СОВРЕМЕННЫЕ ПАРОВОЗЫ,

ихъ теорія и устройство.

П. С. Селезневъ.
Инженеръ-Технологъ
Профессоръ С.-Петербургскаго Технологическаго Института
Императора Николая I.

Выпускъ I.

ЗОЛОТНИКИ И КУЛИСЫ

ВЪ ПАРОВОЗАХЪ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.
Изданіе К. Л. Риккера.
Невскій пр., № 14.
1918.

Оглавленіе.

ГЛАВА I.

Золотники.

СТР.

§ 1. Общія свѣдѣнія 1
§ 2. Размѣры оконъ 4
§ 3. Періоды парораспредѣленія 6
§ 4. Вліяніе передачи 7
§ 5. Впускъ пара 16
§ 6. Выпускъ пара 20
§ 7. Построеніе золотника 23
§ 8. Золотниковая діаграмма 26
§ 9. Дополнительныя данныя 26
§ 10. Перемѣщенія простого золотника 29
§ 11. Уравниваніе предвареній впуска 31

ГЛАВА II.

Кулисные приборы, ихъ теорія.

§ 12. Перемѣна хода и отсѣчки 32
§ 13. Кулисы съ двумя эксцентриками 34
§ 14. Теорія кулисъ съ двумя эксцентрами 35
§ 15. Другіе типы кулисъ 43
§ 16. Теорія кулисы Гейзингера 47
§ 17. Размѣры золотника 52

ГЛАВА III.

Построеніе кулисныхъ приборовъ.

§ 18. Общія указанія 56
§ 19. Кулисы съ двумя эксцентрами 58
§ 20. Кулиса съ цапфами позади 61
§ 21. Положенія плечъ захвата 62
§ 22. Положенія цапфъ кулисы 63
§ 23. Наименьшій ходъ золотника 64
§ 24. Перекрыша впуска 67
§ 25. Точка подвѣса кулисы 67
§ 26. Ось перекидного вала 69
§ 27. Линейное предвареніе впуска 70
§ 28. Наибольшій ходъ золотника 73

стр.
§ 29. Поправка прибора 77
§ 30. Вліяніе короткихъ шатуновъ 79
§ 31. Приравниваніе началъ сжатія 81
§ 32. Расположеніе цапфъ сзади кулисы 82
§ 33. Кулиса съ цапфами на дугѣ 82
§ 34. Открытая кулиса 84
§ 35. Примѣръ открытой кулисы 85

ГЛАВА IV.

Построеніе кулисы Гейзингера.

§ 36. Основныя данныя 88
§ 37. Длина маятника 89
§ 38. Водило и палецъ 89
§ 39. Радіусъ и плечо кулисы 92
§ 40. Точка подвѣса кулисы 93
§ 41. Приводный механизмъ 94
§ 42. Упрощенный случай 97
§ 43. Примѣръ 100
§ 44. Движеніе кулисы 101
§ 45. Движеніе маятника 103
§ 46. Подвѣска кулисы 104
§ 47. Обслѣдованіе кулиснаго прибора 105
§ 48. Діаграммы прибора 107
§ 49. Поправка прибора 111
§ 50. Монтировка парораспредѣленія 111

ГЛАВА I.

Золотники.

§ 1. Общія свѣдѣнія.

Парораспредѣленіе въ большинствѣ паровозовъ производится до настоящаго времени простымъ коробчатымъ золотникомъ (ф. 1) и золотникомъ (ф. 2) съ каналомъ Трика; довольно часто примѣняются также уравновѣшенные золотники, въ особенности для цилиндровъ низкаго давленія компаундъ паровозовъ; сравнительно рѣже золотники цилиндровъ высокаго давленія дѣлаются цилиндрическими. Цилиндрическіе золотники особенно распространяются въ примѣненіи къ паровозамъ съ перегрѣвомъ пара.

Уравновѣшиваніе золотниковъ производится преимущественно посредствомъ разнаго типа колецъ, плотно охватывающихъ верхнюю часть золотника и образующихъ вмѣстѣ съ неподвижной, направляющей ихъ движеніе доской, къ которой они прижаты пружинами, замкнутую камеру надъ золотникомъ, свободную отъ пара.

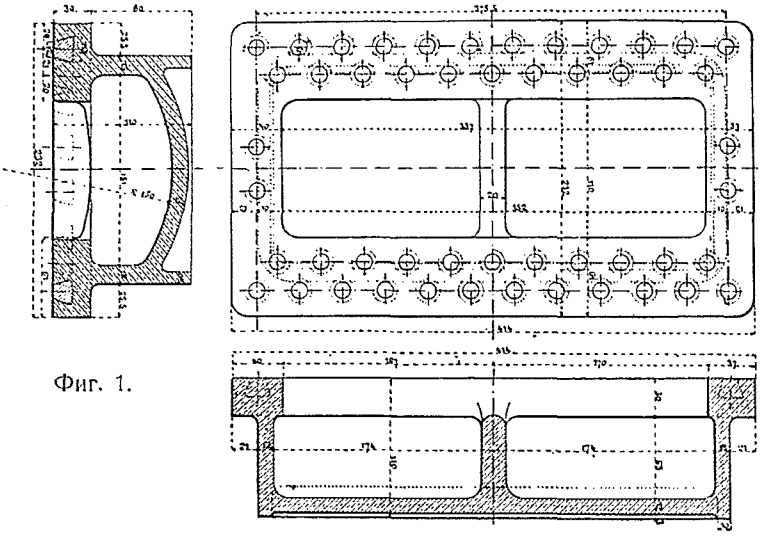
Изъ примѣняющихся въ Россіи конструкцій *) уравновѣшенныхъ золотниковъ весьма удовлетворительно работаютъ золотники съ кольцами Борриса (ф. 3).

Изъ цилиндрическихъ золотниковъ распространены золотники Шмидта (ф. 4) и Рикура (ф. 5), хорошо работаютъ золотники съ пружинящими поршневыми кольцами (ф. 6).

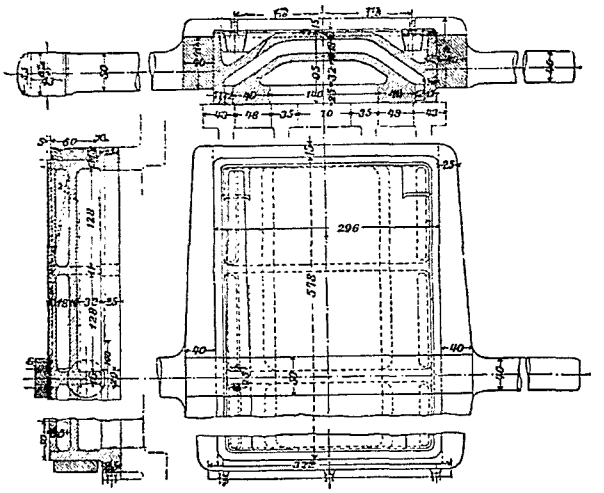
Измѣненіе отсѣчки достигается въ паровозахъ измѣненіемъ величины хода золотника при помощи особаго приспособленія, такъ называемой кулисы, услугою которой производится также перемѣна направленія движенія паровоза.

Такимъ образомъ проектированіе парораспредѣлительнаго прибора для паровоза распадается на двѣ части: выборъ размѣровъ золотника и приспособленіе кулисы къ заданнымъ условіямъ перемѣщенія золотника.

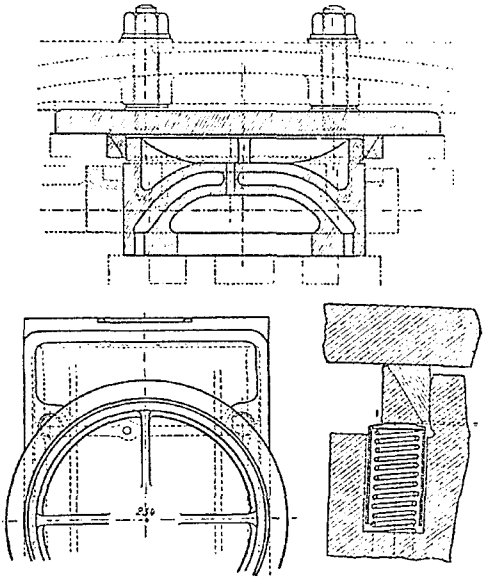
*) См. труды XXV Совѣщательнаго Съѣзда инженеровъ службы подвижного состава и тяги русскихъ жел. дорогъ, вопросъ 3, докладъ автора.



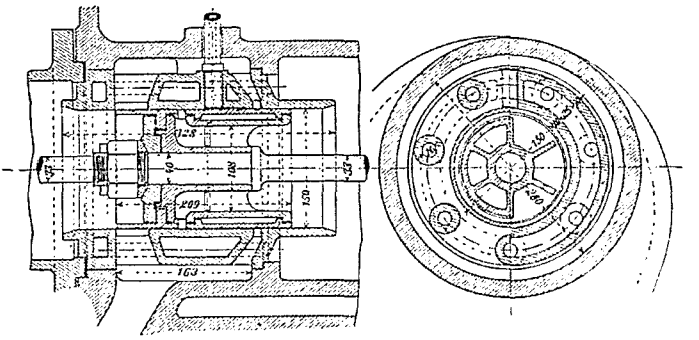
Фиг. 1.



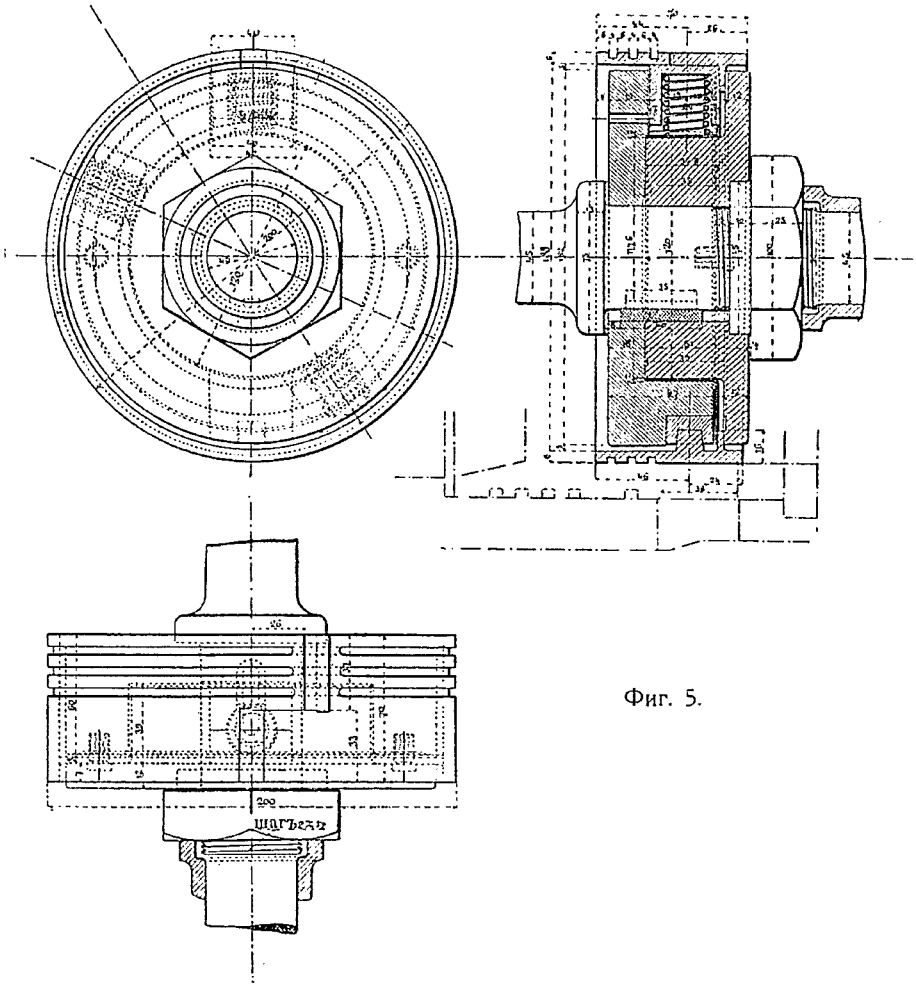
Фиг. 2.



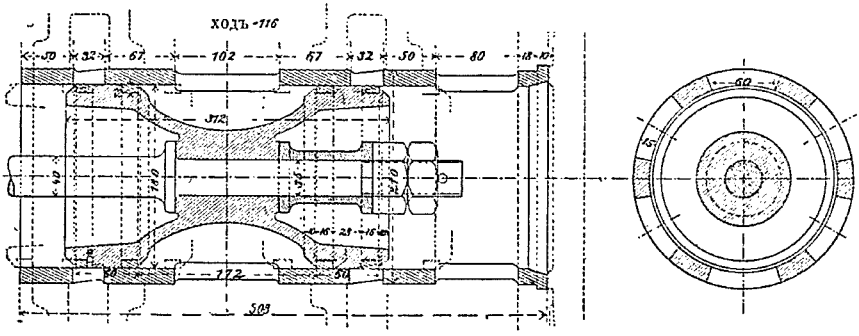
Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

§ 2. Размѣры оконъ.

Для опредѣленія размѣровъ золотника необходимо прежде всего назначить размѣры паровыхъ оконъ цилиндра по площади поршня и по скорости.

Опыты, произведенные въ 50-хъ годахъ прошлаго столѣтія надъ фабричными машинами въ Англіи и описанные въ «Railway locomotives» Кларка, установили слѣдующую зависимость между скоростью поршня, его площадью и площадями впускного окна и пароприводной трубы, при которой почти не происходитъ смятія пара, вступающаго въ золотниковую коробку и въ паровое окно, если открытіе окна составляетъ отъ 0,6 до 0,9 высоты его, смотря по степени влажности пара.

СКОРОСТЬ ПОРШНЯ.	Площадь впускного окна.	Площадь пароприводной трубы.
1,0 метр. въ сек.	0,040 площ. поршня.	0,025 площ. поршня.
1,25 » » »	0,047 » »	0,032 » »
1,5 » » »	0,055 » »	0,039 » »
1,75 » » »	0,062 » »	0,046 » »
2,0 » » »	0,070 » »	0.053 » »
2,25 » » »	0,077 » »	0,060 » »
2,5 » » »	0,085 » »	0.067 » »
2,75 » » »	0,092 » »	0 074 » »
3,0 » » »	0,100 » »	0,080 » »

Radinger выражаетъ эту зависимость для площади впускного окна формулой

$$\frac{f}{F} = 0{,}01 + 0{,}03\,v,$$

Приблизительно этихъ же данныхъ придерживаются и въ современной паровозной практикѣ.

Такъ, для паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ пара среднія данныя могутъ быть взяты изъ слѣдующей таблицы:

	Скорость движенія	
	малая	большая
Вредное пространство отъ хода поршня	0,07	0,08
Площадь выпускного окна отъ площади поршня	0,11	0,14
Площадь впускного окна отъ площади поршня	0,070	0,085
Отношеніе ширины окна къ длинѣ	1 : 10	1 : 12
Площадь паровпускной трубы отъ площади поршня	0,06	0,08
Ширина канала отъ діаметра поршня	0,075	0,075
Длина канала отъ діаметра поршня	0,75	0,90

Для паровозовъ съ двукратнымъ расширеніемъ пара:

	Малый цилиндръ.	Большой цилиндръ.
Вредное пространство отъ хода поршня	0,10 — 0,11	0,06 — 0,07
Площадь выпускного окна отъ площади поршня . . .	0,14 — 0,20	0,09 — 0,14
Площадь впускного окна отъ площади поршня	0,075 — 0,095	0,05 — 0,08
Отношеніе ширины окна къ длинѣ	$^1/_8$ — $^1/_{11}$	$^1/_{10}$ — $^1/_{13}$
Площадь паровпускной трубы отъ площади поршня .	0,06 — 0,09	0,04 — 0,07
Ширина канала отъ діаметра поршня	0,075 — 0,100	0,055 — 0,075
Длина канала отъ діаметра поршня	0,75 — 0,90	0,70 — 0,80

По даннымъ Демулена: длина окна въ зависимости отъ діаметра поршня составляетъ 0,6—0,8 *) и въ нѣкоторыхъ американскихъ паровозахъ достигаетъ 0,9; ширина впускного канала измѣняется отъ 32 — 45 мм., уменьшаясь до 30 и достигая иногда 51 мм. (курьерскіе паровозы North Eastern Ry); ширина выпускного окна почти вдвое больше ширины впускного, отъ 60 — 80 мм. (въ упомянутомъ паровозѣ 101 мм.) и достигаетъ до 100 мм. для большихъ цилиндровъ паровозовъ компаундъ.

Площадь впускной трубы въ французскихъ паровозахъ составляетъ отъ $^1/_{10}$—$^1/_{20}$ площади поршня, въ англійскихъ паровозахъ она рѣдко бываетъ болѣе $^1/_{19}$; въ общемъ достаточенъ діаметръ 90—100 мм.; діаметръ трубы, идущей къ регулятору, 100—150 мм. Площадь паровыпускной трубы составляетъ обычно $^1/_7$—$^1/_{14}$ площади поршня.

Приведенныя въ таблицѣ данныя относятся, собственно говоря, къ паровозамъ, работающимъ насыщенымъ паромъ, но они могутъ быть примѣнены и къ паровозамъ, работающимъ перегрѣтымъ паромъ, безъ измѣненія.

При выборѣ размѣровъ надо имѣть въ виду, что весьма часто, въ особенности при внутреннихъ цилиндрахъ, бываетъ невозможно придать площади оконъ то сѣченіе, которое обусловливается желаніемъ уменьшить по возможности потери отъ мятія пара при впускѣ и выпускѣ и во всякомъ случаѣ не слѣдуетъ увлекаться чрезмѣрнымъ увеличеніемъ площади оконъ, чтобы не увеличить безъ нужды ходъ золотника, поверхность золотниковаго зеркала и вмѣстимость золотниковой коробки.

Весьма полезно придавать окну возможно большую длину за счетъ уменьшенія его высоты.

Длина окна можетъ быть доводима до 0,95 діаметра цилиндра.

---

*) Бо́льшія значенія для курьерскихъ, меньшія — для товарныхъ паровозовъ.

Ширина окна можетъ быть опредѣляема изъ

$$S = 0{,}075\, d + 0{,}001\, v$$

гдѣ S, d и v — выражены въ мтр.

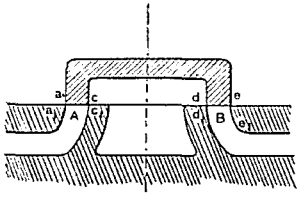
Для товарныхъ паровозовъ коэффиціентъ при скорости поршня v можетъ быть увеличенъ до 0,0015.

§ 3. Періоды парораспредѣленія.

Работа пара въ цилиндрахъ составляется, какъ извѣстно, изъ слѣдующихъ періодовъ. Со стороны рабочей поверхности поршня—впускъ, расширеніе, предвареніе выпуска; съ нерабочей стороны—выпускъ, сжатіе, предвареніе впуска. Продолжительность этихъ періодовъ, вообще говоря, можетъ быть различна, но á priori можно установить, что продолжительность впуска должна быть меньше, чѣмъ продолжительность выпуска, расширеніе должно быть продолжительнѣе сжатія и предвареніе выпуска должно начинаться ранѣе предваренія впуска. Цѣлесообразность этихъ соотношеній вытекаетъ сама собою изъ условій экономичной работы пара въ цилиндрѣ.

Такъ, если придать сжатію бо́льшую продолжительность чѣмъ расширенію, то работа расширенія въ значительной мѣрѣ будетъ поглощена работой, затрачиваемой на сжатіе, причемъ конечное давленіе отъ сжатія при малыхъ степеняхъ впуска можетъ превышать начальное при впускѣ.

Въ прототипѣ золотниковъ — золотникѣ безъ перекрытій (ф. 7) — рабочія грани a, b, c, d совпадаютъ при среднемъ положеніи золотника съ рабочими гранями впускныхъ оконъ. Въ такомъ золотникѣ при всякомъ уклоненіи его изъ средняго положенія будетъ происходить впускъ съ одной стороны поршня и выпускъ съ другой стороны и тотчасъ за прекращеніемъ впуска будетъ начинаться выпускъ пара: ни расширенія, ни сжатія такой золотникъ не даетъ. Если золотникъ безъ перекрытій заклиненъ такъ по отношенію къ поршню, что среднее его положеніе совпадаетъ съ положеніемъ поршня въ мертвыхъ точкахъ, то впускъ и выпускъ будутъ начинаться съ начала хода поршня и оканчиваться при концѣ хода.



Фиг. 7.

Если же заклинить золотникъ такъ, чтобы онъ достигалъ средняго положенія ранѣе, чѣмъ поршень дойдетъ до конца хода, то можно ограничитъ впускъ и выпускъ извѣстной долей хода поршня и получить предвареніе впуска и выпуска на остальной части хода.

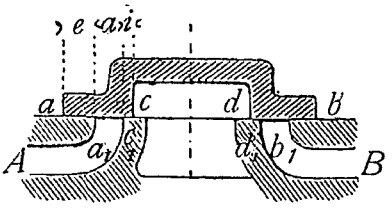
Во всякомъ случаѣ періоды сжатія и расширенія будутъ отсутствовать, періодъ впуска будетъ равенъ періоду выпуска и предвареніе впуска—предваренію выпуска.

Возможность производить расширеніе пара и сжатіе достигается примѣненіемъ золотника съ перекрытіями, лапки котораго перекрываютъ рабочія грани оконъ на нѣкоторую величину и такимъ образомъ оставляютъ впускное окно перекрытымъ на нѣкоторомъ протяженіи хода.

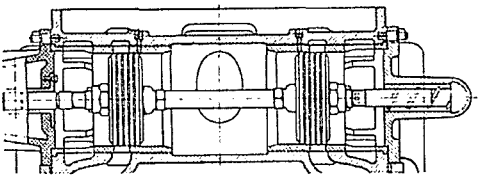
Примѣръ такого золотника изображенъ на ф. 8. Въ этомъ примѣрѣ впускъ пара предположенъ съ концевыхъ частей, а вышускъ въ среднее окно, такъ что рабочими гранями при впускѣ будутъ у золотника a и b, у оконъ a_1 и b_1;

рабочими гранями при выпускѣ будутъ соотвѣтственно c, d и c_1, d_1. Длины aa_1 и bb_1, на которыя лапки золотника перекрываютъ впускныя грани оконъ носятъ обычно названіе внѣшнихъ или наружныхъ перекрышъ, а длины cc_1 и dd_1— перекрытія выпускныхъ граней—называются внутренними перекрышами.

Тѣ же названія сохраняются за перекрытіями впуска и выпуска и для золотниковъ съ внутреннимъ впускомъ пара, то есть съ впускомъ въ средней части золотника, хотя названія и не соотвѣтствуютъ въ этомъ случаѣ дѣйствительному расположенію лапокъ. Напримѣръ, въ кругломъ золотникѣ, изображенномъ на ф. 9, перекрыши впуска расположены внутри, а перекрыши выпуска снаружи.



Фиг. 8.

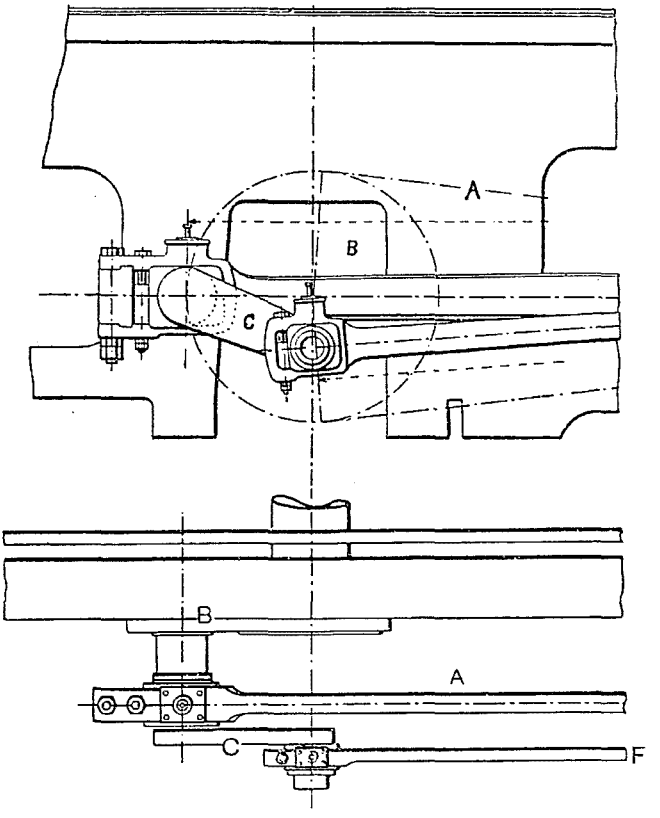


Фиг. 9.

Для большей ясности, уклоняясь отъ этихъ, хотя и весьма распространенныхъ, но не совсѣмъ удачныхъ названій, въ дальнѣйшемъ названы: длины aa_1 и bb_1 перекрышами впуска, а длины cc_1 и dd_1—перекрышами выпуска.

§ 4. Вліяніе передачи.

Движеніе поршня передается ведущей оси паровоза при посредствѣ шатуна A (ф. 10) и кривошипа B (ф. 10) или колѣна D (ф. 11) на оси, если шатунъ захватываетъ ось не въ концевой ея части.



Перемѣщеніе золотника проще всего можетъ быть производимо черезъ посредство эксцентрика E (ф. 11) и его тяги F (ф. 11), если оно заимствуется отъ одной изъ среднихъ точекъ оси. Если же золотникъ ведется концевою частью оси, то передача движенія можетъ быть осуществлена помощью кривошипа и тяги.

Часто примѣняютъ также передачу съ контръ-кривошипомъ C (ф. 10), когда кривошипъ служитъ передачей въ движеніи поршня.

При всѣхъ указанныхъ конструкціяхъ передачи равномѣрному вращенію

оси отвѣчаетъ неравномѣрное движеніе поршня и золотника и въ этомъ отношеніи вліяніе всѣхъ этихъ конструкцій одинаково.

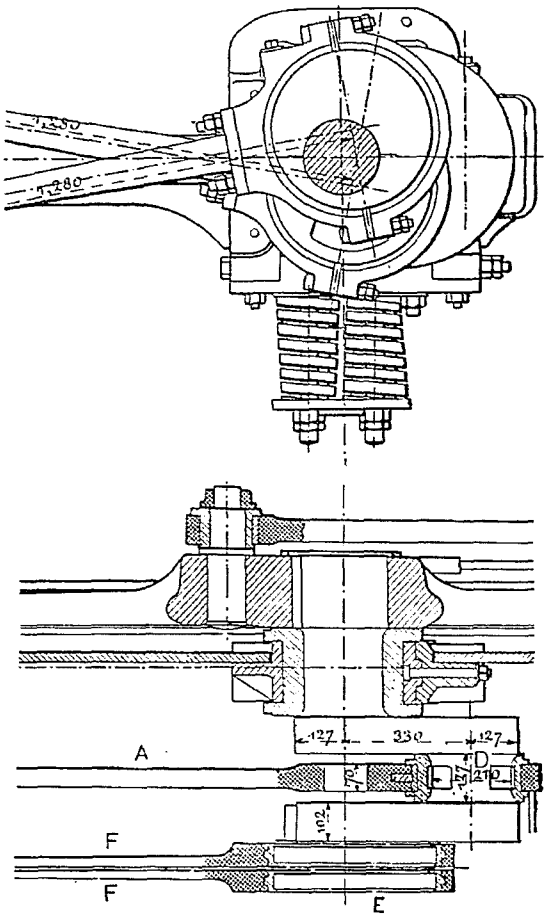
Иногда для перемѣщенія золотника примѣняются передачи съ такъ называемымъ качающимся или оборотнымъ рычагомъ (ф. 12).

Это — рычагъ перваго рода, имѣетъ обычно равныя плечи и вліяніе его сказывается въ томъ, что перемѣщенія золотника отъ средняго положенія обратны перемѣщеніямъ точки, за которую захватываетъ передаточная (эксцентриковая) тяга.

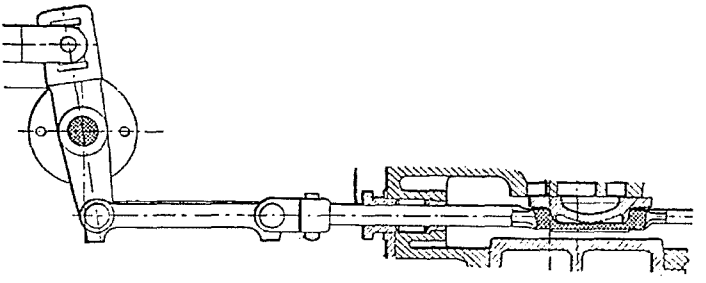
Отсюда слѣдуетъ, что его верхняя точка даетъ тоже распредѣленіе, но для праваго впускного окна, какое даетъ концевая точка передаточной тяги—для лѣваго окна, и обратно.

Поэтому въ дальнѣйшемъ, если не будетъ оговорено особо, будутъ разсматриваться передачи безъ оборотнаго рычага, полученные же выводы могутъ быть примѣнены и къ передачамъ съ рычагомъ, измѣнивъ соотвѣтственно названія оконъ.

Для изученія движенія поршня и золотника совершенно излишне знать детальную конструкцію передачи, важно только знать: во-первыхъ—длину передаточной тяги, длину кривошипа, колѣна или эксцентриситетъ—эксцентрика и во вторыхъ—совпадаетъ-ли направленіе движенія золотника съ направленіемъ движенія конца передаточной тяги.



Фиг. 11.

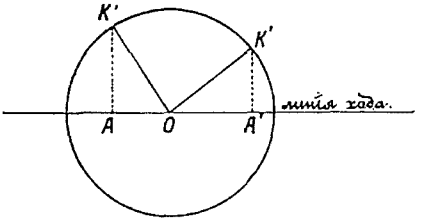


Фиг. 12.

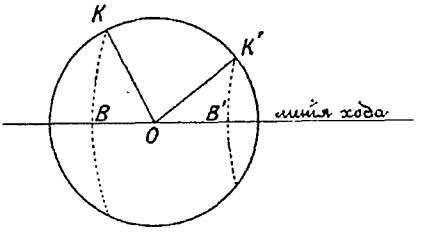
Въ дальнѣйшемъ—для единства рѣчи—выраженія: «длина кривошипа, колѣна» или соотвѣтственно «эксцентриситетъ эксцентрика», въ особенности въ примѣ-

неніи къ золотниковой передачѣ будутъ замѣняться общимъ выраженіемъ «плечо захвата».

Если длина передаточной (эксцентриковой) тяги настолько велика по отношенію къ плечу захвата, что можно пренебречь измѣненіемъ проекціи ея длины на линію хода золотника или поршня по сравненію съ измѣненіемъ проекціи на туже линію плеча захвата, то движеніе золотника или поршня можно будетъ считать тождественнымъ съ движеніемъ по линіи хода проекціи на эту линію точки захвата, именно съ движеніемъ точки A (ф. 13). Если же измѣненіемъ проекціи передаточной тяги пренебрегать нельзя. то движеніе золотника или поршня будетъ тождественно съ движеніемъ по линіи хода точки пересѣченія съ этой линіей дуги, имѣющей радіусомъ длину передаточной тяги съ центромъ на линіи хода и проходящей черезъ точку захвата, т. е. съ движеніемъ точки B



Фиг. 13.



Фиг. 14.

(ф. 14). Наибольшая разность въ ходахъ точекъ A и B будетъ при углѣ кривошипа въ 90° къ линіи хода и выраженная въ процентахъ хода можетъ быть опредѣлена изъ формулы

$$d = 25\frac{r}{l}$$

гдѣ r — плечо захвата, l — длина тяги.

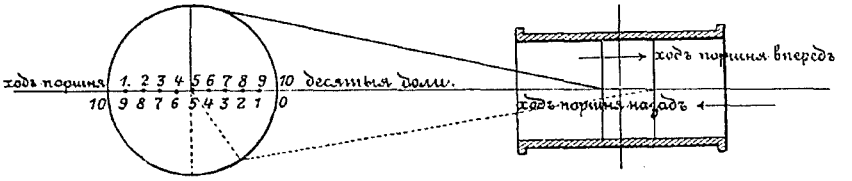
Такимъ образомъ при $\frac{l}{r} = 25$, разность въ ходахъ составляетъ всего одинъ процентъ хода, но при отношеніи $\frac{l}{r} = 8$, эта разность достигаетъ уже $3^0/_0$ и при $\frac{l}{r} = 6$ она равна $4^0/_0$.

Для передвиженія золотниковъ, ходъ которыхъ обычно бываетъ около 150 м.м. и отношеніе $\frac{l}{r}$ около 20—25, наибольшее вліяніе конечной длины тяги не превышаетъ 1,5—2 м.м.

Такой величиной можно пренебречь, если устроить передачу такъ, чтобы ея вліяніе сказывалось въ моменты близкіе къ моменту наибольшаго открытія окна, когда окно открыто не менѣе 12—15 м.м. Обычно это условіе при устройствѣ передачъ выполняется и потому движеніе золотника можно считать тожественнымъ съ движеніемъ точки A.

На движеніе поршня длина шатуна оказываетъ больше вліянія, какъ вслѣдствіе того, что ходъ поршня значительно больше (обычно 600—700 м.м.), такъ и вслѣдствіе того, что отношеніе $\frac{L}{R}$ длина L шатуна къ длинѣ R кривошипа— не превышаетъ 6—8—10.

Поэтому движеніе поршня, соотвѣтствующее измѣненію угла кривошипа отъ 0 до 90⁰, не одинаково съ движеніемъ его, соотвѣтствующимъ угламъ кривошипа отъ 90⁰ до 180⁰ и при томъ при ходѣ поршня впередъ (ф. 15), то есть въ движеніи его отъ ведущей оси, поршень проходитъ въ первую половину хода кривошипа меньше на величину 2 *d*, а при ходѣ поршня назадъ (ф. 15) наоборотъ: большій путь въ первую половину хода кривошипа—при углахъ его отъ 0⁰ до



Фиг. 15.

и 90⁰ и меньшій путь—при углахъ его отъ 90⁰ до 180⁰, считая углы отъ линіи хода поршня (линія мертвыхъ точекъ).

Отсюда слѣдуетъ, что однимъ и тѣмъ же долямъ хода поршня отъ начала его перемѣщенія соотвѣтствуютъ разные углы кривошипа въ движеніи поршня впередъ и назадъ и притомъ—въ ходѣ впередъ углы кривошипа больше соотвѣтствующихъ имъ при ходѣ поршня назадъ.

Далѣе приводятся таблицы угловъ кривошипа*) соотвѣтствующихъ разнымъ долямъ хода поршня. Изъ нихъ таблица *А* составлена въ предположеніи безконечно длиннаго шатуна, то есть вліяніемъ его длины пренебрегается, а таблица Б даетъ углы кривошипа для хода поршня впередъ и назадъ при различныхъ величинахъ отношенія длины шатуна къ кривошипу.

ТАБЛИЦА А.

Углы кривошипа, соотвѣтствующіе различнымъ долямъ хода поршня, въ предположеніи безконечно длиннаго шатуна.

Путь поршня въ доляхъ хода.	Уголъ кривошипа.	Путь поршня въ доляхъ хода.	Уголъ кривошипа.	Путь поршня въ доляхъ хода.	Уголъ кривошипа.	Путь поршня въ доляхъ хода.	Уголъ кривошипа.	Путь поршня въ доляхъ хода.	Уголъ кривошипа.
0,1	36,8°	0,4	78,5°	0,55	95,7°	0.7	113.6°	0,85	134,4°
0,12	40,5°	0,41	79,6°	0,56	96,9°	0,71	114,8°	0,86	136,1°
0,14	44°	0,42	80,8°	0.57	98,1°	0.72	116,1°	0,87	137,7°
0,16	47,2°	0,43	82°	0,58	99,2°	0,73	117,4°	0,88	139.5°
0,18	50,2°	0,44	83,1°	0,59	100,4°	0,74	118,7°	0.89	141,3°
0,2	53,1°	0,45	84,3°	0,6	101,5°	0,75	120°	0 9	143,1°
0,22	56°	0,46	85,4°	0,61	102,7°	0,76	121,3°	0,91	145,1°
0,24	58,7°	0,47	86,6°	0,62	103,9°	0,77	122,7°	0,92	147.1°
0,26	61,3°	0,48	87,7°	0,63	105,1°	0,78	124,1°	0,93	149,3°
0,28	63,9°	0,49	88,9°	0,64	106,3°	0,79	125,5°	0,94	151.7°
0,3	66,4°	0,5	90°	0,65	107,5°	0,8	126,9°	0,95	154,2°
0,32	68,9°	0,51	91,2°	0,66	108,7°	0.81	128,3°	0,96	156,9°
0,34	71,3°	0,52	92,3°	0,67	109,9°	0,82	129,8°	0,97	160,1°
0.36	73,7°	0,53	93,4°	0,68	111,1°	0,83	131,3°	0.98	163,7°
0,38	76,1°	0,54	94,6°	0,69	112,3°	0,84	132,9°	0,99	168,5°

*) W. Auchincloss. The practical application of the slide valve and link motion. Newrk 1874. s. 28, 58-60. нѣм. пер. Müller Berlin 1886.

ТАБЛИЦА Б.

Углы кривошипа, соотвѣтствующіе различнымъ долямъ хода поршня въ движеніяхъ его впередъ и назадъ при различныхъ величинахъ отношенія длины шатуна къ кривошипу.

Значеніе угловъ кривошипа для промежуточныхъ значеній отношенія $\frac{L}{R}$ и долей хода поршня могуть быть вычислены по табличнымъ величинамъ интерполированіемъ.

Значенія угловъ кривошипа α при отношеніи $\frac{L}{R}$ большемъ 8,0 должны быть опредѣлены по данной долѣ ε хода поршня изъ формулы

$$Cos\,\alpha = 1 - \frac{2\varepsilon}{1 - \frac{1-\varepsilon}{\pm\frac{L}{R} + \varepsilon}},$$

гдѣ знакъ при отношеніи $\frac{L}{R}$ берется: плюсъ при ходѣ поршня впередъ и минусъ при ходѣ поршня назадъ.

Такъ при $\frac{L}{R} = 10$, ходу поршня $\varepsilon = 0{,}2$ въ движеніи его назадъ будетъ отвѣчать

$$Cos\,\alpha = 1 - \frac{0{,}4}{1 - \frac{0{,}8}{-10 + 0{,}2}} = 0{,}630,$$

$$\alpha = 50{,}9^{\circ};$$

и въ движеніи впередъ

$$Cos\,\alpha = 1 - \frac{0{,}4}{1 - \frac{0{,}8}{10{,}2}} = 0{,}566,$$

$$\alpha = 55{,}5^{\circ}.$$

Пути поршня ходъ=1.	УГОЛЪ КРИВОШИПА ВЪ ГРАДУСАХЪ.														
	$\frac{L}{R}=4{,}0$			$\frac{L}{R}=4{,}5$			$\frac{L}{R}=5{,}0$			$\frac{L}{R}=5{,}5$			$\frac{L}{R}=6{,}0$		
	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.
0,1	33,1	42	8,9	33,5	41,3	7,8	33,8	40,8	7	34	40,4	6,4	34,3	40,1	5,8
0,12	36,5	46,1	9.6	36,8	45,3	8,5	37,2	44,7	7,5	37,5	44,3	6,8	37,7	44	6,3
0,14	39,5	49,7	10,2	40	49	9	40,3	48,4	8,1	40,6	48	7,4	40,9	47.6	6,7
0,16	42,5	53,2	10,7	43	52,4	9,4	43,3	51,8	8,5	43,6	51,4	7,8	43,9	51	7,1
0,18	45,3	56,5	11,2	45,8	55,7	9,9	46,2	55,1	8,9	46,5	54,6	8,1	46,8	54,2	7,4
0.2	48	59,6	11.6	48,5	58,8	10,3	48,9	58,2	9,3	49,3	57,7	8,4	49,6	57,3	7,7
0,22	50,6	62,6	12	51,1	61,8	10,7	51,5	66,1	9,6	51,9	60,6	8.7	52,2	60.2	8
0,24	53,1	65,5	12,4	53,6	64,6	11	54,1	64	9,9	54,5	63,5	9	54,8	63	8,2
0,26	55,5	68,3	12,8	56,1	67,4	11,3	56,6	66,7	10,1	57	66,2	9,2	57,4	65,8	8,4
0,28	57,9	70,9	13	58,6	70,1	11,5	59,1	69,4	10,3	59,5	68,9	9,4	59,8	68,4	8,6
0,3	60,3	73,5	13,2	60,9	72,7	11,8	61,5	72,0	10,5	61,9	71,5	9,6	62,2	71	8,8
0,32	62,6	76,1	13.5	63,3	75,2	11,9	63,8	74,6	10,8	64,3	74	9,7	64,6	73,6	9
0,34	64,9	78,6	13,7	65,6	77,7	12,1	66,2	77,1	10,9	66,6	76,5	9,9	67	76,1	9,1
0,36	67.2	81	13,8	67,9	80,2	12,3	68,4	79,5	11,1	68,9	79	10,1	69,3	78,5	9,2
0,38	69,5	83,4	13,9	70,2	82.6	12,4	70,7	81,9	11,2	71,2	81,4	10,2	71,6	80,9	9,3
0,4	71,7	85,8	14,1	72,4	84,9	12,5	73	84,3	11,3	73,5	83,7	10,2	73,9	83,3	9,4
0,41	72,8	87	14,2	73,5	86,1	12,6	74,1	85,4	11,3	74,6	84,9	10,3	75	84,4	9,4
0,42	73,9	88,1	14,2	74,7	87,3	12,6	75,3	86,6	11,3	75,8	86,1	10,3	76,2	85,6	9,4
0,43	75	89,3	14,3	75,8	88,4	12,6	76,4	87,7	11,3	76,9	87,2	10,3	77,3	86,8	9,5
0,44	76,1	90,4	14,3	76,9	89,6	12,7	77,5	88,9	11,4	78	88,4	10,4	78,4	87,9	9,5
0,45	77,3	91,6	14,3	78	90,7	12,7	78,6	90	11,4	79,1	89,5	10,4	79,6	89,1	9,5
0,46	78,4	92,7	14,3	79,1	91,8	12,7	79,8	91,2	11,4	80,3	90,7	10,4	80,7	90,2	9,5
0,47	79,5	93,8	14,3	80,3	93	12,7	80,9	92,3	11,4	81,4	91,8	10,4	81,8	91,4	9,6
0,48	80,6	94,9	14,3	81,4	94,1	12,7	82	93,5	11,5	82,5	92,9	10,4	82,9	92,5	9,6
0,49	81,7	96,1	14,4	82,5	95,2	12,7	83,1	94,6	11,5	83,7	94,1	10,4	84,1	93,7	9,6
0,5	82,8	97,2	14,4	83,6	96,4	12,8	84,2	95,8	11,6	84,8	95,2	10,4	85,2	94,8	9,6
0,51	83,9	98,3	14,4	84,8	97,5	12,7	85,4	96,9	11,5	85,9	96,3	10,4	86,3	95,9	9,6
0,52	85,1	99,4	14,3	85.9	98,6	12,7	86,5	98	11,5	87,1	97,5	10,4	87,5	97,1	9,6
0,53	86,2	100,5	14,3	87	99,7	12,7	87,7	99,1	11,4	88,2	98,6	10,4	88,6	98,2	9,6
0,54	87,3	101,6	14,3	88,2	100,9	12,7	88,8	100,2	11,4	89,3	99,7	10,4	89,8	99,3	9,5
0,55	88,5	102,8	14,3	89,3	102	12,7	90	101,4	11,4	90,5	100,9	10,4	90,9	100,4	9,5

ПАВЪ ГРАДУСАХЪ.											
$\frac{L}{R}=6{,}5$			$\frac{L}{R}=7{,}0$			$\frac{L}{R}=7{,}5$			$\frac{L}{R}=8{,}0$		
Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.
34,4	39,8	5,4	34,6	39,6	5	34,7	39,4	4,7	34,9	39,2	4,3
37,9	43,7	5,8	38,1	43,4	5,3	38,2	43,2	5	38,4	43,1	4,7
41,1	47,3	6,2	41,3	47	5,7	41,5	46,8	5,3	41,6	46,6	5
44,1	50,7	6,6	44,3	50,4	6,1	44,5	50,2	5,7	44,7	50	5,3
47,1	53,9	6,8	47,3	53,6	6,3	47,5	53,4	5,9	47,6	53,1	5,5
49,8	56,9	7,1	50	56,6	6,6	50,3	56,4	6,1	50,4	56,2	5,8
52,5	59,8	7,3	52,8	59,6	6,8	53	59,3	6,3	53,1	59,1	6
55,1	62,7	7,6	55,4	62,4	7	55,6	62,1	6,5	55,8	61,9	6,1
57,6	65,4	7,8	57,9	65,1	7,2	58,1	64,8	6,7	58,3	64,6	6,3
60,1	68,1	8	60,4	67,8	7,4	60,6	67,5	6,9	60,8	67,2	6,4
62,5	70,7	8,2	62,8	70,4	7,6	63,1	70,1	7	63,2	69,8	6,6
64,9	73,2	8,3	65,2	72,9	7,7	65,5	72,6	7,1	65,7	72,4	6,7
67,3	75,7	8,4	67,6	75,4	7,8	67,8	75,1	7,3	68	74,8	6,8
69,6	78,1	8,5	69,9	77,8	7,9	70,2	77,5	7,3	70,4	77,3	6,9
71,9	80,5	8,6	72,2	80,2	8	72,5	79,9	7,4	72,7	79,7	7
74,2	82,9	8,7	74,5	82,6	8,1	74,8	82,3	7,5	75	82	7
75,4	84,1	8,7	75,6	83,7	8,1	75,9	83,4	7,5	76,2	83,2	7
76,5	85,2	8,7	76,8	84,9	8,1	77,1	84,6	7,5	77,3	84,4	7,1
77,7	86,4	8,7	78	86,1	8,1	78,2	85,8	7,6	78,5	85,6	7,1
78,8	87,5	8.7	79,1	87,2	8,1	79,4	87	7,6	79,6	86,7	7,1
79,9	88.7	8,8	80,2	88,4	8,2	80,5	88,1	7,6	80,7	87,9	7,2
81,1	89,9	8,8	81,4	89,6	8,2	81,6	89,2	7,6	81,9	89,1	7,2
82,2	91	8,8	82,5	90,7	8,2	82,8	90,4	7,6	83	90,2	7,2
83,3	92,1	8,8	83,6	91,8	8,2	83,9	91,5	7,6	84,1	91,3	7,2
84,5	93,3	8,8	84,8	93	8,2	85,1	92,7	7,6	85,3	92,5	7,2
85,6	94,4	8,8	85,9	94,1	8,2	86,2	93,8	7,6	86,4	93,6	7,2
86,7	95.5	8,8	87	95,2	8,2	87,3	94,9	7,6	87,5	94,7	7,2
87,9	96,7	8,8	88,2	96,4	8,2	88,5	96,1	7,6	88,7	95,9	7,2
89	97,8	8,8	89,3	97,5	8,2	89,6	97,2	7,6	89,8	97	7,2
90,2	99	8,8	90,5	98,7	8,2	90,8	98,4	7,6	90,9	98,1	7,2
91,3	100,1	8,8	91,6	99,8	8,2	91,9	99,5	7,6	92,1	99,3	7,2

Пути поршня ходъ =1.	УГОЛЪ КРИВОШИПА ПАВЪ ГРАДУСАХЪ.																							
	$\frac{L}{R}=4{,}0$			$\frac{L}{R}=4{,}5$			$\frac{L}{R}=5{,}0$			$\frac{L}{R}=5{,}5$			$\frac{L}{R}=6{,}0$			$\frac{L}{R}=6{,}5$			$\frac{L}{R}=7{,}0$			$\frac{L}{R}=7{,}5$			$\frac{L}{R}=8{,}0$		
	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ пнршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.
0,56	89,6	103,9	14,3	90,4	103,1	12,7	91,1	102,5	11,4	91,6	102	10,4	92,1	101,6	9,5	92,5	101,2	8,7	92.8	100.9	8,1	93,1	100.7	7,6	93.3	100,4	7,1
0,57	90,7	105	14,3	91,6	104,2	12.6	92,3	103,6	11,3	92,8	103,1	10,3	93,2	102,7	9,5	93,6	102,3	8,7	93,9	102	8,1	94,2	101,8	7.6	94,5	101,6	7,1
0.58	91,9	106,1	14,2	92,7	105,3	12,6	93,4	104,7	11,3	94	104,3	10,3	94,4	103,8	9,4	94,8	103.5	8,7	95,1	103,2	8,1	95,4	102,9	7,5	95,6	102,7	7.1
0,59	93	107,2	14,2	93,9	106,5	12,6	94,6	105,9	11,3	95,1	105,4	10,3	95,6	105	9,4	95,9	104,6	8,7	96,2	104,3	8,1	96,5	104	7,5	96,8	103,8	7
0,6	94,2	108,3	14,1	95,1	107,6	12,5	95,7	107	11,3	96,3	106,5	10,2	96,7	106,1	9,4	97,1	105,8	8,7	97,4	105,5	8.1	97,7	105,2	7.5	98	105	7
0,61	95,4	109,4	14	96,3	108,7	12,4	96,9	108,1	11,2	97,5	107,7	10,2	97,9	107,3	9,4	98,3	106,9	8,6	98,6	106,6	8	98,9	106,4	7,5	99,1	106,1	7
0.62	96,6	110,5	13,9	97,4	109,8	12,4	98,1	109,3	11,2	98,6	108.8	10,2	99,1	108,4	9,3	99,5	108,1	8,6	99,8	107,8	8	100,1	107,5	7,4	100,3	107.3	7
0,63	97.8	111,7	13,9	98,6	111	12,4	99,3	110,4	11,1	99,8	109,9	10,1	100,3	109,5	9.2	100,7	109,2	8,5	101	108,9	7,9	101,3	108,7	7,4	101,5	108,5	7
0,64	99	112,8	13.8	99,8	112,1	12,3	100,5	111,6	11,1	101	111,1	10,1	101,5	110,7	9.2	101,9	110,4	8,5	102,2	110,1	7.9	102,5	109,8	7,3	102,7	109,6	6,9
0,65	100,2	114	13,8	101,1	113,3	12,2	101,7	112,7	11	102,3	112,2	9,9	102,7	111,9	9,2	103,1	111,5	8,4	103,4	111,3	7,9	103,7	111	7,3	103,9	110.8	6,9
0,66	101,4	115,1	13,7	102,3	114,4	12,1	103	113,9	10,9	103,5	113,4	9,9	103.9	113	9,1	104,3	112,7	8,4	104,6	112,4	7,8	104.9	112,2	7,3	105.2	112	6,8
0.67	102,7	116,2	13,5	103,5	115,6	12,1	104,2	115	10,8	104,7	114,6	9,9	105,2	114,2	9	105,6	113,9	8,3	105,9	113,6	7,7	106,2	113,4	7.2	106,4	113,2	6,8
0,68	103,9	117,4	13,5	104,8	116,7	11.9	105,4	116,2	10,8	106	115,7	9,7	106,4	115,4	9	106,8	115,1	8,3	107,1	114,8	7,7	107,4	114,5	7,1	107,6	114,3	6,7
0.69	105,2	118.5	13,3	106	117,9	11,9	106,7	117,3	10,6	107,3	116,9	9,6	107,7	116,6	8,9	108,1	116,3	8,2	108,4	116	7,6	108,6	115,7	7,1	108,9	115,5	6,6
0.7	106,5	119,7	13,2	107,3	119.1	11,8	108	118,5	10,5	108,5	118,1	9,6	109	117,8	8,8	109,3	117,5	8,2	109,6	117,2	7,6	109,9	116,9	7	110,2	116,8	6,6
0,71	107,8	120,9	13,1	108,6	120,3	11,7	109,3	119,7	10,4	109,8	119,3	9,5	110,3	119	8,7	110,6	118,7	8,1	110,9	118,4	7,5	111,2	118,2	7	111,5	118	6,5
0,72	109,1	122,1	13	109,9	121,4	11,5	110,6	120,9	10,3	111,1	120,5	9,4	111,6	120,2	8,6	111,9	119,9	8	112,2	119,6	7,4	112,5	119,4	6,9	112,8	119,2	6,4
0,73	110,4	123,3	12,9	111,3	122,7	11,4	111,9	122,2	10,3	112,4	121,8	9,4	112,9	121,4	8,5	113,3	121,1	7,8	113,6	120,9	7,3	113,8	120,6	6,8	114,1	120,4	6,3
0,74	111,7	124.5	12,8	112,6	123,9	11,3	113,3	123,4	10,1	113,8	123	9,2	114,2	122,6	8.4	114.6	122,4	7,8	114,9	122,1	7.2	115,2	121.9	6,7	115,4	121,7	6,3
0,75	113,1	125,7	12,6	114	125,1	11,1	114,6	124,6	10	115,2	124,2	9	115,6	123,9	8,3	115,9	123,6	7,7	116,3	123,4	7,1	116,5	123.2	6,7	116,8	123	6.2
0,76	114,5	126,9	12,4	115,4	126,4	11	116	125,9	9,9	116,5	125,5	9	117	125,2	8,2	117,3	124,9	7,6	117,6	124,6	7	117,9	124,4	6,5	118,1	124,2	6,1
0,77	116	128,2	12,2	116.8	127,6	10,8	117,4	127,2	9,8	117,9	126,8	8,9	118,4	126,5	8,1	118,7	126,2	7.5	119	125.9	6,9	119,3	125,7	6,4	119.5	125.6	6,1
0,78	117,4	129,4	12	118,2	128,9	10,7	118,9	128,5	9,6	119,4	128,1	8.7	119,8	127,8	8	120,2	127,5	7,3	120,5	127.3	6.8	120,7	127	6,3	120,9	126,9	6
0,79	118,9	130,7	11.8	119,7	130,2	10,5	120,3	129,8	9,5	120,8	129,4	8.6	121,3	129,1	7,8	121,6	128.8	7,2	121,9	128,6	6,7	122,2	128,4	6,2	122,4	128,2	5,8
0,8	120,4	132	11,6	121,2	131,5	10,3	121,8	131,1	9,3	122,3	130,7	8,4	122,7	130,4	7,7	123,1	130,2	7,1	123,4	130	6,6	123.6	129,7	6.1	123.8	129,6	5,8
0,81	121,9	133,4	11,5	122,7	132,9	10,2	123,4	132,4	9	123,9	132,1	8,2	124,3	131,8	7,5	124,6	131,6	7	124,9	131,3	6,4	125,1	131,1	6	125,3	131	5,7
0,82	123,5	134,7	11,2	124,3	134,2	9,9	124,9	133,8	8,9	125,4	133,5	8,1	125,8	133,2	7,4	126,1	132,9	6,8	126,4	132,7	6,3	126,7	132,6	5,9	126,9	132,4	5,5
0,83	125,1	136,1	11	125,9	135,6	9,7	126,5	135.2	8,7	127	134,9	7,9	127,4	134,6	7.2	127,7	134,4	6,7	128	134,2	6,2	128,2	134	5,8	128.4	133,8	5,4
0,84	126,8	137,5	10,7	127,6	137	9,4	128 2	136,7	8,5	128,6	136,4	7,8	129	136,1	7,1	129,3	135,9	6,6	129,6	135,7	6,1	129,8	135,5	5,7	130	135,3	5,3
0,85	128,5	139	10,5	129,3	138,5	9,2	129,9	138,1	8,2	130,3	137,8	7,5	130,7	137,6	6,9	131	137,4	6,4	131,3	137,2	5.9	131,5	137	5.5	131,7	136,8	5,1
0,86	130,3	140.5	10,2	131	140	9	131,6	139,7	8,1	132	139,4	7,4	132,4	139,1	6,7	132,7	138,9	6,2	133	138,7	5,7	133,2	138,5	5 3	133,4	138,4	5

Пути поршня ходъ=1.	УГОЛЪ КРИВОШИПА въ ГРАДУСАХЪ																				
	$\frac{L}{R}=4{,}0$			$\frac{L}{R}=4.5$			$\frac{L}{R}=5{,}0$			$\frac{L}{R}=5{,}5$			$\frac{L}{R}=6{,}0$			$\frac{L}{R}=6{,}5$			$\frac{L}{R}=7{,}0$			$\frac{L}{R}=7{,}5$			$\frac{L}{R}=8{,}0$		
	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.	Ходъ поршня назадъ.	Ходъ поршня впередъ.	Разность.
0,87	132,1	142	9,9	132,8	141,6	8,8	133,4	141,2	7,8	133,8	140,9	7,1	134,2	140,7	6.5	134,5	140,5	6	134,7	140,3	5,6	135	140,1	5,1	135,1	140	4,9
0,88	134	143,6	9,6	134,7	143,2	8,5	135.3	142,8	7,5	135,7	142,5	6,8	136	142,3	6,3	136,3	142,1	5,8	136,6	141,9	5,3	136,8	141,8	5	136,9	141,6	4,7
0,89	136	145,2	9,2	136,7	144,8	8,1	137,2	144,5	7,3	137,6	144.2	6,6	138	144	6	138,2	143,8	5,6	138,5	143,6	5,1	138,7	143,5	4,8	138,8	143,3	4,5
0,9	138	146 9	8,9	138,7	146,5	7,8	139,2	146,2	7	139,6	146	6,4	139,9	145,7	5,8	140,2	145,6	5,4	140,4	145,4	5	140,6	145,3	4,7	140,8	145,1	4,3
0,91	140,2	148,7	8,5	140,9	148,3	7,4	141,3	148	6,7	141,7	147,8	6,1	142	147,6	5,6	142,3	147,4	5,1	142,5	147,2	4,7	142,7	147,1	4,4	142,9	147	4,1
0,92	142,5	150,5	8	143,1	150,2	7,1	143,6	149,9	6,3	143,9	149,7	5,8	144,2	149,5	5,3	144,5	149,3	4,8	144,7	149,2	4,5	144,9	149,1	4,2	145	148,9	3,9
0,93	144,9	152,5	7,6	145,5	152,2	6,7	146	151,9	5,9	146,3	151.7	5,4	146,6	151,5	4,9	146,8	151,4	4,6	147	151,2	4,2	147,2	151,1	3,9	147,3	151	3,7
0,94	147,6	154,6	7	148,1	154,3	6,2	148,5	154	5,5	148,8	153,8	5	149,1	153.7	4,6	149,3	153,6	4,3	149,5	153,4	3,9	149,6	153,3	3,7	149,8	153,2	3,4
0,95	150,4	156,8	6,4	150,9	156,6	5,7	151,3	156,4	5,1	151.6	156.2	4,6	151,8	156	4,2	152	155,9	3,9	152,3	155,8	3,5	152,3	155,7	3,4	152,5	155,6	3,1
0,96	153,5	159,3	5,8	154	159,1	5,1	154,3	158,9	4,6	154,6	158,7	4.1	154.8	158,6	3,8	155	158,5	3,5	155,2	158,4	3,2	155,3	158	3	155,4	158,2	2,8
0,97	157,1	162,1	5	157,5	161,9	4,4	157,8	161,8	4	158	161,6	3,6	158,2	161,5	3,3	158,4	161,4	3	158,5	161,3	2.8	158,6	161,2	2,6	158,7	161,2	2,5
0,98	161,3	165,5	4,2	161,6	165,3	3,7	161,9	165,1	3,2	162,1	165	2,9	162,2	164,9	2,7	162,4	164,9	2,5	162,5	164,8	2,3	162,6	164.7	2,1	162,6	164,7	2,1
0.99	166,8	169,7	2,9	167	169,6	2,6	167,2	169,5	2,3	167,3	169,4	2,1	167,4	169,4	2	167,5	169,3	1,8	167,6	169,3	1,7	167,7	169,2	1,5	167,7	169,2	1,5

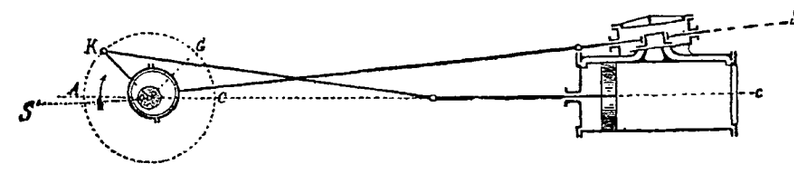
§ 5. Впускъ пара.

Въ обычныхъ устройствахъ парораспредѣленій съ однимъ золотникомъ, золотникъ управляетъ какъ впускомъ пара въ цилиндръ, такъ и выпускомъ изъ него. Эти функціи выполняются различными частями золотника; такъ, въ золотникѣ, изображенномъ на фиг. 8, гранями, обусловливающими начало и конецъ впуска, являются грань a для лѣваго окна A и грань b для праваго окна B, — гранями, обусловливающими начало и конецъ выпуска, — грань c для окна A и грань d для окна B. Однако движенія любой изъ этихъ граней тожественны между собой и, какъ указано выше, тожественны съ движеніемъ проекціи на линію хода точки захвата, если пренебречь вліяніемъ конечной длины передаточныхъ тягъ.

Въ дальнѣйшемъ изслѣдованіи движенія золотника будетъ предполагаться, что длины передаточныхъ тягъ достаточно велики, такъ что высказанное допущеніе имѣетъ мѣсто. Этимъ значительно облегчается первоначальный подборъ по заданнымъ условіямъ парораспредѣленія размѣровъ золотника, плеча захвата и угла заклинки его по отношенію къ линіи хода золотника.

Подъ линіей хода золотника разумѣется прямая $S'OS$ (ф. 16), проведенная черезъ центръ O ведущей оси параллельно золотниковому столу (зеркалу). Угломъ заклинки плеча захвата r (эксцентриситета эксцентрика) называется уголъ, составляемый при мертвомъ положеніи OA кривошипа плечомъ захвата OG съ тѣмъ направленіемъ линіи хода золотника, на которое проектируется не самъ кривошипъ OA поршня, а его продолженіе OC, то есть уголъ GOS (ф. 16) составляемый OG съ направленіемъ OS (а не съ OS').

Для упрощенія изслѣдованія, безъ вреда для его общности, далѣе будетъ разсматриваться парораспредѣленіе при ходѣ поршня впередъ и переднемъ ходѣ



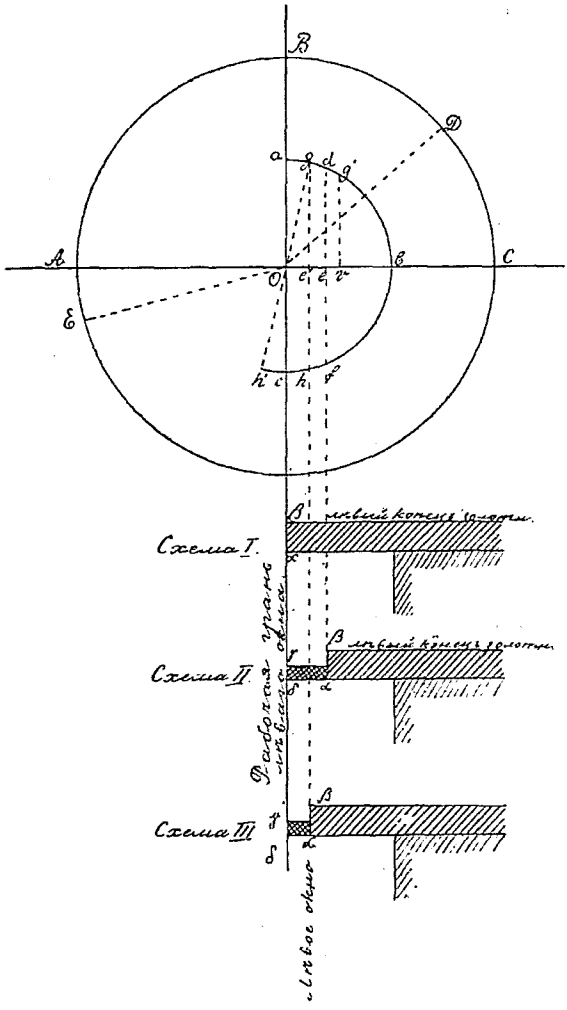
Фиг. 16.

паровоза въ предположеніи, что линія хода золотника совпадаетъ съ линіей мертвыхъ точекъ поршня.

Въ такомъ предположеніи уголъ заклинки плеча захвата будетъ равенъ углу, составляемому плечомъ захвата съ продолженіемъ кривошипа, то есть углу GOC.

Измѣненія, которыя надо будетъ сдѣлать для приложенія выводовъ изслѣдованія къ случаю, въ которомъ линія хода золотника будетъ наклонна къ линіи мертвыхъ точекъ, не требуютъ дальнѣйшихъ поясненій.

Ходъ золотника въ періодъ впуска состоитъ изъ двухъ равныхъ и взаимно противоположныхъ перемѣщеній: одного—отъ момента открытія окна золотникомъ до наибольшаго открытія его и другого — отъ момента наибольшаго открытія окна до момента закрытія его тою же гранью золотника. Такимъ образомъ, если взять за исходную точку моментъ наибольшаго открытія окна, то видно á priori, что при любомъ устройствѣ золотника уголъ поворота плеча захвата отъ начала открытія окна до этого момента всегда равенъ углу поворота плеча захвата отъ этого момента до момента закрытія окна. Но плечо захвата, ведущее золотникъ, заклинено по отношенію къ кривошипу поршня подъ неизмѣннымъ угломъ, слѣдовательно—уголъ поворота этого плеча отъ начала открытія окна до его закрытія равенъ углу поворота кривошипа поршня за періодъ впуска и моментъ наибольшаго открытія впускного окна соотвѣтствуетъ половинѣ этого угла, легко опредѣляемаго по заданію.



Фиг. 17.

Высказанное замѣчаніе является весьма существеннымъ для золотниковаго парораспредѣленія, если имѣть въ виду при этомъ, что моментъ наибольшаго открытія окна соотвѣтствуетъ всегда положенію плеча захвата на линіи хода золотника.

Возьмемъ сначала золотникъ безъ перекрышъ (ф. 7) со впускомъ на всемъ протяженіи хода поршня отъ A до C (ф. 17). Уголъ поворота кривошипа за періодъ впуска будетъ равенъ 180°. Но, по замѣченному выше, моментъ наибольшаго открытія окна совпадаетъ съ положеніемъ плеча захвата на линіи хода золотника, слѣдовательно — уголъ заклинки $\angle aOb$ плеча захвата будетъ въ этомъ случаѣ 90°, то есть равенъ половинѣ угла впуска $\angle AOC$.

При положеніи цапфы кривошипа въ A точка захвата находится въ a, при перемѣщеніи цапфы въ точку B точка захвата перейдетъ въ b и наконецъ при цапфѣ въ C точка захвата совпадетъ съ c. Золотникъ опишетъ при этомъ путь $2Ob$.

На схемѣ I (ф. 17) изображено положеніе впускной грани $\alpha\beta$ золотника

безъ перекрышъ въ моментъ начала впуска, то есть въ разсматриваемомъ случаѣ при положеніи кривошипа въ A. При этомъ предположено, что рабочая грань золотника совпадаетъ съ проекціей на линію хода AC точки захвата, а рабочая грань впускного окна — съ вертикалью BO, которая представляетъ вообще ось симметріи перемѣщеній золотника, а въ данномъ случаѣ также и положеніе рабочей грани золотника въ среднемъ его положеніи.

Далѣе, пусть золотникъ долженъ быть спроектированъ такимъ образомъ, чтобы впускъ происходилъ во время поворота кривошипа на уголъ $\angle AOD$ (ф. 17), меньшій 180° (примѣрно 150°), а на остальной части хода было бы расширеніе пара. По сказанному точка захвата за это время должна описать тотъ же уголъ и притомъ симметрично по отношенію точки b, то есть — начавъ путь въ точкѣ d, отстоящей на уголъ $\frac{1}{2}\angle AOD$ (75%) отъ b, между a и b, окончить его въ точкѣ f, лежащей на тотъ же уголъ отъ b между b и c. Золотникъ за это время опишетъ путь $2eb$.

Изъ схемы II (ф. 17), въ которой по прежнему ребро впускного окна совпадаетъ съ продолженіемъ BO, а грань $\alpha\beta$ съ проекціей точки захвата d,—видно, что въ этомъ случаѣ для того, чтобы впускъ начался въ моментъ A, когда точка захвата находится въ d, а не ранѣе, надо, чтобы къ пластинкѣ золотника безъ перекрышъ (схема I) была добавлена площадка $\alpha\beta\gamma\delta$, или говоря иначе, чтобы рабочая грань золотника была смѣщена на величину $\alpha\delta$ съ удлиненіемъ пластинки золотника. Угломъ заклинки плеча захвата по отношенію къ кривошипу будетъ уголъ $\angle dOC$, равный опять половинѣ угла впуска $\angle AOD$, причемъ уголъ aOd, равный $90° - \frac{1}{2}\angle AOD$ (или $\angle aOd = 90 - 75 = 15°$), называется обычно угломъ опереженія. Длина $\alpha\delta$ площадки $\alpha\beta\gamma\delta$, равная въ нашихъ предположеніяхъ длинѣ Oe, проекціи плеча захвата Od въ моментъ впуска, составляетъ впускную перекрышу золотника, т. е. получается уже золотникъ съ перекрышами (ф. 8).

Допустимъ наконецъ, что впускъ долженъ происходить на томъ же углѣ $\angle AOD$, но начинаться не съ мертваго положенія кривошипа, а нѣсколько раньше въ точкѣ E, такъ, что золотникъ долженъ давать предвареніе впуска на углѣ $\angle EOA$ (примѣрно 8°).

Періодъ впуска составляется, слѣдовательно, изъ предваренія впуска (уголъ $\angle EOA$) и изъ собственно впуска (уголъ $\angle AOD$), то есть—впускъ продолжается на углѣ $\angle EOD$ (158°).

Колебанія плеча захвата по ту и другую сторону точки b будутъ составлять уголъ $\frac{1}{2}\angle EOD$ (79°). Движеніе точки захвата будетъ начинаться въ точкѣ g, для которой уголъ $< gOb = \frac{1}{2} < EOD$, затѣмъ мертвому положенію A кривошипа будетъ соотвѣтствовать точка g', причемъ уголъ gOg' равенъ углу EOA и оканчиваться впускъ будетъ въ точкѣ h. Путь золотника будетъ равенъ $2e'b$.

Угдомъ заклинки плеча захвата будетъ уголъ $g'Ob$(71°), равный углу $\frac{AOD - EOA}{2}$, т. е. полуразности угла впуска и угла предваренія впуска.

Уголъ опереженія будетъ

$$aOg' = aOd + dOg' = 90° - \tfrac{1}{2}\,AOD + \tfrac{1}{2}\,EOA,$$

ибо положенію кривошипа въ A соотвѣтствуетъ положеніе точки захвата въ g', отстоящей на уголъ $gOg' = EOA$ отъ точки g ($aOg' = 90° - 75° + 4° = 19°$),

и наконецъ, уголъ

$$aOg = 90^\circ - \tfrac{1}{2} EOD = 90^\circ - \tfrac{1}{2} AOD - \tfrac{1}{2} EOA.$$

Перемѣщеніе $e'v$ золотника, соотвѣтствующее углу предваренія впуска, называется обычно линейнымъ предвареніемъ впуска.

Въ сдѣланныхъ ранѣе предположеніяхъ относительно расположенія рабочихъ граней, схема III ф. 17 показываетъ, что въ этомъ случаѣ рабочая впускная грань золотника смѣщена только на величину $\alpha\delta$ и перекрыша впуска Oe' здѣсь меньше, чѣмъ въ золотникѣ безъ предваренія впуска, на величину ee', соотвѣтствующую углу $\angle gOd = \frac{\angle EOA}{2}$.

Такимъ образомъ въ золотникѣ съ предвареніемъ впуска и расширеніемъ уголъ заклинки плеча захвата $\angle bOg'$ равенъ полуразности угла впуска $\angle AOD$ и угла предваренія впуска $\angle EOA$. Уголъ опереженія $\angle aOg'$ дополняетъ уголъ заклинки до 90°, а уголъ перемѣщенія плеча захвата, соотвѣтствующій перемѣщенію золотника на величину перекрыши впуска, или короче—уголъ перекрыши впуска — дополняетъ до 90° сумму угла заклинки и угла предваренія впуска, то есть дополняетъ до 90° полусумму угла впуска и угла предваренія впуска *)

$$\angle aOg = 90 - \frac{\angle AOD + \angle EOA}{2}.$$

Путь $2Ob$ золотника отъ средняго до средняго положенія составляется изъ удвоенной суммы: перемѣщенія Oe' — перекрыши впуска и перемѣщенія $e'b$— полнаго открытія впускного окна, состоящаго въ свою очередь изъ перемѣщенія $e'v$, соотвѣтствующаго открытію окна за періодъ предваренія впуска, и изъ перемѣщенія vb — открытія окна за періодъ впуска.

Изъ ф. 17 видно также, что при заданныхъ углахъ AOD и EOA, величины перемѣщеній золотника Oe', $e'v$ и vb прямо пропорціональны плечу захвата Oa или Ob.

Перемѣщеніе Ob—очевидно—равно полуходу золотника между крайними его положеніями, такъ какъ разсматривалось только то движеніе золотника, которое управляетъ впускомъ пара въ одно окно цилиндра. Полный же ходъ золотника за время оборота кривошипа или двойного хода поршня равенъ $4Ob$.

§ 6. Выпускъ пара.

Высказанныя выше замѣчанія даютъ возможность установить, что вторая функція золотника—управленіе выпускомъ пара—можетъ продолжаться въ теченіе любого угла поворота кривошипа, начинаясь предвареніемъ выпуска и кончаясь началомъ сжатія. Однако моментъ наибольшаго открытія окна для выпуска пара уже предопредѣленъ заклинкою плеча захвата и отстоитъ отъ момента наибольшаго открытія окна той же стороны цилиндра для впуска пара на уголъ

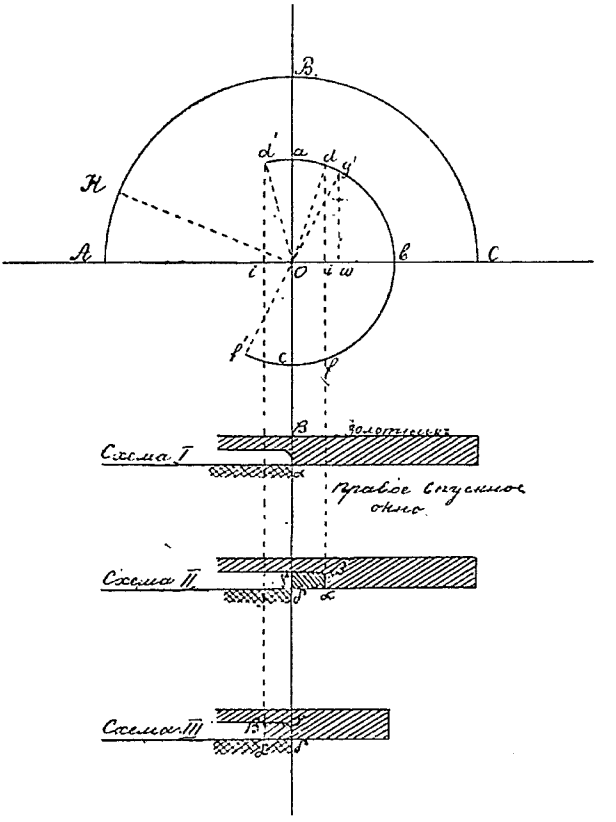
*) Онъ равенъ также разности угла опереженія и угла предваренія впуска.

поворота кривошипа въ 180°, совпадая съ моментомъ наибольшаго открытія окна для впуска пара съ другой стороны поршня.

Такимъ образомъ продолжительность выпуска зависитъ отъ соотвѣтственнаго размѣщенія выпускной грани золотника и перемѣщеніемъ этой грани можно достичь измѣненія продолжительности выпуска, но за счетъ измѣненія угловъ предваренія выпуска и сжатія. Если задано предвареніе выпуска или опредѣлено начало сжатія, то продолжительность выпуска и положеніе рабочей выпускной грани золотника тѣмъ самымъ уже фиксированы.

Напримѣръ, въ золотникѣ безъ перекрышъ (ф. 7) выпускъ изъ праваго окна d_1 b_1 будетъ начинаться въ началѣ хода въ моментъ A (ф. 18). Уголъ заклинки этого золотника $=90°$, слѣдовательно выпускъ, начавшійся въ a, окончится въ c, то есть происходитъ на всемъ протяженіи хода поршня, когда кривошипъ описываетъ уголъ $ABC = 180°$.

Если считать рабочую выпускную грань d (ф. 7) золотника совпадающею съ проекціею въ разсматриваемый моментъ на линію хода золотника точки захвата, а рабочую выпускную грань d_1 соотвѣтственнаго окна цилиндра совмѣстить съ вертикалью BO (ф. 18)—среднимъ положеніемъ грани d за ходъ золотника, то въ моментъ A будетъ происходить совпаденіе этихъ граней и повторяться вновь въ моментъ C (схема I ф. 18). Понятно, что золотникъ можетъ начать выпускъ въ любой моментъ H (ф. 18) послѣ начала хода, но для этого надлежитъ измѣнить соотвѣтственно положеніе рабочей выпускной грани золотника.



Фиг. 18.

Въ моментъ H рабочая грань золотника безъ перекрышъ будетъ совпадать съ проекціей точки d, для которой $\angle aOd = AOH$, то есть окно было бы уже открыто на величину Oi. Перемѣстивъ грань золотника на эту длину, или—что тоже—удлинивъ пластинку золотника на площадку $\alpha\beta\gamma\delta$, можно достичь того, что окно начнетъ открываться точно въ данный моментъ, но легко видѣть, что оно будетъ закрываться въ моментъ f ранѣе конца хода кривошипа на тотъ же уголъ AOH. Слѣдовательно, измѣненный указаннымъ способомъ золотникъ прекращаетъ выпускъ ранѣе конца хода и даетъ сжатіе. Величина перемѣщенія Oi рабочей выпускной грани золотника, или (что тоже) длина $\alpha\delta$ площадки $\alpha\beta\gamma\delta$

(схема II, ф. 18) представляетъ перекрышу выпуска; уголъ dOf равный $2 \llcorner HOB$ есть уголъ выпуска, длина ib — наибольшее открытіе окна въ періодъ выпуска.

Въ такомъ видѣ, однако, золотникъ не пригоденъ для распредѣленія, такъ какъ онъ производитъ выпускъ не съ начала хода, а позже, то есть въ началѣ хода, на углѣ AOH, происходитъ сжатіе пара съ нерабочей стороны поршня.

Въ устраненіе этого недостатка необходимо примѣнить золотникъ съ перекрышами (ф. 8), причемъ придать золотнику такую перекрышу впуска (внѣшнюю перекрышу), чтобы уголъ заклинки его bOd (ф. 17) былъ равенъ или меньше угла bOd (ф. 18), если впускъ начинается съ момента A (схема II ф. 17). Тогда и выпускъ пара будетъ начинаться также въ моментъ A или нѣсколько раньше и золотникъ будетъ давать даже нѣкоторое предвареніе выпуска.

Такимъ образомъ въ золотникахъ безъ предваренія впуска (схема II, ф. 17) продолжительность впуска не можетъ быть больше продолжительности выпуска, перекрыша выпуска въ нихъ вообще должна быть меньше перекрыши впуска и окно открывается для выпуска больше, чѣмъ для впуска.

Въ золотникахъ съ предвареніемъ впуска (схема III, ф. 17), на томъ же основаніи, продолжительность выпуска не можетъ быть меньше двойного угла заклинки, то есть точка d (ф. 18) должна или совпадать съ точкой g' (ф. 17) или уголъ aOd (ф. 18) долженъ быть меньше угла aOg' (ф. 17). Но, говоря вообще, продолжительность впуска—двойной уголъ gOb—можетъ быть и больше продолжительности выпуска, т. е. двойного угла dOb, а слѣдовательно перекрыша выпуска Oi можетъ быть и больше перекрыши впуска Oe'.

Однако такое устройство золотника нераціонально, такъ какъ онъ будетъ начинать предвареніе выпуска позже, чѣмъ предвареніе впуска, и давать сжатіе большей продолжительности, чѣмъ расширеніе. Поэтому точка d (ф. 18) и въ этихъ золотникахъ выбирается ближе къ a, чѣмъ точка g (ф. 17) и такимъ образомъ сохраняются въ силѣ замѣчанія, высказанныя выше относительно вевеличинъ перекрышъ золотника и относительно продолжительности періодовъ впуска и выпуска.

Точка d можетъ быть выбрана и по другую сторону точки a, напримѣръ въ точкѣ d' (ф. 18), такъ что перекрыша выпуска становится отрицательною Oi'. Этому соотвѣтствуетъ схема III (ф. 18), изъ которой видно, что въ этомъ случаѣ изъ пластинки золотника (ф. 7) надо вырѣзать площадку $\alpha\beta\gamma\delta$.

Выпускъ будетъ происходить на длинѣ $2i'b$, при углѣ $\llcorner d'Of'$ большемъ 180°, но продолжительность его ограничена условіемъ, чтобы уголъ $\llcorner d'Oa$ былъ меньше угла $\llcorner gOa$ (ф. 17), то есть, чтобы выпускъ кончился раньше, чѣмъ начнется впускъ съ данной стороны поршня, который произойдетъ въ моментъ h' (ф. 17), отстоящій на 180° отъ момента g. Иначе говоря, отрицательная перекрыша выпуска по величинѣ не можетъ быть больше перекрыши впуска.

Замѣтимъ здѣсь кстати, что при заданномъ углѣ предваренія выпуска $\llcorner dOg'$ (ф. 18) перекрыша выпуска Oi измѣняется прямо пропорціонально плечу захвата и опредѣляется угломъ $\llcorner aOd$, дополняющимъ до 90° сумму угла заклинки $\llcorner bOg'$ и угла предваренія выпуска $\llcorner dOg'$ *). Перемѣщеніе iw, соотвѣтствующее углу $\llcorner dOg'$, представляетъ линейное предвареніе выпуска.

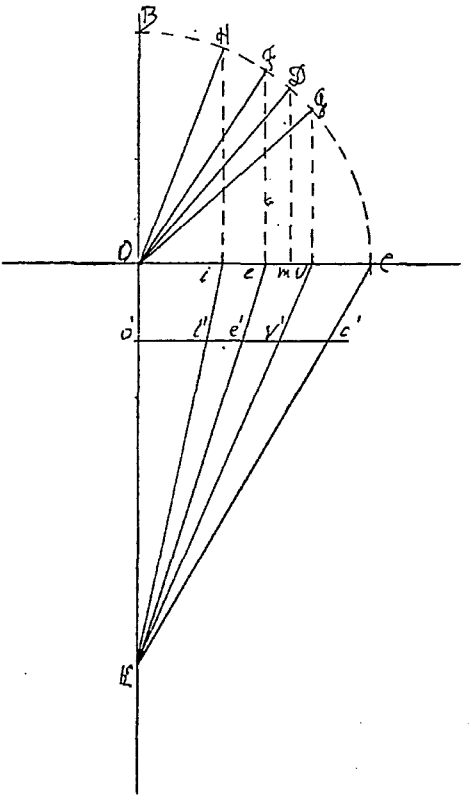
*) Онъ равенъ также разности угла опереженія $\llcorner \alpha Og'$ и угла предваренія выпуска $\llcorner dOg'$.

§ 7. Построеніе золотника.

Пусть задано спроектировать золотникъ по данному углу впуска, углу предваренія впуска и углу предваренія выпуска, при добавочномъ условіи, чтобы наибольшее открытіе окна при впускѣ составляло a м.м.

Откладываютъ отъ линіи хода $\overline{OC}$ (ф. 19) уголъ $\angle COD$, равный половинѣ угла впуска, затѣмъ по обѣ стороны $\overline{OD}$ откладываютъ по половинѣ угла предваренія впуска, то есть $\angle DOF = \angle DOG$, и наконецъ откладываютъ отъ $\overline{OG}$ уголъ предваренія выпуска GOH.

Проводятъ изъ O произвольнымъ радіусомъ дугу BHC и спроектировываютъ точки ея пересѣченія H, F, D, G съ лучами $\overline{OH}$, $\overline{OF}$, $\overline{OD}$, $\overline{OG}$ на линію хода $\overline{OC}$. Проекція $\overline{Oi}$ представитъ перекрышу выпуска, $\overline{Oe}$—перекрышу впуска, $\overline{ev}$—линейное предвареніе впуска, $\overline{iv}$ — линейное предвареніе выпуска и $\overline{eO}$ — наибольшее открытіе окна при впускѣ — для золотника, плечо захвата у котораго $= \overline{OC}$.



Фиг. 19.

Однако найденныя величины не удовлетворяютъ еще заданію вполнѣ, такъ какъ полученное открытіе окна $\overline{eC}$—вообще говоря—неравно a м.м. Но, въ виду подмѣченной выше пропорціональности всѣхъ этихъ величинъ плечу захвата, легко найти такое плечо захвата, чтобы открытіе окна составило a м.м.

Для этого соединяютъ точки i, e, v, C прямыми съ точкою K, произвольно выбранною на перпендикулярѣ къ линіи хода, проходящемъ черезъ точку O, и проводятъ линію $\overline{O'c'}$, параллельно $\overline{OC}$ такъ, чтобы отрѣзокъ ея $\overline{e'c'}$ между прямыми $\overline{eK}$ и $\overline{CK}$ былъ равенъ a м.м. Тогда $\overline{O'c'}$ будетъ искомое плечо захвата; $\overline{O'e'}$ — перекрыша впуска, $\overline{O'i'}$ — перекрыша выпуска; $\overline{e'v'}$ и $\overline{i'v'}$ — линейныя предваренія впуска и выпуска.

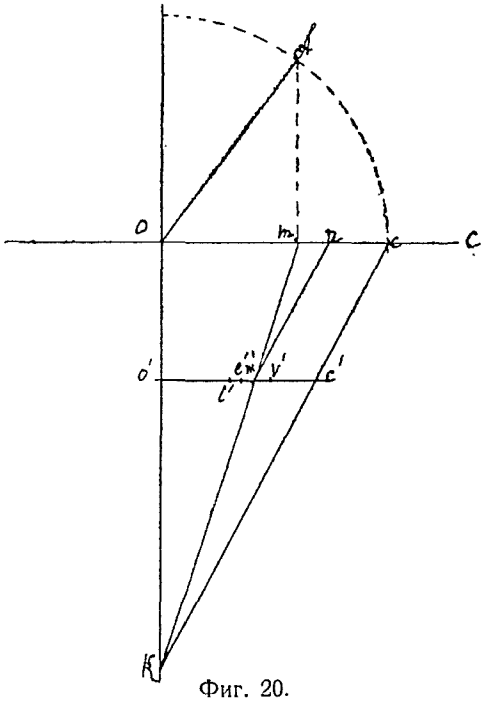
Часто, вмѣсто угла предваренія впуска задается линейное предвареніе впуска въ миллиметрахъ. Въ этомъ случаѣ, съ достаточной степенью точности, можно принять за плечо захвата длину $O'c'$ (ф. 20), полученную слѣдующимъ построеніемъ.

Откладывается какъ и прежде уголъ $\angle COA$, равный половинѣ угла впуска, берется произвольное плечо захвата $\overline{Oc}$ и точка A проектируется на $\overline{OC}$ въ m. Затѣмъ, точки m и c соединяются прямыми съ произвольною точкою K перпендикуляра къ $\overline{OC}$ въ точкѣ O и, отложивъ отъ точки c длину $\overline{cn}$, равную разности наибольшаго открытія окна a м.м. и половины заданнаго линейнаго пред-

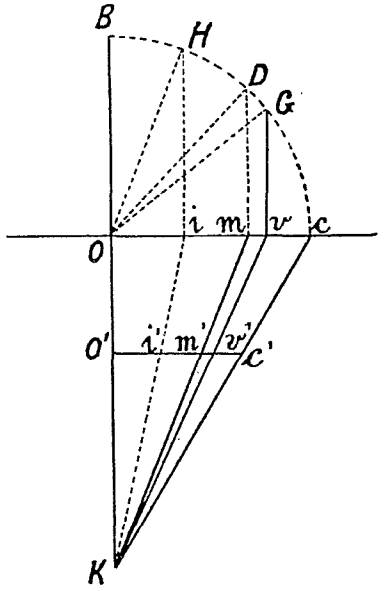
варенія впуска, переносятъ эту длину параллельно къ $\overline{CK}$ до пересѣченія съ прямою $\overline{Km}$ въ точкѣ m'. Черезъ точку m' проводятъ прямую $\overline{O'C'}$ параллельно $\overline{OC}$.

Длина $\overline{O'e'}$, равная разности $\overline{O'm'}$ и половины линейнаго предваренія впуска $\overline{m'e'} = \overline{m'v'}$, даетъ перекрышу впуска, длина $\overline{O'i'}$, получаемая вычитаніемъ изъ суммы $\overline{O'm'} + \overline{m'v'}$ длины линейнаго предваренія выпуска $\overline{i'v'}$, представляетъ перекрышу выпуска.

Собственно говоря, длины $\overline{em}$ и $\overline{mv}$ (ф. 19), соотвѣтствующія равнымъ угламъ



Фиг. 20.



Фиг. 21.

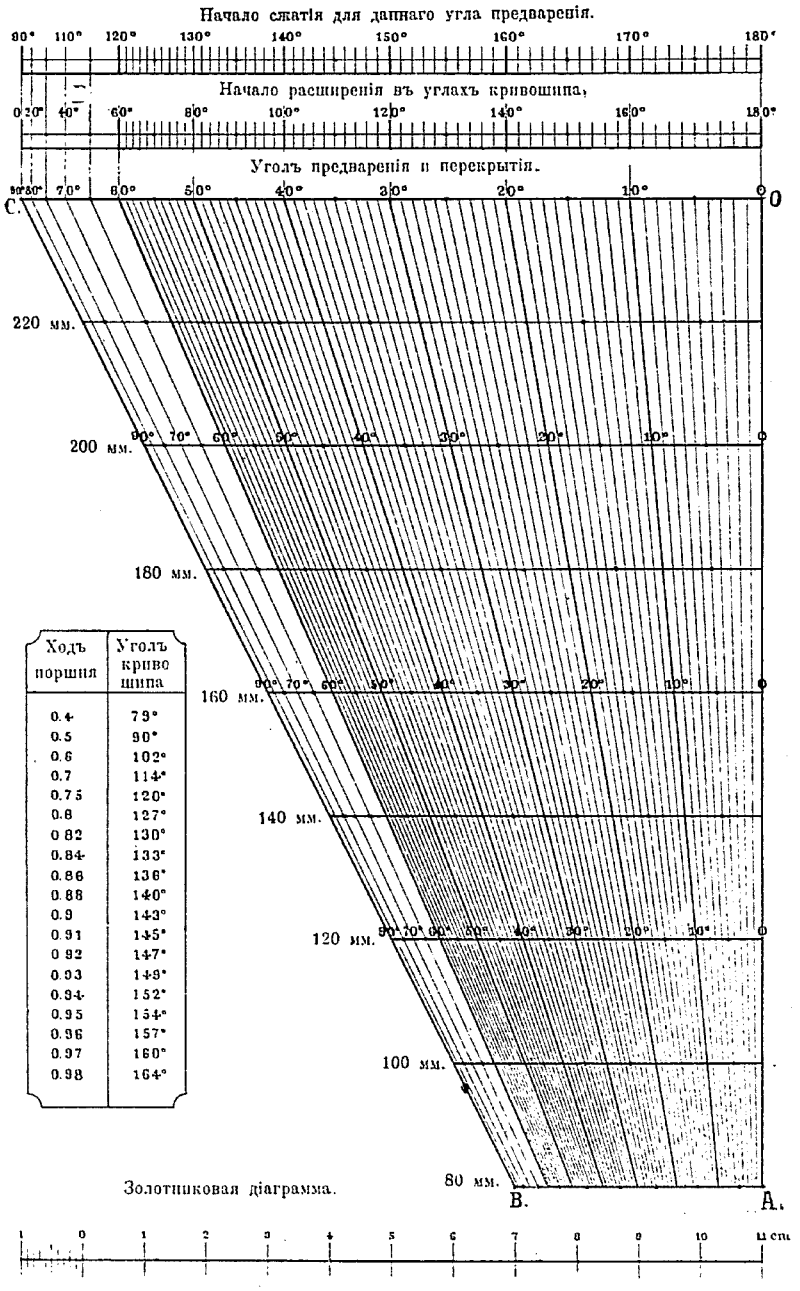
$\angle FOD$ и $\angle DOG$, не равны между собою и не равны $\frac{1}{2}\,\overline{ev}$. Но изъ геометрическихъ соотношеній, слѣдуетъ

$$\frac{\overline{em} - \overline{mv}}{\overline{ev}} = \frac{Sin\,\alpha}{Cos\,\alpha} \cdot \frac{1 - Cos\,\beta}{Sin\,\beta},$$

если обозначить черезъ α уголъ $\angle DOB$ и черезъ β уголъ $\angle FOD = \angle DOG$. Уголъ α всегда меньше 45°, уголъ β не больше 10°, слѣдовательно — разность между длинами $\overline{em}$ и $\overline{mv}$ не достигаетъ 0,1 $\overline{ev}$ или при $ev = 4$ м.м., разность меньше 0,4 м.м. то есть лежитъ въ предѣлахъ допускаемыхъ ошибокъ.

Оба приведенныя выше построенія безъ труда распространяются и на тотъ случай, если взятое произвольно плечо $\overline{Oc}$ окажется меньше искомаго $\overline{O'c'}$.

Если во второмъ построеніи вмѣсто линейнаго предваренія выпуска будетъ заданъ уголъ предваренія выпуска, то опредѣляютъ сначала уголъ заклинки плеча захвата, проводя черезъ K и v' линію $\overline{Kv'}$ (ф. 21) до пересѣченія съ $\overline{OC}$ въ точкѣ v, которая будетъ проекціей концевой точки плеча захвата $\overline{OG}$ въ начальный моментъ, и затѣмъ прибавляютъ къ углу заклинки $\angle cOG$ данный уголъ предваренія выпуска $\angle GOH$ и проектируютъ точку H въ i. Пересѣченіе съ $\overline{o'c'}$ прямой $\overline{iK}$ даетъ точку i', опредѣляющую длину перекрыши выпуска $\overline{O'i'}$.



Ходъ поршня	Уголъ кривошипа
0.4	79°
0.5	90°
0.6	102°
0.7	114°
0.75	120°
0.8	127°
0.82	130°
0.84	133°
0.86	136°
0.88	140°
0.9	143°
0.91	145°
0.92	147°
0.93	149°
0.94	152°
0.95	154°
0.96	157°
0.97	160°
0.98	164°

Фиг. 22.

Если заданъ уголъ, опредѣляющій отстояніе начала сжатія отъ конца хода (уголъ начала сжатія), то вычитая изъ 180° сумму его съ удвоеннымъ угломъ заклинки получится уголъ предваренія выпуска *) и далѣе построеніе можетъ быть ведено по указанному выше.

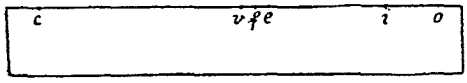
§ 8. Золотниковая діаграмма.

Для облегченія примѣненія на практикѣ предложенныхъ выше построеній на фиг. 22 нанесена діаграмма **), значительно упрощающая манипуляціи по выбору золотника.

Напримѣръ, требуется найти плечо захвата, длину перекрыши впуска и выпуска для золотника, дающаго впускъ на 0,8 хода поршня при углѣ предваренія выпуска 21°, причемъ линейное предвареніе впуска должно быть 4 м.м. и наибольшее открытіе окна при впускѣ 38 м.м.

Берутъ полоску бумаги и наносятъ на ней 4 точки e, f, v, c (ф. 23) такъ, что $\overline{ef} = \overline{fv} = 2$ м.м., то есть равно половинѣ линейнаго предваренія впуска, а $\overline{fc} = 36$ м.м., разность наибольшаго открытія окна и $\overline{ef}$.

Двигаютъ полоску параллельно $\overline{OC}$ такъ, чтобы точка C оставалась на директриссѣ $\overline{CB}$, пока точка f не совпадетъ съ проекціонной линіей угла 26,5°, соотвѣтствующей углу кривошипа въ 127°, каковой уголъ отвѣчаетъ 0,8 хода поршня при безконечно длинномъ шатунѣ (таблица А).



Фиг. 23.

Если задано отношеніе шатуна къ кривошипу и указано, къ какому ходу поршня—впередъ или назадъ—относится заданная точка 0,8 хода, то соотвѣтствующій уголъ кривошипа можетъ быть опредѣленъ по таблицѣ Б.

Наносятъ теперь на полоску бумаги точки o и i пересѣченія ея съ линіей $\overline{OA}$ и съ проекціонной линіей угла, отстоящей отъ проекціонной линіи содержащей точку v на 21° (уголъ предваренія выпуска). Тогда по масштабу получаютъ: плечо захвата $\overline{Oc} = 65$ м.м., перекрыша впуска $\overline{Oe} = 27$ м.м., перекрыша выпуска $\overline{Oi} = 8$ м.м.

Подобнымъ-же образомъ примѣняется золотниковая діаграмма и при другихъ заданіяхъ.

Напримѣръ, если дано наполненіе 0,8 хода поршня, перекрыша впуска $\overline{oe} = 27$ м.м. и предвареніе впуска $\overline{ev} = 4$ м.м., то примѣняя ту же полоску съ нанесенными на ней точками o, e, f, v и двигая ее параллельно $\overline{OC}$ такъ, чтобы точка o шла по линіи $\overline{OA}$, а точка f совпала съ проекціонной линіей угла 26,5°, легко найдется точка c изъ совпаденія съ директриссой $\overline{CB}$ и опредѣлится плечо захвата $\overline{oc} = 65$ м.м.

§ 9. Дополнительныя данныя.

Изъ предыдущаго слѣдуетъ, что кромѣ степени наполненія, даваемой золотникомъ, для построенія его должны быть заданы еще:

*) Этотъ же уголъ можетъ быть полученъ вычитаніемъ угла сжатія изъ удвоеннаго угла опереженія.

**) Die practische Anwendung der Schieber und Coulissen—steuerungen von W. S. Auchincloss. Deutsche Uebersetzung von A. Müller. Berlin. 1886.

а) двѣ изъ величинъ:
уголъ предваренія впуска,
линейное предвареніе впуска,
наибольшее открытіе окна,
перекрыша впуска,
плечо захвата,
и б) одна изъ величинъ:
уголъ предваренія выпуска,
линейное предвареніе выпуска,
уголъ сжатія,
перекрыша выпуска.

Выборъ указанныхъ величинъ для паровозныхъ золотниковъ, приводимыхъ въ движеніе кулисами, въ особенности же выборъ угловъ и линейныхъ предвареній впуска и выпуска, а также угла сжатія—находится въ тѣсной зависимости отъ конструкціи кулиснаго механизма. По этому болѣе подробныя, относящіяся къ выбору ихъ указанія приведены позднѣе въ главѣ, разсматривающей кулисные приборы, здѣсь же указаны только общія соотношенія, имѣющія мѣсто въ существующихъ паровозныхъ золотникахъ.

Наибольшее открытіе $\underline{a}$ впускного окна должно быть по возможности равнымъ ширинѣ s окна и даже превосходить ее миллиметровъ на пять. Обычно же въ паровозахъ открытіе окна бываетъ меньше ширины окна, но желательно во всякомъ случаѣ не выбирать $\underline{a}$ меньше, чѣмъ

$$a^{\text{м.м.}} = 0{,}75\, s^{\text{м.м.}} + 5^{\text{м.м.}}.$$

Перекрыша впуска e въ зависимости отъ скорости поршня v въ $\frac{\text{метр.}}{\text{сек.}}$ и ширины окна s берется изъ

$$e = (0{,}67 + 0{,}01\, v)\, s.$$

Плечо захвата $r = a + e$.

Перекрыша выпуска $i =$ (0 до 3 м.м.).

Въ завимосиэти отъ размѣровъ, опредѣляемыхъ по условіямъ парораспредѣленія находятся еще слѣдующія величины.

Толщина b стѣнки золотниковаго зеркала между впускнымъ и выпускнымъ окномъ дѣлается приблизительно равной или нѣсколько меньше стѣнки парового цилиндра. Во всякомъ случаѣ необходимо придать ей такую толщину, чтобы при наибольшемъ открытіи a впускного окна, если a больше ширины (иначе—высоты) s этого окна, не могло быть протока пара изъ золотниковой коробки въ выпускное окно. Съ этой цѣлью ее дѣлаютъ миллиметровъ на семь, на десять больше разности между наибольшимъ открытіемъ и шириной впускного окна.

$$b^{\text{м.м.}} = (a - s)^{\text{м.м.}} + (7 \text{ до } 10)^{\text{м.м.}} \; *)$$

По Цейнеру, исходя изъ условій прочности простѣнка,

$$b^{\text{м.м.}} = 10 + 0{,}5\, s^{\text{м.м.}}.$$

*) Это условіе имѣетъ мѣсто только при $a > s$.

Ширина w выпускного окна выбирается приблизительно въ полтора—два раза больше высоты s впускного окна и во всякомъ случаѣ это окно при наибольшемъ уклоненіи золотника отъ средняго положенія должно оставаться открытымъ, какъ и впускное окно, на a м.м., если a меньше s, и не меньше чѣмъ на ширину s впускного окна, если a больше s.

$$w = r + a + i - b.$$

Такимъ образомъ, ширина выпускного окна должна быть равна или больше уменьшенной на толщину b суммы изъ плеча захвата, положительной перекрыши выпуска и наибольшаго открытія впускного окна при впускѣ или же его ширины, когда $s < a$.

Иначе

$$w \geqslant 2a + e + i - b,$$

при

$$a < s;$$

въ противномъ случаѣ

$$w \geqslant 2s + e + i - b.$$

Приведенныя указанія даютъ возможность назначить всѣ основные размѣры золотника и золотниковаго зеркала.

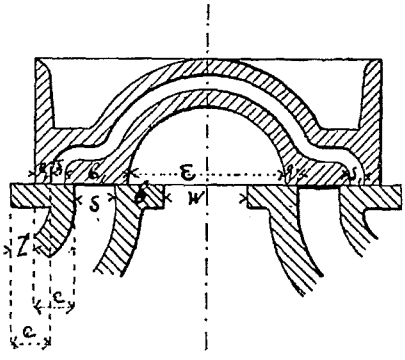
Общая длина золотника

$$2\,(e + s + b) + w,$$

длина выемки въ немъ

$$2\,(b - i) + w.$$

Въ золотникахъ съ каналомъ Трика (фиг. 24) разстояніе между внутренними гранями канала превышаетъ разстояніе между наружными гранями впускныхъ оконъ на $2q$ съ такимъ расчетомъ, чтобы при наибольшемъ уклоненіи золотника изъ средняго положенія



Фиг. 24.

$$r = a + e,$$

гдѣ a—наибольшее открытіе окна, не считая канала,

» e—перекрыша впуска,

не произошло перепуска пара черезъ каналъ въ выпускное окно

$$q \geqslant a + e - s - b + 5 \text{ мм.}$$

Но обычно для золотниковъ Трика окно открывается не на полную его высоту, такъ что

$$s + b > a + e + 5.$$

а потому достаточно дѣлать

$$q = 0.$$

Такимъ образомъ, толщина стѣнки золотниковаго зеркала между окнами выбирается по стѣнкѣ цилиндра и обычно

$$b \geqslant a + e - s + 5 \text{ мм.}$$

Толщина b_1 стѣнки между выпускною полостью золотника и каналомъ найдется по условію

$$b_1 = s + i + q.$$

Ширина s_1 канала выбирается въ предѣлахъ

$$s_1 = (9 - 15) \text{ мм.}$$

Толщина e_1 наружной стѣнки канала найдется изъ

$$e_1 + s_1 = e - q,$$

причемъ часто задаются

$$s_1 = e_1 + [\text{отъ } 1 \text{ до } 2 \text{ мм.}].$$

По условію работы золотника разстояніе отъ внѣшней грани впускного окна цилиндра до края золотниковаго стола, дѣлается равнымъ двойной перекрышѣ впуска, уменьшенной на величину внѣшней стѣнки канала, то есть

$$f = e + t = 2e - e_1.$$

§ 10. Перемѣщенія простого золотника.

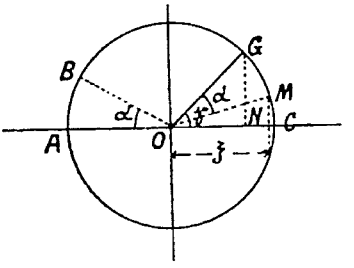
Аналитическое выраженіе перемѣщенія ξ отъ средняго иоложенія золотника, ведомаго однимъ эксцентрикомъ или кривошипомъ съ плечомъ захвата

$$OG = r$$

(ф. 25) и угломъ заклинки

$$\angle GOC = \gamma,$$

при безконечно длинной тягѣ найдется для произвольнаго угла α поворота кривошипа изъ мертваго положенія, какъ выраженіе въ функціи отъ r, γ и α длины ON, представляющей проекцію на линіи хода золотника плеча захвата OM въ соотвѣтствующемъ углу α положеніи



Фиг. 25.

$$\xi = r \cos(\gamma - \alpha),$$

или

$$\xi = r \cos\gamma \,.\, \cos\alpha + r \sin\gamma \,.\, \sin\alpha.$$

Такимъ образомъ, перемѣщеніе золотника выражается функціей отъ синуса и косинуса угла поворота

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

и коэффиціенты A и B зависятъ только отъ r и γ

$$A = r \cos\gamma; \qquad B = r \sin\gamma.$$

Обратно, если извѣстно перемѣщеніе золотника въ функціи отъ угла поворота кривошипа

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

то длина плеча захвата и уголъ заклинки ведущаго золотника эксцентрика будутъ

$$r = \sqrt{A^2 + B^2} \quad \text{и} \quad \gamma = arc\, tg \left(\frac{B}{A}\right).$$

Если заданъ уголъ Θ, на которомъ происходитъ впускъ пара, и уголъ ϑ предваренія впуска, то (ф. 17) уголъ заклинки

$$\gamma = \frac{\Theta - \vartheta}{2}.$$

Если еще задано наибольшее открытіе a впускного окна, то зависимости

$$r = e + a; \quad e = r \cos \frac{\Theta + \vartheta}{2} \text{ *)}$$

даютъ

$$r = \frac{a}{1 - \cos \frac{1}{2}(\Theta + \vartheta)}.$$

Если вмѣсто угла предваренія впуска задано линейное предвареніе v впуска, то имѣются зависимости

$$\cos \gamma = \cos \frac{\Theta - \vartheta}{2}; \; v = 2r \sin \frac{\Theta}{2} \sin \frac{\vartheta}{2}; \; a = r \left[1 - \cos \frac{1}{2}(\Theta + \vartheta)\right],$$

изъ которыхъ $\left(\text{пренебрегая членомъ } \frac{v^2}{4 \sin^2 \frac{\Theta}{2}}, \text{ т. е. считая } \cos \frac{\vartheta}{2} = 1\right)$ получается

$$r = \frac{a - \frac{v}{2}}{1 - \cos \frac{\Theta}{2}}$$

и

$$\cos \gamma = 1 - \frac{a - v}{r}$$

---

*) Интересна также зависимость

$$e = A \cos \Theta + B \sin \Theta,$$

изъ которой при

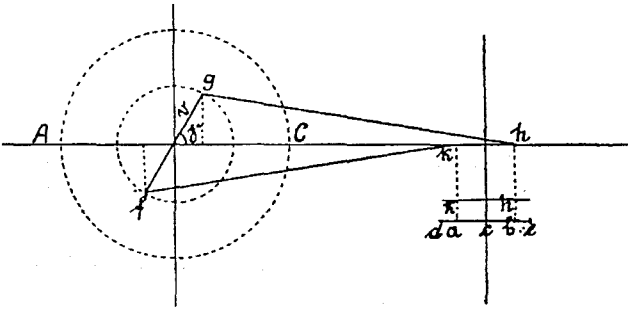
$$\Theta = 90^\circ$$

слѣдуетъ

$$e = B.$$

§ 11. Уравниваніе линейныхъ предвареній впуска.

Какъ было указано, опредѣленіе размѣровъ золотника построеніемъ помощью золотниковой діаграммы, или же путемъ аналитическаго расчета, основывается на предположеніи, что вліяніемъ конечной длины передаточной [эксцентриковой] тяги можно пренебречь. Вліяніе это дѣйствительно незначительно и отражается измѣненіемъ въ отклоненіяхъ золотника не болѣе, чѣмъ на 2—3 мм. Однако это измѣненіе не должно отзываться въ моменты малыхъ открытій оконъ, то есть въ моменты, соотвѣтствующіе положеніямъ поршня вблизи мертвыхъ точекъ и въ моментъ отсѣчки. Съ этою же цѣлью при среднемъ положеніи золотника его ось симметріи должна по возможности точно соотвѣтствовать средней линіи золотниковаго зеркала. На практикѣ фиксировать точно положеніе оси золотника при среднемъ его положеніи весьма затруднительно, поэтому обыкновенно устанавливаютъ золотникъ на равныя линейныя предваренія впуска, то есть приравниваютъ отклоненія золотника отъ средняго положенія при мертвыхъ положеніяхъ поршня.



Фиг. 26.

Напримѣръ, отмѣчаютъ на направляющей, по которой движется головка золотниковаго стержня, положенія какой-либо точки головки въ моменты начала открытія золотникомъ праваго и лѣваго впускного окна, напримѣръ, a и b (фиг. 26) для проекціи осевой линіи шарнира головки. Находятъ дѣленіемъ среднюю точку c и откладываютъ отъ a и b линейныя предваренія ad и be. Понятно, что (говоря вообще) при положеніяхъ оси головки въ точкахъ d и e поршень можетъ не приходится въ мертвыхъ положеніяхъ. Тогда, установивъ поршень въ одно изъ мертвыхъ положеній, измѣняютъ длину эксцентриковой тяги настолько, чтобы мѣтка на головкѣ совпала съ соотвѣтствующей точкой d или e и перебуксовываютъ колесо до второго мертваго положенія, причемъ мѣтка головки должна совпасть съ другой изъ точекъ d и e. На фиг. 26 положенію кривошипа A соотвѣтствуетъ точка захвата g и положеніе мѣтки при неизмѣненной тягѣ въ h, положенію кривошипа въ C соотвѣтствуетъ точка захвата f и мѣтка въ k. Послѣ измѣненія длины тяги мѣтка совпадаетъ съ e и d.

Общая длина ed равна kh.

Искомую длину l тяги можно опредѣлить по формулѣ

$$l = \sqrt{l_0^2 + r^2 \sin^2 \gamma}$$

гдѣ l_0 разстояніе средняго положенія осевой линіи шарнира головки золотниковаго стержня до центра ведущей оси паровоза.

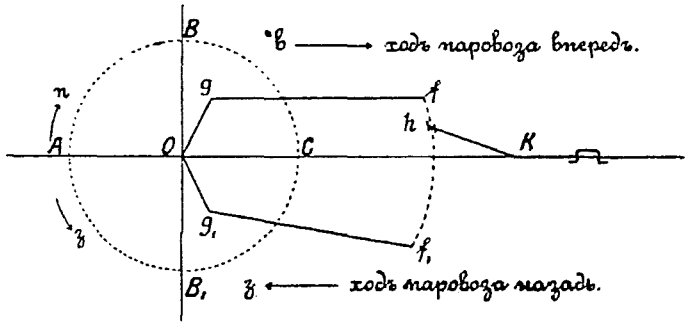
ГЛАВА II.

Кулисные приборы, ихъ теорія.

§ 12. Перемѣна хода и отсѣчки.

Устроенное по указаннымъ правиламъ парораспредѣленіе простымъ золотникомъ пригодно только при одномъ направленіи вращенія кривошипа, опредѣляемомъ направленіемъ, въ которомъ отложенъ уголъ заклинки плеча захвата.

Такъ, при переднемъ ходѣ паровоза (по стрѣлкѣ n фиг. 27) ходу поршня впередъ изъ A въ C черезъ B соотвѣтствуетъ заклинка плеча въ g (фиг. 27), то есть въ направленіи къ B отъ AC. Тому же движенію поршня отъ A въ C

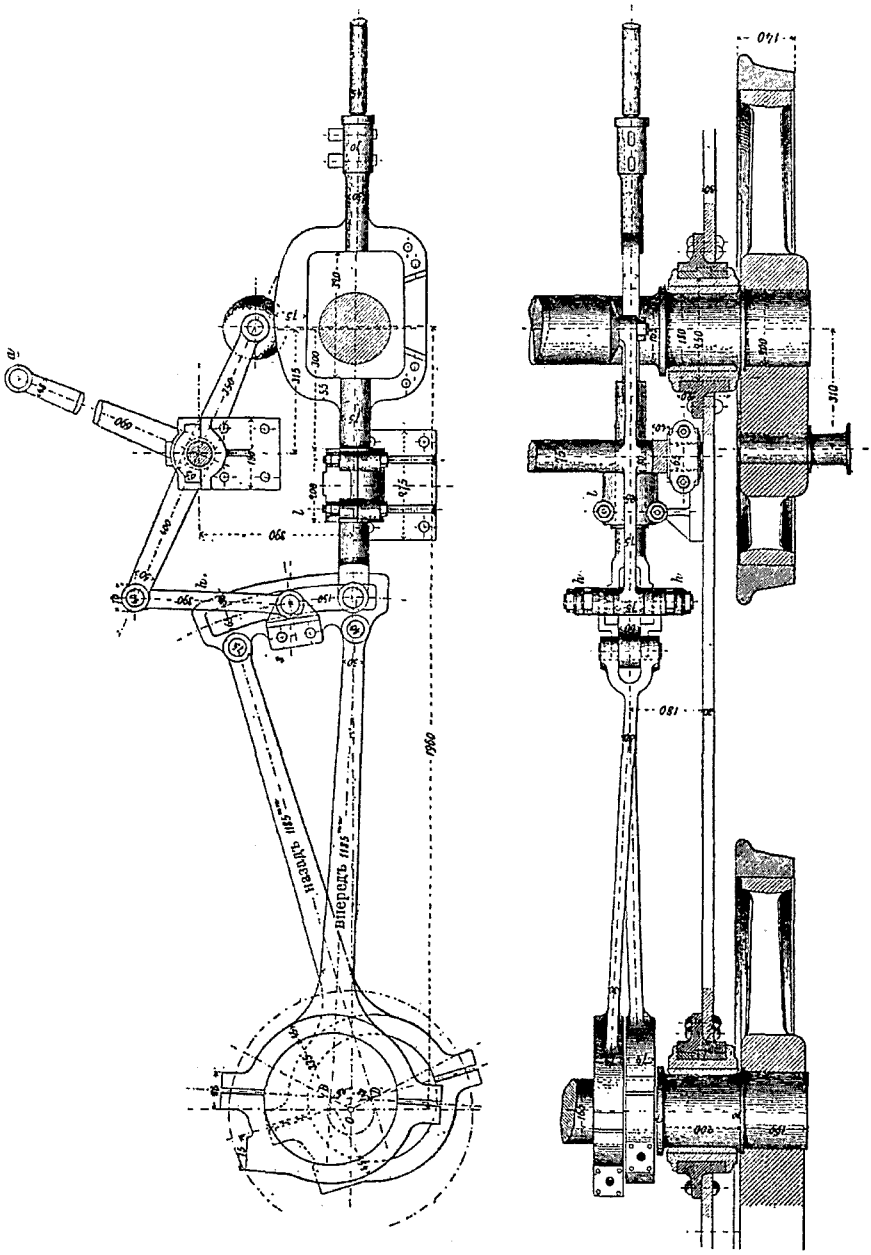


Фиг. 27.

черезъ B_1 для задняго хода паровоза (стрѣлка $з$ фиг. 27) соотвѣтствуетъ заклинка плеча захвата въ g_1, то есть по направленію къ B_1 отъ AC. Сообразно съ этимъ эксцентрикъ съ плечомъ захвата въ g носитъ названіе эксцентрика передняго хода, а эксцентрикъ съ плечомъ въ g_1 называется эксцентрикомъ задняго хода.

Такимъ образомъ, для осуществленія перемѣны направленія движенія въ паровозахъ, даже безъ измѣненія отсѣчки или продолжительности впуска, необходимо имѣть возможность переклинивать эксцентрикъ или же имѣть два устройства, напримѣръ: два эксцентрика съ равными эксцентриситетами, заклиненные подъ равными углами къ линіи хода, но съ разныхъ сторонъ ея.

Вставляя между концами эксцентриковыхъ тягъ gf и g_1f_1 (фиг. 27) промежуточную часть ff_1, дуговой или прямолинейной формы, такъ называемую кулису, и заимствуя движеніе отъ любой промежуточной ея точки при посредствѣ скользящаго по кулисѣ тѣла—камня h и тяги hk, оказывается возможнымъ не только измѣнять распредѣленіе пара въ цилиндрѣ и вызывать перемѣну въ на-



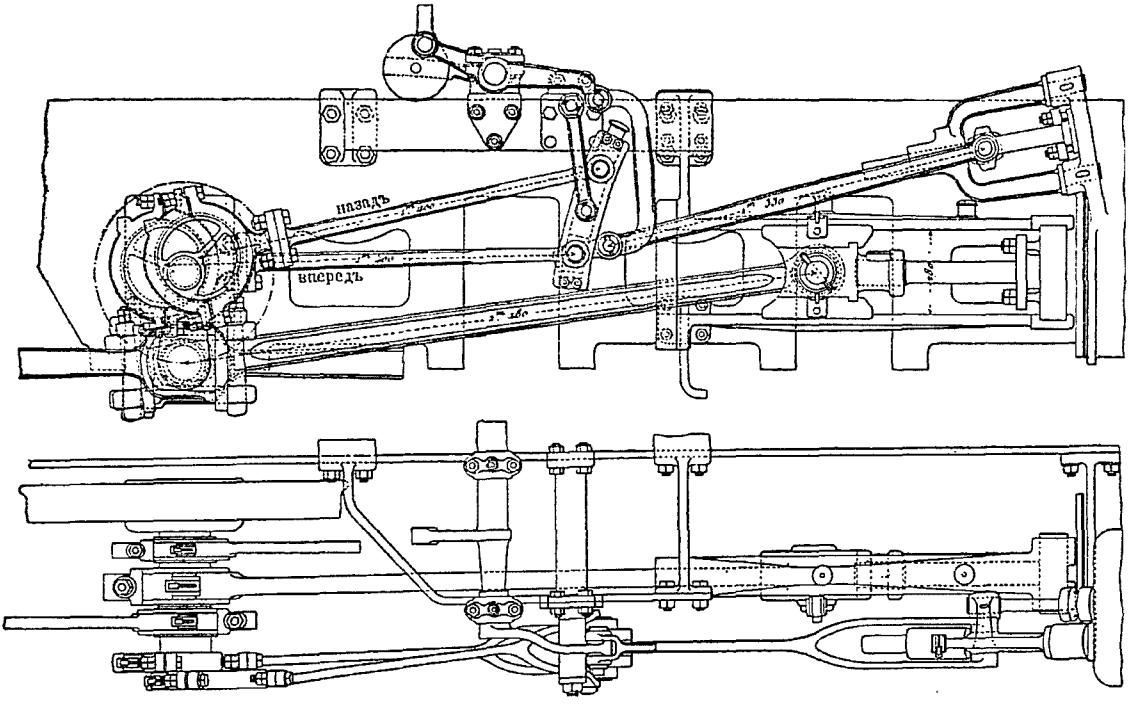
Фиг. 28.

правленіи вращенія кривошипа, но и измѣнять по желанію длину хода золотника и достигать тѣмъ измѣненія наполненія цилиндровъ.

На этомъ принципѣ и были построены первые изъ появившихся парораспредѣлительныхъ приборовъ съ перемѣной хода и отсѣчки. Изъ нихъ въ настоящее время примѣняются еще кулисные приборы (или просто кулисы) Стефенсона, Гуча и Аллана.

§ 13. Кулисы съ двумя эксцентриками

Кулиса Стефенсона (фиг. 28). Кулиса имѣетъ дуговую форму съ центромъ у ведущей оси паровоза. При помощи тяги, подвѣшивающей ее за среднюю часть, иногда за одинъ изъ концовъ, къ перекидному рычагу, она можетъ быть пере-



Фиг. 29.

мѣщаема машинистомъ вверхъ и внизъ по его желанію. Поползушка, скользящая въ кулисѣ, или такъ называемый камень, укрѣплена поворотно къ головкѣ золотниковой тяги, которая направляется неподвижнымъ подшипникомъ и имѣетъ только поступательное движеніе; иногда, впрочемъ, золотниковая тяга направляется подвѣской, сообщающей ей слегка качательное движеніе.

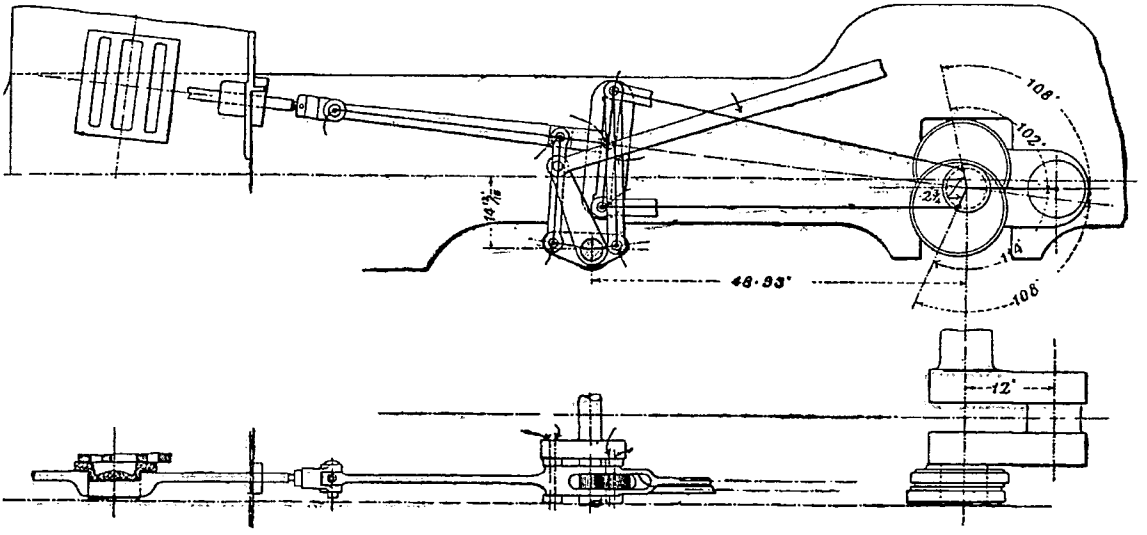
Парораспредѣленіе это отличается большой простотой, занимаетъ относительно мало мѣста и правильность его дѣйствія почти не зависитъ отъ игры рессоръ, при горизонтальномъ его расположеніи. Весьма распространено оно въ Англіи и Америкѣ, причемъ въ послѣдней преимущественно въ соединеніи съ оборотнымъ рычагомъ (фиг. 12).

Кулиса Гуча (фиг. 29). Въ этой системѣ кулиса имѣетъ дуговое очертаніе, но съ центромъ въ головкѣ золотниковаго стержня.

Кулиса подвѣшивается обычно за среднюю часть къ качающейся тягѣ, такъ что имѣетъ только качательное движеніе и небольшое поступательное. Перемѣщеніе же вверхъ и внизъ сообщается въ этой системѣ камню и золотниковой тягѣ, подвѣшивая ихъ къ перекидному рычагу.

Механизмъ этой системы требуетъ много мѣста по длинѣ, что ограничиваетъ его примѣненіе. Сравнительно часто встрѣчается на паровозахъ Австріи и Англіи.

Кулиса Аллана (фиг. 30). Кулиса имѣетъ прямолинейное очертаніе и подвѣшивается тягой за среднюю часть, или за одинъ изъ концовъ, къ двуплечему перекидному рычагу, къ другому концу котораго подвѣшивается золотниковая тяга съ камнемъ. Такимъ образомъ измѣненіе отсѣчки и перемѣна хода производятся одновременнымъ перемѣщеніемъ кулисы и камня. Благодаря этому,



Фиг. 30.

перемѣщенія каждой части въ отдѣльности не велики, а равно не велики и находящіяся съ ними въ связи погрѣшности въ парораспредѣленіи.

Прямолинейное очертаніе кулисы облегчаетъ ея изготовленіе; по характеру же работы эта система парораспредѣленія представляетъ нѣчто среднее между двумя описанными выше системами. Кулиса Аллана была распространена въ Германіи; она довольно сложна, имѣетъ много частей и требуетъ много мѣста.

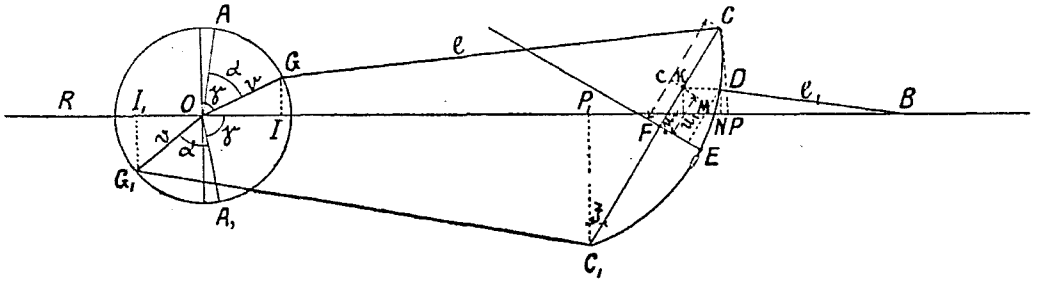
§ 14. Теорія кулисъ съ двумя эксцентрами.

Въ типовомъ устройствѣ кулисъ съ двумя эксцентрами на ведущей оси паровоза заклиниваются два равные эксцентрика подъ равными углами γ (фиг. 31), одинъ изъ нихъ служитъ для передняго хода паровоза, другой для задняго. Точки A и A_1 даютъ положеніе ихъ центровъ при мертвомъ положеніи кривошипа въ R, а точки G и G_1 при поворотѣ кривошипа на уголъ α; плечи захвата ихъ OA и OA_1 обозначены черезъ r. Движеніе каждаго эксцентрика передается тягами GC и G_1C_1, равной длины l, концамъ C и C_1 прямой или выгнутой кулисы CC_1 и отъ нея посредствомъ камня D и подвижной тяги DB, длины l_1, головкѣ B золотниковаго стержня и соединенному съ нимъ золотнику.

Кулиса CC_1 и камень D могутъ быть поднимаемы и опускаемы, вызывая тѣмъ измѣненіе парораспредѣленія.

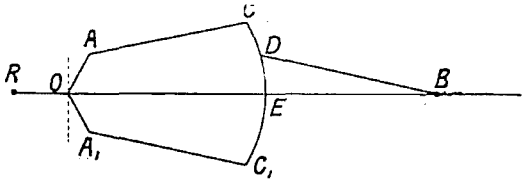
По отношенію къ способу соединенія эксцентриковыхъ тягъ GC, G_1C_1 съ кулисой различаются два устройства: «кулиса съ открытыми тягами» и «кулиса съ перекрестными тягами». Кулиса съ открытыми тягами изображена на фиг. 32, въ ней тяги не перекрещиваются при положеніи кривошипа въ той мертвой точкѣ R, когда плечи захвата OA и OA_1 обращены въ кулисѣ, въ кулисѣ же съ перекрестными тягами (фиг. 33) тяги въ этотъ моментъ перекрещиваются

При теоретическомъ изслѣдованіи эти устройства различаются тѣмъ, что величина $\overline{EC}$ длины дуги кулисы отъ ея средней точки E до точки захвата C принимается отрицательной въ кулисѣ съ перекрестными тягами.

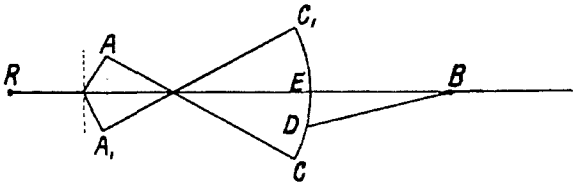


Фиг. 31.

Предположимъ также, что игры камня въ кулисѣ нѣтъ и что точка пересѣченія кулисы съ линіей хода золотника перемѣщается по этой линіи.



Фиг. 32.



Фиг. 33.

Въ виду незначительной кривизны дуги кулисы будемъ считать дуги равными ихъ хордамъ.

Пусть (фиг. 31): $c = \overline{FC}$ длина дуги или хорды между средней точкой кулисы и точкой захвата кулисы эксцентрикомъ передняго хода;

$u = \overline{FL}$ — длина дуги или хорды между срединой кулисы и точкой пересѣченія кулисы съ линіей хода золотника;

$u_1 = FK$ — длина дуги или хорды между средней точкой кулисы и камнемъ или разстояніе камня отъ средины кулисы;

ρ—радіусъ кулисы;

$\zeta = \angle FCP$—уголъ наклона кулисы къ вертикали, соотвѣтствующій углу α поворота кривошипа.

При поворотѣ кривошипа на уголъ α отъ мертваго положенія, разстояніе головки B золотниковаго стержня отъ ведущей оси O будетъ

$$\overline{OB} = \overline{OI} + \overline{IP} - \overline{PM} + \overline{MN} + \overline{NB}$$

или
$$\overline{OB} = r\cos(\gamma - \alpha) + \sqrt{l^2 - [(c-u)\cos\zeta - r\sin(\gamma-\alpha)]^2} -$$
$$- (c - u_1)\sin\zeta + \overline{KD} + \sqrt{l_1^2 - (u_1 - u)^2\cos^2\zeta}.$$

При принятыхъ на практикѣ величинахъ r, l, c, уголъ ζ наклона кулисы такъ малъ, что можно считать $\cos\zeta = 1$, а $\sin\zeta$ находить изъ выраженія

$$\sin\zeta = \frac{\overline{PP_1}}{2c},$$

подставивъ вмѣсто $\overline{PP_1}$ его значеніе

$$\overline{PP_1} = \overline{OI} + \overline{IP} - \overline{I_1P_1} + \overline{I_1O}.$$

Отсюда

$$\sin\zeta = \frac{r\cos(\gamma-\alpha) + \sqrt{l^2 - [(c-u)\cos\zeta - r\sin(\gamma-\alpha)]^2} - \sqrt{l^2 - [(c+u)\cos\zeta - r\sin(\gamma+\alpha)]^2} - r\cos(\gamma+\alpha)}{2c}$$

или приближенно, пренебрегая членомъ съ $\frac{r^2}{2l}$,

$$\sin\zeta = \frac{r}{c}\sin\gamma\sin\alpha - \frac{r}{l}\cos\gamma\sin\alpha - \frac{ru}{cl}\sin\gamma\cos\alpha + \frac{u}{l}.$$

Длина $\overline{KD}$ изъ фиг. 31 равна

$$\overline{KD} = \frac{\overline{FS}}{\cos\zeta} = \frac{\overline{FE} - \overline{SE}}{\cos\zeta},$$

откуда

$$\overline{KD} = \frac{c^2 - u_1^2}{2\rho\cos\zeta}.$$

Такимъ образомъ, съ достаточнымъ приближеніемъ

$$\overline{OB} = r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - uu_1}{cl}\sin\gamma\right]\cos\alpha + r\left[\frac{u_1}{c}\sin\gamma - \frac{u_1 - u}{l}\cos\gamma\right]\sin\alpha +$$
$$+ l + l_1 + (c^2 - 2uu_1 + u^2)\frac{l - \rho}{2\rho l} - (u_1 - u)^2\frac{l_1 + \rho}{2\rho l_1}.$$

При положеніяхъ кривошипа въ мертвыхъ точкахъ—при $\alpha = 0$:

$$OB_1 = r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - uu_1}{cl}\sin\gamma\right] + l + l_1 + (c^2 - 2uu_1 + u^2)\frac{l - \rho}{2\rho l} - (u_1 - u)^2\frac{l_1 + \rho}{2\rho l_1}$$

и при $\alpha = 180°$

$$OB_2 = -r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - uu_1}{cl}\sin\gamma\right] + l + l_1 + (c^2 - 2uu_1 + u^2)\frac{l - \rho}{2\rho l} - (u_1 - u)^2\frac{l_1 + \rho}{2\rho l_1}.$$

Какъ было указано, золотникъ долженъ давать всегда равныя линейныя предваренія впуска; слѣдовательно, разстояніе средняго положенія головки золотниковаго стержня отъ ведущей оси будетъ

$$OB_0 = \frac{OB_1 + OB_2}{2},$$

или

$$OB_0 = l + l_1 + (c^2 - 2uu_1 + u^2)\frac{l - \rho}{2\rho l} - (u_1 - u)^2 \frac{l_1 + \rho}{2\rho l_1}.$$

Такимъ образомъ перемѣщеніе золотника отъ средняго положенія для угла поворота α будетъ

$$\xi = r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - uu_1}{cl}\sin\gamma\right]\cos\alpha + r\left[\frac{u_1}{c}\sin\gamma - \frac{u_1 - u}{l}\cos\gamma\right]\sin\alpha$$

или проще

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

если

$$A = r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - uu_1}{cl}\sin\gamma\right],$$

$$B = r\left[\frac{u_1}{c}\sin\gamma - \frac{u_1 - u}{l}\cos\gamma\right].$$

Отсюда слѣдуетъ, что движеніе золотника, производимое кулисою съ двумя эксцентриками, съ достаточной степенью точности можетъ быть разсматриваемо какъ производимое простымъ эксцентрикомъ (идеальнымъ), съ плечомъ захвата

$$r_i = \sqrt{A^2 + B^2}$$

и угломъ заклинки γ_i, опредѣляемымъ изъ

$$tg\,\gamma_i = \frac{B}{A}.$$

Здѣсь

$$A = r_i\cos\gamma_i, \qquad B = r_i\sin\gamma_i,$$

причемъ и r_i и γ_i мѣняются въ зависимости отъ подыманія и опусканія кулисы и камня, такъ какъ зависятъ отъ u и u_1.

Условіе равенства линейныхъ предвареній впуска по обѣ стороны поршня при всевозможныхъ относительныхъ положеніяхъ кулисы и камня требуетъ, чтобы входящіе въ выраженіе неизмѣннаго по условіямъ задачи отстоянія средняго положенія золотниковой головки отъ ведущей оси члены съ u и u_1 уничтожались тожественно при всѣхъ значеніяхъ u и u_1, т. е. чтобы

$$(-2uu_1 + u^2)\frac{l - \rho}{2\rho l} - (u_1 - u)^2\frac{l_1 + \rho}{2\rho l_1} = 0.$$

Отсюда вытекаетъ слѣдующая зависимость между элементами прибора и отношеніемъ $\frac{u}{u_1}$.

$$\frac{u}{u_1} = 1 - \sqrt{\frac{\frac{1}{l} - \frac{1}{\rho}}{\frac{1}{l} + \frac{1}{l_1}}}.$$

Отношеніе $\frac{u}{u_1}$ можетъ быть выбираемо въ предѣлахъ отъ 0 до 1.

Первый случай: $$\frac{u}{u_1} = 1,$$

$$u = u_1.$$

Кулиса можетъ быть поднимаема и опускаема, камень же остается на линіи хода; тяга l_1 становится излишней.

Условіе равенства линейныхъ предвареній даетъ

$$\rho = l.$$

Кулиса очерчивается радіусомъ равнымъ длинѣ эксцентриковой тяги и обращена къ ведущей оси вогнутостью, такъ какъ $\rho > 0$.

Это случай—кулисы Стефенсона (Stephenson).

Второй случай: $$\frac{u}{u_1} = 0,$$

$$u = 0.$$

Кулиса не можетъ быть подымаема или опускаема, движется только камень.

Условіе равенства линейныхъ предвареній даетъ

$$\rho = -l_1.$$

Кулиса очерчена радіусомъ равнымъ длинѣ золотниковой тяги, ведущей камень, и обращена съ ведущей оси выпуклостью.

Это случай кулисы Гуча (Gooch).

Третій случай: $$\frac{u}{u_1} = 1 - k,$$

гдѣ

$$0 < k < 1.$$

Кулиса и камень подвижны, причемъ перемѣщающій ихъ механизмъ устроенъ такъ, что между u и u_1 существуетъ постоянное отношеніе.

Устройство прибора можетъ быть упрощено тѣмъ, что кулисѣ придается прямолинейное очертаніе:

$$\rho \doteq \infty.$$

Условіе равенства линейныхъ предвареній впуска даетъ

$$k = \sqrt{\frac{1}{1 + \frac{l}{l_1}}}.$$

Это случай кулисы Аллана (Allan).

Изъ тѣхъ же соотношеній можно вывести связь между размѣрами кулиснаго прибора и дающимъ наибольшее передвиженіе золотника—идеальнымъ эксцентрикомъ: съ плечомъ захвата r_m и угломъ заклинки γ_m. Для этого необходимо придать u и u_1 наибольшія возможныя для нихъ значенія U, UU_1; тогда

$$r_m \cos\gamma_m = r\left[\cos\gamma + \frac{c^2 - UU_1}{cl}\sin\gamma\right],$$

$$r_m \sin\gamma_m = r\left[\frac{U_1}{c}\sin\gamma - \frac{U_1 - U}{l}\cos\gamma\right].$$

Откуда для угла заклинки и плеча захвата дѣйствительныхъ эксцентриковъ находятся слѣдующія зависимости:

$$tg\,\gamma = \frac{[U_1 - U + l\,tg\,\gamma_m]\,c}{U_1 l - (c^2 - UU_1)\,tg\,\gamma_m},$$

$$r = r_m \frac{l\sqrt{c^2[(U_1 - U)\cos\gamma_m + l\sin\gamma_m]^2 + [U_1 l\cos\gamma_m - (c^2 - UU_1)\sin\gamma_m]^2}}{U_1 l^2 + (c^2 - UU_1)\,(U_1 - U)}.$$

Уголъ γ_m и плечо захвата r_m принадлежатъ тому идеальному эксцентрику, которому соотвѣтствуетъ ходъ золотника при наибольшей отсѣчкѣ, опредѣляющій всѣ элементы простого золотника.

Для кулисы Стефенсона

$$U = U_1;$$

$$tg\,\gamma = c\,\frac{tg\,\gamma_m}{U_1 - \frac{c^2 - U_1^2}{l}\,tg\,\gamma_m};$$

$$r = \frac{r_m}{U_1 l}\sqrt{c^2 l^2 \sin^2\gamma_m + [U_1 l\cos\gamma_m - (c^2 - U_1^2)\sin\gamma_m]^2}.$$

Для кулисы Гуча $$U = 0;$$

$$tg\,\gamma = c\,\frac{l\,tg\,\gamma_m + U_1}{U_1 l - c^2\,tg\,\gamma_m},$$

$$r = r_m \frac{l\sqrt{(l\sin\gamma_m + U_1\cos\gamma_m)^2 c^2 + (U_1 l\cos\gamma_m - c^2\sin\gamma_m)^2}}{U_1\,(l^2 + c^2)}.$$

Въ кулисѣ Аллана

$$U = (1 - k)\, U_1 \quad \text{и} \quad k = \sqrt{\frac{l_1}{l + l_1}}.$$

$$tg\,\gamma = c\,\frac{l\,tg\,\gamma_m + kU_1}{U_1 l - [c^2 - (1 - k)\,U_1^2]\,tg\,\gamma_m},$$

$$r = r_m\,\frac{l\sqrt{[l\,sin\,\gamma_m + kU_1\,cos\,\gamma_m]^2\,c^2 + \{U_1 l\,cos\,\gamma_m - [c^2 - (1 - k)\,U_1^2]\,sin\,\gamma_m\}^2}}{U_1\,\{l^2 + [c^2 - (1 - k)\,U_1^2]\,k\}}.$$

Весьма простыя зависимости получаются для случая $U_1 = c$:

$$tg\,\gamma = \frac{tg\,\gamma_m + k\,\frac{c}{l}}{1 - k\,\frac{c}{l}\,tg\,\gamma_m}$$

или

$$\gamma = \gamma_m + \varphi,$$

если

$$tg\,\varphi = k\,\frac{c}{l};$$

$$r = r_m\,\frac{l}{\sqrt{l^2 + k^2 c^2}} = r_m\,cos\,\varphi.$$

При этомъ для кулисы Стефенсона $k = 0$;

$$\varphi = 0; \quad \gamma = \gamma_m; \quad r = r_m.$$

Для кулисы Гуча $k = 1$;

$$\varphi = arctg\left(\frac{c}{l}\right); \; \gamma = \gamma_m + \varphi; \; r = r_m\,cos\,\varphi.$$

Линейныя предваренія впуска вообще не остаются постоянными при измѣненіи положенія кулиснаго прибора.

Перемѣщеніе золотника для мертваго положенія кривошипа при среднемъ положеніи кулисы, когда $u = u_1 = 0$, составляется изъ перемѣщенія на перекрышу впуска e и на предвареніе впуска v_0, то есть

$$\xi_0 = e + v_0 = r\,[cos\,\gamma + \frac{c}{l}\,sin\,\gamma].$$

При наибольшемъ перемѣщеніи прибора, чему соотвѣтствуютъ значенія U и U_1, перемѣщеніе золотника, соотвѣтствующее положенію кривошипа въ мертвой точкѣ, будетъ

$$\xi_m = e + v_m = r\left[cos\,\gamma + \frac{c^2 - UU_1}{cl}\,sin\,\gamma\right],$$

гдѣ v_m—соотвѣтствующее этому положенію прибора предвареніе впуска.

Отсюда

$$v_0 - v_m = r \sin\gamma \frac{UU_1}{cl} = r_m \frac{UU_1 [l \sin\gamma_m + (U_1 - U) \cos\gamma_m]}{U_1 l^2 + (c^2 - UU_1)(U_1 - U)},$$

или пренебрегая членами съ $(U_1 - U)$ по сравненію съ l:

$$v_0 - v_m = r_m \frac{U}{l} \sin\gamma_m = r_m (1 - k) \frac{U_1}{l} \sin\gamma_m.$$

Отсюда видно, что въ кулисахъ Гуча ($k = 1$) линейное предвареніе впуска не измѣняется, въ кулисахъ Стефенсона ($k = 0$) измѣненіе его наибольшее, а кулисы Аллана занимаютъ среднее мѣсто.

Въ кулисахъ съ перекрестными тягами ($U_1 < 0$) линейное предвареніе будетъ возрастать съ возрастаніемъ отсѣчки, тогда какъ въ кулисахъ съ открытыми тягами оно убываетъ съ возрастаніемъ перемѣщенія кулисы и имѣетъ наибольшую величину при среднемъ положеніи кулисы.

Вообще, измѣненіе линейнаго предваренія лежитъ въ предѣлахъ отъ 0,5 до 2 мм., поэтому при проектированіи золотника по наибольшему наполненію надо соотвѣтственно природѣ кулисы учесть это измѣненіе соотвѣтственнымъ увеличеніемъ или уменьшеніемъ величины линейнаго предваренія впуска при среднемъ положеніи кулисы.

Далѣе, формулы для A и B на стр. 38 можно представить въ видѣ

$$A = r\left[\cos\gamma + \frac{c}{l}\sin\gamma\right] - r(1 - k)\frac{u_1^2}{cl}\sin\gamma,$$

$$B = r\, u_1 \left[\frac{1}{c}\sin\gamma - \frac{k}{l}\cos\gamma\right];$$

если обозначить по прежнему отношеніе $\frac{u}{u_1}$ черезъ $1 - k$.

По сказанному, k для даннаго прибора есть величина постоянная и зависитъ отъ типа кулисы.

Для кулисъ Стефенсона и Аллана $k < 1$. Слѣдовательно, для нихъ имѣютъ мѣсто при разныхъ отсѣчкахъ слѣдующія зависимости A и B отъ maximum'а A_m и B_m:

$$\frac{r_0 - A}{r_0 - A_m} = \frac{u_1^2}{U_1^2}, \qquad \frac{B}{B_m} = \frac{u_1}{U_1},$$

гдѣ r_0 выражаетъ наименьшее плечо захвата идеальнаго эксцентрика соотвѣтственно среднему положенію кулисы:

$$r_0 = r\left[\cos\gamma + \frac{c}{l}\sin\gamma\right].$$

Отсюда имѣется условіе

$$\frac{r_0 - A}{B^2} = \frac{r_0 - A_m}{B_m^2} = const,$$

при всѣхъ отсѣчкахъ для этихъ типовъ кулисъ.

Въ кулисныхъ приборахъ вмѣстѣ съ уменьшеніемъ степени наполненія уменьшается ходъ золотника и открытіе окна.

Поэтому, опредѣляя размѣры прибора по наибольшей даваемой имъ отсѣчкѣ, весьма возможно, что при отсѣчкѣ нѣкоторой средней, на которой онъ будетъ работать въ обычныхъ условіяхъ, ходъ золотника будетъ недостаточенъ для надлежащаго открытія впускного окна.

При любой отсѣчкѣ, заданной угломъ кривошипа Θ, изъ зависимости

$$r_i^2 = A^2 + B^2; \quad e = A \cos\Theta + B \sin\Theta; \quad B^2 = I(r_0 - A),$$

гдѣ

$$I = \frac{B^2_m}{r_0 - A_m},$$

находится, вводя обозначеніе

$$r_i^2 \cos^2\Theta = P,$$

слѣдующее квадратное уравненіе, опредѣляющее P, слѣдовательно r_i и соотвѣтствующій наполненію ходъ золотника при кулисахъ Стефенсона и Аллана.

$$P^2 - P\,[2Ir_0 \cos 2\Theta - I^2 \sin^2\Theta\,(1 - tg^2\Theta) - 2Ie \cos\Theta\,(1 - 2tg^2\Theta) + 2e^2] =$$

$$= 2I^2 r_0 e \cos\Theta \cos 2\Theta + 2Ie^3 \cos\Theta - I^2e^2 \cos 2\Theta - 2Ir_0e^2 - e^4 -$$

$$- I^2 r_0^2 \cos^2 2\Theta.$$

Для кулисы Гуча $k = 1$ и $A = r_0$ и при всѣхъ отсѣчкахъ

$$\frac{B}{B_m} = \frac{u_1}{U_1}.$$

Для этой кулисы находятъ, слѣдовательно, r_i изъ

$$r_i^2 = r_0^2 + \frac{(e - r_0 \cos\Theta)^2}{\sin^2\Theta} = \frac{e^2 - 2er_0 \cos\Theta + r_0^2}{\sin^2\Theta},$$

то есть

$$r_i = \frac{\sqrt{e^2 - 2er_0 \cos\Theta + r_0^2}}{\sin\Theta}.$$

§ 15. Другіе типы кулисъ.

Большое треніе на эксцентрикахъ и вредное вліяніе значительной величины возвратно движущихся массъ эксцентриковъ, а равно неудобство обслуживанія парораспредѣлительныхъ органовъ, располагаемыхъ при примѣненіи эксцентриковъ между рамами паровоза, заставило изыскивать новые способы устройства парораспредѣлительныхъ приборовъ въ паровозахъ, съ замѣною эксцентриковъ контркривошипами и принудительными соединеніями съ шатуномъ или крейцкопфомъ (поршневой головкой).

Изъ кулисъ, построенныхъ на этомъ принципѣ, получили примѣненіе въ паровозахъ. эллиптическіе механизмы Джоя, Клозе, Броуна, Стронга и кулиса Walschaert'a или Гейзингера фонъ Вальдегга.

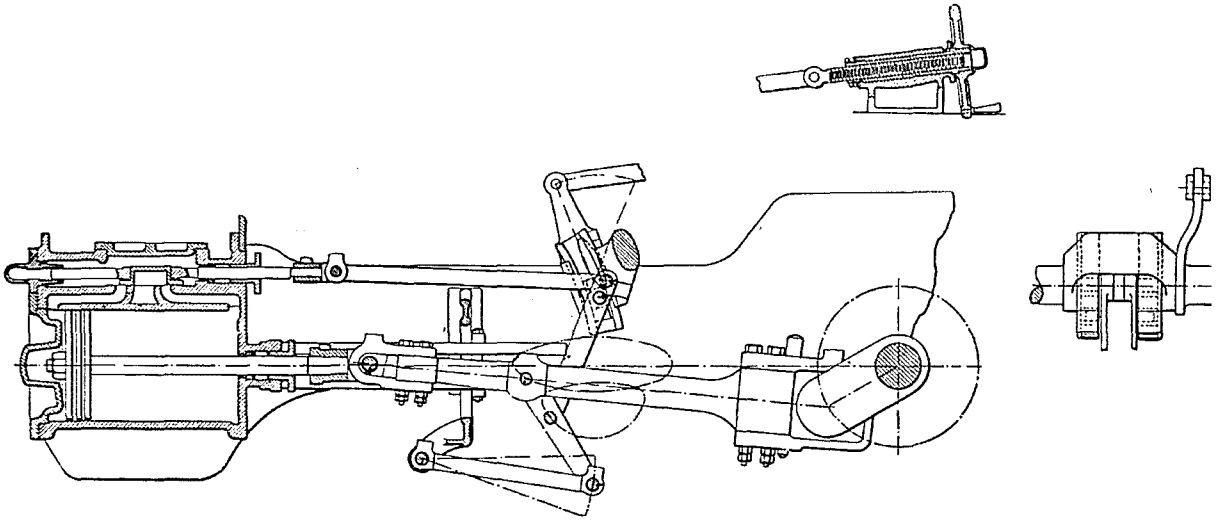
Эллиптическія парораспредѣленія не имѣютъ совсѣмъ эксцентриковъ или имѣютъ только одинъ эксцентрикъ.

Движеніе золотника опредѣляется въ нихъ движеніемъ рычага, сочлененнаго съ шатуномъ или со спарникомъ, то есть вообще движеніемъ по эллипсу.

Перемѣна отсѣчки и хода достигается измѣненіемъ вертикальнаго движенія рычага посредствомъ измѣненія наклона направляющей (кулисы) или замѣняющихъ ее сочлененій.

Всѣ эти приборы не даютъ хорошаго парораспредѣленія, такъ какъ на правильность ихъ работы сильно вліяетъ игра рессоръ паровоза.

Наибольшее распространеніе изъ нихъ имѣетъ парораспредѣленіе Джоя, (фиг. 34), расчетъ и теорія котораго приведены въ статьѣ Ѳ. С. Потапова «Парораспредѣлительный механизмъ Джоя», «Инженеръ», 1894 г. № 4, стр. 153.



Фиг. 34.

Приборъ Клозе описанъ въ Organ fur die Fortschritte des Eisenbahnwesens, 1896 г., стр. 112, приборъ Brown въ книгѣ Blum, Borries und Barkhausen «Die Locomotiven» 1903 г., стр. 278 и приборъ Strong въ Organ, 1884 г., стр. 7.

Извѣстный подъ названіемъ кулисы Heusinger von Waldegg парораспредѣлительный приборъ былъ изобрѣтенъ Walschaërt'омъ въ 1844 году въ Бельгіи (фиг. 35).

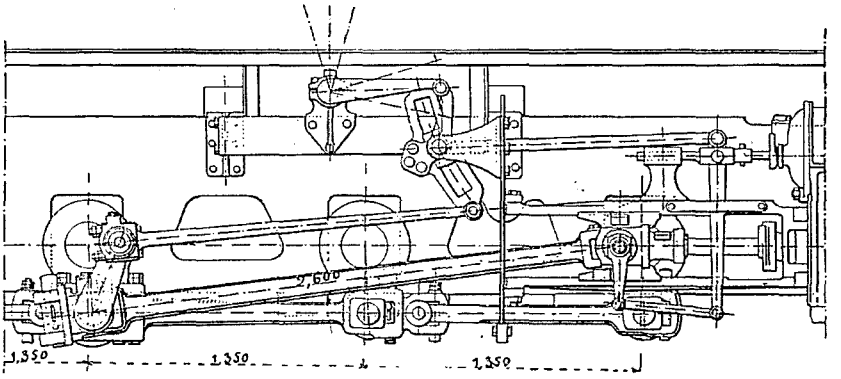
Въ немъ движеніе золотника производится сложеніемъ двухъ движеній: а) движенія, заимствованнаго отъ кривошипа, заклиненнаго подъ прямымъ угломъ или подъ угломъ, близкимъ къ прямому, по отношенію къ кривошипу поршня и передаваемаго черезъ посредство качающейся около неподвижной точки кулисы, управляющей измѣненіемъ отсѣчки и перемѣной хода паровоза и б) движенія, заимствованнаго отъ крейцкопфа.

Оба движенія сообщаются вертикальному рычагу-маятнику, сочлененному съ золотникомъ.

Парораспредѣленіе Гейзингера имѣетъ больше частей, чѣмъ Стефенсона и Гуча, но оно даетъ возможность легче достигнуть большого хода золотника и

выравнять неправильности, вызываемыя конечной длиной шатуна. Кромѣ того, игра рессоръ паровоза почти не вліяетъ на правильность работы прибора.

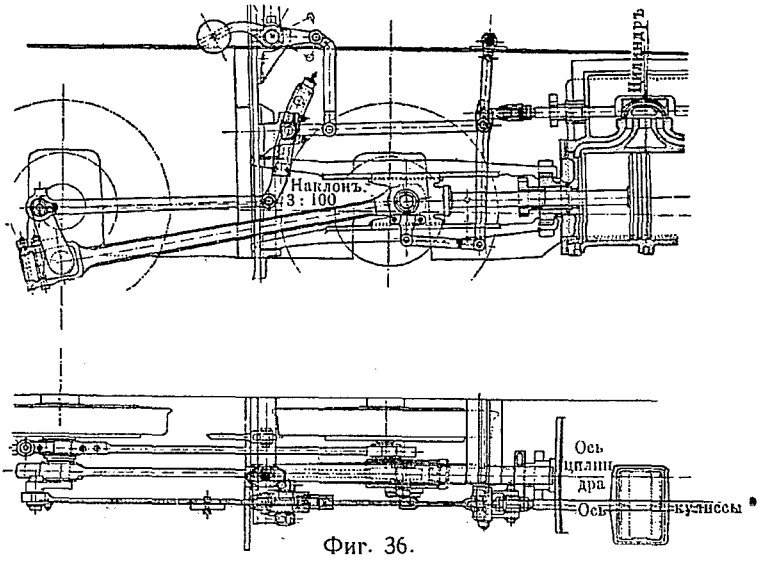
Благодаря указаннымъ свойствамъ кулиса Гейзингера за послѣднее время весьма быстро распространилась по желѣзнымъ дорогамъ всего міра, хотя еще



Фиг. 35.

въ 1870 годахъ Auchincloss не придавалъ этой системѣ особаго значенія и полагалъ, что примѣненіе ея ограничится своей родиной—Бельгіей.

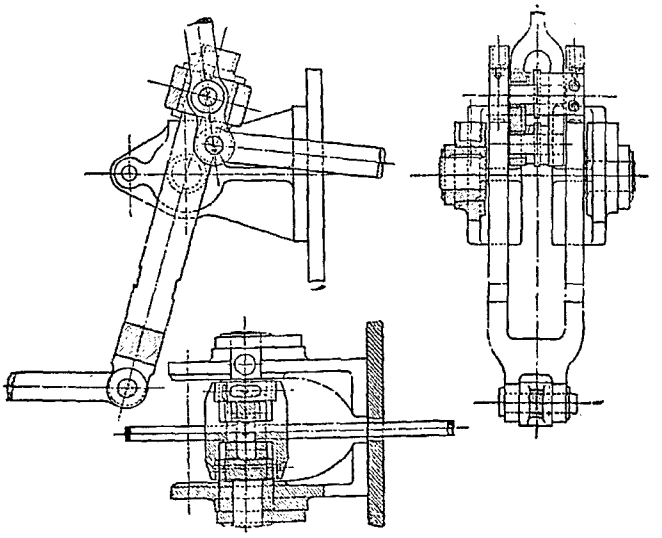
Въ настоящее время имѣется даже нѣсколько разновидностей этого типа. Напримѣръ, конструкція Краусса, въ которой маятникъ подвѣшивается на ка-



Фиг. 36.

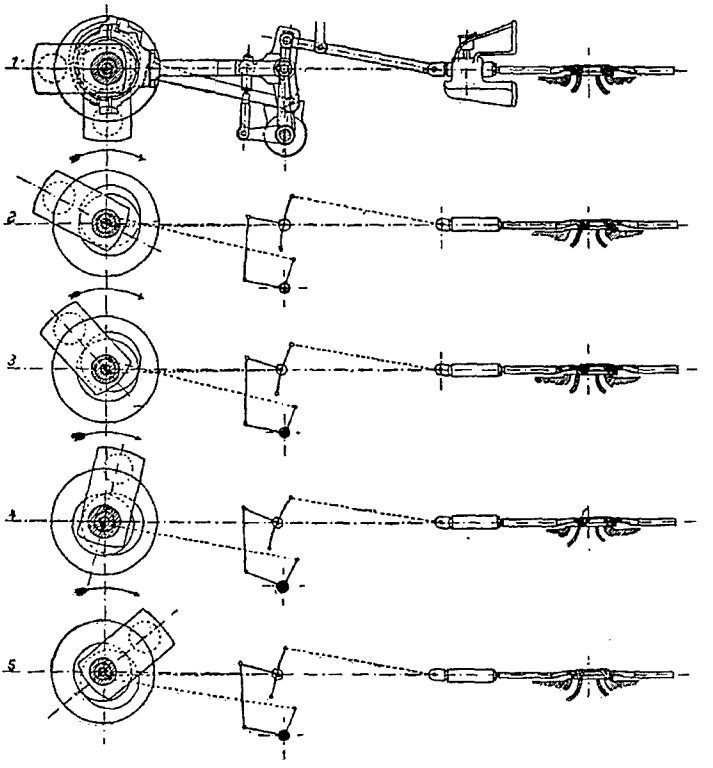
чающемся плечѣ (фиг. 36). Конструкція Гельмгольцъ-Крауссъ (фиг. 37) съ прямой кулисой и камнемъ на вспомогательномъ рычагѣ, обусловливающемъ вмѣстѣ съ перекиднымъ рычагомъ и кулисной тягой вертикальное прямолинейное движеніе камня. Въ бельгійскихъ паровозахъ движеніе кулисы въ парораспредѣленіи Гейзингера заимствуется иногда отъ крейцкопфа другой стороны паровоза, но при этомъ становятся чувствительными неправильности, происходящія отъ конечной длины шатуна, и вводятся два длинныхъ промежуточныхъ вала. Не слѣдуетъ также заимствовать движеніе кулисы отъ шатуна, такъ какъ этимъ усиливается вліяніе на парораспредѣленіе игры рессоръ.

Дальнѣйшее видоизмѣненіе кулисы Гейзингера, имѣющее цѣлью ускорить открытіе оконъ, представляетъ кулиса русскаго изобрѣтателя Савельева. Въ ней качаніе кулисы и перемѣщеніе маятника заимствуются отъ рычага, наглухо закрѣпленнаго къ шатуну у крейцкопфа, причемъ маятнику передается движеніе этого рычага непосредственно тягой, а кулисѣ черезъ посредство установленнаго на маятникѣ качающагося двуплечаго рычага и двухъ соединительныхъ тягъ. Эта кулиса находится еще въ періодѣ испытанія.



Фиг. 37.

Въ достигающей той же цѣли, сравнительно новой кулисѣ Маршаля (фиг. 38)



Фиг. 38.

имѣется два эксцентра. Одинъ изъ нихъ, заклиненный подъ угломъ 180° къ кривошипу (уголъ заклинки 0°), несетъ на обдѣланномъ вилкою концѣ своей

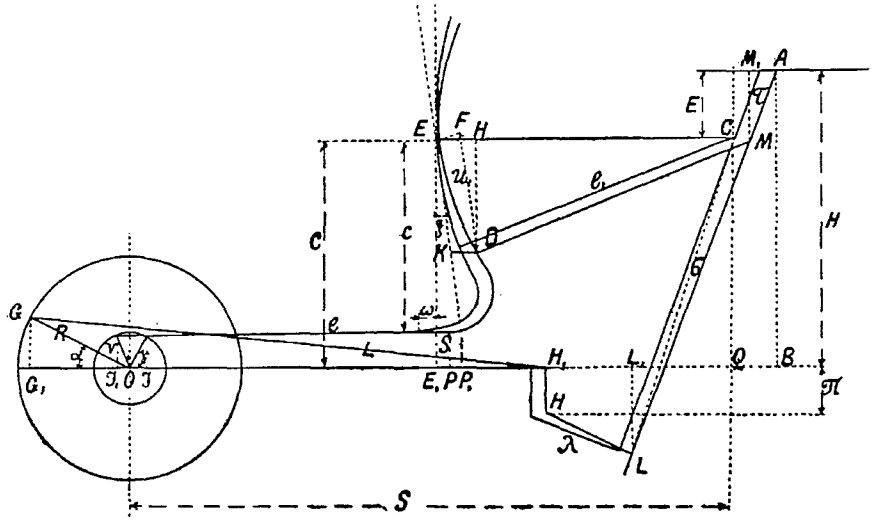
тяги подвижную кулису, захвативъ ее за цапфы, поддерживаемыя двумя плечами, качающимися на общемъ валу, установленномъ въ паровозной рамѣ подъ кулисою. Другой эксцентръ, заклиненный подъ угломъ въ 90° къ кривошипу, сообщаетъ кулисѣ качательное движеніе посредствомъ сочлененнаго съ его тягой колѣнчатаго рычага, насаженнаго на томъ же валу, расположенномъ подъ кулисою, и вертикальной тяги, захватывающей расположенные сзади кулисы ушки.

Изъ всѣхъ упомянутыхъ кулисныхъ приборовъ практически распространяется въ настоящее время почти исключительно кулиса Гейзингера, поэтому и приводимое ниже теоретическое изслѣдованіе кулисъ, имѣющихъ плечи захвата заклиненными не подъ равными углами, для ясности ведено примѣнительно къ устройству этой кулисы.

§ 16. Теорія кулисы Гейзингера.

На фиг. 39 обозначены черезъ:

R — радіусъ кривошипа,
L — длина шатуна,
r — плечо захвата эксцентрика,
γ — уголъ заклинки его,
l — длина эксцентриковой тяги,



Фиг. 39.

C — разстояніе отъ линіи хода поршня до точки качанія E кулисы,
c — разстояніе по касательной въ точкѣ E качанія кулисы отъ E до до проекціи точки S захвата кулисы эксцентриковой тягой,
u_1 — разстояніе по касательной отъ точки E до проекціи камня D,
ω — разстояніе точки S захвата кулисы эксцентриковой тягой до касательной къ кулисѣ, проведенной черезъ точку качанія,
l_1 — длина золотниковой тяги,
ρ — радіусъ кулисы,

τ и σ — плечи маятника,

E — разстояніе точки E до линіи хода головки золотниковаго стержня, параллельной линіи мертвыхъ точекъ,

λ — длина водила маятника.

П — длина пальца водила.

При поворотѣ кривошипа на уголъ α отъ мертваго положенія, разстояніе по линіи мертвыхъ точекъ головки A золотниковаго стержня отъ ведущей оси O будетъ

$$\overline{OB} = \overline{OJ} + \overline{JP} + \overline{PP_1} - \overline{P_1E_1} + \overline{EH} + \overline{HM'} + \overline{M_1A}.$$

Откуда, обозначая черезъ ζ — уголъ между двумя направленіями касательной аъ точкѣ E, или короче—уголъ наклона кулисы *) и черезъ ψ — уголъ наклона маятника къ перпендикуляру къ линіи хода, имѣютъ:

$$\overline{OB} = r\cos(\gamma - \alpha) + \sqrt{l^2 - [C - c\cos\zeta - \omega\sin\zeta - r\sin(\gamma - \alpha)]^2} +$$

$$+ \omega\cos\zeta - (C - u_1)\sin\zeta + \overline{KD'} + \sqrt{l_1^2 - [u_1\cos\zeta + E - \tau\cos\psi]^2} + \tau\sin\psi.$$

Полагая по малости угла наклона кулисы:

$$\cos\zeta = 1,$$

синусъ его находится изъ

$$\sin\zeta = \frac{\overline{E_1P_1}}{C},$$

гдѣ

$$\overline{E_1P_1} = \overline{OJ} + \overline{JP} + \overline{PP_1} - \overline{J_1E_1} + \overline{J_1O} = r\cos(\gamma - \alpha) +$$

$$+ \sqrt{l^2 - [C - c\cos\zeta - \omega\sin\zeta - r\sin(\gamma - \alpha)]^2} +$$

$$+ \omega\cos\zeta - \omega - \sqrt{l^2 - [C - c - r\sin\gamma]^2} - r\cos\gamma.$$

Далѣе

$$\overline{KD'} = \frac{\overline{EE'}}{\cos\zeta} = \frac{u_1^2}{2\rho\cos\zeta}.$$

Вводя для сокращенія письма обозначеніе

$$\overline{OQ} = S$$

или

$$\overline{OQ} = S = \sqrt{l^2 - (C - c - r\sin\gamma)^2} + r\cos\gamma + \omega + l_1$$

и полагая

$$E - \tau\cos\psi = 0,$$

имѣютъ зависимость

$$\overline{OB} = S + u_1\sin\zeta + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^2}{2l_1} + \tau\sin\psi.$$

Но съ другой стороны

$$\overline{OB} = \overline{G_1H_1} - \overline{G_1O} + \overline{H_1L_1} + \overline{L_1B},$$

то есть

$$\overline{OB} = \sqrt{L^2 - R^2\sin^2\alpha} - R\cos\alpha + \lambda\cos\eta + (\sigma + \tau)\sin\psi,$$

если обозначить черезъ η — уголъ наклона водила къ линіи хода.

---

*) Для простоты вывода предположено, что при начальномъ мертвомъ положеніи кривошипа касательная въ E перпендикулярна линіи хода.

Отсюда

$$\overline{OB} = L - \frac{R^2}{2L} \sin^2 \alpha - R \cos \alpha + \lambda \cos \eta + (\sigma + \tau) \sin \psi$$

или окончательно

$$\overline{OB} = \frac{\sigma+\tau}{\sigma}\left[S + u_1 \sin \zeta + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^2}{2l_1}\right] - \frac{\tau}{\sigma}\left[L - \frac{R^2}{2L} \sin^2 \alpha - R \cos \alpha + \lambda \cos \eta\right].$$

При положеніяхъ кривошипа въ мертвыхъ точкахъ

$$\overline{OB_1} = \frac{\sigma+\tau}{\sigma}\left[S + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^2}{2l_1}\right] - \frac{\tau}{\sigma}\left[L - R + \lambda \cos \eta_1\right],$$

$$\overline{OB_2} = \frac{\sigma+\tau}{\sigma}\left[S + u_1 \sin \zeta_2 + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^2}{2l_1}\right] - \frac{\tau}{\sigma}\left[L + R + \lambda \cos \eta_2\right].$$

При удовлетвореніи условія равенства линейныхъ предвареній для прямого и обратнаго хода поршня, разстояніе средняго положенія головки золотниковаго стержня отъ ведущей оси будетъ

$$OB_0 = \frac{OB_1 + OB_2}{2}$$

или

$$OB_0 = \frac{\sigma+\tau}{\sigma}\left[S + \frac{u_1}{2} \sin \zeta_2 + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^2}{2l_1}\right] - \frac{\tau}{\sigma}\left[L + \lambda \frac{\cos \eta_1 + \cos \eta_2}{2}\right].$$

При этомъ независимость равенства линейныхъ предвареній отъ отсѣчки обусловливаетъ равенство

$$\frac{u_1}{2} \sin \zeta_2 + \frac{u_1^2}{2\rho} - \frac{u_1^3}{2l_1} = 0,$$

то есть требуетъ, чтобы

$$\rho = l_1 \quad \text{и} \quad \zeta_2 = 0.$$

Отсюда слѣдуетъ, что кулиса должна быть очерчена радіусомъ равнымъ длинѣ золотниковой тяги и кромѣ того, что оба положенія точки S захвата кулисы эксцентриковой тяги должны совпадать между собой при мертвыхъ положеніяхъ поршня. Это требованіе выражается уравненіемъ:

$$(\overline{E_1P_1})_2 = (\overline{E_1P_1})_1 = 0,$$

или

$$\sqrt{l^2 - (C - c + r \sin \gamma)^2} - \sqrt{l^2 - (C - c - r \sin \gamma)^2} - 2r \cos \gamma = 0,$$

что даетъ

$$\cos \gamma = -\frac{C - c}{\sqrt{l^2 - r^2}}.$$

Для удовлетворенія этому условію плечо захвата эксцентрика должно быть перпендикулярно линіи, соединяющей центръ ведущей оси съ положеніемъ

точки S при мертвомъ положеніи поршня. Уголъ заклинки при $C > c$ всегда тупой.

Далѣе слѣдуетъ, что точка M при мертвомъ положеніи поршня всегда будетъ совпадать съ центромъ C кулисы и линейныя предваренія при всѣхъ отсѣчкахъ имѣютъ одну и ту же величину.

При этомъ

$$\overline{OB_0} = \overline{OQ},$$
$$\psi_1 = -\psi_2, \quad \eta_1 = \eta_2,$$
$$\sigma \sin \psi_1 = R,$$
$$S = L + \lambda \cos \eta_1.$$

И окончательно при равенствѣ линейныхъ предвареній

$$\overline{OB_0} = \frac{\sigma + \tau}{\sigma} S - \frac{\tau}{\sigma} (L + \lambda \cos \eta_1) = S$$

и

$$\overline{OB} = \frac{\sigma + \tau}{\sigma} (S + u_1 \sin \zeta) - \frac{\tau}{\sigma} \left(L - \frac{R^2}{2L} \sin^2 \alpha - R \cos \alpha + \lambda \cos \eta \right).$$

Перемѣщеніе золотника изъ средняго его положенія будетъ

$$\xi = \frac{\sigma + \tau}{\sigma} u_1 \sin \zeta + \frac{\tau}{\sigma} R \cos \alpha,$$

если приравнять нулю разность

$$\frac{R}{2L} \sin^2 \alpha - \lambda (\cos \eta - \cos \eta_1) = 0 \text{ *)}.$$

Входящая въ выраженіе для ξ величина $\sin \zeta$ можетъ быть приближенно выражена изъ предыдущаго въ видѣ

$$\sin \zeta = \frac{r}{C} [\cos (\gamma - \alpha) - \cos \gamma] - \frac{r}{l} \left(1 - \frac{c}{C} \right) [\sin \gamma - \sin (\gamma - \alpha)],$$

причемъ условіе

$$\zeta_2 = 0$$

даетъ

$$\frac{r}{C} \cos \gamma + \frac{r}{l} \left(1 - \frac{c}{C} \right) \sin \gamma = 0.$$

Такимъ образомъ

$$\xi = \frac{\sigma + \tau}{\sigma} u_1 \left[\frac{r}{C} \sin \gamma - \frac{r}{l} \left(1 - \frac{c}{C} \right) \cos \gamma \right] \sin \alpha + \frac{\tau}{\sigma} R \cos \alpha$$

или

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

---

*) Это условіе надо имѣть въ виду при проектированіи кулисы.

гдѣ

$$A = \frac{\tau}{\sigma} R,$$

$$B = \frac{\sigma+\tau}{\sigma} u_1 \left[\frac{r}{C} \sin\gamma - \frac{r}{l}\left(1 - \frac{c}{C}\right)\cos\gamma\right] = \frac{\sigma+\tau}{\sigma} \cdot \frac{u_1}{C}\, r \left(\sin\gamma - \frac{C-c}{l}\cos\gamma\right).$$

Отсюда слѣдуетъ, что парораспредѣленіе, даваемое кулисой Гейзингера, съ достаточной степенью точности можно разсматривать какъ производимое идеальнымъ эксцентрикомъ съ плечомъ захвата

$$r_i = \sqrt{A^2 + B^2}$$

и угломъ заклинки γ_i, опредѣляемымъ изъ

$$tg\,\gamma_i = \frac{B}{A},$$

причемъ r_i и γ_i зависятъ отъ положенія камня и золотниковой тяги, такъ какъ зависятъ отъ u_1.

Наименьшій полуходъ золотника r_0, соотвѣтствующій

$$u_1 = 0,$$

и уголъ γ_0 заклинки его эксцентрика будутъ

$$\gamma_0 = 0^0; \quad r_0 = \frac{\tau}{\sigma} R.$$

Такимъ образомъ можно написать для любого наполненія

$$A = r_0;$$

$$B = \frac{R + r_0}{R} \cdot \frac{u_1}{C}\, r \left[\sin\gamma - \frac{C-c}{l}\cos\gamma\right].$$

Весьма важная при проектированіи прибора связь между r_m, γ_m и U_1 для наибольшаго наполненія и размѣрами прибора представится въ видѣ

$$r_m \cos\gamma_m = r_0,$$

$$r_m \sin\gamma_m = \frac{R + r_0}{R} \cdot \frac{U_1}{C}\, r \left(\sin\gamma - \frac{C-c}{l}\cos\gamma\right).$$

Отсюда можно опредѣлить r, взявъ γ изъ

$$\cos\gamma = -\frac{C-c}{\sqrt{l^2 - r^2}}$$

и задавшись отношеніемъ

$$\frac{U_1}{C}.$$

Величина полухода r_i золотника при любой отсѣчкѣ, опредѣляемой угломъ θ, въ зависимости отъ r_0 и перекрыши впуска e, найдется изъ (стр. 43)

$$e = r_0 \cos\theta + \sqrt{r_i^2 - r_0^2}\,\sin\theta,$$

и будетъ

$$r_i = \frac{\sqrt{e^2 - 2e\,r_0\cos\theta + r_0^2}}{\sin\theta}.$$

§ 17. Размѣры золотника.

Въ кулисныхъ распредѣленіяхъ съ простымъ золотникомъ — золотникъ долженъ быть разсчитанъ соотвѣтственно наибольшей отсѣчкѣ, допускаемой парораспредѣленіемъ.

Въ паровозахъ наибольшее наполненіе обычно бываетъ отъ 0,75 до 0,85 хода поршня, но иногда оно достигаетъ 0,90 (напримѣръ, въ Американскихъ паровозахъ и въ компаундъ-паровозахъ съ приборомъ Гельсдорфа). Обратно въ паровозахъ, работающихъ перегрѣтымъ паромъ, дающимъ возможность примѣнять болѣе низкія наполненія, наибольшее наполненіе составляетъ всего 0,7 хода поршня.

Въ зависимости отъ выбранной наибольшей степени наполненія и въ соотвѣтствіи съ принятой величиной отношенія длины ведущаго шатуна къ кривошипу, уголъ впуска пара θ_m находится изъ таблицы *Б* (стр. 11).

Далѣе, для полнаго опредѣленія, распредѣленія даваемаго золотникомъ съ рабочей стороны поршня, имѣется свободный выборъ еще двухъ изъ слѣдующихъ величинъ: угла предваренія впуска ϑ_m, линейнаго предваренія впуска v_m, длины перекрыши впуска e, плеча захвата идеальнаго эксцентрика r_m и наибольшаго открытія окна a_m.

Выборъ угла предваренія впуска связанъ съ устройствомъ и типомъ кулиснаго прибора; этотъ уголъ лежитъ обычно въ предѣлахъ 0° до 8°, причемъ большія значенія примѣняются въ тѣхъ распредѣленіяхъ, въ которыхъ уголъ предваренія уменьшается съ уменьшеніемъ впуска и, наоборотъ, низшими значеніями задаются въ приборахъ съ возрастающимъ предвареніемъ при уменьшеніи впуска.

Линейное предвареніе впуска v_m можетъ быть выбрано какъ для простыхъ, такъ и для компаундъ-паровозовъ въ предѣлахъ отъ 0 до 6 мм., не считая предваренія, даваемаго каналомъ Трика, и зависитъ отъ тѣхъ же условій, какъ и уголъ предваренія впуска. Такъ, для кулисы Гуча, гдѣ предвареніе не мѣняется съ отсѣчкой, можно принять $v = 4$ до 5 мм. Въ Американскихъ же паровозахъ съ кулисами Стефенсона и оборотнымъ рычагомъ, предвареніе впуска при наибольшемъ наполненіи равно 0, а при наименьшемъ $^1/_{13}$—$^1/_{10}$ хода золотника. По даннымъ Борриса, въ среднемъ линейное опереженіе составляетъ 0,08 ширины s впускного окна.

Для компаундъ паровозовъ нѣкоторые изслѣдователи *) предлагаютъ выби-

*) Organ 1884 г., стр. 108 и 1895 г., стр. 175, 185, 265.

рать предвареніе впуска по возможности малымъ, такъ для малаго цилиндра отъ 1,5—2,5 мм., для большого отъ 3 до 4 мм.

Перекрыша впуска e бываетъ обычно въ паровозахъ товарныхъ 19—32 мм., въ пассажирскихъ 15—32 мм., въ зависимости отъ выбора величины наибольшаго наполненія, и иногда достигаетъ 35 мм.; въ среднемъ она составляетъ при простомъ золотникѣ $\frac{2}{3}s$, при золотникахъ Трика $\frac{3}{4}s$—ширины впускного окна.

Въ Американскихъ паровозахъ при наполненіи въ 90% перекрыша впуска рѣдко бываетъ болѣе 29 мм., въ среднемъ же для товарныхъ паровозовъ составляетъ 22—25 мм , для пассажирскихъ 25—29 мм., и напротивъ въ паровозахъ съ перегрѣтымъ паромъ при наполненіи не выше 0,70 хода поршня перекрыша впуска дѣлается въ 38 мм. (цилиндрическіе золотники Шмидта Прусскихъ жел. дорогъ) и выше.

Вообще, въ современныхъ паровозахъ величины перекрыши впуска и предваренія впуска лежатъ въ слѣдующихъ предѣлахъ:

ВЕЛИЧИНЫ.	Паровозы однократнаго расширенія.		Паровозы двукратнаго расширенія при отношеніи объемовъ цилиндровъ.	
	Пассажир.	Товарные.	2,0—2,5	2,5—3,0
Перекрыша впуска e мм.	отъ 28 до 38	отъ 25 до 35	мал. ц. отъ 32 до 37 бол. ц. отъ 30 до 35	отъ 22 до 27 отъ 22 до 27
Предвареніе впуска v мм.	отъ 4 до 5	отъ 5 до 6	мал. ц. отъ 3 до 4 бол. ц. отъ 4 до 5	отъ 5 до 7 отъ 5 до 7

Радіусъ r_m идеальнаго эксцентрика (плечо захвата) можетъ быть заданъ, руководствуясь соображеніемъ, чтобы средняя скорость V_m теченія пара въ каналѣ не превосходила 50—60 метровъ въ секунду.

Если F дѣйствующая площадь поршня (за вычетомъ штока), g — длина впускного окна, n — число оборотовъ ведущаго колеса паровоза въ минуту, то имѣемъ:

$$V_m = \frac{\pi \,.\, F \,.\, R \,.\, n}{30 \,.\, g \,.\, v_m} K,$$

гдѣ по Slucki *), сохраняя принятыя выше обозначенія,

$$K = \sin\gamma \left\{ 1 + \frac{ctg\,(\gamma + \vartheta)}{2\gamma} \ln \frac{1 - \cos\,(2\gamma + \vartheta)}{1 - \cos\vartheta} \right\}.$$

При:

$\gamma = 90^\circ$ и $\vartheta = 0^\circ$ величина $K = 1{,}0$
$\gamma = 80^\circ$ и $\vartheta = 5^\circ$ » $K = 1{,}15$
$\gamma = 60^\circ$ и $\vartheta = 5^\circ$ » $K = 2{,}018$
$\gamma = 30^\circ$ и $\vartheta = 5^\circ$ » $K = 3{,}89$

*) Z. d. V. d. Ing B. XXXVII № 36—1893 г., ст. 1112.

Въ новыхъ Европейскихъ паровозахъ наибольшій ходъ золотника, почти равный $2r_m$, колеблется для товарныхъ паровозовъ отъ 135 до 200 мм. и для пассажирскихъ отъ 125 до 185 мм. Въ Американскихъ паровозахъ придерживаются въ среднемъ 140—150 мм.

Въ круглыхъ золотникахъ Шмидта (для перегрѣтаго пара) Прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ, имѣющихъ въ діаметрѣ 150 мм., наибольшій ходъ также равенъ 150 мм.

Наибольшее открытіе окна при наибольшемъ ходѣ золотника принимается въ 0,95 s до 1,25 s (ширины окна).

Вообще надо имѣть въ виду, что выборъ наибольшаго открытія окна, равно и хода золотника или радіуса эксцентрика, отчасти обусловленъ конструкціей распредѣлительнаго прибора, такъ какъ необходимо, чтобы при работѣ съ наиболѣе употребительными степенями наполненія, то есть отъ 0,2 до 0,5—0,6 хода поршня, золотникъ давалъ достаточное открытіе окна, не вызывающее чрезмѣрнаго паденія давленія пара.

Съ этою цѣлью совѣтуется подбирать размѣры прибора такъ, чтобы наименьшій ходъ золотника былъ 0,75—0,80 s, и при подсчетѣ принимать во вниманіе зависимость между r_0, r_m и r_c при наиболѣе употребительной отсѣчкѣ.

Напримѣръ, если задаться, чтобы при $\theta_c = 90°$ открытіе окна было m, то при данныхъ θ_m, ϑ_m, r_0 слѣдуетъ изъ приведенной выше теоріи рядъ формулъ

$$r_c = e + m; \quad A_c = \sqrt{r_c^2 - e^2} = \sqrt{m(2e + m)};$$

$$\gamma_m = \frac{\theta_m - \vartheta_m}{2}; \quad \frac{B^2_m}{r_0 - A_m} = \frac{e^2}{r_0 - A_c} = I,$$

изъ которыхъ, подставивъ

$$A_m = r_m \cos \gamma_m \qquad \text{и} \qquad B_m = r_m \sin \gamma_m,$$

вытекаетъ зависимость

$$r_m^2 \sin^2 \gamma_m + I r_m \cos \gamma_m - r_0 I = 0$$

для опредѣленія r_m въ кулисахъ Стефенсона и Аллана.

Въ кулисахъ Гуча

$$A_m = A_c,$$

такъ что для опредѣленія r_m служитъ зависимость

$$r_m \cos \gamma_m = \sqrt{(2e + m)\, m}.$$

Обыкновенно, вполнѣ достаточно бываетъ положить

$$m = \left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2}\right) s.$$

Вообще, при кулисахъ Аллана наибольшій ходъ при наполненіи въ 75% долженъ быть равенъ приблизительно двойному ходу золотника въ среднемъ

положеніи кулисы, а при кулисѣ Стефенсона съ открытыми тягами нѣсколько менѣе двойного.

При существующихъ конструкціяхъ кулисныхъ парораспредѣленій приходится мириться съ довольно малыми величинами открытія оконъ. Такъ, парораспредѣленіе считается удовлетворительнымъ, если открытія оконъ достигаютъ слѣдующихъ величинъ:

Для наполненія въ % хода поршня . .	20	30	40	50	60	70	80
Для наибольшаго открытія окна въ мм.	7	10	13	17,5	25	36	56

Для опредѣленія условій парораспредѣленія золотникомъ съ нерабочей стороны поршня надо къ выбраннымъ величинамъ добавить еще одну величину, какъ напримѣръ — линейное предвареніе выпуска, или уголъ предваренія выпуска, или уголъ сжатія, или—наконецъ—задаться величиной i перекрыши выпуска.

Въ паровозныхъ сдвоенныхъ машинахъ, какъ машинахъ съ большою скоростью поршня, начало сжатія опредѣляется угломъ въ 139°, а опереженіе выпуска начинается не позже 160°.

Въ среднемъ, перекрыша выпуска составляетъ при паровозахъ для малыхъ скоростей движенія—около 0,1 перекрыши впуска, при паровозахъ съ большими скоростями движенія перекрыша выпуска отрицательна и составляетъ около 0,05 перекрыши впуска.

Въ компаундъ-паровозахъ, во избѣжаніе большого сжатія въ цилиндрахъ, въ особенности въ маломъ цилиндрѣ, перекрыша впуска всегда отрицательна и тѣмъ больше по численной величинѣ, чѣмъ больше скорость паровоза. Такъ, въ товарныхъ паровозахъ принимаютъ ее въ маломъ цилиндрѣ 0,2 отъ перекрыши впуска, для большого 0, въ пассажирскихъ — для малаго цилиндра 0,25, а для большого 0,05 перекрыши впуска.

По численной величинѣ перекрыша выпуска при однократномъ расширеніи пара выбирается—отъ 0 до 1 м.м. въ товарныхъ паровозахъ и отъ 2 до 3 м.м. въ пассажирскихъ паровозахъ, а при двукратномъ расширеніи пара — отъ 8 до 11 м.м. въ малыхъ цилиндрахъ и отъ 0 до 3 м.м. въ большомъ цилиндрѣ при отношеніи объемовъ отъ 2,0 до 2,5 и въ предѣлахъ отъ — 3 до 8 м.м. въ маломъ цилиндрѣ и отъ 0 до 3 м.м. въ большомъ цилиндрѣ при отношеніи объемовъ цилиндровъ отъ 2,5 до 3.

Взаимныя соотношенія остальныхъ частей золотниковъ были приведены въ главѣ I-й.

ГЛАВА III.

Построеніе кулисныхъ приборовъ.

§ 18. Общія указанія.

При построеніи кулисныхъ парораспредѣлительныхъ приборовъ для паровозовъ слѣдуетъ обратить особое вниманіе на выравниваніе движенія золотника для ходовъ поршня впередъ и назадъ. Конечная длина эксцентриковой тяги обусловливаетъ—какъ было выше указано—нѣкоторую нессиметричность въ перемѣщеніяхъ золотника, соотвѣтствующихъ обоимъ ходамъ поршня. Однако, удовлетвореніе однимъ требованіямъ теоріи, принимающей во вниманіе это обстоятельство и выравнивающей розмахи золотника для обоихъ ходовъ поршня по отношенію къ углу кривошипа, еще не достаточно. Дѣйствительно, построенный на этихъ основаніяхъ приборъ давалъ бы при равныхъ углахъ отклоненія кривошипа отъ линіи мертвыхъ точекъ одинаковыя перемѣщенія золотника для обоихъ ходовъ поршня, но эти отклоненія не соотвѣтствовали бы равнымъ перемѣщеніямъ поршня отъ мертвыхъ положеній, благодаря вліянію конечной длины ведущаго шатуна. Слѣдовательно, доставляемое приборомъ парораспредѣленіе было бы неодинаковымъ для хода поршня впередъ и назадъ.

Въ паровозахъ, гдѣ выравниванію движенія золотниковъ придается особое значеніе, построеніе кулиснаго прибора должно быть ведено такимъ образомъ, чтобы даваемое приборомъ парораспредѣленіе доставляло по возможности тожественныя индикаторныя діаграммы для обоихъ ходовъ поршня.

Такимъ образомъ условія, коимъ долженъ удовлетворять идеально построенный кулисный парораспредѣлительный приборъ суть: одинаковая продолжительность въ доляхъ хода поршня періодовъ впуска и выпуска, равенство линейныхъ предвареній и равенство наибольшихъ открытій оконъ какъ при ходѣ поршня впередъ, такъ и взадъ, при полномъ отсутствіи игры камня въ кулисѣ.

Однако удовлетворить полностью всѣмъ этимъ требованіямъ до сихъ поръ не удалось ни при какомъ изъ существующихъ типовъ приборовъ и на практикѣ приходится ограничивать требованія и принимать мѣры къ огражденію нѣкоторыхъ обстоятельствъ парораспредѣленія предпочтительно передъ другими.

Такъ, въ особенности важно достичь симметричности распредѣленія при среднемъ положеніи кулисы, то есть для наименьшаго хода золотника, и сдѣлать равными линейныя опереженія и открытія оконъ для этого положенія, какъ бы они ни разнились затѣмъ для крайнихъ положеній.

Необходимо также заботиться объ уменьшеніи относительнаго перемѣщенія камня въ кулисѣ (игры камня) какъ вообще, такъ и въ особенности для той отсѣчки пара, при которой паровозъ будетъ работать въ нормальныхъ условіяхъ.

Трудно однако заранѣе установить предѣлы игры камня, такъ какъ она зависитъ отъ тѣхъ условій, въ которыхъ приходится проектировать приборъ, но во всякомъ случаѣ игра камня должна быть возможно мала, если только по самому типу прибора перемѣщеніемъ камня не достигается перемѣщеніе золотника, какъ въ приборѣ Джоя.

Парораспредѣлительный приборъ для паровозовъ проектируется обыкновенно уже послѣ того, какъ сконструированъ паровозный котелъ съ его гарнитурой, паровозныя рамы, скрѣпленія котла съ рамами, размѣщены оси и намѣчены основные размѣры паровыхъ цилиндровъ и золотниковъ, а также расположеніе ихъ относительно паровозныхъ рамъ и—даже—послѣ предварительной разработки конструктивныхъ деталей цилиндровъ, золотниковъ, ихъ крышекъ, поршней, сальниковъ, крейцкопфа, параллелей, ихъ державокъ, шатуна и т. п.

Благодаря этому, нѣкоторыя величины являются уже предопредѣленными, образуя собой координаты, обусловливающія въ связи съ требуемой отъ проектируемаго прибора работой размѣры его частей.

Такъ, предопредѣленными являются:

R — радіусъ кривошипа, равный полуходу поршня.

L — длина ведущаго шатуна, при выборѣ которой руководятся отношеніемъ

$$\frac{L}{R} = 7 - 8,$$

считая предѣломъ 3 — 3,2 метр.

X — разстояніе между центромъ ведущей оси и поперечной плоскостью, проведенной черезъ средину золотниковаго стола перпендикулярно линіи мертвыхъ точекъ. Это разстояніе обусловливается конструкціей цилиндра и движущихся частей.

H — разстояніе между осью цилиндра и осью золотниковаго стержня, получаемое изъ чертежа.

r_m — радіусъ идеальнаго эксцентрика, опредѣляемый по перекрышѣ впуска e, наибольшей степени наполненія и линейному предвареніо.

$r_0 = e + v_0$ — эксцентриситетъ соотвѣтствующій положенію камня въ мертвой точкѣ кулисы; здѣсь v_0 — линейное предвареніе впуска при этомъ положеніи кулисы.

Далѣе, въ зависимости отъ расположенія уже спроектированныхъ частей паровоза устанавливаютъ размѣры, опредѣляющіе положеніе нѣкоторыхъ органовъ парораспредѣлительнаго прибора по условію удобнаго ихъ обслуживанія и правильной работы.

Такъ, намѣчается мѣстоположеніе кулисы и опредѣляются приближенно

длины перекидного рычага, оборотнаго рычага, подвѣски кулисы *), золотниковыхъ и эксцентриковыхъ тягъ и ихъ подвѣсокъ.

Надо имѣть въ виду при выборѣ мѣста, что при дальнѣйшемъ проектированіи прибора длины указанныхъ частей и ихъ расположеніе могутъ подвергаться измѣненіямъ.

§ 19. Кулисы съ двумя эксцентрами.

Правила построенія кулисъ о двухъ равныхъ эксцентрикахъ, а именно—кулисъ Стефенсона, Гуча и Аллана, были весьма подробно разработаны Auchincloss-омъ **), давшимъ методъ изслѣдованія работы кулисныхъ приборовъ на чертежѣ, безъ помощи модели.

Ниже приводятся заимствованныя оттуда указанія, причемъ для большей опредѣленности методъ Auchincloss изложенъ въ примѣненіи къ взятому имъ примѣру подвижной кулисы Стефенсона одного изъ американскихъ паровозовъ (фиг. 40), въ которомъ цапфы эксцентриковыхъ тягъ расположены сзади дуги кулисы и примѣненъ оборотный рычагъ.

Изъ чертежа видно, что валъ съ плечами, къ которому подвѣшиваются кулисы, такъ называемый—перекидной валъ, располагается на такомъ разстояніи, что при переводѣ кулисы изъ одного крайняго положенія въ другое эксцентриковыя тяги не могутъ придти въ соприкасаніе съ нимъ. Иногда для удовлетворенія этого требованія приходится закривлять тяги, однако этого слѣдуетъ по возможности избѣгать.

Перекидной валъ можетъ быть располагаемъ и ниже средней линіи движенія.

Къ этому расположенію вала прибѣгаютъ, въ особенности, въ тѣхъ случаяхъ, когда котелъ или другія части паровоза препятствуютъ переводу кулисы въ крайнее положеніе. Въ этихъ случаяхъ можно также избѣжать затрудненій удлиненіемъ качающагося рычага (оборотнаго рычага), что позволяетъ понизить среднюю линію движенія и точку подвѣса кулисы. При этомъ надо выбирать уголъ наклона плечъ качающагося рычага другъ къ другу такъ, чтобы цапфы обоихъ колѣнъ его проходили равные пути при отклоненіяхъ рычага, для чего плечи должны быть въ среднемъ положеніи рычага перпендикулярны линіи движенія золотника и средней линіи движенія, т. е. линіи, проведенной черезъ центръ ведущей оси и среднее положеніе камня.

Надо замѣтить, что средняя линія движенія совершенно не связана съ линіей хода поршня и можетъ съ нею не совпадать, какъ представлено для простоты на чертежѣ.

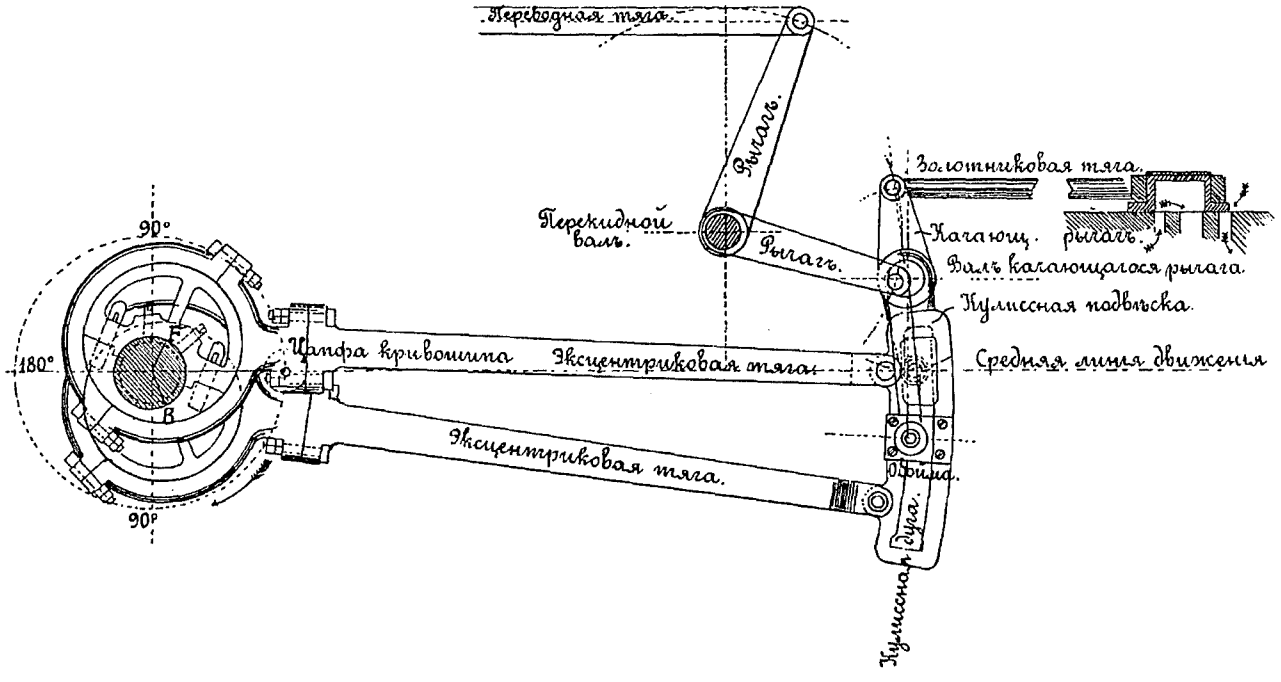
Необходимо только, чтобы углы заклинки обоихъ эксцентровъ были отложены симметрично относительно средней линіи движенія. Плечо перекидного вала и длина подвѣсной тяги выбираются такъ, чтобы при крайнихъ положеніяхъ кулисы не было соприкасанія частей прибора съ валомъ.

Обыкновенно, плечо дѣлается нѣсколько большей длины, чѣмъ тяга.

---

*) Напр. въ кулисѣ Стефенсона и Аллана.

**) См. на русскомъ языкѣ: «Правила построенія кулисо-парораспредѣлительныхъ приборовъ», составленныя по способу Auchincloss'а Н. Щукинымъ. СПБ. 1889 г.


Переводная тяга.
Рычагъ.
Золотниковая тяга.
Перекидной валъ.
Рычагъ.
Качающ. рычагъ.
Валъ качающагося рычага.
Кулисная подвѣска.
90°
180°
90°
F
B
Цапфа кривошипа
Эксцентриковая тяга.
Средняя линія движенія
Эксцентриковая тяга.
Фима.
Кулисная дуга.

Фиг. 40.

По указанію Auchincloss'а размѣры парораспредѣлительныхъ приборовъ съ кулисами Стефенсона колеблются въ слѣдующихъ предѣлахъ.

Отношеніе длины шатуна къ кривошипу $\left(\frac{L}{R}\right)$ отъ 5,5 до 8.

Наибольшій ходъ золотника (r_m) отъ 10,2 — 15,2 см.

Наибольшее наполненіе отъ 0,75 до 0,92 хода поршня, въ среднемъ около 0,88.

Линейное предвареніе впуска при среднемъ положеніи принято (v_0) отъ 6 до 10 мм., обычно 10 мм. Линейное предвареніе впуска при крайнемъ положеніи кулисы (v_m) отъ 2,5 до 5 мм., въ зависимости отъ длины эксцентриковыхъ тягъ.

Радіусъ кривизны кулисы (ρ) отъ 1,07 до 1,83 мт.

Разстояніе между центрами цапфъ эксцентриковыхъ тягъ ($2c$) отъ 254 до 356 мм.

Разстояніе центровъ цапфъ эксцентриковыхъ тягъ до дуги кулисы отъ 57 до 76 мм.

Разстояніе центра подвѣсной цапфы до дуги кулисы отъ 0 до 38 мм.

Превышеніе центра подвѣсной цапфы надъ серединой кулисы отъ 0 до 64 мм.

Длина подвѣсной тяги отъ 305 до 508 мм.

Длина плечъ перекидного рычага отъ 356 до 560 мм.

Длина плечъ качающагося рычага отъ 203 до 280 мм.

Въ прилагаемой таблицѣ помѣщены размѣры въ миллиметрахъ, установленные практикою 35 главнѣйшихъ сѣверо-американскихъ желѣзныхъ дорогъ *).

Число желѣзныхъ дорогъ и типъ паровозовъ.	Наибольшій ходъ золотника.	Перекрыша впуска.	Линейное предвареніе впуска при крайнемъ положеніи кулисы.	Перекрыша выпуска.
Курьерскіе паровозы.				
25 дорогъ	127	22	2,4	3,2
6 »	121	19	3,2	1,6
4 дороги	127	32	3,2	6,4
Пассажирскіе паровозы.				
20 дорогъ	127	19	2,5	3,6
10 »	140	22	1,6	1,6
5 »	114	16	3,2	4,8
Товарные паровозы.				
19 дорогъ	127	19	2,5	1,6
11 »	114	16	1,6	3,2
5 »	121	13	2,5	4,6

*) Для паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ пара (по Auchincloss-у).

§ 20. Кулиса съ цапфами позади.

Примѣръ построенія кулисы Стефенсона съ цапфами позади дуги кулисы. Даны:

Отношеніе длины шатуна къ длинѣ кривошипа

$$\frac{L}{R} = 7{,}5.$$

Плечо захвата (эксцентриситетъ) дѣйствительнаго эксцентрика

$$r = 70 \text{ мм.}$$

Наибольшая отсѣчка или наибольшая продолжительность впуска 0,92 хода поршня.

Линейное предвареніе впуска при среднемъ положеніи кулисы

$$v_0 = 10 \text{ мм.}$$

Разстояніе центра ведущей оси до центра качающагося рычага 1,251 мт.

Центры цапфъ эксцентриковыхъ тягъ расположены позади дуги кулисы на 76 мм., въ разстояніи одинъ отъ другого на 330 мм.

По этимъ размѣрамъ надо опредѣлить остальные, а именно: длину перекрыши впуска, линейное предвареніе впуска при среднемъ положеніи кулисы, положеніе точки подвѣса кулисы и центра перекидного вала.

Съ этой цѣлью Auchincloss предлагаетъ укрѣпить на длинномъ чертежномъ столѣ два листа бумаги въ такомъ разстояніи между собою, чтобы на одномъ изъ нихъ могли быть изображены въ натуральную величину разныя положенія центровъ эксцентриковъ, а на другомъ—положенія кулисы. Приэтомъ для построенія дугъ, по которымъ движутся цапфы, сопрягающія кулису съ эксцентриковыми тягами, необходимо пользоваться длиннымъ штангенъ-циркулемъ, оказывающимъ вліяніе на точность построенія, и кромѣ того, выполнить чертежъ одному лицу очень трудно. Поэтому въ тѣхъ случаяхъ, когда желаютъ избѣжать указанныхъ затрудненій, слѣдуетъ, чтобы не уменьшать масштаба чертежа, прибѣгнуть къ методу наложенія, позволяющему наносить положенія кулисы на одномъ чертежѣ съ положеніями центровъ эксцентриковъ, пользуясь шаблономъ для дугъ, описываемыхъ цапфами кулисы.

Для иллюстраціи способа наложенія, онъ будетъ примѣненъ въ дальнѣйшемъ къ построенію взятаго примѣра.

На укрѣпленномъ къ чертежному столу листѣ бумаги проводятъ среднюю линію движенія DCE (фиг. 41), съ такимъ расчетомъ, чтобы можно было выстроить въ натуральную величину всѣ возможныя положенія кулисы, перекидного вала и качающагося рычага. Взявъ подходящую точку C на линіи движенія за центръ, описываютъ изъ нея радіусомъ равнымъ эксцентриситету окружность и откладываютъ отъ линіи движенія DCE по обѣ ея стороны уголъ γ заклинки эксцентриковъ, соотвѣтствующій заданному наибольшему наполненію.

Auchincloss предлагаетъ выбирать его изъ слѣдующей таблицы:

Наибольшій періодъ впуска въ доляхъ хода поршня.	Соотвѣтствующій уголъ кривошипа въ движеніи поршня впередъ, въ градусахъ.	Уголъ заклинки плеча захвата, въ градусахъ.
0,75	124	62
0,8	130	65
0,84	136	68
0,875	140	70
0,9	146	73
0,92	148	74

Въ данномъ случаѣ уголъ γ взятъ равнымъ 74° *).

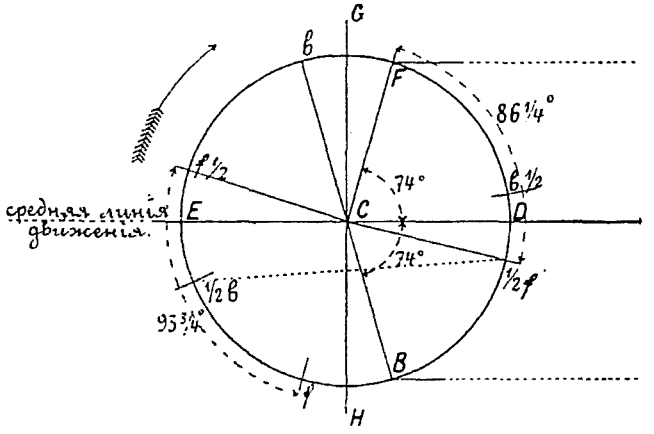
Принимая во вниманіе, что конструкція кулисы позволяетъ сдѣлать

$$U_1 = c,$$

изъ теоріи слѣдуетъ

$$r = r_m \quad \text{и} \quad \gamma = \gamma_m$$

и γ легко опредѣляется изъ золотниковой діаграммы по углу впуска для наполненія въ 0,92 при ходѣ поршня впередъ (см. таблицу Б), по данной величинѣ $r = 70$ мм.



Фиг. 41.

и по данному линейному предваренію впуска $v_0 = 10$ мм., уменьшивъ эту величину для крайняго иоложенія кулисы до 4 мм.

Для даннаго примѣра уголъ γ опредѣлился бы въ 72°.

§ 21. Положенія плечъ захвата.

Откладывая уголъ γ отъ D выше DCE (фиг. 41), находятъ въ F положеніе центра эксцентрика для передняго хода паровоза. Если отложить его отъ той же

*) Выборъ угла заклинки по максимальному углу наполненія для хода 0,92 обусловливается тѣмъ соображеніемъ, что каждый изъ эксцентриковъ въ отдѣльности, смотря по направленію движенія паровоза, долженъ давать надежно заданное наполненіе; линейнымъ предвареніемъ впуска при этомъ пренебрежено.

точки ниже DCE, то опредѣлится положеніе B центра эксцентрика для задняго хода паровоза. Кривошипъ въ данномъ случаѣ, при наличіи качающагося рычага, расположенъ отъ C къ D, при отсутствіи качающагося рычага онъ располагался бы отъ C къ E.

Положенія центровъ эксцентриковъ для положенія поршня въ другой мертвой точкѣ, получатся соотвѣтственно въ f и b, откладывая тотъ же уголъ γ выше и ниже DCE отъ точки E.

Замѣтивъ далѣе, что наибольшая разница въ углахъ кривошипа, соотвѣтствующихъ одинаковымъ перемѣщеніямъ поршня при ходѣ его впередъ и назадъ, бываетъ при положеніи поршня на срединѣ его хода, начинаютъ уравниваніе наполненій для обоихъ ходовъ поршня съ наполненія въ 0,5 хода поршня.

Соотвѣтствующіе углы кривошипа для хода поршня впередъ и назадъ могутъ быть взяты изъ таблицы для заданнаго отношенія $\frac{L}{R}$. Въ данномъ случаѣ центры F и B эксцентриковъ повернутся на 86°,3, когда поршень дойдетъ до средины хода при движеніи назадъ, и центры эксцентриковъ отъ f и b повернутся на 93°,8 при достиженіи поршнемъ середины хода во время движенія его впередъ.

Наносятъ на чертежъ найденныя четыре положенія эксцентриковъ въ точкахъ $\frac{1}{2}f$, $\frac{1}{2}b$ и $f\frac{1}{2}$, $b\frac{1}{2}$. Здѣсь буква f отвѣчаетъ эксцентрику для передняго хода паровоза и буква b—эксцентрику задняго его хода, а дробь $\frac{1}{2}$, отвѣчая наполненію, указываетъ, что поршень идетъ впередъ, если она поставлена впереди буквы $\left(f\frac{1}{2}, b\frac{1}{2}\right)$, и обратно, что поршень движется назадъ, если она стоитъ сзади буквы $\left(\frac{1}{2}f, \frac{1}{2}b\right)$.

§ 22. Положенія цапфъ кулисы.

По заданному разстоянію центра ведущей оси до качающагося рычага и отстоянію центровъ цапфъ эксцентриковыхъ тягъ до дуги кулисы, опредѣляютъ длину эксцентриковыхъ тягъ.

Для даннаго примѣра длина эксцентриковой тяги будетъ равна

$$1251 - 76 = 1175 \text{ мм.}$$

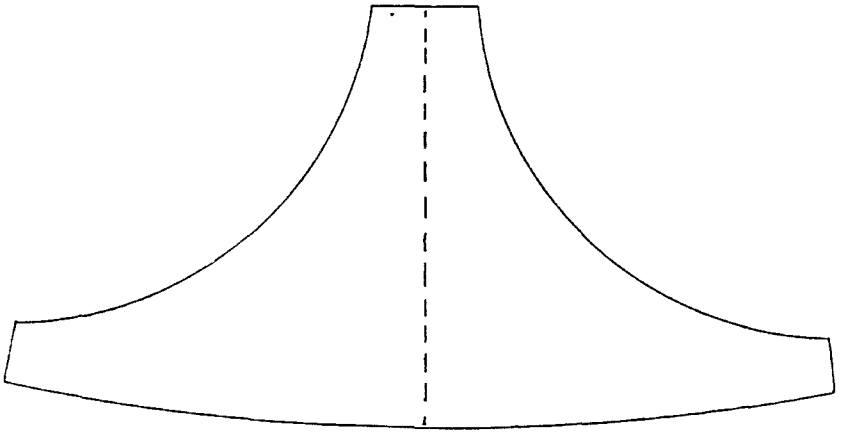
Затѣмъ изготовляютъ изъ твердаго тонкаго деоева или картона два шаблона: одинъ неопредѣленной длины, очерченный дугою радіуса равнаго длинѣ эксцентриковой тяги (1175 мм.) съ нанесеннымъ на немъ среднимъ радіусомъ (фиг. 42) и другой для дуги кулисы (фиг. 43), внѣшнее ребро котораго закривлено радіусомъ кривизны кулисы (1251 мм.) и который снабженъ V-образными вырѣзками, находящимися въ заданномъ разстояніи (330 мм.) одна отъ другой и въ данномъ разстояніи (76 мм.) отъ дуги кулисы, позади ея, съ проведенными на немъ тремя параллельными линіями fm, jS и bn перпендикулярными къ хордѣ fb.

Первый шаблонъ служитъ для проведенія дугъ, на которыхъ будутъ находиться центры цапфъ эксцентриковыхъ тягъ при различныхъ положеніяхъ центра эксцентрика. Примѣненіе его и составляетъ особенность способа наложенія.

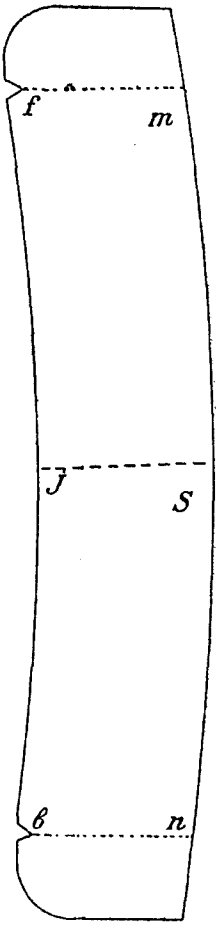
Для построенія по способу наложенія дуги, на которой будетъ находиться цапфа эксцентриковой тяги, соотвѣтственно данному какому угодно положенію

центра эксцентрика, напр., въ точкѣ F *), проводятъ черезъ F линію, параллельную средней линіи движенія, и прикладываютъ шаблонъ такъ, чтобы нанесенный на немъ радіусъ совпалъ съ проведенной линіей и дуговое ребро шаблона прошло черезъ точку F. Для ясности чертежа можно проводить дугу не черезъ самую точку F, а черезъ точку той же параллели, лежащую въ желаемомъ разстояніи отъ точки F.

Такое примѣненіе шаблона основано на томъ соображеніи, что конечныя точки пучка параллельныхъ линій, имѣющихъ одну и ту же длину, образуютъ между собою ту же фигуру, какъ и начальныя точки этихъ параллелей,



Фиг. 42.



Фиг. 43.

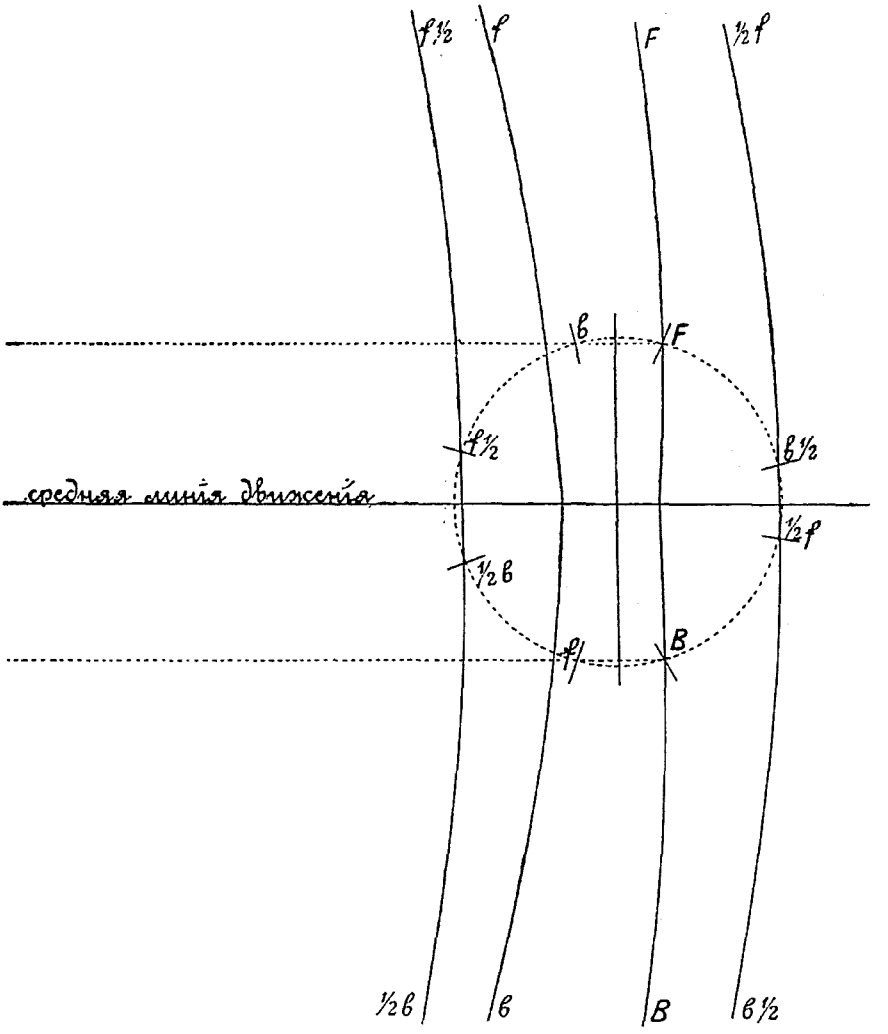
а слѣдовательно, начальныя точки могутъ быть всѣ одновременно совмѣщены съ конечными точками параллелей.

§ 23. Наименьшій ходъ золотника.

Проводятъ указаннымъ способомъ дуги черезъ точки F, B, f и b (фиг. 44), лежащія на параллеляхъ въ разстояніи нѣсколько большемъ двойного плеча захвата, отъ F, B, f и b (фиг. 41) и приводятъ шаблонъ кулисы въ положенія №№ 1, 2, указанныя на фиг. 45, въ которыхъ цапфы эксцентриковыхъ тягъ лежатъ на дугахъ f, b и F, B, а нанесенная на немъ линія jS совпадаетъ съ средней линіей движенія. Отмѣчаютъ точки пересѣченія v_1 и v_2 его дуги съ средней линіей движенія. Разстояніе v_1 v_2 и есть искомый ходъ золотника при среднемъ положеніи кулисы.

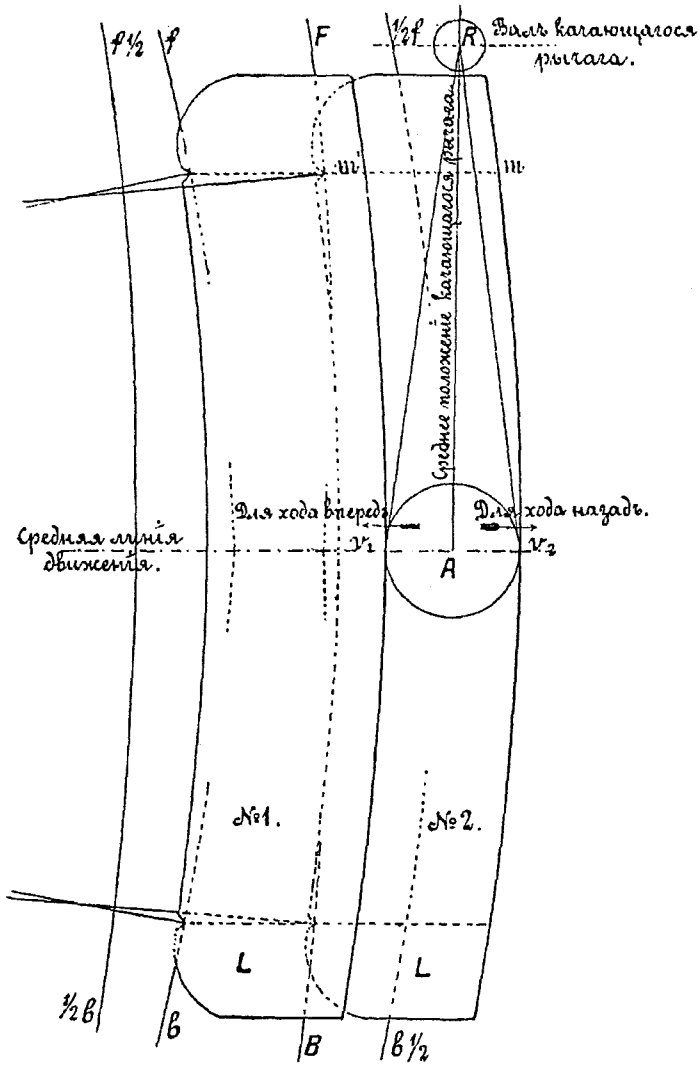
*) Если не предполагаютъ пользоваться способомъ наложенія, то изъ точки F какъ центра проводятъ дугу неопредѣленной длины радіусомъ, равнымъ длинѣ эксцентриковой тяги, доходящую до линіи движенія.

Средняя между ними точка A (центръ окружности v_1 и v_2) даетъ точное положеніе центра цапфы качающагося рычага и разстояніе центра его вала до центра ведущей оси должно быть въ точности равно разстоянію отъ центра ведущей оси до точки A *), вмѣсто принятаго ранѣе въ 1251 мм. Возставляя изъ A перпендикуляръ AR къ средней линіи движенія и откладывая на немъ, при равноплечемъ рычагѣ и параллельности линіи хода золотника средней линіи движенія, половину разстоянія между этими линіями, находятъ положеніе R центра вала качающагося рычага.



Фиг. 44.

*) При этомъ надо имѣть въ виду, что разстояніе между соотвѣтствующими точками фигуръ 41 и 44, напримѣръ между F и F, b и b, $f^1/_2$ и $f^1/_2$—въ дѣйствительности равно длинѣ эксцентриковой тяги, т. е. равно 1175 мм.


f½
f
F
½f
R
Валъ качающагося рычага.
m'
m
Среднее положеніе качающагося рычага.
Для хода впередъ.
Для хода назадъ.
Средняя линія движенія.
v1
v2
A
№1.
№2.
L
L
½b
b
B
b½

Фиг. 45.

§ 24. Перекрыша впуска.

Откладывая отъ точекъ v_1 и v_2 по направленію къ точкѣ A заданныя линейныя предваренія впуска (10 мм.) получаютъ точки e_1 и e_2 (фиг. 46), лежащія также на окружности, описанной изъ точки A, и опредѣляющія величину перекрыши впуска

$$Ae_1 = Ae_2.$$

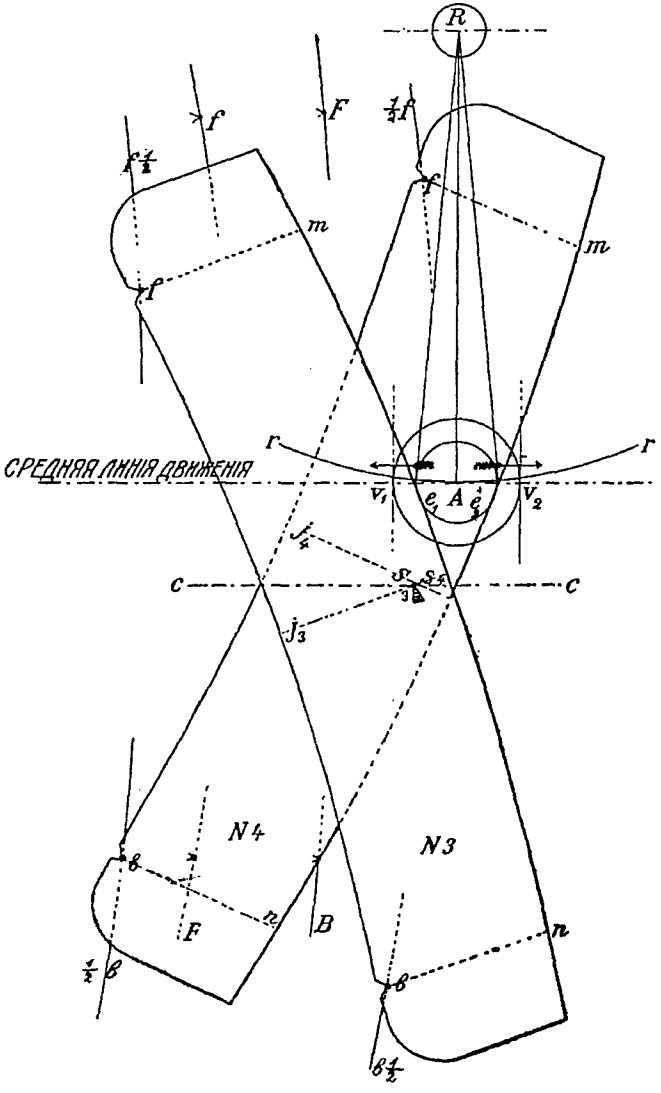
Когда ходъ золотника, соотвѣтствующій среднему положенію кулисы, опредѣленъ, можно воспользоваться для опредѣленія линейнаго предваренія впуска, если таковое не задано, слѣдующей таблицей, причемъ надо имѣть въ виду, что бо́льшія величины принимаются только для пароходныхъ машинъ.

Ходъ золотника при среднемъ положеніи кулисы.	Линейное предвареніе впуска при среднемъ положеніи кулисы для угла линейнаго предваренія.		
	30°	35°	40°
мм.	мм.	мм.	мм.
30	4,0	5,5	6,0
40	5,5	7,5	9,5
50	7,0	9,0	12,0
60	8,0	11,0	14,0
70	9,5	13,0	16,5
80	11,0	15,0	19,0
90	12,0	16,5	21,0
100	13,5	18,5	23,5

§ 25. Точка подвѣса кулисы.

Точку подвѣса кулисы надо опредѣлить такъ, чтобы были по возможности приравнены между собою наполненія, соотвѣтствующія ходамъ поршня впередъ и назадъ. Для достиженія этой цѣли при отсѣчкѣ на 0,5 хода поршня проводятъ указаннымъ способомъ дуги черезъ точки $f\frac{1}{2}$ и $b\frac{1}{2}$ (фиг. 46) и соотвѣтственно черезъ точки $\frac{1}{2}f$ и $\frac{1}{2}b$. Затѣмъ приводятъ шаблонъ кулисы въ положеніе № 3, опредѣляемое тѣмъ, что цапфы эксцентриковыхъ тягъ находятся на дугахъ $f\frac{1}{2}$ и $b\frac{1}{2}$, а дуга кулисы проходитъ черезъ точку e_1, и переводятъ на чертежъ положеніе линіи jS въ j_3S_3. Далѣе перекладываютъ шаблонъ кулисы въ положеніе № 4, опредѣляемое тѣмъ, что центры цапфъ кулисы лежатъ на дугахъ $\frac{1}{2}f$ и $\frac{1}{2}b$, а дуга шаблона проходитъ черезъ точку e_2, и переносятъ на чертежъ положеніе линіи jS въ j_4S_4.

Если кулиса должна быть подвѣшена за середину, то точка ея подвѣса должна



Фиг. 46.

лежать на обѣихъ положеніяхъ jS и въ то же время отстоять отъ дуги на одну и ту же длину, наклонъ же къ линіи движенія прямой S_3S_4, проведенной черезъ два положенія точки подвѣса, можетъ быть какой угодно и будетъ зависѣть отъ положенія оси вращенія подвѣсной тяги, однако предпочтительнѣе, чтобы прямая S_3S_4 была параллельна средней линіи движенія и этого обычно достигаютъ надлежащимъ выборомъ точки подвѣса *).

Выбравъ точку подвѣса кулисы согласно указаннымъ условіямъ, обозначаютъ ее на шаблонѣ кулисы V — образнымъ вырѣзомъ и при дальнѣйшемъ изслѣдованіи движенія кулисы, находящагося въ дѣйствительности въ тѣсной связи съ движеніемъ этой точки, каждый разъ отмѣчаютъ ея положеніе.

§ 26. Ось перекидного вала.

Приравнявъ отсѣчки для средняго положенія поршня при ходѣ его впередъ и назадъ, желательно приравнять ихъ по возможности для крайнихъ положеній кулисы и для чаще примѣняющихся промежуточныхъ.

Съ этой цѣлью опредѣляютъ по таблицѣ углы поворота эксцентрика для наибольшаго пополненія какъ при ходѣ поршня впередъ, такъ и назадъ. Въ данномъ случаѣ эти углы будутъ 149,1° при ходѣ поршня впередъ и 144,9° при ходѣ его назадъ. Auchinloss'омъ взяты:—148°, какъ въ золотникѣ безъ предваренія впуска, и соотвѣтственно—143,2°.

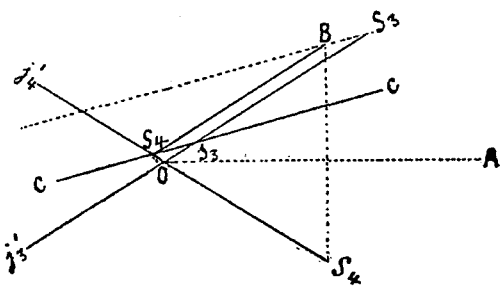
Наносятъ затѣмъ на чертежъ четыре положенія f 0,92; b 0,92 и 0,92 f; 0,92 b (фиг. 48) центровъ эксцентриковъ и проводятъ дуги цапфъ кулисы указаннымъ ранѣе способомъ (фиг. 49).

Приводятъ шаблонъ кулисы въ положеніе № 5 (фиг. 50), опредѣляемое тѣмъ, что центры цапфъ лежатъ на дугахъ f 0,92 и b 0,92, а дуга кулисы проходитъ черезъ точку e_1 и отмѣчаютъ положеніе S_5 точки подвѣса. Перекладываютъ далѣе шаблонъ въ положеніе № 6, въ которомъ его цапфы лежатъ на дугахъ 0,92 f и 0,92 b, а дуга проходитъ черезъ точку e_2 и отмѣчаютъ положеніе S_6 точки подвѣса.

Точки S_5 и S_6 соединяютъ прямою, которая также можетъ не быть параллельна средней линіи движенія.

---

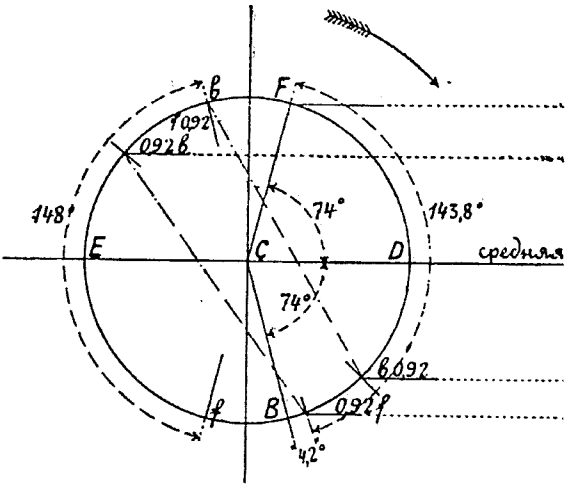
*) Задача сводится къ тому, чтобы найти на двухъ пересѣкающихся прямыхъ j_3S_3 и j_4S_4 (фиг. 47) двѣ точки S_3 и S_4 равно удаленныя отъ начала S_3 и S_4 и лежащія на параллели къ линіи движенія.



Фиг. 47.

Проводятъ изъ точки пересѣченія прямыхъ j_3S_3 и j_4S_4 биссектрису $\overline{OA}$ составляемаго ими угла и опускаютъ на нее перпендикуляръ изъ одного начала S_4. Продолжаютъ этотъ перпендикуляръ до пересѣченія въ B съ прямой, проведенной изъ другого начала S_3 параллельно линіи движенія и изъ точки B проводятъ прямую параллельную j_3S_3 до пересѣченія ея въ точкѣ S_4 съ прямой j_4S_4. Точка S_4 есть искомая; другая точка S_3 найдется въ пересѣченіи съ j_3S_3 прямой CC, проведенной черезъ S_4 параллельно линіи движенія.

Подобнымъ же образомъ могутъ быть найдены положенія S_3', S_4', S_5', S_6' точки подвѣса для задняго хода паровоза. Если кулиса будетъ, подобно взятой для примѣра, такова, что положенія ея для задняго хода будутъ располагаться выше средней линіи движенія совершенно симметрично соотвѣтствующимъ положеніямъ ея ниже этой линіи при переднемъ ходѣ паровоза, то положенія точекъ подвѣса для задняго хода могутъ быть нанесены на чертежъ непосредственно, пользуясь указанной симметріей (фиг. 51). Имѣя восемь положеній точки подвѣса кулисы остается опредѣлить положеніе центра шарнира, соединяющаго подвѣсную тягу съ плечомъ перекидного вала, такимъ образомъ, чтобы точка подвѣса кулисы, перемѣщаясь по дугамъ круга, описаннымъ радіусомъ, равнымъ длинѣ подвѣсной тяги, совпадала бы при изслѣдованныхъ положеніяхъ кулисы съ точками S_3, S_4, S_5, S_6 и S_3', S_4', S_5', S_6'.



Фиг. 48.

Эти соображенія позволяютъ опредѣлить какъ положенія соединительнаго шарнира, такъ и положеніе перекидного вала T.

Часто, впрочемъ, при опредѣленіи положенія перекидного вала, его плеча и длины подвѣсной тяги приходится мириться съ неполнымъ удовлетвореніемъ поставленныхъ условій.

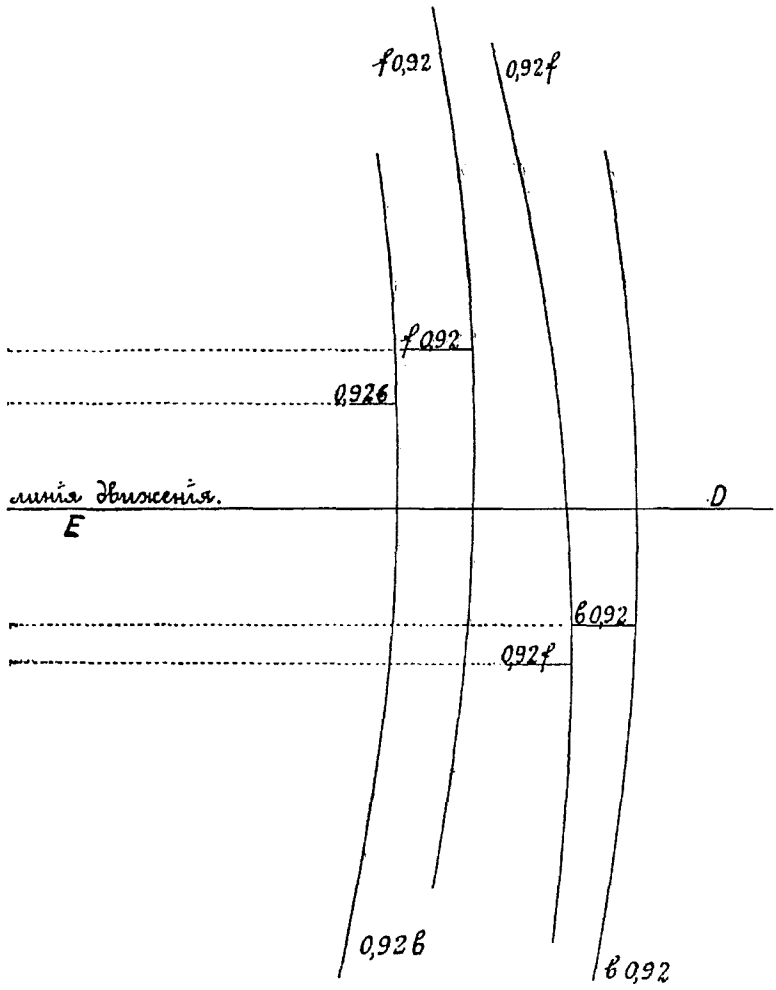
Иногда въ тѣхъ случаяхъ, когда паровозъ назначенъ къ движенію преимущественно переднимъ ходомъ, совершенно не уравниваютъ движенія золотника для задняго хода паровоза при промежуточныхъ наполненіяхъ, ограничиваясь приравниваніемъ его только для наибольшаго наполненія.

§ 27. Линейное предвареніе впуска.

Опредѣливъ положеніе центра перекидного вала, длину его плечъ и подвѣсной тяги, проводятъ на чертежѣ радіусомъ, равнымъ длинѣ подвѣсной тяги, изъ соотвѣтствующаго центра дугу C_1C_1, по которой перемѣщается точка подвѣса кулисы при наибольшемъ ходѣ золотника и приводятъ шаблонъ кулисы въ по-

ложеніе № 7 (фиг. 52), опредѣляемое тѣмъ, что цапфы эксцентриковыхъ тягъ лежатъ на дугахъ f и b, а точка подвѣса на линіи C_1C_1 (точка S_7).

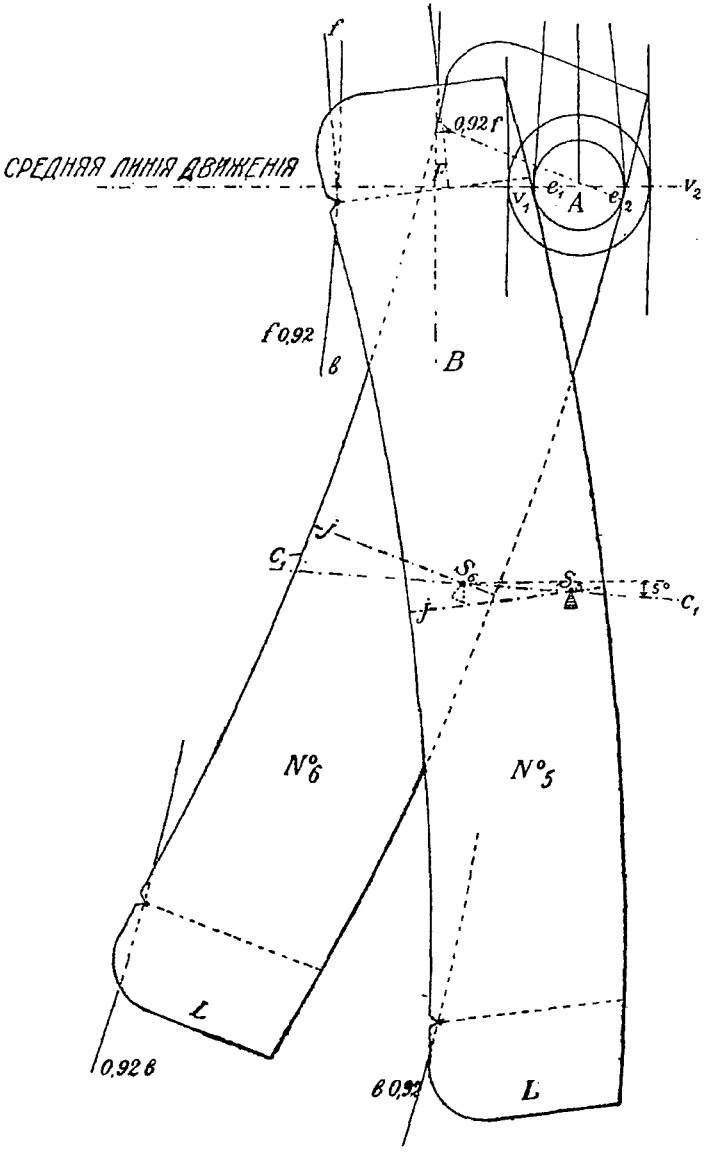
Отмѣчаютъ точку v'_1 пересѣченія дуги шаблона съ средней линіей движенія какъ на чертежѣ, такъ и на шаблонѣ. Затѣмъ перекладываютъ шаблонъ кулисы въ положеніе № 8, въ которомъ цапфы эксцентриковыхъ тягъ лежатъ на ду-



Фиг. 49.

гахъ F и B, а точка подвѣса остается на линіи C_1C_1 (точка S_8), и отмѣчаютъ какъ на чертежѣ, такъ и на шаблонѣ точку v'_2 пересѣченія его дуги съ средней линіей движенія. Полученные такимъ образомъ отрѣзки v'_1e_1 и v'_2e_2 и представляютъ линейныя предваренія для хода поршня впередъ и назадъ при крайнемъ положеніи кулисы, соотвѣтствующемъ ходу паровоза впередъ, длина же $v'_1v'_2$ между мѣтками шаблона представляетъ игру камня.

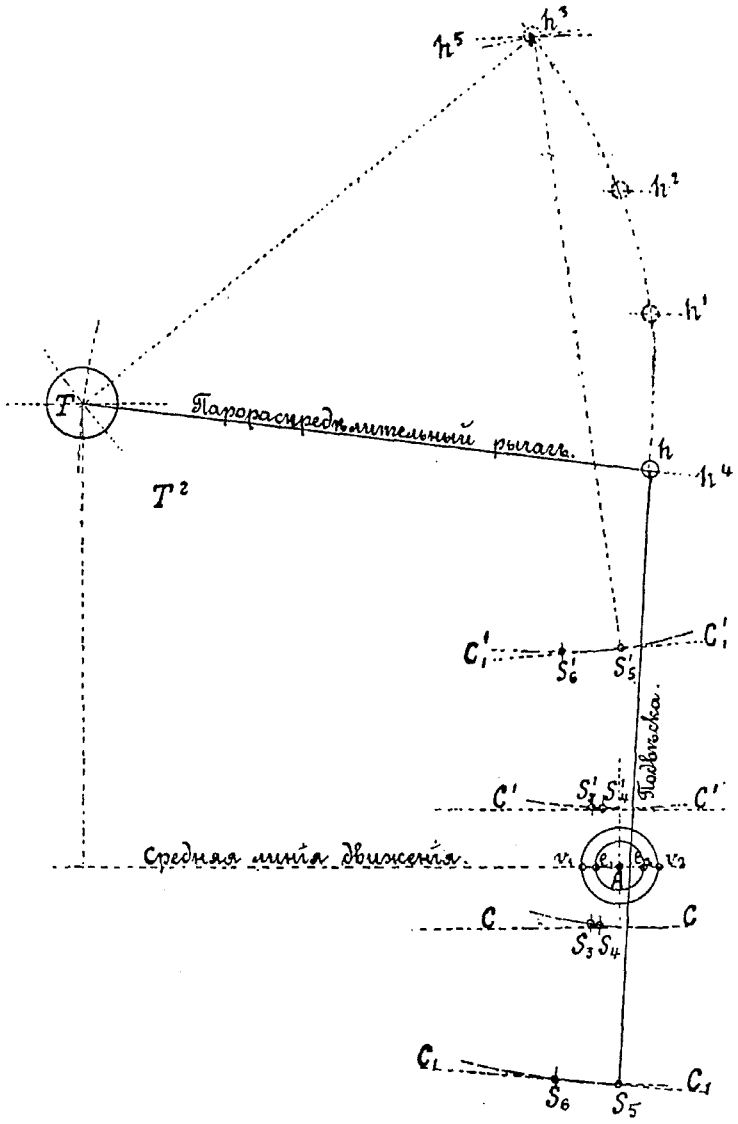
Обыкновенно v'_1e_1 и v'_2e_2 не равны между собою, но при равенствѣ предваренія v_1e_1 и v_2e_2 разница въ величинахъ v'_1e_1 и v'_2e_2 настолько мала, что ею пренебрегаютъ.


СРЕДНЯЯ ЛИНІЯ ДВИЖЕНІЯ
f
0,92 f
F
v_1
e_1
A
e_2
v_2
f 0,92
в
B
j
C_1
S_6
S_5
15°
c_1
j
N°6
N°5
L
0,92 в
в 0,92
L

Фиг. 50.

§ 28. Наибольшій ходъ золотника.

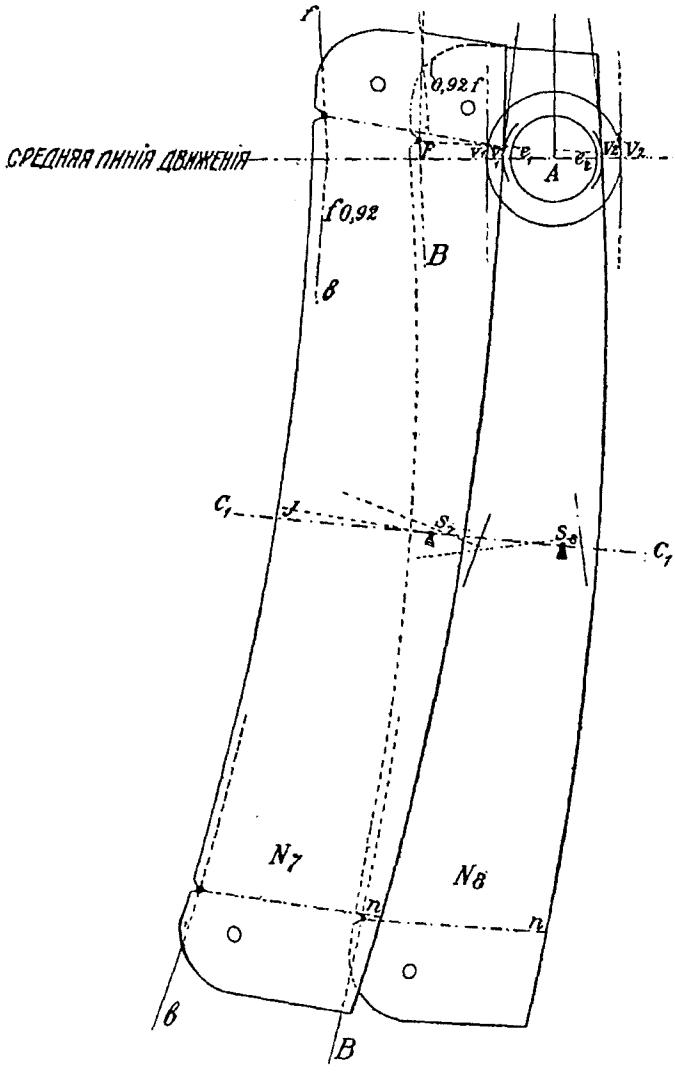
Наибольшій ходъ золотника при ходѣ паровоза впередъ будетъ соотвѣтствовать положеніямъ центра эксцентрика передняго хода на средней линіи движенія



Фиг. 51.

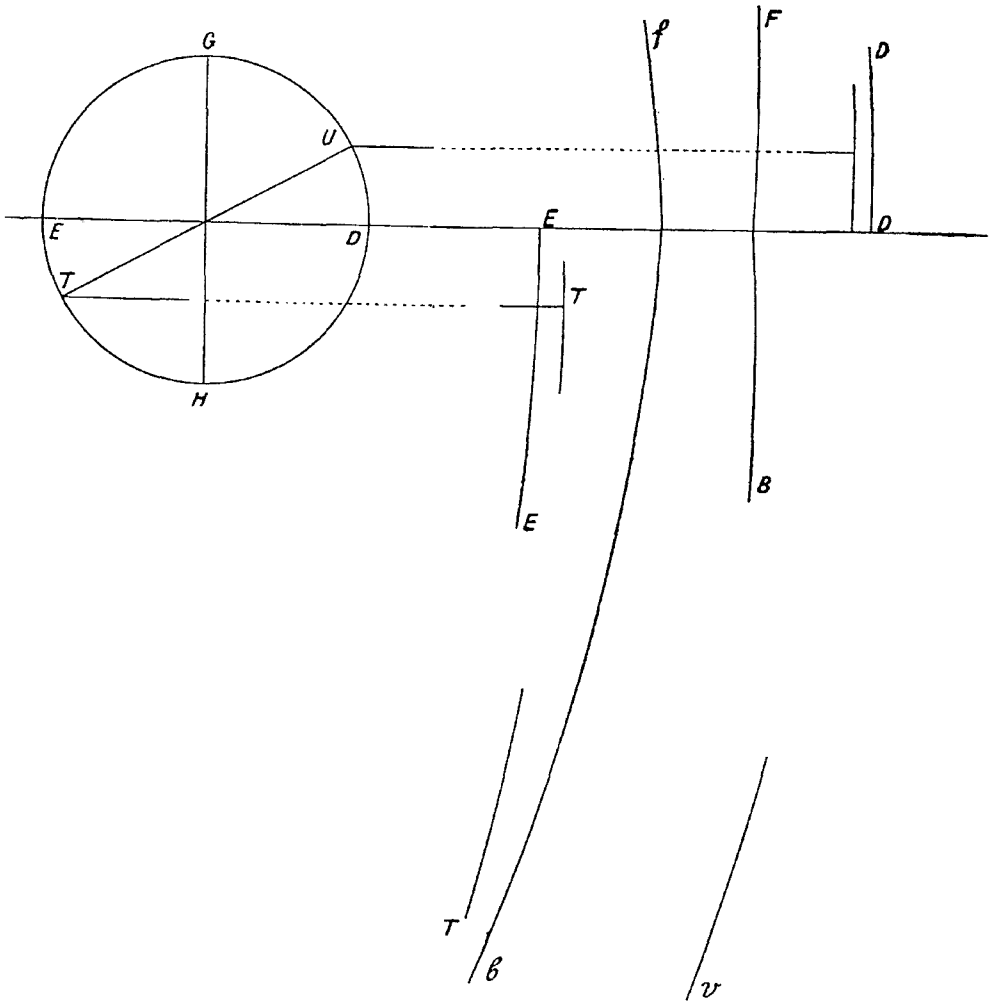
въ точкахъ D и E при крайнемъ положеніи кулисы. Положенія T и U (фиг. 53), занимаемыя при этомъ центромъ эксцентрика задняго хода, легко находятся на чертежѣ, сохраняя безъ измѣненія уголъ заклинки эксцентровъ между собою.

Проводятъ указаннымъ способомъ черезъ точки D, E, T и U (фиг. 54) дуги



Фиг. 52.

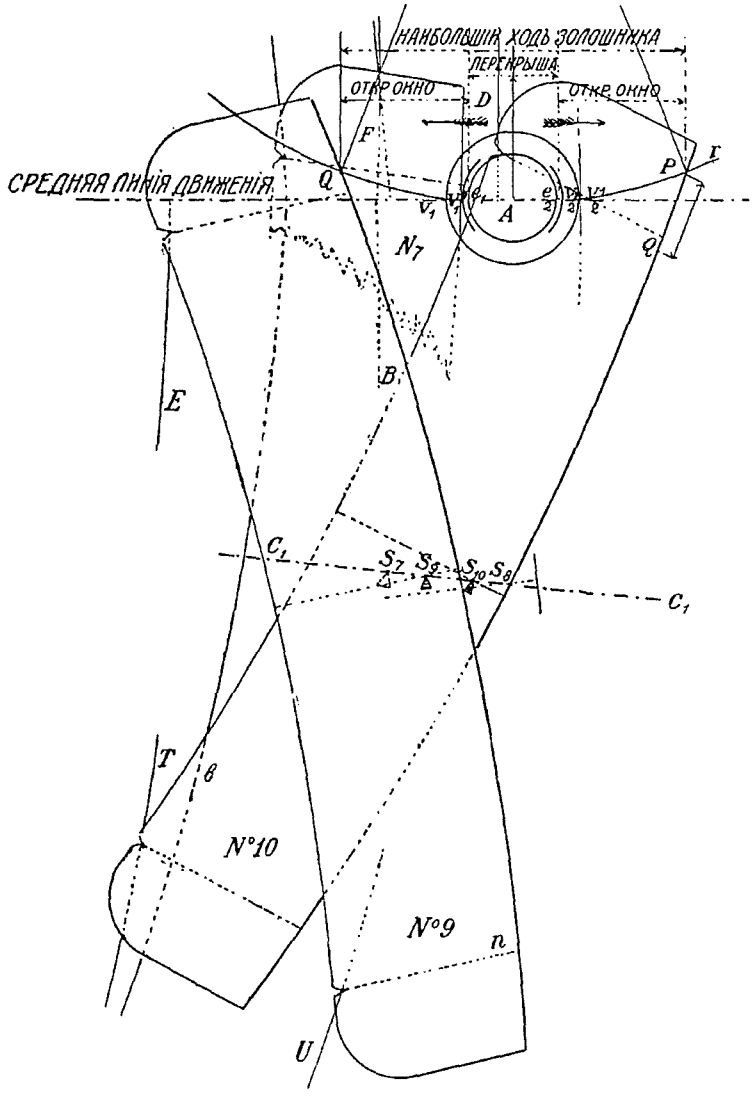
для цапфъ эксцентриковыхъ тягъ и приводятъ шаблонъ кулисы послѣдовательно въ положенія № 9 и № 10 (фиг. 55), опредѣляемыя тѣмъ, что точка подвѣса перемѣщается по дугѣ C_1C_1, а цапфы эксцентриковыхъ тягъ лежатъ на дугахъ E и U и соотвѣтственно на дугахъ D и T. Отмѣчаютъ точки пересѣченія Q и P дуги шаблона съ дугою rr хода цапфы качающагося рычага какъ на чертежѣ, такъ и на шаблонѣ.



Фиг. 53. Фиг. 54.

Горизонтальное разстояніе между точками P и Q чертежа опредѣляетъ собой наибольшій ходъ золотника, а наибольшее разстояніе между мѣтками P, Q на шаблонѣ опредѣляетъ наибольшую игру камня въ кулисѣ.

Слѣдуетъ отмѣтить, что мѣтки на шаблонѣ сближаются между собою по мѣрѣ приближенія точки подвѣса кулисы—къ цапфѣ качающагося рычага. Слѣдовательно, для промежуточныхъ положеній кулисы игра камня всегда будетъ меньше, чѣмъ для крайнихъ ея положеній.


НАИБОЛЬШІЙ ХОДЪ ЗОЛОШНИКА
ПЕРЕКРЫША
ОТКР ОКНО
ОТКР ОКНО
СРЕДНЯЯ ЛИНІЯ ДВИЖЕНІЯ
D
F
Q
P
r
A
N7
B
E
C1
C1
T
в
N°10
N°9
n
U

Фиг. 55.

§ 29. Поправка прибора.

Если опредѣленная указаннымъ построеніемъ игра камня выходитъ изъ допускаемыхъ границъ, то стараются или уменьшить ее непосредственно или достичь болѣе равномѣрнаго распредѣленія ея для крайнихъ положеній кулисы.

Непосредственное уменьшеніе игры камня можетъ быть достигнуто четырьмя способами, приведенными въ порядкѣ ихъ вліянія.

а) уменьшеніемъ угла заклинки,

б) уменьшеніемъ наибольшаго хода золотника,

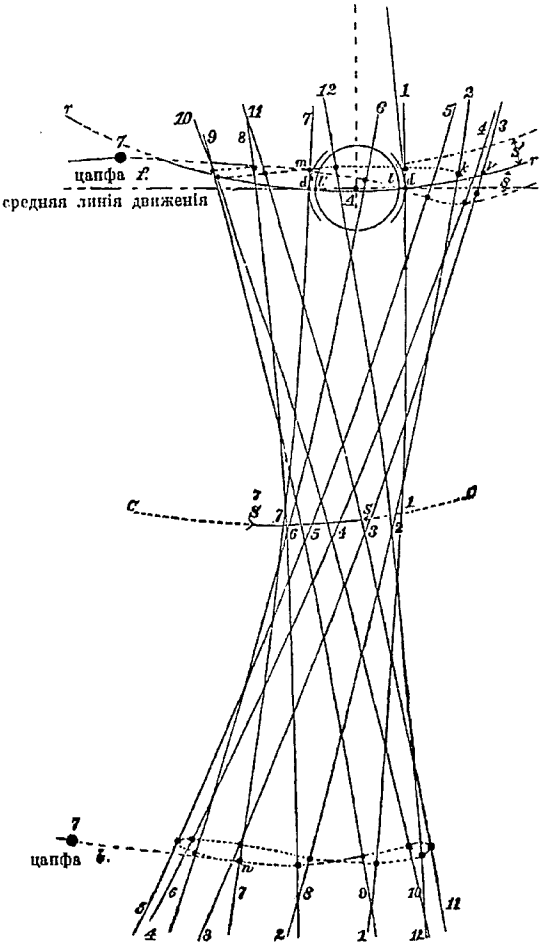
в) удлиненіемъ кулисы,

и г) укорачиваніемъ эксцентриковыхъ тягъ.

Дать болѣе подробныя указанія, которымъ изъ этихъ способовъ надо воспользоваться въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, невозможно, и этотъ вопросъ рѣшается попытками.

Уменьшеніе игры камня болѣе равномѣрнымъ распредѣленіемъ ея для крайнихъ положеній кулисы основано на томъ, что при подвѣшиваніи кулисы за одну изъ точекъ средней ея линіи игра камня въ крайнемъ положеніи кулисы, соотвѣтствующемъ при качающемся рычагѣ переднему ходу паровоза всегда бываетъ больше, чѣмъ въ положеніи кулисы, соотвѣтствующей заднему ходу паровоза.

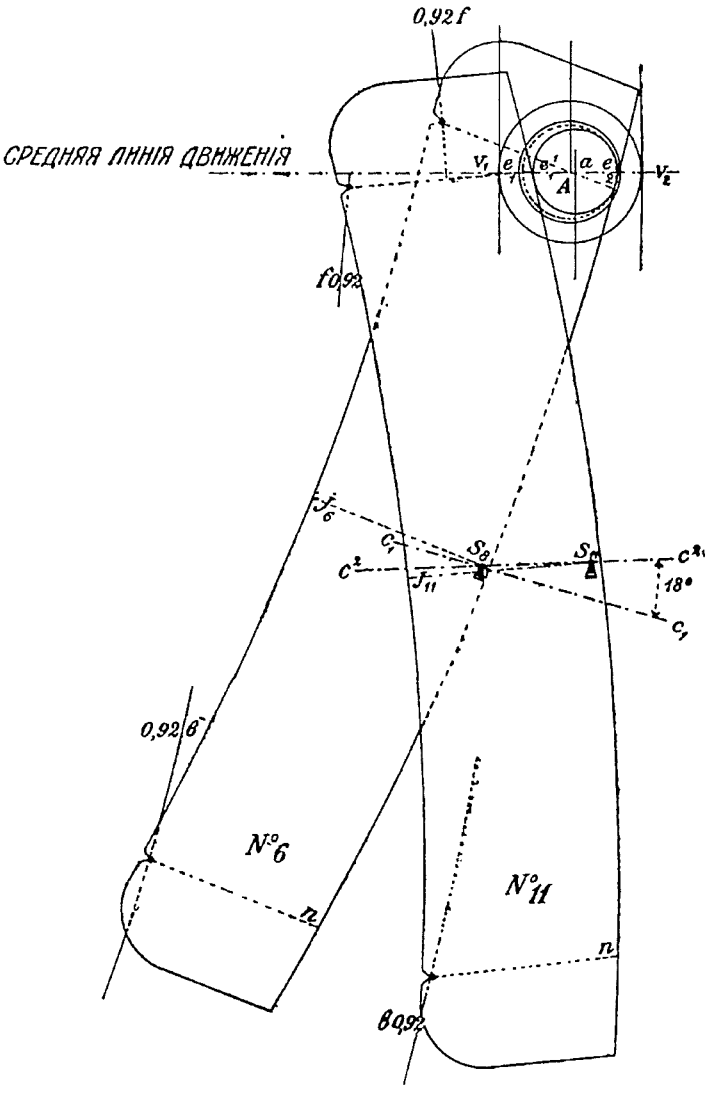
Это видно изъ фиг. 56, представляющей рядъ положеній дуги кулисы, соотвѣтствующихъ при крайнемъ нижнемъ положеніи кулисы двѣнадцати послѣдовательнымъ равноотстоящимъ между собою положеніямъ кривошипа, изъ которыхъ составленъ полный его оборотъ. Изъ нея слѣдуетъ, что кривизна большей части кривой, описываемой точкой m кулисы противоположна кривизнѣ дуги rr, описываемой цапфою качающагося рычага, тогда какъ наоборотъ кривизна большей части кривой, описываемой точкою n кулисы, совпадаетъ съ кривизною дуги rr.



Фиг. 56.

Для уничтоженія этой разницы въ игрѣ камня необходимо взять точку подвѣса не на средней линіи jS, а ближе къ точкѣ m чѣмъ къ n, приблизительно отъ 50 до 63 мм.

Опредѣленіе наиболѣе выгоднаго расположенія точки подвѣса достигается попытками. Сначала проводятъ наугадъ выше средней линіи кулисы линію ея под-

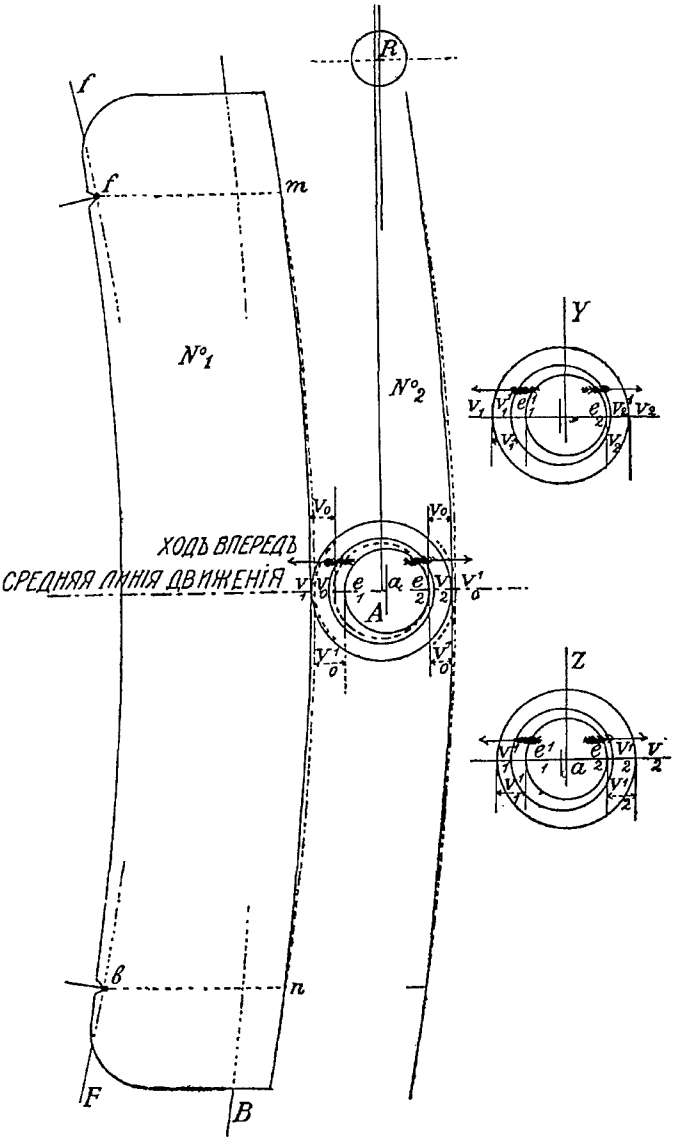

0,92 f
СРЕДНЯЯ ЛИНІЯ ДВИЖЕНІЯ
V_1
e
в'
a
e
V_2
A
f 0,92
J_6
C_1
S_6
S_{11}
C^2
C^2
J_{11}
18°
C_1
0,92 в
N°6
N°11
n
n
в 0,92

Фиг. 57.

вѣса и приводятъ шаблонъ послѣдовательно въ положенія №№ 3, 4, 5 и 6 для передняго хода паровоза, отмѣчая каждый разъ на чертежѣ положеніе предполагаемой линіи подвѣса кулисы, а затѣмъ переводятъ шаблонъ въ тѣ же положенія, но для задняго хода паровоза и, отмѣтивъ на чертежѣ положенія линіи подвѣса, опредѣляютъ положеніе точки подвѣса для крайняго положенія кулисы при заднемъ ходѣ паровоза по условію, чтобы положенія точки подвѣса въ этомъ случаѣ, соотвѣтствующія ходамъ поршня впередъ и назадъ, лежали на прямой параллельной средней линіи движенія.

Затѣмъ, по восьми положеніямъ точки подвѣса опредѣляютъ положеніе центра перекидного вала и длину его плечъ и подвѣсныхъ тягъ и, приведя шаблонъ кулисы въ положенія №№ 9 и 10 для передняго и задняго хода паровоза, сравниваютъ полученную игру камня съ прежней и такимъ образомъ выясняютъ необходимость дальнѣйшихъ поправокъ.

Построеніе прибора слѣдуетъ закончить изслѣдованіемъ работы построеннаго парораспредѣленія при разныхъ наполненіяхъ, для выясненія допускаемыхъ приборомъ игры камня и разницы въ наполненіяхъ и наибольшихъ открытіяхъ оконъ при ходѣ поршня впередъ и назадъ.



Фиг. 58.

Подробное описаніе изслѣдованія будетъ приведено далѣе при построеніи кулисы Гейзингера.

§ 30. Вліяніе короткихъ шатуновъ.

Вліяніе длины шатуна сказывается всего рельефнѣе въ углѣ наклона линіи подвѣса C_1C_1 къ средней линіи движенія при положеніяхъ кулисы №№ 5 и 6.

При короткихъ шатунахъ уголъ наклона этой линіи быстро увеличивается: такъ, при

$$\frac{L}{R} = 7{,}5, \text{ уголъ наклона } 5^\circ,$$

а при

$$\frac{L}{R} = 4{,}5, \text{ онъ равенъ } 18^\circ.$$

При такомъ наклонѣ невозможно установить кулису на равныя отсѣчки для обоихъ направленій движенія паровоза безъ того, чтобы одна изъ эксцентриковыхъ тягъ не встрѣтила перекидного вала.

Если въ то же время не желаютъ отказаться отъ уравниванія отсѣчекъ и для движенія паровоза заднимъ ходомъ, то для избѣжанія указаннаго затрудненія приходится достигать уравниванія отсѣчекъ за счетъ неравенства въ линейныхъ предвареніяхъ и открытіяхъ оконъ.

Такъ, всякое затрудненіе очевидно устраняется, если линія C_1C_1 будетъ параллельна средней линіи движенія, но для этого достаточно перевести шаблонъ изъ положенія № 5 въ положеніе № 11 (черт. 57), опредѣляемое тѣмъ, что цапфы эксцентриковыхъ тягъ продолжаютъ лежать на дугахъ f 0,92 и b 0,92, а точка подвѣса S_1 переходитъ на линію C_2C_2, параллельную средней линіи движенія. Вслѣдствіе такой перестановки шаблона, дуга его пересѣчетъ среднюю линію движенія уже не въ точкѣ e_1, а въ нѣкоторой другой e'_1, вызывая тѣмъ необходимость измѣненія перекрышъ впуска въ золотникѣ изъ $\frac{e_1e_2}{2}$ на $\frac{e'_1e_2}{2}$ и перестановку центра цапфы A качающагося рычага въ новое положеніе a, опредѣляемое срединой отрѣзка e'_1e_2.

Одновременно съ этимъ измѣняется и величина линейнаго предваренія впуска какъ для крайняго, такъ и для средняго положенія кулисы и нарушается равенство линейныхъ предвареній для обоихъ ходовъ поршня при среднемъ положеніи кулисы.

Но такъ какъ равенство линейныхъ предвареній при среднемъ положеніи кулисы является основнымъ требованіемъ правильнаго построенія прибора, то необходимо снова достичь этого равенства, подобравъ надлежащимъ образомъ радіусъ кривизны кулисы.

Для этого откладываютъ длины $Av_1 = Av_2$ по обѣ стороны новаго центра a (фиг. 58), находятъ точки v_0, v'_0 и, нанеся на чертежъ положенія точекъ m и n при положеніи шаблона № 1, опредѣляютъ по тремъ точкамъ m, n, v_0 радіусъ проходящей черезъ нихъ дуги, центръ которой лежитъ очевидно на средней линіи движенія. Затѣмъ изготовляютъ новый шаблонъ кулисы, очерченный по дугѣ новаго радіуса и снова проводятъ его черезъ положенія отъ № 1 до № 10. Для взятаго примѣра новый радіусъ равенъ 1054 мм., т. е. на 1251 — 1054 = = 197 мм. меньше радіуса кулисы, годнаго при отношеніи

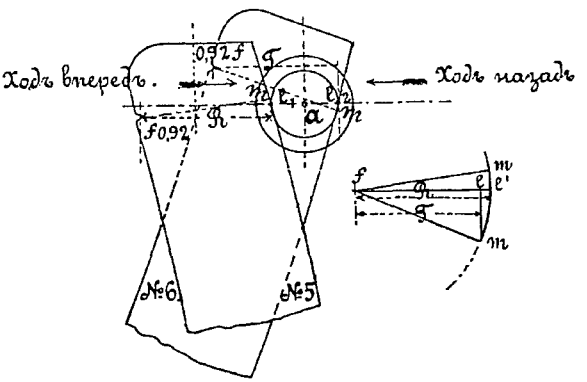
$$\frac{L}{R} = 7{,}5.$$

Вызываемыя поправкой измѣненія въ линейныхъ предвареніяхъ для крайняго положенія кулисы показаны на фиг. 58 въ Y и Z.

§ 31. Приравниваніе началъ сжатія.

Пока наибольшее наполненіе близко къ 0,9 хода поршня, перекрыши впуска относительно невелики и точки e_1 и e_2, лежащія симметрично относительно точки A [или соотвѣтственно точки a], въ которой кончается выпускъ и начинается сжатіе въ золотникѣ безъ перекрышъ выпуска, лежатъ въ то же время близко одна къ другой. Въ этомъ случаѣ особой необходимости въ уравненіи началъ сжатія не замѣчается.

Если же наибольшее наполненіе ограничено 0,75 хода поршня, то разстояніе e_1e_2 становится настолько значительнымъ, что при среднемъ положеніи кулисы замѣчается значительная разница въ началахъ сжатія, вліяющая на движеніе паровоза. Въ этомъ случаѣ уже полезно опредѣлить имѣющееся при среднемъ положеніи кулисы различіе въ началахъ сжатія и устранить его приданіемъ золотнику соотвѣтственныхъ положительныхъ или отрицательныхъ перекрытій выпуска или смѣщеніемъ въ сторону выпускного окна. Съ этой цѣлью наносятъ на чертежѣ положенія эксцентриковъ, соотвѣтствующія заданному углу сжатія и опредѣляютъ соотвѣтственными положеніями шаблона кулисы, при среднемъ ея положеніи, точки пересѣченія дуги шаблона съ средней линіей движенія.



Фиг. 59.

Наибольшее уклоненіе въ началахъ сжатій будетъ для того положенія кулисы, при которомъ золотникъ безъ перекрышъ будетъ занимать свое среднее положеніе какъ разъ при среднемъ положеніи поршня.

Поэтому необходимое смѣщеніе въ сторону выпускного окна можетъ быть также найдено изъ чертежа, устанавливая шаблонъ кулисы сначала такъ, чтобы цапфы эксцентриковыхъ тягъ расположились на дугахъ $f\frac{1}{2}$ и $b\frac{1}{2}$, а дуга шаблона прошла черезъ точку A (или соотвѣтственно черезъ точку a).

Отмѣтивъ положеніе точки подвѣса и проведя черезъ это положеніе прямую $C_3\,C_3$, параллельную средней линіи движенія, устанавливаютъ затѣмъ шаблонъ въ положеніе, опредѣляемое тѣмъ, что вырѣзы цапфъ лежатъ на другихъ $\frac{1}{2}f$ и $\frac{1}{2}b$, а точка подвѣса на прямой $C_3\,C_3$, и отмѣчаютъ точку пересѣченія дуги шаблона со средней линіей движенія.

Половина отстоянія этой точки до точки A (или a) и будетъ то разстояніе, на которое надо смѣстить въ сторону выпускное окно для приравненія началъ сжатія въ обоихъ ходахъ поршня при среднемъ положеніи поршня. Если точка пересѣченія лежитъ на направленіи, изображающемъ ходъ золотника впередъ,

то надо приблизить выпускное окно въ лапкѣ золотника, работающей при ходѣ золотника впередъ, и обратно.

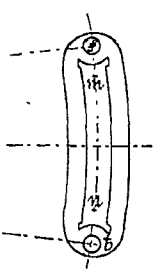
§ 32. Расположеніе цапфъ.

Расположеніе цапфъ эксцентриковыхъ тягъ относительно дуги кулисы имѣетъ значительное вліяніе на правильность движенія золотника. Въ кулисахъ Стефенсона всего цѣлесообразнѣе располагать эти цапфы сзади дуги кулисы, такъ какъ при такомъ расположеніи цапфъ эксцентриковыхъ тягъ цапфа качающагося рычага естественно получаетъ ускоренное движеніе при ходѣ поршня назадъ, что иначе должно было бы достигаться увеличеніемъ игры камня. На фиг. № 59 изображены вновь положенія № 5 и № 6 шаблона кулисы и проведены изъ точекъ e_1, e_2 (началъ расширенія) перпендикуляры къ средней линіи движенія, опредѣляющіе горизонтальныя до нихъ разстоянія R и T центровъ эксцентриковыхъ цапфъ. Въ чертежѣ видно, что T значительно меньше R. Если приблизить цапфы къ дугѣ, то есть сдѣлать $T = R$, и включить въ длину тягъ, то это выразилось бы тѣмъ, что цапфа качающагося рычага при ходѣ назадъ отодвинулась бы наружу и начало расширенія запоздало бы. При принятомъ же расположеніи цапфъ взамѣнъ игры камня имѣется лишь нѣкоторая разница въ разстояніяхъ цапфы эксцентриковой тяги въ ея двухъ положеніяхъ отъ средней линіи движенія. Можно сказать, что чѣмъ дальше въ извѣстныхъ предѣлахъ отстоятъ цапфы отъ дуги кулисы, тѣмъ легче придать движенію золотника симметричность и въ то же время уменьшить игру камня и осуществить подвѣску кулисы къ перекидному валу.

Однако изъ сказаннаго слѣдуетъ также, что кулиса съ расположеніемъ цапфъ эксцентриковыхъ тягъ сзади ея дуги особенно пригодна для движенія, въ которомъ ускореніе начала расширенія, соотвѣтствующее движенію поршня назадъ *) при движеніи паровоза впередъ, совпадаетъ съ болѣе удаленной отъ центра ведущаго вала половиною хода камня.

§ 33. Кулиса съ цапфами на дугѣ.

Кулиса Стефенсона съ цапфами на дугѣ кулисы изображена на фиг. 60 и отличается по виду отъ изслѣдованной ранѣе только расположеніемъ цапфъ, соединяющихъ ее съ эксцентриковыми тягами, которыя расположены здѣсь не сзади дуги кулисы, а въ точкахъ f и b на ея дугѣ, надъ и подъ крайними рабочими ея точками m и n. Этотъ типъ кулисы примѣняется преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда движеніе кулисы передается золотнику непосредственно (безъ помощи качающагося рычага), какъ это принято въ англійскихъ паровозахъ.

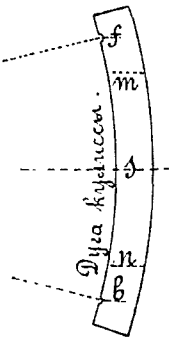


Фиг. 60.

Она въ особенности пригодна для тѣхъ случаевъ, когда желаютъ имѣть ускореніе началъ расширенія въ болѣе близкой къ ведущей оси половинѣ хода камня при ходѣ паровоза впередъ.

*) Замѣтимъ здѣсь, что согласно принятому обозначенію подъ движеніемъ поршня назадъ разумѣется движеніе, при которомъ поршень выходитъ изъ цилиндра, иначе прямое движеніе поршня.

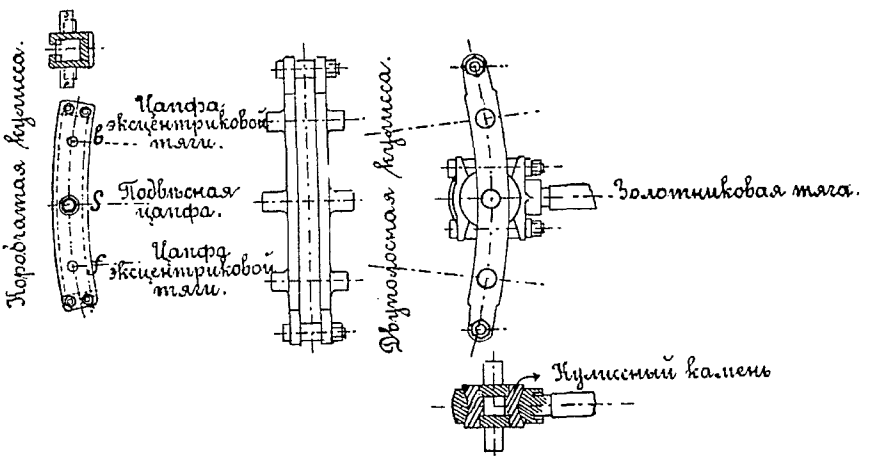
Въ этомъ случаѣ ходу поршня впередъ, въ которомъ одинаковому перемѣщенію соотвѣтствуютъ бо́льшіе углы кривошипа, чѣмъ при ходѣ поршня назадъ, будетъ отвѣчать болѣе близкая къ ведущей оси часть хода камня, а слѣдовательно, благодаря измѣнившемуся относительному расположенію дугъ, на которыхъ лежатъ цапфы тягъ, наклонъ кулисы въ обоихъ отсѣчныхъ положеніяхъ сдѣлается болѣе одинаковъ и уменьшится разница между длинами R и T. При перемѣщеніи цапфъ на дугу кулисы, R дѣлается равнымъ T и потому понятно, что для такихъ случаевъ кулиса съ центрами цапфъ, расположенными на дугѣ кулисы, выше и ниже рабочихъ точекъ m и n, болѣе пригодна и примѣняется даже тогда, когда уменьшеніе эксцентриситета имѣетъ особое значеніе. Между тѣмъ она требуетъ—вообще говоря — при прочихъ одинаковыхъ условіяхъ большей величины эксцентриситета, чѣмъ кулиса съ цапфами позади дуги.



Фиг. 61.

Въ паровозахъ разстояніе между цапфами f и b берется въ этомъ типѣ кулисъ отъ 400 мм. до 510 мм., величина эксцентриситета колеблется отъ 70 до 90 мм. и разстояніе рабочихъ точекъ m и n до точекъ f и b бываетъ обычно 76 мм.

Надо имѣть въ виду, что въ горизонтальныхъ машинахъ, какъ-то имѣетъ



Фиг. 62.

мѣсто въ паровозахъ, никогда не слѣдуетъ пользоваться для передняго хода паровоза нижнею частью кулисы этого типа, такъ какъ свѣшивающіяся и подпертыя части прибора своими колебаніями могутъ вызывать разстройство въ движеніи.

Видъ шаблона для вычерчиванія кулисы этого типа указанъ на фиг. 61.

На фиг. 62 изображены еще двѣ конструктивныя формы этого типа кулисы, а именно коробчатая и двуполосная кулисы.

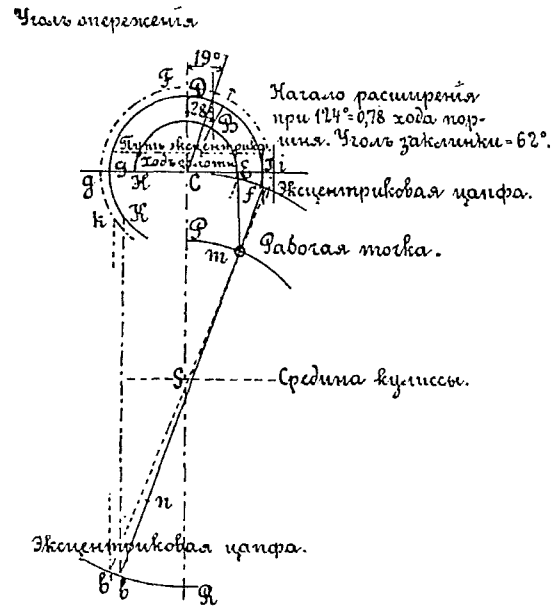
Изготовленіе этихъ формъ кулисы значительно сложнѣе открытой кулисы, изображенной на фиг. 60, тѣмъ не менѣе онѣ часто примѣняются, такъ какъ весьма полезны въ тѣхъ случаяхъ, когда надо получить заданный ходъ золот-

ника при возможно маломъ эксцентриситетѣ. Эти кулисы могутъ съ успѣхомъ замѣнить кулису съ позади расположенными цапфами, если въ особенности помѣстить подвѣсную цапфу немного впереди дуги кулисы: именно—въ точкѣ, опредѣленной положеніями шаблона № 3 и № 4 для равныхъ отсѣчекъ на половинѣ хода поршня и положеніемъ средней линіи jS.

§ 34. Открытая кулиса.

Для опредѣленія эксцентриситета и угла наклона эксцентриковъ по данному ходу золотника, длинѣ кулисы и разстоянію между крайними рабочими точками кулисы Auchincloss предлагаетъ пользоваться слѣдующимъ построеніемъ.

Строятъ около произвольной точки C полуокружность EH (фиг. 63) на горизонтальномъ діаметрѣ, равномъ заданному ходу золотника и на вертикали $\overline{CR}$ откладываютъ $\overline{CR}$ равное длинѣ кулисы, $\overline{CS}$—равное половинѣ длины и $\overline{SP}$—равное половинѣ разстоянія между крайними рабочими точками кулисы. Затѣмъ изъ центра S проводятъ дуги Cf, Pm и Rb, опредѣляютъ точку m пересѣченіемъ съ вертикалью $\overline{Em}$ и, выбравъ начало расширенія, напр. 0,78 хода поршня, опредѣляютъ по взятому изъ таблицы A соотвѣтственно этому наполненію углу кривошипа уголъ заклинки, откладываютъ этотъ уголъ, равный 62°, отъ точки E и черезъ найденную точку B проводятъ вертикаль $\overline{BD}$. Далѣе взятымъ наугадъ радіусомъ *) CF проводятъ окружность JK, откладываютъ на ней отъ точки G дугу GK, равную двойной дугѣ FD, и изъ точки K проводятъ вертикаль $\overline{Kb}$ до пересѣченія съ дугой Rb и, соединивъ точку b съ m продолжаютъ эту прямую до пересѣченія съ дугою Cf въ точкѣ f. Если окажется, что точка f лежитъ на вертикали, проведенной изъ точки J, то CF и есть искомый радіусъ, если точка f не совпадаетъ съ вертикалью изъ J, то надо измѣнить соотвѣтственно радіусъ и повторить построеніе. Уголъ заклинки будетъ уголъ DCE.



Фиг. 63.

Это построеніе представляетъ геометрическое толкованіе упрощенныхъ формулъ теоріи.

---

*) Для облегченія выбора слѣдуетъ замѣтить, что конецъ этого радіуса лежитъ между точкой E и проекціей на горизонталь $\overline{EH}$ конца радіуса дуги Cf, проходящаго черезъ точку m, и притомъ располагается ближе къ второй точкѣ.

Изъ теоріи слѣдуетъ приблизительно

$$r_m \cos \gamma_m = r \cos \gamma$$

и

$$r_m \sin \gamma_m = r \frac{U_1}{c} \sin \gamma .$$

Откуда находится

$$r_m = r \sqrt{\cos^2 \gamma + \left(\frac{U_1}{c}\right)^2 \sin^2 \gamma}.$$

Или приближенно

$$cr_m = r\,(c \cos^2 \gamma + U_1 \sin^2 \gamma).$$

Чертежъ же выполняетъ приблизительно построеніе формулы:

$$\frac{r - r \cos 2\gamma}{r_m - r \cos 2\gamma} = \frac{2\,c}{c + U_1},$$

къ которой сводится теоретическая формула *).

Въ данномъ случаѣ можно также воспользоваться для опредѣленія радіуса r и угла γ величинами r_m и γ_m, опредѣленными для простого золотника по требуемому отъ него наибольшему наполненію и другимъ даннымъ, имѣя въ виду, что съ достаточною точностью

$$tg\,\gamma = \frac{c}{U_1}\, tg\,\gamma_m$$

и

$$r = r_m \sqrt{\cos^2 \gamma_m + \frac{c}{U_1} \sin^2 \gamma_m}.$$

§ 35. Примѣръ открытой кулисы.

Отношеніе длины шатуна къ длинѣ кривошипа = 6,5.

Наибольшее наполненіе 0,8 хода поршня.

Наибольшій ходъ золотниковъ = 121 мм.

Разстояніе отъ оси цапфы золотниковаго стержня до центра ведущей оси 1524 мм.

Разстояніе между центрами цапфъ эксцентриковыхъ тягъ = 457 мм.

---

*) $r_m = \frac{r}{c} \sqrt{c^2 \cos^2 \gamma + U_1^2 \sin^2 \gamma} = \frac{r}{c} \sqrt{c^2 - 2\,(c - U_1)\,c \sin^2 \gamma + (c - U_1)^2 \sin^2 \gamma} =$

$$= \frac{r}{c} \sqrt{c^2 - 2\,c\,(c - U_1) \sin^2 \gamma} = r \sqrt{1 - 2\,\frac{c - U_1}{c} \sin^2 \gamma} = r \left[1 - \frac{c - U_1}{c} \sin^2 \gamma\right] =$$

$$= \frac{r}{c} [c \cos^2 \gamma + U_1 \sin^2 \gamma] = \frac{r}{2\,c} [c\,(1 + \cos 2\gamma) + U_1\,(1 - \cos 2\gamma)] =$$

$$= \frac{r}{2\,c} [(c + U_1)\,(1 - \cos 2\gamma) + 2c \cos 2\gamma].$$

Разстояніе между крайними рабочими точками и центрами цапфъ эксцентриковыхъ тягъ = 76 мм.

Линейное опереженіе при среднемъ положеніи кулисы = 10 мм.

Для этихъ данныхъ указаннымъ выше построеніемъ опредѣлится уголъ заклинки равнымъ приблизительно 74° и радіусъ эксцентрика 171 мм.

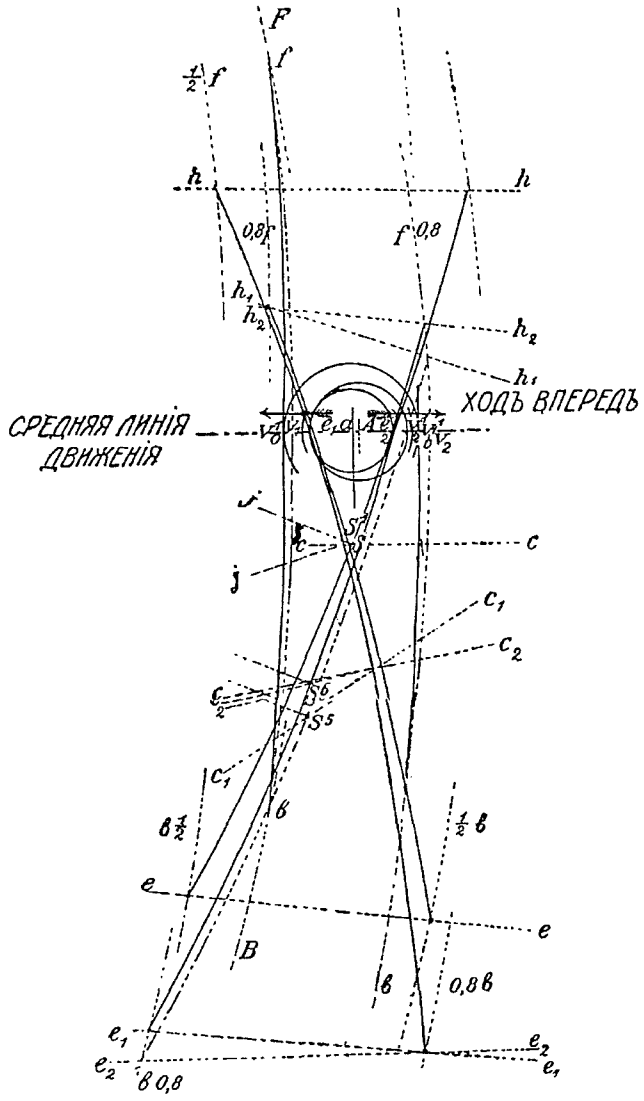
Вычерчиваютъ указаннымъ выше пріемомъ всѣ двѣнадцать важнѣйшихъ положеній эксцентриситета и 10 положеній шаблона кулисы (фиг. 64), имѣя въ виду прослѣдить движеніе кулисы и найти положеніе перекидного вала. При этомъ попутно опредѣляютъ:

а) ходъ v_1v_2 золотника при среднемъ положеніи кулисы,

б) перекрышу впуска Ae по заданному линейному предваренію для средняго положенія кулисы,

в) положеніе подвѣсной цапфы, по условію равенства отсѣчекъ для половины хода поршня.

Открытая кулиса весьма удобно подвѣшивается за цапфу верхней эксцентриковой тяги, съ расположеніемъ перекидного вала ниже средней линіи движенія. Поэтому необходимо наносить на чертежъ какъ положеніе средней линіи jS шаблона для каждаго положенія шаблона, такъ и иоложенія цапфъ эксцентриковыхъ тягъ.



Фиг. 64.

При подвѣскѣ за среднюю линію, затрудненія отъ значительнаго наклона линіи C_1C_1, соединяющей положенія точки подвѣса при крайнихъ положеніяхъ кулисы, исправляются указаннымъ ранѣе пріемомъ съ измѣненіемъ средняго положенія A камня и съ измѣненіемъ радіуса кривизны кулисы.

Во взятомъ примѣрѣ, при центральной подвѣскѣ кулисы истинный радіусъ ея равенъ 1702 мм., перекрыша впуска равна 26 мм. и линейное предвареніе

впуска для хода поршня назадъ при крайнемъ положенiи кулисы равно 3 мм., а для хода поршня впередъ равно 5 мм.

Если кулиса подвѣшена за верхнюю цапфу, то линiи движенiя подвѣсной цапфы для хода паровоза впередъ будутъ $\overline{hh}$, $\overline{h_1h_1}$, $\overline{h_2h_2}$ и перекидной валъ долженъ быть помѣщенъ ниже средней линiи движенiя. Если, напротивъ, кулиса подвѣшена за нижнюю цапфу, то линiи движенiя ея точки подвѣса будутъ $\overline{ee}$, $\overline{e_1e_1}$, $\overline{e_2e_2}$ и перекидной валъ долженъ быть расположенъ выше средней линiи движенiя.

Въ каждомъ частномъ случаѣ необходимо выяснить, какой величины неравенство можетъ быть допущено въ линейныхъ опереженiяхъ при крайнихъ положенiяхъ кулисы и въ величинахъ отсѣчекъ, а также установить, насколько уравненiе движенiя золотника для хода паровоза впередъ вредно отзовется на симметричности его движенiя для хода паровоза назадъ.

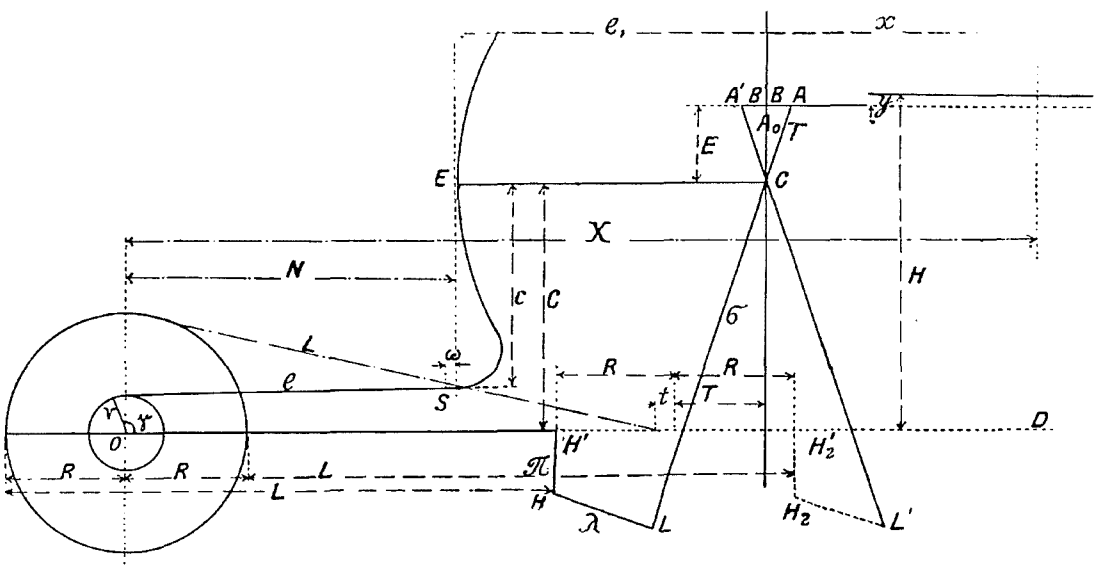
ГЛАВА IV.

Построеніе кулисы Гейзингера.

§ 36. Основныя данныя.

При проектированіи кулисы Гейзингера данными будутъ также R, L, H, X, r_0 и r_m, по мѣсту же выбираются (фиг. 65):

1) разстояніе средняго положенія маятника AL отъ цилиндра; при принятыхъ размѣрахъ цилиндровъ разстояніе x маятника до поперечной плоскости,



Фиг. 65.

проходящей черезъ середину золотниковаго стола, можетъ быть выбрано въ предѣлахъ 0,9—1,1 метр.;

2) разстояніе l_1 до маятника AL отъ поперечной плоскости, въ которой лежитъ точка подвѣса кулисы, совпадающая въ большинствѣ случаевъ съ одной изъ точекъ осевой дуги кулисы; приблизительно, эта плоскость должна дѣлить пополамъ разстояніе между ведущей осью и маятникомъ AL. Обычно однако положеніе этой плоскости предопредѣляется размѣщеніемъ пареллельныхъ рамъ

съ укрѣпленными къ нимъ подшипниками для кулисы. Для увеличенія длины l_1 полезно отодвигать эту плоскость ближе къ ведущей оси;

3) линія движенія точки A маятника AL; эта линія или совпадаетъ съ осью золотниковаго стержня или располагается параллельно ей на нѣкоторомъ разстояніи y, обусловливаемомъ конструкціей шарнира.

Остальные размѣры опредѣляются уже по соображеніямъ съ требуемой отъ частей прибора работой.

§ 37. Длина маятника.

Длина маятника AL можетъ быть назначаема съ большимъ произволомъ, лучше однако выбирать ее въ зависимости отъ величины R и r_0, придерживаясь для плеча AC предѣловъ (2—3) r_0, чтобы имѣть уголъ качанія маятника въ предѣлахъ до 20°—30° и въ то же время не удлинять чрезмѣрно маятника. Величины плечъ

$$AC = \tau \text{ и } LC = \sigma$$

находятся изъ

$$\tau : \sigma = r_0 : R, \quad \tau = (2-3)\, r_0,$$

такъ какъ изъ теоріи слѣдуетъ, что ходъ r_0 золотника при среднемъ положеніи кулисы производится исключительно перемѣщеніемъ маятника AL.

Такимъ образомъ, если

$$\sigma + \tau = \omega\ (R + r_0),$$

то

$$\tau = \omega r_0, \ \sigma = \omega R \text{ и } \omega = (2—3).$$

При выборѣ σ и τ ограничиваются цѣлыми миллиметрами, вслѣдствіе чего r_0 въ дѣйствительности будетъ нѣсколько отличаться отъ расчетнаго и найдется изъ

$$r_0 = \frac{\tau}{\sigma} R.$$

Общая длина маятника должна быть провѣрена по габариту и если наибольшая возможная длина маятника не даетъ для τ выполнимой величины (50—125 мм.), то необходимо увеличить ходъ $2r_0$.

§ 38. Водило и палецъ.

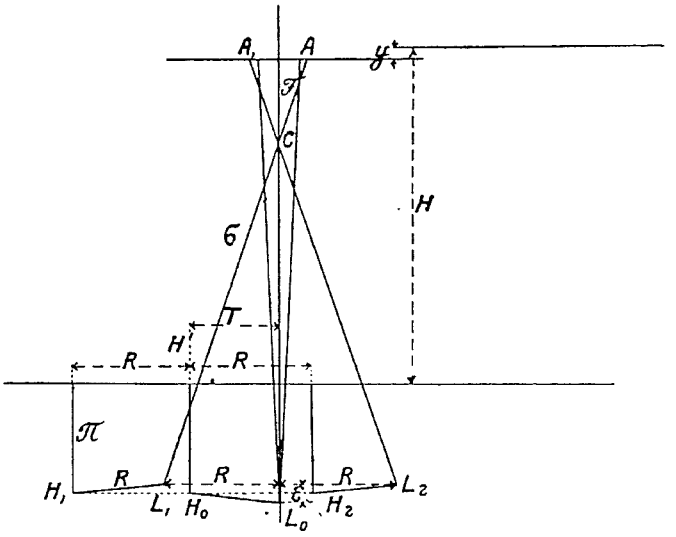
Длина λ водила $\overline{HL}$ на практикѣ измѣняется въ широкихъ предѣлахъ, также какъ и длина пальца $\overline{HH_1}$.

Однако, изъ условія симметричности парораспредѣленія при прямомъ и обратномъ ходѣ поршня они могутъ быть довольно просто опредѣлены чертежомъ по совпаденію точки L маятника съ средней линіей его качанія при отсѣчкѣ на половинѣ хода поршня.

Съ этой цѣлью строятъ въ возможно большемъ масштабѣ схему парораспредѣленія пользуясь величинами R, L, X, x, l, H, y, τ, σ и l (см. стр. 88, фиг. 65).

Затѣмъ проводятъ двѣ параллели среднему положенію маятника AL въ разстояніи отъ него $+R$ и $-R$.

Прикладываютъ шаблонъ маятника такъ, чтобы точка A располагалась на линіи ея хода, точка C упала на прямую, изображающую среднее положеніе маятника $\overline{AL}$, и точка L поочереди лежала на проведенныхъ параллеляхъ. Въ обоихъ положеніяхъ маятника точка C должна давать общую точку, черезъ которую проходитъ линія $\overline{CE}$, параллельная оси золотниковаго стержня и содержащая точку E подвѣса кулисы.



Фиг. 66.

Положенія точки A ограничатъ наименьшій ходъ золотника и, за исключеніемъ длинъ A_0B и A_0B' — перекрышъ впуска, опредѣлятъ величины дѣйствительныхъ линейныхъ предвареній впуска, которыя будетъ давать приборъ *). Положенія точки L въ связи съ среднимъ ея положеніемъ L_0, получаемымъ на средней линіи при совпаденіи конца A маятника съ точками B, B', опредѣляютъ длину пальца водила и самаго водила. Именно, для симметричности парораспредѣленія желательно, чтобы при среднемъ положеніи поршня маятникъ AL занималъ симметричныя положенія при отсѣчкахъ.

Съ этой цѣлью соединяютъ линіей точки L_1 и L_2 крайнихъ положеній маятника и дѣлятъ стрѣлку къ L_0 пополамъ. Отстояніе точки дѣленія отъ линіи мертвыхъ точекъ даетъ длину пальца водила (фиг. 66); длина же водила $\overline{HL}$ получится соединеніемъ точки H_0—средняго положенія конца пальца водила съ точкой L_0—среднимъ положеніемъ нижняго конца маятника $\overline{AL}$. [Эти построенія имѣютъ мѣсто лишь при параллельности линіи хода золотника съ линіей мертвыхъ точекъ].

На основаніи тѣхъ же соображеній длина пальца и длина водила находятся аналитически изъ слѣдующихъ соотношеній.

Назовемъ черезъ T (фиг. 66) разстояніе средняго положенія маятника $\overline{AL}$ до средняго положенія крейцкопфа **), т. е. до положенія, соотвѣтствующаго среднему положенію поршня,

$$T = X - x - L.$$

*) Какъ уже сказано выше, эти величины нѣсколько отличаются отъ разсчетныхъ въ виду того, что длины T и σ приходится выбирать въ цѣлыхъ миллиметрахъ.

**) Положеніе крейцкопфа опредѣляется положеніемъ центра шарнира ведущаго шатуна.

Пусть въ положеніяхъ маятника $\overline{AL}$, соотвѣтствующихъ отсѣчкамъ при половинѣ поршня, нижняя его точка L_0 располагается на величину ε ниже ея положеній L_1 и L_2 при наибольшихъ розмахахъ маятника.

Тогда по условію симметричности распредѣленія для обоихъ ходовъ поршня водило должно имѣть длину λ, опредѣляемую изъ условія

$$\lambda^2 = T^2 + \frac{\varepsilon^2}{4},$$

то есть

$$\lambda = \sqrt{T^2 + \frac{\varepsilon^2}{4}}.$$

Длина пальца водила выразится соотношеніемъ

$$\Pi = \sqrt{(\tau + \sigma)^2 - e^2} + y - H - \frac{\varepsilon}{2}.$$

Величина стрѣлки ε маятника AL опредѣлится какъ разность длинъ катетовъ двухъ треугольниковъ, въ которыхъ гипотенуза равна длинѣ маятника, а другой катетъ равенъ въ одномъ перекрышѣ впуска, а въ другомъ $R + r_0$.

То есть

$$\varepsilon = \sqrt{(\tau + \sigma)^2 - e^2} - \sqrt{(\tau + \sigma)^2 - (R + r_0)^2}.$$

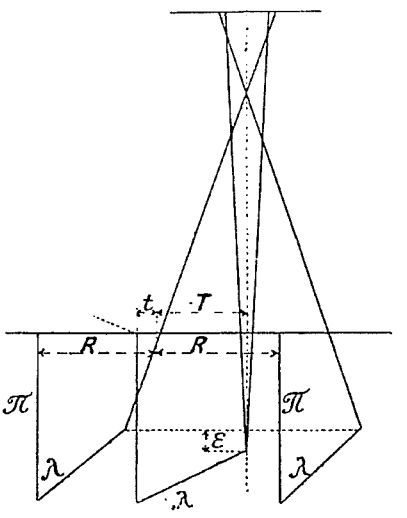
Если преслѣдовать уравниваніе парораспредѣленія по отношенію къ углу кривошипа, то есть достигать симметричности распредѣленія при одинаковыхъ углахъ кривошипа въ 90° въ прямомъ и обратномъ ходѣ поршня, то длина λ водила и Π пальца опредѣлятся слѣдующими зависимостями (фиг. 67).

$$\lambda^2 = T^2 + \left(\frac{t^2 + 2Tt + \varepsilon^2}{2\varepsilon}\right)^2;$$

$$\Pi = \sqrt{(\tau + \sigma)^2 - e^2} + y - H + \frac{t^2 + 2Tt + \varepsilon^2}{2\varepsilon},$$

гдѣ

$$t = L\ (1 - \cos\beta) = L - \sqrt{L^2 - R^2}.$$



Фиг. 67.

Замѣтимъ здѣсь кстати, что при заданномъ T, нельзя по произволу выбрать λ такою, чтобы въ крайнемъ положеніи водило было горизонтально. Иначе говоря, надо опредѣлить длину T*) по этому условію, если оно будетъ поставлено.

Иногда совѣтуютъ (Hütte) выбирать длину водила и пальца по тому условію, чтобы устранить наклономъ водила вліяніе конечной длины шатуна и чтобы при среднемъ положеніи поршня и расположеніи маятника вдоль средней линіи его качаній,

*) Въ этомъ случаѣ должно быть $T = \frac{\varepsilon^2 - t^2}{2t}$.

водило располагалось горизонтально. Однако, нѣтъ основаній придерживаться этого правила вслѣдствіе очевидной условности его и на практикѣ стремятся къ увеличенію длины водила для возможно точной передачи маятнику движенія крейцкопфа. Pfitzner въ своемъ интересномъ изслѣдованіи *) доказываетъ, что такой подборъ длины водила не вноситъ улучшенія въ даваемое приборомъ парораспредѣленіе.

§ 39. Радіусъ и плечо кулисы.

Кулиса въ парораспредѣленіи Гейзингера очерчивается обычно по дугѣ круга радіусомъ, равнымъ длинѣ золотниковой (кулисной) тяги, какъ того требуетъ условіе равенства линейныхъ предвареній при всѣхъ отсѣчкахъ. Центръ этой дуги въ среднемъ положеніи кулисы, соотвѣтствующемъ мертвымъ положеніямъ поршня, выбирается въ точкѣ C захвата маятника золотниковой тягой и касательная къ кулисѣ въ точкѣ подвѣса ея (основная касательная) располагается при этомъ положеніи кулисы перпендикулярно линіи хода золотника.

Однако иногда кулису очерчиваютъ дугой другого радіуса и даже дѣлаютъ прямой, но выгодъ отъ такого устройства не усматривается.

Точка захвата кулисы эксцентриковой тягой при среднемъ положеніи кулисы или совпадаетъ съ линіей хода поршня или часто располагается внѣ ея, ближе къ точкѣ подвѣса кулисы.

Преслѣдуя равенство предвареній впуска для обоихъ ходовъ поршня, уголъ γ заклинки ведущаго эксцентрика дѣлается въ первомъ случаѣ равнымъ 90°, а во второмъ, какъ было указано теоріей кулисы онъ долженъ быть опредѣленъ какъ уголъ, составленный съ продолженіемъ кривошипа перпендикуляромъ къ линіи, соединяющей точку S захвата кулисы въ среднемъ положеніи съ центромъ O ведущей оси. Въ обоихъ случаяхъ точка захвата кулисы не лежитъ на основной касательной, а располагается нѣсколько ближе къ центру ведущей оси съ цѣлью уравненія розмаховъ кулисы, въ видахъ достиженія большей симметричности въ парораспредѣленіи:

$$\omega = 0 - 100 \text{ мм.}.$$

Изъ теоріи кулисы Гейзингера слѣдуетъ, что наибольшее перемѣщеніе золотника, производимое кулисою, выражается черезъ радіусъ r ведущаго эксцентра и его уголъ заклинки γ слѣдующимъ образомъ

$$B_m = r_m \sin\gamma_m = \frac{R + r_0}{R} \cdot \frac{U_1}{C} r \left(\sin\gamma - \frac{C - c}{l} \cos\gamma\right),$$

гдѣ

r_0 — наименьшій ходъ золотника (независящій отъ кулисы),

U_1 — разстояніе камня при наибольшемъ наполненіи до радіуса кулисы, проходящаго черезъ ея точку подвѣса,

c — разстояніе точки захвата кулисы до того же радіуса,

C — разстояніе точки подвѣса до линіи хода поршня.

---

*) Z. d. V. d. Ing. 1905, № 12, стр. 481.

Отсюда видно, что наибольшее горизонтальное перемѣщеніе головки кулисной тяги и камня изъ средняго положенія будетъ

$$r_1 = B_m \frac{R}{R + r_0}$$

и что радіусъ r ведущаго эксцентра остается произвольнымъ до выбора отношенія $\frac{U_1}{c}$.

Для улучшенія дѣйствія парораспредѣленія предпочтительно придерживаться соотношенія

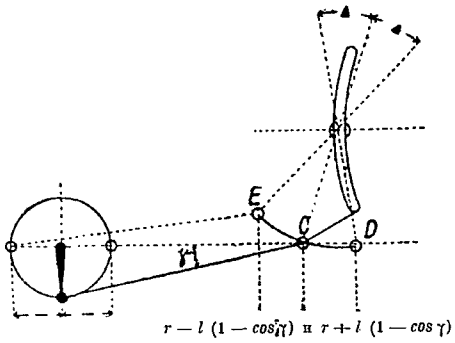
$$U_1 = [2{,}5 - 3]\, r_1,$$

что ограничиваетъ уголъ розмаха кулисы отъ средняго положенія 20°—23°. Обычно $U_1 = 100$—160 мм.

Величина c во многихъ примѣрахъ существующихъ парораспредѣленій меньше C, такъ что точка захвата кулисы отстоитъ отъ ея точки подвѣса приблизительно на 0,3—0,4 метр. и до 0,45 метр.

Также и въ цѣляхъ болѣе симметричной работы въ прямомъ и обратномъ ходѣ поршня слѣдуетъ располагать точку захвата кулисы нѣсколько выше линіи хода поршня.

Точку захвата кулисы иногда опредѣляютъ изъ условія равенства розмаховъ кулисы въ ту и другую стороны отъ средняго положенія при поворотѣ кривошипа на 90° изъ мертвыхъ положеній. Этотъ способъ, примѣняемый на заводѣ Krauss und C° въ Мюнхенѣ, сообщенъ былъ W. Hauff въ Z. d. V. d. Ing. за 1905 г, стр. 1641 *).



Фиг. 68.

W. Pfitzner въ Z. d. Ver. d. Ing. 1905 г., № 12, стр. 481 указываетъ, что такимъ выборомъ точки захвата кулисы достигается весьма существенное улучшеніе въ парораспредѣленіи.

Въ этомъ способѣ точка захвата кулисы опредѣляется по условію, чтобы пути, проходимые точкой захвата кулисы, равные въ проекціяхъ на линію хода поршня.

$$r - l\ (1 - \cos\gamma) \text{ и } r + l\ (1 - \cos\gamma),$$

вызывали равные углы качанія кулисы (см. фиг. 68).

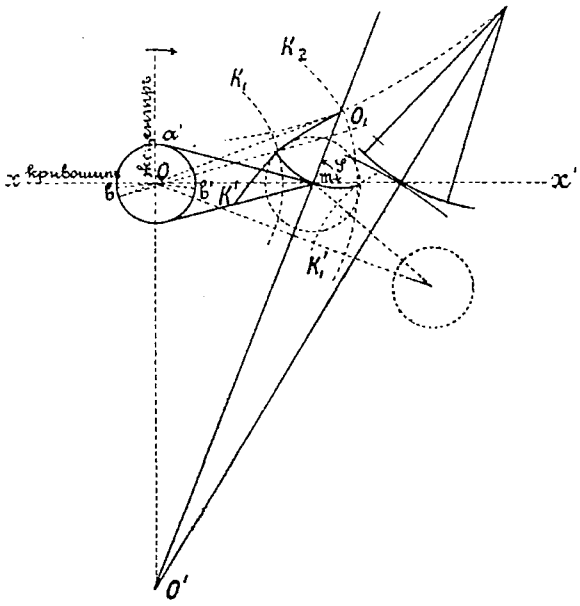
§ 40. Точка подвѣса кулисы.

Исходя изъ того же принципа, инж. З. Э. В. Вестренъ-Доллъ въ Вѣстникѣ Общества Технологовъ за 1910 г., №№ 3 и 4 приводитъ способъ нахожденія положенія точки подвѣса кулисы путемъ графическаго испробованія (стр. 117—118).

Слѣдуетъ однако имѣть въ виду, что при этомъ способѣ не учитывается

*) Онъ описанъ также въ Вѣстникѣ Общ. Технологовъ 1906 г. № 1, стр. 25, въ статьѣ В. Фармаковскаго.

вліяніе конечной длины шатуна на распредѣленіе, зависящее отъ колебаній кулисы, и кромѣ того, что разстояніе точки подвѣса кулисы отъ линіи хода золотника уже предопредѣляется выборомъ плечъ маятника и всякое измѣненіе этого разстоянія вызываетъ необходимость или перепроектировки маятника или отступленія отъ параллелизма средняго положенія радіуса кулисы съ линіей хода золотника.



Фиг. 69.

Въ Z. d. Ver. d. Ing. s. 141, № 4, 1908 г. (т. 52) профессоръ L. Baudiss изложилъ попытку опредѣлить точку подвѣса кулисы, поставивъ требованіемъ, чтобы не только равнымъ отклоненіямъ кулисы изъ средняго положенія отвѣчали равныя перемѣщенія поршня изъ мертвыхъ точекъ, но чтобы каждому положенію кулисы отвѣчали два—одинаково удаленные отъ средины хода положенія поршня.

Изслѣдованіе показало, что обоимъ требованіямъ одновременно удовлетворить нельзя и необходимо ограничиться удовлетвореніемъ только второго требованія; далѣе, что длина эксцентриковыхъ тягъ должна быть не менѣе $6r$ и значительное менѣе $2\frac{r}{R}L$ и что выгоднѣе заклинивать эксцентрикъ такъ, чтобы онъ шелъ впереди кривошипа, чѣмъ позади его.

Точка подвѣса O_1 кулисы при этомъ опредѣляется имъ по условію, чтобы она лежала на прямой $\overline{O'm}$ (фиг. 69), проведенной черезъ точку m—конецъ эксцентриковой тяги при мертвомъ положеніи поршня, изъ точки O', лежащей въ разстояніи $2\frac{r}{R}L$ отъ центра O ведущей оси по продолженію положенія $\overline{Oa'}$ эксцентриситета при мертвомъ положеніи поршня и чтобы она была центромъ круга, проходящаго черезъ точку m и точки пересѣченія дугъ K_1, K_2, описанныхъ длиною эксцентриковой тяги изъ точекъ b, b', представляющихъ положенія центра эксцентрика при среднемъ положеніи поршня,—съ дугами K^1 и $K^1{}_1$, имъ симметричными относительно прямой $\overline{O'm}$.

Надо замѣтить однако, что на практикѣ въ большинствѣ случаевъ нельзя бываетъ въ точности слѣдовать приведеннымъ указаніямъ и приходится искать другого мѣста для подвѣса кулисы.

§ 41. Приводный механизмъ.

Существуетъ также мнѣніе, что выборъ длины l—эксцентриковой тяги, радіуса r ведущаго эксцентрика, угла γ—заклинки его, разстоянія f *) точки

*) Въ принятыхъ обозначеніяхъ $f = \sqrt{c^2 + \omega^2}$.

захвата кулисы до точки подвѣса ея—(длины плеча кулисы)—является неопредѣленнымъ *), допускающимъ множество рѣшеній.

Раціонально однако обусловить его, при заданномъ разстояніи M точки подвѣса E кулисы отъ O центра ведущей оси, требованіемъ, чтобы кулиса отклонялась отъ средняго своего положенія на равные данные углы Δ при положеніи поршня въ срединѣ его хода, иначе говоря,—стремиться къ уничтоженію вліянія конечной длины шатуна на парораспредѣленіе при наполненіи въ 0,5 хода поршня.

Разстояніе M опредѣляется изъ слѣдующаго соотношенія

$$M = \sqrt{N^2 + C^2},$$

то есть

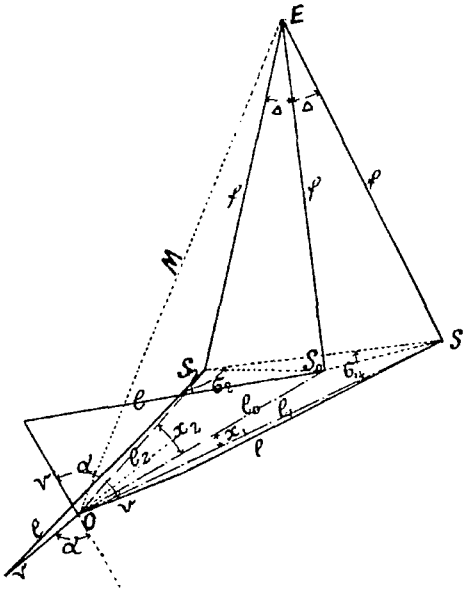
$$M = \sqrt{(X - x - l_1)^2 + (H - E - y)^2},$$

гдѣ

$$E = \sqrt{\tau^2 - r_0^2}.$$

При наличіи высказаннаго условія имѣютъ данными углы α_1 и α отклоненія эксцентриситета изъ средняго положенія и притомъ

$$\alpha + \alpha_1 = 180^\circ.$$



Фиг. 70.

Пусть l_1, l_0, l_2 (фиг. 70) обозначаютъ векторы, проведенные изъ O въ точки s, s_0, s_2, занятыя концомъ вектора f (плеча кулисы) въ крайнихъ и среднемъ положеніяхъ,—x_1 и x_2—углы, составленные ими между собою при точкѣ O, и σ_1 и σ_2—углы, составленные ими при s и s_2 съ хордой $\overline{ss_2}$.

Тогда изъ геометрическихъ зависимостей можно составить слѣдующія десять соотношеній

$$\sigma_1 + \sigma_2 + x_1 + x_2 = \pi,$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\sin \sigma_2}{\sin \sigma_1},$$

$$[2f \sin \Delta]^2 = l_1^2 + l_1^2 - 2l_1 l_2 \cos (x_1 + x_2),$$

$$l_1^2 - l_0^2 + \left(2f \sin \frac{\Delta}{2}\right)^2 = 4f l_1 \sin \frac{\Delta}{2} \cos \left(\sigma_1 - \frac{\Delta}{2}\right),$$

$$M^2 = f^2 + l_1^2 - 2fl_1 \sin (\Delta - \sigma_1),$$

$$\left[2f \sin \frac{\Delta}{2}\right]^2 = l_0^2 + l_1^2 - 2l_0 l_1 \cos x_1 = l_0^2 + l_2^2 - 2l_0 l_2 \cos x_2,$$

*) Михайловъ. Проектированіе современныхъ паровозовъ большой мощности. Спб. 1910 г.

$$l_0^2 = l^2 - r^2,$$

$$l^2 = r^2 + l_1^2 - 2rl_1 \sin(\alpha + x_1),$$

$$l^2 = r^2 + l_2^2 + 2rl_2 \sin(\alpha + x_2),$$

$$\frac{l_0}{2f \sin\frac{\Delta}{2}} = \frac{\sin\left(\sigma_2 - \frac{\Delta}{2}\right)}{\sin x_2} = \frac{\sin\left(\sigma_1 - \frac{\Delta}{2}\right)}{\sin x_1}.$$

Эти уравненія съ 10 неизвѣстными

$$r,\ l,\ l_1,\ l_2,\ l_0,\ f,\ x_1,\ x_2,\ \sigma_1,\ \sigma_2$$

можно свести къ системѣ пяти уравненій съ пятью неизвѣстными

$$l_1,\ l_2,\ l_0,\ x_1,\ x_2.$$

Именно:

$$l_1^2 + l_2^2 + 2l_1l_2 \cos(x_1 + x_2 + \Delta) - 2l_0^2(1 + \cos\Delta) = 0,$$

$$(2M \sin\Delta)^2 = l_1^2 + l_2^2 - 2l_1l_2 \cos(x_1 + x_2 + 2\Delta),$$

$$2l_0(l_1 \cos x_1 - l_2 \cos x_2) = l_1^2 - l_2^2,$$

$$l_1(l_0^2 - l_2^2) \sin(\alpha + x_1) = l_2(l_1^2 - l_0^2) \sin(\alpha + x_2),$$

$$\frac{\sin\left(x_2 + \frac{\Delta}{2}\right)}{\sin\left(x_1 + \frac{\Delta}{2}\right)} = \frac{l_1}{l_2}.$$

Рѣшеніе этой системы уравненій упрощается, если углы x_1 и x_2 такъ малы что можно принять

$$\cos x_1 = \cos x_2 = 1.$$

Тогда три послѣднихъ уравненія дадутъ

$$2l_0 = l_1 + l_2,$$

$$\sin x_2 - \sin x_1 = \frac{l_1^2 - l_2^2}{2l_1l_2}\left(tg\,\alpha - tg\frac{\Delta}{2}\right),$$

$$l_2 \sin x_2 - l_1 \sin x_1 = (l_1 - l_2)\, tg\frac{\Delta}{2}.$$

И два первыхъ приведутся къ двумъ квадратнымъ уравненіямъ

$$(l_1 + l_2)^2\left[1 - 2\left(tg\,\alpha - tg\frac{\Delta}{2}\right)\sin\Delta - \cos\Delta\left(1 + tg^2\alpha - 4tg\,\alpha\, tg\frac{\Delta}{2} + 3tg^2\frac{\Delta}{2}\right)\right] =$$

$$= 4l_1l_2\left[1 - 2tg\frac{\Delta}{2}\sin\Delta - \cos\Delta\left(1 - tg^2\frac{\Delta}{2}\right)\right]$$

и

$$(l_1 + l_2)^2 \left[1 + \left(tg\,\alpha - tg\,\frac{\Delta}{2}\right) sin\,2\Delta + \frac{1}{2}\,cos\,2\Delta \left(tg^2\,\alpha - 4tg\,\alpha\,tg\,\frac{\Delta}{2} + 3tg^2\,\frac{\Delta}{2}\right)\right] =$$

$$= 2l_1 l_2 \left[1 + 2tg\,\frac{\Delta}{2}\,sin\,2\Delta + cos\,2\Delta \left(1 - tg^2\,\frac{\Delta}{2}\right)\right] + [2M\,sin\,\Delta]^2.$$

Изъ нихъ найдутся l_1 и l_2.

Длина f плеча кулисы $\overline{ES}$ найдется изъ уравненія

$$l_1 - l_2 = 4f\,sin\,\frac{\Delta}{2},$$

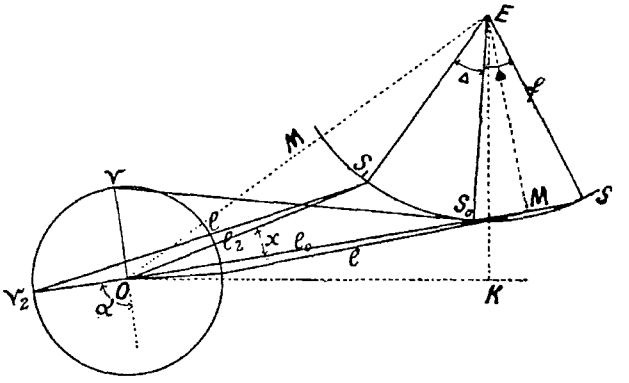
къ которому приводится шестое соотношеніе при

$$cos\,x_1 = cos\,x_2 = 1.$$

Остальныя величины можно опредѣлить непосредственно чертежемъ.

§ 42. Упрощенный случай.

Весьма простыя зависимости получаются для случая $x_1 = 0$; то-есть когда направленія l_1 и l_0 совпадаютъ. Такъ какъ на практикѣ обычно этого можно бываетъ достичь и вліяніе конечной длины эксцентриковыхъ тягъ на парораспредѣленія въ немъ весьма мало, то этотъ случай представляетъ особый интересъ при проектированіи уравненнаго парораспредѣленія.



Фиг. 71.

Сохраняя прежнія обозначенія и замѣнивъ x_2 черезъ x, имѣютъ (фиг. 71).

$$M^2 - f^2 = l_1 l_0, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

$$2f\,sin\,\frac{\Delta}{2} = l_1 - l_0, \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

$$\left(2f\,sin\,\frac{\Delta}{2}\right)^2 = l_0^2 + l_2^2 - 2l_0 l_2\,cos\,x, \quad \ldots \ldots \ldots \quad (3)$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{l_1 - l_0}{l_2} &= \frac{\sin x}{\sin \Delta}, \\ l_0 &= l_2 \cos x + (l_1 - l_0) \cos \Delta, \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

$$\left.\begin{aligned} l^2 - r^2 &= l_2^2 + 2 l_2 r \sin (\alpha + x), \\ l^2 - r^2 &= l_1^2 - 2 l_1 r \sin \alpha, \\ l^2 - r^2 &= l_0^2. \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Откуда слѣдуетъ уравненіе

$$M^2 \sin^2 \frac{\Delta}{2} = \frac{\sin (\alpha - \Delta)}{\sin \alpha} \cdot f \sin \frac{\Delta}{2} \sqrt{M^2 - f^2 \cos^2 \frac{\Delta}{2}}.$$

Для построенія изъ этой зависимости величины

$$f \cos \frac{\Delta}{2}$$

вычерчиваютъ сначала прямоугольный треугольникъ OAE (фиг. 72) по гипотенузѣ $\overline{OE} = M$ и катету $\overline{EA} = C$. Затѣмъ строятъ треугольникъ ODE по гипотенузѣ $\overline{OE} = M$ и углу

$$EOD = \frac{\Delta}{2}.$$

Найденную высоту его $\overline{DK}$ увеличиваютъ въ отношеніи

$$\frac{\sin \alpha}{\sin (\alpha - \Delta)}$$

и на полученной длинѣ $KH = KL$, какъ на высотѣ строятъ прямоугольный треугольникъ OME съ гипотенузой $\overline{EO} = M$. Его катетъ EM и будетъ равенъ искомому

$$f \cos \frac{\Delta}{2}.$$

Отложивъ при E углы

$$SEM = S_0 EM = \frac{\Delta}{2},$$

получаютъ

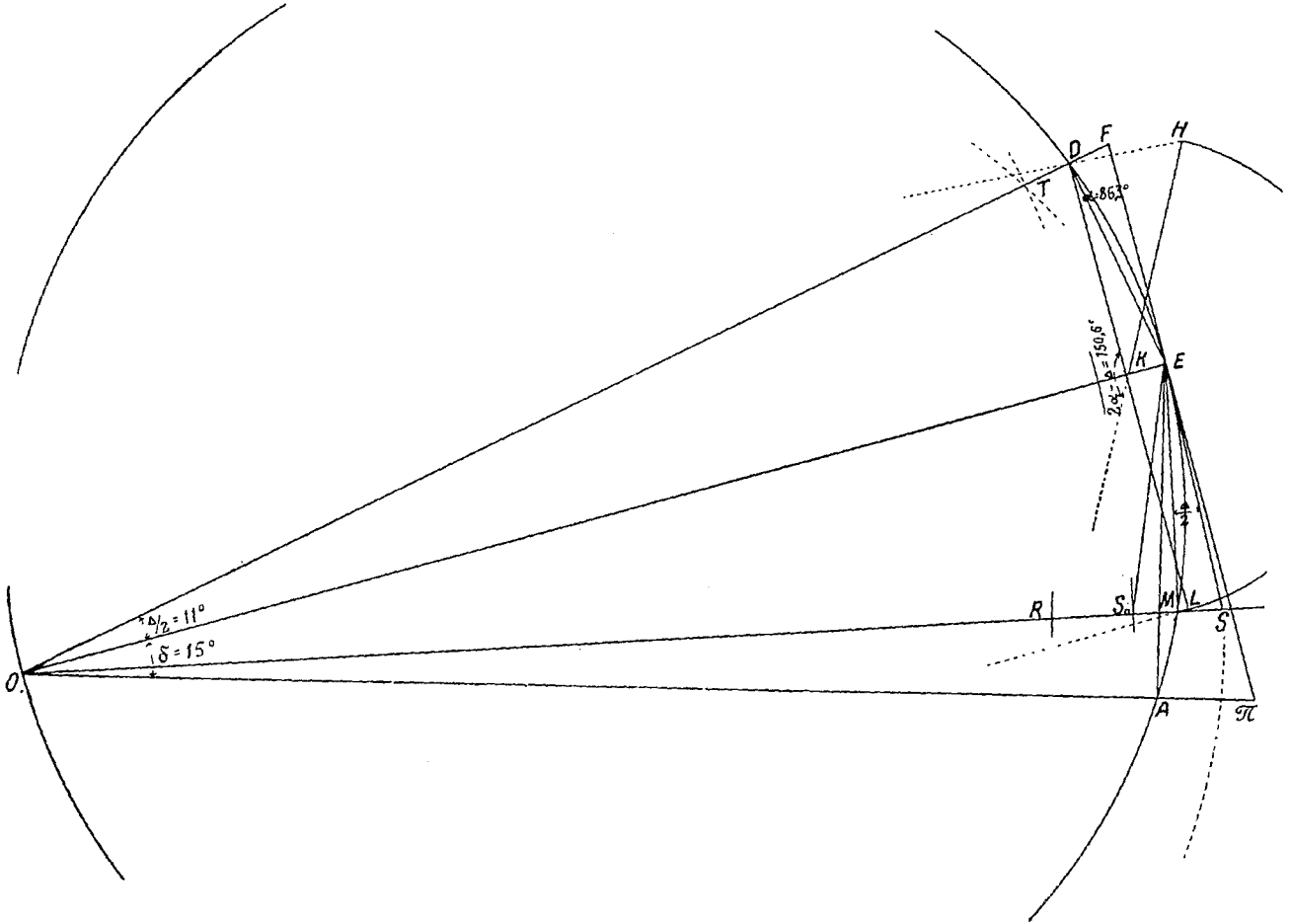
$$\overline{OS} = l_1, \ \overline{OS_0} = l_0; \ \overline{ES} = f. \ ^{*)}$$

---

*) На томъ же чертежѣ нанесено построеніе $RS = 2r \sin \alpha$ проектировкой на OS точки T пересѣченія дуги радіуса $OT = OS_0 = l_0$ съ окружностью, построенной на $OS = l_1$ какъ на діаметрѣ.

Изъ построенія вытекаетъ условіе:

$$\delta \leq \Delta \leq \frac{\alpha}{2}, \text{ гдѣ } \delta = EOA.$$



Фиг. 72.

Для увеличенія точности построенія полезно ввести вспомогательный уголъ φ между направленіями M и l_0, тогда написанная выше зависимость сведется къ

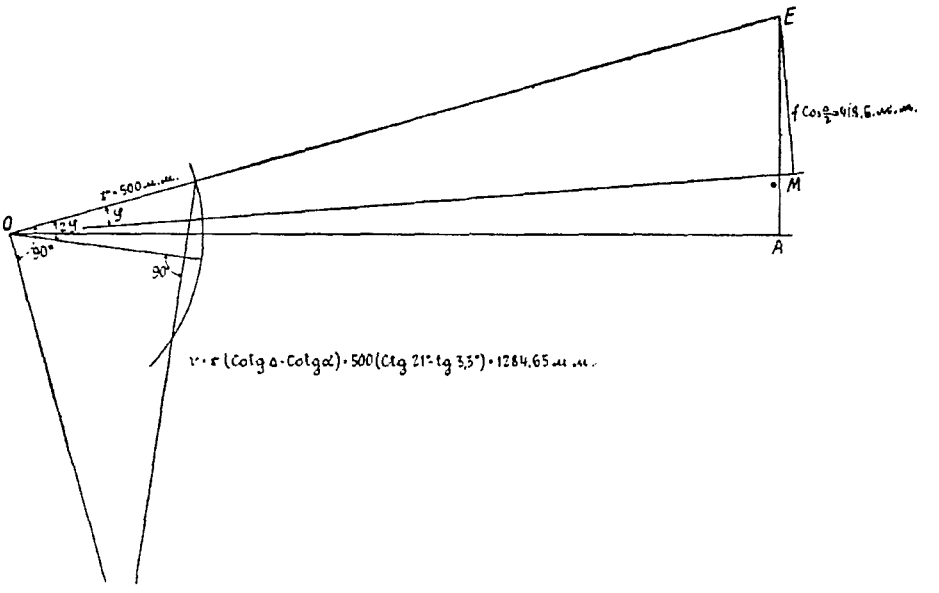
$$\sin 2\varphi = \frac{1}{ctg\Delta - ctg\,\alpha},$$

а построеніе—къ построенію

$$f \cos\frac{\Delta}{2} = M \sin\varphi.$$

Взявъ изъ таблицъ разность *Ctg.*, при любомъ радіусѣ опредѣляютъ построеніемъ (фиг. 73) уголъ 2φ, а затѣмъ φ, дающій направленіе OS, перпендикуляръ на которое изъ E даетъ

$$f \cos\frac{\Delta}{2}.$$



Фиг. 73.

Опредѣливъ на основаніи изложенныхъ соображеній всѣ размѣры проектируемаго прибора, необходимо вычертить его схематично, по возможности въ натуральную величину, для окончательной вывѣрки и надлежащаго выбора точки подвѣса кулисной тяги къ перекидному рычагу, мѣста расположенія этого послѣдняго и длины его плечъ.

§ 43. Примѣръ.

Даны:

Длина ведущаго шатуна $L = 2715$ мм.

Длина поршневого кривошипа $R = 350$ мм.

Разстояніе центра ведущей оси до средины золотниковаго стола $X = 4382$ мм.

Разстояніе между линіей хода поршня и линіей хода золотниковаго стержня $H = 668{,}5$ мм., причемъ шарниръ маятника совпадаетъ съ осью золотниковаго стержня $y = 0$.

Наименьшій ходъ золотника $2r_0$, или—что тоже—перекрыша впуска $e = 33$ мм. и линейное предвареніе впуска $v_0 = 4$ мм.

Наибольшая степень наполненія $\varepsilon_{max} = 0{,}8$ хода поршня и соотвѣтствующій ей наибольшій ходъ золотника $2r_m = 156$ мм.

По этимъ даннымъ и мѣстнымъ условіямъ выбираются:

Разстояніе средняго положенія маятника до средины золотниковаго стола $x = 1059$ мм.

Разстояніе плоскости подвѣса кулисы до средняго положенія маятника или—тоже—радіусъ кривизны кулисы $l_1 = 1315$ мм.

Плечи маятника $\tau = 100$ мм. и $\sigma = 946$ мм.

Далѣе, согласно приведеннымъ выше указаніямъ строится схема парораспредѣленія и опредѣляются построеніемъ (или вычисленіями):

Разстояніе оси маятника до средняго положенія крейцкопфа $T = 608$.

Длина водила маятника, въ предположеніи, что ось пальца сдвинута отъ оси шарнира шатуна на 105 мм., $\lambda = 504$ мм.

Длина пальца $\Pi = 340$ мм.

Разстояніе центра ведущей оси до точки подвѣса кулисы $M = 2089$ мм. ($C = 575{,}6$ мм. $N = 2008$ мм.).

Плечо кулисы, задавшись угломъ розмаха кулисы $\Delta = 21°$, $f = 430$ мм. (съ округленіемъ на 4,3 мм.).

Длина эксцентриковой тяги $l = 1975$ мм. (округлено на 2 мм.).

Разстояніе отъ центра ведущей оси до точки захвата кулисы $l_0 = 1969$ мм. (увеличено на 2 мм. изъ-за допущенныхъ округленій).

Плечо захвата (эксцентриситетъ) ведущаго эксцентра $r = 151{,}5$ мм.

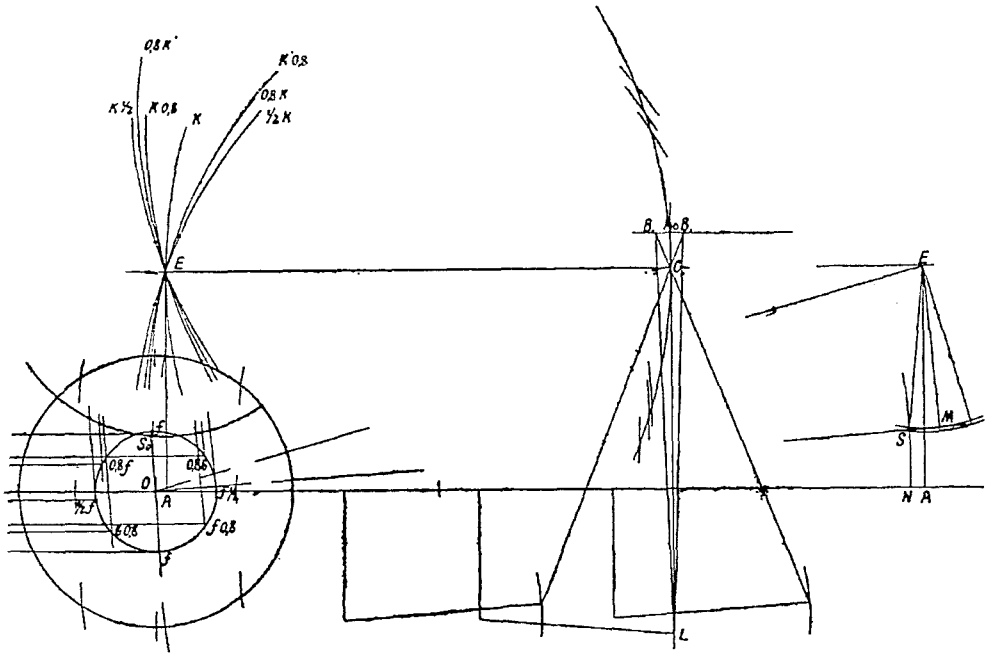
Опредѣливъ такимъ образомъ всѣ основные размѣры парораспредѣленія, приступаютъ къ нахожденію мѣстъ расположенія точки подвѣса кулисной (золотниковой) тяги и центра перекидного вала, а также длины его плеча и подвѣсной тяги, по условію наиболѣе совершеннаго удовлетворенія требованію равенства отсѣчекъ для ходовъ поршня впередъ и назадъ какъ при переднемъ, такъ и при заднемъ ходѣ паровоза.

§ 44. Движеніе кулисы.

Съ этой цѣлью *) прикрѣпляютъ къ длинному чертежному столу листъ бумаги, достаточной величины для вычерчиванія механизма по возможности въ натуральную величину (см. фиг. 74). При примѣненіи способа наложенія достаточно имѣть листъ длиною $R + l_1 + R +$ (100—200 мм.) и не менѣе $R + l_1 +$ (100—200 мм.), при ширинѣ $\tau + \sigma +$ (600 — 1000 мм.). На этомъ листѣ проводятъ въ разстояніи $\tau + \sigma - H +$ (50—100 мм.) отъ низа его линію движенія и наносятъ при точкѣ O концентричныя окружности хода пальца кривошипа $R = 350$ мм. и плеча захвата $r = 151{,}5$ мм. эксцентриковой тяги. Проводятъ изъ общаго центра O прямую $\overline{OS}$ подъ угломъ наклона къ линіи хода поршня линіи, соединяющей

*) Построеніе будетъ исполнено съ примѣненіемъ способа наложенія лишь въ отношеніи сокращенія чертежа на длину эксцентриковой тяги, въ остальномъ построеніе будетъ приведено безъ примѣненія указаннаго способа во избѣжаніе затемнѣнія чертежа и усложненія изслѣдованія.

центръ ведущей оси съ среднимъ положеніемъ S_0 точки захвата кулисы (длина $l_0 = 1969$ мм.), для чего наносятъ въ принятомъ масштабѣ положеніе точки подвѣса E кулисы откладывая $N = 2008$ мм. и $C = 575{,}6$ мм. и опредѣляютъ точку S' захвата кулисы пересѣченіемъ дугъ радіусовъ $l_0 = 1969$ мм. и $f = 430$ мм., проведенныхъ изъ центровъ O и E. Затѣмъ проводятъ изъ O перпендикуляры къ прямой OS и опредѣляютъ въ пересѣченіи ихъ съ окружностью изъ O радіуса $r = 151{,}5$ мм. точки f и F—положенія плеча захвата ведущаго эксцентра при мертвыхъ положеніяхъ поршня. Отъ этихъ точекъ откладываютъ по транспортиру изъ табл. Б, или пользуясь дугами радіуса L (длины шатуна), положе-

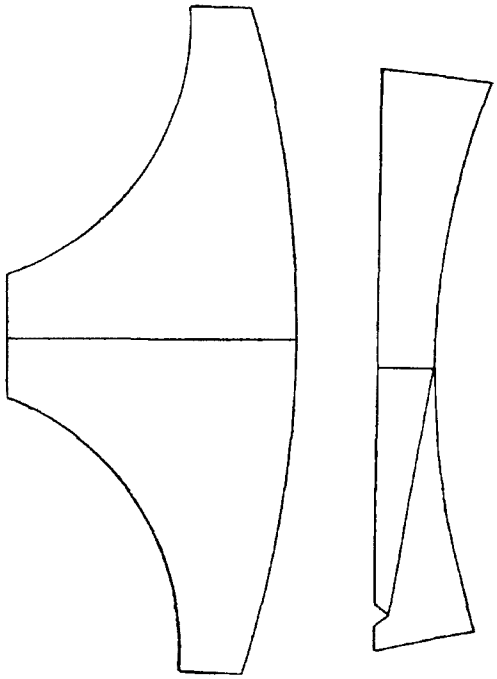


Фиг. 74.

нія плеча захвата $f\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}f$; $0{,}8f$; $f0{,}8$; $0{,}8b$; $b\,0{,}8$ — соотвѣтствующія положеніямъ поршня: въ мертвыхъ точкахъ и на 0,5 и 0,8 его хода, для хода поршня впередъ и назадъ. Далѣе, для опредѣленія совмѣщеннаго при способѣ наложенія положенія точки E подвѣса проводятъ перпендикуляръ къ линіи движенія на разстояніи $N - l = 2008 - 1975 = 33$ мм., между O и A при $N - l > 0$, и откладываютъ на немъ $C = 575{,}6$ мм. *). Положеніе точки захвата опредѣлится по f и разстоянію точки S отъ перпендикуляра въ E къ линіи движенія. Кромѣ того смѣщенное положеніе точки захвата должно лежать въ пересѣченіи дугъ, проведенныхъ по способу наложенія черезъ точки f и F по дуговому шаблону (фиг. 75), очерченному радіусомъ $l = 1975$ мм. равнымъ длинѣ эксцентриковой

*) Если пользуясь способомъ наложенія желаютъ для ясности чертежа сократить его не на всю длину эксцентриковой тяги, а лишь на длину $l - \xi$, то перпендикуляръ проводятъ въ разстояніи $N - l + \xi$ отъ O и всѣ дальнѣйшія построенія сдвигаютъ на ту же длину ξ отъ O къ A.

тяги, съ нанесеннымъ на немъ направленіемъ средняго радіуса. Пользуясь этимъ же шаблономъ проводятъ проходящія черезъ точки $f\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}f$, $f0{,}8$, $0{,}8f$, $b0{,}8$, $0{,}8b$ дуги, прикладывая шаблонъ къ этимъ точкамъ такъ, чтобы направленіе его средняго радіуса было каждый разъ параллельно линіи движенія и изъ точки E (смѣщенная точка подвѣса кулисы) проводятъ радіусомъ f дугу, опредѣляющую въ пересѣченіи съ дугами $\frac{1}{2}f$; $f\frac{1}{2}$; $0{,}8f$; $f0{,}8$; $0{,}8b$; $b0{,}8$, соотвѣтствующія даннымъ положеніямъ поршня положенія точки захвата кулисы и плеча кулисы.



Фиг. 75. Фиг. 76.

По положеніямъ плеча кулисы легко построить положенія K; $K\frac{1}{2}$; $\frac{1}{2}K$; $K\,0{,}8$; $0{,}8\,K$; $K'0{,}8$; $0{,}8\,K'$ самой кулисы, пользуясь постоянствомъ длины линіи S_0C, соединяющей точку захвата кулисы съ ея центромъ кривизны и образующей неизмѣнный треугольникъ S_0EC съ плечемъ кулисы и ея радіусомъ кривизны, проведеннымъ черезъ точку подвѣса, и имѣя въ виду, что при качаніи кулисы около точки E ея центръ кривизны описываетъ дугу радіуса l_1 съ центромъ въ E. Для той же цѣли можно воспользоваться дуговымъ наблономъ (фиг. 76), очерченнымъ по дугѣ кулисы и имѣющимъ вырѣзъ на мѣстѣ расположенія S_0 точки захвата кулисы.

§ 45. Движеніе маятника.

Далѣе наносятъ на чертежѣ въ разстояніи $EC = l_1$ отъ точки подвѣса кулисы линію средняго положенія маятника перпендикулярно линіи хода поршня, и строятъ положенія маятника $\frac{1}{2}M$; $M\frac{1}{2}$; $0{,}8\,M$; $M\,0{,}8$; $0{,}8\,M'$; $M'\,0{,}8$, располагая точку A его въ точкахъ B и B_1, опредѣляемыхъ по условію

$$A_0B = A_0B_1 = e,$$

и точку L для положеній $\frac{1}{2}M$ и $M\frac{1}{2}$ на среднемъ положеніи маятника, а для положеній $0{,}8\,M\ldots M'0{,}8$ на соотвѣтствующихъ дугахъ, опредѣляемыхъ по указаннымъ правиламъ, исходя изъ средняго положенія маятника *).

Изъ полученныхъ четырехъ положеній точки C соединительнаго шарнира

*) и пользуясь $T = 608$ мм.

между кулисной тягой и маятникомъ засѣкаютъ длиною l_1 соотвѣтствующія шесть положеній дуги кулисы и соединяютъ точки пересѣченія съ соотвѣтственными положеніями шарнира, опредѣляя тѣмъ восемь положеній кулисной тяги, отвѣчающихъ отсѣчкѣ въ 0,5 и 0,8 хода для хода поршня впередъ и назадъ при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза.

§ 46. Подвѣска кулисы.

Самый выборъ одной изъ точекъ кулисной тяги за точку ея подвѣса довольно сложенъ, такъ какъ на него вліяютъ многія побочныя обстоятельства. Обычно отстояніе точки подвѣса до центра камня лежитъ въ предѣлахъ 120—300 мм. и эта точка можетъ лежать какъ между маятникомъ и кулисой, такъ и за этой послѣдней.

Выше было указано, что для облегченія дальнѣйшаго построенія раціонально выбирать за точку подвѣса ту точку, которая при отсѣчкѣ на 0,5 хода для передняго хода паровоза занимаетъ въ моментъ отсѣчекъ положенія, лежащія на прямой, параллельной линіи движенія. Въ такомъ случаѣ и для отсѣчки въ 0,5 при заднемъ ходѣ паровоза, прямая, соединяющая положенія точки подвѣса въ моменты отсѣчки, занимаетъ положеніе близкое къ параллельному линіи движенія.

Рѣшеніе этой задачи въ случаѣ пересѣкающихся направленій кулисной тяги было указано на стр. 69.

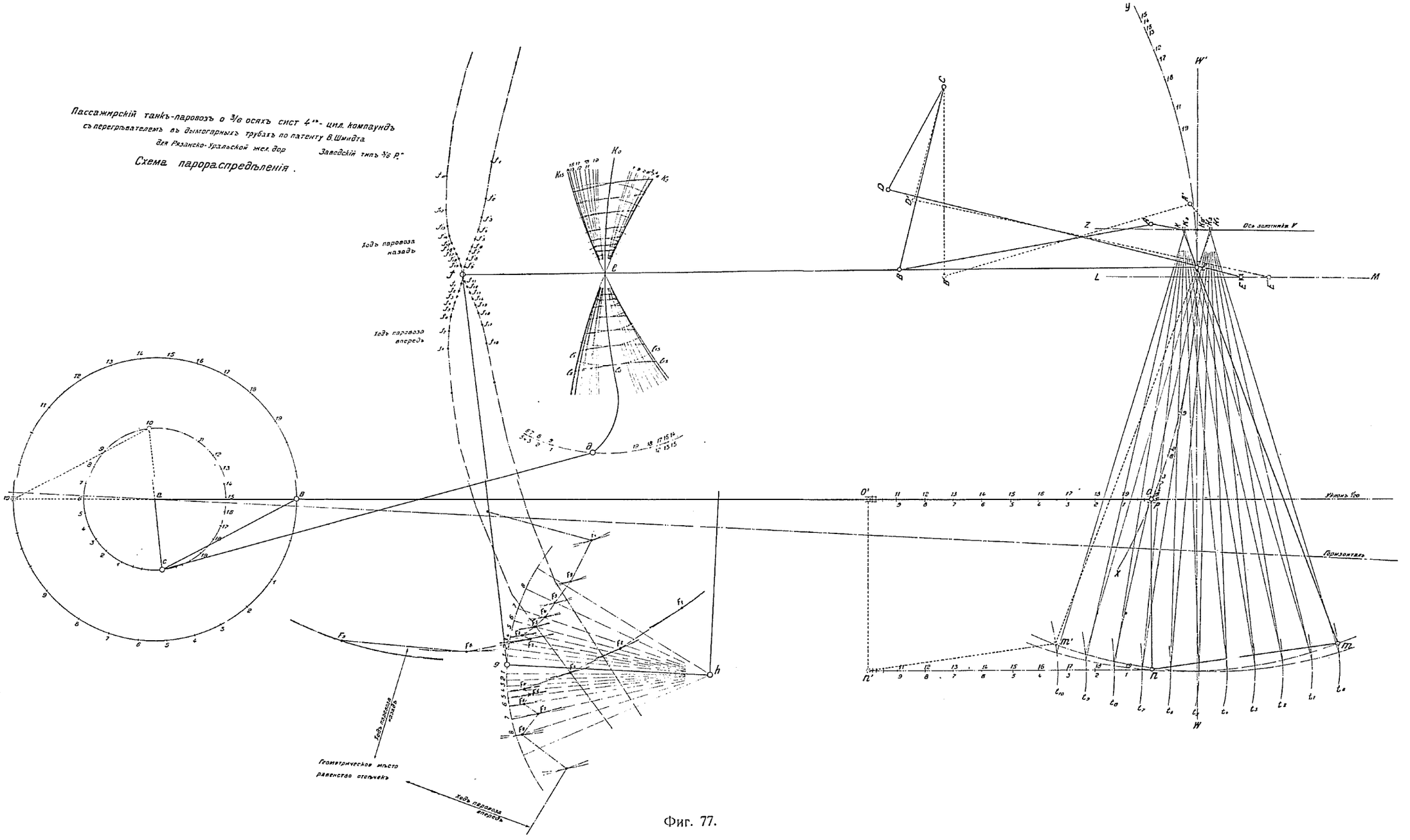
Обычно однако не пользуются указаннымъ построеніемъ и ограничиваются при выборѣ точки подвѣса въ указанныхъ предѣлахъ соображеніями чисто конструктивнаго характера.

Послѣ назначенія точки подвѣса кулисной тяги приступаютъ къ подбору длины подвѣсной тяги, длины плечъ перекидного рычага и мѣста расположенія центра вращенія перекидного вала. Подборъ производится попытками, стараясь наиболѣе совершеннымъ образомъ удовлетворить условію совпаденія точки подвѣса съ опредѣленными для нея положеніями. Съ этой цѣлью задаются, по соображенію съ свободнымъ мѣстомъ, длиною подвѣсной тяги, выбирая ее въ предѣлахъ 350—600 мм., и находятъ четыре положенія точки захвата подвѣсной тяги перекиднымъ рычагомъ для наполненій въ 0,5 и 0,8 хода при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза. Черезъ эти четыре точки должна проходить окружность, описываемая концомъ плеча перекидного вала.

Длина плеча перекидного вала лежитъ обычно въ предѣлахъ 300—700 мм.

Черезъ три данныя точки окружность легко проводится и вполнѣ ими опредѣляется. Если четвертая точка при этомъ построеніи не лежитъ на окружности, то измѣненіемъ длины подвѣсной тяги въ ту или другую сторону можно бываетъ достичь совпаденія съ окружностью и четвертой точки. За первыя три точки принимаютъ положенія конца плеча для наполненія въ 0,5 хода при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза и въ 0,8 при переднемъ ходѣ, а четвертой точкой будетъ положеніе для наполненія въ 0,8 задняго хода.

Надо замѣтить, что довольно значительныя измѣненія длины подвѣсной тяги вліяютъ сравнительно мало на уменьшеніе отстоянія четвертой точки отъ окруж-


Пассажирскій танкъ-паровозъ о 3/6 осяхъ сист 4-цил. компаундъ
съ перегрѣвателемъ въ дымогарныхъ трубахъ по патенту В. Шмидта
для Рязанско-Уральской жел. дор
Заводскій типъ 3/6 Р.
Схема парораспредѣленія.
Ходъ паровоза назадъ
Ходъ паровоза впередъ
Ходъ поршня назадъ
Геометрическое мѣсто равенства отрѣзковъ
Ходъ паровоза впередъ
Ось золотника V
Уклонъ 1/20
Горизонтъ

Фиг. 77.

ности, такъ что совпаденіе, если оно возможно для даннаго случая, можетъ быть достигнуто быстро немногими попытками. Вообще говоря, положеніе перекидного вала и длина плеча его допускаютъ довольно значительный произволъ выбора, безъ существеннаго вліянія на парораспредѣленіе при удовлетвореніи нѣкоторыхъ условій. Построеніе геометрическаго мѣста, которое описываетъ точка захвата подвѣсной тяги плечомъ рычага при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза подъ условіемъ достиженія одинаковыхъ наполненій въ ходахъ поршня впередъ и назадъ, показываетъ, что мѣсто состоитъ изъ двухъ вѣтвей, между собой не встрѣчающихся.

Такъ на фиг. 77 приведены построенія, произведенныя на Харьковскомъ заводѣ для танкъ паровоза о $\frac{3}{6}$ осяхъ Рязанско-Уральской желѣзной дороги.

Геометрическое мѣсто точки захвата подвѣсной тяги плечомъ рычага изображаютъ линіи $F_1 \ldots F_8$.

Поэтому удовлетворить въ точности условію равенства отсѣчекъ для всѣхъ наполненій нѣтъ возможности и достаточно выбрать мѣсто расположенія перекидного вала и длину плеча его такъ, чтобы довольно близко удовлетворить условію равенства отсѣчекъ при наиболѣе употребительныхъ въ работѣ паровоза степеняхъ наполненія.

Иногда бываетъ даже, что разныя соображенія и обстоятельства, напримѣръ: недостатокъ мѣста, невозможность при полученныхъ размѣрахъ плеча и тяги достичь требуемаго подъема камня и т. п., заставляютъ отступать отъ расположенія перекидного вала и размѣровъ плеча и тяги, дающихъ наиболѣе удовлетворительное рѣшеніе задачи.

Допустивъ въ этихъ случаяхъ требуемыя отступленія и измѣненія въ подвѣскѣ прибора и въ другихъ его частяхъ, необходимо затѣмъ особенно тщательно обслѣдовать даваемое приборомъ парораспредѣленіе при разныхъ степеняхъ наполненія, какъ для выясненія, настолько оно удовлетворяетъ условіямъ равенства наполненій и наибольшихъ открытій оконъ для хода поршня впередъ и назадъ, такъ и для опредѣленія допускаемой приборомъ игры камня.

Такое изслѣдованіе полезно и для прибора, построеннаго въ точности по изложеннымъ правиламъ, такъ какъ оно даетъ возможность окончательно изучить и выравнять въ случаѣ необходимости его работу.

§ 47. Обслѣдованіе кулиснаго прибора.

Имѣя схему парораспредѣленія, вычерчиваютъ въ возможно большемъ масштабѣ $\left(\text{достаточно } \frac{1}{2} \text{ нат. величины}\right)$ или всю схему, или въ сокращенномъ по способу наложенія видѣ.

Дѣлятъ діаметръ окружности хода пальца кривошипа, лежащій на линіи хода поршня, на десять частей и находятъ соотвѣтствующія имъ 20 положеній кривошипа (см. фиг. 77), проводя изъ точекъ дѣленій діаметра дуги длиной шатуна или пользуясь для этого по способу наложенія дуговымъ шаблономъ указаннаго радіуса или, наконецъ, откладывая вычисленные углы по транспортиру.

Соотвѣтственно положеніямъ кривошипа строятъ 20 положеній эксцентриситета и центра эксцентрика (конца плеча захвата), отстоящія отъ положеній

кривошипа на уголъ заклинки эксцентрика или на уголъ дополнительный до 180°, въ зависимости отъ принятаго расположенія эксцентрика по отношенію къ кривошипу при мертвомъ положеніи поршня.

Строятъ по положеніямъ эксцентрика 19 положеній плеча кулисы, засѣкая непосредственно длиной эксцентриковой тяги дугу качанія точки захвата кулисы или примѣняя способъ наложенія. Находятъ соотвѣтственныя 19 положеній самой кулисы при помощи засѣчекъ дуги, по которой движется центръ кулисы при ея качаніяхъ, изъ соотвѣтственныхъ положеній точки захвата кулисы, длиною отстоянія точки подвѣса до центра кулисы при среднемъ ея положеніи, или же при помощи шаблона дуги кулисы съ вырѣзомъ въ точкѣ захвата ея.

Строятъ соотвѣтственно положеніямъ кривошипа 11 положеній крейцкопфа, пальца и 11 дугъ, описываемыхъ концомъ водила.

Устанавливаютъ точку захвата маятникомъ золотниковаго стержня въ положеніе, въ которомъ начинается расширеніе, напр., при ходѣ поршня назадъ (изъ цилиндра) *), а нижнюю точку маятника послѣдовательно на соотвѣтственныя дуги водила и находятъ засѣчками длиной кулисной тяги 18 положеній камня и сопряженной съ нимъ точки подвѣса кулисной тяги, соотвѣтствующихъ отсѣчкамъ отъ 0,1 до 0,9 въ ходахъ поршня назадъ при переднемъ и заднемъ ходѣ паровоза. Такимъ же образомъ опредѣляютъ 18 положеній точки подвѣса кулисной тяги для хода поршня впередъ.

Найденныя 36 положеній точки подвѣса кулисной тяги должны попарно опредѣлить 18 дугъ, по которымъ движется эта точка при соотвѣтственныхъ отсѣчкахъ и 18 положеній головки плеча перекидного вала.

Практика показываетъ, что эти 18 положеній головки не могутъ быть обернуты одной дугой (точки $F_1, \ldots, F_9$ для хода паровоза впередъ и точки $F_1, \ldots, F_9$, для хода паровоза назадъ). Необходимо поэтому при выборѣ положенія оси перекидного вала (точка h) постараться возможно лучше удовлетворить условіямъ правильной работы прибора при наиболѣе часто примѣняемыхъ отсѣчкахъ. Выбравъ положеніе оси перекидного вала строятъ 18 положеній головки плеча (точка g), соотвѣтствующихъ имѣвшимся ранѣе положеніямъ $F_1, \ldots, F_9$ **).

Изъ этихъ точекъ 1 . . . 8 . . для хода паровоза впередъ и 1 . . . 8 . . для хода его назадъ, описываютъ 18 дугъ длиной подвѣсной тяги (gf).

Теперь заставляютъ точку подвѣса двигаться по одной изъ дугъ, камень переставляютъ послѣдовательно съ одного положенія кулисы на другое, а нижнюю точку сочлененнаго шарниромъ съ кулисной тягой маятника съ одной дуги водила на другую, и въ тоже время точку захвата маятникомъ золотниковаго стержня (короче—головку стержня) заставляютъ двигаться по прямой хода золотника, описывая его перемѣщенія.

Такое построеніе можетъ быть выполнено, пользуясь шаблономъ (фиг. 78) изъ двухъ несгибающихся пластинокъ, сочлененныхъ между собою шарниромъ въ точкѣ захвата кулисной тягой маятника, съ нанесенными на полоскахъ от-

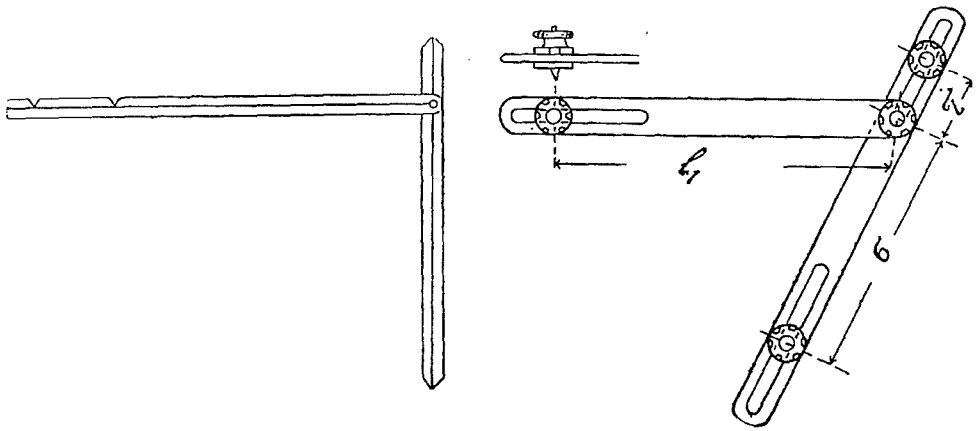
*) Это положеніе отстоитъ отъ средняго положенія маятника на среднюю величину перекрыши впуска.

**) Надо замѣтить, что найденныя положенія плеча перекидного вала не будутъ, конечно, соотвѣтствовать отсѣчкамъ въ десятыхъ доляхъ хода поршня.

стояніями отъ шарнировъ концовъ маятника и соотвѣтственно—камня и точки подвѣса кулисной тяги.

Для той же цѣли можетъ быть примѣненъ раздвижной шаблонъ (фиг. 79) *) или спеціальный шаблонъ **), исполненный на Харьковскомъ заводѣ по проекту инж.-техн. А. Е. Раевскаго.

Этотъ послѣдній шаблонъ состоитъ изъ четырехъ, соединенныхъ между собою шарнирами, линеекъ, изображающихъ подвѣсную тягу, кулисную тягу, маятникъ и водило и снабженныхъ остріями, помѣщенными: въ точкѣ захвата подвѣсной



Фиг. 78. Фиг. 79.

тяги плечомъ перекидного вала,—въ мѣстѣ расположенія камня,—въ точкѣ захвата водила пальцемъ и—въ точкѣ захвата маятникомъ золотниковаго стержня.

Указанное построеніе производится затѣмъ для всѣхъ остальныхъ положеній плеча перекидного вала.

§ 48. Діаграммы прибора.

Изъ полученныхъ указаннымъ построеніемъ перемѣщеній золотника строятъ діаграммы Мюллера. Для непосредственнаго полученія діаграммъ заставляютъ перемѣщенія головки золотниковаго стержня фиксироваться на полоскѣ бумаги (фиг. 80) разграфленной на 10 дѣленій, соотвѣтственно 10 дѣленіямъ хода поршня, и устанавливаемой такъ, чтобы съ среднимъ положеніемъ маятника на чертежѣ совпадала проведенная на полоскѣ перпендикулярно къ дѣленіямъ произвольная прямая 0—10, а съ линіей хода золотника дѣленіе полоски, соотвѣтствующее положенію поршня, для котораго отмѣчается перемѣщеніе золотника.

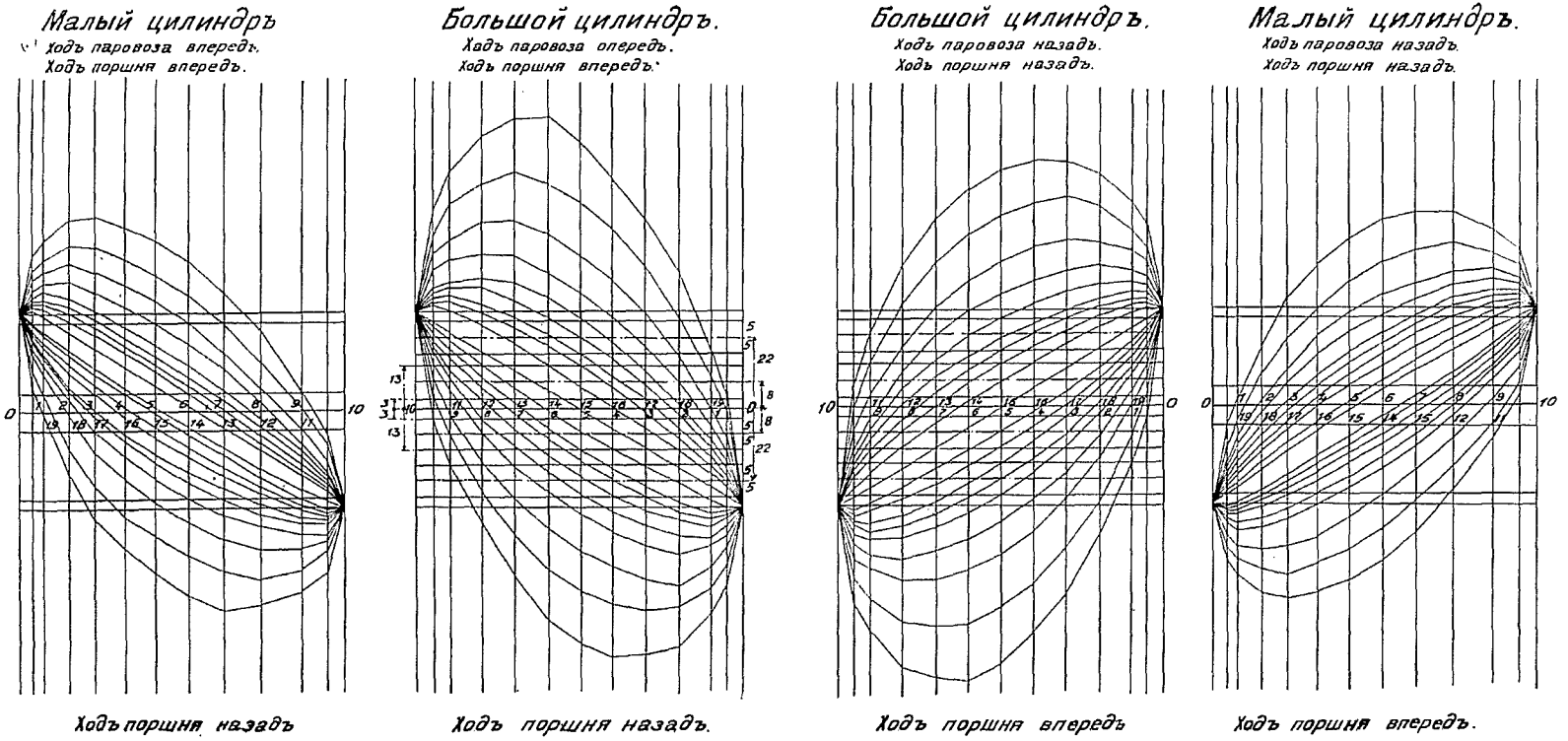
Діаграммы, вычерченныя на общей оси 0—10, дополняются прямыми отстоящими на оси 0—10 на величину перекрыши впуска и перекрыши выпуска.

Эти діаграммы позволяютъ сравнивать между собою парораспредѣленія, даваемыя приборомъ при разныхъ наполненіяхъ для хода поршня впередъ и назадъ.

Діаграммы, изображенныя на фиг. 80—82, относятся къ танкъ-паровозу о $^3/_6$ осяхъ Рязанско-Уральской ж. дороги (фиг. 77).

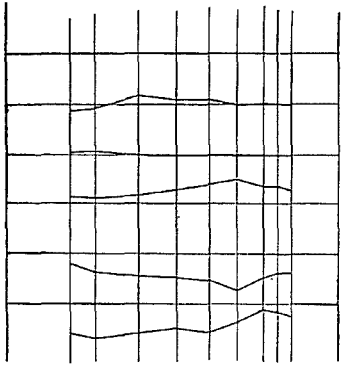
*) Вѣстникъ Общества Технологовъ 1910 г. № 4, стр. 163.

**) Извѣстія Южно-Русскихъ Технологовъ 1908 г. № 5, стр. 62.

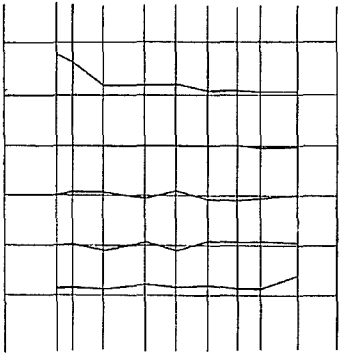

Малый цилиндръ
Ходъ паровоза впередъ.
Ходъ поршня впередъ.
Ходъ поршня назадъ
Большой цилиндръ.
Ходъ паровоза опередъ.
Ходъ поршня впередъ.
Ходъ поршня назадъ.
Большой цилиндръ.
Ходъ паровоза назадъ.
Ходъ поршня назадъ.
Ходъ поршня впередъ
Малый цилиндръ.
Ходъ паровоза назадъ.
Ходъ поршня назадъ.
Ходъ поршня впередъ.

Фиг. 80.

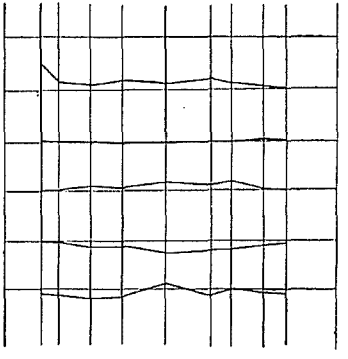
Кривыя неправильностей парораспредѣленія.



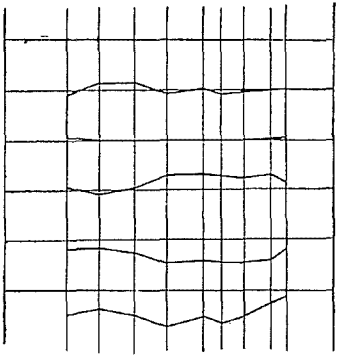
Малый цилиндръ.
Ходъ паровоза впередъ.



Большой цилиндръ.
Ходъ паровоза впередъ.



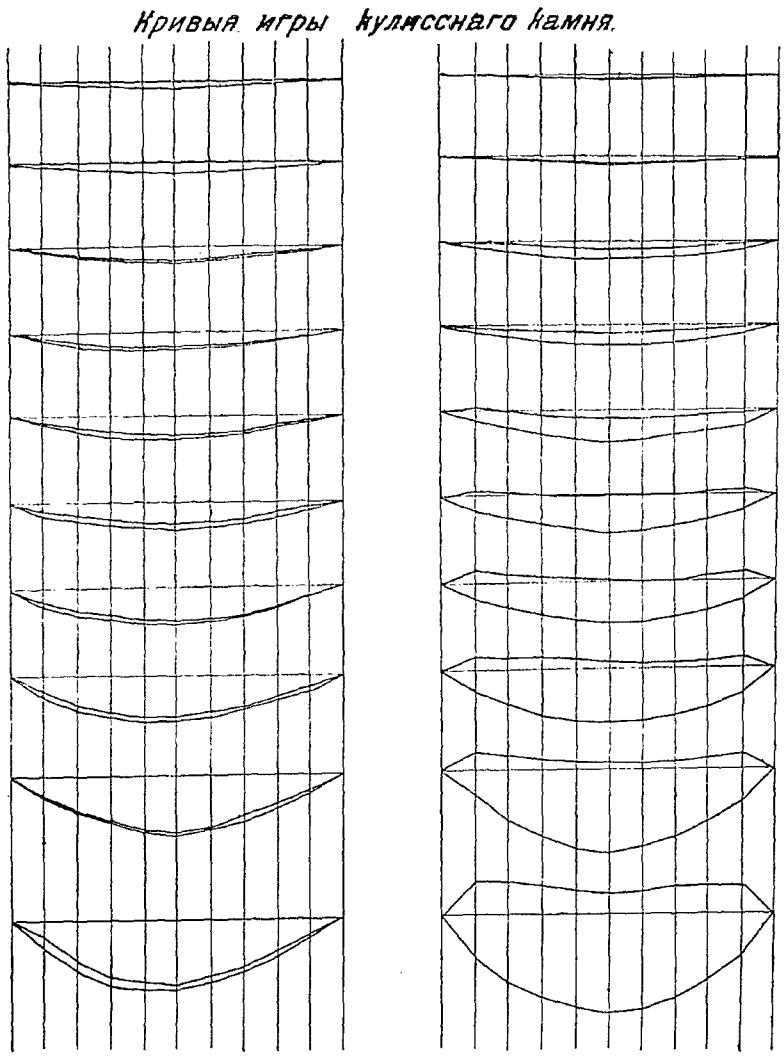
Большой цилиндръ.
Ходъ паровоза назадъ.



Малый цилиндръ.
Ходъ паровоза назадъ.

Фиг. 81.

Съ указанною цѣлью проводятъ на полосѣ (фиг. 81) бумаги вертикальныя линіи, соотвѣтствующія моментамъ отсѣчекъ при ходѣ поршня назадъ, и нѣсколько поперечныхъ осей и откладываютъ въ нихъ въ ту или другую сторону *), въ зависимости отъ знака, разности ходовъ поршня, взятыхъ по діаграммамъ въ соот-



Фиг. 82.

вѣтствующіе моменты парораспредѣленія для движенія паровоза впередъ и назадъ. Такимъ образомъ построены кривыя уклоненій для слѣдующихъ моментовъ: предваренія впуска (горизонтальная прямая), наибольшаго открытія окна, конца сжатія, начала сжатія, конца расширенія и начала расширенія.

Для полноты изслѣдованія надо дополнить его діаграммами игры камня, получаемыми нанесеніемъ на разграфленную на 10 дѣленій (фиг. 82) полоску бумаги

*) На чертежѣ уклоненіе отложено выше горизонтали, если отвѣчающій моменту распредѣленія ходъ поршня болѣе при ходѣ поршни впередъ.

отъ соотвѣтствующихъ горизонталей по соотвѣтственнымъ дѣленіямъ, отстоянія камня по кулисѣ въ разныхъ ея положеніяхъ отъ положенія, занятаго камнемъ въ среднемъ положеніи кулисы при данной степени наполненія.

Полученныя кривыя позволяютъ съ наглядностью судить о степени удовлетворительности принятой схемы парораспредѣленія.

§ 49. Поправка прибора.

Если окажется желательнымъ достичь большаго уравненія наибольшихъ открытій оконъ или уменьшенія игры камня, то необходимо видоизмѣнить принятую схему.

По методу, принятому на Харьковскомъ паровозостроительномъ заводѣ, достигаютъ улучшенія парораспредѣленія однимъ измѣненіемъ положенія траекторіи конца плеча перекидного вала такъ, чтобы она возможно ближе подходила къ тремъ траекторіямъ, которыя точка подвѣса должна была бы описывать при выполненіи въ отдѣльности: условія равенства отсѣчекъ, условія отсутствія игры камня и условія равенства наибольшихъ открытій оконъ.

Уменьшеніе игры камня проще всего достигается тѣмъ, что положеніе кулисной тяги, дающее наибольшую игру камня (обычно бывающей при наибольшей отсѣчкѣ), измѣняютъ, заставляя кулисную тягу проходить при этомъ положеніи черезъ точку, лежащую на дугѣ, проведенной изъ точки подвѣса кулисы черезъ соотвѣтствующее принятой степени наполненія положеніе камня (см. фиг. 77 точка l'_{15} вмѣсто l_{15}) при среднемъ положеніи кулисы.

Очевидно, что при этомъ всѣ отклоненія камня отъ средняго положенія его также уменьшаются, но потребуется перемѣстить центръ перекидного вала и нарушится правильность отсѣчекъ въ ходахъ поршня впередъ и назадъ.

Подобнымъ построеніемъ можно найти положенія точки подвѣса g тяги для всѣхъ остальныхъ степеней наполненія и выстроить геометрическое мѣсто положеній этой точки, удовлетворяя которому приборъ давалъ бы значительно меньшую игру камня.

Для уравниванія наибольшихъ открытій оконъ выбираютъ изъ двухъ открытій (фиг. 77) наиболѣе подходящее и откладываютъ его вмѣсто другого, затѣмъ построеніемъ, подобнымъ описанному выше, находятъ соотвѣтствующее измѣненное положеніе точки подвѣса g тяги для взятой степени наполненія и, наконецъ, найдя подобными построеніями положеніе точки g для остальныхъ степеней наполненій, строятъ изъ нихъ геометрическое мѣсто положенія точки g, удовлетворяющее условію равенства наибольшаго открытія оконъ.

Удовлетворяя подборомъ мѣста расположенія перекидного вала и длины его плеча, по возможности ближе (для наиболѣе употребительныхъ степеней наполненія) построеннымъ тремъ геометрическимъ мѣстамъ, вытекающимъ изъ поставленныхъ трехъ условій, получаютъ приборъ, дающій наиболѣе симметричное парораспредѣленіе для обоихъ ходовъ поршня.

§ 50. Монтировка парораспредѣленія.

При изготовленіи спроектированнаго прибора неизбѣжны неточности въ исполненіи его частей и во взаимномъ ихъ расположеніи. Кромѣ того, вслѣдствіе

расширенія отъ высокой температуры золотника, его стола и золотниковаго стержня, установка золотника на его столѣ становится неправильной. Отъ одной послѣдней причины золотникъ будетъ смѣщенъ впередъ на 1—1,5 м.м.

Для возстановленія правильности парораспредѣленія необходимо при монтировкѣ золотника произвести тщательную вывѣрку.

Наиболѣе цѣлесообразной оказывается вывѣрка равенства линейныхъ предвареній впуска по обѣ стороны золотника.

Для достиженія равенства линейныхъ предвареній необходимо, какъ извѣстно, выполненіе слѣдующихъ трехъ требованій:

1) Положенія кулисы, соотвѣтствующія мертвымъ положеніямъ поршня, должны совпадать между собою.

Это легко достигается измѣненіемъ длины эксцентриковой тяги при помощи листовыхъ прокладокъ, вводимыхъ между передней половиной вкладыша и тѣломъ задней головки тяги.

2) Радіусъ кулисы долженъ равняться разстоянію центра камня до центра шарнира, соединяющаго кулисную тягу съ маятникомъ.

Это должно быть достигнуто тщательнымъ изготовленіемъ частей.

3) Центръ кулисы въ среднемъ ея положеніи долженъ совпадать съ центромъ шарнира, соединяющаго кулисную тягу съ маятникомъ.

Этого можно достичь двоякимъ путемъ: измѣненіемъ длины эксцентриковой тяги или перестановкой кронштейновъ кулисы. Второй способъ предпочтительнѣе и раціональнѣе.

Для облегченія наблюденій за перемѣщеніями золотника изучаютъ перемѣщенія какой-либо наружной мѣтки, неизмѣнно сочлененной съ золотниковымъ стержнемъ. При этомъ сначала наносятъ на неподвижной части (напримѣръ, на направляющей) двѣ мѣтки, съ которыми совпадаетъ движущаяся мѣтка въ моменты закрытія золотникомъ того или другого изъ впускныхъ оконъ.

Затѣмъ, перебуксовывая ведущія колеса послѣдовательно въ положенія, соотвѣтствующія мертвымъ положеніямъ поршня, отмѣчаютъ положенія мѣтки при разныхъ положеніяхъ перекидного рычага. Разстоянія этихъ мѣтокъ отъ первыхъ двухъ дадутъ величины линейныхъ предвареній впуска для соотвѣтственныхъ степеней наполненія.

При золотникахъ, конструкція которыхъ затрудняетъ непосредственныя наблюденія надъ моментами закрытія ими паровпускныхъ оконъ, наблюденія ведутся надъ перемѣщеніями по неподвижной планкѣ шаблона золотника, неизмѣнно сочлененнаго съ золотниковымъ стержнемъ.

Приступая къ вывѣркѣ золотниковъ, необходимо прежде всего убѣдиться, совпадаетъ-ли ось ведущаго ската съ плоскостью осей цилиндровъ и вѣрна-ли длина эксцентриковой тяги (по неизмѣнности средняго положенія кулисы).

Далѣе находятъ величины линейныхъ предвареній для наполненій въ 0,5 передняго хода паровоза и для 0,8 (наибольшаго) для задняго хода паровоза. Имѣя въ виду, что разность въ величинахъ предвареній съ той и другой стороны золотника для наполненія въ 0,5 можетъ быть исправлена простымъ смѣщеніемъ золотника, ясно, что перестановкой кулисныхъ кронштейновъ должна быть исправлена только разность между величиной предваренія съ какой-либо стороны золотника при наполненіи въ 0,8 хода и средней величиной предваренія при наполненіи въ 0,5 хода.

По окончаніи вывѣрки золотниковъ при помощи указанныхъ пріемовъ, надо смѣстить золотники назадъ, соотвѣтственно холодному состоянію паровоза, въ среднемъ на величину около 1,5 м.м. для малаго цилиндра и около 1 м.м. для большого цилиндра.

Послѣдовательный ходъ работъ по монтировкѣ парораспредѣленія на вновь изготовленныхъ паровозахъ описанъ въ статьѣ проф. J. Jahn Die Herstellung der Locomotiven (L. von Stockert Handbuch des Eisenhahnmaschinenwesens. Berlin, 1908 B. I., стр. 205).

Указанія о вліяніи на парораспредѣленіе различныхъ обстоятельствъ приведены въ статьѣ М. В. Гололобова: «Опыты надъ нарушеніемъ правильности парораспредѣленія Гейзингера и др.». Инженеръ 1903 г. №№ 3—9. О сборкѣ золотниковъ и контролѣ парораспредѣленія имѣется нѣсколько указаній въ статьѣ З. Э. В. Вестренъ Долла (Вѣстникъ Общества Технологовъ 1910 г. № 4).

Способъ размѣтки реверса, примѣняемый на заводахъ Америки, изложенъ въ книгѣ автора: «Паровозостроительный заводъ Бальдвина». Спб. 1905 г.