣмъ, что при нарушномъ охлажденіи питательная вода заключаетъ въ себѣ довольно много сала уносимаго изъ цилиндра слабаемымъ паромъ, и изъ этого сала образуются кислоты, которыя и разъѣдаютъ желѣзо. Должно надѣяться, что можно будетъ найти практически удобное средство устранить это вліяніе кислотъ при употребленіи нарушнаго охлажденія, и тогда единственнымъ его недостаткомъ будетъ дороговизна первоначальнаго устройства и нѣкоторая громоздкость, отъ которыхъ избавиться весьма трудно.

52. Первое дѣйствительно практическое примѣненіе нарушнаго, называемымъ также поверхностнымъ, охлажденія (Surface condensation) сдѣлано было въ Англіи инженеромъ Голлемъ (Hall) на судахъ общества Индѣйскаго Пароходства. - Холодильникъ этой системы изображенъ въ вертикальномъ разрѣзѣ на фиг. 113; онъ состоитъ изъ системы вер-

тикальныхъ трубокъ малаго, діаметра, укрѣпленныхъ своими верхними и нижними концами въ двѣ металлическія доски, причемъ вся система заключена въ чугунный ящикъ, верхняя часть котораго образуетъ камеру, куда идетъ изъ машины мятый паръ, а нижняя часть образуетъ камеру, въ которой собирается вода образующаяся черезъ охлажденіе пара; охлаждающая вода вгоняемая особымъ насосомъ циркулируетъ между трубками въ среднемъ пространствѣ ограниченномъ двумя металлическими досками, въ коихъ укрѣплены концы трубъ. Для извлеченія прѣсной воды изъ нижней камеры поставлен обыкновенный и обыкновенныхъ размѣровъ воздушный насосъ; хотя объемъ продуктовъ охлажденія здѣсь гораздо меньше, чѣмъ при внутреннемъ охлажденіи, но какъ первые холодильники Голля были приспособлены къ старымъ уже существующимъ машинамъ, на мѣсто обыкновенныхъ холодильниковъ, то признано было полезнымъ для сокращенія расходовъ по передѣлкѣ оставить воздушные насосы прежняго устройства.

Соединеніе трубъ съ досками въ аппаратѣ Голля было сдѣлано посредствомъ особаго сальника для каждой трубы, какъ это показано на фигурѣ 113а, но это соединеніе, предоставляя каждой трубѣ полную возможность расширяться и сжиматься,

въ то же время значительно увеличивало стоимость холодильника, и потому едва-лано было много попытокъ къ тому, чтобы упростить это соединеніе. Между прочимъ пробовали трубы дѣлать съ продолговатымъ сѣченіемъ (фиг. 114), чтобы уменьшить число соединеній при той же поверхности нагрѣва въ данномъ объемѣ, а для упрощенія соединенія трубъ съ концами концы трубъ заливали въ доски, для которыхъ подбирали сплавъ такимъ образомъ, чтобы получить плотный спай, который потомъ подпроволяли посредствомъ сильной расчеканки трубъ. Понятно однако, что такое соединеніе не представляло возможности свободнаго расширенія для трубъ, и онѣ легко выгибались. — Затѣмъ придумано было гораздо лучшее соединеніе, состоявшее въ томъ, что трубы просто вставлялись въ точно высверленныя въ доскѣ дыры (фиг. 115), затѣмъ на выдающіеся изъ этой доски концы надѣвалась пластинка изъ каучука, и поверхъ ея еще мѣдная доска, которая посредствомъ болтовъ притягивалась къ первой доскѣ, и сжимая каучукъ по направленію оси трубъ раздавала его по направленію перпендикулярному, плотно прижимая каучукъ къ боковымъ стѣнкамъ трубъ, и дѣлая въ этомъ мѣстѣ герметическій

запоръ безъ какого либо стѣсненія для расширенія трубъ.— Основанное на томъ же началѣ, но еще болѣе удобное соединеніе трубъ придумано Сьюэлемъ (Sevell); оно состоитъ въ томъ, что (фиг. 116) на концы трубъ, свободно проходящихъ черезъ дыры сдѣланныя въ металлической доскѣ, натянута каучуковая пластинка, въ которой пробиты для трубъ отверстія меньшаго чѣмъ трубы діаметра; вслѣдствіе этого надѣвая на трубы каучукъ образуетъ около каждой трубы плотно прилегающій къ ней воротникъ, внутри котораго она свободно можетъ двигаться. Затѣмъ въ промежуткахъ между трубами каучукъ плотно прижатъ къ металлической стѣнкѣ, черезъ которую проходятъ трубы, посредствомъ особой привинченной къ этой стѣнкѣ чугунной доски снабженной по направленіямъ трубъ отверстіями, а въ промежуткахъ между трубами выдающимися ребрами.— Въ холодильникѣ Сьюэля по трубамъ проходитъ вода, а паръ циркулируетъ между трубами, такъ что здѣсь средняя камера образуетъ холодильникъ, а каучуковые воротники независимо отъ собственной упругости нажимаются къ трубкамъ избыткомъ давленія въ камерахъ, гдѣ циркулируетъ вода, надъ давленіемъ имѣющимъ мѣсто собственно въ холодильникѣ, т. е. въ средней камерѣ.—

Схематическій чертежъ холодильника Сьюэля имѣется на фиг. 117. Паръ кончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ проходитъ въ холодильникъ трубою A, и охлажденный въ видѣ воды выходитъ трубою B. Охлаждающая эта вода входитъ въ камеру C лѣвую трубою холодильника и струя ея, встрѣчая въ перегородкѣ D (поставленной отъ дна на разстояніи равномъ $\frac{1}{3}$ высоты всей камеры) препятствіе къ движенію прямо вверхъ, загибается въ бокъ и черезъ нижнія трубы проходитъ въ правую камеру, откуда встрѣчая перегородку E (поставленную въ разстояніи $\frac{1}{3}$ высоты холодильника отъ его неба) средними трубами направляется опять въ лѣвую камеру поверхъ перегородки D, и оттуда уже по верхнимъ трубамъ направляется второй разъ въ правую камеру и выходитъ изъ холодильника трубою F. Это описаніе показываетъ, что холодильникъ Сьюэля есть аппаратъ съ противоположнымъ токомъ, и любопытно въ немъ каждая единица охлаждающей поверхности производитъ наибольшее возможное для нея дѣйствіе; вообще этотъ приборъ есть одинъ изъ самыхъ лучшихъ холодильниковъ съ нарѣзнымъ охлажденіемъ; устроенъ отъ вещества

Лит. А. Крамеръ С.П.Б.

практически въ томъ отношеніи, что всѣ трубки чрезвычайно легко вынимаются и вставляются опять, а для того, чтобы къ нимъ можно было удобно подойти стѣнки водяныхъ камеръ укрѣплены къ ящику холодильника на винтахъ. Такимъ образомъ оказывается возможнымъ въ холодильникѣ для 200 сильной машины, заключающемъ въ себѣ 4000 трубокъ, въ теченіе четырехъ часовъ вынуть всѣ трубки одну за другою, вычистить ихъ и собрать всѣ холодильникъ вновь. Трубки для этого холодильника употребляются латунныя, имѣющія 20 миллим. наружнаго діаметра, толщину стѣнокъ въ 1,5 миллим., длину отъ 2 до 3 метровъ, а ставятся они центръ отъ центра на разстояніи 30 миллиметровъ.

Чтобы избавиться по возможности отъ значительнаго числа трубъ малаго діаметра, и множества соединеній, и въ тоже время достигнуть большой поверхности охлажденія при маломъ объемѣ, придумана была еще особая система холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, которая изображена въ продольномъ и поперечномъ разрѣзахъ на фиг. 118 и 119. Приборъ состоитъ изъ двухъ системъ трубъ, изъ которыхъ одни имѣютъ діаметръ въ 73 миллим. а другія въ 105 миллим. Трубы большаго діаметра короче, а

меньшаго діаметра длиннѣе, и послѣднія установлены концентрически съ первыми; концы каждой системы трубъ укрѣплены въ особыхъ металлическихъ доскахъ C, D, E, F, которыя попарно соединены между собою коробками G, H и трубами K, L; такимъ образомъ вся система составляетъ три камеры, изъ коихъ A и B расположенныя по концамъ соединены между собою кольцеобразными проходами между концентрически поставленными трубами, а средняя посредствомъ трубъ K и L сообщается съ внутренностію металлическаго цилиндра, въ которомъ заключенъ весь приборъ; съ одного конца въ этотъ цилиндръ входитъ вода, которая турбиной съ винтовыми лопастями распредѣляется и идетъ частію внутри узкихъ, а частію снаружи широкихъ трубъ въ противоположный конецъ цилиндра, откуда особою трубою выводится вонъ; паръ же окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ поступаетъ въ камеру A и по промежуткамъ между концентрическими трубами идетъ въ камеру B, откуда въ видѣ воды направляется особою трубою къ питательному насосу. Этотъ приборъ имѣетъ то весьма хорошее свойство, что поперечное сѣченіе каждой группы пара весьма невелико, и притомъ оно

представляется въ видѣ кольца, охлаждаемаго и снаружи и изнутри, такъ что частицы пара получаютъ на пути своемъ изъ камеры А въ камеру В весьма тѣсное прикосновеніе съ охлаждаемыми поверхностями, — что конечно способствуетъ ихъ обращенію въ воду. — Описанный приборъ есть конечно одинъ изъ самыхъ дешевыхъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, такъ какъ тутъ получается громадная охлаждающая поверхность, на которую сравнительно идетъ и мало матеріала, а на которую не очень много работы.

Что касается до размѣровъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ описанныхъ системъ, въ которыхъ вода проводится къ охлаждаемымъ поверхностямъ непрерывною струею, то какъ показываетъ опытъ необходимо имѣть на каждый килограммъ расходуемаго въ теченіе часа пара 0,0516 кв. метра охлаждающей поверхности и расходовать 114 килограммовъ охлаждающей воды. Чтобы перевести это правило на лошадиныя силы, мы замѣтимъ, что на каждый килограммъ пара расходуемаго въ секунду приходится охлаждающая поверхность въ 185,76 кв. метровъ, а какъ килограммъ пара атмосфернаго давленія занимаетъ объемъ въ 1,65 куб. метра, то на охлаж-

денный каждый кубическій метръ пара атмосфернаго давленія, расходуемаго въ теченіе секунды, требуется охлаждающая поверхность въ 112,6 кв. метра; кубическій же метръ такого пара, расходуемый въ секунду, даетъ 65 номинальныхъ лошадиныхъ силъ; слѣдовательно охлаждающая поверхность на номинальную лошадиную силу составляетъ 1,74 кв. метра.

53. Кромѣ описанныхъ холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ, въ которыхъ вода непрерывною струею циркулируетъ около охлаждающей поверхности трубъ, есть еще холодильники, въ коихъ производится охлажденіе трубъ посредствомъ опрыскиванія ихъ поверхности холодною водою. Самый извѣстный изъ такихъ холодильниковъ есть холодильникъ Пирсона изображенный на фигурѣ 120 и 120. Онъ состоитъ изъ системы горизонтальныхъ трубъ, вставленныхъ своими концами въ двѣ доски, которыя ограничиваютъ собою среднюю камеру, въ которую впрыскивается вода, охлаждающая снаружи трубки; по одну сторону средней камеры находится камера, въ которую входитъ отработавшій паръ, а по другую сторону - камера, куда собирается образующаяся черезъ охлажденіе пара вода; вода эта извлекается

чъ послѣдней камеры посредствомъ питательнаго насоса, и употребляется для пополненія котла; охлаждающая же вода извлекается чъ средней камеры посредствомъ сильнаго воздушнаго насоса; который поддерживаетъ внутри средней камеры такое же давленіе, какое имѣется и въ боковыхъ камерахъ вслѣдствіе охлажденія пара; при этомъ часть охлаждающей воды обращается въ паръ и отнимаетъ весьма значительное количество теплоты отъ трубокъ, на которыя падаетъ.- Преимущество этого холодильника въ случаѣ, если имѣется недостаточное количество охлаждающей воды ясно само собою,- но сверхъ того онъ заключаетъ въ себѣ еще важныя достоинства:

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

на устройство холодильника.

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

Изображенный на чертежѣ охлаждающій приборъ Пирсона относится къ машинѣ въ 192 силы французкаго парохода Monette, въ немъ охлаждающая поверхность составляетъ всего 124 кв. метра, или 0,74 кв. метра на лошадиную силу, тогда какъ въ другихъ приборахъ съ наружнымъ охлажденіемъ по вышесказанному на каждую лошадиную силу требуется 1,74 кв. метра охлаждающей поверхности. Тѣмъ не менѣе, и не смотря на малый объемъ воздушнаго насоса, составляющій всего одну десятую долю объема парового

цилиндра, въ трубахъ достигается давленіе не большее того, которое получается въ большей части холодильниковъ съ наружнымъ охлажденіемъ производимымъ непрерывною струею воды. - Конечно эти выгодные результаты въ аппаратѣ Пирссона обусловливаются необходимо устройствомъ особаго воздушнаго насоса, который не нуженъ въ обыкновеннымъ охлаждающихъ приборамъ съ наружнымъ охлажденіемъ.

54. При устройствѣ наружнаго охлажденія необходимо имѣть въ виду, что питательный насосъ, посылающій въ котелъ прѣсную воду, получаемую отъ охлажденія пара, будетъ забирать также и воздухъ къ ней примѣшанный; воздухъ прошедшій въ котелъ и переходя изъ него въ цилиндръ и оттуда въ холодильникъ увеличиваетъ давленіе внутри его имѣющееся и такимъ образомъ уменьшаетъ полезное дѣйствіе производимое холодильникомъ, поэтому весьма полезно на соединительной трубѣ между питательнымъ насосомъ и котломъ поставить горшокъ, снабженный самодѣйствующимъ клапаномъ съ поплавкомъ, и примкнуть къ нижней его части трубы идущія къ питательному насосу и котлу; воздухъ, освобождающійся изъ воды скопляется мало по малу въ верхней части горшка, но прежде чѣмъ онъ достигнетъ

уровня верхней проводящей питательной трубы, поплавокъ откроетъ клапанъ и воздухъ выйдетъ внаружу,— такъ какъ это бываетъ въ обыкновенномъ вентузѣ.

55. Когда наружное охлажденіе устроивается для морскихъ пароходовъ съ цѣлью питать котлы прѣсною водою, то необходимо имѣть въ виду, что вслѣдствіе различныхъ потерь пара, въ холодильникѣ вообще собирается меньшее количество воды сравнительно съ тѣмъ, что испаряется въ котлѣ, а потому недостающее въ холодильникѣ количество воды приходится пополнять. Съ этою цѣлью устраивается особый приборъ, именуемый дистиллаторомъ, назначенный для перегонки морской воды.— Эти дистиллаторы бываютъ весьма различнаго устройства; на фиг. 122 изображенъ типъ весьма удобный и часто встрѣчающійся. Онъ состоитъ изъ мѣднаго цилиндра, подвѣшеннаго въ паровомъ резервуарѣ котла, и выдающагося изъ него внаружу верхнею своею частію; этотъ цилиндръ посредствомъ трубки a, запирающейся краномъ и самодѣйствующимъ клапаномъ, соединеннымъ съ поплавкомъ, сообщенъ съ моремъ, а трубкою b съ холодильникомъ. Чтобы наполнить этотъ цилиндръ морскою водою открываютъ кранъ

на трубѣ в, причемъ внутри цилиндра устанавливается давленіе холодильника, и морская вода трубкою а устремляется въ дистиллаторъ, пока уровень воды не возвысится до того, что поплавокъ запретъ клапанъ; тогда морская вода, находясь подъ низкимъ давленіемъ холодильника, и окруженная съ низу и съ боковъ горячимъ паромъ начинаетъ кипѣть и пары ея идутъ въ холодильникъ, гдѣ и обращаются въ воду вмѣстѣ съ мятымъ паромъ идущимъ изъ цилиндра машины.— Дистиллаторъ при обыкновенныхъ условіяхъ должен дѣйствовать только по временамъ, именно тогда, когда замѣчается понижеріе уровня воды въ котлѣ; чтобы его остановить, достаточно запереть кранъ на трубѣ в.— Въ дистиллаторѣ, если его не продувать, то будетъ скопляться мало по малу значительное количество осадковъ морскихъ солей; въ предупрежденіе этого необходимо время отъ времени выдувать всю содержащуюся внутри его воду; съ сею цѣлію трубкою с пускаютъ паръ изъ котла въ дистиллаторъ, причемъ содержащаяся въ немъ морская вода вытѣсняется черезъ трубку d, спускающуюся какъ видно въ углубленіе, нарочно для того сдѣланное въ днѣ дистиллатора.— Такимъ образомъ вся вода съ значительнымъ процентнымъ содержаніемъ

солей выбрасывается изъ дистиллатора, и на мѣсто ея затѣмъ пускается свѣжая морская вода.

56. Дѣйствіе дистиллатора становится непрерывнымъ въ случаѣ, когда останавливая машину на нѣкоторое время хотятъ однако сохранить въ котлахъ нормальное давленіе съ цѣлію быть готовыми немедленно, какъ то потребуется пустить машину въ ходъ, и съ этою цѣлью поддерживаютъ огонь въ топкѣ, выпуская образующійся паръ черезъ предохранительные клапаны въ атмосферу. При этомъ является необходимость питать котелъ, и какъ машина не дѣйствуетъ, то прѣсная вода можетъ быть получена только черезъ осажденіе пара образующагося въ дистиллаторѣ, который поэтому дѣйствуетъ постоянно, — но какъ вмѣстѣ съ тѣмъ и дѣйствіе холодильника должно прерываться, то во время подобныхъ стоянокъ необходимо постоянно приводить въ движеніе насосъ доставляющій охлаждающую воду. — Въ тоже время надобно дѣйствовать и питательнымъ насосомъ; поэтому для избѣжанія трудной ручной работы насосами всегда полезно имѣть при машинѣ съ нарушеннымъ охлажденіемъ небольшую вспомогательную машину приводящую въ движеніе пита-

тельный насосъ и насосъ для холодной воды. Нерѣдко такую машину прямо устанавливаютъ въ размѣрахъ необходимыхъ для нормальнаго дѣйствія котловъ, и тогда уничтожаютъ въ главной машинѣ насосъ для холодной воды и питательный насосъ, такъ что пароходъ получаетъ прямо двѣ машины, изъ которыхъ одна служитъ для движенія, а другая для охлажденія пара.

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

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

употребляютъ для подогрѣванія питательной воды, температуру которой доводятъ такимъ образомъ до 70° Ц. и выше. (Иногда впрочемъ и въ этихъ случаяхъ употребляются машины съ охлажденіемъ пара, но тогда теплую воду изъ холодильника не отводятъ прочь, а охлаждаютъ проводя ее въ резервуары съ обширною поверхностью прикасающеюся съ наружнымъ воздухомъ. Такимъ образомъ нагрѣтая черезъ охлажденіе пара вода снова принимаетъ первоначальную температуру, и можетъ быть вновь употреблена для охлажденія пара. Это устройство имѣетъ тотъ недостатокъ, что оно дорого и занимаетъ очень много мѣста.)

Подогрѣватели употребляются двухъ родовъ: съ внутреннимъ подогрѣваніемъ, — причемъ паръ прикасается прямо къ водѣ служащей для питанія котла и нагрѣваетъ ее, и съ наружнымъ охлажденіемъ, — причемъ вода получаетъ теплоту отъ пара черезъ посредство стѣнокъ трубъ, въ коихъ она заключена, и около которыхъ циркулируетъ отработавшій паръ. Иногда впрочемъ бываетъ и наоборотъ, т.е. отработавшій паръ двигается по трубамъ, а вода находится въ бакѣ, изъ котораго и берется для питанія котла особымъ насосомъ. Въ первой системѣ вода

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

Это расположеніе подогрѣвателя, при которомъ изъ него берется вода въ питательный насосъ, имѣетъ преимущество, что всѣ части его подвергаются только атмосферному давленію, а потому не испытывая никакихъ напряженій, почти не могутъ разстроиваться, но въ замѣнъ того является недостатокъ, состоящій въ томъ, что насосъ получающій горячую воду дѣйствуетъ менѣе исправно, вслѣдствіе отдѣленія изъ горячей воды пара при всасы-

вающемъ размахѣ поршня, который при 100°, напримѣръ, достигаетъ атмосферного давленія и слѣдовательно насосъ можетъ дѣйствовать хорошо только въ томъ случаѣ, если уровень бака, гдѣ моего черпается вода стоитъ выше самаго верхняго положенія поршня.

58. Въ послѣднее время подогрѣватели устраиваются весьма различныхъ системъ; здѣсь приводятся описанія двухъ подогрѣвателей, одного съ внутреннимъ, и другого съ наружнымъ подогрѣвомъ, которые оба оказались на опытѣ весьма удовлетворительными. Фиг. 123 изображаетъ подогрѣватель съ внутреннимъ подогрѣвомъ, въ вертикальномъ разрѣзѣ. Онъ представляетъ собою цилиндръ, закрытый сверху крышкою I и раздѣленный по высотѣ горизонтальными желѣзными перегородками B, B утвержденными на трехъ желѣзныхъ стержняхъ d, d на нѣсколько вершковъ сообщающихся камеръ. Питательная вода вливается трубкою C и переливаясь съ одной перегородки на другую падаетъ въ резервуаръ, составляющій собою пьедесталъ подогрѣвателя; мятый же паръ приходитъ трубкою B и, циркулируя между перегородками, въ направленіи обратномъ движенію воды, нагрѣваетъ ее какъ черезъ непосредственное прикосновеніе, такъ и черезъ перегородки

В и затѣмъ выводитъ въ атмосферу трубою E; отъ пьедестала этого прибора, составляющаго резервуаръ теплой воды, идетъ труба F къ питательному насосу, и другая боковая труба къ небольшому цилиндру съ поплавкомъ, указывающимъ положеніе уровня воды въ резервуарѣ, и къ небольшою сливною трубою, назначенною для удаленія излишне накопившейся въ приборѣ воды. Устройство этого прибора совершенно ясно изъ сдѣланнаго описанія, а потомъ къ предъидущему прибавить только, что этотъ приборъ приноситъ еще особую пользу въ случаѣ, если вода употребляемая для питанія котла, содержитъ много примѣсей и солей въ растворѣ, такъ какъ значительная часть ихъ осаждается на перегородкахъ раздѣляющихъ камеры и можетъ быть съ нихъ легко удалена, для чего стоитъ только открыть крышку, вынуть всю систему перегородокъ и простымъ выколачиваніемъ отбить оставшіеся на нихъ осадки.— 33

На фиг. 124 изображенъ въ вертикальномъ и горизонтальномъ разрѣзахъ въ 1/25 натуральной величины приборъ съ нарускнымъ подогрѣваніемъ для 30 сильной машины; этотъ приборъ назначенъ для нагрѣванія воды уже прошедшей черезъ питательный насосъ. Онъ очень похожъ на поверхностный холодильникъ, и состоитъ

изъ трехъ камеръ; изъ нихъ въ нижнюю камеру h входитъ трубкою g вода изъ питательнаго насоса; вода эта по десяти трубамъ соединяющимъ верхнюю и нижнюю камеры переходитъ въ верхнюю камеру k откуда уже трубкою l идетъ въ котелъ. Паръ окончившій свое дѣйствіе въ цилиндрѣ входитъ въ приборъ трубкою m, вертикальною перегородкою n принуждается идти внизъ, и затѣмъ поднимаясь къ верху выходитъ трубкою o. Далѣе замѣтить въ приборѣ еще слѣдующія составныя части: въ нижней камерѣ есть овальное отверстіе q, плотно закрытое и служащее при остановкахъ прибора для выгребанія грязи мало по малу накопляющейся въ нижней камерѣ, особенно при нечистой водѣ; въ нижней части средней камеры есть боковая трубка p, служащая для удаленія изъ резервуара воды образующейся отъ охлажденія пара, и наконецъ въ верхней камерѣ имѣется предохранительный клапанъ, который необходимъ, чтобы приборъ не разрывался даже въ томъ случаѣ, если питательный насосъ будетъ дѣйствовать при закрытомъ питательномъ клапанѣ котла.

Тип. А. Кисл... 1874.

Глава III-я

Регулированіе движенія паровыхъ машинъ.

59. Работа доставляемая паромъ, который дѣйствуетъ на поршень парового цилиндра, преобращается въ работу полезныхъ сопротивленій при посредствѣ прочихъ органовъ машины. Для этого преобразованія можно представить себѣ безчисленное множество весьма различныхъ способовъ, тѣмъ не менѣе только два изъ нихъ имѣютъ дѣйствительное практическое значеніе.

Первый изъ этихъ способовъ состоитъ въ томъ, что полезное сопротивленіе прилагается прямо къ стержню парового поршня, такъ что давленіе пара на паровой поршень при помощи стержня прямо передается туда, гдѣ находится преодолѣваемое сопротивленіе. Второй же способъ состоитъ въ томъ, что полезное сопротивленіе, для преодолѣнія котораго устроена машина, прилагается соотвѣтственнымъ циклическимъ образомъ къ валу машины, которому при посредствѣ паровыя машины. Листъ 7-й

Лит. Техн. Инст.

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

силою.

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

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

60. Чтобы яснѣе представить себѣ вліяніе производимое массами, составляющими машину, на предѣлы измѣненія ея скорости возьмемъ сначала самый ясный примѣръ машинъ, въ которыхъ сопротивленіе непосредственно дѣйству-

тотъ на паровой стержень; этотъ примѣръ представляется Корнвалльскими водокачальными машинами прямаго дѣйствія, въ которыхъ къ стержню паровагo поршня прямо и непосредственно подвѣшены поршни насосовъ, служащихъ для выкачиванія воды изъ рудниковъ, для накачиванія ея въ резервуары съ цѣлію питанія городовъ и т. п. Общее устройство этихъ машинъ объяснено съ достаточными подробностями въ первой главѣ (§ 28 стр. 89 и слѣд.). Изъ этого описанія видно, что въ сказанныхъ машинахъ разность между движущею силою и сопротивленіемъ дѣйствующими на главный стержень машины бываетъ черезвычайно велика и съ цѣлію заключенія скорости въ предѣлахъ, представляющихъ достаточную безопасность, съ этими машинами соединяются значительныя движущіяся уравновѣшенныя массы, сила инерціи которыхъ представляетъ или добавочное сопротивленіе (когда движущая сила имѣется въ избыткѣ надъ прочими сопротивленіями), или добавочный источникъ движущей силы (когда сопротивленіе болѣе чѣмъ сила приводящая машину въ движеніе). Въ первомъ случаѣ движеніе машины ускоряется, во второмъ замедляется, но какъ при значительной массѣ

движущихся частей их сила инерціи соотвѣтствующая малому измѣненію скорости представляетъ уже большую величину, то ускореніе и замедленіе движенія получаются незначительныя, и разность между наибольшею и наименьшею скоростью поршня (послѣдняя въ разсматриваемомъ случаѣ есть нуль) выходитъ не чрезвычайно большая.

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

61. Способъ, который употребленъ въ приведенномъ случаѣ для регулированія хода машины, не представляется однако дѣйствительно удобнымъ. Не говоря уже о томъ, что размахъ поршня въ этихъ машинахъ не имѣетъ совершенно точныхъ предѣловъ, скорость движенія регулирующихъ массъ въ каждое мгновеніе здѣсь равна скорости движенія остальныхъ органовъ машины (парового поршня, эксцентрика и насосныхъ поршней); а

лых скорость этихъ послѣднихъ частей по самой природѣ ихъ должна быть вы-ма умѣренная, то скорость, а слѣдовательно и ускореніе регулирующихъ массъ не можетъ быть велико; вслѣдствіе же этого для полученія въ регулирующихъ массахъ достаточной силы инерціи необходимо массы эти брать весьма значительныя, отчего машина становится крайне громоздка, дорога и неудобна.

Очевидно, что это неудобство было бы устранено, если бы регулирующія массы были соединены съ машиною такимъ образомъ, чтобы ихъ скорость значительно превосходила скорость тѣхъ органовъ машины, для которыхъ какъ напримѣръ для парового стерженя требуется не чрезвычайно быстрое движеніе не чрезвычайно быстрое. Въ такомъ случаѣ при каждомъ измѣненіи скорости пароваго поршня получилось бы измѣненіе скорости регулирующихъ массъ во столько же разъ большее во сколько разъ ихъ скорость превосходитъ скорость поршня при томъ положеніи, въ которомъ они находятся, а потому въ регулирующихъ массахъ возбуждалась бы весьма значительная сила инерціи даже при самомъ небольшомъ ускореніи или замедленіи пароваго поршня, а черезъ это очевидно ко-

стигалась бы возможность значительно уменьшать величину регулирующихъ масъ безъ всякаго ослабленія ихъ регулирующаго дѣйствія.

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

дуетъ вращательнаго движенія, это послѣднее нарочно съ цѣлію регулированія вводится въ составъ машинъ, и съ ними соединяется вращающійся валъ, несущій на себѣ колесо большаго діаметра съ тяжелымъ ободомъ, получающее названіе маховаго колеса.

Вслѣдствіе изложенныхъ соображеній сдѣлалось нынѣ почти всеобщимъ употребленіе маховыхъ колесъ въ качествѣ регулирующихъ масъ для большихъ водокачекъ и воздуходувныхъ машинъ, которыхъ однако обыкновенно поршень насоса или воздуходувнаго цилиндра садится на продолженіе парового поршня, такимъ образомъ, что прямыхъ движущей силы (паровой поршень) прямо и непосредственно соединяется съ исполнительнымъ орудіемъ (поршнемъ производящимъ давленіе на подымаемую воду или на сжимаемый воздухъ). въ этихъ машинахъ, подобно какъ въ Корнвалійскихъ водокачкахъ, работа доставляемая двигателемъ и работа поглощаемая сопротивленіями, хотя и равны между собою для полнаго размаха поршня, но вовсе не равны между собою для отдѣльныхъ частей этого размаха, и слѣдовательно въ нихъ подобно тому какъ въ Корнвалійскихъ ма-

шинахъ представляется необходимость ввести въ составъ машины такія массы, сила инерціи которыхъ при небольшихъ измѣненіяхъ въ скорости поршня могла бы поглощать разность между движущею силою и сопротивленіемъ. Эти регулирующія массы и вводятся въ видѣ маховыхъ колесъ, насаженныхъ на отдѣльномъ спеціально въ этою цѣлію устроенномъ валѣ, который приводится въ движеніе особымъ шатуномъ и кривошипомъ отъ главнаго стержня общаго паровоза и непосредственно поршнемъ.

63. Въ обыкновенныхъ фабричныхъ машинахъ, цѣль которыхъ состоитъ въ полученіи вращательнаго движенія встрѣчается то же самое обстоятельство, что и въ машинахъ упомянутыхъ выше: въ нихъ обыкновенно сопротивленіе (представляющееся въ видѣ давленія на зубъ колеса, сидящаго на главномъ валѣ или въ видѣ разности въ натянутостяхъ ремня, перекинутаго черезъ шкивъ на томъ же главномъ валѣ сидящій) при нормальныхъ условіяхъ дѣйствуетъ постоянно въ одинаковымъ напряженіемъ, и по направленію касательнымъ окружности, описываемой точкою его приложенія; движущая же сила пара,

передаваемая на валъ при помощи шатуна и кривошипа измѣняется въ значительныхъ предѣлахъ. — Такъ, не обращая далѣе вовсе вниманія на измѣненія движущей силы происходящія отъ уменьшенія давленія пара при его расширеніи, прямо видно, что вращающее дѣйствіе пара равно нулю въ каждой изъ мертвыхъ точекъ кривошипа: онъ мало по сосѣдству съ этими мертвыми точками и постепенно увеличивается по мѣрѣ приближенія кривошипа къ положеніямъ, въ коихъ онъ съ шатуномъ составляетъ прямой уголъ. — Слѣдовательно и здѣсь между работою движущей силы и работою сопротивленія соотвѣтствующими одному и тому же углу вращенія вала встрѣчаются значительныя разницы, а потому если съ машиною не будутъ связаны регулирующія массы, то угловая скорость машины будетъ измѣняться въ очень широкихъ предѣлахъ, между тѣмъ для фабричныхъ машинъ возможное устраненіе неравномѣрности угловаго движенія главнаго вала въ большей части случаевъ составляетъ одно изъ важнѣйшихъ и главнѣйшихъ условій хорошаго дѣйствія и слѣдовательно регулирующія массы предназначаются совершенно особой цѣлью.

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

64. Такимъ образомъ маховое колесо представляется весьма важнымъ и существеннымъ органомъ для паровыхъ машинъ вообще. Какъ видно изъ всего вышедшаго

роль его состоитъ въ ослабленіи неравномѣрности происходящей въ движеніи машины оттого, что движущая сила и сопротивленія не находятся постоянно въ равновѣсіи, хотя и уравновѣшиваются между собою для полнаго періода движенія. Но независимо отъ этого въ дѣйствіи сопротивленій, преодолѣваемыхъ машиною, встрѣчаются извѣстныя неправильности, которыя нарушаютъ равновѣсіе между ними и движущею силою даже и для полнаго періода движенія, такъ что работа сопротивленій вычисленная для всего періода движенія выходитъ или больше или меньше, чѣмъ работа движущей силы. При такихъ условіяхъ періодичность движенія машины уже необходимымъ образомъ нарушается приемъ скорость или постепенно увеличивается, (если перевѣсъ на сторонѣ движущей силы) или постепенно уменьшается (если перевѣсъ на сторонѣ сопротивленія). Уничтожить вліяніе такихъ измѣненій въ сопротивленіи маховое колесо не въ состояніи: оно можетъ только вліяніемъ своей силы инерціи замедлить измѣненіе скорости, такъ что при маховомъ колесѣ съ большою силою инерціи измѣненіе скорости производимое такими причинами будетъ происходить не столь быстро, какъ

въ машинахъ, которыя вовсе не имѣютъ маховаго колеса, или имѣютъ маховое колесо съ небольшою силою инерціи.—

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

лиливает отверстие для прохода пара, а второй, увеличивает періодъ впуска пара, когда сопротивленіе возрастает, и наоборотъ первый уменьшаетъ отверстіе для прохода пара, а второй уменьшаетъ періодъ впуска, когда сопротивленіе убываетъ.

Какъ видно изъ этого обѣ системы регуляторовъ, какъ бы они не были совершенны въ прочихъ частяхъ своихъ, могутъ немедленно оказывать свое вліяніе на ходъ машины только въ такомъ случаѣ, если впускъ пара въ цилиндръ открытъ; такимъ образомъ, если бы напримѣръ сопротивленіе преодолѣваемое машиною вдругъ исчезло (что очень легко можетъ случиться напримѣръ въ фабричной машинѣ, когда лопнетъ ремень, передающій движеніе машины приводу, или сломается самый приводъ, или вообще случится какое либо обстоятельство прекращающее связь между паровою машиною и рабочими машинами, которыя она приводитъ въ движеніе) при такомъ положеніи поршня, когда впускъ пара уже закрытъ, т. е. когда уже началось расширеніе пара, то вліяніе регулятора, которое въ этомъ случаѣ должно состоять въ совершенномъ прекращеніи доступа пара начнется только тогда, когда поршень окончитъ свой

рамахъ и начнетъ слѣдующій, такъ какъ только тогда откроется вновь впускъ пара, и регуляторъ получитъ возможность уменьшить работу доставляемую двигателемъ.-

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

Чтобы это не случилось, маховое колесо должно быть достаточно сильно для того, чтобы своею силою инерціи, поглотить всю работу произведенную паромъ отъ мгновенія, когда прекратилось дѣйствіе сопротивленія безъ увеличенія скорости машины до предѣла, при которомъ начинается нѣкоторая опасность. Это обстоятельство не играетъ особенно важной роли для машинъ ходящихъ почти безъ расширенія, но для машинъ дѣйствующихъ со значительнымъ расширеніемъ оно имѣетъ важное значеніе, которое нельзя оставить безъ

вниманія при опредѣленіи размѣровъ молотка, которые должны быть въ этомъ отношеніи провѣрены, и повѣрка эта можетъ быть произведена слѣдующимъ образомъ.

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

$$U\left[p\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{\mu-1}\left\{1-\left(\frac{\varepsilon+\varepsilon'}{1+\varepsilon'}\right)^{\mu-1}\right\}-(p_1+f)(1-\varepsilon)\right]=T$$

Если представимъ себѣ, что вся эта работа поглощается исключительно силою инерціи обода маховаго колеса, то

Лит. Ф. Крелгеръ С.П.Б.

назвавъ черезъ W и W' угловыя скорости колеса въ концѣ размаха и при началѣ расширенія, а черезъ M и R массу и радіусъ обода маховаго колеса, то получимъ равенство:

$$\frac{MR^2}{2}(W^2 - W'^2) = T.$$

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

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

то получимъ, пренебрегая членами обратно пропорціональными m^2

$$\frac{MR^2W'^2}{m} = T.$$

откуда легко по даннымъ W', M и R опредѣлится m, или наоборотъ по даннымъ W', m и одной изъ величинъ M и R опредѣлится другая. Что касается значенія m, то оно должно быть опредѣлено (1) въ каждомъ частномъ случаѣ сообразно нормальной скорости, которую имѣетъ

(1). Г. Двелегауверсъ-Дери, который первый разъ обратилъ вниманіе на указанное здѣсь свойство маховыхъ колесъ (Revue Universelle des mines. 1872 г. Т XXXI стр. 205 и слѣд.) совѣтуетъ полагать въ этомъ уравненіи W равнымъ наибольшей угловой скорости машины, которую она имѣетъ при нормальныхъ условіяхъ своего хода: если припомнить что въ обыкновенныхъ случаяхъ наибольшая скорость машины отличается отъ средней не болѣе какъ на 2%, а во многихъ случаяхъ требуется для правильности производства, чтобы упомянутая разность не превосходила одного процента средней скорости, то выставленное Г. Двелегауверсъ-Дери требованіе представляется преувеличеннымъ для разсматриваемаго случая, такъ какъ здѣсь идетъ рѣчь вовсе не о томъ, чтобы получить большую равномѣрность хода, а только о томъ, чтобы не дойти до опасной скорости, и остановить машину какъ можно скорѣе. Поэтому во многихъ случаяхъ можно полагать въ

машина, и очевидно можетъ быть взято значительно менѣе для машинъ ходящихъ съ малою угловою скоростью, чѣмъ для машинъ быстро вращающихся. Въ большей части случаевъ при новыхъ маховика можно полагать m отъ 8 до 12.

67. Предъидущій разборъ показываетъ какое значеніе имѣетъ маховое колесо въ чрезвычайныхъ случаяхъ, при необыкновенномъ состояніи машины; главное же его назначеніе состоитъ, какъ объяснено выше въ томъ, чтобы производить регулированіе машины при обыкновенныхъ нормальныхъ условіяхъ ея дѣйствія; его главное назначеніе состоитъ въ томъ, чтобы при измѣненіяхъ скорости, заключенныхъ въ тѣсныхъ предѣлахъ, развивать работу силы инерціи достаточную для того, чтобы поглощать избытки въ работѣ двигателя надъ сопротивленіемъ и сопротивленія надъ двигателемъ, являющіеся въ паровой машинѣ на отдѣльныхъ частяхъ размаха поршня даже и въ томъ случаѣ, когда для всего размаха работа

предъидущемъ уравненіи, что наибольшая скорость на десять и даже на пятнадцать процентовъ превосходитъ среднюю скорость. Правило Г. Двельгауверсъ-Дери приводитъ во многихъ случаяхъ къ безполезно большимъ маховикамъ.-

ны эти равны между собою. Чтобы получить вѣрныя правила для опредѣленія размѣровъ маховыхъ колесъ, удовлетворяющихъ этимъ условіямъ назовемъ черезъ W_0 угловую скорость маховика въ которой либо изъ двухъ мертвыхъ точекъ поршня, и черезъ W угловую его скорость въ то мгновеніе, когда онъ находится на разстояніи s отъ этой мертвой точки; назовемъ соотвѣтственно черезъ $\varphi(s)$ и $\psi(s)$ работы доставляемыя двигателемъ и сопротивленіемъ въ то время, какъ поршень проходитъ путь s; на основаніи закона живыхъ силъ, — и въ предположеніи, что вся разница между работою двигателя и сопротивленія преобразуется исключительно въ живую силу маховика, можемъ написать уравненіе:

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

Изъ этого уравненія видимъ, что скорость W достигаетъ своей наибольшей и своей наименьшей величины для того значенія s для котораго

$$\varphi'(s).ds - \psi'(s).ds$$

перемѣняетъ знакъ; но какъ $\varphi'(s)ds$ и $\psi'(s)ds$ суть очевидно элементарныя работы двигателя и сопротивленія, соотвѣтствующія перемѣщенію ds поршня, то

мы получаемъ слѣдующее заключеніе:

угловая скорость маховика достигаетъ своей наибольшей и наименьшей величины при такихъ положеніяхъ поршня, для которыхъ разность элементарныхъ работъ двигателя и сопротивленія измѣняетъ знакъ.

Движеніе мы предполагаемъ періодическое; вычисленная же для полнаго періода разность между работою двигателя и работою сопротивленія есть нуль; изъ этого заключаемъ, что разность между элементарными работами непремѣнно измѣняетъ свой знакъ въ теченіе періода, и притомъ непремѣнно четное число разъ.

Дѣйствительно угловая скорость маховика въ теченіе періода измѣняется, а какъ въ концѣ періода она имѣетъ ту же величину, какъ въ его началѣ, то очевидно скорость не можетъ ни постоянно возрастать, ни постоянно убывать; слѣдовательно она необходимо будетъ имѣть по крайней мѣрѣ одну наибольшую или одну наименьшую величину; если такимъ величинъ имѣется всего одна между предѣлами ограничивающими періодъ, и если положимъ, что она одна величина будетъ наибольшая, то очевидно, что отъ начала періода до того положенія, при которомъ получается наибо-

шая величина, скорость постоянно возрастает, и отъ наибольшей величины до конца періода она постоянно убываетъ, а слѣдовательно всѣ безъ исключенія скорости принимаемыя маховикомъ въ теченіе періода будутъ больше чѣмъ скорость отвѣчающая началу и концу періода, а слѣдовательно эта послѣдняя скорость будетъ наименьшая. Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ скорость маховика будетъ имѣть одну наибольшую и одну наименьшую величину; очевидно что такое же распредѣленіе можно примѣнить и къ тому случаю, если между предѣлами ограничивающими періодъ имѣется одна наименьшая скорость: тогда скорость соотвѣтствующая началу и концу періода будетъ наибольшая, и слѣдовательно опять угловая скорость маховика будетъ имѣть одну наибольшую и одну наименьшую величину. Переходя къ случаю, когда внутри предѣловъ періода будетъ нѣсколько положеній, при которыхъ скорость маховика будетъ наибольшею, замѣтимъ, что отъ одной наибольшей къ другой скорость не можетъ перейти, не проходя черезъ наименьшую величину, а потому между каждыми двумя смежными положеніями, при которыхъ скорость имѣетъ наибольшую ве-

личину, существуетъ одно положеніе, при которомъ она имѣетъ и величину наименьшую, а потому, если M N черт. ~~125~~ 34. изображаетъ полный періодъ движенія и A, B, C, D изображаютъ положенія поршня, при которыхъ скорость будетъ наибольшею, то соотвѣтственно между A и B, между B и C, между C и D, а равно между D и A существуетъ по одному такому положенію машины, при которомъ маховикъ имѣетъ наименьшую скорость; такимъ образомъ каждой наибольшей скорости отвѣчаетъ внутри періода наименьшая скорость, и число этихъ наибольшихъ и наименьшихъ скоростей имѣетъ взятыхъ будетъ непремѣнно четное, а какъ при каждой наибольшей и наименьшей скорости разность элементарныхъ работъ двигателя и сопротивленія перемѣняетъ знакъ, то каждый періодъ заключаетъ въ себѣ четное число положеній при которыхъ эта разность измѣняетъ свой знакъ; одна половина этихъ положеній отвѣчаетъ наибольшимъ, а другая половина наименьшимъ значеніямъ угловой скорости маховика; изъ наибольшихъ скоростей одна будетъ самая большая; пусть она будетъ V_1, а другая будетъ самая малая: пусть она будетъ V_2; пусть кромѣ того путь поршня отъ мертвой точки до по-

ленія, соотвѣтствующаго самой большой изъ наибольшихъ скоростей, будетъ S_1, а путь поршня отъ мертвой точки до положенія, соотвѣтствующаго самой малой изъ наименьшихъ скоростей путь будетъ S_2; очевидно что мы получимъ:

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

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

откуда прямо найдемъ:

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

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

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

и тогда все уравненіе представится слѣ-

дующимъ образомъ:

$$\frac{1}{i} MR^2c^2 = [\varphi(s_1) - \psi(s_1)] - [\varphi(s_2) - \psi(s_2)]. \quad (1)$$

Если найдемъ всѣ величины при которыхъ разность элементарныхъ работъ

$$\varphi'(s)\,ds - \psi'(s)\,ds$$

измѣняетъ свой знакъ, то величины s_1, s_2 будутъ тамъ извѣстны и слѣдовательно вторая часть послѣдняго уравненія представляющая собою разность между работою доставленною двигателемъ и работою поглощенную сопротивленіемъ во время перехода отъ наименьшей скорости къ наибольшей будетъ вполнѣ извѣстна, а слѣдовательно, зная средную угловую скорость вала, и назначивъ величину i, которая очевидно пропорціональна степени равномѣрности машины, мы изъ предъидущаго уравненія безъ всякаго затрудненія опредѣлимъ MR^2, а слѣдовательно задавъ себѣ или массу или радіусъ маховаго колеса (что должно быть сдѣлано на основаніи особыхъ, не относящихся къ равномѣрности движенія соображеній, которыя будутъ изложены ниже) получимъ возможность опредѣлить въ первомъ случаѣ радіусъ, а во второмъ случаѣ массу обода

маховаго колеса.

Замѣтимъ затѣмъ, что такъ какъ $\varphi'(s)ds$ изображаетъ элементарную работу движущаго усилія пара, и ds есть элементъ пути описываемый, то величина $\varphi'(s)$ есть не иное что, какъ величина давленія производимаго паромъ на поршень; точно также и по той же причинѣ $\psi'(s)$ есть величина давленія производимаго на поршень въ направленіи противоположномъ давленію пара всякое сопротивленія преодолѣваемаго машиною: если точка приложенія этого сопротивленія имѣетъ точно такое же движеніе, какъ паровой поршень, то очевидно $\psi'(s)$ будетъ равно самому сопротивленію; если же движеніе точки приложенія сопротивленія не одинаково съ движеніемъ поршня, то обозначивъ черезъ Q дѣйствительную величину сопротивленія, отвѣчающую пути s пройденному поршнемъ и черезъ ds' величину пути, проходимаго точкою приложенія этого сопротивленія по его направленію въ то время, какъ поршень описываетъ путь ds, найдемъ $\psi'(s)$ изъ уравненія

$$\psi'(s)\,ds = Q\,ds' \quad \text{или} \quad \psi'(s) = Q\frac{ds'}{ds}.$$

68. Для опредѣленія размѣровъ мало-

всего колеса, какъ видно изъ предъидущаго прежде всего слѣдуетъ опредѣлить тѣ положенія машины, при которыхъ маховикъ имѣетъ свои наибольшую и наименьшую скорость; эти положенія могутъ быть найдены черезъ аналитическое разрѣшеніе вопроса о тѣхъ значеніяхъ s, при которыхъ выраженіе:

$$\varphi'(s)ds - \psi'(s)ds,$$

т. е. разность между элементарною работою двигателя и сопротивленія переходитъ изъ отрицательнаго въ положительное значеніе и наоборотъ. — Въ простѣйшихъ случаяхъ рѣшеніе этого вопроса не представляетъ собою никакихъ затрудненій, но когда машина дѣйствуетъ съ расширеніемъ, а также если сопротивленіе не сохраняетъ постоянной величины, аналитическое разрѣшеніе разсматриваемаго вопроса вообще довольно затруднительно. Въ такихъ случаяхъ лучше всего прибѣгнуть къ графическому его рѣшенію, при чемъ можно различить два случая: одинъ, когда сопротивленіе дѣйствуетъ прямо и непосредственно на стержень пароваго поршня, и другой, когда оно приложено по касательной къ окружности, описываемой точкою его приложенія.

69. Въ первомъ случаѣ проведемъ пря-

мую MN (орт. ~~126~~) изображающую путь поршня во время полнаго періода и раздѣливъ ее въ точкахъ M, A, B, C, D, E, F, G... ... N на возможно большое число частей; возставимъ въ началѣ каждой части перпендикуляры Mm, Aa, Bb и проч. изображающіе соотвѣтствующее каждой точкѣ давленіе производимое паромъ на рабочую сторону поршня, уменьшенное на соотвѣтствующее давленіе пара на нерабочую сторону поршня; такимъ образомъ получимъ кривую линію mabc..... n изображающую собою измѣненія въ величинѣ дѣйствующаго давленія пара; площадь этой кривой Mmabc..... nN представитъ собою очевидно полную работу, доставленную двигателемъ во время періода: часть же этой площади, заключенная между смѣжными ординатами и. т. м. Dd и Ee представитъ работу доставленную двигателемъ въ то время, когда поршень проходитъ путь De; а потому если точки D и E безконечно близки, то площадь DdeED изобразитъ элементарную работу, доставленную паромъ на безконечно маломъ пути DE поршня; если затѣмъ точно такимъ же образомъ построимъ кривую m'a'b'c'.... n' изображающую измѣненія всѣхъ преодолѣваемыхъ паромъ сопротивленій, то площадь этой

кривой M m' a' b' c' .. .. n' N представитъ собою полную работу сопротивленій; а какъ для періода работа доставленная двигателемъ и работа поглощенная сопротивленіями между собою равны, то площадь второй кривой непремѣнно должна быть равна площади первой кривой, а слѣдовательно, если только всѣ величины сопротивленія не равны соотвѣтственно величинамъ дѣйствующаго давленія пара, то кривыя m a b c ..... n и m' a' b' c' .... n' непремѣнно между собою пересѣкаются; въ точкахъ же пересѣченія этихъ кривыхъ разность между давленіями на поршень движущей силы и сопротивленія очевидно перемѣняетъ знакъ, а слѣдовательно перемѣняетъ также знакъ и разность между элементарными работами двигателя и сопротивленія (такъ какъ эта разность работъ очевидно равна произведенію разности между движущею силою и сопротивленіемъ на одинаковый элементарный путь проходимый точками ихъ приложенія).

Такимъ образомъ абсциссы M, L, F, U точекъ пересѣченія m, l, f, u кривыхъ, изображающихъ ходъ измѣненія движущей силы и сопротивленія, будутъ представлять собою положенія поршня, соотвѣтствующія наибольшимъ и наименьшимъ скоростямъ

маховика; при томъ какъ разность между движущею силою и сопротивленіемъ при положеніи поршня M переходитъ изъ отрицательной величины ($Mn - Mn' = -nn'$) въ положительную ($Mm - Mm' = +mm'$), то точка M соотвѣтствуетъ наименьшей скорости; при положеніи поршня X, разность между движущею силою и сопротивленіемъ изъ положительной величины переходитъ въ отрицательную, (проходя въ этой точкѣ черезъ нуль): слѣдовательно въ точкѣ X получается наибольшая скорость; тоже также найдемъ, что въ точкѣ F скорость маховика будетъ наименьшая, а въ точкѣ Y она будетъ наибольшая.-

70. Изъ этого же видно съ какимъ удобствомъ графически опредѣляются положенія, при которыхъ маховикъ получаетъ свою наибольшую и наименьшую скорости: но польза графическаго построенія, этимъ не ограничивается; дѣйствительно въ чертежѣ (фиг. 35) площадь MmaxXAM очевидно представляетъ собою выраженную въ принятомъ масштабѣ (1)

(1). Для устраненія всякихъ недоумѣній замѣтимъ здѣсь же, что для перевода этой площади въ килограммметры слѣдуетъ величину ея выраженную въ квадратныхъ единицахъ раздѣлить на произведеніе изъ числа линейныхъ единицъ изображаю-

работу доставленную двигущею силою в то время, какъ поршень двигался отъ мертвой точки до положенія соотвѣтствующаго одной изъ наибольшихъ скоростей маховика, площадь же $M m' a' x A M$ представляетъ собою работу поглощенную въ тоже время сопротивленіемъ; сравнивая разность этихъ двухъ площадей (заштрихованная на чертежѣ площадка $m' m a x a' m'$) представляетъ собою выраженный въ принятомъ масштабѣ избытокъ работы доставленной двигателемъ надъ работою поглощенною сопротивленіемъ при переходѣ поршня изъ мертвой точки въ положеніе соотвѣтствующее наибольшей скорости; точно также площадь $x b' c' d' e' f' f'' e d e b x$ заштрихованная на чертежѣ представитъ въ принятомъ масштабѣ избытокъ работы поглощенной изъ при вычерчиваніи одинъ метръ и изъ числа линейныхъ единицъ, изображающихъ одинъ килограммъ; такимъ образомъ если измѣренная площадь составляетъ 1456 квадратныхъ миллиметровъ, и если при вычерчиваніи одинъ метръ принятъ равнымъ 20 миллиметрамъ, а одинъ килограмъ откладывается какъ 0,01 миллиметра, то разсматриваемая площадь выражаетъ работу въ $\frac{1456}{20 \times \frac{1}{100}} = 7280$ килограммометровъ.

сопротивленіями надъ работою доставленною двигателемъ при переходѣ отъ наибольшей скорости, имѣющей мѣсто при положеніи поршня X къ наименьшей, имѣющей мѣсто въ точкѣ F, площадь f'fgyg'f' изображаетъ избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія при переходѣ отъ наименьшей скорости имѣющей мѣсто въ точкѣ F къ наибольшей, которая помѣщается въ точкѣ Y, и наконецъ площадь yh'j'k'l'n'nlkjhy представитъ избытокъ работы сопротивленій надъ работою двигателя при переходѣ отъ наибольшей скорости въ точкѣ Y къ наименьшей въ точкѣ N, или что тоже, въ точкѣ M. Избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія при переходѣ отъ мертвой точки къ каждой изъ двухъ наибольшихъ скоростей будетъ:

При переходѣ къ первой, соотвѣтствующей положенію поршня X:

$$\square\, m'mxa'm',$$

при переходѣ ко второй соотвѣтствующей положенію поршня Y:

$$\square\, m'mxxm' + \square\, f'fgygf' - \square\, xb'c'd'e'f'f''edcbx.$$

Смотря по тому, которая изъ этихъ двухъ величинъ больше, опредѣлится которая изъ двухъ скоростей маховика, имѣющая ли мѣсто въ точкѣ X или имѣю-

Лит. К. Кремера С.П.Б.

щая мѣсто въ точкѣ Y будетъ самая большая изъ двухъ наибольшихъ скоростей; равно также избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія будетъ:

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

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

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

71. Такимъ образомъ легко разрѣшить вопросъ о томъ, при какомъ положеніи поршня будетъ самая малая изъ наименьшихъ и самая большая изъ наибольшихъ скоростей, и въ то же время опредѣлятся избытки работы двигателя надъ работами сопротивленій при переходѣ отъ мертвой точки къ каждой изъ этихъ скоростей, т.е. опредѣлятся величины обозначенныя нами въ параграфѣ 67 черезъ

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

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

$$\varphi(S_1)-\psi(S_1)=\square\, m'max\,a'm'$$

$$\varphi(S_2)-\psi(S_2)=0$$

и слѣдовательно уравненіе (1) приведется въ виду:

$$\frac{1}{2}MR^2c^2=\square\, m'max\,a'm'.$$

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

$$\varphi(S_1)-\psi(S_1)=\square\, m'ma'x\,a'm'$$
$$\varphi(S_2)-\psi(S_2)=\square\, m'ma'x\,a'm'-$$

$$-\square\, xb'b''d'd''f'f''edcbx$$

и слѣдовательно уравненіе (1) приводится къ

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

Если скорость въ точкѣ Y будетъ самая

большая из наибольшихъ, а въ точкѣ N самая малая изъ наименьшихъ, то

$$\varphi(S_1)-\psi(S_1)=\square\, m'max\,a'm'-\square\, xb'i'd'e'f'f''edcx+$$

$$+\square\, f'fgyy'f'$$

$$\varphi(S_2)-\psi(S_2)=0$$

Имѣя это въ виду, а также принимая въ соображеніе, что въ силу періодическаго движенія

$$\square\, m'max\,a'm'+\square\, f'fgyy'f'=$$
$$=\square\, xb'i'd'e'f'f''edcx+\square\, yh'j'k'l'n'l'kjhy$$

найдемъ что уравненіе (1) приведется къ виду

$$\frac{1}{i}MR^2c^2=\square\, yh'j'k'l'n'l'kjhy$$

Наконецъ если самая большая изъ наибольшихъ скоростей и самая малая изъ наименьшихъ измѣнятъ мѣсто соотвѣтственно въ точкахъ Y и S, то уравненіе (1) будетъ

$$\frac{1}{i}MR^2c^2=\square\, f'fgyy'f'.$$

Изъ этого разбора видно, что вообще для нахожденія величины $\frac{1}{i}MR^2c^2$ съ помощью чертежа надобно поступать по слѣдующему правилу: построивъ кривыя, изображающія измѣненія вы-

дущей силы и сопротивленія, слѣдуетъ замѣтить точки ихъ пересѣченія, и измѣрить площади между кривыми заключенныя, и сказанными точками пересѣченія ограниченныя. Эти площади изображаютъ избытки работы двигателя надъ работою сопротивленія, которые будутъ положительными, если кривая движущихъ силъ лежитъ поверхъ кривой сопротивленій, и отрицательными, если наоборотъ кривая сопротивленій между взятыми точками пересѣченія лежитъ выше кривой движущихъ силъ. Взявъ алгебраическую сумму опредѣленныхъ такимъ образомъ избытковъ работы двигателя надъ работою сопротивленій заключенныхъ между первого и каждого изъ четырехъ точекъ пересѣченія общихъ кривыхъ, выберемъ наибольшую и наименьшую (т.е. численно наибольшую отрицательную) изъ этихъ суммъ; ихъ разность (т.е. сумма ихъ численныхъ значеній) и будетъ представлять величину $\frac{1}{2} M R^2 c^2$.

12. Въ томъ случаѣ, когда сопротивленіе приложено къ валу машины построеніе разности

$$\varphi'(s)ds - \psi'(s)eds$$

по указанному въ предъидущемъ способу упрощается тѣмъ, что величина

сопротивленія обыкновенно выражается въ этомъ случаѣ нѣкоторою простою зависимостью не отъ пути проходимаго поршнемъ по выходѣ его изъ мертвой точки, а отъ угла, описываемаго валомъ; поэтому и работа сопротивленія гораздо удобнѣе выражается въ зависимости отъ отмѣченнаго угла, чѣмъ отъ пути поршня. Для построенія кривой, изображающей измѣненія сопротивленія въ этомъ случаѣ, представляется на первый разъ всего проще задать себѣ много различныхъ положеній вала, опредѣлить величину сопротивленія, соотвѣтствующаго каждому изъ этихъ положеній, и за симъ найти какъ положенія поршня, соотвѣтствующія каждому изъ взятыхъ положеній вала, такъ и величины давленія на поршень, которыя бы вполнѣ замѣняли опредѣленныя сопротивленія, къ валу приложенныя. Эти давленія опредѣляются, какъ извѣстно, тѣмъ условіемъ, что элементарная работа каждаго изъ нихъ должна равняться соотвѣтствующей элементарной работѣ дѣйствительнаго сопротивленія. Поэтому если предположимъ напримѣръ, что Q будетъ дѣйствительная величина сопротивленія, соотвѣтствующая тому положенію вала, которое онъ имѣетъ, когда кри-

сопить, выходя изъ мертвой точки, описываетъ уголъ α, если обозначить черезъ R пол=но этого сопротивленія, а черезъ s путь поршня соотвѣтствующій углу α, и наконецъ черезъ Q_1 обозначить давленіе на поршень заключающее собою сопротивленія Q, то Q_1 опредѣлится равенствомъ:

$$Q_1 ds = Q.R.d\alpha$$

откуда

$$Q_1 = Q.R.\frac{d\alpha}{ds}$$

Но величина $\frac{d\alpha}{ds}$ для мертвыхъ точекъ поршня обращается въ безконечность, а потому если только Q или R не обращаются въ нуль, то давленіе Q_1 дѣлается для мертвыхъ точекъ безконечно большимъ, и оно такъ получаетъ величину достаточную, въ черезъ то непосредственное измѣреніе такой площади ограниченной кривою сопротивленій весьма затруднительно, и приложеніе объясненнаго способа графическаго рѣшенія вопроса описаннаго выше совершенно невозможнымъ.

Поэтому въ разсматриваемомъ случаѣ употребляютъ способъ обратный предъ объясненному, а именно вычисляютъ для различныхъ положеній вала величины сопротивленія и по тѣмъ заклю-

ютъ это сопротивленіе другимъ, ему равнодѣйствующимъ и притомъ такимъ, котораго плеча было бы постоянное и равное длинѣ кривошипа. Затѣмъ давленіе на поршень соотвѣтствующее каждому положенію вала замѣняютъ усиліемъ ему равнодѣйствующимъ, приложеннымъ къ валу, и имѣющимъ также плечо равное длинѣ кривошипа. Опредѣляя элементарныя работы сопротивленія и двигателя, отвѣчающія безконечно малому углу вращенія вала, очевидно найдемъ, что онѣ будутъ равны произведеніямъ изъ пути, описываемаго при этомъ углѣ центра кривошипа, на только что найденныя величины усилій, которыя, дѣйствуя на плечѣ равномъ длинѣ кривошипа, вполнѣ замѣняютъ собою двигатель и сопротивленіе. А потому если развернемъ окружность, описываемую центра кривошипа въ прямую линію, и раздѣливъ ее на извѣстное большое число частей проведемъ черезъ каждую изъ точекъ дѣленія къ прямой перпендикуляры и на нихъ отложимъ величины усилій, которыя имѣя плеча равное длинѣ кривошипа, будутъ равнодѣйствующими движущей силы и сопротивленію для этихъ точекъ вычисленныхъ, то черезъ соединеніе концовъ отложенныхъ величинъ

получимъ кривыя, изображающія ходъ измѣненій двигателя и сопротивленія при постепенномъ вращеніи вала. Рассуждая съ этими кривыми точно такъ, какъ и съ кривыми построенными для предыдущаго случая очевидно получимъ для опредѣленія размѣровъ маховика по этимъ кривымъ правило тождественное съ выраженнымъ въ концѣ 71 параграфа.

Справедливость всего этого разсужденія не трудно видѣть. Путь для полосѣченія вала соотвѣтствующаго углу α, описанному кривошипомъ по выходѣ изъ мертвой точки, P будетъ давленіе на поршень и Q сопротивленіе отвѣтствующее на плечѣ R; обозначимъ черезъ s путь поршня соотвѣтствующій углу α, черезъ ρ длину кривошипа и черезъ ds элементъ пути поршня соотвѣтствующій безконечно малому вращенію $d\alpha$ вала кривошипа. Если сверхъ того обозначимъ черезъ P' и Q' величины усилій, заключающихъ собою движущую силу и сопротивленіе, по приложенныхъ на плечѣ ρ, то P' и Q' опредѣлятся равенствами:

$$P'\rho d\alpha = P ds\,; \quad Q'\rho d\alpha = Q R d\alpha$$

а какъ по предыдущему

$$QRdx = Q_1 ds$$

(гдѣ Q_1 есть усиліе прямо дѣйствующее на поршень и замѣняющее собою сопротивленіе Q) то мы и получимъ, что

$$P'\rho dx - Q'\rho dx = Pds - Q_1 ds$$

а какъ P и Q_1 суть не иное что, какъ величины обозначенныя нами прежде черезъ $\varphi'(s)ds$, $\psi'(s)ds$, то построенныя посредствомъ только что объясненнаго пріема кривыя дадутъ намъ тѣмъ же способомъ тѣ же результаты, которые найдены посредствомъ кривыхъ, построеніе которыхъ подробно объяснено въ предыдущемъ параграфѣ, и которыя изображаютъ ходъ измѣненій движущаго давленія и сопротивленія, приложенныхъ прямо къ поршню, и имѣютъ своими ординатами движущее давленіе и сопротивленіе, а абсциссами пути пройденные поршнемъ изъ мертвой точки.-

При употребленіи этого способа совершенно избѣгаетъ то затрудненіе, которое было указано выше въ случаѣ, если для сравненія элементарныхъ ра-

Тѣмъ движенія и сопротивленія въ усиліи преобразуются въ дѣйствующія на паровой поршень. Въ самомъ томъ, какъ указано выше, и сопротивленіе и движущее давленіе паровъ будутъ замѣнены усиліями, дѣйствующими по касательной къ кругу описываемому центромъ кривошипа, то согласно нѣсколько выше будетъ

$$P' = P\frac{ds}{\rho\, d\alpha}\ ;\quad Q' = Q\cdot\frac{R}{\rho},$$

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

§3. Отношенія

$$P' = P\frac{ds}{\rho\cdot d\alpha}\ ;\quad Q' = Q\frac{R}{\rho}$$

показываютъ самый прямой пріемъ, который можетъ быть употребленъ для опредѣленія величинъ P' и Q', но конечно при употребленіи графическаго способа рѣшенія вопросъ о маховыхъ колесахъ, и эту часть задачи разрѣшить также посредствомъ графическихъ пріемовъ.

Вопросъ о графическомъ нахожденіи Q' по опредѣленій отвѣтвительныхъ мѣстъ, на которыхъ отвѣтствуетъ на валъ, при различныхъ положеніяхъ кривошипа сопротивленіе Q, не представляетъ никакого затрудненія, такъ какъ Q' отрицательная за тѣмъ какъ четвертая пропорціональная къ величинамъ Q, R и ρ_1; что же относится до опредѣленія мѣстъ R, соотвѣтствующихъ различнымъ положеніямъ кривошипа, то этотъ вопросъ общимъ образомъ рѣшенъ быть не можетъ, такъ какъ пріемы для этого необходимые будутъ въ каждомъ частномъ случаѣ зависѣть отъ способа отдѣлки сопротивленія. Въ фабричныхъ машинахъ величина R въ большей части случаевъ постоянная, и представляетъ собою вѣсъ или сумму вѣса или тяжести сидящаго на главномъ валѣ и соединенаго при посредствѣ шестерни съ внутренно тяжелыя и рамы съ всею прядью,

которой передаетъ движеніе фабрикѣ. Величина сопротивленія такимъ образомъ дѣйствующаго при нормальномъ условіи хода машины бываетъ также постоянная и въ такомъ случаѣ

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

будетъ величиною неизмѣняющею своего значенія, такъ что кривая изображающая ходъ измѣненій Q' въ этомъ случаѣ обращается въ прямую линію параллельную оси абсциссъ.—

Что касается до построенія P', то вопросъ этотъ сводится къ наложенію усилія, которое, будучи приложено по касательной къ окружности описываемой цапфою кривошипа, сообщало бы валу то же движеніе, которое ему сообщается давленіемъ пара на поршень.— Чтобы найти такую силу графически, перенесемъ мысленно давленіе P производимое паромъ на поршень въ точку A (фиг. 36) сочлененія стержня съ шатуномъ, и отложимъ AB изображающее величину и направленіе усилія P; если это усиліе разложить на два, $P_1 = AC$, идущее по направленію шатуна и AD направленное перпендикулярно къ стержню, то это послѣднее усиліе поглотится

направляющею, на которую опирается головка стержня, усиліе же $P_1 = AC$ идущее вдоль шатуна передается по пету на центру кривошипа. Усиліе AD, какъ уничтожаемое сопротивленіемъ направляющей, никакого вліянія на движеніе вала и сидящаго на немъ маховика не произведетъ, а слѣдовательно усиліе P замѣнится равнодѣйствующимъ ему усиліемъ P_1 идущимъ вдоль шатуна; перенесемъ это усиліе въ точку E сочлененія шатуна съ кривошипомъ и разложимъ его на два $P' = EG$ идущее по направленію перпендикулярному къ кривошипу и EH идущее по направленію кривошипа. Это послѣднее усиліе опять не произведетъ никакого вліянія на движеніе вала, такъ какъ оно идетъ черезъ неподвижную ось O и слѣдовательно поглощается сопротивленіемъ частей эту ось поддерживающихъ, а слѣдовательно въ нашей системѣ $P' = EG$ изобразитъ собою усиліе, которое относительно вліянія на движеніе вала и маховика будетъ производить тоже дѣйствіе, какъ и усиліе $P_1 = AC$, а слѣдовательно также то же самое дѣйствіе, какъ усиліе $P = AB$.

74. Извѣстно, что условіе равнодѣйствія двухъ усилій выражается вообще равенствомъ возможныхъ элементарныхъ

работы этихъ усилій. Не трудно видѣть, что это условіе относительно усилій P и P' исполнено въ точности; ибо выбрано единственное возможное для точки A движеніе идетъ по направленію усилія P, а какъ сила AD къ нему перпендикулярна, то ея возможная работа есть нуль; но въ то же время сила P есть равнодѣйствующая силы P, и AD, слѣдовательно ея возможная работа равна суммѣ возможныхъ работъ P, и AD: возможная же работа AD есть нуль; слѣдовательно возможная элементарная работа силы P равна возможной элементарной работѣ силы P,. Перенося силу P, въ C и откладывая ее въ CF по направленію шатуна мы не измѣняемъ ея возможной работы, но CF есть равнодѣйствующая P' и CH; слѣдовательно возможная работа P, по вышеприведенному равна возможной работѣ P, будетъ равна суммѣ возможныхъ работъ P' и CH; но возможная работа силы CH есть нуль, такъ какъ эта сила перпендикулярна къ единственному возможному движенію точки C, совершающему въ вращеніи около центра O. Отсюда выпекаетъ, что возможная работа силы P, а слѣдовательно и равная ей возможная работа давленія пара P

равна возможной работѣ силы P, которая поэтому въ нашей системѣ есть дѣйствительная равнодѣйствующая силы P.

75. Изъ всего предыдущаго можно вывести правило для построенія кривой измѣненія движущей силы; воображаемой направленною перпендикулярно къ кривошипу; для этого слѣдуетъ провести (фиг. 37) прямую XO по направленію линіи мертвыхъ точекъ и начертивъ окружность a, b, c, d, e, ... p, q, r, o описываемую кривошипомъ, разбить ее на довольно большое число равныхъ между собою частей, въ точкахъ a, b, c, d, ... p, q, r; изъ точекъ дѣленія радіусами равными длинѣ кривошипа описать дуги и замѣтить ихъ пересѣченіе A, B, C, ... P, Q, R съ линіею мертвыхъ точекъ: эти точки представятъ положеніе головки стержня соотвѣтствующія положеніямъ кривошипа въ a, b, c, ..., отъ точекъ A, B, C, ... по направленію давленія пара на поршень отложить величины AA', BB', CC', ... изображающія въ нѣкоторомъ масштабѣ давленіе производимое на поршень паромъ, когда кривошипъ соотвѣтственно находится въ точкахъ: a, b, c, ...; изъ концовъ A', B', C', ... отложенныхъ

давленій возстановить къ линіи мертвыхъ точекъ перпендикуляры, A'A", B'B", C'C"....; эти перпендикуляры отрѣзуютъ на направленіяхъ шатуна прямыя AA", BB", CC",.... ; эти прямыя отложить по направленіямъ шатуна отъ точекъ a, b, c,.....; такимъ образомъ получатся прямыя aa', bb', cc'.... ; изъ ихъ концовъ a', b', c'.... опустить перпендикуляры: a'a", b'b", c'c",.... , на прямыя соединяющія точки a, b, c,.... съ центромъ O круга описываемаго центромъ кривошипа; длины этихъ перпендикуляровъ a'a", b'b", c'c".... и представятъ въ избранномъ масштабѣ величины силъ, которыя будучи приложены по касательной къ окружности описываемой центромъ кривошипа производятъ въ движеніи вала тѣ же измѣненія, какъ и приложенныя къ поршню давленія пара; ихъ потому и называютъ давленіями пара на поршень приведенными къ окружности кривошипа.

Замѣтимъ, что какови бы ни были дѣйствительныя давленія на поршень въ мертвыхъ точкахъ, они, какъ то видно изъ предъидущаго построенія, будучи приведены къ окружности кривошипа обращаются въ нуль, и слѣдовательно кривая движущей силы въ каждой мертвой точкѣ необходимо пересѣ-

Лит. Ф. Кремеръ С.П.Б.

клетъ ось абсцисъ, по которой откладываются пути проходимые центромъ кривошипа.-

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

76. Приведеніе къ окружности кривошипа давленій пара на поршень въ Паровыя машины. Листъ 10-ый

Глава III

сколько измѣняется, если передача движенія кривошипу происходитъ при посредствѣ коромысла. Здѣсь усиліе, производимое давленіемъ пара на поршень преобразуется въ напряженіе шатуна не при посредствѣ давленія направляющей на головку стержня, а при посредствѣ оси коромысла, представляющей неподвижную часть, на которую подшипники и производятъ давленіе, для сказаннаго преобразованія необходимое; поэтому, чтобы опредѣлить напряженіе шатуна при какомъ нибудь данномъ положеніи а кривошипа (фиг. 138) нужно нанести на чертежѣ направленіе DX оси стержня парового поршня, положеніе оси вала O и коромысла O'; къ этимъ точкамъ, какъ центровъ, радіусами соотвѣтственно равными длинѣ шатуна и разстоянію отъ оси коромысла до оси соединяющей коромысло съ шатуномъ описать дуги и замѣтить ихъ точку пересѣченія A; прямая Aa представитъ направленіе шатуна и прямая O'A, направленіе коромысла въ то время, когда центра кривошипа находится въ точкѣ a; усиліе дѣйствующее вдоль DX должно преобразоваться въ усиліе дѣйствующее вдоль Aa при помощи давленія на ось O';

слѣдовательно всѣ эти три усилія должны вертѣться въ одной точкѣ; а потому если продолжить BC и Aa до точки ихъ встрѣчи въ D, то прямая DO' представитъ направленіе давленія производимаго на ось коромысла неподвижными частями, въ которыхъ она укрѣплена; поэтому если отложивъ отъ D до E величину давленія пара на поршень проведемъ прямую EF параллельно Aa до встрѣчи съ DO', то эта прямая изобразитъ напряженіе шатуна, а прямая DF давленіе на ось коромысла. Такимъ образомъ опредѣлится давленіе идущее вдоль шатуна для каждаго положенія кривошипа, а за тѣмъ давленіе, идущее по касательной къ окружности описываемой кривошипомъ опредѣлится изъ напряженія шатуна тѣмъ же способомъ, какъ и прежде.

Такъ какъ направленіе шатуна весьма мало разнится отъ направленія стержня пароваго поршня, то точка пересѣченія этихъ двухъ направленій весьма легко можетъ упасть внѣ чертежа; въ такомъ случаѣ всего удобнѣе будетъ провести черезъ точку B пересѣченія коромысла съ направленіемъ пароваго стержня прямую пересѣкающую направленіе шатуна въ произвольной

точки C, черезъ эту точку провести прямую CH параллельную и равную давленію пара на поршень и черезъ ея конецъ H, прямую HK параллельную направленію коромысла до пересѣченія въ K съ прямою CB, и наконецъ черезъ эту послѣднюю точку пересѣченія провести прямую KL параллельную направленію шатуна. Эта прямая и представитъ искомое напряженіе шатуна. Дѣйствительно если черезъ L проведемъ LM параллельно BC и затѣмъ изъ O' опустимъ перпендикуляры: O'I на направленіе давленія пара на поршень, O'R на направленіе прямой BC, а O'N на направленіе шатуна, то какъ извѣстно будетъ

$$\left.\begin{aligned} DE \times O'I &= DG \times O'N = EF \times O'N \\ KC \times O'R &= CM \times O'N = KL \times O'N \end{aligned}\right\} A$$

Если все продолженіе CB отложимъ BJ равное KC и затѣмъ по линіи DI отложимъ BH равное DE и равное CH, то очевидно прямая JH будетъ параллельно KH и слѣдовательно параллельно коромыслу O'B; поэтому треугольники BJO' и BHO', какъ имѣющіе общее основаніе O'B и вершины

на линіи параллельной основанію будутъ имѣть равныя между собою площади, площадь же перваго изъ нихъ будетъ очевидно

$$\frac{1}{2} BT \times O'R = \frac{1}{2} KC \times O'R$$

а площадь втораго

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

отсюда видно, что первыя части равенствъ A тождественны, а слѣдовательно будетъ,

$$EF \times O'N = KL \times O'N$$

$$\text{или} \quad KL = EF$$

что мы и хотѣли доказать.

Впрочемъ этотъ же самый результатъ можно получить выводя изъ чисто-механическихъ соображеній слѣдующимъ образомъ: Если мы приложимъ к коромыслу въ точкахъ B и O' по двѣ равныя, противуположныя и направленныя вдоль коромысла усилія, то они имѣли не измѣнятъ дѣйствія остальныхъ силъ, такъ какъ другъ другъ взаимно уничтожаютъ; но какъ

сила приложенная въ O' дѣйствуетъ прямо на неподвижную точку, то она уничтожается ея сопротивленіемъ, а сила приложенная въ B даетъ вмѣстѣ съ давленіемъ пара накло-нную равнодѣйствующую, которая вслѣдствіе произвольности приложенной вдоль кривыхъ силы можетъ пересѣть прямую Aa во всякой наперёдъ заданной точкѣ C. величина этой равнодѣйствующей опредѣлится тѣмъ, что ея вертикальная слагающая должна равняться давленію пара на поршень, а другая слагающая — быть параллельна коромыслу: такъ и опредѣлено въ объясненномъ построеніи усиліе CK; разлагая же его на усиліе идущее по направленію Aa, и другое проходящее черезъ неподвижную точку O', получимъ, что первая слагающая будетъ напряженіе шатуна, производимое давленіемъ пара на поршень, а вторая вмѣстѣ съ усиліемъ приложеннымъ въ O' и идущимъ вдоль коромысла даетъ равнодѣйствующую, изображающую давленіе производимое подшипниками на ось коромысла.

Изложенныя указанія содержатъ въ себѣ всѣ начала необходимыя для разрѣшенія вопроса о построеніи кри-

выхъ кругъ для опредѣленія размѣровъ маховика въ каждомъ частномъ случаѣ. Такъ напримѣръ, если бы на валъ маховика дѣйствовали два кривошипа расположенные подъ прямымъ угломъ, и принимающіе усилія каждый отъ отдѣльнаго пароваго поршня, ходящаго въ отдѣльномъ паровомъ цилиндрѣ, какъ это обыкновенно бываетъ въ такъ называемыхъ сопряженныхъ машинахъ, то слѣдовало бы построить кривыя давленій пара приведенныхъ къ окружности кривошипа для каждаго изъ кривошиповъ, и на тѣмъ для окончательнаго построенія кривой опредѣляющей ходъ измѣненій движущей силы построить кривую, которой ординаты были бы равны суммамъ ординатъ обѣихъ кривыхъ изображающихъ приведенныя къ окружности кривошипа давленія, имѣющія мѣсто одновременно для обѣихъ кривошиповъ.-

Чтобы дать понятіе о видѣ кривыхъ линій получаемыхъ при построеніяхъ, изложенныхъ въ предыдущемъ, на фигурахъ. 130 и слѣдующихъ изображены кривыя относящіяся къ различнымъ частнымъ случаямъ въ предположеніи, что сопротивленіе есть

величина постоянная, и слѣдовательно во всѣхъ фигурахъ ходъ ея изображается прямою линіею параллельною оси.-

77. Фиг. №39 относится къ тому случаю, когда машина имѣетъ одинъ цилиндръ, въ которомъ паръ отъ ствуетъ безъ расширенія, и притомъ штунъ машины имѣетъ безконечно большую длину. Въ такихъ машинахъ переходъ отъ внутренней мертвой точки къ наружной совершается буквально при тѣхъ же условіяхъ, какъ переходъ отъ наружной мертвой точки къ внутренней, а потому полный періодъ движенія равенъ полуразмаху. На фигурѣ AE представляетъ половинную длину окружности описываемой цапфою кривошипа, A соотвѣтствуетъ одной и C другой мертвой точкѣ; кривая AE-BE'C представляетъ ходъ измѣненій приведенныхъ къ окружности кривошипа давленій пара, а прямая FE E'F' изображаетъ ходъ постоянныхъ сопротивленій. Какъ видно въ мертвыхъ точкахъ приведенное къ окружности кривошипа давленіе пара обращается въ нуль (какъ это прежде было замѣчено уже и выше),

до средины размаха это давленіе возрастаетъ и становится наибольшимъ въ самой серединѣ размаха при положеніи поршня изображаемомъ точкою D и затѣмъ во второй половинѣ размаха убываетъ совершенно симметрически съ тѣмъ, какъ возрастало въ первой половинѣ размаха. Эта кривая движущихъ силъ пересѣкаетъ прямую сопротивленій два раза въ теченіе періода, а именно въ точкахъ E и E' при положеніяхъ поршня въ e и въ e'. Въ первой точкѣ пересѣченія кривая движущихъ силъ съ низу прямой сопротивленій переходитъ по верхъ ея, слѣдовательно разность элементарныхъ работъ движущей силы и сопротивленія изъ отрицательной дѣлается положительною, и потому скорость маховика при положеніи поршня въ точкѣ e есть наименьшая. Она становится наибольшею въ точкѣ e', гдѣ кривая движущей силы съ верху кривой сопротивленій переходитъ внизъ ея, и гдѣ слѣдовательно разность элементарныхъ работъ движущей силы и сопротивленія изъ положительной дѣлается отрицательною.

Полная работа сопротивленія во время періода измѣряется площадью прямоугольника AFF'CA, а полная работа движущей силы площадью кривой AEBE'CA и какъ эти полныя работы, а слѣдовательно и измѣряющія ихъ площади равны между собою, то часть EBE'E площади кривой движущихъ силъ лежащая по верхъ прямой сопротивленій равна суммѣ площадей AFEA и E'F'CE', принадлежащихъ прямоугольнику ограниченному прямою сопротивленій и лежащихъ по верхъ кривой движущихъ силъ. Площадь EBE'E представляетъ избытокъ работы движущей силы надъ сопротивленіемъ при переходѣ отъ наименьшей скорости къ наибольшей, а равная этой площади сумма площадей EFCE' и AFEA представляетъ избытокъ работы сопротивленія надъ работою движущей силы при переходѣ скорости отъ ея наибольшаго значенія къ наименьшему. Если измѣрить площадь EBE'E, то окажется, что она составитъ весьма приблизительно 0,21 всей площади прямоугольника AFF'CA, т. е. избытокъ работы двигателя надъ работою сопротивленія при переходѣ отъ наименьшей скорости къ най-

большей составляетъ 0,21 всей работы во время полнаго періода поглощаемой сопротивленіемъ (или что тоже: работы доставляемой паромъ въ теченіе періода). Потому если назовемъ черезъ N число лошадиныхъ силъ полезной работы машины и черезъ n число ея оборотовъ въ минуту, то число размаховъ въ секунду составитъ $\frac{n}{30}$, а потому полезная работа одного размаха выраженная въ килограммметрахъ составитъ

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

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

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

и потому въ этихъ машинахъ получимъ для опредѣленія размѣровъ маховика

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

или обозначая черезъ V линейную скорость обода маховика, ($V = Rc$) и замѣ-

ная массу обода его вѣсомъ (P) раздѣленнымъ на ускореніе тяжести g = = 9,81 метра получимъ:

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

или производя всѣ дѣйствія

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

78. Фиг. 240 относится къ машинѣ съ однимъ цилиндромъ, въ которой паръ дѣйствуетъ такъ же безъ расширенія, но въ которой шатунъ предполагается не безконечно большимъ, а допущено, что его длина въ пять разъ превосходитъ длину кривошипа. Въ такой машинѣ переходъ отъ внутренней мертвой точки къ наружной происходитъ при другихъ условіяхъ, нежели переходъ отъ наружной мертвой точки къ внутренней; поэтому періодъ движенія будетъ уже не полъ оборота машины, а цѣлый ея оборотъ; откладывая поэтому длину AC A' цѣлой окружности описываемой кривошипомъ, и строя давленія пара приведенныя къ этой окружности послѣдовательно для обоихъ концовъ поршня, получимъ сравнительную диаграмму съ состоящую изъ

двухъ вѣтвей. $AEB'E'C$ и $CE''B'E'''A'$, изъ которыхъ первая соотвѣтствуетъ переходу кривошипа изъ внутренней мертвой точки къ наружной, а вторая переходу отъ наружной мертвой точки къ внутренней. Эти двѣ вѣтви какъ видно симметричны относительно наружной мертвой точки, но каждая изъ нихъ будетъ не симметрическая относительно середины размаха, а именно наивысшія ординаты ближе расположены къ внутренней мертвой точкѣ, чѣмъ къ наружной. Эта кривая пересѣкаетъ въ теченіе періода прямую $FF'F''$ сопротивленій въ четырехъ точкахъ E, E', E'', E''', и слѣдовательно во время періода имѣются двѣ наибольшія и двѣ наименьшія скорости, при чемъ наибольшія имѣютъ мѣсто въ E' и E''', а наименьшія въ E и E''. Чтобы опредѣлить которая изъ наибольшихъ скоростей будетъ самая большая и которая изъ наименьшихъ будетъ самая малая нужно измѣрить площади, заключенныя между кривою движущихъ силъ и кривою сопротивленій, ограниченныя точками пересѣченія. Въ нашемъ случаѣ простой взглядъ на чертежъ убѣждаетъ, что площади $EBEE$ и $E''B'E'''E''$ равны между собою, а площадь $E'E''CE'$

больше чѣмъ каждая изъ площадей $EBE'E$ и $E''B'E'''E''$, а также больше чѣмъ сумма площадей $E'''A'F''E'''$ и $AEFA$. Замѣтивъ это найдемъ, что измѣненіе дѣйствующей силы маховика будетъ отъ E до E''

$$+_{\square} EBE'E - _{\square} E'E''CE'$$

что будетъ величиною отрицательною, такъ что наименьшая скорость, имѣющаяся мѣсто въ точкѣ E'' будетъ меньше чѣмъ въ точкѣ E; затѣмъ найдемъ, что измѣненіе дѣйствующей силы маховика отъ E' до E''' будетъ

$$+_{\square} E''B'E'''E'' - _{\square} E'E''CE'$$

что также будетъ величиною отрицательною, а потому наибольшая скорость въ точкѣ E''' будетъ меньше, чѣмъ наибольшая скорость соотвѣтствующая точкѣ E'; а потому наибольшее измѣненіе дѣйствующей силы маховика имѣетъ мѣсто при переходѣ изъ положенія E' въ E'', и это измѣненіе равно площади $E'E''CE'$. Измѣряя ее находимъ, что она весьма приблизительно составляетъ 0,127 всей площади $AFF'F''A'$, т. е. наибольшая разность дѣйствующихъ силъ маховика составляетъ 0,127 всей полезной

работы доставляемой во время періода машиною. Употребляя тѣ же обозначенія что и прежде мы найдемъ, что здѣсь полная работа доставленная во время періода (двойнаго размаха) выраженная черезъ

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

и слѣдовательно разность между самою большою и самою малою живою силою маховика будетъ

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

и уравненіе опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика будетъ

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

Сравнивая этотъ результатъ съ формулою предъидущаго параграфа, относящеюся къ тому случаю, когда шатунъ можно считать безконечно длиннымъ, можно видѣть, что въ теперешнемъ случаѣ для полученія того же регулирующаго дѣйствія и при томъ же радіусѣ маховика масса его должна быть въ 1,21 раза больше чѣмъ въ случаѣ, когда шатунъ можно считать безконечно

длиннымъ. Переходя отъ предыдущаго уравненія къ опредѣленію вѣса маховика точно такъ же какъ въ предыдущемъ параграфѣ, найдемъ

$$P = 5630 \frac{Ni}{n r^2}.$$

79. Фиг. 41 относится къ сопряженной машинѣ безъ расширенія пара имѣющей два цилиндра, поршни которыхъ дѣйствуютъ на отдѣльные кривошипы, посаженные на одномъ и томъ же валѣ подъ прямымъ угломъ одинъ къ другому и притомъ она построена въ предположеніи, что шатуны обоихъ кривошиповъ имѣютъ безконечно большую длину. Въ такой машинѣ очевидно каждая четверть оборота составляетъ полный періодъ, а потому построеніе кривыхъ для цѣлаго оборота становится безполезнымъ. На фигурѣ 41 для большей ясности построены кривыя для половины оборота; для этого построена сначала обозначенная пунктиромъ кривая ABC подобственная съ кривою фиг. 39 выражающею для полъ оборота между двумя мертвыми точками ходъ приведенныхъ къ окружности кривошипа давленій пара на одинъ изъ поршней;

затѣмъ пунктиромъ же начерчены двѣ половины этой же самой кривой такимъ образомъ, что вершины каждой изъ этихъ половинъ стоятъ прямо надъ пересѣченіями съ осью кривой ABC. Очевидно, что ординаты этихъ двухъ половинъ изображаютъ приведенныя къ окружности кривошипа давленія пара на второй поршень, расположенныя такимъ образомъ, что одновременныя давленія пара на каждый изъ поршней выражаются отвѣчающими одной и той же абсциссѣ ординатами: для перваго поршня — кривою ABC, а для второго — кривою B'c'Dc"B". Съ помощью этихъ кривыхъ легко построить кривую измѣненій всей движущей силы передаваемой валу отъ обоихъ поршней, а именно полная движущая сила приведенная къ окружности кривошипа и отвѣчающая данной абсциссѣ будетъ очевидно равна суммѣ приведенныхъ къ той же окружности кривошипа и отвѣчающихъ той же абсциссѣ давленій пара на каждый изъ поршней, такъ что ордината искомой кривой, отвѣчающая абсциссѣ Ah будетъ сумма отвѣчающихъ той же абсциссѣ ординатъ: He — первой кривой и Hj — второй кривой, и слѣдовательно,

Глава II

если отложимъ $ei = Hj$, то Hi будетъ ордината искомой кривой. Такимъ образомъ построена кривая Bb-$Bb'B''$, измѣрена ея площадь и построенъ равновѣликій съ нею прямоугольникъ $Aqq'CA$, ордината котораго и изображаетъ величину постояннаго сопротивленія, которое можетъ преодолѣвать машина съ двумя цилиндрами. Прямая сопротивленій qq' пересѣкаетъ кривую движущихъ силъ четыре раза, въ точкахъ q^{III}, q^{II}, q^{IV} и q^{V}; разсмотрѣніе фигуры показываетъ, что площади $q^{II}bq^{III}q^{II}$ и $q^{IV}b'q^{V}q^{IV}$ равны между собою, а также площадь $q^{III}Bq^{IV}q^{III}$ равна суммѣ площадей $q^{V}q^{I}B^{II}q^{V}$ и $qB'q^{II}q$; и какъ сумма площадей ограниченныхъ кривою движущей силы и прямою сопротивленій лежащихъ выше этой послѣдней прямой должна быть равна суммѣ такихъ же площадей лежащихъ ниже этой кривой, то получимъ что

$$\square\, q^{II}bq^{III}q^{II} = \square\, q^{III}Bq^{IV}q^{III} = q^{IV}b'q^{V}q^{IV} =$$

$$= \square\, q^{V}B'q^{I}q^{V} = \square\, qBq^{II}q.$$

Изъ этого можно заключить, что наименьшія скорости имѣющіяся мѣсто въ точкахъ g^{II} и g^{IV} равны между собою, и точно такъ же равны между собою наибольшія скорости имѣющія мѣсто въ точкахъ g^{III} и g^{V}. Поэтому $g^{II}b\,g^{III}g^{II}$ представляетъ свою площадь разность между наибольшею и наименьшею живою силою машины. Измѣреніе этой площади показываетъ, что она составляетъ приблизительно 0,022 всей площади прямоугольника $Ag'g'AC$, и слѣдовательно поступая какъ прежде найдемъ, что уравненіе опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ этомъ частномъ случаѣ будетъ

$$\frac{1}{i}\,i\,MR^2c^2 = 0{,}022 \times 75 \times 30 \times \frac{N}{n}$$

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

Вѣсъ маховика опредѣляется на

основаніи послѣдней формулы равенствомъ

$$P = 487 \frac{Ni}{n r^2}.$$

80. Фиг. 42 относится къ такой осе машинѣ, какъ предъидущая, но въ которой отношеніе длины шатуновъ къ длинѣ кривошиповъ предположено не безконечно большое, а равное 5. При этомъ условіи періодъ движенія будетъ не полъ оборота, а цѣлый оборотъ, и потому чтобы построить кривую приведенной къ окружности кривошипа движущей силы, построена сначала кривая $A'B'C'B''A$, изображающая ходъ измѣненій движущей силы доставляемой однимъ цилиндромъ, и тождественная съ кривою фиг. 40, а затѣмъ построена та же кривая передвинутая влѣво по оси абсциссъ на длину равную четверти окружности описываемой кривошипомъ; полученная такимъ образомъ кривая $B^{IV} D B^{I} D^{I} B^{II}$ представляетъ очевидно измѣненія движущей силы доставляемой вторымъ цилиндромъ, и наконецъ кривая — $B^{IV} g g' B^{I} B^{II} g^{II} g^{III} B^{III} g^{IV} g^{V} B^{IV}$, ордината которой отвѣчающая данной

абсциссъ равна суммѣ отвѣчающихъ той же абсциссѣ ординатъ кривыхъ $A'B'CB^{III}A$ и $B^{II}DB^{II}D'B^{IV}$, и представляетъ величины движущей силы и ходъ ея измѣненій въ теченіе цѣлаго оборота вала; прямая $fgg^{I}g^{II}g^{III}g^{IV}g^{V}f'$ проведена такимъ образомъ, что площадь прямоугольника $A'ff'AA'$ равна площади кривой изображающей ходъ измѣненій всей движущей силы. Эта прямая пересѣкается съ кривою въ шести точкахъ, $g, g^{I}, g^{II}, g^{III}, g^{IV}, g^{V}$, при чемъ въ g, g^{II}, g^{IV} получаются наименьшія, а въ g^{I}, g^{III}, g^{V} наибольшія скорости. Разсматривая фигуру и способъ ея построенія легко убѣдиться, что площади $gbg'g$ и $g^{II}b^{I}g^{III}g^{II}$ равны между собою, и что также площадь $g^{III}B^{III}g^{IV}g^{III}$ равна суммѣ площадей $g^{V}B^{IV}f^{II}g^{V}$ и $fgB^{III}f$, и что площадь $gbg'g$ больше чѣмъ $g^{III}Bg^{IV}g^{III}$. Изъ этого, принимая въ соображеніе, что сумма всѣхъ площадей лежащихъ выше прямой ff' и ограниченныхъ этою прямою и кривою движущихъ силъ должна быть равна суммѣ всѣхъ площадей, лежащихъ ниже прямой ff' и ограниченныхъ тѣми же линіями, можно заключить, что площадь $g'B'B''g''g'$ больше, чѣмъ пло-

щадь $g^{II} b^{II} g^{V} g^{IV}$.

Принимая все это въ соображеніе легко разсужденіями, подобными изложенными выше, придти къ заключенію, что самая большая скорость маховика имѣется въ точкѣ g', а самая малая въ точкѣ g'', а потому разница между наибольшею и наименьшею силою маховика будетъ представляться площадью $g'B'c\,B''g''g'$; измѣряя ее находимъ, что она составляетъ 0,035 всей полезной работы доставленной въ теченіе полнаго оборота, или 0,07 работы доставленной въ теченіе полуоборота, а потому равенство опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ данномъ случаѣ будетъ:

$$\frac{1}{i} M R^2 e^2 = 0,07 \times 75 \times 30 \times \frac{N}{n}.$$

Сравнивая этотъ результатъ съ полученнымъ въ параграфѣ 78 относительно машины дѣйствующей безъ расширенія съ однимъ цилиндромъ и съ шатуномъ въ пять разъ большимъ кривошипа, видимъ, что при той же степени правильности вращенія и при всѣхъ прочихъ обстоя-

тельствахъ одинаковыхъ, для машины съ двумя цилиндрами нуженъ маховикъ въ 3,63 раза болѣе легкій, чѣмъ для машины съ однимъ цилиндромъ.— Вѣсъ маховика въ разсматриваемомъ случаѣ будетъ:

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

81. Фиг. 243 относится къ сопряженной машинѣ съ тремя цилиндрами, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ безъ расширенія, въ которой кривошипы поставлены подъ углами въ 120° другъ къ другу и въ которой шатуны въ пять разъ длиннѣе кривошиповъ; не входя въ подробности построенія этой фигуры совершенно ясныя на чертежѣ послѣ всего того, что было сказано, замѣтимъ, что маховикъ имѣетъ шесть наибольшихъ и шесть наименьшихъ скоростей; сверхъ того шесть площадокъ заключенныхъ между прямою сопротивленія и кривою движущей силы и лежащихъ выше прямой сопротивленія всѣ равны между собою, а изъ шести такихъ же площадокъ лежащихъ ниже прямой сопротивленія три равны между собою,

точно также и три другія равны между собою, но половины значительно меньше первыхъ. Изъ этого легко усмотрѣть, что самыя малыя равныя между собою скорости маховика будутъ въ q, q^{II} и q^{IV}, а самыя большія также между собою равныя въ q^{I}, q^{III}, q^{V}, и что разность между наибольшею и наименьшею живою силою маховика выражается площадью $q^{I} q^{II} q^{I}$, измѣряя которую находимъ, что она составляетъ 0,0108 площади выражающей полную полезную работу во время оборота, или 0,0216 полезной работы во время полуоборота. На этомъ основаніи будетъ для даннаго случая

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

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

Чтобы опредѣлить вѣсъ маховика изъ предыдущей формулы найдемъ что онъ будетъ

$$P = 478 \frac{Ni}{n T^2}$$

82. Фиг. 44 относится къ маши-

ны простаго дѣйствія, безъ расширенія съ шатуномъ имѣющимъ длину въ пять разъ превосходящую длину кривошипа. Такъ какъ здѣсь дѣйствіе пара продолжается въ теченіе полъ оборота при тѣхъ же условіяхъ, которыя были разобраны въ §78 и изображены на фиг. 39, то относящаяся къ этому рабочему полуобороту вала кривая ABC будетъ тождественна съ одною изъ вѣтвей кривой, изображенной на фиг. 40; а такъ какъ во время второго полуоборота давленія пара на поршень вовсе нѣтъ, то величина его приведенная къ окружности кривошипа будетъ нуль, и слѣдовательно относящаяся ко второму полуобороту кривая движущей силы совпадетъ съ осью, и изобразится частью ея CA'. Наконецъ такъ какъ сопротивленіе приведенное къ окружности кривошипа предполагается дѣйствующимъ съ равнымъ напряженіемъ въ теченіе всего оборота вала, то его кривая, подобно какъ и въ предыдущихъ случаяхъ, обратится въ прямую параллельную оси: эту прямую FF'F'' мы получимъ, если построимъ ее такъ, чтобы площадь прямоугольника AFF''A'A была равна площади кривой ABCA. Эта прямая и кри-

вая ABC пересѣкутся въ двухъ точкахъ E и E', изъ которыхъ первая будетъ соотвѣтствовать наименьшей, а вторая наибольшей скорости, и площади EBE'E и E'E''A'CE' будутъ между собою равны, такъ что каждая изъ нихъ представитъ собою разность между наибольшею и наименьшею живою силою маховика. Измѣряя одну изъ этихъ площадей находимъ, что она въ 1,105 раза превосходитъ полезную работу, доставленную въ теченіе полуразмаха, и слѣдовательно уравненіе опредѣляющее регулирующее дѣйствіе маховика въ этомъ случаѣ будетъ:

$$\frac{1}{i} M R^2 c^2 = 1,105 \times 75 \times 30 \frac{N}{n}.$$

Сравнивая это выраженіе съ результатомъ полученнымъ въ § 78, мы видимъ, что машина безъ расширенія простаго дѣйствія при одинаковомъ регулированіи съ такою же машиною двойнаго дѣйствія и при прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ требуетъ маховика въ 4,35 раза болѣе тяжелаго.:-

Вѣсъ маховика опредѣляется здѣсь

формулою

$$P = 24390 \frac{Ni}{n V^2}$$

83. Въ машинахъ съ расширеніемъ паръ въ началѣ каждаго размаха до отсѣчки дѣйствуетъ безъ расширенія; по этому кривая изображающая приведенныя къ окружности кривошипа давленія въ той части ея, которая соотвѣтствуетъ пути пройденному при полномъ давленіи пара будетъ совпадать съ кривою опредѣленною для машинъ безъ расширенія, но начиная съ положенія кривошипа соотвѣтствующаго моменту отсѣчки кривая уже существеннымъ образомъ измѣняется, при чемъ всѣ ординаты ея становятся меньше, чѣмъ ординаты кривой построенной для машины дѣйствующей при томъ же начальномъ давленіи пара безъ расширенія. Чтобы найти ординаты искомой кривой всего лучше поступить слѣдующимъ образомъ: построить сначала діаграмму изображающую измѣненія давленія пара на поршень, принявъ за ось абсцисъ прямую линію, соотвѣтствующую ~~давленію выше~~ длинѣ хода поршня отъ мертвой точки

~~насыщенного пара~~; эта діаграмма будетъ имѣть своимъ основаніемъ по оси длину размѣла поршня и будетъ состоять въ части до отсѣчки изъ параллельной основанію прямой, изображающей постоянное давленіе впускаемаго пара, а въ части соотвѣтствующей расширенію изъ адіабатической кривой линіи. Затѣмъ нужно построить кривую имѣющую своимъ основаніемъ окружность кривошипа, и изображающую измѣненія, отнесеннаго къ окружности кривошипа дѣйствующаго давленія пара предполагая, что машина дѣйствуетъ безъ расширенія; потомъ надобно раздѣлить часть оси первой кривой соотвѣтствующую расширенію пара на довольно большое число равныхъ между собою частей, и найти соотвѣтствующія точкамъ дѣленія точки оси второй кривой, и нанесть ординаты второй кривой для этихъ точекъ уменьшенныхъ въ отношеніи соотвѣтствующихъ ординатъ первой кривой къ ея ординатѣ, имѣющей мѣсто во отсѣчки. Концы уменьшенныхъ такимъ образомъ ординатъ второй

кривой будутъ лежать на некоторой кривой, которая за тѣмъ легко построится по точкамъ. На этихъ основаніяхъ построены кривыя на фиг. ~~136, 137, 138~~.- 45, 46 и 47.

Фиг. 45 относится къ машинѣ имѣющей одинъ цилиндръ и дѣйствующей съ расширеніемъ пара въ теченіе $\frac{4}{5}$ размаха поршня, въ предположеніи, что шатунъ имѣетъ безконечно большую длину. Въ такой машинѣ періодомъ будетъ полъ-оборота вала.-

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

Фиг. 47 относится къ сопряженной машинѣ съ тремя цилиндрами и тремя кривошипами расположенными другъ къ другу подъ углами въ 120°, съ расширеніемъ въ каждомъ цилиндрѣ происходящимъ на $\frac{4}{5}$ длины размаха поршня и съ шатунами имѣющими длину

въ пять разъ превосходящую длину кривошипа. Въ этой машинѣ періодомъ движенія служитъ также полный оборотъ.

84. Объясненное въ предыдущихъ параграфахъ графическое разрѣшеніе вопроса о маховикахъ достаточно для всѣхъ приложеній къ машинамъ, въ которыхъ паръ дѣйствуетъ не переходя изъ одного цилиндра въ другой; для большаго разъясненія этого предмета въ настоящемъ параграфѣ будетъ изложено аналитическое рѣшеніе того же вопроса для двухъ простѣйшихъ случаевъ, а именно для машинъ безъ расширенія пара съ безконечно-длиннымъ шатуномъ, изъ которыхъ одна имѣетъ одинъ цилиндръ и одинъ кривошипъ, а другая имѣетъ два цилиндра и два кривошипа, поставленные другъ къ другу подъ прямымъ угломъ. Въ первой изъ этихъ машинъ періодомъ движенія служитъ полъ оборота а во второй четверть оборота и слѣдовательно для первой машины работа доставленная паромъ во время одного половины размаха равна работѣ поглощенной сопротивленіями; а для второй работа

доставленная паромъ во время одной четверти размаха равна работѣ сопротивлений; предполагая сопротивленія постоянными и направленными по касательной къ окружности кривошипа найдемъ что работа сопротивленію будетъ для первой машины $Q\pi\rho$, и для періода второй машины будетъ $Q\frac{\pi\rho}{2}$ гдѣ Q – величина постояннаго сопротивленія и ρ длина кривошипа. Работа же доставленная паромъ будетъ для періода обѣихъ машинъ

$$P.2\rho$$

гдѣ P представляетъ собою разность между давленіемъ пара на рабочую и нерабочую сторону поршня. Потому получимъ: для машины съ однимъ цилиндромъ

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

а для машины съ двумя цилиндрами

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

Элементарная работа сопротивленія отвѣчающая безконечно мало-

му углу $d\alpha$ описываемому кривошипомъ будетъ для обѣихъ машинъ

$$Qp \cdot d\alpha$$

и конечная работа въ то время, какъ кривошипъ проходитъ уголъ α, выходя изъ мертвой точки, будетъ

$$Qp\alpha$$

Путь (s) проходимый паровымъ поршнемъ соединеннымъ съ тѣмъ кривошипомъ отъ мертвой точки котораго считается уголъ α, какъ извѣстно опредѣляется равенствомъ

$$s = p(1 - \cos\alpha)$$

и слѣдовательно элементъ этого пути будетъ

$$ds = p \cdot \sin\alpha \cdot d\alpha$$

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

Лит. Ф. Кремеръ СПБ.

будетъ

$$s' = R \cdot \sin\alpha$$

и слѣдовательно элементъ этого пути будетъ

$$ds' = R \cdot \cos\alpha \cdot d\alpha$$

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

$$PR(1-\cos\alpha) - QR\alpha \qquad (3)$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$PR(1-\cos\alpha+\sin\alpha) - QR\alpha \qquad (4)$$

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

$$(PR\sin\alpha - QR)\,d\alpha \qquad (5)$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$\left(PR\{\sin\alpha + \cos\alpha\} - QP\right)d\alpha \ldots (6)$$

Полагая эти разности равными нулю и находя лежащіе внутри періода каждой машины корни полученныхъ уравненій, мы найдемъ углы α, отвѣчающіе наибольшимъ и наименьшимъ скоростямъ маховика. Уравненія эти съ помощью равенствъ (1) и (2) приводятся къ слѣдующимъ: для машины съ однимъ цилиндромъ

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

для машины съ двумя цилиндрами

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

Рѣшая эти уравненія мы найдемъ, что каждое изъ нихъ имѣетъ внутри своего періода по два корня. — Корни эти будутъ: для машины съ однимъ цилиндромъ

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

для машины съ двумя цилиндрами

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

Вставляя въ выраженія (3) и (4) вмѣсто α сначала α_2 потомъ α_1, вычитая первое изъ втораго, а также замѣняя Q его величинами изъ уравненій (1) и (2) получимъ разность между наибольшею и наименьшею живою силою маховика или величину $\frac{1}{i} M R^2 c^2$ въ такомъ видѣ: для машины съ однимъ цилиндромъ

$$\frac{1}{i} M R^2 c^2 =$$

$$= \left\{ \cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 - \frac{2}{\pi}(\alpha_2 - \alpha_1) \right\} \frac{Q.\pi\rho}{2}$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$\frac{1}{i} M R^2 c^2 = \left\{ \cos\alpha_1 - \cos\alpha_2 - \sin\alpha_1 + \sin\alpha_2 - \right.$$

$$\left. - \frac{4}{\pi}(\alpha_2 - \alpha_1) \right\} \frac{Q.\pi\rho}{4}$$

Но $Q.\pi\rho$ есть полезная работа доставленная машиною въ теченіи полъ-оборота, выраженная въ килограммметрахъ; слѣдовательно получимъ

$$\frac{Q\,n.2\pi\rho}{60\times 75}=N$$

а потому

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

и мы получимъ для машины съ одними цилиндромъ

$$\frac{1}{i}MR^2c^2=$$

$$=\frac{30\times 75}{2}\left\{\cos\alpha_1-\cos\alpha_2-\frac{2}{\pi}(\alpha_2-\alpha_1)\right\}\frac{N}{n};$$

для машины съ двумя цилиндрами

$$\frac{1}{i}MR^2c^2=\frac{30\times 75}{4}\left\{\cos\alpha_1-\cos\alpha_2-\right.$$

$$\left.-\sin\alpha_1+\sin\alpha_2-\frac{4}{\pi}(\alpha_2-\alpha_1)\right\}\frac{N}{n}.$$

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

№ 27. Величина i представляющая собою отношеніе средней угловой ско-

рости маховика къ разности между наибольшею и наименьшею скоростью, какъ видно изъ предыдущаго, существеннымъ образомъ входитъ въ выраженіе вѣса маховика: чѣмъ больше i, т. е. чѣмъ болѣе равномѣрный ходъ требуется отъ машины, тѣмъ тяжелѣе долженъ быть маховикъ при всѣхъ прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ. Рётенбахеръ въ своихъ Resultate zum Maschinenbau совѣтуетъ принимать для i слѣдующія числа

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

$i = 40 - 60$ въ случаѣ если хорошая работа исполнительныхъ механизмовъ возможна только подъ условіемъ весьма высокой степени равномѣрности;

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

Машины устроенныя Ватомъ въ большей части случаевъ имѣютъ маховики удовлетворяющіе тому условію, что для нихъ величина i заключается между 30 и 35. Вмѣ-

выхъ машинахъ замѣтна сильная наклонность къ увеличенію степени равномѣрности хода, такъ что для производствъ требующихъ особенной равномѣрности, весьма нерѣдко принимаютъ $i = 80$; равномѣрность называютъ средней при $i = 60$ и низкою при $i = 40$. Затѣмъ только для машинъ допускающихъ безъ вреда для производства значительнаго измѣненія угловой скорости (насосы, воздуходувныя машины) устраиваютъ маховики для которыхъ величина i бываетъ около 30.

§ 28. Линейная скорость V маховика по окружности имѣетъ большое вліяніе на его вѣсъ, который согласно вышевыведенному обратно пропорціоналенъ квадрату V; поэтому выгодно увеличивать эту скорость, но съ другой стороны значительная линейная скорость маховика на окружности имѣетъ послѣдствіемъ увеличеніе центробѣжной силы, которая можетъ, если перейдетъ за извѣстный предѣлъ, причинить разрывъ маховика. Дѣйствительно если вообразимъ себѣ элементъ обода AB (фиг. 48), отвѣчающій бѣсконечно малому углу

α при центрѣ и назовемъ поперечное сѣченіе обода черезъ Ω, а плотность черезъ ρ то вѣсъ этого элемента будетъ

$$\rho . \Omega . R \alpha$$

и центробѣжная сила элемента выразится черезъ

$$\frac{\rho \Omega R \alpha v^2}{g R}$$

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

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

а вставляя вмѣсто CD найденную его величину и замѣняя синусъ безконечно малаго угла $\frac{\alpha}{2}$ черезъ самый уголъ мы получимъ выраженія силъ CE и CF въ такомъ видѣ

$$\frac{\gamma \Omega V^2}{g};$$

эти силы будутъ стремиться разорвать ободъ по плоскости A и по плоскости B, а потому напряженія T на единицу площади, которыя въ этихъ плоскостяхъ развиваются, опредѣляется уравненіемъ

$$\Omega T = \frac{\gamma \Omega V^2}{g}$$

или

$$T = \frac{\gamma V^2}{g}$$

откуда получится:

$$V = \sqrt{\frac{gT}{\gamma}};$$

(сила)

это есть величина скорости, при которой внутри обода развивается сопротивляющееся разрыву напряженіе T; чтобы это напряженіе было вполнѣ безопаснымъ для чугуннаго обода необходимо, чтобы оно не превосходило 200 килограммовъ на квадратный сантиметръ; такъ какъ плотность, т.е. вѣсъ кубиче-

каго сантиметра чугуна составляетъ 0,0073 килограмма и g выраженное въ сантиметрахъ равно 981, то выраженная въ сантиметрахъ все скорость V, при которой развивается напряженіе въ 200 килограммовъ будетъ

$$V = \sqrt{\frac{981 \times 200}{0,0073}} = 5128 \text{ сантим.}$$

или

$$V = 51 \text{ метру.}$$

Такимъ образомъ скорость по окружности въ 51 метръ представляется теоретическимъ предѣломъ, далѣе котораго идти не слѣдуетъ, но какъ при колесахъ составленныхъ изъ отдѣльныхъ частей соединенію весьма трудно придать прочность превосходящую прочность половины прочности цѣльнаго обода, то вслѣдствіе этого предѣльная скорость понижается до 36 метровъ; Мирен не совѣтуетъ дѣлать скорость болѣе 25 до 30 метровъ; въ дѣйствующихъ машинахъ весьма часто встрѣчается скорость въ 10 метровъ; она нерѣдко опускается ниже 7 и рѣдко также превосходитъ 15 метровъ.—

§ 29. Значительная скорость маховика можетъ быть достигнута или чрезъ приданіе ему большаго числа оборотовъ, или чрезъ увеличеніе его діаметра; большое число оборотовъ придается обыкновенно только машинамъ малой силы, такъ какъ при сильныхъ машинахъ короткій цилиндръ представляетъ собою довольно важныя неудобства; потому въ большихъ машинахъ обыкновенно дѣлаютъ маховики значительнаго діаметра, опредѣляя скорость ихъ вращенія изъ другихъ соображеній; при этомъ довольно часто для машины съ однимъ цилиндромъ устанавливаютъ отношеніе между радіусомъ маховика и длиною кривошипа равное 4, 5 или 6; конечно чѣмъ меньше будетъ радіусъ маховика, тѣмъ тяжелѣе долженъ быть самый маховикъ; для машинъ съ двумя цилиндрами, для которыхъ маховое колесо выходитъ вообще легче, чѣмъ для машинъ съ однимъ цилиндромъ, весьма часто радіусъ маховика дѣлаютъ въ $3\frac{1}{2}$ раза болѣе длины кривошипа. Опредѣленныхъ правилъ впрочемъ для нахожденія радіуса маховика нѣтъ, и быть не можетъ. Можно только

сказать, что если помѣщеніе позволяетъ увеличивать діаметръ маховика, лучше прибѣгать къ этому средству, чѣмъ къ увеличенію вѣса обода, такъ какъ послѣднее обходится дорогѣе и кромѣ того значительно увеличиваетъ треніе на шейкахъ и работу имъ поглощаемую. Впрочемъ нельзя утверждать, что вообще увеличеніе діаметра колесъ всегда способствуетъ уменьшенію ихъ вѣса, такъ какъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ діаметра маховика, увеличивается также чего и вѣсъ спицъ соединяющихъ его со ступицею, — спицы же весьма мало способствуютъ увеличенію регулирующаго дѣйствія маховаго колеса.

№ 30. Спицы составляютъ одну изъ существенныхъ частей маховаго колеса, которая подвергается очень значительнымъ напряженіямъ, вслѣдствіе того, что дѣйствіемъ силы инерціи возбуждаемой въ ободѣ при измѣненіяхъ скорости спицы изгибаются, и при томъ при ускореніи движенія обода изгибъ происходитъ въ одну сторону, а при замедленіи въ другую сторону. Чтобы опредѣлить величину момента изгибающаго всѣ спицы замѣтимъ, что онъ будетъ

равенъ силѣ инерціи обода умноженной на радіусъ маховика; сила же инерціи обода равна его массѣ помноженной на ускореніе, по этому если означимъ какъ прежде черезъ M массу обода, черезъ W его угловую, а слѣдовательно черезъ RW его линейную скорость при извѣстномъ положеніи вала, то получимъ, что изгибающимъ моментъ для всѣхъ спицъ вмѣстѣ будетъ

$$MR^2\frac{dW}{dt}$$

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

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

(*) Это равенство впрочемъ есть при-

Отсюда очевидно что изгибающій моментъ не зависитъ отъ радіуса маховика и измѣняясь вмѣстѣ съ измѣненіями разности $P-Q$ обращается въ нуль для тѣхъ положеній вала, для которыхъ $P-Q=0$, т. е. для которыхъ скорость дѣлается наибольшею или наименьшею; чтобы найти наибольшую величину этого момента надобно опредѣлить наибольшую разность

лее слѣдствіе закона живыхъ силъ, дѣйствительно называя черезъ α уголъ описанный отъ мертвой точки кривошипа до его положенія, при которомъ скорость есть W, мы получимъ очевидно что

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

откуда взявъ производную по α получимъ

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

а какъ

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

то и будетъ

между движущею силою и сопротивленіемъ, приведенными къ окружности кривошипа. Съ помощью діаграммъ построеніе которыхъ въ подробности объяснено въ предъидущихъ параграфахъ вопросъ этотъ рѣшается безъ малѣйшаго затрудненія простымъ измѣреніемъ ординатъ кривыхъ, представляющихъ законъ измѣненій движущей силы и сопротивленія. не идёо до конца

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

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

другаго не могутъ сдѣлать, какъ только замедлить измѣненіе скорости отъ такихъ причинъ происходящее, и хотя конечно приносятъ тѣмъ существенную пользу, не возволяя машинѣ весьма быстро ускорить свое движеніе до предѣла, при которомъ скорость становится уже опасною, но при сказанныхъ условіяхъ скорость машины отъ одного періода до другаго измѣняется; возрастая когда работа сопротивленія во время періода менѣе, чѣмъ работа двигателя, и убывая въ противномъ случаѣ.

Такія не періодическія измѣненія скорости постоянно встрѣчаются при дѣйствіи паровыхъ машинъ. Самый рѣзкій примѣръ ихъ представляется въ винтовыхъ машинахъ морскихъ пароходовъ во время сильнаго волненія; при этомъ иногда корма вмѣстѣ съ винтомъ зарывается глубоко въ волну, давленіе воды на винтъ увеличивается весьма значительно и машина начинаетъ двигаться крайне медленно; иногда же напротивъ корма совсѣмъ выходитъ изъ воды, винтъ не встрѣчая сопротивленія на-

чинаетъ вороча́ться очень скоро при чемъ конечно соотвѣтственно возрастаютъ скорости всѣхъ частей машины и это измѣненіе скоростей при неизмѣнномъ маховомъ колесѣ совершается столь быстро, что скорость могла бы легко сдѣлаться опасною, если бы машинистъ не держалъ постоянно въ рукахъ колеса дѣйствующаго на клапанъ въ паропроводной трубѣ, которымъ онъ то почти совершенно закрываетъ, то вполнѣ открываетъ сообщеніе котла съ цилиндромъ.-

Въ фабричныхъ машинахъ полезное сопротивленіе движущею машиною измѣняется всякій разъ, какъ только сцѣпляется съ приводомъ или расцѣпляется съ нимъ одна или нѣсколько исполнительныхъ машинъ; если бы не было средства немедленно по наступленіи такихъ обстоятельствъ измѣнять дѣйствіе пара соотвѣтственно происшедшему измѣненію въ дѣйствіи сопротивленія, то видно, что машина при увеличеніи сопротивленія стала бы постоянно замедлять свой ходъ и наконецъ остановилась

бы, а при уменьшеніи сопротивленія отмѣна бы ускорять свое движеніе и легко могла бы достигнуть опаленой скорости.

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

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

Основная мысль ихъ устройства состоитъ въ томъ, чтобы автоматическимъ измѣненіемъ способа дѣйствія пара сообразно съ измѣняющимися условіями движенія машины возстановлять нарушаемое для

Паровыя машины. Листъ 13ый

Глава III

цѣлаго періода равновѣсіе между движущею силою и сопротивленіемъ и черезъ то сближать предѣлы, внутри которыхъ измѣняется скорость машины.

Вмѣстѣ съ этимъ регуляторы играютъ управлять такимъ образомъ, чтобы посредствомъ ихъ совершенно прекращалось дѣйствіе пара, когда скорость начинаетъ приближаться къ извѣстной величинѣ признаваемой не вполнѣ безопасной для машины.

№ 32. Выше было объяснено что регуляторы измѣняютъ способъ дѣйствія пара соотвѣтственно съ измѣняющимися остальными условіями или черезъ то, что посредствомъ особаго клапана въ паропроводной трубѣ измѣняется ея поперечное сѣченіе и слѣдовательно давленіе проходящаго черезъ нее пара въ цилиндръ, или черезъ то что посредствомъ находящихся въ связи съ регуляторомъ распредѣлительныхъ клапановъ и золотниковъ увеличивается или уменьшается періодъ впуска пара въ цилиндръ. На первый разъ представляется, что было бы всего лучше устроить регуляторъ такъ,

чтобы приборъ, измѣняющій способъ дѣйствія пара, приводилъ въ движеніе прямо и непосредственно вліяніе тѣхъ измѣненій, которыя происходятъ въ остальныхъ условіяхъ дѣйствія машины. Такъ напримѣръ казалось бы на первый разъ, что регулированіе фабричныхъ машинъ можно устроить такъ, чтобы прямо вліяніе перемѣщенія рычага съ рабочаго шкива на холостой или обратно при каждой исполнительной машинѣ, измѣнялось положеніе задвижнаго клапана въ паропроводной трубѣ или переставляя распредѣлительный приборъ и такимъ образомъ дѣйствіе пара измѣнялось бы прямо соотвѣтственно измѣнившейся величинѣ сопротивленія. – Не трудно однако видѣть, что въ случаѣ большаго количества исполнительныхъ машинъ подобное устройство было бы крайне сложно и могло бы поэтому годиться только подъ условіемъ, что число машинъ очень незначительно. –

Сверхъ того при подобномъ устройствѣ регулированія, если величина сопротивленій не зависитъ отъ скорости машины, то невозможно достигнуть какой-либо опреде-

ленной нормальной для нея скорости, такъ какъ вмѣстѣ съ измѣненіемъ скорости машины будетъ пропорціонально измѣняться и скорость исполнительныхъ механизмовъ и если потребная для ихъ движенія работа, соотвѣтствующая одному обороту главнаго вала машины, будетъ равна движущей работѣ, доставляемой паромъ въ теченіе оборота, то очевидно машина можетъ ходить съ весьма разнообразными скоростями безъ нарушенія равновѣсія между движущею силою и сопротивленіями въ теченіи цѣлаго періода.

Поэтому другое условіе годности регулирующаго прибора такого рода состоитъ въ томъ, чтобы машины не требовали постоянной нормальной скорости, и чтобы главное назначеніе регулятора состояло въ устраненіи опасныхъ скоростей машины.

Оба эти условія встрѣчаются въ пароходныхъ машинахъ, гдѣ исполнительный механизмъ имѣетъ только одинъ — и гдѣ нормальная скорость машины не играетъ никакой особенной роли

-такъ что машина можетъ почти совершенно одинаково дѣйствовать, будетъ ли скорость на 20-30 процентовъ больше или меньше нормальной. Поэтому регуляторы основанные на указанномъ принципѣ преимущественно предлагались для пароходныхъ машинъ. Не входя въ подробности ихъ устройства и единственно съ цѣлью дать понятіе о регуляторахъ этого рода, мы упомянемъ о нѣкоторыхъ относящихся сюда устройствахъ.-

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

Такое приспособленіе было сдѣлано, какъ говорятъ съ полнымъ успѣхомъ на одномъ колесномъ пароходѣ, на которомъ совершенно сломалась одна машина и паро-

ходъ передвигался только посредствомъ другой машины и одного ея колеса, которое при качкѣ то совершенно выходило изъ воды, то погружалось въ нее весьма значительно.

Ченсеръ въ 1859 году предложилъ для пароходныхъ машинъ регуляторъ, основанный на томъ же началѣ, а именно, онъ предложилъ вставлять въ стѣнку кормовой части судна открытый цилиндръ съ плотно ходящимъ внутри его поршнемъ, который подвергался бы такимъ образомъ давленію воды болѣе или менѣе сильному смотря по тому какъ глубоко кормовая часть опускается въ воду; съ внутренней стороны судна на поршень предполагалось производить давленіе пружинное, которая сжимаясь болѣе или менѣе смотря по давленію воды на поршень, должна была уравновѣшивать это давленіе: потому поршень, который долженъ былъ быть соединенъ съ задвижнымъ клапаномъ паропроводной трубы, при различныхъ погруженіяхъ кормовой части судна въ воду долженъ былъ занимать различныя положенія и слѣдовательно

переставляя соединенный съ нимъ подвижной клапанъ могъ регулировать ходъ машины.

Къ этому же разряду относится регуляторъ Понселя, основанный на томъ, что соединеніе между движущею машиною и приводомъ производится при посредствѣ стальныхъ пружинъ, которыя измѣняетъ увеличивается вмѣстѣ съ увеличеніемъ преодолѣваемаго приводомъ сопротивленія, вслѣдствіе чего получается при измѣненіи сопротивленія измѣненіе взаимнаго положенія привода и вала машины; этимъ измѣненіемъ и пользуются для того, чтобы переставлять приборъ измѣняющій дѣйствіе пара внутри цилиндра. Регуляторъ Понселя для фабричныхъ машинъ гораздо проще и удобнѣе, чѣмъ соединеніе съ приборомъ измѣняющимъ дѣйствіе пара каждой изъ исполнительныхъ машинъ взятой отдѣльно, но за то вводитъ въ составъ главной передачи движенія приводу пружины, которыя при увеличеніи сопротивленія за извѣстный предѣлъ легко могутъ сломаться и дѣйствіе привода можетъ остановиться, но во

всякомъ случаѣ и этотъ регуляторъ, подобно вышеозначеннымъ не опредѣлитъ для машины никакой нормальной скорости.

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

§ 33. Въ виду этого регуляторы назначенные для паровыхъ машинъ устраиваются обыкновенно такимъ образомъ, что при сдѣланномъ регулирующій приборъ начнетъ измѣнять дѣйствіе пара, скорость машины должна отклониться отъ нормальной и регулирующій приборъ именно только вслѣдствіе происшедшаго измѣненія скорости, и начинаетъ дѣйствовать, усиливая движущую силу пара, когда скорость уменьшается, и ослабляя ее, когда скорость увеличивается. Конечно при такомъ устройствѣ регулятора

нельзя получить вполнѣ равномѣрнаго движенія, такъ какъ самое дѣйствіе регулятора обусловливается происшедшимъ уже измѣненіемъ скорости, но для достиженія практическихъ хорошихъ результатовъ и нѣтъ нужды добиваться до совершенной равномѣрности, а нужно только заботиться, чтобы скорость была всегда довольно близка къ нормальной, отклоняясь отъ нея въ предѣлахъ довольно близкихъ между собою, а потому, и въ виду того, что регуляторы основанные на этомъ началѣ могутъ опредѣлять для машинъ нормальную скорость они и почти исключительно употребляются для паровыхъ машинъ.—

Эти регуляторы могутъ быть раздѣлены на два вида: на регуляторы прямаго и на регуляторы не прямаго дѣйствія, первые непосредственно измѣняютъ положеніе прибора, которымъ регулируется движущая сила пара, во вторыхъ приводу измѣняющему движущую силу пара передается движеніе отъ главнаго вала машины; дѣйствіемъ же регулятора производится только включеніе или

расцѣпленіе этого прибора съ главнымъ валомъ...

Сверхъ того регуляторы различаются на статическіе и астатическіе. Регуляторы статическіе характеризуются тѣмъ, что условіе ихъ равновѣсія представляется въ видѣ извѣстной зависимости между скоростью машины и положеніемъ частей регуляторъ составляющихъ, такъ что каждая скорость обусловливаетъ собою извѣстное соотвѣтствующее ей равновѣсное положеніе самаго регулятора. Напротивъ того для астатическихъ регуляторовъ равновѣсіе обусловливается исключительно величиною скорости, безъ всякой ея зависимости отъ положенія регулятора.

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

зрѣнія положеніяхъ регулятора.

§ 34. При разсмотрѣніи регуляторовъ съ каждой ихъ двухъ указанныхъ точекъ зрѣнія, отдѣльно, если не обращать вниманія на прочія обстоятельства ихъ дѣйствія, замѣчается на сторонѣ регуляторовъ непрямодѣйствующихъ по сравненіи съ регуляторами прямаго дѣйствія, какъ бы извѣстныя преимущества, а именно: а) отъ регулятора при не прямомъ его дѣйствіи требуется только сцѣпленіе или расцѣпленіе регулирующаго прибора съ валомъ машины, а самое движеніе регулирующему прибору передается отъ машины независимо отъ регулятора; регуляторъ же прямаго дѣйствія самъ долженъ сообщить регулирующему прибору все движеніе которое ему нужно передать; по этому сопротивленіе преодолѣваемое регуляторомъ при всѣхъ прочихъ обстоятельствахъ одинаковыхъ можетъ быть сдѣлано менѣе при регуляторахъ не прямаго дѣйствія, чѣмъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія; б) скорость перемѣщенія регулирующаго прибора при регу-

ляторахъ непрямаго дѣйствія опредѣляется скоростью машины и можетъ быть сдѣлана очень большая; напротивъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія скорость перемѣщенія регулирующаго прибора опредѣляется очевидно отклоненіемъ скорости отъ той величины ея, которая соотвѣтствуетъ равновѣсію регулятора въ занимаемомъ имъ положеніи: очевидно что скорость перемѣщенія регулирующаго прибора при прочихъ условіяхъ одинаковыхъ будетъ больше въ первомъ случаѣ, чѣмъ во второмъ и слѣдовательно при регуляторахъ непрямаго дѣйствія можно ожидать болѣе быстраго возвращенія нарушенныхъ условій равновѣсія между силою и сопротивленіемъ машины, чѣмъ при регуляторахъ прямаго дѣйствія.

Точно также на сторонѣ астатическихъ регуляторовъ представляются повидимому извѣстныя преимущества по сравненію съ регуляторами статическими, такъ какъ равновѣсіе астатическихъ регуляторовъ возможно только при одной опредѣленной ско-

рости, которая и будетъ нормальною скоростью машины, слѣдовательно при отклоненіи машины отъ этой скорости, астатическій регуляторъ будетъ измѣнять свое положеніе до тѣхъ поръ, пока нормальная скорость машины не возвратится; въ статическихъ же регуляторахъ равновѣсіе можетъ имѣть мѣсто при различныхъ скоростяхъ движенія машины; такъ что астатическіе регуляторы лучше опредѣляютъ нормальную скорость машины, чѣмъ регуляторы статическіе.—

§ 35. Изъ этихъ замѣчаній было бы однако весьма опрометчиво вывести заключеніе, что соединеніе въ регуляторѣ астазіи съ непрямымъ дѣйствіемъ будетъ самая лучшая для регулятора комбинація; дѣйствительно, во первыхъ, кромѣ разсмотрѣнныхъ свойствъ, регуляторы необходимо изучить съ другихъ точекъ зрѣнія, и только черезъ совокупное разсмотрѣніе всѣхъ полученныхъ результатовъ можно прійти къ правильнымъ заключеніямъ, — и во вторыхъ предъидущее заключеніе осно-

вывается на разсмотрѣніи регуляторовъ отдѣльно со стороны ихъ прямаго или непрямаго дѣйствія и отдѣльно со стороны зависимости или независимости ихъ равновѣснаго положенія отъ равновѣсной скорости. Соединяя пока эти двѣ точки зрѣнія, не трудно убѣдиться, что предыдущее заключеніе будетъ неправильно; на самомъ дѣлѣ, вообразимъ себѣ астатическій регуляторъ соединенный неправильнымъ образомъ съ регулирующимъ приборомъ и допустимъ, что сопротивленіе уменьшилось такъ, что для поддержанія нормальной скорости нужно нѣсколько измѣненное противъ нормальнаго регулирующее положеніе прибора.—

Вслѣдствіе уменьшенія сопротивленія скорость машины увеличится, регуляторъ выйдетъ изъ своего прежняго положенія, произведетъ сцѣпленіе регулирующаго прибора съ машиною и приборъ этотъ начнетъ переставляться; предположимъ, что въ извѣстный моментъ положеніе прибора будетъ соотвѣтствовать уменьшенному сопротивленію, и допустимъ далѣе, что въ

этотъ моментъ скорость будетъ нормальная; если-бы приборъ могъ въ этотъ моментъ расцѣпиться съ валомъ машины, то движеніе сдѣлалось бы равномѣрнымъ и происходило бы съ нормальною скоростью, — но регуляторъ нашъ астатическій: онъ при измѣненныхъ условіяхъ въ новомъ своемъ положеніи — (при которомъ регулирующій приборъ сцѣпленъ съ валомъ машины) остается въ равновѣсіи, слѣдовательно сцѣпленіе не уничтожается, — регулирующій приборъ продолжаетъ переставляться, — дѣйствіе пара ослабляется болѣе нежели нужно, — скорость становится менѣе нормальной, — регуляторъ начинаетъ дѣйствовать въ противоположную сторону, — скорость машины снова увеличивается, но опять не можетъ остаться при нормальной своей величинѣ и эти колебанія становятся нормальнымъ ходомъ машины, что очевидно противорѣчитъ самому назначенію регулятора. Къ статическому регулятору это разсужденіе не примѣняется. На самомъ дѣлѣ, представимъ себѣ регуляторъ стати-

ческій непрямаго дѣйствія; вообразимъ что скорость увеличивается вслѣдствіе уменьшенія сопротивленія, для уравновѣшенія котораго надо переставить регулирующій приборъ въ положеніе отличное отъ его нормальнаго положенія.

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

Такимъ образомъ при статическомъ регуляторѣ непрямаго дѣйствія въ случаѣ измѣнившихся

Лит. Ф. Кранцеръ С.П.Б.

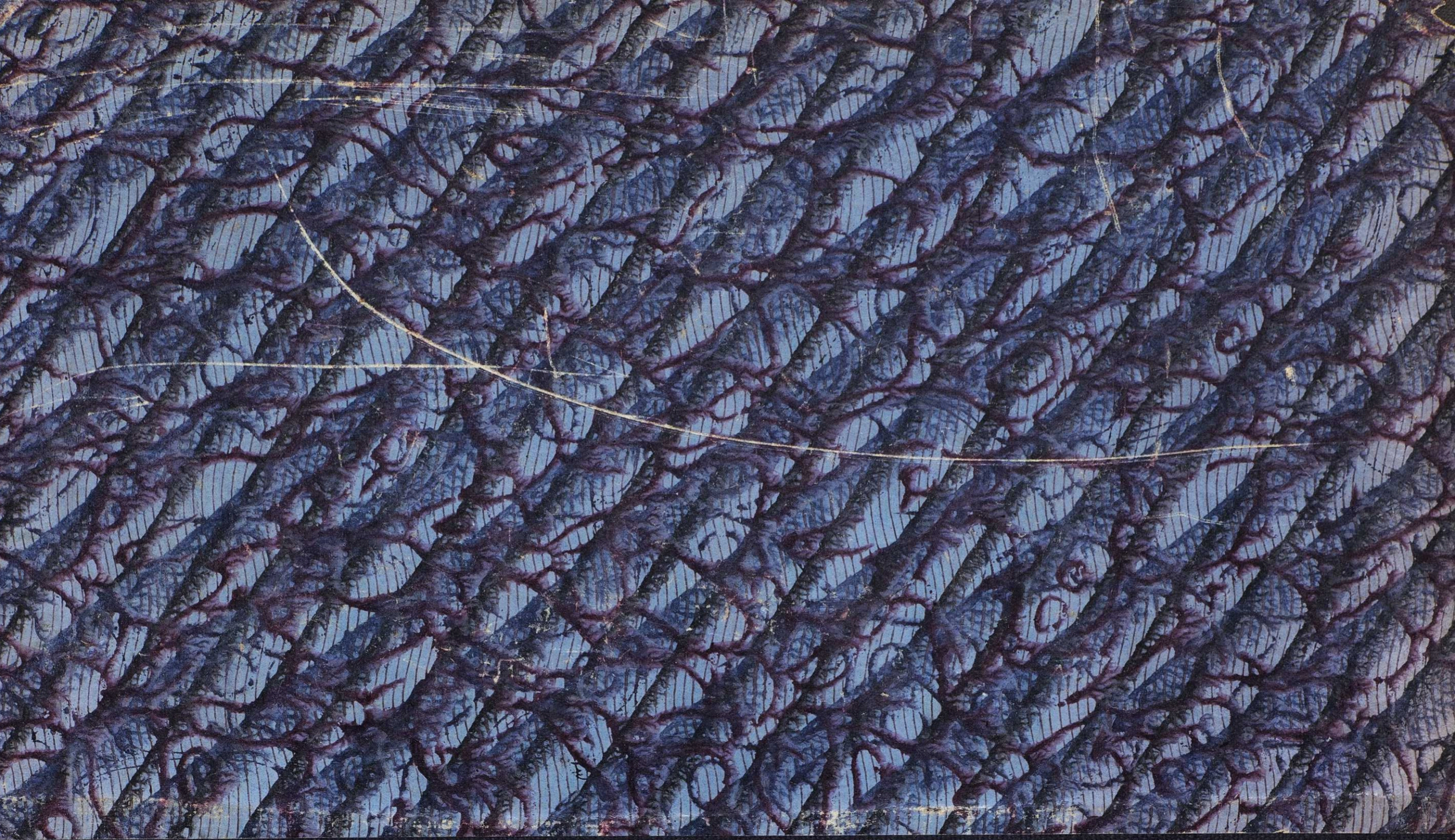
шія сопротивленія возможно установленіе равновѣсія между силою и сопротивленіемъ съ сохраненіемъ нормальной скорости; при астатическомъ же регуляторѣ это невозможно и слѣдовательно астатическій регуляторъ непрямаго дѣйствія хуже неже сели регуляторъ статическій прямаго дѣйствія.

Для же станемъ подробнымъ образомъ разбирать регуляторы прямаго дѣйствія, то безъ затрудненія придемъ къ заключенію, что статическіе регуляторы этого рода хуже неже астатическіе. Дѣйствительно вообразимъ статическій регуляторъ прямаго дѣйствія и допустимъ, что величіе измѣненія сопротивленія для возстановленія равновѣсія между нимъ и движущею силою необходимо, чтобы регулирующій прибаръ перешелъ въ другое положеніе; такъ какъ это возможно только подъ условіемъ, чтобы и регуляторъ перешелъ въ новое положеніе и такъ какъ въ новомъ положеніи регуляторъ можетъ быть въ равновѣсіи только при скорости машины, отличной отъ нормальной, то очевидно,

что при измѣнившемся противъ нормальнаго сопротивленій статическій регуляторъ не иначе можетъ произвести равномѣрное движеніе, какъ при скорости машины отличающейся отъ нормальной. Къ астатическому же регулятору это разсужденіе не примѣняется: такъ какъ и въ новомъ его положеніи равновѣсіе можетъ наступить въ случаѣ, если, находясь въ немъ, астатическій регуляторъ будетъ имѣть нормальную скорость; отсюда очевидно, что регуляторъ этого рода можетъ при прямомъ дѣйствіи поддерживать нормальную скорость даже и въ случаѣ измѣнившагося сопротивленія.—

Предъидущій разборъ могъ бы привести къ заключенію, что статическій регуляторъ преимущественно приспособленъ къ прямому дѣйствію; регуляторъ же астатическій напротивъ преимущественно приспособленъ къ прямому дѣйствію, но такое заключеніе было бы вѣрно лишь въ томъ случаѣ, если бы при изученіи дѣйствія регуляторовъ можно было ограничи-

вавшая разсмотрѣніемъ исключительно равновѣсныхъ положеній регуляторовъ, но ихъ лучшее выстроеніе обусловливается въ весьма значительной степени способомъ перехода ихъ отъ одного равновѣсного положенія къ другому.

Конецъ

МОСКОВСКОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХН. УЧИЛИЩЕ БИБЛИОТЕКА