

625/6

P810

~~15/10~~

~~15/10~~

БИБЛИОТЕКА

А. Д. ...  
Средне-Техническое училище  
ТЕХНИЧЕСКОЕ училище  
училище

№ кт. 1297 по каталогу.

~~15/10~~

Кр  
7604

621  
— 81 ч. I

# ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ КУЛИСНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

(приводы)

## И ЗОЛОТНИКИ.

НТБ ХИИТ  
ДЕПОЗИТАРНЫЙ  
СВИД

### Часть I.

Общая теория результирующего эксцентрика и основная теория кулисных механизмов съ описаніемъ ихъ конструкцій.

19

Профессора Харьковского Технологического Института

А. ГРЕЧАНИНОВА.

856930

Съ 203 литографированными чертежами на VII таблицахъ.

98

МОСКОВСКОЕ  
ТЕХНИЧЕСКОЕ  
УЧЕБНОЕ  
ОБЩЕСТВО

ИНСТИТУТ ИНЖЕНЕРОВ  
железно-дорожного транспорта  
310000, г. Харьков-50,  
пл. Феллербаха 7  
Б. И. И. И. И. И.

БИБЛИОТЕКА  
ХАРЬКОВЪ.  
Типографія Зильберберга, Рыбная улица, домъ № 25-й.  
1893.  
№ кв. 1293 по Каталогу

---

По опредѣленію Учебнаго Комитета Харьковскаго Технологическаго  
Института, печатать разрѣшается. Харьковъ, 4 Іюня 1892 г.

*Директоръ В. Куртчевъ.*

---

# ОГЛАВЛЕНІЕ.

	<i>Стран.</i>
Предисловіе . . . . .	I
Дополненіе къ I-му отдѣлу . . . . .	VIII
Дополненіе ко II-му отдѣлу . . . . .	X

## ОТДѢЛЪ I.

Общая приближенная теорія результирующаго эксцентрика.

Введеніе . . . . .	1—6
--------------------	-----

### ГЛАВА I.

Основная шатунная пара и ея производныя. . . . .	6—18
--	------

### ГЛАВА II.

Синтезь шатунной пары . . . . .	18—30
Вращательная пара . . . . .	18—20
Поступательная пара . . . . .	20
Шатунная пара. . . . .	21
Примѣры . . . . .	23—28

## ОТДѢЛЪ II.

Основная теорія кулисныхъ механизмовъ.

Введеніе . . . . .	21—34
--------------------	-------

### ГЛАВА III.

Радіальные механизмы . . . . .	34—49	
Механизмы {	Гакворта (Hakworth). . . . .	35—38
	Клюга (Klug) . . . . .	38
	Маршала (Marshall) . . . . .	39
	Ангстрема (Angström) . . . . .	39
	Броуна (Brown) n°1, n°2 . . . . .	39—43
	Джоя (Joy) n°1, n°2, n°3 . . . . .	43—47
Депре (Deprez) . . . . .	47—49	

Оглавленіе.

ГЛАВА IV.

	<i>Стран.</i>		
Кулиссо-шатунные механизмы . . . . .	49—83		
Механизмы	{	Піусъ-Финка (Pius Fink) . . . . .	49—51
		Гейзингеръ-Вальдеггъ (Heusinger v. Waldegg) . . . . .	51—54
		Фидлера (Fidler) . . . . .	54—56
		Норманда (A. Normand) . . . . .	56
		Sjövall . . . . .	56—58
		Кирка (Kirk) . . . . .	58—60
		Стефенсона (Stephenson) . . . . .	60—72
		Дютейля (Dutheil) . . . . .	72—73
		Гуча (Gooch) . . . . .	73—77
Аллана (Allan) . . . . .	77—83		

ГЛАВА V.

Символистика и классификація кулисныхъ механизмовъ . . . . .	84—92
--	-------

ГЛАВА VI.

Разсмотрѣніе нѣкоторыхъ механизмовъ, входящихъ въ общую символическую классификацію . . . . .	92—99
Новые механизмы . . . . .	93—97
Результирующие кривошипы основнаго вала паровыхъ машинъ . . . . .	98—99

ГЛАВА VII.

Механизмы для перестановки кулисъ. Серво-Моторы . . . . .	99—104
---	--------

ГЛАВА VIII.

Коловратные механизмы. . . . .	104—112		
Механизмы	{	Додса . . . . .	105
		Трише . . . . .	107
		Кейзера . . . . .	107
		Мазелини . . . . .	107—109
		Модзля . . . . .	109—111
		Педалный механизмъ . . . . .	111—112

ОТДѢЛЪ III.

Парораспределение производимое простымъ коробчатымъ золотникомъ, перемѣщеніе котораго опредѣляется элементами идеальнаго эксцентрика.

ГЛАВА IX.

Диаграммы парораспределения:

Диаграмма Цейнера . . . . .	113—117
Диаграмма Мюллера . . . . .	117—119
Диаграмма Ошинглосса . . . . .	119—123

# ПРЕДИСЛОВІЕ.

---

Предлагаемая мною технической публикѣ „Основная теорія кулисныхъ механизмовъ и описаніе ихъ конструкций“ составляетъ I-ю часть моего полного сочиненія „Парораспредѣлительные кулисные механизмы и золотники“.

Я рѣшился на отдѣльный выпускъ этой части въ виду того, что изданіе второй части должно нѣсколько замедлиться и можетъ появиться въ свѣтъ не ранѣе лѣта будущаго года, за неизбѣжимъ достаточно свободнаго времени, а напечатанная уже первая часть можетъ послужить на пользу, по крайней мѣрѣ для моихъ слушателей г. студентовъ Технологическаго Института.

Несмотря на обширную литературу избраннаго мною предмета она, по моему мнѣнію, неудовлетворяетъ главнѣйшему требованію отъ всякой теоріи, а именно — дать руководящіе принципы для правильнаго и яснаго уразумѣнія дѣйствія разнообразныхъ существующихъ приводныхъ парораспредѣлительныхъ золотниковыхъ механизмовъ \*), число которыхъ увеличивается чуть ли не съ каждымъ днемъ.

Молодой человекъ, окончившій курсъ въ высшемъ техническомъ учебномъ заведеніи, и почему либо незнакомый напр. съ механизмами Броуна или Джоя, становится въ затрудненіе, если ему приходится встрѣтиться на практикѣ съ этими механизмами. Онъ ищетъ, гдѣ бы ему прочесть именно о механизмѣ Броуна, или Джоя, не подозревая, что и эти механизмы могутъ имѣть различныя варьяціи. Да и нельзя ставить это ему въ вину, нельзя уже потому, что въ отдѣльныхъ сочиненіяхъ и въ текущей литературѣ каждый какой либо новый появившійся механизмъ рассматривается какъ вѣчто дѣйствительно новое и самостоятельное и вовсе не указывается на общее руководящее начало, связующее всѣ подобнаго рода механизмы въ одно цѣлое. Между тѣмъ раскрытіе принциповъ, лежащихъ въ основѣ построенія всѣхъ этихъ механизмовъ, дастъ возможность не только яснаго уразумѣнія *смысла существованія* болѣе или менѣе сложной кинематической цѣпи, но и указываетъ на широкій путь возможности дальнѣйшихъ разнообразныхъ комбинацій, иногда полезныхъ, а въ большинствѣ случаевъ даже совершенно бесполезныхъ, осуществленіе которыхъ

---

\*) Весьма просто опредѣляемыхъ на нѣмецкомъ языкѣ терминомъ Schieber-Stuerungen.

обусловливается лишь стремленіем какого либо заграничнаго машиностроительнаго завода создать что либо новое, дающее ему возможность обратить на себя вниманіе потребителей.

Затѣмъ является вопросъ, какой путь наиболѣе удобенъ для достиженія вышеназванной цѣли?

Мы пришли къ глубокому убѣжденію, что аналитическій приѣмъ, столь излюбленный нѣмецкими авторами, совершенно не удобенъ по многимъ причинамъ.

Строгий аналитическій способъ изслѣдованія въ вопросахъ подобнаго рода, для разрѣшенія и яснаго уразумѣнія которыхъ необходимо предварительно ограничиться точностью перваго приближенія, слишкомъ высокъ, если можно такъ выразиться, и сложенъ.

Одна изъ наиболѣе вѣскихъ причинъ, представляющихъ неудобство этого способа изслѣдованія въ данномъ случаѣ, состоитъ въ томъ, что окончательный результатъ изслѣдованія, выраженный формулою скрываетъ всю ту логическую цѣль разсужденій, отдѣльныя части которыхъ прямо относятся и характеризуютъ цѣлесообразность дѣйствія и, такъ сказать, логичность существованія отдѣльныхъ членовъ составляющихъ механизмъ. Имѣя лишь представленіе о результатѣ дѣйствія механизма по окончательной формулѣ, мы утрачиваемъ возможность дать себѣ ясный отчетъ, какую роль играетъ каждый членъ разсматриваемой кинематической цѣпи и въ чемъ именно заключается его предназначеніе, а потому лишаемся возможности въ сравненіи и обобщеніи механизмовъ повидимому совершенно различающихся между собою, но по существу не имѣющихъ между собою никакого отличія.

Въ виду этого мы, пользуясь, гдѣ это оказывается удобнымъ, аналитическими приѣмами, избрали путь *синтетическій*, ведущій просто и наглядно къ достиженію нашей основной цѣли.

Нельзя однако сказать, что въ литературѣ изслѣдуемаго предмета нѣтъ сочиненій написанныхъ въ этомъ направленіи. Одно изъ выдающихся подобныхъ сочиненій представляетъ, на нашъ взглядъ, небольшая но толковая книжечка профессора Флигнера (*Die Umsteuerungen der Locomotiven*. v. A. Fliegner. Zürich. 1881). Въ ней простыми графическими приѣмами изслѣдованы наиболѣе употребительные механизмы въ паровозной практикѣ, основываясь на особомъ, предложенномъ авторомъ, способѣ сложения движеній отъ дѣйствія двухъ отдѣльныхъ кривошиповъ (см. *Vereinigung zweier excentrischer Kurbel-Bewegungen* § 9, p. 45). Но изслѣдованія г. Флигнера къ сожалѣнію не имѣютъ общаго характера и при тожъ основаны на началѣ, которое хотя и важно по результату, но не убѣдительно само по себѣ, и является искусственнымъ приѣмомъ, правда весьма остроумнымъ, *но не всегда удобно применимымъ*. Тѣмъ не менѣе г. Флигнеру приходится отдать полную справедливость, что онъ сдѣлалъ первый шагъ въ направленіи отысканія процесса образованія результирующаго эксцентрика членами данной кинематической цѣпи.

Будучи рѣшительнымъ сторонникомъ синтетическаго метода при изученіи дѣла, подобнаго предмету нашего изслѣдованія, мы тѣмъ не менѣе не можемъ умолчать о извѣстномъ классическомъ сочиненіи профессора Цейнера (*Die Schieber Steuerungen v. G. Zeuner*) написаннымъ имъ въ строго-аналитическомъ духѣ. Работа г. Цейнера по этому предмету привела его аналитическимъ путемъ къ открытію такъ называемаго *идеальнаго результирующаго эксцентрика*. Въ нахожденіи этого эксцентрика заключается главнѣйшая заслуга знаменитаго профессора.

Онъ первый показалъ, что результатъ дѣйствія болѣе или менѣе сложнаго механизма, выражающійся въ перемѣщеніи золотника (парораспредѣленіи), тождественъ, съ точностью перваго приближенія, съ перемѣщеніемъ того же золотника, которое сообщается ему, при нормальныхъ условіяхъ, круглымъ эксцентрикомъ съ нѣкоторымъ эксцентриситетомъ и угломъ опереженія, въ предположеніи безконечной длины его шатуна.

Но аналитическій приемъ, приведшій Цейнера къ открытію этого эксцентрика, вмѣстѣ съ тѣмъ скрылъ отъ него процессъ построенія этого эксцентрика самимъ механизмомъ, а знаніе этого процесса составляетъ между тѣмъ предметъ первостепенной важности, ибо оно разъясняетъ смыслъ и необходимость существованія каждаго члена кинематической цѣпи и указываетъ на путь къ сравненію и обобщенію разнообразныхъ механизмовъ. Что касается болѣе точности аналитическаго способа изслѣдованія, которая выразилась у Цейнера въ полученіи такъ называемыхъ дополнительныхъ членовъ, то она оказалась недостаточной, ибо эти члены, какъ извѣстно, не имѣютъ ровно никакого практическаго значенія.

Въ сочиненіяхъ тракующихъ о выбранномъ нами предметѣ слѣдуетъ различать двѣ стороны дѣла; одна сторона чисто теоретическаго характера, необходимая, впрочемъ, и важная сама по себѣ, задача которой заключается въ приближенномъ отысканіи результирующаго эксцентрика; другая сторона состоитъ въ болѣе точномъ изслѣдованіи вопроса, которое находится въ непосредственной связи съ правилами проектированія кулисныхъ механизмовъ и точной установки ихъ, и слѣдовательно эта вторая сторона дѣла имѣетъ наиболѣе важное практическое значеніе.

Въ первой части нашего сочиненія мы рѣшили въ указанномъ направленіи одну только часть полной задачи и коснулись выше только соотвѣтствующихъ этой сторонѣ дѣла болѣе выдающихся сочиненій нѣмецкой литературы.

Французская литература стоитъ въ этомъ отношеніи значительно ниже. Такія сочиненія какъ напр. Claves подъ громкимъ названіемъ *Essai d'une Théorie générale des coulisses de changement des marches dans les machines à vapeur* 1890, или Madamet. *Consideration géométriques relatives aux Systèmes de distribution Marshal, Joy et autres analogues détermination de l'excentrique fictif du tiroir.*, отчасти S. Pichault. *Appareils de distribution par tiroirs etc.*, едва ли заслуживаютъ особаго вниманія.

Что касается Англичанъ и Американцевъ, то они народъ практической и такое сочиненіе какъ напр., переведенное на нѣмецкій языкъ *Die praktische Anwendung der Schieber- und coulissensteuerungen* v. William S. Auchincloss. уже по самому названію своему имѣетъ совершенно практической характеръ, и потому мы о немъ пока умалчиваемъ до изданія второй части нашего сочиненія. Въ первой изданной нами части заключается всего лишь два полныхъ отдѣла и часть III-го.

Въ первомъ отдѣлѣ излагается общая теорія результирующаго эксцентрика, въ которой проводится слѣдующая основная мысль.

Образовать результирующій идеальный эксцентрикъ можетъ только *шатуна*, въ самомъ общемъ смыслѣ этого слова, или органъ, обладающій сложнымъ перемѣщеніемъ, которое можно разсматривать какъ совокупность двухъ 1) поступательнаго и 2) вращательнаго.

Совершенно понятно, что такое разложеніе сложнаго перемѣщенія шатуна вполне строго и точно въ элементъ времени, поэтому ограничиваясь только точностью перваго приближенія, т. е. пренебрегая, въ извѣстномъ смыслѣ, углами шатуновъ и стержней конечной длины, оказалось возможнымъ разсматривать и *конечное его перемѣщеніе* какъ совокупность двухъ вышеозначенныхъ конечныхъ перемѣщеній. Каждое изъ слагающихъ конечныхъ перемѣщеній шатуна мы опредѣляемъ элементами ( $r$ ,  $\delta$ ) идеальныхъ эксцентрикковъ. Эти идеальные эксцентрики соответственно тому перемѣщенію, которое каждый изъ нихъ собою опредѣляетъ, мы назвали *поступательнымъ эксцентриккомъ* и *вращательнымъ эксцентриккомъ*, за неимѣніемъ болѣе подходящаго для нихъ названія.

Будучи приведены къ одному общему основанію эти эксцентрики *складываются* въ результирующій, по *закону параллелограмма*, дадутъ искомый результирующій эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе золотника.

Все предназначеніе кинематической цѣпи, составляющей кулисный приводъ, сводится къ *образованію* этихъ эксцентрикковъ и *передачи ихъ* на одно общее основаніе—золотниковую линію—гдѣ они опредѣляютъ собою сложное перемѣщеніе *производящаго шатуна*, отъ котораго непосредственно передается движеніе золотнику, осуществляемое *результирующимъ идеальнымъ эксцентриккомъ*.

Идея сложения идеальныхъ эксцентрикковъ по закону параллелограмма не новость. Извѣстный относительный эксцентрикъ Цейнера въ двойныхъ золотникахъ находится тоже по закону параллелограмма, но однако этотъ законъ примѣнялся нѣкоторыми авторами (напр. Grove. см. *Handbuch für Specielle Eisenbahn Technik* v. Heusinger v. Waldegg) только лишь въ простыхъ случаяхъ (кулисса Гуча), въ другихъ же болѣе сложныхъ (напр. кулисса Стефенсона) попытка того же автора осталась неубѣдительною, и вообще встрѣтила нѣкоторыя затрудненія. Причина ограниченности примѣненія этого простаго закона къ отысканію результирующаго эксцентрика заключалась главнымъ образомъ въ томъ, что удобство примѣненія его находится въ тѣсной связи съ разложеніемъ

движенія *орудія*, создающаго идеальный эксцентрикъ, — т. е. *производящаго шатуна*, — на простѣйшія слагающія, на что не было обращено, по всей вѣроятности, должнаго вниманія.

Во второмъ отдѣлѣ излагается основная теорія существующихъ механизмовъ, въ которой постоянно указывается на процессъ построенія производящаго шатуна и его поступательнаго и вращательнаго идеальныхъ эксцентриковъ.

Въ главѣ V этого отдѣла излагается символика и классификація кулисныхъ приводовъ, дающая возможность расширить кругозоръ на всѣ вообще подобные механизмы и указать даже на пробѣлы, которые можно пополнить новыми механизмами.

Описаніемъ коловратныхъ механизмовъ заканчивается второй отдѣлъ.

Механизмы, которые служатъ для обмѣна тока пара, отнесены къ золотникамъ и потому, въ первой части не рассматриваются. Отдѣлъ III-й содержитъ лишь одну главу о диаграммахъ парораспределенія.

Считаемъ уместнымъ познакомить читателей въ нѣсколькихъ словахъ съ содержаніемъ второй части сочиненія, которая готовится къ печати.

Въ этой части будутъ изложены слѣдующіе отдѣлы:

1) *О парораспределеніи кулисами*, при чемъ будутъ указаны способы сужденія о ихъ коэффициентѣ полезнаго дѣйствія, съ точки зрѣнія экономіи топлива. Въ этомъ отношеніи практика часто грѣшитъ, гоняясь за новыми механизмами и слѣдуя часто модѣ, нашедшей себѣ подражателей даже въ сферѣ машиностроенія.

2) *Теорія поршневыхъ отсѣчекъ*, въ которой будутъ изложены уравненія между конечными членами кинематической цѣпи, дающія возможность опредѣлять главнѣйшія соотношенія между линейными размѣрами приводовъ, для удовлетворенія съ большею или меньшею точностью весьма важнаго въ практикѣ поршневаго движенія золотника, выполняющаго симметрію отсѣчекъ и другихъ моментовъ парораспределенія, вслѣдствіе чего получается равенство работъ въ прямомъ и обратномъ ходѣ поршня. Явится такимъ образомъ новая точка зрѣнія для оцѣнки механизма.

3) Отдѣлъ третій закончитъ теорію кулисныхъ механизмовъ. Въ этомъ отдѣлѣ будетъ указано, что поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна *суть величины переменныя*, какъ и слѣдовало полагать и что только ограничиваясь точностью перваго приближенія элементы ихъ возможно было принять за величины постоянныя. Затѣмъ будетъ показанъ весьма простой приемъ опредѣленія ихъ элементовъ для каждаго положенія кривошипа, дающій возможность имѣть точное представленіе о движеніи золотника и служащій вмѣстѣ съ тѣмъ провѣркой удовлетворенія *поршневыхъ отсѣчекъ*.

4) Въ четвертомъ отдѣлѣ будутъ описаны наиболѣе употребительныя конструкции золотниковъ и изложены правила ихъ проектированія.

Читатель, знакомый съ существующей литературой предмета, можетъ судить по этой программѣ, что выполненіе ея представляетъ дѣло не легкое и

требующее кромѣ досуга особаго расположенія къ работѣ, тѣмъ болѣе, что и по этой части въ литературѣ найдутся лишь немногія сочиненія, которыми возможно было бы воспользоваться.

Въ первой части, изданной мною, попадаются ссылки на атласъ конструктивныхъ чертежей. Въ виду того, что атласъ этотъ изданъ съ спеціальною, такъ сказать, цѣлью учебнаго пособия для студентовъ института, (облегчающаго мнѣ чтеніе лекцій не прибѣгая часто къ помощи мѣла и губки, для сокращенія времени), я снабдилъ выпущенную часть достаточно полными чертежами, въ количествѣ VII таблицъ, различныхъ установокъ кулисы и ихъ деталей, взятыми въ большинствѣ изъ различныхъ статей, помѣщенныхъ въ журналахъ и отдѣльныхъ сочиненіяхъ, такъ что для постороннихъ читателей, знакомыхъ съ конструктивной стороною дѣла, вполне возможно обойтись безъ этого атласа, цѣна на который сравнительно высока по причинѣ ограниченнаго числа выпущенныхъ экземпляровъ.

Въ заключеніе считаю своимъ долгомъ и пріятною обязанностью выразить полную свою признательность Учебному Комитету Института, за постановленіе о назначеніи мнѣ пособия на изданіе моего сочиненія, первая часть котораго пока была мною представлена на разсмотрѣніе и удостоилась одобренія.

Такую же признательность, пользуясь случаемъ, имѣю удовольствіе принести и предѣдателью Учебнаго Комитета Директору Института Виктору Львовичу Кириичеву за исходатайствованіе пособия передъ Высшимъ Начальствомъ, согласно постановленію Комитета.

Всякій пойметъ, что издавать подобныя сочиненія у насъ въ Россіи безъ денежной субсидіи правительства едва ли возможно и тотъ трудъ, который кладется на изданіе ихъ, не приноситъ автору почти никакихъ матеріальныхъ выгодъ.

Почту самую цѣнною для себя наградой, если гг. профессора и преподаватели техническихъ учебныхъ заведеній, прочитавъ первую часть, и, исправивъ и дополнивъ неизбѣжныя въ подобныхъ сочиненіяхъ промахи и пробѣлы, убѣдятся въ полезности этого труда и рекомендуютъ его своимъ слушателямъ какъ пособие для перваго предварительнаго ознакомленія съ дѣломъ. Тогда, понятно, явится и большая энергія къ окончанію полнаго труда.

P. S. Для тѣхъ читателей, которые мало знакомы съ опредѣленіемъ кинематической пары, мы дадимъ слѣдующее объясненіе.

Кинематическая пара членовъ представляетъ собою совокупность двухъ твердыхъ тѣлъ, входящихъ въ составъ какого либо механизма, и имѣющихъ произвольную форму, изъ которыхъ каждое ограничиваетъ перемѣщеніе другаго. Такъ напр. вообразимъ тѣло произвольной формы, имѣющее неподвижную ось вращенія. Совокупность двухъ такихъ членовъ (тѣло, и его ось вращенія) представляетъ пару, которая въ виду характернаго перемѣщенія подвижнаго члена (само тѣло) называется *вращательной парой*. Совокупность двухъ тѣлъ, изъ которыхъ одно можетъ скользить по другому, по извѣстному только опредѣлен-

ному прямолинейному направленію, называется *поступательной парой*. Такъ напр. разсматривая ползуна или крестовину паровой машины какъ одно цѣлое тѣло, а его направляющіе какъ второе тѣло съ нимъ связанное, получимъ *поступательную пару*, названную такъ въ виду характернаго перегибленія подвижнаго члена (ползуна) этой пары.

Мы ввели понятіе еще о *шатунной парѣ*, для цѣлей, которыя будутъ вполнѣ поняты, какъ о такой вращательной парѣ, ось вращенія которой описываетъ нѣкоторую линію прямую, или кривую.

23 октября 1892 г.  
г. Харьковъ.

Авторъ покорнѣйше проситъ читателей исправить предварительно замѣченныя опечатки.

---

## Дополненіе къ I-му отдѣлу.

**Къ пункту 17.** Если бы, не измѣняя положенія направляющей поступательной пары  $x_1x_1, b_0$ , золотниковая линія проходила черезъ точку 0 по направленію перпендикулярному къ основанію, то элементы перемѣщенія точки ( $b_0$ ) относительно этой линіи будутъ  $r \operatorname{tg} \beta, \delta$ . Въ самомъ дѣлѣ  $b_0a_0 \cong Oa_0 \operatorname{tg} \beta$ ; но  $Oa_0 = r \sin(\omega + \delta)$  слѣдовательно  $b_0a_0 = r \operatorname{tg} \beta \sin(\omega + \delta)$ , т. е. искомые элементы идеальнаго эксцентрика суть  $r \operatorname{tg} \beta, \delta$ .

**Къ пункту 18.** Для синуса угла  $\beta$  принято среднее значеніе его между нулемъ и  $\frac{r}{l}$ , т. е.  $\frac{r}{2l}$ .

**Къ пункту 20.** Изъ чертежа н<sup>о</sup> 6, табл. I имѣемъ:  $E_0E_r = \Omega E_0$ .  
 $\operatorname{tg} \beta = r \operatorname{tg} \beta \cong r \sin \beta = \frac{rc}{l}$ .

**Къ пункту 37—44.** Въ этихъ пунктахъ разсмотрѣны только частныя свойства вращательныхъ и поступательныхъ паръ, а именно при разсмотрѣніи свойствъ вращательныхъ паръ принималось, что среднее положеніе подвижнаго члена вращательной пары (стержень) перпендикулярно къ направленію золотниковой линіи, а направленіе перемѣщенія одного изъ членовъ поступательной пары или параллельно ей, или же съ ней совпадаетъ.

Въ общемъ случаѣ, эти направленія могутъ быть наклонны къ основанію, и тогда кинематическія свойства паръ поступательныхъ и вращательныхъ становятся общими, а именно какъ тѣ такъ и другія переносятъ идеальныя эксцентрики безъ измѣненія ихъ угловыхъ элементовъ на золотниковую линію, но съ измѣненіемъ линейныхъ элементовъ ихъ въ масштабѣ, зависящемъ отъ расположенія золотниковой линіи.

Такъ напр. поступательная пара  $x_1x_1, b_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 3, табл. I) измѣняетъ линейный элементъ ( $r$ ) идеальнаго эксцентрика  $r, \delta$  по основанію  $\Omega x$ , опредѣляющаго перемѣщеніе точки  $b_0$ , въ масштабѣ  $\frac{1}{\cos \beta}$  (см. пунктъ 17), если направленіе золотниковой линіи совпадаетъ съ направленіемъ перемѣщенія разсматриваемой точки  $b_0$  (направл.  $x_1x_1$ ) и измѣняетъ тотъ же элементъ въ масштабѣ  $\operatorname{tg} \beta$ , если направленіе золотниковой линіи  $\perp$  къ основанію.

Совершенно понятно, что, съ точностью перваго приближенія, тѣми же элементами опредѣлилось бы перемѣщеніе точки  $b_0$ , если вмѣсто поступательной пары  $x_1x_1$ ,  $b_0$  взять вращательную при условіи, чтобы среднее положеніе ея подвижнаго члена (стержня) между и т. д. было  $\perp$  къ направленію  $x_1x_1$  и лежало на основаніи  $\Omega x$  (точка 0).

**Къ задачѣ пункта 32.** При рѣшеніи задачи въ пунктѣ 32 можно, согласно свойству шатунной пары, какъ составной изъ двухъ членовъ (шатунъ и ея шарнирная ось), входящихъ порознь въ составъ отдѣльныхъ паръ: вращательной и поступательной—руководиться слѣдующими разсужденіями.

Разложимъ перемѣщеніе шатуна на два: 1) поступательное по основанію  $\Omega x$  и 2) вращательное около ея шарнирной оси  $b$ .

Первое перемѣщеніе опредѣляется элементами дѣйствительнаго эксцентрика  $r$ ,  $\delta$  или эксцентриккомъ  $O_1E_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 16, табл. I). Весь вопросъ въ опредѣленіи вращательнаго эксцентрика.

Если сперва предположить данную эксцентричную шатунную пару—основной, т. е. вообразить, что ея шарнирная ось  $b$  перемѣщается по основанію, то вращательный эксцентрикъ шатуна будетъ  $r$ ,  $90 + \delta$  по основанію  $\Omega y$ . Относя его къ данной на шатунѣ точкѣ  $c_0$ , получимъ эксцентрикъ  $r \frac{l_1}{l}$ ,  $90 + \delta$  или  $O_1E'_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 16). Но поступательная пара  $x_1x_1$ ,  $b$ , входящая въ построеніе заданной шатунной пары (согласно дополненію къ пунктамъ 37—44) переноситъ поступательный эксцентрикъ точки  $b$  шатуна на направленіе перпендикулярное къ основанію въ масштабѣ  $\text{tg } \beta$ . Будучи отнесенъ къ точкѣ ( $c_0$ ) линейный элементъ этого эксцентрика уменьшится еще въ отношеніи  $\frac{l_2}{l}$ . Такимъ образомъ, мы получимъ эксцентрикъ  $r \text{tg } \beta \frac{l_2}{l}$ ,  $\delta$  или  $O_1E''_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 16), который образовался совокупнымъ дѣйствіемъ двухъ паръ: 1) одной поступательной  $x_1x_1$ ,  $b$  и другой—вращательной  $E_0b$ ,  $E_0$  съ осью вращенія  $E_0$ .

Обѣ эти пары измѣнили лишь линейный элементъ поступательнаго эксцентрика шатуна, перенося его на основаніе  $O_1y_1$  (черт. н<sup>о</sup> 12).

Дальнѣйшее рѣшеніе сводится къ приведенію найденныхъ эксцентриковъ  $O_1E'_0$ ,  $O_1E''_0$  (черт. н<sup>о</sup> 16) къ одному общему основанію  $xx$  (черт. н<sup>о</sup> 12) и сложенію ихъ по закону параллелограмма, что и показано въ пунктѣ 32.

## Дополненіе ко II-му отдѣлу.

Къ пунктамъ 102, 113, 119. При опредѣленіи координатъ  $A$ ,  $B$  предполагалось: 1) что всѣ кулисы поставлены на передній ходъ (положит. вращеніе вала) 2) сложное перемѣщеніе кулисныхъ шатуновъ (кулисъ) разлагалось на два слагающія: а) поступательное — равное перемѣщенію нижняго конца кулисы б) вращательное относительно этого конца, какъ центра вращенія. Тогда совершенно понятно, что вращательный эксцентрикъ кулиснаго шатуна (кулисы), отвесенный къ радіусу вращенія кулиснаго камня, будетъ для кулисы Стефенсона  $\Omega e_r$  (см. черт. п<sup>о</sup> 75, табл. III), а для кулисъ Гуча и Аллана  $\Omega f$  (см. чер. п<sup>о</sup> 99, табл. IV) поэтому въ первомъ случаѣ

$$\frac{\Omega e_r}{\Omega e_2} = \frac{c_2 + u_1}{c_1 + c_2} \text{ откуда } \frac{\Omega e_2 - \Omega e_r}{\Omega e_2} = \frac{e_r e_2}{\Omega e_2} = \frac{c_1 - u_1}{c_1 + c_2}, \text{ а во второмъ } \frac{\Omega f}{\Omega d} =$$

$$= \frac{c_2 + u_2}{c_1 + c_2} \text{ (кулиса Гуча), откуда } \frac{\Omega d - \Omega f}{\Omega d} = \frac{fd}{\Omega d} = \frac{c_1 - u_2}{c_1 + c_2}, \text{ или } \frac{\Omega f}{\Omega d} =$$

$$= \frac{c_2 + U}{c_1 + c_2} \text{ (кулиса Аллана), откуда } \frac{fd}{\Omega d} = \frac{c_1 - U}{c_1 + c_2}.$$

Остальное вполне понятно, если обратить вниманіе на пунктъ 20 и дополненіе къ нему.

## ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ.

<i>Страница.</i>	<i>Строка.</i>	<i>Напечатано.</i>	<i>Слѣдуетъ читать.</i>
7	4 снизу	$\frac{b_0 b'_0}{b_0 a_0} = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$	$\frac{b_0 b'_0}{b_0 a_0} = \frac{\sin \alpha}{\cos (\beta - \alpha)}$
7	тамъ же	$b_0 b'_0 = b_0 a_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$	$b_0 b'_0 \infty b_0 a_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$ .
12	6 сверху	$r \sin (\omega + \delta_1)$	$r_1 \sin (\omega + \delta_1)$
12	12 сверху	$R \sin \delta_2$	$R \sin \delta_r$
—	тамъ же	$R \cos \delta_2$	$R \cos \delta_r$
12	14 сверху	$R \sin \delta_2$	$R \sin \delta_r$
—	тамъ же	$R \cos \delta_2$	$R \cos \delta_r$
12	15 сверху	$R, \delta_2$	$R, \delta_r$
15	2 снизу	$r \cos \alpha,$	$r \cos \alpha, \delta$
20	12 снизу	перекрѣщающіе	перекрѣщающіеся
23	8 снизу	Въ пунктѣ 41.	Въ пунктѣ 43.
66	9 снизу	$+ u_2$	$+ u_1$
67	3 сверху	$\mp$	$\pm$
75	12 снизу	$- u_1$	$+ u_2$
81	17 сверху	$c_1$	$c_2$
—	тамъ же	$u_2$	$u_1$
—	1 снизу	$=$	$\mp$
81	Во всѣхъ формулахъ пункта 119 знакъ передъ количествами $U, nU, u_1$ слѣдуетъ измѣнить на обратный.		
82	7 сверху.	Вмѣсто множителя	$\frac{2nc \cos \delta}{Lr}$
		слѣдуетъ множитель	$\frac{Lr}{2nc \cos \delta}$ .
93	6 сверху	22	22 <sup>bis</sup>

# ОТДѢЛЪ I.

## Общая приближенная теорія результирующаго эксцентрика.

### ВВЕДЕНІЕ.

1. Геометрическая ось пароваго цилиндра всегда перпендикулярна къ геометрической оси главнаго (кореннаго) вала машины и почти всегда пересѣкаетъ ее.

Исключеніе—балансирныя машины (машины съ коромысломъ), машины съ начающимися цилиндрами, быстроходныя машины Westinghouse и друг.

Ось эта называется линіей мертвыхъ точекъ поршня пароваго цилиндра. Назовемъ ее *основаніемъ*.

2. Геометрическая ось стержня золотника называется линіей мертвыхъ точекъ золотника. Назовемъ ее *золотниковой линіей*. Она не всегда пересѣкаетъ ось главнаго вала, но всегда перпендикулярна къ ней (эксцентрикъ на главномъ валѣ).

3. Основнымъ расположеніемъ этихъ линій будемъ считать то, при которомъ а) золотниковая линія параллельна основанію, б) плоскость, опредѣляемая этими линіями, проходитъ черезъ ось главнаго вала. Плоскость эта проектируется, какъ показано на черт. 1, таб. I и черт. n<sup>o</sup> 52, таб. II, прямой  $\Omega x$ , совпадающей съ основаніемъ. Какъ увидимъ далѣе, кромѣ основнаго расположенія золотниковой линіи весьма часто встрѣчается указанное на черт. n<sup>o</sup> 51, 50 и т. д., таб. II, при которомъ плоскость, проходящая черезъ золотниковую линію и основаніе,  $\perp$  къ главному валу.

Черезъ центръ вала  $\Omega$  проведемъ вторую линію  $\Omega y \perp$  къ основанію  $\Omega x$  и примемъ оба направленія за оси координатъ, а центръ  $\Omega$  вала—за начало ихъ.

4. Два положенія кривошипа, совпадающія съ основаніемъ, называются *мертвыми положеніями*. Назовемъ *начальнымъ* положеніемъ кривошипа мертвое положеніе его, наиболѣе удаленное отъ пароваго цилиндра, какъ показано на черт. n<sup>o</sup> 1, таб. I.

Воображая вращеніе кривошипа изъ начальнаго его положенія въ ту, или другую сторону, мы увидимъ, что направленіе движенія поршня совпадаетъ при этомъ съ направленіемъ (теченіемъ) оси  $\Omega x$ , т. е. съ направленіемъ основанія. Назовемъ такое движеніе поршня *прямымъ*.

При выходѣ кривошипа изъ втораго мертваго положенія начнется движеніе поршня по направленію прямо противоположному направленію основанія. Назовемъ такое движеніе поршня *обратнымъ*.

Тѣ же опредѣленія приложимы и къ размахамъ золотника, если положительное направленіе золотниковой линіи совпадаетъ съ направленіемъ основанія.

5. Въ основномъ расположеніи золотниковой линіи парораспредѣленіе можетъ быть произведено (см. отдѣлъ III о парораспредѣленіи), сообщающимъ движеніе золотнику, круглымъ эксцентрикомъ, закрѣпленнымъ подъ тупымъ угломъ наклона его эксцентриситета ( $r$ ) къ начальному положенію кривошипа, въ сторону его вращенія. Уголь ( $\delta$ ), образуемый при этомъ эксцентриситетомъ эксцентрика съ осью  $\Omega y \perp$  къ  $\Omega x$  (основанію), называется *угломъ опереженія*. На черт. н<sup>о</sup> 1, таб. I эксцентриситетъ эксцентрика  $r = \Omega E_0$ , а уголь его опереженія  $\delta = \angle y \Omega E_0$ .

6. Круглый эксцентрикъ, закрѣпленный на главномъ валѣ и сообщающій движеніе золотнику по данному направленію, назовемъ *дѣйствительнымъ эксцентрикомъ*.

7. Эксцентрикъ, сообщающій, при воображаемомъ совпаденіи основанія съ даннымъ направленіемъ золотниковой линіи (т. е. при воображаемомъ основномъ расположеніи), безконечнымъ шатуномъ движеніе золотнику, *тождественное* съ движеніемъ его, заимствованнымъ какимъ-либо образомъ (болѣе или менѣе сложная кинематическая цѣпь) отъ дѣйствительнаго эксцентрика, назовемъ эксцентрикомъ *идеальнымъ*.

8. Обращаясь къ рассмотрѣнію движенія золотника въ самомъ простѣйшемъ случаѣ передачи конечнымъ шатуномъ эксцентрика въ основной машинѣ, мы будемъ, согласно понятію объ идеальномъ эксцентрикѣ, разсматривать движеніе это въ предположеніи безконечной длины шатуна. Это предположеніе остается въ силѣ и при рассмотрѣніи движенія золотника по всякой центральной линіи (золотниковой линіи, проходящей черезъ центр  $\Omega$  вала). Отнесемъ движеніе золотника (его оси симметріи) по основанію  $\Omega x$  (см. черт. н<sup>о</sup> 1) къ центру  $\Omega$  амплитуды прямолинейнаго колебательнаго движенія золотника, равной удвоенному эксцентриситету ( $r$ ), или діаметру круга, описаннаго изъ центра  $\Omega$  радіусомъ равнымъ величинѣ  $\Omega E = r$ . Проектируя на основаніе ортогональной проекціей, для всякаго угла ( $\omega$ ) наклона кривошипа, соответствующее этому углу, положеніе  $E_\omega$  центра эксцентрика  $\Omega E_\omega$ , найдемъ относительное положеніе  $b_\omega$  золотника (его оси симметріи) и перемѣщеніе его  $\Omega b_\omega$ , отсчитываемое отъ центра  $\Omega$ . Обозначимъ, вообще, это перемѣщеніе черезъ  $\xi$ . Очевидно,  $\xi = r \sin(\omega + \delta)$ . Центр  $\Omega$  представляетъ середину размаховъ золотника и среднее положеніе его между всякими двумя взаимными положеніями, соответствующими двумъ діаметрально противоположнымъ положеніямъ кривошипа; для болѣе опредѣленности мы будемъ принимать этотъ центр  $\Omega$  за среднее положеніе золотника между тѣми двумя  $b_0, b_\pi$ , которыя онъ занимаетъ при двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа.

Вводя представленіе объ идеальномъ эксцентрикѣ, мы ограничиваемся, слѣдовательно, точностью перваго приближенія, замѣной дуговыхъ проекцій (les projections circulaires) проекціями ортогональными. Тогда, согласно пункту 8, не существуетъ различія между среднимъ положеніемъ золотника и серединою его хода (центръ колебаній).

Такимъ образомъ среднее положеніе конца эксцентрикѣваго шатуна, если ограничиться точностью перваго приближенія, найдется, проводя изъ центра  $\Omega$  засѣчку радіусомъ, равнымъ длинѣ ( $l$ ) шатуна, къ основанію  $\Omega x$ .

Такъ мы, и будемъ поступать во всѣхъ случаяхъ, когда движеніе золотника опредѣляется элементами  $r$ ,  $\delta$  (идеальный эксцентрикѣ).

Въ одномъ лишь случаѣ, когда эксцентриситетъ совпадаетъ съ направленіемъ кривошипа, среднее положеніе конца шатуна (между двумя соответствующими мертвымъ положеніямъ кривошипа) при движеніи его по золотниковой линіи, совпадающей съ направленіемъ основанія и опредѣляемое сказаннымъ образомъ, будетъ вполнѣ точнымъ (см. пунктъ 10).

12. Ограничиваясь первымъ приближеніемъ, мы, очевидно, считаемъ косинусы угловъ наклона конечнаго шатуна къ основанію его равными единицѣ. Что касается синусовъ наклона, то такъ какъ сами синусы суть величины одного порядка съ отношеніемъ  $\frac{r}{2l}$ , а это отношеніе есть величина втораго порядка въ сравненіи съ единицей, то, въ сравненіи съ сей послѣдней, ими слѣдуетъ пренебречь \*). Но необходимо помнить при этомъ, что пренебреженіе уклонами конечнаго шатуна, какъ величинами втораго порядка, во всѣхъ случаяхъ опредѣленія элементовъ движенія золотника, вполнѣ совмѣстно съ точностью перваго приближенія къ истинѣ лишь тогда, когда они умножаются на линейные множители одного порядка съ величиною  $r \sin(\omega + \delta)$ , ибо тогда и получимъ линейную величину втораго порядка. Въ другихъ случаяхъ умноженія уклонами шатуна пренебречь нельзя, ограничиваясь даже первымъ приближеніемъ.

Такъ напр. отложимъ отъ конечной точки  $a'_0$  шатуна по длинѣ его величину, равную  $\frac{r}{2}$ , и опустимъ перпендикуляръ на основаніе. Длина этого перпендикуляра при мертвомъ положеніи кривошипа равна  $\frac{r^2 \cos \delta}{2l}$ . Такъ какъ эта величина втораго порядка, то ея можно пренебречь, ограничиваясь пер-

\*) Въ самомъ дѣлѣ, по условію, стрѣлки дугъ наклона шатуна, наибольшее значеніе коихъ можетъ быть представлено величиной  $\frac{r^2}{2l}$ , суть величины втораго порядка въ сравненіи съ  $r$ , слѣдовательно  $\frac{r}{2l}$  есть величина втораго порядка въ сравненіи съ единицей.

тельна для всѣхъ значеній угла ( $\omega$ ) вращенія кривошипа, заключающихся въ предѣлахъ  $0 < \omega < 180 - 2\delta$ .

Изъ чертежа видно, что разность  $\Omega a_\delta - a_\omega b_\omega$  обращается въ нуль при двухъ положеніяхъ эксцентриситета  $\Omega E_0$  и  $\Omega E_\pi$ , соответствующихъ мертвымъ положеніямъ кривошипа ( $\Omega a_\delta = a_0 b_0$ ) и принимаетъ наибольшее значеніе, когда  $a_\omega b_\omega = 0$ , т. е. при двухъ положеніяхъ эксцентриситета, совпадающихъ съ основаніемъ; соответствующіе же этимъ положеніямъ углы наклона кривошипа къ основанію, очевидно, равны  $\frac{\pi}{2} - \delta$  и  $\frac{3}{2}\pi - \delta$ .

Изъ чертежа имѣемъ:

$$\Omega a_\delta = \frac{r^2 \cos^2 \delta}{2l}; \quad a_\omega b_\omega = \frac{r^2 \cos^2 (\omega + \delta) *}{2l},$$

слѣдовательно  $\Omega a_\delta - a_\omega b_\omega = \frac{r^2}{2l} [\cos^2 \delta - \cos^2 (\omega + \delta)]$ .

Такимъ образомъ, для опредѣленія перемѣщенія золотника, можетъ быть получена болѣе точная формула:

$$\xi = r \sin (\omega + \delta) \pm \frac{r^2}{2l} [\cos^2 \delta - \cos^2 (\omega + \delta)] **). \quad (I)$$

**II.** Положенія золотника могутъ быть также относительно представляемы положеніями конца эксцентриковаго шатуна (см. черт. н<sup>о</sup> 1), шарнирно сочлененнаго съ золотниковымъ стержнемъ.

Тогда соответственно прежнимъ положеніямъ золотника, отнесеннымъ къ центру  $\Omega$ , получимъ точки  $a'_\pi$ ,  $a'_0$ ,  $a'_\delta$ , обозначенныя тѣми же буквами, но со знаками.

Засѣчкой изъ центра  $\Omega$  радіусомъ ( $l$ ) къ основанію мы получимъ точку  $\Omega'$ , — центръ колебаній золотника, при чемъ, очевидно

$$\Omega' a'_\delta = \Omega a_\delta = \frac{r^2 \cos^2 \delta}{2l}.$$

Отожествляя движеніе золотника, сообщаемое ему ковечнымъ шатуномъ дѣйствительнаго эксцентрика, съ движеніемъ идеальнымъ, мы тѣмъ самымъ должны пренебречь дополнительнымъ членомъ въ формулѣ I пункта 10, наибольшее значеніе котораго, какъ было показано, равно  $\frac{r^2 \cos^2 \delta}{2l}$ . Величины подобнаго вида, представляющія стрѣлки дугъ радіуса ( $l$ ), полухорды коихъ ( $x$ ) измѣняются отъ нуля до ( $r$ ), будемъ считать величинами *второго порядка* по сравненію съ перемѣнной величиной  $r \sin (\omega + \delta)$ .

\*) Точная величина этихъ отрѣзковъ опредѣлится изъ слѣдующихъ, очевидныхъ изъ чертежа н<sup>о</sup> 1, равенствъ:

$$\Omega a_\delta (2l - \Omega a_\delta) = r^2 \cos^2 \delta; \quad a_\omega b_\omega (2l - a_\omega b_\omega) = r^2 \cos^2 (\omega + \delta).$$

\*\*\*) См. отд. IV. Теорія поршневыхъ отсѣчекъ.

Вводя представлѣніе объ идеальномъ эксцентрикѣ, мы ограничиваемся, слѣдовательно, точностью перваго приближенія, замѣной дуговыхъ проекцій (*les projections circulaires*) проекціями ортогональными. Тогда, согласно пункту 8, не существуетъ различія между среднимъ положеніемъ золотника и серединою его хода (центръ колебаній).

*Такимъ образомъ среднее положеніе конца эксцентриковаго шатуна, если ограничиться точностью перваго приближенія, найдется, проводя изъ центра  $\Omega$  засѣчку радіусомъ, равнымъ длинѣ ( $l$ ) шатуна, къ основанію  $\Omega x$ .*

Такъ мы и будемъ поступать во всѣхъ случаяхъ, когда движеніе золотника опредѣляется элементами  $r$ ,  $\delta$  (идеальный эксцентрикъ).

Въ одномъ лишь случаѣ, когда эксцентриситетъ совпадаетъ съ направленіемъ кривошипа, среднее положеніе конца шатуна (между двумя соответствующими мертвымъ положеніямъ кривошипа) при движеніи его по золотниковой линіи, совпадающей съ направленіемъ основанія и опредѣляемое сказаннымъ образомъ, будетъ вполне точнымъ (см. пунктъ 10).

12. Ограничиваясь первымъ приближеніемъ, мы, очевидно, считаемъ косинусы угловъ наклона конечнаго шатуна къ основанію его равными единицѣ. Что касается синусовъ наклона, то такъ какъ сами синусы суть величины одного порядка съ отношеніемъ  $\frac{r}{l}$ , а это отношеніе есть величина втораго порядка въ сравненіи съ единицей, то, въ сравненіи съ сей послѣдней, ими слѣдуетъ пренебречь \*). Но необходимо помнить при этомъ, что пренебреженіе уклонами конечнаго шатуна, какъ величинами втораго порядка, во всѣхъ случаяхъ опредѣленія элементовъ движенія золотника, вполне совместно съ точностью перваго приближенія къ истинѣ лишь тогда, когда они умножаются на линейные множители одного порядка съ величиною  $r \sin(\omega + \delta)$ , ибо тогда и получимъ линейную величину втораго порядка. Въ другихъ случаяхъ умноженія уклонами шатуна пренебречь нельзя, ограничиваясь даже первымъ приближеніемъ.

Такъ напр. отложимъ отъ конечной точки  $a'_0$  шатуна по длинѣ его величину, равную  $\frac{r}{2}$ , и опустимъ перпендикуляръ на основаніе. Длина этого перпендикуляра при мертвомъ положеніи кривошипа равна  $\frac{r^2 \cos \delta}{2l}$ . Такъ какъ эта величина втораго порядка, то ею можно пренебречь, ограничиваясь пер-

---

\*) Въ самомъ дѣлѣ, по условію, стрѣлки дугъ наклона шатуна, наибольшее значеніе коихъ можетъ быть представлено величиной  $\frac{r^2}{2l}$ , суть величины втораго порядка въ сравненіи съ  $r$ , слѣдовательно  $\frac{r}{2l}$  есть величина втораго порядка въ сравненіи съ единицей.

вымъ приближеніемъ. Этого нельзя было бы допустить, если откладываемая величина больше  $r^*$ ).

13. Элементы  $r, \delta$  идеальнаго эксцентрика (см. черт. n<sup>o</sup> 1) располагаются относительно осей  $\Omega x, \Omega y$  въ зависимости отъ направленія вращенія кривошипа и способа распредѣленія пара золотникомъ.

Предполагая обыкновенный коробчатый золотникъ, совершающій впускъ пара вѣшними ребрами перекрышь, мы получимъ, вообще говоря, элементы  $r, \delta$ , расположенными во второй четверти вращенія кривошипа (см. черт. n<sup>o</sup> 39, таб. I).

Ежели золотникъ совершаетъ впускъ пара внутренними ребрами перекрышь, то движеніе его (по отношенію къ тому случаю, когда отсѣчка совершается вѣшными ребрами) должно быть прямо противоположнымъ, поэтому линейный элементъ ( $r$ ) (см. черт. n<sup>o</sup> 1) расположится по направленію  $\Omega E_{\pi}$  діаметрально противоположному  $\Omega E_0$ , т. е. въ четвертой четверти вращенія кривошипа. *Итакъ эксцентриситетъ располагается въ этомъ случаѣ позади кривошипа и образуетъ съ перпендикуляромъ къ его направленію уголъ  $\delta$ .*

Въ слѣдующей главѣ мы будемъ опредѣлять элементы движенія золотника, постепенно усложняя шатунную передачу къ нему отъ дѣйствительнаго эксцентрика, и, не заботясь пока о томъ, возможно ли такими элементами произвести парораспредѣленіе, или нѣтъ. Для насъ важно будетъ опредѣлить зависимость (связь) между этими элементами и элементами дѣйствительнаго эксцентрика, такъ какъ, зная эту зависимость, и, задаваясь элементами движенія золотника для выполненія требуемаго парораспредѣленія, мы всегда найдемъ положеніе элементовъ дѣйствительнаго эксцентрика относительно кривошипа главнаго вала.

## ГЛАВА I.

### Основная шатунная пара и ее производныя.

14. Условимся называть шатунной парой вращательную пару, ось вращенія которой направляется по какой-либо опредѣленной кривой или прямой.

Шатунную пару  $E_0 a'_0, a'_0$ , подвижная ось которой (см. черт. n<sup>o</sup> 1)  $a'_0$  направляется по основанію  $\Omega x$  (или по золотниковой линіи, параллельной основанію), назовемъ *основной шатунной парой*.

15. Давъ дѣйствительный эксцентрикъ ( $r, \delta$ ), сообщающій перемѣщеніе золотнику по линіи  $\Omega x_1$  (см. черт. n<sup>o</sup> 2), наклонной къ основанію подъ угломъ  $\beta$  и проходящей черезъ центръ  $\Omega$ . Опредѣлить перемѣщеніе золотника.

\*) Нѣкоторые авторы отождествляютъ точность перваго приближенія съ допущеніемъ безконечной длины шатуна и eo ipso пренебрегаютъ уклонами конечнаго шатуна. Такое положеніе безъ оговорки можетъ привести къ ошибкѣ, лежащей въ величинахъ перваго порядка. Подобнаго рода ошибку дѣлаетъ напр. Claveys въ своей брошюркѣ „Essai d'une Théorie générale des coulisses de changement des marches dans les machines a vapeur“. 1890.

Принимая направлѣніе  $\Omega x_1$  за основаніе, и, проектируя на него ортогопальной проекціей точку  $E_\omega$ , получимъ отрѣзокъ  $\Omega a_\omega$ , представляющій перемѣщеніе золотника изъ его средняго положенія. Это перемѣщеніе очевидно можетъ быть произведено идеальнымъ эксцентриккомъ  $r$ ,  $\delta + \beta$  по основанію  $\Omega x_1$ . Элементы его  $r$ ,  $\delta + \beta$  опредѣляютъ искомое перемѣщеніе.

16. Обратнo, перемѣщеніе по направленію золотниковой линіи  $\Omega x_1$  можетъ быть задано элементами  $r$ ,  $\delta_1$ , предполагая основаніе совпадающимъ съ этимъ направлѣніемъ, т. е. можетъ быть задано идеальнымъ эксцентриккомъ  $r$ ,  $\delta_1$ . Тогда дѣйствительный эксцентрикъ по основанію  $\Omega x$  опредѣлится элементами  $r$ ,  $\delta$ , гдѣ  $\delta = \delta_1 - \beta$ .

Если  $\delta_1 = \beta$ , то  $\delta = 0$  или дѣйствительный эксцентрикъ (его эксцентриситетъ) перпендикуляренъ къ основанію  $\Omega x$ , поэтому *наклонъ  $\beta$  имѣетъ значеніе угла опереженія* и, вообще говоря, увеличиваетъ или уменьшаетъ (идеально) уголъ опереженія дѣйствительнаго эксцентрика, смотря по тому, расположенъ ли уголъ  $\beta$  выше или ниже основанія.

Такимъ образомъ основная шатунная пара, будучи превращена въ наклонную центральную пару, измѣняетъ угловой элементъ перемѣщенія золотника.

17. Дана эксцентричная шатунная пара  $E_0 b_0$ ,  $b_0$  (см. черт. n° 3) съ направлѣніемъ подвижной оси ея  $b_0$  по золотниковой линіи  $x_1 x_1$ , наклонной къ основанію подъ угломъ  $\beta$ . Опредѣлить перемѣщеніе золотника, при заданныхъ элементахъ  $r$ ,  $\delta$  дѣйствительнаго эксцентрика.

1-й случай. Среднее положеніе конца шатуна находится на основаніи (точка 0).

Проведя изъ центра  $\Omega$  вала радиусомъ  $l$  равнымъ длинѣ шатуна засѣчку къ основанію, найдемъ точку 0. Эту точку примемъ на основаніи пункта 11 за среднее положеніе конца шатуна (его шарнирной оси) при движеніи его по основанію  $\Omega x$  и пусть при этомъ точка  $a_0$  будетъ одно изъ его положеній.

Если возставимъ изъ точки  $a_0$  перпендикуляръ (вмѣсто дуги круга радиуса  $l$  и центра  $E_0$ ) до пересѣченія его съ направлѣніемъ  $x_1 x_1$  въ точкѣ  $b_0$ , то получимъ одно изъ положеній конца шатуна на данной золотниковой линіи съ точностью перваго приближенія (вмѣсто точки  $b'_0$ ).

Въ самомъ дѣлѣ, уголъ  $\alpha$  есть величина порядка  $\frac{r}{l}$ , а такъ какъ предѣльное максимальное значеніе угла  $\beta$  мы будемъ принимать въ  $45^\circ$ , то  $b_0 b'_0$ , какъ видно изъ слѣдующихъ соотношеній, есть величина втораго порядка.

Дѣйствительно,

$$\frac{b_0 b'_0}{b_0 a_0} = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}; \quad \text{откуда} \quad b_0 b'_0 = b_0 a_0 \frac{\sin \alpha}{\cos \beta};$$

но отрѣзокъ  $b_0 a_0 = o a_0 \operatorname{tg} \beta = r \sin (\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta$  представляетъ величину одного порядка съ  $r$ , а  $\sin \alpha = \frac{r \cos (\omega + \delta)}{l}$  есть величина втораго порядка, слѣдовательно  $b_0 b_1$  — величина втораго порядка по отношенію къ перемѣщенію золотника.

Такимъ образомъ переѣщеніе

$$s_i = ob_0 = \frac{oa_0}{\cos \beta} = \frac{\xi}{\cos \beta} = \frac{r}{\cos \beta} \sin(\omega + \delta),$$

т. е. по направленію  $x_1x_1$  опредѣляется элементами  $\frac{r}{\cos \beta}$ ,  $\delta$  идеальнаго эксцентрика. Итакъ эксцентричная шатунная пара, представленная на черт. н<sup>о</sup> 3, *измѣняютъ лишь величину линейнаго элемента дѣйствительнаго эксцентрика.*

Шатунную пару, измѣняющую одинъ или оба элемента дѣйствительнаго эксцентрика, назовемъ *производной шатунной парой.*

**18.** Построеніе идеальнаго эксцентрика можетъ быть произведено слѣдующимъ образомъ (см. черт. н<sup>о</sup> 4). Откладываемъ уголъ  $\beta$  въ ту или другую сторону отъ направленія даннаго дѣйствительнаго эксцентрика  $\Omega E_0$  и возставаемъ изъ центра его  $E_0$  перпендикуляръ къ направленію эксцентриситета до пересѣченія въ точкахъ  $A$ ,  $A'$ .

Откладывая на направленіи  $\Omega E_0 = r$  величину  $\Omega E_i = \Omega A = \Omega A'$ , получимъ искомый идеальный эксцентрикъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta$  равный  $\frac{r}{\cos \beta}$ ,  $\delta$ .

Если уголъ  $\beta$  представляетъ величину одного порядка съ угломъ наклона шатуна къ основанію, т. е. порядка  $\frac{r}{l}$ , то имъ совершенно можно пренебречь, такъ какъ —

$$\Delta E_0 = r \sin \beta \approx \frac{r^2}{2l}, \quad \text{а} \quad E_0E_i = \frac{(r \sin \beta)^2}{2r} = \frac{r \sin^2 \beta}{2} \approx \frac{r}{2} \left(\frac{r}{2l}\right)^2,$$

послѣдняя же величина есть четвертаго порядка.

Обратно, движеніе по направленію  $x_1x_1$  (см. черт. н<sup>о</sup> 3) можетъ быть задано идеальнымъ эксцентриккомъ  $\Omega E_i$  (см. черт. н<sup>о</sup> 4). Тогда дѣйствительный эксцентрикъ найдется безъ затрудненія обратнымъ построеніемъ.

**19.** Дана эксцентричная шатунная пара (см. черт. н<sup>о</sup> 5)  $E_0b_0$ ,  $b_0$  съ направленіемъ подвижной оси по  $x_1x_1$  параллельному основанію  $\Omega x$ . Опредѣлить элементы переѣщенія по золотниковой линіи  $x_1x_1$ , при заданныхъ элементахъ  $r$ ,  $\delta$  дѣйствительнаго эксцентрика.

Проведя радіусомъ  $l$ , равнымъ длинѣ шатуна, изъ центра  $\Omega$  засѣчку къ направленію  $x_1x_1$ , получимъ точку  $O$ . Если принять направленіе  $\Omega O$  за основаніе, то точка  $O$ , согласно пункту 11, представитъ среднее положеніе конца шатуна при движеніи его по этому направленію и на основаніи пункта 15 найдемъ идеальный эксцентрикъ  $r$ ,  $\delta + \beta$ . Принимая же за основаніе  $x_1x_1$ , получимъ, согласно пункту 17, идеальный эксцентрикъ  $\frac{r}{\cos \beta}$ ,  $\delta + \beta$ .

**20.** Построеніе идеальнаго эксцентрика можетъ быть произведено слѣдующимъ образомъ.

Отложимъ уголъ  $\beta$  въ сторону вращенія кривошипа отъ направленія  $\Omega E_0$  дѣйствительнаго эксцентрика (см. черт. н<sup>о</sup> 6) и изъ центра  $E_0$  возставимъ пер-

пендикуляръ къ этому направленію до пересѣченія въ точкѣ  $E_i$ ; соединяя точку  $E_i$  съ центромъ, получимъ искомый идеальный эксцентрикъ:

$$\Omega E_i, \quad \delta + \beta \quad \text{или} \quad \frac{r}{\cos \beta}, \quad \delta + \beta.$$

При расположеніи золотниковой линіи  $x_1 x_1$  ниже основанія уголъ  $\beta$  придется считать отрицательнымъ и отложить въ обратную сторону, вслѣдствіе чего получимъ идеальный эксцентрикъ

$$\Omega E'_i, \quad \delta - \beta \quad \text{или} \quad \frac{r}{\cos \beta}, \quad \delta - \beta.$$

Замѣтимъ, что если уголъ  $\beta$ , мѣрою синуса котораго служитъ отношеніе  $\frac{c}{l}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 5), можно считать величиною одного порядка съ отношеніемъ  $\frac{r}{c}$ , то эти отношенія суть величины перваго порядка, ибо отношеніе  $\frac{r}{l} = \frac{r}{c} \cdot \frac{c}{l}$ , согласно пункту 12, — величина втораго порядка.

Тогда, подобно тому, какъ въ пунктахъ 17, 18, найдемъ:

$$\frac{r}{\cos \beta} \cong \frac{r}{1 - \frac{1}{2} \left( \frac{c}{l} \right)^2} \cong r,$$

т. е. ограничиваясь точностью перваго приближенія, достаточно было бы отложить на направленіи  $\Omega E_i$  (см. черт. н<sup>о</sup> 6) или  $\Omega E'_i$  величину  $r = \Omega E_0$ , но такъ какъ отношеніе  $\frac{r}{c}$  можетъ быть значительно менѣе  $\sin \beta = \frac{c}{l}$ , то, вообще говоря, слѣдуетъ произвести указанное построеніе, ограничиваясь даже первымъ приближеніемъ.

Отложеніе угла  $\beta$  можетъ быть произведено слѣдующимъ образомъ.

Въ известномъ масштабѣ откладываемъ по направленію (см. черт. н<sup>о</sup> 6)  $\Omega E_0$  длину шатуна, т. е. длину  $\mu \cdot l$ , гдѣ  $\mu$  коэффициентъ масштаба. Строимъ на отложенномъ отрѣзкѣ, какъ на діаметрѣ, окружность, и изъ конца его  $A$  проводимъ радіусомъ  $\mu \cdot c$  засѣчку въ точкѣ  $B$ . Соединивъ точку  $B$  съ центромъ  $\Omega$ , получимъ  $\angle A \Omega B = \beta$ .

Въ самомъ дѣлѣ,  $\sin \beta = \frac{c}{l}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 5), но по построенію

$$\sin \angle A \Omega B = \frac{c}{l}, \quad \text{слѣдовательно} \quad \angle A \Omega B = \beta.$$

**21.** Обратное перемѣщеніе по направленію  $x_1 x_1$  можетъ быть задано идеальнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta_i$  (см. черт. н<sup>о</sup> 7). Тогда дѣйствительный эксцентрикъ найдется слѣдующимъ построеніемъ.

Откладываемъ уголъ  $\beta$  отъ направленія  $\Omega E_i$  даннаго идеальнаго эксцентрика въ обратную сторону вращенія кривошипа, если  $\angle \beta$  положительный и въ сторону вращенія кривошипа, если  $\angle \beta$  отрицательный. На эксцентриситетѣ

$\Omega E_i$  строимъ, какъ на діаметрѣ, окружность, которая пересѣчетъ отложенное направленіе въ точкѣ  $E_0$ . Соединяя  $E_0$  съ центромъ  $\Omega$ , получимъ дѣйствительный эксцентрикъ  $\Omega E$ ,  $\delta$ .

**22.** Если принудимъ конецъ шатуна перемѣщаться по какой-либо кривой, при условіи, что ни одна изъ линій, соединяющихъ различныя точки ея съ центромъ  $\Omega$ , не наклонена къ основанію  $\Omega x$  подъ угломъ, синусъ коего превышаетъ величину  $\frac{r}{l}$ , то перемѣщеніе ортогональной проекціи на основаніе  $\Omega x$  конца шатуна будетъ тождественно съ перемѣщеніемъ конца его по самому основанію  $\Omega x$ , если пренебречь погрѣшностью, лежащей въ величинѣ порядка выше перваго, т. е. ограничиться точностью перваго приближенія къ истинѣ, или тою степенью точности, которая положена въ основу представленія объ идеальномъ эксцентрикѣ.

Въ самомъ дѣлѣ, ошибка въ опредѣленіи линейнаго элемента идеальнаго эксцентрика, какъ было показано, лежитъ въ величинахъ порядка выше втораго (см. пунктъ 20), а ошибка въ угловомъ элементѣ его, по положенію, составляетъ величину порядка  $\frac{r}{l}$ .

**23.** Дана эксцентричная шатунная пара  $E_0 b_0$ ,  $b_0$  (см. черт. n<sup>o</sup> 8), сообщающая движеніе золотнику конечнымъ шатуномъ  $l$  по золотниковой линіи  $x_1 x_1$ , наклонной къ основанію подъ угломъ  $\beta$ , и не проходящей черезъ центръ  $\Omega$ . Опредѣлить элементы движенія золотника, при заданныхъ элементахъ дѣйствительнаго эксцентрика.

*2-й случай.* Среднее положеніе конца шатуна (точка 0) выше основанія.

Принимая  $\Omega 0$  за основаніе, получимъ, согласно пункту 15, идеальный эксцентрикъ  $\Omega E'$ ,  $\delta \mp \alpha$  (см. черт. n<sup>o</sup> 9), а принявъ затѣмъ направленіе  $x_1 x_1$  за основаніе, найдемъ, согласно пункту 17, идеальный эксцентрикъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta \mp \alpha$ .

Основываясь на тѣхъ же соображеніяхъ, которыя были изложены въ пун. 17, можно построеніе черт. n<sup>o</sup> 9 упростить даже и тогда, когда уголъ  $\beta - \alpha$  есть величина перваго порядка наравнѣ съ отношеніями  $\frac{r}{c}$  и  $\frac{c}{l}$ , гдѣ  $c$  разстояніе точки 0 отъ основанія. Но имѣя въ виду, что отношеніе  $\frac{c}{l}$  можетъ быть значительно болѣе  $\frac{r}{c}$  (величины перваго порядка), слѣдуетъ производить указанное построеніе, ограничиваясь даже первымъ приближеніемъ.

*3-й случай.* Среднее положеніе конца шатуна находится ниже основанія.

Безъ затрудненія найдемъ идеальный эксцентрикъ и въ этомъ случаѣ, на основаніи пунктовъ 15 и 17.

Легко видѣть, что производная шатунная пара  $E_0 b_0$ ,  $b_0$  (см. черт. n<sup>o</sup> 8), направленіе подвижной оси которой  $x_1 x_1$  наклонно къ основанію, представляетъ общій типъ для всѣхъ паръ разсмотрѣнныхъ раньше.

24. Обратнo, движеніе золотника по направленію  $x_1x_1$  (см. черт. n<sup>o</sup> 8) можетъ быть задано идеальнымъ эксцентрикoмъ  $r, \delta$ , и построеніями, указанными въ пунктахъ 18 и 15, найдемъ сначала эксцентрикъ по основанію  $\Omega O$ , а затѣмъ эксцентрикъ по основанію  $\Omega x$ , т. е. искомый дѣйствительный эксцентрикъ.

25. Разсмотримъ теперь тѣ случаи, въ которыхъ движеніе золотнику сообщается промежуточной точкой основнаго шатуна, при посредствѣ второй шатунной пары, которую будемъ предполагать центральной, т. е. будемъ принимать направленіе перемѣщенія подвижной оси ея проходящимъ черезъ центръ кривой, описываемой промежуточной точкой шатуна первой основной шатунной пары.

Переходъ къ опредѣленію идеальнаго эксцентрика, при посредствѣ передачи движенія второй шатунной парой—эксцентричной,—совершится безъ затрудненія на основаніи соображеній, изложенныхъ въ пунктахъ 19 и 23.

Что касается основной пары, то слѣдуетъ разсмотрѣть отдѣльно случаи, когда она центральна, и эксцентрична.

26. Разсмотримъ сперва простѣйшій случай, а именно—даже центральная шатунная пара (см. черт. n<sup>o</sup> 10) при условіи, что золотникъ занимаетъ движеніе отъ токи  $c_0$  ея шатуна  $E_0b_0 = l$ , раздѣляющей длину  $l$  на части  $E_0c_0 = l_2, c_0b_0 = l_1$ .

На основаніи пункта 11, проведя изъ центра  $\Omega$  радіусомъ  $\Omega O = l$  за сѣчку къ основанію, получимъ точку  $O$ ,—среднее положеніе шарнирной оси ( $b$ ) основнаго шатуна. Подобнымъ образомъ найдемъ среднее положеніе проекціи на основаніе точки  $c_0$  ( $\Omega O_1 = E_0c_0 = l_2$ ), если пренебрезъ стрѣлками дугъ, проектирующихъ точки  $E_0$  и  $c_0$  на основаніе (т. е. величинами втораго порядка).

Легко видѣть, что абсциссы  $\xi$  точки  $c_0$  относительно осей  $O_1x_1, O_1y_1$ , проходящихъ черезъ среднее положеніе ея проекціи на основаніе, равны абсциссамъ точки  $E_0$ , т. е.  $\xi = r \sin(\omega + \delta)$  (I). Ординаты же ихъ находятся въ постоянномъ отношеніи равномъ  $\frac{l_1}{l}$ . Обозначая ординаты точки  $c_0$  черезъ  $\eta$ , найдемъ, что  $\eta = r \cos(\omega + \delta) \frac{l_1}{l}$  (II). Исключивъ изъ уравненій I и II уголъ  $\omega$ , найдемъ уравненіе:

$$\frac{\xi^2}{r^2} + \frac{\eta^2}{\left(r \frac{l_1}{l}\right)^2} = 1.$$

Итакъ, съ точностью перваго приближенія кривую, описываемую точкою  $c$ , можно принять за эллипсъ, полуоси коего суть  $r$  и  $r \frac{l_1}{l}$ . Точно такими же разсужденіями найдемъ, что точка  $c$ , взятая на продолженіи шатуна (см. черт. n<sup>o</sup> 15) опишетъ эллипсъ. Легко понять, что если связать точку ( $c$ ) съ золотникомъ второю основной шатунной парой, то элементы движенія его (идеальный эксцентрикъ) по тому же основанію останутся безъ измѣненія.

Посмотримъ, каковы будутъ элементы перемѣщенія золотника, если связать его съ точкою ( $c$ ) при посредствѣ производной шатунной пары, но прежде докажемъ слѣдующую теорему.

## 27. Законъ параллелограмма идеальныхъ эксцентриковъ.

Даны два идеальныхъ эксцентрика  $r_1, \delta_1$  и  $r_2, \delta_2$  по основанію  $\Omega x$  (см. черт. п<sup>о</sup> 11). Два независимыя перемѣщенія, опредѣляемыя этими эксцентриками, или ихъ элементами, по основанію, могутъ быть сложены въ одно результирующее, равное, вообще говоря, алгебраической суммѣ:

$$\begin{aligned} & r \sin (\omega \mp \delta_1) \pm r_2 \sin (\omega \mp \delta_2) = \\ = & r_1 \cos \omega \sin \delta_1 \mp r_1 \sin \omega \cos \delta_1 \pm (r_2 \cos \omega \sin \delta_2 \mp r_2 \sin \omega \cos \delta_2) = \\ = & \cos \omega (r_1 \sin \delta_1 \pm r_2 \sin \delta_2) \mp \sin \omega (r_1 \cos \delta_1 \pm r_2 \cos \delta_2). \end{aligned}$$

Алгебраическія суммы, заключенныя въ скобкахъ, найдемъ по извѣстной теоремѣ проеціій, проектируя на ось  $\Omega x$  и ось  $\Omega y$  діагональ параллелограмма, построеннаго на данныхъ эксцентрикахъ какъ на сторонахъ,

$$\text{т. е. } R \sin \delta_2 = r_1 \sin \delta_1 \pm r_2 \sin \delta_2; \quad R \cos \delta_2 = r_1 \cos \delta_1 \pm r_2 \cos \delta_2.$$

Такимъ образомъ результирующее перемѣщеніе равно:

$$\cos \omega \cdot R \sin \delta_2 \mp \sin \omega \cdot R \cos \delta_2 = R \sin (\omega \mp \delta_2),$$

т. е. опредѣляется элементами  $R, \delta_2$  идеальнаго эксцентрика, на томъ же основаніи  $\Omega x$  построеннаго на данныхъ, по закону параллелограмма.

Обратная теорема, состоящая въ разложеніи эксцентрика на два или нѣсколько слагающихъ, тоже справедлива, какъ прямое слѣдствіе предыдущихъ опредѣленій и теоремы проеціій. Поэтому перемѣщеніе золотника по основанію  $\Omega x$ , опредѣляемое элементами  $R, \delta_r$ , можно разсматривать какъ совокупность двухъ независимыхъ перемѣщеній, производимыхъ идеальными эксцентриками:  $R \sin \delta_r, 90^\circ$  и  $R \cos \delta_r, 0^\circ$  по тому же основанію.

28. Пусть золотниковая линия  $O_1 z$  (см. черт. п<sup>о</sup> 10) наклонна къ основанію.

Требуется опредѣлить элементы перемѣщенія золотника сообщаемого ему второй шатуной центральной парой (непоказанной на чертежѣ).

Замѣтимъ предварительно, что перемѣщеніе точки  $c_0$  можетъ быть произведено двумя идеальными эксцентриками: однимъ  $\Omega E_0, \delta$  или  $r, \delta$  по основанію  $\Omega x$ , производящимъ перемѣщенія  $O_1 c_1 = \xi = r \sin (\omega \mp \delta)$  и другимъ эксцентрикомъ  $\Omega E'_0, 90 \mp \delta$  равнымъ  $r \frac{l_1}{l}$ ,  $90 \mp \delta$  по основанію  $\Omega y$  (или  $O_1 y_1 \perp \Omega x$ ) и производящимъ перемѣщенія:

$$O_1 c_2 = \eta = \frac{r l_1}{l} \cos (\omega \mp \delta).$$

Перемѣщенія  $\xi, \eta$ , опредѣляемыя этими эксцентриками, складываются въ результирующее перемѣщеніе  $O_1 c_0$ . [Стрѣлка отрѣзка  $O_1 c_2$  указываетъ положеніе его по отношенію къ осямъ координатъ, а стрѣлка отрѣзка  $c_1 c_0$  направленіе перемѣщенія проеціи точки  $c_0$  на ось  $O_1 y_1$ ].

Проеція результирующаго перемѣщенія  $O_1 c_0$ , равная суммѣ проеціій перемѣщеній  $\xi$  и  $\eta$  на данное направленіе  $z z$ , опредѣлитъ искомое перемѣщеніе  $z$  золотника изъ его средняго положенія (центръ  $O_1$ ) по данному направленію  $z z$ . Итакъ имѣемъ  $z = \xi \cos \alpha \mp \eta \sin \alpha$  (I).

Но легко видѣть, что перемѣщеніе  $\xi \cos \alpha$  по направленію  $O_1 z$  опредѣляется элементами  $r \cos \alpha$ ,  $\delta$  или эксцентрикомъ  $OE_\xi$ ,  $\delta$  (см. черт. n<sup>o</sup> 13, гдѣ  $OE_\xi = OA \cos \alpha = r \cos \alpha$ ); перемѣщеніе же  $\eta \sin \alpha$  по тому же направленію опредѣлится элементами  $r \frac{l_1}{l} \sin \alpha$ ,  $90^\circ + \delta$ , или эксцентрикомъ:

$$OE'_\eta, 90^\circ + \delta, \text{ гдѣ } OE'_\eta = E_\xi E_i = E_\xi A. \frac{E_\xi E_i}{E_\xi A} = r \sin \alpha \frac{l_1}{l},$$

а потому результирующее перемѣщеніе  $z$  опредѣлится результирующимъ эксцентрикомъ  $OE_i$ ,  $\delta_i$ , построеннымъ на двухъ слагающихъ  $OE_\xi$ ,  $OE'_\eta$  по закону параллелограмма. Такимъ образомъ построеніе сводится къ слѣдующему (см. черт. n<sup>o</sup> 13).

На основаніи  $Oz$  строимъ данный эксцентрикъ  $OE_0$ ,  $\delta$  или  $r$ ,  $\delta$  и проводимъ направленіе  $OA$  подъ угломъ  $\alpha$  къ эксцентриситету  $r$ , откладывая величину  $OA = r$ . На отрѣзкѣ  $OA = r$  строимъ, какъ на діаметрѣ, полуокружность, которая пересѣчетъ направленіе  $OE_0$  въ точкѣ  $E_\xi$ . Раздѣлимъ радіусъ ея  $OA$  въ точкѣ  $o_2$  на части:

$$o_1 o_2, o_2 A, \text{ находящіяся въ отношеніи } \frac{o_1 o_2}{o_2 A} = \frac{l_1}{l_2}, \text{ и радіусомъ } o_2 A$$

описываемъ кругъ; проведемъ затѣмъ прямую  $AE_\xi$  и точку пересѣченія  $E_i$  съ этимъ кругомъ соединимъ съ центромъ  $O$ , — результирующей эксцентрикъ  $OE_i$ ,  $\delta_i$  будетъ искомымъ.

Этимъ построеніемъ мы приводимъ оба идеальные эксцентрика (см. черт. n<sup>o</sup> 10)  $\Omega E_0$  и  $\Omega E'_0$ , по двухъ взаимно-перпендикулярнымъ основаніямъ  $\Omega x$  и  $\Omega y$ , къ эксцентрикамъ  $OE_\xi$  и  $OE'_\eta$ , имѣющимъ одно общее основаніе  $Oz$  (на черт. n<sup>o</sup> 13  $Ox$ ), гдѣ они *геометрически* складываются въ результирующей  $OE_i$ .

**29.** Формула (I) можетъ быть получена чисто аналитическимъ приемомъ.

Въ самомъ дѣлѣ, обозначимъ новыя координатныя прямоугольныя оси черезъ  $z$  и  $\zeta$ , изъ которыхъ ось  $z$  совпадаетъ съ даннымъ исправленіемъ золотниковой линіи  $z z$ , наклонной къ основанію подъ угломъ  $\alpha$ . Зависимость между координатами  $\xi$ ,  $\eta$ ;  $z$  и  $\zeta$  въ старой и новой системѣ координатъ устанавливается, какъ извѣстно, слѣдующими формулами:

$$\xi = z \cos \alpha - \zeta \sin \alpha; \quad \eta = \sin \alpha + \zeta \cos \alpha.$$

Изъ этихъ уравненій получимъ:  $z = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha$  (выраженіе тождественное съ формулой I) и  $\zeta = \eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha$ . Последнее выраженіе могло бы послужить для опредѣленія результирующаго эксцентрика по направленію  $O_1 \zeta$ . Этотъ эксцентрикъ построится какъ геометрическая разность двухъ слагающихъ эксцентриковъ:

$$1) \frac{r l_1}{l} \cos \alpha, 90^\circ + \delta; \quad 2) r \sin \alpha, \delta,$$

имѣющихъ одно общее основаніе.

Такимъ образомъ вытекаетъ слѣдующее правило приведенія обоихъ эксцентриковъ къ одному основанію.

На этомъ основаніи строимъ данныя эксцентрики, сохраняя ихъ угловые элементы, а линейные множимъ на косинусы угловъ наклона, къ данному основанію, основаній приводимыхъ эксцентриковъ. Геометрическая сумма или разность приведенныхъ эксцентриковъ опредѣлитъ искомымъ результирующій.

**30.** Если движеніе золотника, при тѣхъ же условіяхъ, заимствуется отъ точки  $c$  шатуна  $E_0b_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 15), взятой на его продолженіи, то результирующее перемѣщеніе  $Oa = z$  выразится разностью  $Oc_1 \cos \alpha - Oc_2 \sin \alpha$ , или разностью  $\xi \cos \alpha - \eta \sin \alpha = z$  (стрѣлка отрѣзка  $Oc_2$  указываетъ его положеніе относительно осей координатъ, а направленіе перемѣщенія ( $\eta$ ) указано стрѣлкою отрѣзка  $c_1c = \eta$ ). Но перемѣщеніе  $-\eta \sin \alpha$  по основанію  $Oz$  (см. черт. н<sup>о</sup> 13) опредѣлится эксцентрикомъ:

$$-OE_\eta = r \frac{b_0c}{E_0b_0} = r \frac{l_1}{l} \sin \alpha,$$

и по направленію прямо противоположнымъ  $OE_\eta$ , а перемѣщеніе  $\xi \cos \alpha$  опредѣляется, подобно предыдущему, эксцентрикомъ  $OE_\xi = r \cos \alpha$ , поему результирующій эксцентрикъ (непоказанъ на черт.) двухъ  $OE_\xi$  и  $-OE'_\eta$ , по основанію  $Oz$  (на черт. н<sup>о</sup> 13  $Ox$ ), опредѣлитъ искомое результирующее перемѣщеніе  $z$ .

**31.** Для частнаго случая, когда  $\delta = 90^\circ$  и точка  $c_0$  взята на шатунѣ  $E_0b_0$  (а не на его продолженіи) (см. черт. н<sup>о</sup> 10), получимъ построеніе, указанное на черт. н<sup>о</sup> 14 по правилу, изложенному въ пунктѣ 29.

На черт. н<sup>о</sup> 14 и 13 поставлены съ цѣлью сравненія однѣ и тѣ же буквы.

Геометрическое мѣсто точекъ  $E_i$  (черт. 14) для различныхъ значеній угла  $\alpha$  найдется, если замѣтимъ, что геометрическое мѣсто точекъ  $A'$  есть окружность, а такъ какъ перпендикуляры  $A'E_\xi$ , опущенные изъ различныхъ точекъ ея на направленіе діаметра  $\Omega E_0$ , раздѣляются точками  $E_i$  на части

$E_\xi E_i$ , находящіяся съ нимъ въ постоянномъ отношеніи, т. е.  $\frac{E_\xi E_i}{E_\xi A'} = \frac{l_1}{l}$ ,

то геометрическое мѣсто этихъ точекъ ( $E_i$ ) есть эллипсъ, большая полуось котораго равна  $\Omega E_0 = r$ , а малая равна  $r \frac{l_1}{l}$ .

При расположеніи направленія  $z$  (см. черт. н<sup>о</sup> 10) ниже основанія (т. е. когда уголъ  $\alpha$  отрицательный), эксцентрикъ  $\Omega E_i$  (см. черт. н<sup>о</sup> 14) расположится выше оси  $\Omega z$ .

**32.** Дана эксцентричная шатунная пара  $E_0b, b$  (см. черт. н<sup>о</sup> 12) съ направленіемъ подвижной оси ея  $b$  по  $x_1x_1$ , и при условіи, что среднее положеніе между и т. д. этой оси — точка  $O$  — находится на основаніи.

Опредѣлить элементы перемѣщенія проекціи точки  $c_0$  шатуна на центральное направленіе  $z$ . Обозначимъ:

$$\Omega O = E_0b = l; \quad \Omega O_1 = E_0c_0 = l_2; \quad c_0b = O_1O = l_1.$$

Съ точностью перваго приближенія абсциссы точки  $c_0$  относительно осей  $O_1x_1, O_1y_1$ , проходящихъ черезъ точку  $O_1$ , — среднее положеніе ея проекціи на основаніе  $\Omega x$ , — будутъ  $\xi = r \sin(\omega + \delta)$  (I), ординаты же:

$$\eta = c_0c_1 = c_0c'_0 + c_0c_1 = bb_0 \frac{l_2}{l} + c_0c_1.$$

Вообразивъ кривошипъ повернутымъ на произвольный уголъ  $\omega$ , найдемъ:

$$bb_0 = ob_0 \operatorname{tg} \beta = r \sin(\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta; c_1c'_0 = r \cos(\omega + \delta) \frac{l_1}{l},$$

слѣдовательно  $\eta = r \frac{l_2}{l} \sin(\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta + r \frac{l_1}{l} \cos(\omega + \delta)$  (II).

Исключая переменную  $\omega$  изъ уравненій I и II, найдемъ уравненіе эллипса:

$$\eta^2 - 2\eta\xi \operatorname{tg} \beta \frac{l_2}{l} + \xi^2 \left[ \operatorname{tg}^2 \beta \left( \frac{l_2}{l} \right)^2 + \left( \frac{l_1}{l} \right)^2 \right] - r^2 \left( \frac{l_1}{l} \right)^2 = 0,$$

оси котораго наклонены къ вертикальной прямой  $O_1y_1$  подъ углами  $\varphi$ , опредѣляемыми изъ уравненій:

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2 \frac{l_2}{l} \operatorname{tg} \beta}{\left( \frac{l_1}{l} \right)^2 + \left( \frac{l_2}{l} \right)^2} \operatorname{tg} \beta - 1$$

Обратимся къ отысканію идеальнаго эксцентрика по основанію  $O_1z$ .

Замѣтимъ снова, что найденный эллипсъ можетъ быть произведенъ двумя идеальными эксцентриками: однимъ по основанію  $\Omega x$ , равнымъ  $r, \delta$  и производящимъ перемѣщенія  $\xi$ , и другимъ  $\Omega E_c, \delta_c$ , производящимъ перемѣщенія  $\eta$  по основанію  $\Omega y$ , или  $O_1y$ , перпендикулярному къ  $\Omega x$  (которое вообразимъ направленнымъ по  $O_1z$ , см. черт. н<sup>о</sup> 16). Этотъ послѣдній эксцентрикъ найдется какъ геометрическая сумма двухъ (см. уравн. II), одного  $O_1E'_0, \delta$  равнаго  $r \operatorname{tg} \beta \frac{l_2}{l}, \delta$ , и другого  $O_1E'_0, 90^\circ + \delta$  равнаго  $r \frac{l_1}{l}, 90^\circ + \delta$ , по одному и тому же основанію. Такимъ образомъ перемѣщеніе  $\eta$  опредѣлится идеальнымъ эксцентрикомъ  $O_1E_c, \delta_c$  (тотъ же эксцентрикъ на черт. н<sup>о</sup> 12  $\Omega E_c, \delta_c$ ). Оба идеальные эксцентрика  $\Omega E_0$  и  $\Omega E_c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 12), по различнымъ основаніямъ  $\Omega x$  и  $\Omega y$  взаимно перпендикулярнымъ между собою, приведемъ къ одному основанію  $O_1z$ , какъ было сказано въ пунктѣ 29, слѣдующими разсужденіями.

Перемѣщенія  $\xi = O_1c_1$  и  $\eta = O_1c_2$  складываются въ одно результирующее перемѣщеніе  $O_1c_0$ , опредѣляющее положеніе точки  $c$  относительно осей  $O_1x$  и  $O_1y_1$ , а проекція этого результирующаго перемѣщенія на данное направленіе  $O_1z$ , равная суммѣ проекцій  $\xi$  и  $\eta$  на то же направленіе, опредѣлитъ искомое перемѣщеніе  $z$  золотника изъ его средняго положенія по данному направленію  $O_1z$ . Итакъ  $z = \xi \cos \alpha + \eta \sin \alpha$  (III). Но перемѣщеніе  $\xi \cos \alpha$  опредѣляется элементами  $O_1E_\xi, \delta$  (см. черт. н<sup>о</sup> 16), равными  $r \cos \alpha$ , по основанію  $O_1z$ , а перемѣщеніе  $\eta \sin \alpha$  опредѣляется, по тому же основанію, элементами  $O_1E_c, \sin \alpha, \delta_c$ ,

равными  $O_1 E_\eta$ ,  $\delta_c$ . Искомое перемѣщеніе  $z$  опредѣлится теперь, по закону параллелограмма, идеальнымъ эксцентрикѣмъ  $O_1 E_i$ ,  $\delta_i$ .

**33.** Если вторая шатунная пара (непоказанная на черт. n<sup>o</sup> 12), сообщающая золотнику движеніе, эксцентрична, т. е. направленіе золотниковой линіи  $zz$  не проходитъ черезъ центръ  $O_1$ , то согласно пункту 15 найдемъ предварительно результирующій эксцентрикъ по основанію, проходящему черезъ центръ  $O_1$ , а затѣмъ вопросъ разрѣшается безъ затрудненія на основаніи пункта 17.

**34.** Дана эксцентричная шатунная пара по основанію  $\Omega x$  (см. черт. n<sup>o</sup> 18)  $E_0 b_0$ ,  $b_0$ , сообщающая точкою  $c_0$ , взятою на продолженіи ея шатуна  $E_0 b_0 = l$ , — движеніе золотнику по направленію  $zz$ , наклонному къ основанію подъ угломъ  $\alpha$ .

Подобно предыдущему, находимъ абсциссы точки  $c_0$ , т. е.  $O_1 c_1 = \xi = r \sin(\omega + \delta)$  (I), а ординаты:

$$c_1 c_0 = c_0 c'_0 - c_0' c_1 = \eta = b_0 b \frac{l + l_1}{l} - E_0 d \frac{l_1}{l}, \text{ гдѣ } l_1 = b_0 c_0.$$

Вообразивъ кривошипъ повернутымъ на уголъ  $\omega$ , найдемъ:

$$b b_0 = O b \operatorname{tg} \beta = \xi \operatorname{tg} \beta = r \sin(\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta; E_0 d = r \cos(\omega + \delta),$$

следовательно:

$$\eta = r \sin(\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta \frac{l + l_1}{l} - r \cos(\omega + \delta) \frac{l_1}{l} \quad (\text{II}).$$

Исключая изъ уравненій (I) и (II) переменную  $\omega$ , найдемъ уравненіе эллипса:

$$\eta^2 + \xi^2 \left[ \operatorname{tg}^2 \beta \left( \frac{l_1 + l}{l} \right)^2 + \left( \frac{l_1}{l} \right)^2 \right] - 2 \eta \xi \operatorname{tg} \beta \frac{l + l_1}{l} - r^2 \left( \frac{l_1}{l} \right)^2 = 0.$$

оси котораго наклонены къ вертикальной прямой  $O_1 y_1$  подъ углами  $\varphi$ , опредѣляемыми изъ уравненія:

$$\operatorname{tg} 2 \varphi = \frac{2 \frac{l + l_1}{l} \operatorname{tg} \beta}{\left( \frac{l_1}{l} \right)^2 + \left( \frac{l + l_1}{l} \right)^2 \operatorname{tg}^2 \beta} \operatorname{tg} \beta - 1.$$

Построеніе идеальнаго эксцентрика произведется подобно рассмотрѣнному въ пунктѣ 32. Вся разниця будетъ состоять въ томъ, что эксцентрикъ (см. черт. n<sup>o</sup> 16), опредѣляющій перемѣщеніе  $— r \cos(\omega + \delta) \frac{l_1}{l}$  по основанію  $O_1 y_1$  или  $\Omega y$  (которое располагаемъ по  $O_1 z$ ), займетъ положеніе  $— E'_0 O_1$  (см. черт. n<sup>o</sup> 19) прямо противоположное предыдущему. Перемѣщеніе  $\eta$  (см. уравненіе II) опредѣлится элементами эксцентрика  $O_1 E_c$  результирующаго двухъ, одного  $O_1 E'_0$  и другаго  $O_1 E''_0$ , по одному и тому же основанію  $O_1 z$ , опредѣляющими своими элементами перемѣщенія соответственно равныя  $— r \cos(\omega + \delta) \frac{l_1}{l}$  и  $r \sin(\omega + \delta) \operatorname{tg} \beta \frac{l + l_1}{l}$ . Этотъ результирующій эксцентрикъ обозначенъ на чертежѣ n<sup>o</sup> 18  $\Omega E_c$ ,  $\delta_c$ . Затѣмъ, откладывая  $O_1 E_\eta = O_1 E_c \sin \alpha$

(см. черт. н<sup>о</sup> 19), получим эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе, по золотниковой линіи  $O_1e$ , равное  $\eta \sin \alpha$ ; эксцентрикъ же, опредѣляющій по тому же направленію перемѣщеніе  $\xi \cos \alpha$ , равенъ  $O_1E_\xi$ ,  $\delta$ , гдѣ  $O_1E_\xi = O_1E_0 \cos \alpha$  (см. пунктъ 29). Приведа такимъ образомъ эксцентрики  $\Omega E_0$ ,  $\Omega E_c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 18) къ одному основанію  $O_1e$ , найдемъ по закону параллелограмма искомымъ результирующій эксцентрикъ  $O_1E_i$ ,  $\delta_i$ . На черт. н<sup>о</sup> 19 и н<sup>о</sup> 16 поставлены для сравненія однѣ и тѣ же буквы.

**35.** Опредѣленіе идеальнаго эксцентрика въ самомъ общемъ случаѣ, когда заимствуется движеніе отъ точки, взятой на продолженіи шатуна  $E_0b_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 8), не представитъ затрудненій, такъ какъ оно сводится къ пункту 23 и къ предыдущей задачѣ.

**36.** Изложенную теорію результирующаго эксцентрика можно представить въ другой, болѣе удобной для нашихъ цѣлей, формѣ, пользуясь разложеніемъ по основанію движенія шатуна на два, *поступательное и вращательное около его подвижной шарнерной оси*.

Такое разложеніе движенія шатуна (см. черт. н<sup>о</sup> 1) прямо вытекаетъ изъ самаго способа построенія шатуновой пары съ помощью подвижнаго члена непрерывно-вращательной пары (эксцентрикъ) и подвижнаго члена поступательной пары (ползунъ, или направляющій золотниковый стержень).

Углы наклона шатуна къ основанію мы будемъ измѣрять синусами или условно перпендикулярами, опущенными изъ центра  $E_0$  на основаніе. Такъ какъ законъ измѣненія этихъ синусовъ опредѣляется очевидно *идеальнымъ* эксцентриккомъ, принимая за основаніе ось  $\Omega y \perp$  къ  $\Omega x$ , то и назовемъ этотъ эксцентрикъ *вращательнымъ* эксцентриккомъ шатуна. Этотъ эксцентрикъ опредѣлитъ перемѣщеніе любой точки ( $c$ ) шатуна, взятой на разстояніи, равномъ напр.  $l_1$  отъ конца его, по направленію параллельному оси  $\Omega y$ , если умножить его линейный элементъ на отношеніе  $\frac{l_1}{l}$ . Если это отношеніе есть величина порядка  $\frac{r}{l}$ , то перемѣщеніями точки ( $c$ ), происходящими отъ уклоновъ шатуна, можно пренебречь, какъ величинами втораго порядка.

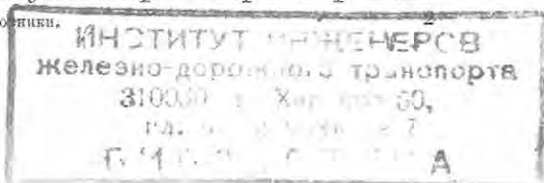
Итакъ вращательный эксцентрикъ основной шатуновой пары  $Ea'_0$ ,  $a'_0$  будетъ  $r$ ,  $90^\circ + \delta$  по основанію  $\Omega y$  (см. черт. н<sup>о</sup> 1).

Перемѣщенія подвижнаго члена поступательной пары или шарнерной оси ( $a'_0$ ) шатуна, очевидно, опредѣлятся идеальнымъ эксцентриккомъ  $r$ ,  $\delta$  по основанію  $\Omega x$ . Назовемъ этотъ эксцентрикъ *поступательнымъ*. Этотъ эксцентрикъ вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣляетъ перемѣщеніе любой точки шатуна по направленію основанія (проекція на основаніе).

Если связать произвольную точку шатуна основной пары съ подвижнымъ членомъ новой направляющей пары (поступательной или вращательной) при посредствѣ промежуточнаго члена — шатуна, то мы получимъ новую шатуновую пару, которая можетъ быть названа *шатуновой парой втораго порядка*.

А. Гречаниновъ. Кудисные механизмы и золотниковыя.

856930



Так напр. построивъ шатунную пару втораго порядка по основанію  $O_1\varepsilon$  (см. черт. н<sup>о</sup> 10), мы найдемъ построениемъ указаннымъ на черт. н<sup>о</sup> 13, поступательный эксцентрикъ  $OE_i$ ,  $\delta_i$ ; ея шатуна (непоказаннаго на чертежѣ); вращательный эксцентрикъ легко построится такимъ же способомъ, если обратить вниманіе на выраженіе  $\xi = \eta \cos \alpha - \xi \sin \alpha$  (см. пунктъ 29), представляющее величину проекціи на ось  $O_1\xi$  отрезка  $O_1c_0$ . Этотъ эксцентрикъ построится какъ *геометрическая разность* двухъ—одного съ элементами, равными—

$$r \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cos \alpha, \quad 90 + \delta,$$

и другаго съ элементами  $r \sin \alpha$ ,  $\delta$  по одному и тому же основанію  $O_1\xi$ .

Итакъ мы видимъ, что поступательный и вращательный эксцентрикъ основной шатунной пары образуютъ совместно новые: поступательный и вращательный эксцентрики *шатунной пары втораго порядка*, которыми въ свою очередь могутъ опредѣлиться эксцентрики шатунной пары третьаго порядка и т. д.

Въ слѣдующей главѣ мы займемся разсмотрѣніемъ свойствъ элементарныхъ паръ, — поступательныхъ и вращательныхъ, — входящихъ въ построение всякой шатунной пары, и покажемъ, какимъ образомъ ихъ кинематическія свойства обусловливаютъ свойства сложной пары—шатунной, независимо отъ изложенной теоріи.

## Г Л А В А II.

### Синтезъ шатунной пары.

**37.** *Вращательная пара.* Положимъ, что коонецъ шатуна  $E_0b_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 22) связанъ шарнирно со стержнемъ  $Ob_0$ , вращающимся около неподвижной оси  $O$  (вращательная пара). Перемѣщеніе  $\xi'$  точки  $a_0$  находится въ постоянномъ отношеніи съ перемѣщеніемъ  $\xi$  точки  $b_0$ , равномъ отношенію плечъ  $Oa_0$ ,  $Ob_0$ , такъ что  $\xi' = \xi \frac{Oa_0}{Ob_0} = r \frac{Oa_0}{Ob_0} \sin(\omega + \delta)$ , и слѣдовательно перемѣщеніе  $\xi'$  опредѣлится элементами  $r \frac{Oa_0}{Ob_0}$ ,  $\delta$ .

При заимствованіи золотникомъ движенія отъ точки  $a_0$  по направленію  $x_1x_1$  мы можемъ разсматривать, какъ будто идеальный эксцентрикъ  $r$ ,  $\delta$  *переносится* съ основанія  $\Omega x$  на направленіе  $x_1x_1$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{Oa_0}{Ob_0}$ .

**38.** Возьмемъ теперь двулучій рычагъ  $a_0b_0$ , качающійся около неподвижной оси  $O$  (см. черт. н<sup>о</sup> 21) и опредѣлимъ перемѣщеніе точки  $a_0$  по основанію параллельному  $\Omega x$ . Перемѣщеніе точки  $a'_0$ , находящейся отъ оси  $O$  на разстояніи  $Oa'_0 = Oa_0$ , опредѣлится по основанію, параллельному  $\Omega x$ , эксцентрикомъ

$$\Omega E_0 \frac{a'_0 O}{b_0 O} = \Omega E_0 \frac{a_0 O}{b_0 O}.$$

Но такъ какъ перемѣщенія точекъ  $a_0$  и  $a'_0$  направлены въ противоположныя стороны, то перемѣщеніе точки  $a_0$  опредѣлится эксцентрикомъ, равнымъ, но диаметрально противоположнымъ предыдущему.

Въ этомъ случаѣ идеальный эксцентрикъ  $\Omega E_0$  какъ бы переносится вращательной парой на основаніе  $x_1x_1$  параллельное  $\Omega x$ , въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{a_0O}{b_0O}$ , но съ измѣненіемъ его положенія на диаметрально противоположное.

**39.** Въ предыдущихъ двухъ примѣрахъ направленіе золотниковой линіи было параллельно основанію.

Въ этихъ случаяхъ, съ цѣлью достиженія минимальнаго отклоненія конечныхъ точекъ  $b$  рычаговъ отъ основанія  $\Omega x$  и направленія золотниковой линіи, слѣдуетъ расположить ихъ такимъ образомъ, чтобы среднее положеніе  $O_1$  точки  $b$  было на одномъ перпендикулярѣ съ осью  $O$  къ основанію.

**40.** Если золотниковая линія  $z z$  (см. черт. н<sup>о</sup> 23) наклонна къ основанію  $\Omega x$  напр. подъ угломъ  $\alpha$ , то для удовлетворенія требованія пункта 39 придется взять вращательную пару въ формѣ колѣнчатого или углового рычага  $b_0O c_0$ , вращающагося около постоянной оси  $O$ . Нетрудно видѣть, что эта пара переноситъ идеальный эксцентрикъ съ основанія  $\Omega x$  на данное направленіе въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{Oc_0}{Ob_0}$ , такъ что элементы идеальнаго эксцентрика по основанію  $z z$  будутъ  $r \frac{Oc_0}{Ob_0}$ ,  $\delta$ .

Среднее положеніе  $O_1$  точки  $b$  и среднее положеніе  $c_c$  точки  $c_0$  углового рычага должны быть на соответствующихъ перпендикулярахъ къ основанію, и данному направленію золотниковой линіи, вмѣстѣ съ центромъ  $O$ , а потому уголъ  $b_0O c_0$  углового рычага равенъ углу  $O'O c_c = \alpha$ , а уголъ  $b_0O c'_0 = 180^\circ - \alpha$ .

Угловой рычагъ превращается въ прямоугольный, если  $\alpha = 90^\circ$ .

Продолживъ направленіе  $O c_0$  за центръ  $O$  и взявъ на этомъ продолженіи точку  $c'_0$ , найдемъ, что движеніе ея по основанію  $z_1z_1$ , согласно пункту 38, опредѣлится идеальнымъ эксцентрикомъ, диаметрально противоположнымъ идеальному эксцентрику по основанію  $z z$ , и находящимся съ нимъ въ отношеніи равномъ  $\frac{c'_0O}{c_0O}$ . Перемѣщеніе точки  $c''_0$  по направленію  $z_nz_n$  найдемъ, если замѣтимъ, что перемѣщеніе  $c'''_0$  по направленію  $z_{III}z_{III}$  параллельному  $z_nz_n$  опредѣляется элементами  $\Omega E_0 \frac{c'''_0O}{b_0O}$ ,  $\delta$ , посему, отложивъ въ направленіи прямо противоположномъ дѣйствительному эксцентрику, величину равную

$$\Omega E_0 \frac{c'''_0O}{b_0O} \cdot \frac{c''_0O}{c'''_0O} = \Omega E_0 \frac{c''_0O}{b_0O},$$

† найдемъ элементы искомаго перемѣщенія.

Если отъ разсмотрѣнныхъ точекъ ( $c$ ) заимствуется движеніе по какому-либо другому направленію, не совпадающему съ направленіемъ ихъ перемѣщеній, напр. по направленію параллельному основанію, то вопросъ состоитъ въ приведеніи идеальнаго эксцентрика къ этому основанію, а для сего, какъ извѣстно изъ пункта 29, слѣдуетъ умножить линейный элементъ его на косинусъ угла между обими направленіями (основаніями) съ сохраненіемъ прежняго углового элемента. Основная формула для этого правила есть  $\xi_1 = \xi \cos \alpha = r \cos \alpha \sin (\omega + \delta)$ .

41. Разсмотримъ теперь (см. черт. н<sup>о</sup> 24) вращательную пару, въ видѣ трехплечаго рычага  $b_0 a_0 a'_0$  съ неподвижною осью вращенія  $O$ , подвижной членъ которой получаетъ движеніе отъ шатуна  $E b_0$ , расположеннаго по основанію  $\Omega y \perp \Omega x$ .

Въ этомъ случаѣ, идеальный эксцентрикъ  $\Omega E$  по основанію  $\Omega y$  переносится точкою  $a_0$  или  $a'_0$  подвижнаго члена вращательной пары на направленіе золотниковой линіи, параллельной основанію, въ масштабѣ равномъ  $\frac{a_0 O}{b_0 O}$  или  $\frac{a'_0 O}{b_0 O}$ .

Очевидно, что для полученія нормальнаго углового элемента  $\delta$  идеальнаго эксцентрика по направленію золотниковой линіи, необходимо, чтобы идеальный эксцентрикъ относительно основанія  $\Omega y$  имѣлъ угловой элементъ  $\delta$ , а для сего эксцентриситетъ дѣйствительнаго эксцентрика долженъ образовать уголъ  $\delta$  съ перпендикуляромъ къ направленію  $\Omega y$ , или, что одно и тоже, съ направленіемъ кривошипа, въ сторону его вращенія, какъ и показано на черт. н<sup>о</sup> 24.

Нетрудно сообразить, что, при заимствованіи золотникомъ движенія отъ точки  $a'_0$ , направленіе дѣйствительнаго эксцентрика должно быть діаметрально противоположное  $\Omega E$ .

Разсмотрѣвъ вращательныя пары, можемъ сдѣлать слѣдующее заключеніе.

Угловые элементы дѣйствительныхъ эксцентриковъ этими парами не измѣняются (относительно), измѣняются лишь линейные элементы по величинѣ и направленію.

42. *Поступательная пара.* Къ этимъ парамъ можно отнести промежуточные золотниковые стержни (съ ихъ направленіемъ), перемѣщающіе поступательно (приблизительно), золотниковые стержни, направляемые сальниками, или особыми направляющими, ползуны въ направляющихъ и т. д. Онѣ переносятъ идеальные эксцентрики съ одного основанія на другое, вообще ему параллельное (частный случай, оба основанія совпадаютъ), безъ измѣненія элементовъ ихъ.

43. Положимъ напр. (см. черт. н<sup>о</sup> 24), что отъ точки  $a_0$  вращательной пары  $b_0 O a_0$ ,  $O$  заимствуется золотникомъ движеніе по направленію  $O d_0$ , при посредствѣ стержня  $a_0 d_0$ . Членъ  $a_0 d_0$  пары  $a_0 d_0$ ,  $d_0$  представляетъ промежуточный стержень. Ограничиваясь первымъ приближеніемъ, движеніе его можно разсматривать какъ поступательное по направленію параллельному основанію, и принять, что идеальный эксцентрикъ точки  $a_0$  переносится на направленіе  $O d_0$  безъ измѣненія его элементовъ.

#### 44. Шатунная пара.

Вообразим себѣ совокупность двухъ вращательныхъ паръ, изъ которыхъ одна  $a_0b_0, O$  (см. черт. н<sup>о</sup> 30) имѣетъ неподвижную ось вращения  $O$ , а ось вращения  $a_0$  второй пары  $e_0E_0, a_0$  переносится подвижнымъ числомъ  $a_0b_0$  первой.

Конечныя точки  $b_0, e_0$  получаютъ перемѣщенія отъ кривошипа  $\Omega K_0$  при посредствѣ конечныхъ шатуновъ  $K_0b_0, K_0e_0$ , расположенныхъ по двумъ взаимно перпендикулярнымъ основаніямъ. Полагая  $e_0K_0 = a_0b_0$  и  $e_0a_0 = K_0b_0$ , найдемъ, что фигура  $K_0e_0a_0b_0$  при всѣхъ ея положеніяхъ представляетъ параллелограммъ.

Разсматривая этотъ механизмъ, мы видимъ, что движеніе шарнирной оси  $a_0$  пары  $e_0E_0, a_0$  опредѣляется въ направленіи, параллельномъ  $\Omega x$  (приблизительно), идеальнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_{\xi} = \Omega K_0 \frac{a_0O}{b_0O}$  съ угловымъ элементомъ  $\delta = 90^\circ$  по основанію  $\Omega x_1$ , но такъ какъ шарнирная ось  $a_0$  перемѣщается въ направленіи  $\Omega x_1$  со всѣми точками шатуна  $E_0e_0$ , то эксцентрикъ  $\Omega E_{\xi}$  опредѣлитъ его *поступательное перемѣщеніе* (т. е. приблизительно).

Перемѣщеніе точки  $e_0$  въ направленіи  $\Omega y$  опредѣляется эксцентрикомъ  $\Omega K_0, \delta = 0$  по основанію  $\Omega y$ . Это перемѣщеніе влечетъ за собою вращеніе стержня  $e_0E_0$  около его подвижной оси  $a_0$ .

Вращательную пару  $E_0e_0, a_0$ , ось которой переносится подвижнымъ членомъ  $a_0b_0$  второй пары направляющей (вращательная или поступательная пара), — назовемъ *шатунной парой*.

Очевидно, что шатунная пара есть пара составная, ибо въ построеніе ея входятъ двѣ вращательныя пары, изъ которыхъ одна можетъ быть поступательной. Одинъ изъ ея членовъ — шатунъ — обладаетъ сложнымъ или составнымъ движеніемъ, которое всегда можно представить какъ совокупность двухъ элементарныхъ движеній: поступательнаго (точно, или приблизительно) и вращательнаго. Такое движеніе составляетъ отличительный признакъ всякой шатунной пары и этотъ признакъ очевидно вытекаетъ изъ самаго способа ея построенія. Каждое изъ этихъ движеній можетъ быть опредѣлено своимъ особымъ эксцентрикомъ — поступательнымъ ( $\Omega E_{\xi}$ ) и вращательнымъ ( $\Omega K_0$ ).

Въ данномъ случаѣ эти эксцентрики расположены по двумъ взаимно перпендикулярнымъ основаніямъ  $\Omega x$  и  $\Omega y$ , и такъ какъ при этомъ угловые элементы ихъ различаются между собою на уголъ  $90^\circ$ , то линейные элементы ихъ расположатся по одному направленію. Перемѣщеніе любой точки шатуна  $e_0E_0$  опредѣлится этими эксцентриками, принимая только въ соображеніе, что величина линейнаго элемента вращательнаго эксцентрика измѣняется пропорціонально радіусу вращенія.

45. Разсмотримъ перемѣщеніе одной точки  $E_0$  шатуна, взятой на разстояніи  $a_0E_0$  отъ оси  $a_0$ , которое удовлетворяетъ слѣдующей зависимости:

$$\frac{a_0E_0}{a_0e_0} = \frac{a_0O}{b_0O}.$$

Перемѣщеніе проекціи точки  $E_0$  на ось  $\Omega_1 x_1$  опредѣляется, какъ было показано, эксцентрикомъ  $R \cdot \frac{a_0 0}{b_0 0}$ , гдѣ  $\Omega K_1 = R$  съ угловымъ элементомъ  $\delta = 90^\circ$ , перемѣщеніе же ея въ направленіи  $\Omega_1 y_1$  опредѣлится эксцентрикомъ

$$\Omega K_0 \cdot \frac{E_0 a_0}{a_0 e_0} = R \cdot \frac{E_0 a_0}{a_0 e_0}$$

съ угловымъ элементомъ  $\delta = 180^\circ$  по основанію  $\Omega_1 y_1$ . Имѣя въ виду равенство  $\frac{E_0 a_0}{a_0 e_0} = \frac{a_0 0}{b_0 0}$ , мы найдемъ, что эксцентрики эти равны между собою и совпадаютъ въ одну сторону по направленію  $\Omega_1 x_1$ . Кромѣ того они равны отрѣзку  $\Omega_1 E_0$ , который, какъ не трудно видѣть изъ подобія треугольниковъ, получается пересѣченіемъ двухъ прямыхъ  $\Omega \Omega_1$  и  $K_0 E_0$ , проходящихъ черезъ центръ 0, съ направленіемъ  $\Omega_1 x_1$ .

Фиктивный эксцентрикъ  $\Omega' E_0$  опредѣлить такимъ образомъ круговое перемѣщеніе точки  $E_0$  и притомъ совершенно точно и независимо отъ уклоновъ шатуновъ.

Въ самомъ дѣлѣ, точки  $E_\omega$ , 0 и  $K_\omega$  всегда будутъ лежать на одной прямой, проходящей черезъ центръ 0, на основаніи предыдущей пропорціи, равенства  $a_\omega E_\omega = a_0 E_0$  и параллельности  $a_0 E_\omega$  и  $b_0 K_\omega$  по условію, слѣдовательно

$$\frac{OE_\omega}{OK_\omega} = \frac{\Omega_1 O}{\Omega O} = \frac{\Omega_1 E_\omega}{\Omega K_\omega} = \frac{\Omega_1 E_0}{\Omega K_0} = C =$$

постоянной величинѣ. Поэтому шатунную пару  $E_0 a_0$ ,  $a_0$  можно разсматривать, какъ основную  $K_0 b_0$ ,  $b_0$ , перенесенную на основаніе  $\Omega_1 x_1$ , параллельное данному  $\Omega x$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{a_0 0}{b_0 0}$ , по съ измѣненіемъ ея положенія на прямо противоположное.

Поступательный и вращательный эксцентрики, обнаруживаемые шатуномъ, вообще говоря, располагаются по взаимно перпендикулярнымъ основаніямъ, вслѣдствіе чего они должны быть приведены къ данному направленію золотниковой линіи, т. е. спроектированы количественно на данное направленіе съ сохраненіемъ ихъ угловыхъ элементовъ, но въ частномъ случаѣ, къ разсмотрѣнію котораго мы переходимъ, эти эксцентрики могутъ имѣть общее основаніе и тогда они непосредственно геометрически складываются въ результирующій.

46. Вообразимъ напр. (черт. н<sup>о</sup> 28) трехплечій рычагъ  $E_\omega A b_\omega b'_\omega$ ; ось вращенія котораго  $A$  помѣщается въ ползунѣ.

Пару  $b_\omega b'_\omega$ ,  $A$  можно разсматривать, какъ результатъ построенія двухъ паръ: одной вращательной  $b_\omega b'_\omega$ ,  $A$  (см. черт. н<sup>о</sup> 26), состоящей изъ стержня  $b_\omega b'_\omega$  съ трубкой  $B$ , вращающейся около неподвижной оси 0, и другой поступательной (ползунъ  $A$  и направляющіе) (см. черт. н<sup>о</sup> 25), воображая, что ось вращенія первой переносится подвижнымъ членомъ второй пары; поэтому раз-

смаатриваемая на черт. н<sup>о</sup> 28 пара есть *шатунная*. Членъ ея  $b_{\omega}b'_{\omega}$  — *шатунъ*. Опредѣлимъ его поступательный и вращательный эксцентрики.

Поступательный идеальный эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе члена  $A$ , равенъ по величинѣ и положенію  $\Omega E_0 = r$ , т. е. дѣйствительному эксцентрику (см. черт. н<sup>о</sup> 29). Вращательный эксцентрикъ, согласно извѣстному свойству вращательной пары, переносится съ основаніемъ  $\Omega y$  на направленіе параллельное  $\Omega x$  съ сохраненіемъ своего углового элемента (относительно), но съ измѣненіемъ линейнаго, по величинѣ и направленію въ зависимости отъ радіуса вращенія, поэтому (относя его къ радіусу  $Ab'_{\omega}$ ) (см. черт. н<sup>о</sup> 28), получимъ эксцентрикъ съ элементами  $r \cdot \frac{b'_{\omega}A}{E_0A}$ ,  $\delta = 0$ , представленный на черт. н<sup>о</sup> 29 отрѣзкомъ  $\Omega E'_i$ ; отнесеніе же къ радіусу  $Ab_{\omega}$  даетъ эксцентрикъ діаметрально противоположный.

Эксцентрикъ  $\Omega E_0$  опредѣляетъ слагающее перемѣщеніе точки  $b'_{\omega}$  — отъ поступанія шатуна, а эксцентрикъ  $\Omega E'_i$  — слагающее перемѣщеніе той же точки отъ его вращенія. Основанія обонхъ эксцентриковъ параллельны основанію  $\Omega x$ , а потому они непосредственно геометрически складываются въ результирующій эксцентрикъ  $\Omega E'_r$ .

Движеніе различныхъ точекъ шатуна ( $b_{\omega}b'_{\omega}$ ) опредѣлится различными результирующими эксцентриками  $\Omega E_r$ , но центры ( $E_r$ ) всѣхъ ихъ расположатся на одной прямой  $E'_rE'_r$ , перпендикулярной къ основанію  $\Omega x$ , ибо неизмѣнный поступательный эксцентрикъ  $\Omega E_0$  входитъ въ построеніе каждаго изъ нихъ, перемѣняемые же эксцентрики  $\Omega E_i$  измѣняются пропорціонально радіусамъ вращеній.

**47. Задача.** Опредѣлить элементы перемѣщенія подвижной оси ( $g_0$ ) (см. черт. н<sup>о</sup> 24) шатунной пары  $d_0c_0$ ,  $g_0$ , получающей движеніе отъ эксцентрика  $\Omega E$ , при посредствѣ двухъ его шатуновъ  $Eb_0$ ,  $Ec_0$ , вращательной пары  $a_0a'_0$ ,  $O$  и промежуточнаго стержня  $a_0d_0$ , какъ показано на чертежѣ.

Найдемъ предварительно поступательный и вращательный эксцентрики данной шатунной пары, а для сего опредѣлимъ элементы перемѣщеній конечныхъ точекъ  $d_0c_0$ .

Въ пунктѣ 41 было показано, что перемѣщеніе точки  $a_0$  по направленію, параллельному основанію, опредѣляется элементами идеальнаго эксцентрика

$$r = \Omega E \cdot \frac{a_0O}{b_0O}, \quad \delta = \angle K_0 \Omega E,$$

который поступательной парой  $a_0d_0$ ,  $d_0$  (промежуточный стержень) переносится на направленіе  $O d_0$  безъ измѣненія. Пусть (см. черт. н<sup>о</sup> 36)

$$\Omega E_0 = \Omega E \frac{a_0O}{b_0O} \quad \text{и} \quad \angle \delta = \angle K_0 \Omega E.$$

Перемѣщеніе второй конечной точки ( $c_0$ ) шатуна  $d_0c_0$  опредѣляется очевидно эксцентрикомъ  $\Omega E'_0$ , равнымъ дѣйствительному  $\Omega E$ .

Разложимъ теперь эксцентрикъ  $\Omega E'_0$  (черт. н<sup>о</sup> 36) на два слагающіе  $\Omega E_0$  и  $\Omega E_c$  и замѣтимъ, что два эксцентрика, равные  $\Omega E_0$ , опредѣляютъ два равныя по одному и тому же направленію перемѣщенія конечныхъ точекъ шатуна  $c_0 d_0$ . Такое перемѣщеніе шатуна очевидно—поступательное. Итакъ поступательный эксцентрикъ шатуна можетъ быть принятъ равнымъ  $\Omega E_0$ .

Второй слагающій эксцентрикъ  $\Omega E_c$  опредѣлитъ относительное перемѣщеніе точки  $c_0$  (черт. н<sup>о</sup> 24) по отношенію къ центру  $d_0$ , т. е. вращеніе шатуна около этого центра. Итакъ вращательный эксцентрикъ шатуна можетъ быть принятъ равнымъ  $\Omega E_c$ .

Опредѣленіе элементовъ перемѣщенія точки  $g_0$  не представитъ теперь ни малѣйшаго затрудненія. Одно слагающее перемѣщеніе этой точки, которое зависитъ отъ *поступанія* шатуна, опредѣлится очевидно эксцентрикомъ поступательнымъ  $\Omega E_0$ , второе же слагающее перемѣщеніе той же точки, зависящее отъ вращенія шатуна около центра  $d_0$  (переноснаго), опредѣлится очевидно эксцентрикомъ  $\Omega a = \Omega E_c \cdot \frac{g_0 d_0}{c_0 d_0}$ . Геометрическая сумма  $\Omega E_r$  опредѣлитъ искомый результирующій эксцентрикъ точки ( $g_0$ ).

Не слѣдуетъ полагать, однако, что поступательный и вращательный эксцентрики шатуна суть величины опредѣленнаго рода. Въ самомъ дѣлѣ, самый способъ разложенія перемѣщенія шатуна на простѣйшія, — элементарныя, представляютъ извѣстный *лошмекскій приемъ*, ничѣмъ не обусловливаемый и совершенно произвольный. Поэтому и эксцентрики, опредѣляющіе эти перемѣщенія, суть величины, не имѣющія вполнѣ опредѣленнаго значенія. Такъ напр. разлагая эксцентрикъ  $\Omega E_0$  (черт. н<sup>о</sup> 36) на слагающіе, изъ которыхъ одинъ совпадаетъ съ направленіемъ  $\Omega E'_0$ , мы получили бы поступательный эксцентрикъ, равный  $\Omega E'_0$ , а вращательный выразился бы вторымъ слагающимъ эксцентрикомъ (непоказаннымъ на чертежѣ). Тогда вращеніе шатуна пришлось бы разсматривать около переноснаго центра ( $c_0$ ).

Вращеніе шатуна удобно разсматривать и относительно его переносной оси ( $g_0$ ) (вообще относительно произвольной точки, взятой въ плоскости его движенія), разлагая приличнымъ образомъ эксцентрики  $\Omega E_0$  и  $\Omega E'_0$ . Этимъ послѣднимъ способомъ мы тотчасъ воспользуемся при рѣшеніи слѣдующей задачи.

48. *Задача.* Вообразимъ шатунную пару (см. черт. н<sup>о</sup> 84, таб. III)  $A_0 B_0$ ,  $M_0$ , подвижная ось вращенія которой  $M_0$  направляется по основанію поступательной пары (ползунъ и направляющіе). Конечныя точки  $A_0, B_0$  шатуна  $A_0 B_0$  заимствуютъ движеніе отъ эксцентриковъ  $\Omega E'_0, \delta_1$  и  $\Omega E''_0, \delta_2$ , закрѣпленныхъ на валѣ  $\Omega$ .

Опредѣлимъ элементы перемѣщенія какой-либо точки  $m_0$  шатуна  $A_0 B_0$ .

Предварительно найдемъ элементы перемѣщенной конечныхъ точекъ  $A_0, B_0$ . Согласно пункту 20, построимъ сначала дѣйствительные эксцентрики  $\Omega E_1, \Omega E_2$  (см. черт. н<sup>о</sup> 75), отложимъ  $\angle E_1 \Omega 1 = \beta_1$  и  $\angle E_2 \Omega 1 = \beta_2$ , гдѣ  $\beta_1$  и  $\beta_2$

суть углы, образуемые направлениемъ, соединяющимъ центръ вала  $\Omega$  съ засѣч-кой, къ среднему направлению движенія конечныхъ точекъ  $A_0$ ,  $B_0$ , радиусомъ, равнымъ длинѣ эксцентриковаго шатуна  $L$ , и изъ точекъ  $E_1$  и  $E_2$  возставимъ перпендикуляры  $E_1I$ ,  $E_2I$ .

Отрѣзки  $\Omega I$  и  $\Omega I$  представляютъ по величинѣ и положенію идеальные эксцентрики, опредѣляющіе движеніе конечныхъ точекъ даннаго шатуна  $A_0B_0$  по направлению, параллельному основанію  $\Omega x$ . Проведемъ прямую  $II$  и раздѣлимъ ее точкою  $E_\xi$  на части  $E_\xi I$  и  $E_\xi I$ , находящіяся въ отношеніи  $c_1$  къ  $c_2$ , гдѣ (см. черт. н<sup>о</sup> 84)  $c_1 = A_0M_0$  и  $c_2 = B_0M_0$  (т. е.  $\frac{E_\xi I}{E_\xi I} = \frac{c_1}{c_2}$ ), соединимъ (см. черт. н<sup>о</sup> 75)  $E_\xi$  съ центромъ  $\Omega$  прямой и разложимъ каждый изъ эксцентриковъ  $\Omega I$  и  $\Omega I$  на два слагающіе  $\Omega E_\xi$ ,  $\Omega e$ ;  $\Omega E_\xi$ ,  $\Omega e_1$ . Два равныхъ эксцентрика  $\Omega E_\xi$  опредѣляютъ два равныхъ и направленныхъ въ одну сторону перемѣщенія точекъ  $A_0$ ,  $B_0$  шатуна, т. е. опредѣляютъ поступательное перемѣщеніе шатуна  $A_0B_0$  и слѣдовательно эксцентрикъ  $\Omega E_\xi$  есть поступательный. Прямопротивоположные эксцентрики  $\Omega e$ ,  $\Omega e_1$ , находящіеся по построенію въ отношеніи  $c_1$  къ  $c_2$ , очевидно опредѣляютъ вращеніе шатуна около его подвижной оси  $M_0$ . Каждый изъ нихъ можетъ быть принятъ за *вращательный эксцентрикъ*. Теперь уже опредѣленіе результирующаго эксцентрика точки ( $m_0$ ) шатуна не представитъ ни малѣйшаго затрудненія.

Въ самомъ дѣлѣ, одно слагающее перемѣщеніе точки ( $m_0$ ), зависящее отъ поступанія шатуна, опредѣлится очевидно поступательнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_\xi$ , второе слагающее перемѣщеніе, зависящее отъ вращенія шатуна, опредѣлится эксцентрикомъ  $\Omega E_c$  при условіи  $\frac{\Omega E_c}{\Omega e} = \frac{m_0 M_0}{M_0 A_0} = \frac{u_2}{c_1}$ . Геометрическая сумма  $\Omega E_r$  этихъ эксцентриковъ представитъ искомый результирующій.

49. Возвращаясь къ рѣшенію задачи, изложенной въ пунктѣ 32, главы I (см. черт. н<sup>о</sup> 12), примемъ поступаніе шатуна ( $E_0b = l$ ) по направленію  $x_1x_1$ . Согласно этому, *поступательный эксцентрикъ* его по основанію  $x_1x_1$  будетъ  $\frac{r}{\cos \beta}$ ,  $\delta$  (см. пунктъ 17).

Обозначимъ уголь, образуемый направлениемъ шатуна  $E_0b$  съ основаніемъ черезъ  $\varepsilon$ . Очевидно

$$\varepsilon = \angle E_0b_0\Omega - \angle bE_0b_0; \quad \text{или} \quad l \cdot \varepsilon = l (\angle E_0b_0\Omega) - l (\angle bE_0b_0).$$

Элементы вращенія  $l \cdot (\angle E_0b_0\Omega)$  будутъ очевидно  $r$ ,  $90 + \delta$ , а элементы вращенія  $l \cdot (\angle bE_0b_0)$  равны  $r \operatorname{tg} \beta$ ,  $\delta$ , если обратимъ вниманіе, что  $bb_0 = Ob_0 \operatorname{tg} \beta$ , и что перемѣщеніе  $Ob_0$  опредѣляется элементами  $r$ ,  $\delta$ .

Итакъ имѣемъ два эксцентрика по одному основанію  $\Omega y_1$ . Геометрическая разность ихъ опредѣлитъ вращательный эксцентрикъ шатуна. Перемѣщеніе

точки  $c_0$ , находящейся на расстоянии  $l_1$  от шарнирной оси  $b$  шатуна определится умножением вращательного эксцентрика на величину  $\frac{l_1}{l}$ , или же геометрической разностью двух эксцентриковъ:

$$\frac{rl_1}{l}, \quad 90 + \delta; \quad \frac{rl_1}{l} \operatorname{tg} \beta, \quad \delta.$$

Воображая ихъ основаніе по направленію  $O_1z$  (черт. п<sup>о</sup> 17), построимъ

$$O_1E'_0 = \frac{rl_1}{l}; \quad O_1E''_0 = \frac{rl_1}{l} \operatorname{tg} \beta$$

и найдемъ ихъ геометрическую разность, или геометрическую сумму  $O_1E_c$  двухъ величинъ  $O_1E'_0$  и  $-O_1E''_0$ , которая и определитъ перемѣщеніе точки  $c_0$  въ направленіи перпендикулярномъ къ основанію.

Эксцентрикъ  $O_1E_c$  весьма просто можетъ быть построенъ, если замѣтимъ,

что 
$$\frac{O_1E''_0}{O_1E'_0} = \frac{rl_1}{l} \operatorname{tg} \beta : \frac{rl_1}{l} = \operatorname{tg} \beta$$

и слѣдовательно  $\angle E'_0O_1E_c = \angle \beta$ , а потому угловой элементъ эксцентрика  $O_1E_c$  будетъ  $90 + (\beta + \delta)$ . Затѣмъ имѣемъ:

$$O_1E_c = \frac{O_1E'_0}{\cos \beta} = \frac{rl_1}{l \cos \beta} = \frac{r}{\cos \beta} \frac{l_1}{l},$$

поэтому проводимъ направленіе  $\Omega A$  (см. черт. п<sup>о</sup> 12) подъ угломъ  $\beta$  къ направленію дѣйствительнаго эксцентрика  $\Omega E_0$ , въ сторону вращенія кривошипа, и изъ точки  $E_0$  возстаемъ перпендикуляръ до пересѣченія въ точкѣ  $A$ ; эксцентрикъ  $\Omega A$  по величинѣ и положенію представитъ вращательный эксцентрикъ шатуна, а уменьшивъ отрѣзокъ  $\Omega A$  въ масштабѣ  $\frac{l_1}{l}$  получимъ эксцентрикъ  $\Omega E'_c$ , опредѣляющій перемѣщеніе точки  $c_0$  шатуна по направленію  $\Omega y$ .

При расположеніи угла ( $\beta$ ) ниже основанія (уголъ  $\beta$  отрицательный) точка ( $b$ ) шатуна перейдетъ по другую сторону основанія и вращеніе  $b b_0$  измѣнитъ направленіе; при этомъ увидимъ, что вмѣсто эксцентрика ( $-O_1E''_0$ ) (см. черт. п<sup>о</sup> 17) придется взять ему равный  $O_1E''_0$ , а эксцентрикъ  $O_1E_c$  расположится по другую сторону отъ  $O_1E'_0$  подъ тѣмъ же угломъ  $\beta$ , а потому вращательный эксцентрикъ  $\Omega A$  (см. черт. п<sup>о</sup> 12) расположится по другую сторону  $\Omega E_0$ .

Угловой элементъ поступательнаго эксцентрика, согласно пункту 17, не измѣнится. Построивъ его, найдемъ (см. черт. п<sup>о</sup> 17)  $O_1E_2 = \frac{r}{\cos \beta}$ ,  $\delta$ , а приведемъ оба эксцентрика  $O_1E_2$ ,  $O_1E_c$  къ одному основанію  $O_1z$ , получимъ эксцентрики  $O_1E_\xi$  и  $O_1E_\eta$ , геометрическая сумма которыхъ определитъ по величинѣ и положенію искомый результирующій эксцентрикъ  $O_1E_i$ .

Подобнымъ же образомъ найдется вращательный и результирующій эксцентрики шатунной пары, представленной на черт. п<sup>о</sup> 18, къ особому разсмотрѣнію которой, въ частномъ случаѣ  $\delta = \pm 90^\circ$ , мы перейдемъ въ отдѣлѣ кулисныхъ механизмовъ.

50. Въ заключеніе упомянемъ, что опредѣленіе идеальнаго эксцентрика въ случаѣ, разсмотрѣнномъ въ пунктѣ 19 (см. черт. n<sup>o</sup> 5), можетъ быть проведено слѣдующими разсужденіями.

Вращеніе шатуна, опредѣляемое  $\frac{r}{l}$ ,  $90 + \delta$ , переносимъ изъ центра  $a'_0$  въ центръ  $b_0$ . Поступательный эксцентрикъ  $\frac{r}{l} c$ ,  $90 + \delta$ , являющійся при этомъ, (см.  $\Omega E_1$ , черт. n<sup>o</sup> 7) складывается геометрически съ другимъ поступательнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_0$  въ результирующій  $\Omega E_i$ ; (см. черт. n<sup>o</sup> 7), вращательный же эксцентрикъ шатуна, перенесенный на направленіе  $x_1x_1$ , на движеніе точки  $b_0$  по этому направленію не окажетъ никакого вліянія.

51. Для сравненія результата построенія черт. n<sup>o</sup> 17 съ построеніемъ черт. n<sup>o</sup> 16, въ которыхъ, результирующіе эксцентрики  $0E_i$ , найденные различными приемами, должны быть равны по величинѣ и положенію, выразимъ алгебраически величину перемѣщенія  $z$  точки  $c_0$  (см. черт. n<sup>o</sup> 12), опредѣляемаго эксцентрикомъ  $0_1E_i$  (т. е. его элементами, см. черт. n<sup>o</sup> 17) и сравнимъ результатъ съ формулою (III) пункта 32, подставивъ предварительно вмѣсто величинъ  $\xi$ ,  $\eta$ , входящихъ въ нее, значенія ихъ изъ формулъ I и II того же пункта.

Такъ какъ перемѣщенія, опредѣляемые эксцентрикомъ  $0_1E_i$ , равны алгебраической суммѣ перемѣщеній, опредѣляемыхъ слагающими эксцентриками  $0_1E_\xi$  и  $0_1E_\eta$  по тому же основанію  $0_1z$ , то найдемъ сперва выраженія для перемѣщеній ими производимыхъ.

Обозначая эти перемѣщенія черезъ  $\xi_1$ ,  $\eta_1$ , будемъ имѣть:

$$\xi_1 = \frac{r}{\cos \beta} \cos(\beta - \alpha) \sin(\omega + \delta).$$

Имѣя въ виду, что эксцентрикъ  $0_1E_c$  есть результирующій двухъ  $0_1E'_0$  и ( $-0_1E''_0$ ), и что  $0_1E_\eta = 0_1E_c \sin \alpha$ , получимъ:

$$\eta_1 = \frac{r l_1}{l} \sin \alpha \cos(\omega + \delta) - \frac{r l_1}{l} \operatorname{tg} \beta \sin(\omega + \delta) \sin \alpha.$$

Послѣ нѣкоторыхъ преобразованій будемъ имѣть результирующее перемѣщеніе:

$$z = \xi_1 + \eta_1 = r \cos \alpha \sin(\omega + \delta) + r \left(1 - \frac{l_1}{l}\right) \operatorname{tg} \beta \sin(\omega + \delta) \sin \alpha + \frac{r l_1}{l} \cos(\omega + \delta) \sin \alpha.$$

Замѣтивъ, что  $1 - \frac{l_1}{l} = \frac{l_2}{l}$  и, сравнивъ выраженіе  $z$  съ выраженіемъ  $z$ , найденнымъ въ пунктѣ 32, получимъ тождество, какъ и слѣдовало ожидать.

52. При сообщеніи движенія золотнику по данному направленію, вообще наклонному къ основанію, отъ промежуточной точки шатуна основной шатунной пары, придется употребить вторую шатунную пару (центральную или эксцентричную), которая можетъ быть названа, по отношенію къ основной, *шатунной парой второго порядка*.

Главнѣйшее свойство ея состоитъ въ томъ, что поступательный и вращательный эксцентрикъ ея образуются идеальными эксцентриками основной шатунной пары. Это образованіе для центральной шатунной пары второго порядка было уже разсмотрѣно въ I-й и II-й главѣ съ достаточною подробностью.

Если вторая шатунная пара дается эксцентричною, то опредѣляемъ сперва эксцентрикъ поступанія и вращенія воображаемой центральной пары по основанію, получающемуся проведеніемъ изъ центра кривой, по которой перемѣщается точка  $c$  основнаго шатуна (см. черт. н<sup>о</sup> 10, 12), радіусомъ, равнымъ длинѣ второго шатуна, засѣчку къ данному направленію золотниковой линіи.

Переходъ же къ опредѣленію поступательныхъ и вращательныхъ эксцентриковъ данной пары совершится безъ затрудненія на основаніи пункта 17. Точно также безъ особыхъ затрудненій найдемъ идеальные эксцентрики при всякой передачѣ (къ золотнику отъ главнаго вала машины), которую, вообще говоря, можно разсматривать какъ совокупность поступательныхъ и вращательныхъ паръ.

Эта совокупность паръ употребляется, какъ увидимъ впоследствии, въ особенности въ тѣхъ случаяхъ, когда заимствуется движеніе не отъ особаго эксцентрика главнаго вала, а отъ основнаго шатуна машины. Одно изъ главнѣйшихъ условій, которое необходимо должно быть выполнено при этомъ, состоитъ въ уменьшеніи масштаба поступательнаго и вращательнаго эксцентрика (кривошина) основной шатунной пары машины. Это уменьшеніе линейныхъ разиѣровъ означенныхъ идеальныхъ эксцентриковъ можетъ быть достигнуто при посредствѣ вращательныхъ паръ, благодаря уже извѣстнымъ ихъ свойствамъ (см. пункты 40, 44, черт. н<sup>о</sup> 30).

Второе главнѣйшее условіе при заимствованіи движенія отъ главнаго вала машины состоитъ въ построении такого идеальнаго эксцентрика, который имѣлъ бы требуемыя для нормальнаго парораспределенія элементы  $r$ ,  $\delta$ . Это требованіе можетъ быть выполнено, вообще говоря, употребленіемъ эксцентричной шатунной пары (см. черт. н<sup>о</sup> 12), поступательный и вращательный эксцентрики которой, будучи приведены къ направленію золотниковой линіи, могли бы удовлетворить требуемымъ условіямъ.

Вопросъ этотъ будетъ предметомъ подробнаго разсмотрѣнія слѣдующей главы.

**53.** Механизмъ, изображенный на черт. н<sup>о</sup> 30 и служащій, какъ извѣстно, для уменьшенія масштаба дѣйствительнаго эксцентрика, можетъ быть приведенъ къ болѣе простому виду, въ какомъ онъ встрѣчается въ практикѣ, слѣдующимъ образомъ.

Предварительно уменьшимъ масштабъ вращательнаго эксцентрика заимствуя движеніе или отъ точки  $f_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 34) или отъ точки  $c_0$ , взятой на продолженіи шатуна. Соединяя точку  $K_0$  (центръ цапфы кривошина) съ  $O$  прямой, мы получимъ въ пересѣченіи съ шатуномъ  $ef_0$  и съ шатуномъ  $c_0d_0$ , точки  $g_0$ ,  $d_0$ , которыя, какъ извѣстно изъ предыдущаго (см. пунктъ 45), опишутъ окружности.

Располагая шатунную пару  $e_0f_0$ ,  $e_0$  второго порядка ниже основанія, мы получимъ механизмъ, представленный на черт. н<sup>о</sup> 35, въ томъ видѣ, въ какомъ онъ обыкновенно встрѣчается.

Такъ какъ здѣсь оба идеальные эксцентрика, поступательный и вращательный, равны между собою и совпадаютъ съ  $\Omega_1 x_1$  (круговое перемѣщеніе), то для полученія по этому направленію идеальнаго эксцентрика съ надлежащими элементами  $r$ ,  $\delta$ , придется построить по крайней мѣрѣ еще одну шатунную пару третьяго порядка.

**54.** Въ заключеніе этой главы опишемъ способы воспроизведенія шатуномъ *точного* эллипса. Одинъ изъ простѣйшихъ способовъ состоитъ въ слѣдующемъ.

Вообразимъ прямую линію (шатуны), перемѣщающуюся своими концами  $c$ ,  $b$  (черт. н<sup>о</sup> 22) по двумъ взаимно перпендикулярнымъ прямымъ  $\Omega x$ ,  $\Omega y$ . Какъ извѣстно середина  $O$  прямой  $cb$  опишетъ окружность круга радіуса  $\Omega O = \frac{cb}{2}$ , а произвольная точка  $a$  прямой опишетъ эллипсъ, полуоси коего будутъ отрѣзки  $ac$ ,  $ab$ , если вообразимъ, что прямая  $cb$  при вращеніи ведущаго радіуса  $\Omega O$  пройдетъ всѣ четыре четверти окружности и всѣ четыре мертвыя положенія, совпадающія съ координатными осями.

Для насъ важно не столько образованіе этого эллипса, сколько образованіе *идеальныхъ эксцентриковъ*, могущихъ при условіяхъ, къ разсмотрѣнію которыхъ мы перейдемъ въ слѣдующемъ отдѣлѣ, дать результирующій идеальный эксцентрикъ съ нормальнымъ для парораспределенія элементами.

**55.** Второй простѣйшій способъ образованія эллипса состоитъ въ употребленіи обратнаго шатуна разсмотрѣннаго Комбомъ \*).

Возьмемъ (см. черт. н<sup>о</sup> 32) на шатуны  $K_{\pi/2}C$  произвольную точку  $B_{\pi/2}$  и построимъ равнобедренный треугольникъ  $CB_{\pi/2}D$ . Продолжимъ направление  $B_{\pi/2}D$  до пересѣченія въ точки  $a_{\pi/2}$  съ перпендикуляромъ, опущеннымъ изъ  $K_{\pi/2}$  на основаніе. На черт. 33 эта точка находится на линіи  $BD$ . Легко усмотрѣть, что треугольники  $a_{\pi/2}K_{\pi/2}B_{\pi/2}$  въ обоихъ случаяхъ будутъ равнобедренные при всѣхъ положеніяхъ кривошипа. Отсюда заключаемъ, что абсциссы точекъ  $a$  равны абсциссамъ точекъ  $K$ .

Принимая направленіе  $Ox_1$  за ось абсциссъ и точку  $O$  за начало координатъ, найдемъ, что ординаты искомой кривой и ординаты окружности находятся въ постоянномъ отношеніи, равномъ  $\frac{Oa_{\pi/2}}{\Omega K_{\pi/2}} = \frac{Da_{\pi/2}}{K_{\pi/2}C} =$  постоянной вели-

чинѣ, такъ какъ  $\frac{Oa_{\pi/2}}{\Omega K_{\pi/2}} = \frac{a_{\pi/2}i}{K_{\pi/2}\varepsilon} = \frac{Da_{\pi/2}}{K_{\pi/2}C}$ , а потому кривая описываемая точкою  $a$  (или  $a_{\pi/2}$ ) есть эллипсъ, большая полуось котораго равна радіусу  $\Omega K_0$  даннаго круга, а малая полуось равна  $\Omega K_0 \cdot \frac{Da_{\pi/2}}{K_{\pi/2}C}$ .

\*) См. Etudes sur la machine a vapeur par M. Combes. Paris.

Такимъ образомъ построение механизма сводится къ слѣдующему.

Изъ точки  $K_{\pi/2}$  (вообще произвольное положеніе кривошипа) опускаемъ перпендикуляръ  $K_{\pi/2}I$  на направленіе  $IC$  параллельное основанію  $\Omega x$ ; дѣлимъ отрѣзокъ  $K_{\pi/2}I$ , вѣшнимъ (см. черт. н<sup>о</sup> 32) или внутреннимъ (см. черт. н<sup>о</sup> 33) дѣленіемъ на части  $K_{\pi/2}I$ ,  $a_{\pi/2}I$ , находящіяся въ данномъ отношеніи и изъ точки  $p$  — середины отрѣзка  $a_{\pi/2}K_{\pi/2}$  проводимъ параллель къ основанію  $\Omega x$ . Проведемъ изъ точки  $K_{\pi/2}$  произвольное направленіе  $K_{\pi/2}C$  наклонное къ  $\Omega x$  и, соединивъ точку пересѣченія  $B_{\pi/2}$  съ точкой  $a_{\pi/2}$ , получимъ искомое рѣшеніе. Направленія движеній точекъ  $a$  на черт. н<sup>о</sup> 32 и 33 указаны стрѣлками.

Нетрудно усмотрѣть, что въ частномъ случаѣ, когда точка  $B_{\pi/2}$  есть середина шатуна  $K_{\pi/2}C$  и точка  $a_{\pi/2}$  совпадаетъ съ точкой  $I$ , эллипсъ обращается въ прямую линію, совпадающую съ направленіемъ  $IC$ , при чемъ точка  $a_{\pi/2}$ , подобно проекціи точки  $K_{\pi/2}$  на основаніе, будетъ перемѣщаться *строго по закону обратныхъ синусовъ*. Въ другомъ частномъ случаѣ, при условіи  $a_{\pi/2}D = K_{\pi/2}C$ , получимъ точное *круговое перемѣщеніе*.

---

## ОТДѢЛЪ II.

### Основная теорія кулисныхъ механизмовъ.

#### ВВЕДЕНІЕ.

56. Подъ именемъ *кулисныхъ* механизмовъ въ паровыхъ машинахъ разумѣютъ, вообще, парораспределительные механизмы, съ помощью которыхъ возможно измѣнять элементы движенія золотника отъ руки машиниста, или автоматически отъ регулятора машины.

Мы уже знаемъ, что элементы движенія золотника опредѣляются съ точностью перваго приближенія величинами  $r$ ,  $\delta$ , т. е. величиною эксцентриситета и угла опереженія нѣкотораго идеальнаго эксцентрика, управляющаго движеніемъ золотника. Такимъ образомъ, предназначеніе кулиснаго механизма состоитъ, вообще, въ образованіи различвыхъ идеальныхъ эксцентриковъ.

Образованіемъ этихъ эксцентриковъ преслѣдуются двѣ цѣли: 1) Измѣненіе главныхъ моментовъ парораспределенія, изъ которыхъ одинъ, а именно,— моментъ отсѣчки имѣетъ первостепенное значеніе, такъ какъ отъ него (см. отд. III), зависитъ коэффиціентъ наполненія паромъ цилиндра и послѣдующая величина работы расширенія пара. 2) Вторая цѣль состоитъ въ такъ называемомъ *опрокидываніи* движенія золотника, по произволу въ нѣкоторыхъ случаяхъ, при этомъ измѣняется порядокъ впуска пара въ цилиндръ, и какъ результатъ сего, *обращается* вращеніе вала машины.

Въ зависимости отъ назначенія паровой машины преслѣдуются или обѣ цѣли вмѣстѣ, какъ напр. въ паровозныхъ машинахъ, паровозахъ, прокатныхъ реверсивныхъ машинахъ и т. д., или одна изъ нихъ, состоящая исключительно въ регулированіи работы расширенія пара, весьма необходимомъ въ машинахъ, предназначенныхъ для различныхъ фабричныхъ производствъ. Мы увидимъ впоследствии, что механизмы, удовлетворяющіе второму назначенію, могутъ выполнить при нѣкоторыхъ условіяхъ и первое.

57. Каково бы ни было вращеніе кривошипа, нормальное парораспределеніе можетъ быть получено, если положеніе эксцентриситета эксцентрика образуетъ острый уголъ съ перпендикуляромъ къ направленію кривошипа,

въ сторону его вращенія (см. пунктъ 5). Согласно этому эксцентрикъ  $\Omega E_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 39, таб. I) долженъ быть поставленъ въ положеніе  $\Omega E'_0$ , если направленіе вращенія кривошипа обращается.

Поставивъ эксцентрикъ изъ положенія  $\Omega E_0$  въ положеніе  $\Omega E'_0$ , при мертвомъ стояніи кривошипа, мы увидимъ, что нормальное парораспредѣленіе можетъ быть выполнено при вращеніи кривошипа въ противоположную сторону. Необходимость такой постановки эксцентрика, для достиженія обратнаго вращенія кривошипа, вытекаетъ изъ самаго представленія о правильномъ положеніи эксцентрика для нормальнаго парораспредѣленія (см. отдѣлъ III о парораспредѣленіи). Замѣтимъ, что новое положеніе эксцентрика  $\Omega E'_0$ , для обратнаго вращенія кривошипа, образуетъ съ прежнимъ его положеніемъ  $\Omega E_0$  уголъ  $E_0 \Omega E'_0 = 180^\circ - 2\delta$  въ сторону прежняго вращенія.

58. Явленія, которыя совершаются въ паровомъ цилиндрѣ при такой идеальной постановкѣ эксцентрика на ходу машины, будутъ рассмотрѣны въ отдѣлѣ о парораспредѣленіи; здѣсь же мы обратимъ вниманіе только на то, что результатомъ вышесказанной постановки эксцентрика является измѣненіе порядка впуска пара въ цилиндръ, которое легко усмотрѣть, воображая кривошипъ подъ угломъ  $90^\circ$  къ основанію  $\Omega c$ , какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 40.

Въ самомъ дѣлѣ, слѣдя за направлениемъ движенія проекціи точки  $E_{\pi/2}$  на основаніе, легко видѣть, что при вращеніи кривошипа по направленію часовой стрѣлки, золотникъ, заимствуя свое движеніе отъ эксцентрика  $\Omega E_{\pi/2}$ , приближается къ серединѣ своего хода и закрываетъ лѣвый паровой каналъ (цилиндръ находится по правую сторону вала) со стороны впуска, а правый со стороны выпуска. Оба канала все еще открыты при этомъ на нѣкоторую величину, а поршень пароваго цилиндра находится приблизительно въ серединѣ своего хода и продолжаетъ движеніе слѣва направо.

Переставивъ эксцентрикъ изъ положенія  $\Omega E_{\pi/2}$  въ положеніе  $\Omega E'_{\pi/2}$ , мы увидимъ, что золотникъ передвинется и займетъ симметричное положеніе влѣво отъ середины своего хода. При такомъ положеніи золотника лѣвый паровой каналъ закроется со стороны впуска и откроется внутренней перекрышей со стороны выпуска, правый же откроется со стороны впуска, вслѣдствіе чего свѣжій паръ начнетъ входить въ цилиндръ навстрѣчу движущемуся поршню, т. е. произойдетъ явленіе, называемое *контръ-паромъ*. Самая перестановка золотника, называемая обыкновенно опрокидываніемъ движенія золотника, измѣнитъ совершенно порядокъ впуска пара, который, не согласуясь съ движеніемъ поршня, заставитъ его, по прошествіи нѣсколькихъ оборотовъ кривошипа въ прежнемъ направленіи, обратить направленіе его вращенія, въ одномъ изъ положеній къ тому наиболѣе благоприятныхъ (въ смыслѣ величины момента давленія пара, передающагося на цапфу кривошипа, относительно оси вала), при этомъ кривошипъ начнетъ вращаться въ обратную сторону и нормальное парораспредѣленіе снова установится.

59. Само собою понятно, что указанная въ пунктѣ 57 перестановка эксцентрика на главномъ валѣ въ дѣйствительности, на ходу машины, невозможна безъ посредства особыхъ механическихъ приспособленій. Имѣя предназначеніе въ непосредственной перестановкѣ *дѣйствительнаго эксцентрика*, механизмы эти, называемые *коловоротными* (см. гл. VIII), выдѣляются совершенно въ особую группу отъ кулисныхъ механизмовъ, образующихъ идеальные эксцентрики.

60. Изъ общей теоріи результирующаго эксцентрика мы уже знаемъ, что образовать идеальный эксцентрикъ можетъ только *шатунокъ*, въ самомъ обширномъ смыслѣ этого слова, т. е. орудіе, или органъ, заимствующій движеніе отъ главнаго вала машины, при посредствѣ болѣе или менѣе сложной кинематической цѣпи, и обладающій такимъ перемѣщеніемъ, которое можно разсматривать какъ совокупность двухъ элементарныхъ — поступательнаго и вращательнаго. Поэтому основаніемъ для классификаціи кулисныхъ механизмовъ является прежде всего различіе въ способахъ образованія шатуна или, что одно и то же, поступательнаго или вращательнаго идеальныхъ эксцентриковъ, образующихъ результирующій эксцентрикъ по направленію золотниковой линіи. Мы будемъ называть этотъ шатунъ *производящимъ шатуномъ* (т. е. производящимъ результирующіе эксцентрики).

61. Всякій кулисный механизмъ, каково бы ни было образованіе его производящаго шатуна, долженъ удовлетворять слѣдующимъ главнѣйшимъ условіямъ:

1) Среднее положеніе золотника между двумя соотвѣтствующими мертвымъ положеніямъ кривошипа *должно быть неизмѣнно и независимо* отъ положенія неподвижнаго члена направляющей поступательной или вращательной пары производящаго шатуна. Это требованіе сводится къ равенству открытій паровыхъ оконъ при мертвыхъ положеніяхъ кривошипа, такъ какъ въ среднемъ положеніи золотникъ перекрываетъ эти окна на равныя величины.

2) Второе условіе, выполняемое болѣе или менѣе приблизительно, состоитъ въ достиженіи симметричныхъ размаховъ золотника, относительно середины его хода, соотвѣтственно произвольнымъ діаметральнымъ положеніямъ кривошипа. Понятно, что въ этомъ случаѣ середина хода золотника должна представлять центръ его колебаній. Назовемъ такой ходъ золотника *идеальнымъ*, ибо онъ вполне точно опредѣляется элементами идеальнаго эксцентрика.

Имѣя въ виду, что діаметральнымъ положеніямъ кривошипа не соотвѣтствуетъ симметрія въ положеніяхъ поршня цилиндра и что весьма важно получить симметричность главныхъ моментовъ парораспределенія *соотвѣтственно симметричнымъ положеніямъ поршня*,—въ практикѣ является весьма желательнымъ такой ходъ золотника, при которомъ перемѣщенія его были бы симметричны относительно нѣкоторой точки,—средины хода его, соотвѣтственно симметричнымъ положеніямъ поршня, по крайней мѣрѣ для положеній золотника, совпадающихъ съ главными моментами парораспределенія. Такой ходъ золотника назовемъ *поршневымъ*, такъ какъ онъ относится къ движенію поршня.

Выполненіе втораго условія въ той или другой формѣ основывается на соображеніяхъ, которыя будутъ подробно развиты въ IV отдѣлѣ: «теорія поршневыхъ отсѣчекъ», въ настоящее же время, мы, ограничиваясь точностью перваго приближенія, обратимъ вниманіе лишь на удовлетвореніе перваго главнѣйшаго условія.

### Г Л А В А III.

#### Радіальные механизмы (Radial-gears).

62. Подъ этимъ названіемъ извѣстны въ Англіи механизмы, въ которыхъ орудіемъ, образующимъ результирующіе эксцентрики, является эксцентриковый шатунъ, расположенный по основанію перпендикулярному къ основанію машины. Мы дадимъ болѣе точное и общее опредѣленіе этому классу механизмовъ, если причислимъ къ нему всѣ механизмы, въ которыхъ производящій шатунъ обнаруживаетъ поступательный и вращательный эксцентрики по основаніямъ (направленіямъ) взаимно перпендикулярнымъ. Пара, направляющая этотъ шатунъ, можетъ быть поступательной, или вращательной. Въ первомъ случаѣ неподвижный членъ пары, въ которомъ устроенъ прорѣзъ для ползуна (или обратно линейка для салазокъ), представляетъ въ тѣсномъ смыслѣ слова кулису, или скобу, а во второмъ—никакой скобы или кулисы въ этомъ смыслѣ не существуетъ. Измѣненіемъ положенія неподвижнаго члена поступательной, или вращательной пары достигается измѣненіе величины и положенія поступательнаго эксцентрика производящаго шатуна, при этомъ результирующіе идеальные эксцентрики по данному направленію золотниковой линіи будутъ, конечно, измѣнять свою величину и положеніе. Сюда относятся механизмы: 1) Гакворта, 2) Ключа, 3) Маршала, 4) Ангштрёма, 5) Броуна, 6) Джоя, 7) Денре и друг. Прототиномъ этихъ механизмовъ можетъ служить старѣйшій механизмъ Гакворта, такъ какъ идея, положенная въ основаніе его, повторяется различными изобрѣтателями въ той или другой формѣ.

Однако общность идеи означенныхъ механизмовъ можно считать лишь въ основѣ ихъ конструкціи. Болѣе подробное ихъ изслѣдованіе (см. отд. IV теорія поршневыхъ отсѣчекъ) укажетъ намъ на тѣ различія въ деталяхъ, которыми имѣлось въ виду достиженіе или идеальнаго, или поршневаго движенія золотника.

63. Механизмъ Гакворта (Hakworth) состоитъ изъ эксцентрика (см. черт. n<sup>o</sup> 44, таб. II)  $\Omega E_0$ , эксцентриситетъ  $r$  котораго совпадаетъ съ направленіемъ кривошипа  $\Omega K_0$ , т. е. образуетъ съ нимъ уголъ равный нулю, изъ эксцентриковаго шатуна  $E_\omega c'_\omega = l_1 + l_2$ , расположеннаго по основанію  $\Omega y$ , перпендикулярному къ основанію машины, и изъ кулисы  $\omega_1 x_1$ , направляющей ползунъ ( $b'_\omega$ ) шатуна. Конечная точка ( $c'_\omega$ ) шатуна сообщаетъ золотнику движеніе передаточнымъ шатуномъ (непоказаннымъ на чертежѣ) по направленію  $zz$  золотниковой линіи, параллельной основанію машины.

Основная шатунная пара  $E_\omega c_\omega, b_\omega$  поворачиваемъ прямолинейной кулисы около оси вращения ея ( $b_0$ ), можетъ быть превращена въ эксцентричную пару  $E_\omega c'_\omega, b'_\omega$ .

Вообразимъ предварительно кулису  $x_1x_1$  совпадающею съ осью  $\Omega y$ . Шатунная пара превратится при этомъ въ основную (по основанію  $\Omega y$ ), а вращательный эксцентрикъ ея, который мы обозначимъ черезъ  $A$ , равный дѣйстви- тельному  $\Omega E_0 = r$ , перенесется на направленіе  $z z$  въ масштабѣ, равномъ отношению  $\frac{b_\omega c_\omega}{E_\omega b_\omega} = \frac{l_1}{l_2}$ , съ измѣненіемъ положенія на прямо противоположное (см. пунктъ 38), поэтому  $A = \Omega E_0 \cdot \frac{l_1}{l_2}$ .

Повернемъ теперь кулису  $x_1x_1$  вправо на уголъ  $\beta$ ; шатунъ будетъ при этомъ вращаться около центра  $E_\omega$  и точка  $b_\omega$  перейдетъ въ положеніе  $b'_\omega$ , точка  $c_\omega$  — въ положеніе  $c'_\omega$ . Нетрудно видѣть, что  $b_\omega b'_\omega \cong b_0 b_\omega \operatorname{tg} \beta$ , а  $c_\omega c'_\omega = b_\omega b'_\omega \frac{l_1 + l_2}{l_2} = b_0 b_\omega \operatorname{tg} \beta \frac{l_1 + l_2}{l_2}$ , а такъ какъ перемѣщеніе  $b_0 b_\omega$  опредѣляется элементами  $r, \delta = 0$ , т. е. элементами поступательнаго эксцентрика производящаго шатуна, то перемѣщеніе  $c_\omega c'_\omega$  опредѣлится элемен- тами  $r \operatorname{tg} \beta \frac{l_1 + l_2}{l_2}$ ,  $\delta = 0$ , т. е. поступательный эксцентрикъ, при накло- неніи кулисы на уголъ  $\beta$ , переносится на направленіе золотниковой линіи въ масштабѣ, равномъ  $\operatorname{tg} \beta \frac{l_1 + l_2}{l_2}$ . Обозначая его черезъ  $B$ , получимъ:

$$B = r \operatorname{tg} \beta \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2}.$$

Такъ какъ эксцентрики  $\Omega E_c = A$  и  $\Omega E'_c = B$  (см. черт. н<sup>о</sup> 46, табл. II) имѣютъ одно общее основаніе  $z z$ , то геометрическая сумма ихъ  $OE_i$  опредѣлитъ искомый результирующей эксцентрикъ.

Нетрудно видѣть, что, при поворотѣ кулисы  $x_1x_1$  влѣво на уголъ  $\beta$  отъ оси  $\Omega y$ , шатунъ повернется около центра  $E_\omega$  въ ту же сторону, а слѣ- довательно перемѣщеніе точки  $c_\omega$  будетъ прямо противоположно перемѣщенію  $c_\omega c'_\omega$ . и поэтому оно опредѣлится эксцентрикомъ  $\Omega E''_c$  прямо противоположнымъ  $\Omega E'_c$ . Что касается эксцентрика  $\Omega E_c$ , то онъ очевидно останется безъ измѣненія. Результирующей эксцентрикъ  $OE'_i$  опредѣлитъ въ этомъ случаѣ элементы дви- женія золотника при обратномъ вращеніи кривошипа.

Понятно, что для передачи движенія золотнику по направленію  $z z$  при- дется употребить передаточную шатунную пару, поступательный эксцентрикъ которой, равный результирующему  $\Omega E_i$  опредѣлитъ непосредственно движеніе золотника, а вращательный, равный поступательному эксцентрику  $r, \delta = 0$  про- изводящаго шатуна не окажетъ на это движеніе никакого вліянія, если огра- ничиться точностью перваго приближенія.

Первое главнѣйшее условіе движенія золотника (см. пунктъ 61) въ меха- низмѣ Гакворта удовлетворяется подлежащимъ выборомъ оси вращения ( $b_0$ )

кулисы  $x_1x_1$ . Эта ось избирается такимъ образомъ, чтобы при двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа съ нею совпала шарнирная ось вращенія  $b'_\omega$  шатуновой пары. Тогда разстоянія точки  $c_0$  шатуна отъ оси  $\Omega y$  будутъ равны между собою при двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа, и такъ какъ онѣ при этомъ не зависятъ отъ угла  $\beta$  наклона кулисы, то открытія паровыхъ оконъ, соответствующія этимъ положеніямъ кривошипа, не только равны между собою, но и равны *постоянной величинѣ*.

Положеніе кулисы, совпадающее съ осью  $\Omega y$ , называется *мертвымъ*. Результирующій эксцентрикъ, при этомъ положеніи кулисы, обращается въ  $A = \Omega E_c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 46). Мы увидимъ въ отдѣлѣ о парораспредѣленіи, что работа пара, распреждаемаго такимъ эксцентрикомъ, вообще, весьма незначительна и можетъ быть равною нулю, для каждаго оборота вала машины, поэтому движеніе ея становится невозможнымъ.

Неизмѣняемость эксцентрика  $A$  влечетъ за собою расположеніе центровъ  $E_i$  результирующихъ эксцентриковъ на прямой  $E_iE'_i$  перпендикулярной къ  $\Omega z$ .

64. Имѣя въ виду, что поступательный и вращательный эксцентрики суть понятія *условныя* (см. пунктъ 47), мы можемъ построеніе результирующаго эксцентрика произвести другимъ путемъ. Примемъ напр. за поступательный эксцентрикъ тотъ, который опредѣляетъ собою перемѣщеніе ползуна поступательной пары въ кулисѣ. Элементы этого эксцентрика, согласно пункту 17, суть  $\frac{\Omega E_0}{\cos \beta}$ ,  $\delta = 0$ .

Приводя его къ основанію  $z z$ , совпадающему съ направлениемъ золотниковой линіи, мы получимъ эксцентрикъ  $\frac{\Omega E_0}{\cos \beta} \cdot \sin \beta$ ,  $\delta = 0$  или  $\Omega E_0 \operatorname{tg} \beta$ ,  $\delta = 0$ .

Такимъ образомъ поступательный эксцентрикъ, приведенный къ основанію  $z z$ , будетъ (см. черт. н<sup>о</sup> 47, таб. II)  $\Omega E_\xi = \Omega E_0 \operatorname{tg} \beta = r \operatorname{tg} \beta$ . Найдемъ теперь вращательный эксцентрикъ.

Вообразивъ произвольный уголъ вращенія кривошипа, и, найдя положеніе  $b'_\omega$  ползуна въ кулисѣ (см. черт. н<sup>о</sup> 45), проведемъ черезъ точку  $b'_\omega$  параллель  $y'y'$  къ оси  $\Omega y$ . Уголъ  $\varepsilon$ , образуемый шатуномъ  $E_\omega c'_\omega = l_2 + l_1$  съ осью  $y'y'$ , опредѣляетъ искомое вращеніе. Легко видѣть, что  $\varepsilon = \alpha + \delta$ , и что перемѣщеніе  $ac'_\omega$  точки  $c'_\omega$ , отъ вращенія шатуна около центра  $b'_\omega$ , равно  $\varepsilon l_1 = \alpha l_1 + \delta l_1$ . Но перемѣщеніе  $\alpha l_1$  опредѣлится, какъ и въ предыдущемъ случаѣ, эксцентрикомъ  $\Omega E_c = \Omega E_0 \frac{l_1}{l_2}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 47), а перемѣщеніе

$$\delta l_1 = \frac{b_\omega b'_\omega \cdot l_1}{E_\omega b_\omega} = \frac{b_\omega b_0 \cdot l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta$$

опредѣлится элементами  $\Omega E_0 \frac{l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta$ ,  $\delta = 0$  (ибо элементы перемѣщенія  $b_\omega b_0$ , суть  $\Omega E_0$ ,  $\delta = 0$ ). Отложивъ величину  $E_c E'_c = \Omega E_0 \frac{l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta$ , и, геометрически сложивъ ее съ величиною  $\Omega E_c$ , найдемъ искомый вращательный эксцен-

трикъ  $\Omega E'_c$ , а геометрическая сумма  $\Omega E_i$  эксцентрикѣвъ  $\Omega E'_c$ ,  $\Omega E_\xi$  представитъ величину и положеніе искомага результирующаго эксцентрика.

Не трудно сообразить, что построеніе этого эксцентрика сводится къ слѣдующему. Проведемъ уголъ  $\beta$  (при расположеніи кулисы на черт. n<sup>o</sup> 45), и отъ центра  $\Omega$  отложимъ величину  $\Omega E_c = r \frac{l_1}{l_2}$  и  $\Omega E_0 = r$ , гдѣ  $r$  величина дѣйствительнаго эксцентрика. Возставивъ перпендикуляръ изъ точекъ  $E_c$ ,  $E_0$  къ основанію  $\Omega z$ , тотчасъ получимъ:

$$\Omega E_\xi = AE_0 = r \operatorname{tg} \beta; \quad E_c E'_c = r \frac{l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta,$$

и слѣдовательно величину  $\Omega E_i$ . Результатъ построенія конечно долженъ быть тождественъ съ изложеннымъ въ пунктѣ 63.

Въ самомъ дѣлѣ,

$$E_c E'_c = \frac{r l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta; \quad E_c E_i = \frac{r l_1}{l_2} \operatorname{tg} \beta + r \operatorname{tg} \beta = r \operatorname{tg} \beta \frac{l_1 + l_2}{l_2}.$$

**65.** Мы условимся разъ навсегда считать поступательнымъ эксцентрикомъ шатуна тотъ, который опредѣляетъ перемѣщеніе проекціи произвольной точки *ею на основаніе шатунной пары*.

Опредѣленные въ пунктѣ 63 величины  $A$  и  $B$  назовемъ при этомъ элементами (парораспредѣлительными) механизма. Онѣ представляютъ поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна (см. пунктъ 63).

**66.** Установка кулисы Гакворта на вертикальной паровой машинѣ показана на черт. n<sup>o</sup> 54, таб. II. Такъ какъ основаніе  $\Omega z$  машины вертикально, то шатунная пара кулиснаго механизма располагается по горизонтальному основанію  $\Omega y$ . Кулисса закрѣплена въ перекидномъ рычагѣ ( $p$ ), который поворачивается около оси (0) перекиднымъ механизмомъ, состоящимъ изъ винта съ маховичкомъ. На черт. 63, таб. II показанъ шатунъ механизма Гакворта съ направляющей кулиссой  $x_1 x_1$  (шатунная пара) въ  $1/3$  п. в. На черт. 63' показана въ разрѣзѣ ея направляющая поступательная пара съ перекиднымъ рычагомъ  $H$ .

Конструкція кулисы Гакворта въ примѣненіи къ товарному паровозу показана на черт. n<sup>o</sup> 103, таб. IV. Направляющая пара производящаго шатуна  $E_c$  состоитъ изъ линейки  $x_1 x_1$  и обхватывающихъ ее салазокъ  $B$ , вкладыши которыхъ могутъ подтягиваться особыми болтами. Шатунъ  $E_c$ , приготовляемый обыкновенно изъ латуни или бронзы, обхватываетъ утолщенной своею частью  $A$ , на подобіе хомута эксцентрика, салазки  $B$ , которыя должны имѣть надлежащей величины вырѣзъ для свободнаго прохода оси вращенія 0 линейки, при движеніи механизма. На этой оси вращенія закрѣпляется перекидной рычагъ  $H$ .

Та же конструкція въ большемъ масштабѣ показана на таб. XXXV, n<sup>o</sup> 3, 3<sup>a</sup> атласа (см. нашъ атласъ конструктивныхъ чертежей, часть I, золотники и кулисы). На той же таблицѣ атласа (черт. по 2, 2<sup>a</sup>, 2<sup>b</sup>, 2<sup>c</sup>) представлена установка въ  $1/20$  п. в. и детали въ  $1/10$  н. в. кулисы Гакворта для горизонтальной двойной паровой машины въ 600 индикаторныхъ силъ.

67. На черт. n° 64, таб. II (текста) въ  $\frac{1}{10}$  н. в. представленъ механизмъ Гакворта для золотника отсѣкающаго парь внутренними ребрами своихъ перекрышь. Такъ какъ въ этомъ случаѣ идеальный эксцентрикъ долженъ располагаться позади кривошипа подь угломъ къ нему равнымъ  $90 - \delta$  (см. пунктъ 13), то элементы  $A$  и  $B$  должны быть отрицательны, а это можетъ быть достигнуто при сообщеніи движенія промежуточной точкой ( $c$ ) шатуна \*).

Обозначая  $\Omega E = r$ ,  $Ec = l_2$ ;  $cO = l_1$ , получимъ вращательный эксцентрикъ  $A = r \frac{l_1}{l_1 + l_2}$ ,  $\delta = -90^\circ$ , т. е. направленіе  $A$  совпадаетъ съ направленіемъ кривошипа и образуетъ съ нимъ уголъ равный нулю. Поступательный эксцентрикъ  $B$  расположится по направленію  $\perp$  къ нему въ ту или другую сторону отъ центра  $\Omega$ , смотря по тому, какъ поставлена кулисса  $x_1x_1$ , при чемъ

$$B = r \operatorname{tg} \beta \frac{l_2}{l_1 + l_2}.$$

Не трудно видѣть, по сравненіи этихъ величинъ съ элементами механизма Гакворта прежняго устройства (см. пунктъ 63), что при одинаковыхъ  $A$  и  $B$  эксцентриситетъ дѣйствительнаго эксцентрика долженъ быть болѣе въ механизмѣ для золотника, отсѣкающаго парь внутренними перекрышами. Обозначимъ это устройство Гакворта подь номеромъ 2.

Приспособленіе (см. n° 64, таб. II) ( $c$ ) устроено съ цѣлью точной установки золотника.

### 68. Механизмъ Кюга (Klug).

По основной идеѣ этотъ механизмъ не отличается отъ механизма Гакворта. Различіе состоитъ въ томъ, что въ построеніе производящаго шатуна входитъ вмѣсто поступательной пары—вращательная (см. черт. n° 51, таб. II), состоящая изъ стержня 2, ось вращенія котораго  $O_2$  находится на перекидномъ рычагѣ  $H$ . Положеніе оси вращенія  $O$  перекиднаго рычага  $H$  должно удовлетворять тому же условію, какъ и въ кулиссѣ Гакворта.

На черт. 51 перекидной рычагъ поставленъ на обратный ходъ, указанный стрѣлкой. Построеніе идеальнаго результирующаго эксцентрика ничѣмъ не отличается отъ рассмотрѣннаго въ кулиссѣ Гакворта n° 1, если пренебречь вліяніемъ стрѣлокъ дугъ уклоновъ шатуна и подвѣски 2, т. е. ограничиться первымъ приближеніемъ.

Механизмъ Кюга, относящійся къ небольшой вертикальной паровой машинѣ Компаундъ, изображенъ детально на таб. XXXV, черт. n° 2, 2<sup>c</sup> атласа.

\*) Если бы, при такомъ способѣ сообщенія движенія золотнику, желательно было бы имѣть золотникъ, отсѣкающій парь внѣшними ребрами его перекрышь, то направленіе дѣйствительнаго эксцентрика слѣдовало бы измѣнить на прамопротивоположное, такъ какъ въ этомъ случаѣ шатунъ своимъ вращеніемъ переноситъ идеально эксцентрикъ безъ измѣненія его относительнаго положенія.

**69. Механизм Маршала (Marshall)** представлен на черт. n° 50, таб. II. Все различие от механизма Гакворта n° 2 состоитъ въ томъ, что вмѣсто поступательной направляющей пары устраивается вращательная пара, а эксцентрикъ составляетъ съ кривошипомъ уголъ въ  $180^\circ$  (а не нуль, какъ у Гакворта).

Такое расположеніе эксцентрика становится совершенно понятнымъ, если принять въ соображеніе, что движеніе золотнику, отсѣкающему паръ внѣшними перекрышами, сообщается промежуточной точкою ( $c$ ) шатуна.

Обозначая  $Ec = l_2$ ,  $cO = l_1$  и  $OE = r$ , найдемъ, что вращательный эксцентрикъ переносится шатуномъ безъ измѣненія его положенія относительно кривошипа, но лишь въ уменьшенномъ масштабѣ, равномъ  $\frac{l_1}{l_1 + l_2}$ , поэтому угловой элементъ его  $\delta = 90^\circ$ , а линейный  $A = r \frac{l_1}{l_1 + l_2}$ . Линейный элементъ поступательнаго эксцентрика, какъ и въ механизмѣ Гакворта n° 2, будетъ

$$B = r \operatorname{tg} \beta \frac{l_2}{l_1 + l_2}.$$

Положеніе его зависитъ отъ положенія неподвижнаго члена  $O_2$  направляющей вращательной пары, ось вращенія  $O_2$  которой закрѣпляется въ двухплечемъ угловомъ рычагѣ, имѣющемъ неподвижную ось  $O$ . При двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа обязательно должно быть совпаденіе съ положеніемъ этой оси конца шатуна, направляемаго круговымъ правиломъ 2. Этимъ удовлетворяется первое главнѣйшее условіе движенія золотника. Значеніе круговыхъ правилъ въ механизмахъ Ключа, Маршала и др. будетъ выяснено ниже (см. отд. IV. Теорія поршневыхъ отсѣчекъ).

**70. Механизм Ангстрёма (Ångström)** отличается отъ механизма Гакворта разницею въ осуществленіи прямолинейнаго направленія шарнирной оси эксцентриковаго шатуна. Въ механизмѣ Гакворта, какъ извѣстно, для этой цѣли устраивается поступательная пара, Ангстрёмъ же строить для сего *лемнискоидное* коромысло (параллелограммъ)  $ac$ , средняя точка ( $b$ ) (см. черт. n° 48) котораго перемѣщается приблизительно по прямой.

Въ построеніе этого коромысла входятъ, какъ видно, двѣ вращательныя пары  $aO_2, O_2$  и  $cO_1, O_1$ , которыя при условіи равенства  $aO_2 = cO_1$  образуютъ сокращенный параллелограммъ Уатта. Устройствомъ этого направленія механизмъ значительно усложняется, такъ какъ оси  $O_1, O_2$  должны быть укрѣплены въ особомъ поворотномъ рычагѣ, имѣющемъ неподвижную ось вращенія въ точкѣ  $b$ .

### 71. Механизм Броуна (Brown).

Въ механизмѣ Броуна производящій шатунъ заимствуетъ свое движеніе не отъ дѣйствительнаго эксцентрика, подобно рассмотрѣннымъ механизмамъ Гакворта, Маршала, Ангстрёма, Ключа, а отъ особой шатунной пары, располагающейся по основанію машины  $Qx$ . На черт. n° 49, таб. II основаніе  $Qx$  машины предположено вертикальнымъ. Въ построеніе шатунной пары  $E_{\pi/2} b_{\pi/2}, b_{\pi/2} O_1$ ,

сообщающей движенье производящему шатуну  $cg$ ,  $f$ , входятъ: 1) дѣйствительный эксцентрикъ  $\Omega E_{\pi/2}$ , образующій съ кривошиномъ уголъ, равный нулю, 2) круговое правило  $b_{\pi/2} O_1$ , составляющее отличительный признакъ шатуновой пары Броуна. Отъ ѣзковой точки ( $e$ ) его шатуна, описывающей сомкнутую кривую, заимствуетъ движенье производящій шатунъ  $cg$ , шарнирная ось ( $f$ ) котораго направляется особымъ *конхойднымъ коромысломъ* по прямолинейному (приблизительно) или, вообще, по криволинейному направлению съ болѣе или менѣе значительнымъ радиусомъ кривизны.

Конхойдное коромысло, построение котораго будетъ объяснено впоследствии, состоитъ изъ коромысла  $df$  (см. черт. н<sup>о</sup> 49 bis), промежуточная точка  $e$  котораго направляется стержнемъ  $ae$ , имѣющимъ въ точкѣ  $a$  шарнирную ось вращения. Одинъ конецъ коромысла ( $f$ ) соединяется шарнирно съ промежуточной точкой производящаго шатуна  $cg$  механизма Броуна, а второй проходитъ сквозь особую направляющую трубку  $\bar{d}$  или гильзу, вращающуюся на концѣ поворотнаго рычага  $ad$ , который въ точкѣ  $O$  имѣетъ неподвижную ось вращения. Съ измѣненіемъ положенія этого рычага измѣняется направленье движенья точки  $f$  коромысла, и слѣдовательно шарнирной оси  $f$  производящаго шатуна. Эта ось, какъ и въ механизмѣ Гакворта, должна совпадать съ положеніемъ оси  $O$  поворотнаго рычага, при мертвыхъ точкахъ цапфы кривошина, т. е. должно удовлетворяться условіе  $e_{\pi} O = cf$  (см. черт. н<sup>о</sup> 49). Условіемъ этимъ достигается неизмѣняемость средняго положенія золотника между и т. д. и равенство линейныхъ опереженій впуска независимо отъ положенія поворотнаго рычага  $ad$ .

72. Эксцентричная шатуновая пара Броуна, составляющая отличительную особенность его механизма, имѣетъ цѣлью уничтоженіе вліянія уклоновъ производящаго шатуна  $cg$  къ направлению  $c_c y$ .

Для того чтобы объяснить, какимъ образомъ достигается эта цѣль, разложимъ сложное движенье основнаго шатуна на два: 1) движенье вращательное, которое мы (условно) выполнимъ, мысленно расцѣпивъ шатунъ отъ его эксцентрика, и, перемѣщая точку  $E_{\pi/2}$  по направлению  $\Omega y$ , 2) движенье поступательное въ направлениі оси  $\Omega x$ , которое мы (условно) опредѣлимъ, заставляя перемѣщаться точку  $E_{\pi/2}$  по основанію  $\Omega x$ , а вторую конечную точку  $b_{\pi/2}$  по дугѣ радиуса  $b_{\pi/2} O_1$ .

Результатъ перваго движенья будетъ перемѣщеніе точки  $e$  по кривой, весьма мало отклоняющейся отъ оси  $c_c y$ . Вліяніемъ этого отклоненія на ведущую точку ( $g$ ) производящаго шатуна  $cg$  мы пока пренебрежемъ. Ограничиваясь точностью перваго приближенія, и, полагая предварительно уголъ  $\alpha = 0$ , движенье ведущей точки ( $g$ ) можетъ быть опредѣлено элементами идеальнаго эксцентрика, равнаго  $\Omega E_{\pi/2} \cdot \frac{eb_{\pi/2}}{E_{\pi/2} b_{\pi/2}} = r \cdot \frac{l_1}{l}$ . При поворотѣ рычага на уголъ  $\alpha$  этотъ эксцентрикъ съ основанія  $c_c y$  перенесенія на направленье  $zx$  золотниковой линіи въ масштабѣ равномъ  $\text{tg } \alpha \cdot \frac{eg}{cf}$ , подобно тому какъ въ механизмѣ Гакворта.

Второе слагающее движение произведет криволинейное перемещение точки  $c$ , которое весьма чувствительно можно замѣнить дугою круга нѣкотораго радиуса. Если радиусъ этой дуги будетъ равенъ  $c_{\pi}0 = c_00 = cf = l_4$ , то точка  $f$  совпадающая съ  $0$  останется неподвжной и вліяніе уклоновъ шатуна  $cf$  на движеніе шарнирной оси его  $f$  по оси  $c_cy$  будетъ уничтожено.

Понятно теперь, что сложное криволинейное перемещение точки  $c$  вызоветъ симметричные размахи точки  $f$  относительно центра  $0$ , по направленію оси  $c_cy$ , соответственно симметричнымъ положеніямъ проекціи точки  $E_{\pi/2}$  на ось  $\Omega y$  относительно центра  $\Omega$ , т. е. соответственно діаметральнымъ положеніямъ кривошипа (идеальное движеніе, опредѣляемое идеальнымъ эксцентрикомъ), а потому и движеніе проекціи точки  $f$  по направленію  $x_1x_1$  будетъ симметричнымъ относительно центра  $0$ , и слѣдовательно движеніе точки  $g$ , передающееся золотнику, опредѣлится по направленію золотниковой линіи *идеальнымъ* эксцентрикомъ:

$$B = \Omega E_{\pi/2} \cdot \frac{cb_{\pi/2}}{E_{\pi/2}b_{\pi/2}} \cdot \operatorname{tg} \alpha \frac{cg}{cf}, \quad \delta = 0$$

подобно тому, какъ въ механизмѣ Гакворта.

Но сложное перемещение той же точки  $c$  вызоветъ еще вращеніе производящаго шатуна около подвижной его оси ( $f$ ), которое обусловливается поступательнымъ слагающимъ движеніемъ основнаго шатуна. Если пренебречь вліяніемъ стрѣлокъ дугъ его уклоновъ къ основанію  $\Omega x$ , то это вращеніе, передаваясь отъ точки  $g$  золотнику въ направленіи  $zz$ , опредѣлится идеальнымъ эксцентрикомъ:

$$A = \Omega E_{\pi/2} \cdot \frac{fg}{cf}, \quad \delta = 90^\circ$$

(воображая кривошипъ въ мертвомъ положеніи).

**73.** Такимъ образомъ, несмотря на криволинейное перемещение промежуточной точки  $c$  основнаго шатуна, *значительно отклоняющаея отъ эллиптическаго*, мы получимъ весьма чувствительно идеальное движеніе золотника, которое можетъ быть опредѣлено результирующимъ эксцентрикомъ слѣдующимъ образомъ:

Обозначая  $\Omega E_{\pi/2} = r$ ;  $cb_{\pi/2} = l_1$ ;  $E_{\pi/2}c = l_2$ ,  $fg = l_3$ ,  $cf = l_4$ , получимъ поступательный эксцентрикъ производящаго шатуна равнымъ  $r \frac{l_1}{l_1 + l_2}$ ,  $\delta = 0$ . Этотъ эксцентрикъ при наклонѣ поворотнаго рычага на уголъ  $\alpha$  переносится на направленіе  $zz$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{l_3 + l_4}{l_4} \operatorname{tg} \alpha$ . Обозначая его черезъ  $B$ , получимъ  $B = r \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4} \operatorname{tg} \alpha = \Omega E_{\xi}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 53, таб. II). Вращательный эксцентрикъ производящаго шатуна, равный по величинѣ и положенію дѣйствительному, переносится точкою  $g$  на направленіе  $zz$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{l_3}{l_4}$ , но съ измѣненіемъ положенія его на прямо противоположное. Обозначая его черезъ  $A$ , получимъ  $A = r \frac{l_3}{l_4} = \Omega E_c$ .

Эксцентрики  $A$  и  $B$ , определяющіе элементы механизма, складываются геометрически въ результирующій  $\Omega E_i$ .

По причинѣ неизмѣнности эксцентрика  $A$  геометрическое мѣсто центровъ  $E_i$  результирующихъ эксцентриковъ представить прямую  $E'_i E_i$ , перпендикулярную къ направленію кривошипа.

Предполагая величину  $cf = l_4$  извѣстной, слѣдуетъ опредѣлить радіусъ круговаго правила  $b_{\pi/2} O_1 = \rho$ . Этотъ радіусъ опредѣлится приблизительно слѣдующимъ образомъ.

Представимъ себѣ два крайнихъ положенія  $E_0 b_0$ ,  $E_\pi b_\pi$  шатуна, соответствующія мертвымъ точкамъ кривошипа. Воображая въ этихъ положеніяхъ бесконечно малое перемѣщеніе шатуна, въ которомъ точка  $E$  остается на основаніи  $\Omega x$ , а промежуточная точка ( $c$ ) находится на элементѣ дуги радіуса  $l_4$  и центра  $O$ , получимъ мгновенные центры  $O_2$ ,  $O_3$  и точку пересѣченія  $O_1$  двухъ направлений  $b_0 O_2$ ,  $b_\pi O_3$ . Эту точку приблизительно примемъ за центръ круговаго правила радіуса  $\rho = b_{\pi/2} O_1$ .

7А. На черт. н<sup>о</sup> 100, таб. IV, показано расположеніе механизма Броуна на паровозной машинѣ. Отъ шатуна Броуна  $E b_1$  сообщается движеніе производящему шатуну  $cf$ . Если въ построеніе этого шатуна входитъ контръ-кривошипъ  $\Omega E$ , образующій съ кривошипомъ уголъ  $180^\circ$ , то при отсѣчкѣ вѣшными ребрами золотника ведущая точка ( $g$ ) должна быть взята на шатунѣ  $cf$  (а не на его продолженіи).

При отсѣчкѣ внутренними ребрами золотника (что можетъ быть, напр. въ цилиндрѣ высокаго давленія машины компаундъ) контръ-кривошипъ  $\Omega E$  долженъ быть расположенъ въ обратную сторону, или, оставляя неизмѣннымъ положеніе контръ-кривошипа, слѣдуетъ ведущую точку ( $g$ ) взять на продолженіи шатуна  $cf$ . Направляющая вращательная пара  $f\omega$ ,  $\omega$  производящаго шатуна имѣетъ такое же устройство, какъ и въ механизмѣ Клюга или Маршала.

Элементы  $A$ ,  $B$  найдутся безъ затрудненія.

$$A = \Omega E \cdot \frac{gf}{cf}; \quad B = \Omega E \frac{cb_1}{Eb_1} \cdot \operatorname{tg} \alpha \frac{cg}{cf}.$$

На черт. н<sup>о</sup> 94, таб. IV показано устройство, въ которомъ пользуются основнымъ шатуномъ машины, обращая его въ шатунъ Броуна, употребленіемъ вращательной пары  $bb'$ ,  $O_1$ , подвижной членъ которой  $bb'$  представляетъ коромысло. Такъ какъ кривошипъ  $\Omega K$  машины переносится (идеально) этою парой на направленіе движенія поршня пароваго цилиндра (основаніе) съ измѣненіемъ своего положенія на прямо противоположное, то и здѣсь придется сообщить движеніе золотнику отъ промежуточной точки ( $g$ ), производящаго шатуна  $cf$ , если предположить отсѣчку вѣшными ребрами золотника. Это устройство примѣняется къ тихо ходящимъ паровозамъ зубчатыхъ желѣзныхъ дорогъ (Швейцарія).

(74 bis). На черт. 211, таб. VIII представленъ механизмъ Броуна, весьма часто употребляющійся въ клапанномъ (вентильномъ) парораспределеніи. Шатунная пара Броуна  $Ca_\omega$ ,  $a_\omega \Omega_1$  образуется здѣсь не дѣйствительнымъ

эксцентрикомъ, а эксцентрикомъ фиктивнымъ, получающимся движеніемъ промежуточной точки  $C$  основнаго шатуна машины  $K_{\omega} A_{\omega}$ , такъ что шатунная пара Броуна представляетъ въ этомъ случаѣ пару втораго порядка.

Обозначая

$$g_{\omega} f_{\omega} = l_3; \quad b_{\omega} g_{\omega} = l_4; \quad b_{\omega} a_{\omega} = l_1; \quad Cb_{\omega} = l_2; \quad CA_{\omega} = L_1; \\ K_{\omega} A_{\omega} = L; \quad K_{\omega} \Omega = R,$$

получимъ безъ затрудненія

$$A = R \cdot \frac{l_3}{l_4}; \quad B = R \cdot \frac{L_1}{L} \cdot \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \frac{l_3 + l_4}{l_4} \operatorname{tg} \alpha.$$

На черт. н<sup>о</sup> 183, таб. VII изображено видоизмѣненіе механизма Броуна, весьма удобное по своей компактности для парходныхъ вертикальныхъ машинъ. На этомъ механизмѣ мы остановимся впоследствии.

75. Механизмъ Джоя н<sup>о</sup> 1, представленный на черт. н<sup>о</sup> 59, таб. II, принадлежитъ къ наиболѣе распространеннымъ между другими механизмами того же изобрѣтателя.

Основная кривошипная шатунная пара при посредствѣ серьги  $C_0e_0$  (короткаго шатуна втораго порядка) передаетъ свои поступательный и вращательный эксцентрики производящему шатуну  $a_0g_0$  (третьяго порядка), расположенному по основанію, перпендикулярному къ основанію машины, и направляемому дугообразной кулиссой, или круговымъ правиломъ, ось котораго укрѣпляется въ перекидномъ рычагѣ, какъ въ механизмахъ Клюга и Маршала.

Такимъ образомъ механизмъ этотъ отличается отъ рассмотрѣннаго на черт. н<sup>о</sup> 211, таб. VIII механизма Броуна расположеніемъ шатунной пары втораго порядка  $C_0e_0$ ,  $e_0\Omega_1$ .

Первое главнѣйшее условіе движенія золотника удовлетворяется совпаденіемъ точки  $f$  съ положеніемъ оси поворотнаго рычага при двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа.

76. Главнѣйшая цѣль устройства промежуточнаго шатуна  $C_0e_0$  въ механизмѣ Джоя н<sup>о</sup> 1 состоитъ въ уничтоженіи вліянія весьма значительныхъ уклоновъ производящаго шатуна къ оси  $Oy$ .

Стрѣлки дугъ этихъ уклоновъ не имѣютъ вліянія на движеніе золотника только при мертвомъ положеніи кулиussy, или поворотнаго рычага ( $\alpha = 0$ ). При поворотѣ же кулиussy на уголъ  $\alpha$  онѣ переносятся точкою  $g$  шатуна въ горизонтальномъ направленіи и окажутъ весьма большое вліяніе на ходъ золотника (въ смыслѣ симметричности его размаховъ). Итакъ непосредственно отъ шатуна машины движеніе не можетъ быть заимствовано безъ значительныхъ неправильностей въ ходѣ золотника.

Въ механизмахъ Гакворта, Клюга и Маршала, въ которыхъ размахи производящихъ шатуновъ къ ихъ основаніямъ значительно меньше, вслѣдствіе

небольшой величины эксцентриситета ведущаго эксцентрика, неправильности подобнаго рода не оказываютъ особаго вліянія и, какъ увидимъ впоследствии, могутъ быть устранены для опредѣленнаго положенія кулисы (при нормальномъ ходѣ). Въ механизмѣ Броуна съ этою цѣлью, какъ извѣстно, устраивается эксцентричная съ круговымъ правиломъ шатунная пара перваго или втораго порядка. Этимъ же принципомъ пользуется и Джой.

Для выясненія значенія серьги Джоя разложимъ движеніе главнаго шатуна машины на два: 1) поступательное по основанію и 2) вращательное (условно) около ея шарнерной оси и выполнимъ эти движенія, расцѣпивъ шатунъ отъ кривошипа.

Поступательное перемѣщеніе шатуна по основанію  $\Omega x$  повлечетъ за собою прямолинейное перемѣщеніе точки  $C_0$  и дуговое перемѣщеніе точки  $e_0$  по дугѣ радіуса  $\Omega_1 e_0 = l$ . Произвольная точка  $a_0$  серьги  $C_0 e_0$  опишетъ при этомъ приближенно дугу эллипса, большая полуось котораго  $a_0 e_0 = a$  совпадаетъ съ основаніемъ, а малая полуось  $C_0 a_0 = b$  съ направлениемъ  $Oy$ , такъ что серьга  $C_0 e_0$  обращается въ такъ называемое приближенное эллиптическое коромысло Эванса (параллелограммъ). Полученную дугу эллипса весьма чувствительно можно замѣнить дугой круга радіуса равнаго радіусу кривизны  $\rho = \frac{a^2}{b}$  эллипса въ точкѣ  $(a_c)$  пересѣченія дуги эллипса съ  $Oy$ . Если длина шатуна  $a_0 f = \frac{a^2}{b}$ , то поступательное перемѣщеніе главнаго шатуна, обуславливающее уклоны производящаго шатуна  $a_0 f$ , не окажетъ никакаго вліянія на положеніе точки  $f$ , которое опредѣлится исключительно размахами шатуна въ вертикальномъ направленіи, т. е. его вращательнымъ идеальнымъ эксцентрикомъ  $\Omega K_0 \frac{C_0 b_0}{K_0 b_0}$ ,  $\delta = 0$  по основанію  $Oy$ , представляющимъ вмѣстѣ съ тѣмъ поступательный эксцентрикъ производящаго шатуна. Наклономъ кулисы на уголъ  $\alpha$  онъ перенесется на направленіе  $z z$  золотниковой линіи въ масштабѣ, приблизительно равномъ  $\text{tg } \alpha \frac{a_0 g_0}{f a_0}$ .

Вращательный эксцентрикъ производящаго шатуна опредѣлится поступательнымъ перемѣщеніемъ основнаго шатуна машины. Такъ какъ движеніе точки  $a_0$ , обуславливаемое этимъ перемѣщеніемъ, не можетъ быть опредѣлено безъ чувствительной погрѣшности элементами идеальнаго эксцентрика, вслѣдствіе значительнаго вліянія короткаго основнаго шатуна машины (особенно въ морскихъ машинахъ), то, ограничиваясь пока грубымъ приближеніемъ, примемъ это поступаніе совершающимся по закону обратныхъ синусовъ. Тогда идеальный эксцентрикъ  $\Omega K_0 \frac{a}{a + b}$ ,  $\delta = -90^\circ$ , опредѣляющій элементы перемѣщенія точки  $a_0$ , перенесется въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{f g_0}{f a_0}$ , на направленіе  $z z$  золотниковой линіи съ измѣненіемъ своего положенія на діаметрально противоположное.

Обозначая

$K_0b_0 = L$ ,  $C_0b_0 = L_1$ ,  $C_0a_0 = b$ ,  $a_0c_0 = a$ ,  $fg_0 = l_1$ ,  $fa_0 = l_2$ ,  $\Omega K_0 = R$ , получим (см. черт. n<sup>o</sup> 58, таб. II) поступательный эксцентрик производящего шатуна  $a_0g_0$ , перенесенный на направление  $zz$ , равнымъ:

$$B = R \cdot \frac{L_1}{L} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2} \operatorname{tg} \alpha = \Omega E'_\xi \text{ (или } \Omega E''_\xi \text{),}$$

а вращательный эксцентрик (отнесенный къ точкѣ  $g_0$ ) —

$$A = R \cdot \frac{a}{a + b} \cdot \frac{l_1}{l_2} = \Omega E_c.$$

Опредѣливъ, такимъ образомъ, величины  $A$  и  $B$ , найдемъ геометрическимъ сложениемъ ихъ искомый результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta_i$ .

На черт. n<sup>o</sup> 71, таб. III, показанъ общій видъ установки механизма на вертикальной паровой машинѣ. Для сравненія съ черт. n<sup>o</sup> 59, таб. II, поставлены одиѣ и тѣ же буквы. На черт. n<sup>o</sup> 65, таб. III представлена совокупность частей, образующихъ механизмъ Джоя, въ большемъ масштабѣ. На таблицѣ XXXV атласа конт. черт. показанъ общій видъ установки механизма Джоя n<sup>o</sup> 1, на вертикальной паровой машинѣ Компаундъ въ  $\frac{1}{20}$  н. в. Въ томъ же масштабѣ представлеиъ механизмъ для паровой машины на таб. XXXIV атласа n<sup>o</sup> 2,  $2^a$ ,  $2^b$ .

77. На черт. n<sup>o</sup> 60, таб. II показано одно изъ видовмѣненій описаннаго механизма Джоя, которое мы обозначимъ подъ номеромъ 2,

Вращательный эксцентрикъ производящаго шатуна образуется шатунной парой,  $E_0a_0$ ,  $a_0c_0$  въ построеніе которой входитъ контръ-кривошипъ  $KE_0$  и серьга  $c_0a_0$ . На черт. показаны два положенія этихъ частей, соответственно двумъ мертвымъ положеніямъ кривошипа. Цѣль устройства ихъ будетъ понятна, если, подобно предыдущему, рассмотримъ отдѣльно два перемѣщенія главнаго шатуна: поступательное и вращательное, совместно съ подобными же перемѣщеніями передаточнаго шатуна  $E_0a_0$ . Пренебрегая вліяніемъ уклоновъ шатуна  $E_0a_0$  къ основанію  $\Omega x$ , найдемъ, что перемѣщеніе точки  $c_0$ , по основанію, съ перемѣщеніемъ проекціи точки  $a_0$  на то же направленіе находятся въ постоянномъ отношеніи, равномъ  $\frac{c_0c_c}{kc_c} = \frac{\Omega K}{\Omega E_0}$ , гдѣ  $\Omega K = R$  и  $\Omega E_0 = r$ , а потому точка  $a_0$  опишетъ дугу эллипса, малая полуось котораго равна  $a_0c_0 = b$  и расположена по оси  $c_cy$ , а большая полуось найдется продолжая  $c_0a_0$  до пересѣченія съ вертикальной осью въ точкѣ  $c_0$ , и опредѣляя величину  $a_0c_0 = a$ .

Легко видѣть, что

$$a_0c_0 = a_0e_0 \cdot \frac{a_0c_0}{a_0c_0} = b \cdot \frac{a_0e_0}{a_0c_0}. \quad \text{Но } \frac{a_0c_0}{a_0c_0} = \frac{kc_c}{c_0k},$$

или на основаніи соотношенія  $\frac{c_0c_c}{kc_c} = \frac{R}{r}$ , которое можетъ быть представлено

въ видѣ  $\frac{c_0 c_c}{k c_c} - 1 = \frac{R}{r} - 1$ , или  $\frac{c_0 k}{k c_c} = \frac{R - r}{r}$ ,

получимъ  $\frac{a_0 e_0}{a_0 c_0} = \frac{r}{R - r}$ .

Такимъ образомъ большая полуось эллипса  $a = b \cdot \frac{r}{R - r}$ . Обозначая наибольшій радиусъ кривизны этого эллипса (точка  $a_c$ ) черезъ  $\rho$ , получимъ

$$\rho = \frac{a^2}{b} = b \left( \frac{r}{R - r} \right)^2.$$

Если принять длину производящаго шатуна  $a_0 f = \rho$ , то вліяніе уклоновъ его на движеніе точки  $f$  будетъ уничтожено.

Это видоизмѣненіе устройства механизма Джоя н<sup>о</sup> 1, не представляющее никакого существеннаго различія въ теоретическомъ отношеніи, позволяетъ избѣжать устройства круговаго правила  $\Omega_1 e_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 59) весьма неудобнаго въ паровозной машинѣ; оно примѣнено Коломенскимъ заводомъ для товарныхъ паровозовъ Компаундъ Ростово-Владикавказской желѣзной дороги и представлено на таб. XXXIV атласа кон. черт. (черт. н<sup>о</sup> 1—1<sup>c</sup> въ  $\frac{1}{20}$  н. в. и черт. н<sup>о</sup> 1<sup>b</sup>, 1<sup>d</sup> въ  $\frac{1}{5}$  н. в.

Опредѣленіе результирующаго эксцентрика совершится безъ затрудненія. Вращательный эксцентрикъ производящаго шатуна  $a_0 f$ , отнесенный къ точкѣ  $g$ , опредѣлится величиною  $r \cdot \frac{fg}{a_0 f} = A = \Omega E_c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 58, таб. II), поступательный же эксцентрикъ, перенесенный на направленіе золотниковой линіи, будетъ —  $B = R \cdot \frac{L_1}{L} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2} \operatorname{tg} \alpha = \Omega E'_\xi$  (или  $\Omega E''_\xi$ ).

78. Механизмъ Джоя н<sup>о</sup> 3, представленный схематически на черт. н<sup>о</sup> 61, таб. II для вертикальной машины, отличается отъ вышеописанныхъ устройствъ способомъ передачи поступательнаго эксцентрика (кривошипа) основной шатуниной пары машины, къ производящему шатуну  $a_0 g_0$  — при посредствѣ вращательной пары  $p_0 d_0$ ,  $O$  (коромысло). Въ вертикальныхъ судовыхъ машинахъ съ балансомъ (коромысломъ), приводящимъ въ движеніе воздушные насосы холодильника, такая конструкція весьма удобно примѣняется и показана на черт. н<sup>о</sup> 104, таб. IV. Устройствомъ серьги  $a_0 c_0$  (черт. н<sup>о</sup> 61) достигается уничтоженіе вліянія уклоновъ производящаго шатуна  $a_0 g_0$  на движеніе шарнирной оси его  $f_0$ .

Въ самомъ дѣлѣ, воображая поступательное перемѣщеніе шатуна по основанію, мы увидимъ, что точка  $a_0$  опишетъ приблизительно дугу эллипса, ибо перемѣщеніе проекціи точки  $a_0$  на основаніе съ перемѣщеніемъ точки  $c_0$  шатуна находятся въ постоянномъ отношеніи, равномъ  $\frac{O c_0}{O d_0}$ . Малая полуось этого эллипса равна  $a_0 c_0 = a_c c_c = (b)$ , а большая ( $a$ ) опредѣлится подобно тому, какъ въ

пунктѣ 77, т. е. величиной  $a = b \cdot \frac{hh_c}{kh} = b \cdot \frac{R-p}{p}$ , гдѣ  $p = kh$ .

Наибольшій радіусъ кривизны ( $\rho$ ) эллипса равенъ  $\rho = b \left( \frac{R-p}{p} \right)^2$ . Если принять длину производящаго шатуна  $a_0 f_0 = \rho$ , то вліяніе уклоновъ его на движеніе шарнерной оси  $f$  будетъ уничтожено.

Эксцентрики  $A$  и  $B$  (элементы механизма) найдутся безъ малѣйшаго затрудненія. Обозначая

$\Omega K_0 = R$ ;  $kb_0 = L_1$ ;  $K_0 b_0 = L$ ;  $0d_0 = l_1$ ;  $0e_0 = l_2$ ;  $a_0 f_0 = l_3$ ;  $f_0 g_0 = l_4$ ;

получимъ  $A = R \frac{l_2}{l_1} \frac{l_4}{l_3}$ ;  $B = R \frac{L_1}{L} \frac{l_3 + l_4}{l_3} \operatorname{tg} \alpha$ .

Въ заключеніе замѣтимъ, что отношеніе  $\frac{R-p}{p}$  можно приблизительно замѣнить отношеніемъ  $\frac{l_2}{l_1 - l_2}$ , такъ что  $\rho = b \left( \frac{l_2}{l_1 - l_2} \right)^2$ .

**79. Кулисса Держе (Dergez).** Существенное различіе этого механизма отъ вышеописанныхъ состоитъ въ сообщеніи золотнику движенія отъ шарнерной оси производящаго шатуна, вслѣдствіе чего вмѣсто передаточной шатунной пары, неизбѣжной въ вышеописанныхъ механизмахъ, употребляется поступательная пара. На черт. п<sup>о</sup> 41, таб. I механизмъ изображенъ схематически.

Производящій шатунъ эксцентрика, образующаго съ кривошиномъ уголь въ  $180^\circ$ , направляется вращательной парой, состоящей изъ круговаго правила  $a_\omega f$  съ шарнерною передвижною осью ( $f$ ). Измѣненіемъ положенія его, при посредствѣ измѣненія положенія поворотнаго рычага  $\Omega_1 f$  съ неподвижной осью вращенія  $\Omega_1$ , достигается измѣненіе элементовъ поступательнаго эксцентрика производящаго шатуна. Для передачи его на золотниковую линію, совпадающую съ основаніемъ  $\Omega x$ , употребляется поступательная пара, состоящая изъ кольца  $AA$ , направляемаго при помощи стержней  $S, S_1$  въ особыхъ направляющихъ  $B, B$ . Золотничный стержень находится на продолженіи стержня  $S_1$ . Для возможности перемѣщенія точки  $a_\omega$ , представляющей кулисный камень, въ кольцѣ  $AA$  устраивается прорѣзъ (кулисса). Построеніе элементовъ  $A$  и  $B$  и результирующаго эксцентрика производится на основаніи пункта 19 и 20 слѣдующимъ образомъ (см. черт. п<sup>о</sup> 43). Откладываемъ  $\Omega E_0 = r = A$  и проводимъ  $\Omega E'_i$  подъ угломъ  $\beta$  къ основанію (если производящій шатунъ выше основанія и обратно). Уголь  $\beta$  опредѣляется изъ уравненія  $\sin \beta = \frac{u}{l}$ , гдѣ  $l = E_\omega a_\omega$ , а ( $u$ ) — разстояніе кулиснаго камня (его центра) до середины кулиussy. Возсталяя изъ точки  $E_0$  перпендикулярахъ къ  $\Omega x$  до пересѣченія съ проведеннымъ направленіемъ въ точкѣ  $E'_i$ , получимъ  $E_0 E'_i = \frac{r u}{l} = B$ . Измѣненіемъ величины ( $u$ ) измѣняется поступательный эксцентрикъ производящаго шатуна (см. пунктъ 50) по основанію параллельному  $\Omega x$ .

80. Обратимся къ отысканію формы кулиussy, удовлетворяющей главнѣйшему условію неизмѣняемости средняго положенія золотника. Вообразимъ кулиssу въ двухъ положеніяхъ  $a_0 c_0 b_0$ ,  $a_\pi c_\pi b_\pi$ , соответствующихъ двумъ мертвымъ положеніямъ кривошипа (см. черт. н<sup>о</sup> 41, таб. I).

Проведя линіи параллельныя основанію  $\Omega x$ , и, отмѣчая середины отрѣзковъ  $a_\pi a_0$ ,  $c_\pi c_0$ ,  $b_\pi b_0$ , получимъ кривую  $a_c c_c b_c$ , представляющую геометрическое мѣсто среднихъ положеній различныхъ точекъ кулиussy  $a_\omega c_\omega b_\omega$ . Оно вмѣстѣ съ тѣмъ представляетъ геометрическое мѣсто среднихъ положеній конца  $a_\omega$  шатуна при движеніи его по различнымъ параллелямъ, отстоящимъ отъ основанія на перемежную величину ( $u$ ). Для того, чтобы среднее положеніе золотника осталось всегда неизмѣннымъ, это геометрическое мѣсто должно быть дугой круга радіуса  $L = E_\omega a_\omega$  и центра  $\Omega$ , слѣдовательно и кулисса должна быть очерчена этимъ радіусомъ \*).

Линейныя опереженія впуска (т. е. открытія оконъ при мертвыхъ положеніяхъ кривошипа), очевидно, постоянны, независимо отъ положенія кулисснаго камня.

Съ цѣлью достиженія минимальнаго скольженія кулисснаго камня въ кулиссѣ, размахи подвѣски или правила  $a_\omega f$  должны быть симметричны для всѣхъ положеній опорной точки  $f$  (шарнерной оси), поэтому точку  $f$  приходится пере-

\*) Точное уравненіе геометрическаго мѣста  $a_c c_c b_c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 41) будетъ  $x^4 + x^2 y^2 - k^2 x^2 + r^2 y^2 = 0$  (1), гдѣ  $k^2 = L^2 - r^2$ . Если кулиссѣ придать форму этой кривой, уравненіе которой, при крайнемъ положеніи ея, напишется, подставляя въ предыдущее уравненіе вмѣсто  $x$  величину  $x \pm r$ , то точное уравненіе геометрическаго мѣста  $a_c c_c b_c$  будетъ  $x^2 + y^2 = L^2$ , т. е. окружность круга радіуса  $L$ . Это и есть правильное и точное рѣшеніе перваго условія — неизмѣнности средняго положенія золотника.

Ограничиваясь точностью перваго приближенія, мы вмѣсто уравненія (1), которое можетъ быть представлено въ видѣ:

$$\frac{x^2}{k^2} + \frac{y^2}{k^2} - 1 + \frac{r^2}{k^2} \frac{y^2}{x^2} = 0,$$

получимъ уравненіе:

$$\frac{x^2}{k^2} + \frac{y^2}{k^2} = 1,$$

preneбрегая величиной:

$$\frac{r^2}{k^2} \frac{y^2}{x^2} \approx \frac{r^2}{k^2} \frac{c^2}{L^2} \approx \left(\frac{c}{L}\right)^2 \cdot \left(\frac{r}{L}\right)^2,$$

т. е. получимъ уравненіе окружности радіуса:

$$k = \sqrt{L^2 - r^2} = L \sqrt{1 - \frac{r^2}{L^2}} \approx L \left(1 - \frac{1}{2} \left(\frac{r}{L}\right)^2\right) \approx L.$$

Наибольшая погрѣшность, представляющая величину  $\left(r \cdot \frac{r}{L}\right)$  втораго порядка, происходитъ при замѣнѣ окружности радіуса  $k$  окружностью радіуса  $L$ , поэтому правильное придать кулиссѣ форму окружности радіуса  $k = \sqrt{L^2 - r^2}$ , хотя при этомъ линейныя опереженія будутъ нѣсколько измѣняться.

## Поправка къ пункту 80.

Вывоска пункта 80, уничтожая пять строкъ отъ 3 до 7 включительно, относится къ пункту 95.

Кривая  $a_e c_e b_e$ , о которой говорится въ пунктѣ 80, очевидно будетъ дуга круга радіуса  $L$ .

Тоже самое относится къ пункту 106 (см. черт. н<sup>о</sup> 117, таб. IV).

## Дополненіе къ пункту 95.

Уравненіе геометрическаго мѣста  $I, I$  (см. черт. н<sup>о</sup> 88, таб. III), предполагая равныя ведущіе эксцентрисы ( $r, \delta$ ) кулиессы, будетъ  $x^4 + x^2 y^2 - k^2 x^2 + r^2 \cos^2 \delta \cdot y^2 = 0$ , гдѣ  $k^2 = L^2 - r^2 \cos^2 \delta$ .

Въ частномъ случаѣ, когда  $\delta = 0$ , получимъ уравненіе, означенное въ выноскѣ пункта 80, а при  $\delta = 90^\circ$ , получимъ  $x^2 + y^2 = L^2$ , т. е. окружность радіуса  $L$  (какъ въ кулиесѣ Деире).

Означенную кривую четвертаго порядка можно замѣнить, какъ показано въ выноскѣ пункта 80, окружностью радіуса  $k = \sqrt{L^2 - r^2 \cos^2 \delta} \approx L - \frac{1}{2} \cdot \frac{r^2 \cos^2 \delta}{L}$ . Это выраженіе слѣдуетъ написать вмѣсто опечатки  $L - r$  на стран. 61 строка 1 снизу и строка 6 снизу, а также на стран. 62 строка 18 снизу.

мѣщать по дугѣ круга одинаково расположенной съ дугой  $a_c c_c b_c$ , т. е. съ геометрическимъ мѣстомъ среднихъ положеній. Выбравъ на оси  $\Omega_y$  или ея продолженіи точку  $\Omega_1$  и, проведя  $\Omega_1 f = \Omega a_c$ , получимъ положеніе опорной, или шарнирной точки  $f$  на одномъ перпендикулярѣ съ точкою  $a_c$ , т. е. удовлетворимъ условію симметричности колебаній центра кулиснаго камня. Этимъ построениемъ опредѣлимъ длину подвѣски (чѣмъ длинѣе, тѣмъ лучше). Перекидной рычагъ закрѣпляется обыкновенно на поворотной оси  $\Omega_1$ , не устраивая особаго перекиднаго валика.

Одинъ изъ недостатковъ описаннаго механизма, несмотря на изящную простоту его, состоитъ въ невозможности получить нормальный угловой элементъ ( $\delta$ ), наименьшій предѣлъ котораго, допускаемый конструкціею механизма, опредѣлится въ  $45^\circ$ . Механизмъ, приспособленный для регулированія отсѣчки, изображенъ детально на таб. XXXVII н<sup>о</sup> 3, н<sup>о</sup> 3<sup>а</sup> атласа констр. чертежей.

## ГЛАВА IV.

### Кулиссо-шатунные механизмы.

Къ этому классу относятся все механизмы, въ которыхъ движеніе производящаго шатуна опредѣляется поступательнымъ и вращательнымъ эксцентриками, имѣющими *одно общее основаніе*. Производящій шатунъ *обыкновенно имѣетъ форму скобы, или кулисы*, вслѣдствіе чего этому классу по существу наиболѣе приличествуетъ названіе *кулисныхъ механизмовъ*. Если въ нѣкоторыхъ изъ нихъ производящій шатунъ и не имѣетъ формы кулисы или скобы, то всегда можно придать ему, какъ увидимъ впослѣдствіи, эту форму, нисколько не измѣняя способа полученія поступательныхъ и вращательныхъ эксцентриковъ его.

Способы построенія производящаго шатуна (кулисы) и его элементарныхъ эксцентриковъ (поступательныхъ и вращательныхъ) могутъ быть весьма разнообразны; простѣйшій изъ нихъ, конечно, будетъ состоять въ образованіи этихъ эксцентриковъ при посредствѣ дѣйствительныхъ эксцентриковъ, закрѣпленныхъ на главномъ валѣ.

Разсмотримъ предварительно тѣ случаи, когда съ этою цѣлью на главномъ валѣ находится всего одинъ эксцентрикъ. Если придать его шатуну форму скобы или кулисы, то получимъ механизмъ извѣстный подъ именемъ кулисы *Пюсъ-Финка*.

81. *Кулисса Пюсъ-Финка* (Pius-Fink) схематически представлена на черт. н<sup>о</sup> 42, таб. I. Дѣйствительный эксцентрикъ образуетъ съ кривошипомъ уголъ въ  $180^\circ$ . Шатунъ  $E_\omega b'_\omega a_\omega b_\omega$  эксцентрика имѣетъ трехплечую форму; подвижная шарнирная ось вращенія его  $b'_\omega$  направляется подвижнымъ членомъ вращательной или поступательной пары не показанной на чертежѣ. Скоба или

кулисса  $a_\omega b_\omega$ , отъ которой заимствуется движеніе золотнику, при посредствѣ промежуточнаго золотничнаго стержня  $md$  и кулиснаго камня  $m$ , имѣетъ дугообразную форму.

Обозначимъ  $E_\omega b'_\omega = l$ , полу хорду кулиussy  $e$ , а переменное разстояніе  $mb'_\omega$  кулиснаго камня до середины  $b'_\omega$  кулиussy черезъ  $u$ .

Движеніе шарнирной оси  $b'_\omega$  производящаго шатуна опредѣляется съ точностью перваго приближенія элементами дѣйствительнаго эксцентрика  $A = \Omega E_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 29, таб. I). Этотъ эксцентрикъ опредѣляетъ вмѣстѣ съ тѣмъ поступательное перемѣщеніе кулиussy; вращательный же эксцентрикъ шатуна  $E_\omega b'_\omega$ , т. е. эксцентрикъ  $\Omega E_0$ ,  $\delta = 180^\circ$  (по основанію  $\Omega y$ ) переносится кулиссою, какъ вращательною парю, имѣющею форму углового рычага, на основаніе параллельное  $\Omega x$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{u}{l}$  (см. пунктъ 40), съ измѣненіемъ своего положенія на діаметральное, или безъ онаго, смотря по тому, заимствуется ли движеніе отъ точки  $m$ , находящейся ниже основанія, или выше его. Обозначая этотъ эксцентрикъ черезъ  $\Omega E_i = \Omega E_0 \frac{u}{l} = B$ , и, складывая его геометрически съ эксцентрикомъ  $\Omega E_0 = A$ , получимъ искомый результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_r$ . Съ измѣненіемъ величины  $u$  эксцентрикъ  $A$  остается безъ измѣненія, а эксцентрикъ  $B$  измѣняется по закону прямой пропорціональности: поэтому геометрическое мѣсто центровъ  $E_r$  результирующихъ эксцентриковъ снова будетъ *прямою перпендикулярною къ основанію* (см. пунктъ 46).

82. Удовлетвореніе перваго главнѣйшаго условія движенія золотника (см. пунктъ 61) достигается выборомъ надлежащей формы кулиussy.

Представимъ себѣ два положенія кулиussy  $a_0 b_0$ ,  $a_\pi b_\pi$  (см. черт. н<sup>о</sup> 42, таб. I), соответствующія двумъ мертвымъ положеніямъ кривошипа. Проведя параллели  $a_\pi a_0$ ,  $e_\pi e_0$  и т. д. и, раздѣляя ихъ пополамъ, мы получимъ рядъ точекъ  $a_c$ ,  $e_c$  и т. д., представляющихъ среднія положенія кулиснаго камня  $m$  (центра кулиснаго камня) при его различныхъ положеніяхъ въ кулиссѣ. Вообразимъ теперь центръ кулиснаго камня переменѣющимся по найденной кривой. Если конечная точка  $d_c$  передаточнаго стержня  $d_c m_c$  окажется неподвижною, то кулисса имѣетъ надлежащую форму, ибо эту точку можно принять (относительно) за среднее положеніе золотника; неподвижною же эта точка можетъ быть лишь единственно тогда, когда геометрическое мѣсто среднихъ положеній кулиснаго камня представляетъ дугу круга *радіуса равнаго длинѣ промежуточнаго золотниковаго стержня  $md$*  при условіи, что центръ его находится на золотниковой линіи, совпадающей въ данномъ случаѣ съ основаніемъ  $\Omega x$ . Кулисса, очерченная этимъ радіусомъ, приблизительно только удовлетворитъ требуемому главному условію движенія золотника. Болѣе точное рѣшеніе вопроса получится придавая кулиссѣ форму дуги круга радіуса  $k = \sqrt{L^2 - r^2}$  (см. выноску пункта 80).

Замѣтимъ, что въ дѣйствительности кулисса никогда не совпадаетъ съ геометрическимъ мѣстомъ среднихъ положеній одновременно всѣми своими точками. Она пересѣкаетъ (средняя линия ея) въ своемъ движеніи эту дугу въ одной лишь точкѣ, положеніе которой измѣняется въ каждый моментъ, и въ моментъ совпаденія ея съ центромъ кулисснаго камня золотникъ находится въ среднемъ положеніи.

При мертвыхъ положеніяхъ кривошипа перемѣщеніе кулисснаго камня въ кулиссѣ не влечетъ, очевидно, перемѣщенія точки  $d$  и слѣдовательно перемѣщенія золотника, поэтому линейныя опереженія впуска его суть величины постоянныя.

Передвиженіе кулисснаго камня производится (см. черт. н<sup>о</sup> 42) поворачиваніемъ перекиднаго валика  $\Omega_1$  при посредствѣ закрѣпленнаго на немъ перекиднаго рычага. Имѣя въ виду, что геометрическое мѣсто среднихъ положеній шарнирной точки  $e$  представляетъ дугу круга радіуса  $ed$  (приблизительно) и центра  $d_c$ , слѣдуетъ подвижную точку опоры  $f$  (вообще точка привѣса) перемѣщать по дугѣ того же радіуса, центръ  $\Omega_1$  которой находился бы на одномъ перпендикулярѣ къ основанію машины, проходящемъ черезъ точку  $d_c$  — среднее положеніе точки  $d$ . Тогда качанія или размахи подвѣски  $l_3$  около опорной точки  $f$  будутъ симметричны для всякаго положенія поворотнаго рычага  $f\Omega_1 = l_4$  и кулисснаго камня  $m$ , а потому скольженіе его въ кулиссѣ будетъ минимальнымъ. На черт. н<sup>о</sup> 52, таб. II показанъ общій видъ установки кулиussy для вертикальной паровой машины. Въ большемъ масштабѣ кулисса изображена на черт. н<sup>о</sup> 153, таб. VI (въ  $\frac{1}{15}$  н. в.) и на черт. н<sup>о</sup> 14, таб. XI атласа констр. чертежей.

Одинъ изъ недостатковъ кулиussy состоятъ въ томъ, что для полученія нормальнаго углового элемента  $\delta_r$  результирующаго эксцентрика приходится сильно увеличивать дугу кулиussy. Если  $c = l$ , то  $\text{tg } \delta_r = \frac{A}{B} = 1$ , т. е.  $\delta_r = 45^\circ$  (см. черт. н<sup>о</sup> 29, таб. I). Съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ  $c$  уголъ  $\delta_r$  уменьшается весьма мало, при этомъ вслѣдствіе вліянія уклоновъ короткаго шатуна увеличиваются неправильности парораспределенія.

Если золотниковая линія расположена выше основанія, то для передачи движенія къ золотнику придется употребить вращательную пару съ неподвижной осью вращенія  $\Omega_2$  (см. черт. н<sup>о</sup> 218, таб. VIII). Само собою понятно, что въ этомъ случаѣ, эксцентриситетъ эксцентрика долженъ образованъ съ направлениемъ кривошипа уголъ равный нулю. На черт. н<sup>о</sup> 219 показано въ разрѣзѣ устройство поступательной направляющей пары, а на черт. н<sup>о</sup> 220 представлена въ разрѣзѣ кулисса съ кулисснымъ камнемъ  $m$ .

83. Кулисса Гейзингеръ фонъ Вальдегъ (Heusinger v. Waldegg) представлена схематически на черт. н<sup>о</sup> 74, таб. III.

Отъ эксцентрика  $\Omega E_0$ , заклиненнаго подъ угломъ  $90^\circ$  къ кривошипу (обыкновенно вмѣсто эксцентрика второй кривошипъ), сообщается движеніе дуго-

образной кулиссѣ, вмѣющей неподвижную ось вращения  $O_1$ . Отъ кулиussy при посредствѣ кулисснаго камня  $m$  и передаточнаго стержня  $mO$  сообщается движеніе производящему шатуну  $c_0g_0$ , крайняя точка  $g_0$  котораго шарнерно связана съ золотниковымъ стержнемъ, перемѣщающимся въ направляющихъ  $B$ . Второе движеніе производящій шатунъ заимствуетъ отъ крѣйцкопфа  $\bar{d}_0$  машины при посредствѣ неизмѣнно связаннаго съ нимъ стержня  $\bar{d}_0c_0$  и вращающейся на немъ гильзы  $c_0$ , сквозь которую проходитъ свободно конецъ производящаго шатуна. Эта гильза или трубка, представляющая съ своею осью вращения направляющую вращательную пару, можетъ быть замѣнена серьгой  $a_0c_0$ , какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 68, таб. III.

Переходя къ опредѣленію элементовъ движенія золотника, замѣтимъ, что перемѣщеніе точки  $c_0$  производящаго шатуна опредѣляется идеальнымъ эксцентрикомъ, равнымъ по величинѣ и положенію кривошину  $\Omega K_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 73, таб. III), если пренебречь вліяніемъ уклоновъ основнаго шатуна машины. Перемѣщеніе точки  $O$ , получающей движеніе отъ качанія кулиussy, опредѣлится эксцентрикомъ  $\Omega E_0$ , перенесеннымъ на направленіе  $Ox_1$  въ масштабѣ, равномъ отношенію  $\frac{u}{c}$  ( $c$  полухорда кулиussy), съ измѣненіемъ своего положенія на диаметрально противоположное. Обозначимъ этотъ эксцентрикъ черезъ  $\Omega A = \Omega E_0 \cdot \frac{u}{c}$ .

Эксцентрикъ  $\Omega A$ , опредѣляющій перемѣщеніе точки  $O$ , можемъ разложить на два слагающіе (черт. н<sup>о</sup> 73)  $\Omega K_0$  и  $\Omega B$ ; тогда эксцентрикъ  $\Omega K_0$ , опредѣляющій два равныя перемѣщенія двухъ точекъ  $c_0$  и  $O$  производящаго шатуна, можетъ быть принятъ за *поступательный эксцентрикъ*, а эксцентрикъ  $\Omega B$  за *вращательный*. Этотъ эксцентрикъ опредѣлитъ то слагающее перемѣщеніе точки  $O$ , которое происходитъ отъ вращения производящаго шатуна около подвижнаго центра  $c_0$ . Относя его къ радіусу  $c_0g_0 = l_1$ , получимъ эксцентрикъ:

$$\Omega C = \Omega B \cdot \frac{l_1}{l}, \quad \text{гдѣ } l = Oc_0.$$

Геометрическая сумма  $\Omega E_i$ ,  $\delta_i$  опредѣлитъ сложное результирующее перемѣщеніе точки  $g$ , передающееся непосредственно золотнику, и являющееся какъ результатъ сложенія рассмотрѣнныхъ двухъ элементарныхъ перемѣщеній производящаго шатуна — поступательнаго и вращательнаго. Съ цѣлью полученія постоянныхъ опереженій впуска (линейныхъ открытій паровыхъ оконъ) и неизмѣняемости средняго положенія золотника, кулиссѣ придаютъ форму дуги круга, радіуса равнаго длинѣ промежуточнаго стержня  $mO$ , и центра  $O$ , а ось вращения  $O_1$  кулиussy избираютъ на одной горизонтали съ точкою  $O$ , при мертвомъ положеніи кривошина.

84. Результирующій эксцентрикъ механизма Гейзингера можетъ быть построенъ геометрическимъ сложеніемъ элементовъ слагающихъ движеній точки  $g_0$ , которая она заимствуетъ порознь отъ кривошина и дѣйствительнаго эксцентрика.

Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ сначала кулису разобщенной отъ шатуна эксцентрика; тогда движеніе точки  $g_0$  опредѣлится элементами (см. черт. н<sup>о</sup> 73, таб. III).

$$A = \Omega E_c = \Omega K_0 \cdot \frac{Og_0}{Oc_0} = R \cdot \frac{l_2}{l}, \quad \delta = 90^\circ, \quad \text{гдѣ } Og_0 = l_2; Oc_0 = l.$$

Представляя себѣ теперь производящій шатунъ  $g_0c_0$  разобщеннымъ отъ кривошипа, а кулису снова соединенной съ эксцентриковымъ шатуномъ, получимъ перемѣщеніе точки  $O$ , опредѣляемое идеальнымъ эксцентрикомъ:

$$\Omega A = \Omega E_0 \cdot \frac{u}{c} = r \cdot \frac{u}{c},$$

а перемѣщеніе точки  $g_0$ , опредѣляемое эксцентрикомъ:

$$B = \Omega E_\xi = \Omega A \cdot \frac{c_0g_0}{Oc_0} = r \cdot \frac{u}{c} \cdot \frac{l_1}{l}.$$

Геометрическая сумма ихъ дастъ искомый результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta_i$ , а геометрическое мѣсто ихъ центровъ (т. е. точекъ  $E_i$ ) представится прямою  $E_cE_i \perp$  къ  $\Omega K_0$ .

85. На черт. н<sup>о</sup> 68, таб. III, показано другое расположеніе механизма Гейзингера съ прямолинейной кулиссой.

Прямолинейность кулисы можетъ быть достигнута, если сообщить движеніе производящему шатуну не отъ кулиснаго камня, а отъ нѣкоторой промежуточной точки ( $e$ ) подвѣски  $mf$ , при этомъ линейныя открытія паровыхъ оконъ при мертвыхъ положеніяхъ кривошипа и среднее положеніе золотника могутъ быть неизмѣнны, если придать рычагу  $fO_2$  опредѣленную величину.

Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ кривошипъ въ мертвомъ положеніи, какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 68, и будемъ перемѣщать точку  $e$  по дугѣ круга радіуса  $Oe$ , при неподвижномъ стояннн кулисы. Этимъ условіемъ, какъ извѣстно опредѣляется неизмѣнность линейныхъ опереженій впуска золотника. Точка  $m$ , перемѣщаясь прямолинейно въ кулиссѣ, заставитъ конецъ  $f$  подвѣски  $mf$  перемѣщаться по нѣкоторой кривой, которую съ достаточною для практики точностью возможно замѣнить дугою круга.

Радіусъ этого круга опредѣлится приблизительно слѣдующимъ построеніемъ (см. черт. н<sup>о</sup> 105, таб. IV). Мгновенный центръ вращенія точки  $m'$  подвѣски  $m_1f_1$ , въ моментъ перемѣщенія камня  $m_1$  изъ его крайняго положенія, опредѣлится въ точкѣ  $c_1$  пересѣченія перпендикуляра  $m_1c_1$  съ продолженнымъ радіусомъ  $Oe_1$ , а мгновенный центръ вращенія точки  $f'$  долженъ быть на прямой, соединяющей точку  $f_1$  съ центромъ  $c_1$ . Точно также найдемъ мгновенный центръ ( $c_2$ ) вращенія подвѣски, при самомъ верхнемъ ея положеніи. Этимъ построеніемъ мы опредѣлимъ точку  $O_2$ , которая приблизительно можетъ быть принята за центръ круговаго направленія точки  $f$ .

Обозначая  $ef = a$ ,  $mf = b$  (см. черт. н<sup>о</sup> 68, таб. III) и длину рычага  $d_0, \pi O_1$  черезъ  $c$ , получимъ идеальный эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе точки  $m$  отъ вращенія кулисы равнымъ:  $\frac{ru}{c}$ ,  $\delta = 0$  (см. пунктъ 84); умно-

жая линейный элементъ его на отношеніе  $\frac{ef}{mf} = \frac{a}{b}$ , получимъ элементы перемѣщенія точки  $e$  и точки  $O$  производящаго шатуна равными:  $r \frac{u}{c} \frac{a}{b}$ ,  $\delta = 0$ , и наконецъ умноженіемъ линейнаго элемента  $r \frac{u}{c} \frac{a}{b}$  на отношеніе:

$$\frac{c_0 g_0}{O c_0} = \frac{l_1}{l}$$

получимъ окончательно эксцентрикъ:

$$B = r \frac{u}{c} \frac{a}{b} \frac{l_1}{l}, \quad \delta = 0.$$

Эксцентрикъ

$$A = R \frac{O g_0}{O c_0} = R \frac{l_2}{l} \text{ останется безъ измѣненія.}$$

86. На черт. н<sup>о</sup> 110, таб. IV показано другое построеніе радіуса поворотнаго рычага, тѣмъ же способомъ какъ и въ пунктѣ 85, но относящееся къ тому случаю, когда движеніе производящему шатуу сообщается не промежуточной точкой подвѣски, а точкой  $e_1$ , взятой на ея продолженіи. Какъ видно ось вращенія  $O_2$  поворотнаго рычага расположится по другую сторону подвѣски. Этотъ способъ замѣны, въ томъ или другомъ видѣ, криволинейной кулисы прямолинейной можетъ быть примѣненъ вообще во всѣхъ случаяхъ, гдѣ кулисса имѣетъ *неподвижную ось вращенія*.

87. Согласно опредѣленію кулиссо-шатуновыхъ механизмовъ, механизмъ Гейзингера можно измѣнить слѣдующимъ образомъ, нисколько не измѣняя способа образованія результирующаго эксцентрика. Точку  $g_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 74 и 68) примемъ за ось вращенія кулисы, измѣнивъ положеніе радіуса кривизны ея на обратное, а точку  $O$  примемъ за неподвижную ось вращенія стержня  $g_0 c_0$ . Тогда поступательное перемѣщеніе кулисы опредѣлится эксцентрикомъ  $A = R \frac{l_2}{l}$  (см. пунктъ 84), а вращеніе ея эксцентрикомъ  $B = r \frac{u}{c}$ , измѣняющимся прямо пропорціонально радіусу вращенія  $u$ .

На черт. н<sup>о</sup> 92, таб. IV представлено общее расположеніе частей механизма Гейзингера на паровозной машинѣ; подобное же устройство изображено на таб. XXXIII атласа конт. черт. н<sup>о</sup> 1, 1<sup>а</sup> въ  $\frac{1}{10}$  н. в. и на той же таблицѣ черт. н<sup>о</sup> 9.

88. *Кулисса Фидлера* (Fidler) изображена на таб. III, н<sup>о</sup> 66. Все различіе отъ механизма Гейзингера состоитъ въ томъ, что поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна  $a_0, \pi d_0$  заимствуются отъ одной эксцентриковой шатуной пары  $E_0 b_0$ ,  $b_0$ , расположенной по основанію  $\mathcal{O}y$ , перпендикулярному къ основанію машины. Кулисса, имѣющая неподвижную ось вращенія ( $O_1$ ), передаетъ поступательный эксцентрикъ  $\mathcal{O}E_0$  основнаго шатуна  $E_0 b_0$ , въ масштабѣ  $\frac{u}{l_3}$ , съ измѣненіемъ его положенія на діаметрально противополо-

ложное, или без оного, смотря по тому, какое положеніе занимает кулисный камень ( $m$ ) относительно оси вращенія кулисы.

Располагая кулисный камень ниже точки  $O$  (+) и обозначая:

$$\Omega E_0 = r; \quad b_0 O_1 = l_5; \quad c_0 b_0 = l_1; \quad c_0 E_0 = l_2; \quad c_0 d_0 = l_3; \\ d_0 f_0 = l_4; \quad f_0 a_{0,\pi} = l_6$$

найдемъ, что перемѣщеніе точки  $(a_{0,\pi})$  производящаго шатуна опредѣляется эксцентриккомъ  $\Omega E_i = \Omega E_0 \cdot \frac{u}{l_5} = r \cdot \frac{u}{l_5}$ ,  $\delta = 0$  (см. черт. n° 67, таб. III),

Легко видѣть, что перемѣщеніе точки  $(d_0)$  того же шатуна опредѣляется эксцентриккомъ:

$$\Omega E_\xi = \Omega E_0 \cdot \frac{b_0 c_0}{b_0 E_0} = r \cdot \frac{l_1}{l_1 + l_2}, \quad \delta = 90^\circ.$$

Разлагая эксцентрикъ  $\Omega E_i$  на два слагающихъ  $\Omega E_\xi$  и  $\Omega E_c$ , найдемъ, что эксцентрики  $\Omega E_\xi$ , совпадающіе между собою и опредѣляющіе два равныя перемѣщенія двухъ конечныхъ точекъ  $a_{0,\pi}$  и  $d_0$ , опредѣляютъ поступаніе производящаго шатуна, а вращеніе его около подвижной оси  $d_0$  опредѣлится эксцентриккомъ  $\Omega E_c$ , отнесеннымъ къ радіусу  $d_0 a_{0,\pi} = f_0 d_0 + f_0 a_{0,\pi} = l_4 + l_6$ ; относя его къ радіусу  $f_0 d_0 = l_4$ , получимъ эксцентрикъ  $\Omega E'_c = \Omega E_c \cdot \frac{l_4}{l_4 + l_6}$ .

Геометрическая сумма  $\Omega E'_i$ ,  $\delta'_i$  представитъ искомый результирующій эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе точки  $f_0$ , которое посредствомъ направляющей пары  $B$ ,  $S_i$  передается золотниковому стержню.

89. Результирующій эксцентрикъ механизма Фидлера можетъ быть построенъ геометрическимъ сложеніемъ элементовъ слагающихъ движеній точки ( $f_0$ ) производящаго шатуна, которые она заимствуетъ порознь отъ основнаго шатуна при посредствѣ качающейся кулисы и передаточнаго шатуна  $c_0 d_0$ .

Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ сперва отсутствіе шатуна  $c_0 d_0$ , а точку  $d_0$  въ среднемъ ея положеніи  $\bar{d}_c$ ; тогда перемѣщеніе точки  $f$  опредѣлится элементами

$$B = \Omega E_0 \frac{u}{l_5} \cdot \frac{f_0 d_0}{a_0 d_0} = r \frac{u}{l_5} \cdot \frac{l_4}{l_4 + l_6}, \quad \delta = 180^\circ.$$

Представляя себѣ теперь производящій шатунъ разобщеннымъ отъ кулисы, шатунъ  $c_0 d_0$  снова соединеннымъ съ основнымъ шатуномъ, получимъ перемѣщеніе точки  $f_0$  около неподвижнаго центра  $a_{0,\pi}$ .

Такъ какъ перемѣщеніе точки  $d_0$  относительно центра  $a_{0,\pi}$  опредѣляется элементами

$$\Omega E_0 \frac{b_0 c_0}{b_0 E_0}, \quad \delta = 90^\circ,$$

то перемѣщеніе точки  $f_0$  опредѣлится элементами

$$\Omega E_0 \frac{b_0 c_0}{b_0 E_0} \cdot \frac{a_0 f_0}{a_0 d_0}, \quad \delta = 90^\circ,$$

или эксцентриккомъ

$$A = r \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \frac{l_6}{l_4 + l_6}, \quad \delta = 90^\circ.$$

Геометрическая сумма элементов  $A$  и  $B$  даст искомый результирующий эксцентрик. Вследствие неизмѣнности элемента  $A$  геометрическое мѣсто центров результирующих эксцентриковъ представится прямою перпендикулярной къ направлению кривошипа.

Механизмъ Фидлера находитъ примѣненіе въ паровозахъ, гдѣ дѣйствительный эксцентрикъ  $\Omega E_0$  можетъ быть съ успѣхомъ замѣненъ контръ-кривошипномъ.

90. Согласно опредѣленію кулиссо-шатунныхъ механизмовъ, механизмъ Фидлера можетъ быть видоизмѣненъ слѣдующимъ образомъ, нисколько не измѣняя способа образования результирующаго эксцентрика. Примемъ точку  $a_0, \pi$  (см. черт. н<sup>о</sup> 66, таб. III) за неподвижную ось вращения, а ось вращения кулисы перенесемъ въ точку  $f_0$ , тогда получимъ механизмъ, представленный на чертежѣ н<sup>о</sup> 118, таб. IV.

Основной шатунъ  $Eb$  вмѣстѣ съ круговымъ правиломъ  $l_5$  представляетъ шатунную пару Броуна, съ помощью которой, какъ извѣстно (см. пунктъ 72), можно уничтожить вліяніе уклоновъ шатуна  $l_3$ , что особенно важно въ случаѣ совпаденія осей  $O_2$  и  $O_1$ , влекущемъ за собою укорачиваніе шатуна  $l_3$ . Этотъ случай, въ формѣ самостоятельнаго механизма, описанъ въ Le Génie civil. Tome XIV, p. 61. Nouveau système de distribution par tiroir. Augustin Normand, и представленъ на черт. н<sup>о</sup> 175, 175<sup>a</sup>, таб. VI. Чертежъ не требуетъ поясненій, ибо сравнительно съ черт. н<sup>о</sup> 118, таб. IV поставлены одиѣ и тѣ же буквы.

Элементы  $A$  и  $B$  опредѣлятся безъ затрудненія. Эксцентрикъ

$$\Omega E_{\xi} = A = r \frac{l_1}{l_1 + l_2}, \quad \delta = 90 \text{ (см. черт. н}^{\circ} 119)$$

опредѣлитъ поступаніе кулисы, а эксцентрикъ  $\Omega E_c = B = r \frac{u}{l_3}$ , отнесенный къ радіусу вращеніе  $u$  — вращенія ея.

91. Механизмъ Sjövall (Bangbro, Suède) примѣняется къ машинамъ съ двумя цилиндрами съ кривошипами подъ угломъ  $90^{\circ}$  (сдвоенныя машины и машины Компаундъ). Поступательные и вращательные эксцентрики производящаго шатуна для каждаго цилиндра заимствуются отдѣльно отъ каждаго крейцкофа кривошипной шатунной пары, что вполне возможно, благодаря расположенію кривошиповъ подъ угломъ въ  $90^{\circ}$ . Принципіально этотъ механизмъ не различается отъ механизма Гейзингера, но заслуживаетъ вниманія, благодаря остроумному употребленію въ дѣло двухъ кривошиповъ, расположенныхъ подъ прямымъ угломъ.

Механизмъ представленъ на черт. н<sup>о</sup> 80 и 81, таб. III. На черт. н<sup>о</sup> 80 изображенъ механизмъ, сообщающій движеніе золотнику малаго цилиндра вертикальной паровой машины Компаундъ, а на чертежѣ н<sup>о</sup> 81 — механизмъ, сообщающій движеніе золотнику большаго цилиндра той же машины. Въ составъ механизма, относящагося къ малому цилиндру, входитъ вращательная пара  $O_1 e_{\pi}, O_1$ , подвижной членъ которой  $O_1 e_{\pi}$ , посредствомъ серьги  $e_{\pi} b_{\pi}$ , сообщенъ

съ шатуномъ  $K_{\pi} b_{\pi}$  машины. Въ составъ механизма, относящагося къ большому цилиндру (см. черт. n° 81), входитъ вращательная пара  $g e'_{\pi/2}$ ,  $O_2$ , подвижной членъ которой  $g e'_{\pi/2}$  сообщенъ съ шатуномъ  $C_{\pi/2} b'_{\pi/2}$  большого цилиндра. На осяхъ  $O_1$  и  $O_2$  заклинены кулисы, передающія совокупно съ рычагами  $O_1 e_{\pi}$  и  $g e'_{\pi/2}$  поступательные эксцентрики (кривошипъ) основныхъ шатунныхъ паръ производящимъ шатуномъ  $a_0 d_{\pi}$ ,  $a'_{\pi/2} d'_{\pi/2}$ .

Обозначая

$O_1 f_{\pi} = l_1$ ,  $O_1 e_{\pi} = l$ ,  $g O_2 = l_2$ ,  $O_2 e'_{\pi/2} = l_3$ ,  $\Omega K_{\pi} = \Omega C_{\pi/2} = R$  и принимая  $\omega a_{0,\pi} = \omega d_{\pi}$ ,  $\omega_1 a'_{\pi/2} = \omega_1 d'_{\pi/2}$ , получимъ идеальный эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе точки  $d_{\pi}$  (см. черт. n° 86, таб. III),  $\Omega E_{\pi} = R \frac{l_1}{l}$ , а идеальный эксцентрикъ, опредѣляющій перемѣщеніе точки  $\omega$ ,  $\Omega E_c = \frac{1}{2} \Omega E_{\pi}$ . Такимъ образомъ мы опредѣлили одно слагающее движеніе точки  $\omega$ , которое она заимствуетъ отъ кривошипа малаго цилиндра.

Разсматривая перемѣщеніе точки  $a_{0,\pi}$ , получимъ идеальный эксцентрикъ  $\Omega E'_{\pi} = R \cdot \frac{u}{l_3}$ <sup>1)</sup>, гдѣ  $u$  разстояніе центра кулиснаго камня  $m$  до оси вращенія  $O_2$ , а перемѣщеніе точки  $\omega$  опредѣлится эксцентриккомъ

$$\Omega E'_{\xi} = \frac{1}{2} \Omega E'_{\pi}.$$

Такимъ образомъ мы опредѣлили второе слагающее перемѣщеніе точки  $\omega$ , которое она заимствуетъ отъ кривошипа большого цилиндра. Результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_i$ ,  $\delta_i$  опредѣлитъ движеніе золотника, отсѣкающаго паръ *внутренними ребрами своихъ перекрышъ* (см. пунктъ 13).

Элементы  $A = \frac{1}{2} R \frac{l_1}{l}$ ,  $B = \frac{1}{2} R \frac{u}{l_3}$  будутъ отрицательные, если вообразить начальное положеніе кривошипа, т. е. положеніе кривошипа для прямого хода поршня (см. пунктъ 4).

Обращаясь къ золотнику большого цилиндра, найдемъ идеальный эксцентрикъ (см. черт. n° 87, таб. III)  $\Omega_1 E_c = R \cdot \frac{l_2}{l_3} \cdot \frac{1}{2}$ , передающійся точкѣ  $\omega_1$  вращательной парой  $g e'_{\pi/2}$ ,  $O_2$  и эксцентрикъ  $\Omega_1 E_{\xi} = R \frac{u_1}{l} \cdot \frac{1}{2}$ , передающійся той же точкѣ  $\omega_1$  качающейся кулиссой. Результирующій эксцентрикъ  $\Omega_1 E_i$ ,  $\delta_i$  опредѣлитъ движеніе золотника, отсѣкающаго паръ *внѣшними ребрами своихъ перекрышъ*.

Такимъ образомъ, благодаря тому обстоятельству, что кривошипъ машины Компаундъ расположенъ подъ угломъ 90°, возможно было воспользоваться принципомъ, положеннымъ въ основаніе механизма Гейзингера, не употребляя эксцентрика.

<sup>1)</sup> Оси  $O_2$ ,  $O_2$  составляютъ продолженіе одна другой, точно также какъ оси  $O_1$ ,  $O_1$ .

Ливейныя опереженія впуска и среднее положеніе золотника не будутъ зависѣть отъ положенія кулисныхъ камней  $m, m'$ , если кулиссамъ придать форму круговую опредѣленными радіусами  $ma_{0,\pi}, m_1 d'_{\pi/2}$ .

Точки  $O_1, O_2, a_{0,\pi}$  при мертвыхъ положеніяхъ кривошипа должны быть расположены на одной прямой параллельной золотниковой линіи.

На таб. XXXVII атласа констр. черт. н<sup>о</sup> 1—1<sup>d</sup> въ  $1/15$  н. в. изображенъ общій видъ и детали механизма Sjövall на вертикальной паровой машинѣ Компаундъ. (Боковой видъ малаго цилиндра н<sup>о</sup> 1,—большаго н<sup>о</sup> 1<sup>a</sup>. Фасадъ н<sup>о</sup> 1<sup>b</sup>. Планъ н<sup>о</sup> 1<sup>c</sup>. Горизонтальный разрѣзъ двухъ механизмовъ большаго и малаго цилиндра н<sup>о</sup> 1<sup>d</sup>).

92. Построеніе результирующаго эксцентрика въ томъ случаѣ, когда точка  $\omega$  раздѣляетъ длину  $a_{0,\pi} d_\pi$  производящаго шатуна на части  $a_{0,\pi} \omega = a, \omega d_\pi = b$  можетъ быть произведено слѣдующимъ образомъ. Построивъ эксцентрики  $\Omega E_\pi$  и  $\Omega E'_\pi$  (см. черт. н<sup>о</sup> 86, таб. III), опредѣляющіе перемѣщенія двухъ конечныхъ точекъ  $d_\pi, a_{0,\pi}$ , соединяемъ  $E_\pi, E'_\pi$  прямой, которую точкой  $E_i$

раздѣляемъ на части, находящіяся въ данномъ отношеніи, т. е.  $\frac{E_i E_\pi}{E_i E'_\pi} = \frac{b}{a}$ .

Эксцентрикъ  $\Omega E_i$  будетъ искомымъ результирующей.

Въ самомъ дѣлѣ, разложимъ эксцентрики  $\Omega E_\pi$  и  $\Omega E'_\pi$  на слагающіе:  $\Omega E_i, \Omega A, \Omega E_i, \Omega B$ . Эксцентрики  $\Omega A, \Omega B$ , какъ находящіяся въ отношеніи  $\frac{b}{a}$ , очевидно, опредѣлятъ вращеніе точекъ  $d_\pi, a_{0,\pi}$  около шарнерной оси  $\omega$  и потому не произведутъ вліянія на движеніе золотника, которое опредѣлится исключительно поступательнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_i$ . Въ частномъ случаѣ, когда ось  $\omega$  лежитъ посрединѣ производящаго шатуна, точка  $E_i$  находится посрединѣ отрѣзка  $E_\pi E'_\pi$ .

Такимъ же способомъ можетъ быть найденъ результирующей эксцентрикъ механизма Гейзингера. Опредѣливъ эксцентрикъ  $\Omega A$  (см. черт. н<sup>о</sup> 73, таб. III)

$\Omega A = r \frac{u}{c}$ , соединяемъ точку  $A$  съ  $K_0$  и раздѣляемъ точкою  $E_i$  отрѣзокъ  $K_0 A$  вышнимъ образомъ на части  $\frac{AK_0}{K_0 E_i} = \frac{\theta c_0}{c_0 g_0} = \frac{l}{l_1}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 74).

Эксцентрикъ  $\Omega E_i$  будетъ результирующей.

Замѣтимъ, что опредѣленіе движенія золотника въ механизмѣ Sjövall идеальнымъ эксцентрикомъ составитъ лишь грубое приближеніе, такъ какъ вслѣдствіе уклоновъ основныхъ шатуновъ машины движеніе золотника весьма чувствительно отклоняется отъ идеальнаго.

93. Механизмъ Кирка (Kirk, Bruce-Douglas) представленъ схематически на черт. н<sup>о</sup> 62, таб. II.

Поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна, имѣющаго форму дугобразной кулисы  $S_0$ , занимаютъ, при посредствѣ вращательныхъ паръ, отъ основной кривошипной шатунной пары машины.

Обозначая

$$\Omega K_0 = R, \quad c_0 b_0 = L_1, \quad K_0 b_0 = L, \quad c_0 h_0 = l_1, \quad c_0 i_0 = l_2, \quad h_0 n_0 = l_3, \\ n_0 f_0 = l_4, \quad 0 f_0 = l_5, \quad 0 d_0 = l_6$$

и расстояние кулисного камня  $m$  до оси вращения  $f_0$  кулисы через  $u$ , получим приблизительно поступательный эксцентрик кулисы (см. черт. н° 73, таб. III)

$$\Omega E_c = A = R \cdot \frac{l_5}{l_6}, \quad \delta = 90^\circ.$$

Вращательный эксцентрик ее заимствуется от вращательного эксцентрика (кривошипа) основного шатуна машины, отнесенного къ радиусу  $L_1$ ; обозначая его через  $\Omega E_\xi$ , получимъ

$$\Omega E_\xi = B = R \cdot \frac{L_1}{L} \cdot \frac{l_1 + l_2}{l_2} \cdot \frac{u}{l_4}.$$

Съ цѣлю полученія постоянного опереженія впуска и неизмѣннаго средняго положенія золотника между и т. д. независимо отъ положенія кулиснаго камня, кривизна кулисы  $S_0$  принимается равною радиусу круга, равнаго длинѣ промежуточнаго золотниковаго стержня  $mt_0$ .

Для уничтоженія же вліянія значительныхъ уклоновъ шатуна  $h_0 n_0$  на качанія кулисы Киркъ употребляетъ совокупность частей  $0_1 i_0$ ,  $i_0 h_0$ ;  $h_0 n_0$ , которыя, при неподвижной точкѣ  $n_0$ , образуютъ такъ называемый сокращенный параллелограммъ Уатта, въ которомъ точка  $c_0$  опишетъ кривую (лемнискоиду), весьма мало отклоняющуюся отъ прямой  $\Omega x$ . Воображая поступательное перемѣщеніе шатуна по основанію (расцѣпивъ его отъ кривошипа и серьгу  $b_0 d_0$  отъ балансира  $d_0 p_0$ ), и слѣдовательно прямолинейное перемѣщеніе точки  $c_0$ , мы увидимъ, что точка  $n_0$  будетъ почти неподвижна. Такимъ образомъ компенсируются уклоны шатуна  $h_0 n_0$ , происходящіе отъ поступательнаго перемѣщенія основнаго шатуна.

Замѣтимъ и здѣсь, что опредѣленіе движенія золотника результирующимъ идеальнымъ эксцентрикомъ составляетъ грубое приближеніе къ истинѣ, вслѣдствіе вліянія значительныхъ уклоновъ основнаго шатуна машины къ основанію  $\Omega x$ .

Механизмъ Кирка съ удобствомъ примѣняется въ вертикальныхъ парадныхъ машинахъ съ коромысловъ, сообщающимъ движеніе воздушнымъ насосамъ холодильника. Этимъ коромысловъ пользуются для помѣщенія на немъ кулисы. На черт. н° 70, таб. III представлено общее расположеніе частей механизма Кирка на вертикальной пародной машинѣ. Легко замѣтить, что ось вращения  $f_x$  кулисы относительно оси вращения  $O$  балансира расположена по другую сторону сравнительно съ предыдущимъ устройствомъ. Такое расположеніе влечетъ за собою отсѣчку внутренними ребрами перекрышъ золотника. Элементы  $A$  и  $B$  будутъ въ этомъ случаѣ отрицательны. На черт. н° 72, таб. III представлена совокупность частей механизма Кирка въ большемъ масштабѣ для золотника, отсѣкающаго паръ вѣшними ребрами его перекрышъ.

94. Кулисса Стефенсона, Гуча и Аллана представляют старѣйшіе кулисные механизмы. Въ построение производящаго кулиснаго шатуна каждаго изъ нихъ, входятъ двѣ эксцентриковыя шатунныя пары, образующія поступательныя и вращательныя идеальныя эксцентрики. Устройство ихъ заключается въ слѣдующемъ общемъ механизмѣ (см. черт. н<sup>о</sup> 88, таб. III).

На главномъ валѣ заклипываются два эксцентрика, вообще говоря, съ различными элементами  $r_1\delta_1$ ;  $r_2\delta_2$ . Эти эксцентрики своими шатунами  $L$ ,  $L$  сообщаютъ движеніе производящему шатуну — кулиссѣ  $A_0B_0$ . Отъ этой кулиussy сообщается движеніе золотнику однимъ изъ слѣдующихъ трехъ способовъ.

1) Кулисса  $A_0B_0$  нѣкоторою точкою  $p_0$  подвѣшивается къ поворотному рычагу  $C\Omega_1$ , съ помощью котораго можетъ измѣнять свое положеніе. Золотничный стержень направляется поступательной или вращательной парой, подвижной членъ которой при посредствѣ кулиснаго камня связанъ съ кулиссой, такъ что измѣненіе положенія кулиussy влечетъ за собою измѣненіе положенія золотника.

Такое устройство, представляющее кулису Стефенсона, показано отдѣльно на черт. н<sup>о</sup> 78, таб. III. Положеніе кулиussy опредѣляется величиною  $u_1$ , представляющею разстояніе точки подвѣса  $\omega$  отъ направленія основанія  $\Omega x$ .

2) Кулисса подвѣшивается къ неподвижной точкѣ  $c$  (см. черт. н<sup>о</sup> 88, таб. III) и потому не измѣняетъ своего положенія относительно основанія  $\Omega x$ . Передача движенія золотнику отъ кулиussy совершается при посредствѣ промежуточнаго золотничнаго стержня  $md$ , который можетъ измѣнять свое положеніе. Такое устройство представляетъ кулису Гуча; оно показано отдѣльно на черт. н<sup>о</sup> 116, таб. IV. Въмѣсто направляющей вращательной пары  $pO$ ,  $O$  можетъ быть устроена поступательная пара, какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 84, таб. III. Положеніе промежуточнаго стержня опредѣляется разстояніемъ  $u_2$  кулиснаго камня отъ направленія основанія.

3) Наконецъ, измѣненіе элементовъ перемѣщенія золотника можетъ быть достигнуто одновременнымъ измѣненіемъ двухъ величинъ  $u_1$ ,  $u_2$ , т. е. измѣненіемъ положенія кулиussy и промежуточнаго золотничнаго стержня. Эта идея осуществлена въ механизмѣ Аллана, представленномъ схематически на чертѣхъ н<sup>о</sup> 90, таб. III и на черт. н<sup>о</sup> 106, таб. IV.

95. *Кулисса Стефенсона.* Механизмъ, извѣстный подъ именемъ кулиussy Стефенсона былъ изобрѣтенъ въ 1843 г. Новсе, и впервые примененъ къ паровому знаменитымъ Робертомъ Стефенсономъ.

Обратимся предварительно къ отысканію формы кулиussy, удовлетворяющей главнѣйшему условію — неизмѣнности средняго положенія золотника.

Вообразивъ кривошипъ въ начальномъ положеніи (см. черт. н<sup>о</sup> 88, таб. III), станемъ переищать кулису изъ одного крайняго положенія въ другое. Концы  $A_0$  и  $B_0$  кулиussy опишутъ при этомъ дуги круговъ  $a_0A_0$ ,  $b_0B_0$ , центры коихъ находятся въ точкахъ  $E'_r$ ,  $E''_r$ , а радіусы равны длинѣ эксцентриковыхъ шатуновъ. Воображая кривошипъ въ правой мертвой точкѣ, мы снова найдемъ п

редвиженіемъ кулисы дуги круговъ  $a_{\pi}A_{\pi}$ ,  $b_{\pi}B_{\pi}$ , описанныя тѣми же радіусами изъ точекъ  $E'_{\pi}$ ,  $E''_{\pi}$ .

Средины сѣкущихъ прямыхъ  $A_{\pi}A_0$  и т. д...  $B_{\pi}B_0$  опредѣляютъ геометрическое мѣсто точекъ, обозначенныхъ кривою  $I$ ,  $I$ . Очевидно эта кривая тогда только будетъ непрерывна и тогда только выразитъ общее геометрическое мѣсто среднихъ положеній концовъ кулисы между двумя, соответствующими мертвымъ положеніямъ кривошипа, когда длины  $L$  эксцентриковыхъ шатуновъ равны между собою. Въ противномъ случаѣ мы получили бы отдѣльныя кривыя, проходящія черезъ точки  $A_c$ ,  $B_c$ . Съ точностью перваго приближенія кривая  $I$ ,  $I$  можетъ быть замѣнена дугою круга, проведенною изъ центра  $\Omega$  радіусомъ равнымъ длинѣ  $L$ .

Въ самомъ дѣлѣ, если допустить, что прямолинейное направленіе  $A_{\pi}A_0$  есть среднее направленіе точки  $A$ , перемѣщающейся по нѣкоторой вытянутой сжатой кривой при движеніи кулисы, то среднее положеніе между и т. д. точки  $A$  найдется съ точностью перваго приближенія, проводя изъ центра вала  $\Omega$  радіусомъ равнымъ длинѣ  $L$  шатуна засѣчку  $A_c$  (см. пунктъ 11 и пунктъ 19); то же самое относится къ точкѣ  $B$ , для всѣхъ вообще положеній кулисы, опредѣляемыхъ величинами  $u_1$ . Отсюда слѣдуетъ, что геометрическое мѣсто среднихъ положеній концовъ кулисы есть дуга круга, описанная изъ центра  $\Omega$  радіусомъ равнымъ длинѣ  $L$  эксцентриковаго шатуна \*).

Золотниковый стержень, совпадающій съ направленіемъ основанія  $\Omega x$  (см. черт. н<sup>о</sup> 78, таб. III), оканчивается кулиснымъ камнемъ  $m$ , помѣщаемымъ въ прорѣзѣ скобы, или въ кулиссѣ. Представимъ себѣ этотъ камень въ среднемъ положеніи  $m_c$  между и т. д. Для тѣхъ положеній кулисы, при которыхъ конечныя точки  $A$  и  $B$  совпадаютъ съ основаніемъ, это положеніе будетъ, понятно, находится на кривой  $I$ ,  $I$ . Если теперь кулису взять прямолинейной, какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 88, таб. III и вообразить ее въ положеніи  $A_cB_c$  среднемъ между тѣми двумя  $A_0B_0$  и  $A_{\pi}B_{\pi}$ , которыя она занимаетъ при двухъ мертвыхъ положеніяхъ кривошипа, то, при измѣненіи величины  $u_1$ , т. е. при перемѣщеніи кулисы, направленіе прямой  $A_cB_c$  будетъ измѣняться и это измѣненіе повлечетъ за собою передвиженіе кулиснаго камня изъ его средняго положенія,  $m_c$ , такъ что и среднее положеніе золотника будетъ тогда зависѣть отъ величины  $u_1$ , т. е. отъ положенія точки подвѣса кулисы относительно основанія.

Такъ какъ при тѣхъ же условіяхъ дугообразная кулисса радіуса  $L$  (или болѣе правильно  $L - r$ ), которая будетъ совпадать при всѣхъ ея положеніяхъ съ геометрическимъ мѣстомъ  $I$ ,  $I$ , не повлечетъ за собою измѣненія средняго положенія ( $m_c$ ) кулиснаго камня, то оно останется неизмѣненнымъ и независимымъ и отъ дѣйствительныхъ перестановокъ кулисы относительно основанія, опредѣляемыхъ величинами ( $u_1$ ).

\*) Болѣе точно, эта кривая есть окружность радіуса  $L - r$  (см. выноску пункта 80).

Замѣтимъ, что въ дѣйствительности кулисса не приметъ положенія  $A_c B_c$ , при которомъ она могла бы совпасть съ кривой  $I, I$  вслѣдствіе того, что концы ея  $A, B$  проходятъ свои среднія положенія не одновременно, но это обстоятельство нисколько не измѣнитъ правильности нашихъ разсужденій и среднее положеніе золотника дѣйствительно останется неизмѣннымъ. На существующемъ механизмѣ убѣдиться въ этомъ возможно только лишь непосредственно—измѣреніемъ разстоянія между положеніями золотника для различныхъ положеній кулиussy, при мертвыхъ точкахъ цапфы кривошипа.

96. Обратимся къ устройству механизма подвѣшиванія. Кулисса подвѣшивается однимъ изъ трехъ способовъ 1) за середину ея дуги, 2) за середину хорды ея, 3) конечной точкой  $A$  или  $B$  (см. черт. н<sup>о</sup> 76).

Въ первомъ случаѣ геометрическое мѣсто среднихъ положеній точки подвѣса ( $p$ , или  $\omega$ ) будетъ дуга  $I, I$  радіуса  $L$  (черт. н<sup>о</sup> 78), при чемъ для болѣе правильнаго движенія кулиussy центры шарнерныхъ соединеній  $A$  и  $B$  размѣщаютъ на средней линіи вырѣза скобы, какъ на примѣрѣ показано на черт. н<sup>о</sup> 176,  $b$ , таб. VI.

Съ цѣлью достиженія симметричныхъ размаховъ кулиussy относительно точки привѣса ( $a$ ) (см. черт. н<sup>о</sup> 78, таб. III), при которыхъ скользяніе камня будетъ наименьшимъ, слѣдуетъ эту точку перемѣщать по кривой  $I', I'$  равной  $I, I$ , т. е. равной геометрическому мѣсту среднихъ положеній точки подвѣса  $\omega$  (или дугѣ круга радіуса  $L$  и центра  $\Omega_1$ ), при чемъ эта кривая должна быть одинаково съ нимъ расположена относительно оси  $\Omega_1 x_1$  параллельной къ  $\Omega x$ . Для удовлетворенія этому условію пришлось бы въ точкѣ  $\Omega_1$  устроить ось вращенія поворотнаго рычага длины  $L$  (или болѣе точно  $L - r$ ). На практикѣ это выполняется, по конструктивнымъ соображеніямъ, весьма рѣдко и то въ формѣ, представленной на черт. н<sup>о</sup> 89, таб. III, и не требующей поясненія. Въ большинствѣ же случаевъ довольствуются длиною поворотнаго рычага значительно меньшею  $L$ , какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 78. Для уравновѣшиванія подвижныхъ частей механизма устраивается противовѣсъ  $P$ .

Обозначая координаты точки привѣса  $a_0$  относительно осей  $\Omega x, \Omega y$ , при мертвомъ положеніи кулиussy ( $u_1 = 0$ ), черезъ  $x_0, y_0$  получимъ  $x_0 = L$  и  $y_0 = l_1$ , гдѣ  $l_1$  длина подвѣски.

Во второмъ случаѣ координаты  $x'_0$  и  $y'_0$  будутъ  $x'_0 = L - \frac{c^2}{2L}$ ;  $y'_0 = l$  гдѣ  $c$  полухорда кулиussy.

Въ третьемъ случаѣ координаты  $x''_0$  и  $y''_0$  будутъ  $x''_0 = x_0$ ;  $y''_0 = l_1 \mp c$  смотря по тому, какая точка  $A$  или  $B$  служитъ точкою подвѣса. Обыкновенно выбирается та точка, которая соответствуетъ переднему ходу (см. черт. н<sup>о</sup> 76), такъ какъ направленіе этой точки по дугѣ радіуса  $l_1$  наиболѣе приближается къ прямолинейному.

Эти правила не имѣютъ вполнѣ практическаго значенія и составляютъ только первое приближеніе къ истинѣ. На практикѣ же при установкѣ кулиussy

имѣють въ виду главнымъ образомъ достиженіе поршневого движенія золотника, по крайней мѣрѣ для положеній кривошипа, соответствующихъ моментамъ отсѣчки, при переднемъ и заднемъ ходѣ поршня. Вопросъ этотъ будетъ предметомъ особаго разсмотрѣнія.

97. Результирующей эксцентрикъ кулисы Стефенсона мы найдемъ для самаго общаго случая, въ которомъ элементы  $r_1, \delta_1; r_2, \delta_2$  ведущихъ эксцентриковъ различны и точка подвѣса  $\omega$  (см. черт. n<sup>o</sup> 78, таб. III) находится на разстояніяхъ  $c_1, c_2$  отъ шарнерныхъ соединеній  $A, B$  кулисы.

Вообразимъ въ которое положеніе кулисы, опредѣляемое величиною  $u_1$ , и найдемъ сначала идеальные эксцентрики, опредѣляющіе перемѣщенія конечныхъ точекъ  $A, B$  кулисы. Проведемъ черезъ точки  $A_0, B_0$ , соответствующія мертвому положенію кривошипа, параллели къ основанію  $\Omega x$  и примемъ ихъ за среднія направленія криволинейныхъ перемѣщеній этихъ точекъ. Согласно пункту 19 и 20 проведемъ изъ центра  $\Omega$  радіусомъ равнымъ длинѣ эксцентриковаго шатуна  $L$  засѣчки къ обоимъ параллелямъ и проведемъ направленія  $\Omega A_c, \Omega B_c$ , образующія углы  $\beta_1, \beta_2$  съ основаніемъ  $\Omega x$ . Затѣмъ отложимъ эти углы (см. черт. n<sup>o</sup> 75, таб. III)  $\beta_1 = E_1 \Omega 1; \beta_2 = E_2 \Omega 1$  отъ направленій дѣйствительныхъ эксцентриковъ  $\Omega E_1, \delta_1; \Omega E_2, \delta_2$ , и возставимъ къ нимъ изъ точекъ  $E_1, E_2$  перпендикуляры  $E_1 1, E_2 1$ . Эксцентрики  $\Omega 1, \delta_1; \Omega 1, \delta_2$  опредѣляютъ перемѣщенія конечныхъ точекъ  $A_0, B_0$  кулисы. Для опредѣленія элементовъ перемѣщенія кулиснаго камня  $m$ , т. е. искомага результирующаго эксцентрика, соединимъ точки  $1, 1$  прямой и раздѣлимъ ее точкою  $E_\xi$  на части  $E_\xi 1, E_\xi 1$  находящіяся въ отношеніи  $c_1$  къ  $c_2$ , т. е. удовлетворимъ условію  $\frac{E_\xi 1}{E_\xi 1} = \frac{c_1}{c_2}$ .

Разлагая эксцентрики  $\Omega 1, \Omega 1$  на слагающіе  $\Omega E_\xi, \Omega e; \Omega E_\xi, \Omega e_1$ , мы увидимъ, что эксцентрики  $\Omega e, \Omega e_1$  соответственно равны  $E_\xi 1, E_\xi 1$  производятъ *вращеніе* кулисы около шарнерной оси ея  $\omega$ , а вторые слагающіе эксцентрики  $\Omega E_\xi$  опредѣляютъ два равныя перемѣщенія концовъ кулисы, по направленіямъ параллельнымъ, въ одну и ту же сторону, т. е. эксцентрики  $\Omega E_\xi$  производятъ *поступаніе* кулисы.

Итакъ мы нашли поступательный и вращательный эксцентрики кулисы, при чемъ вращательный эксцентрикъ ( $\Omega e$  или  $\Omega e_1$ ) можетъ быть отнесенъ къ произвольному радіусу. Отнесемъ его къ радіусу равному  $u_1$ ; для сего точкою  $E_c$  раздѣлимъ отрѣзокъ  $\Omega e$  на части удовлетворяющіе условію  $\frac{\Omega E_c}{\Omega e} = \frac{u_1}{c_1}$ . Полученный вращательный эксцентрикъ  $\Omega E_c$  опредѣлитъ слагающее перемѣщеніе точки  $m$  (кулиснаго камня), которое зависитъ отъ вращенія кулисы около центра  $\omega$ . Этотъ эксцентрикъ геометрически складываясь съ эксцентрикомъ  $\Omega E_\xi$ , опредѣляющимъ второе слагающее перемѣщеніе точки  $m$ , зависящее отъ поступанія кулисы,—дастъ искомый результирующей эксцентрикъ  $\Omega E_r, \delta_r$ .

98. Разложене движени кулисы на простѣйшія ничѣмъ не обуславливается, а потому поступательный эксцентрикъ кулисы можетъ имѣть различныя величины въ зависимости отъ выбора движени точекъ кулисы, изъ которыхъ каждое можетъ быть принято за поступаніе всей кулисы. Такъ напр. примемъ перемѣщеніе точки  $B$  за поступаніе кулисы. Разложивъ эксцентрикъ  $\Omega I$  на два  $\Omega I$ ,  $\Omega e_2$ , получимъ поступательный эксцентрикъ  $\Omega I$  и вращательный  $\Omega e_2$ , отнесенный къ радіусу  $c_1 + c_2$ . Относя его къ радіусу  $c_2 + u_1$ , получимъ эксцентрикъ  $\Omega e_r$  при условіи  $\frac{\Omega e_r}{\Omega e_2} = \frac{c_2 + u_1}{c_1 + c_2}$ . Геометрическая сумма двухъ эксцентрикѣвъ  $\Omega e_r$  и  $\Omega I$  дастъ искомый результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_r, \delta_r$ .

99. Обыкновенно обѣ части кулисы  $c_1$  и  $c_2$  равны между собою и каждая половина подраздѣляется на четыре части, называемыя градусами кулисы. Построеніе результирующіхъ эксцентрикѣвъ для всѣхъ четырехъ градусѣвъ передняго и задняго хода показано на черт. н<sup>о</sup> 69, таб. III. Отложеніе угловъ  $\beta_1, \beta_2$  произведемъ по способу указанному въ пунктѣ 20. Имѣя въ виду, что синусы этихъ угловъ равны вообще  $\frac{c_1 + u_2}{L}$ , откладываемъ на направленіи  $\Omega E_1$  длину равную  $\mu L$ , гдѣ  $\mu$  коэффициентъ масштаба и на отрѣзкѣ  $\mu L$  строимъ какъ на діаметрѣ окружность; изъ конечной точки (4) діаметра проводимъ радіусами  $\mu (c_1 + u_1)$  какъ изъ центра засѣчки къ окружности и соединяемъ точки пересѣченія 3, 2, 1, 0 и т. д. съ центромъ  $\Omega$  прямыми; точки пересѣченія этихъ прямыхъ съ направленіемъ перпендикуляра  $4, 4'$ , возставленнаго изъ точки  $E_1$  къ направленію эксцентрика  $\Omega E_1$ , представляютъ положенія центровъ идеальныхъ эксцентрикѣвъ, опредѣляющихъ движене точки  $A$  кулисы при различныхъ градусахъ передняго и задняго хода ея. Примы, поставленныя надъ цифрами, означаютъ точки, относящіяся къ градусамъ задняго хода кулисы. Произведя на основаніи предыдущаго пункта построене результирующаго эксцентрика для всѣхъ четырехъ градусѣвъ передняго и задняго ходѣвъ, получимъ геометрическое мѣсто центровъ этихъ эксцентрикѣвъ въ формѣ нѣкоторой параболической кривой. Съ точностью перваго приближенія можно принять  $\sin \beta_1 = \operatorname{tg} \beta_1 = \frac{c_1 + u_1}{L}$ . Тогда отрѣзки  $E_1 4'$ ;  $E_2 4$ , равны  $(c_1 + c_2) \frac{r_1}{L}$  и  $(c_1 + c_2) \frac{r_2}{L}$ , можно прямо раздѣлить на *равныя части*, соответственно числу градусѣвъ кулисы передняго и задняго хода.

100. Такое построене показано на черт. н<sup>о</sup> 82, таб. III въ предположеніи равныхъ и симметрично (относительно кривошина) расположенныхъ эксцентрикѣвъ передняго и задняго ходѣвъ. Кривая  $E_4 E_3 E_2 E_1 E_0$  и т. д. замѣняется приблизительно дугою круга, центръ которой находится на продолженіи  $\Omega x$  въ точкѣ пересѣченія съ перпендикуляромъ, возставленнымъ изъ середины 0 отрѣзка  $E_4 E_0$ . Наибольшія открытія паровыхъ оконъ, а также открытія оконъ при мертвомъ положеніи кривошина, или такъ называемыя опереженія впуска,

измѣняются болѣе или менѣе въ зависимости отъ величины радіуса этихъ дугъ. Наибольшее измѣненіе полного открытія оконъ равно разности  $\Omega E_4 - \Omega E_0$ . Наибольшее же измѣненіе линейнаго опереженія равно  $\Omega E_0 - \Omega H = HE_0$ . Съ цѣлью полученія для передняго хода возможно меньшаго измѣненія линейнаго опереженія, заклиниваютъ эксцентрикъ передняго хода подъ угломъ  $\delta + \varepsilon$ , а эксцентрикъ задняго хода подъ угломъ  $\delta - \varepsilon$  къ направленію основанія при мертвомъ положеніи кривошипа. Величина угла  $\varepsilon$  опредѣлится на основаніи слѣдующихъ соображеній.

Вмѣсто основанія  $\Omega x$  примемъ за основаніе направленіе  $\Omega x_1$  перпендикулярное къ хордѣ  $E_4 E_0$ . Тогда наибольшее измѣненіе линейнаго опереженія произойдетъ на величину стрѣлки дуги, полухорда коей равна  $\frac{E_4 E_0}{2}$ , а эта величина приблизительно въ *четыре раза меньше предыдущей* ( $HE_0$ ). Но для задняго хода это измѣненіе (которое получится опустивъ  $\perp$  изъ нижней точки  $E_4$  на  $\Omega x_1$ ) значительно возрастаетъ; оно приблизительно въ *десять разъ* превосходитъ величину, соответствующую переднему ходу, и въ *два съ половиною* раза болѣе величины  $HE_0$ , соответствующей нормальнымъ условіямъ.

101. Кулисса Стефенсона устривается также съ такъ называемыми *перекрестными* тягами, когда эксцентрикъ передняго хода (воображая начальное положеніе кривошипа) соединяется не съ концомъ  $A$ , какъ показано на чертежѣ n<sup>o</sup> 78, а съ концомъ  $B$ , лежащимъ ниже основанія; и эксцентрикъ задняго хода соединяется съ концомъ  $A$ , лежащимъ выше основанія. Очевидно, при второмъ мертвомъ положеніи кривошипа тяги перекрестныя снова станутъ, какъ говорятъ, *открытыми*, а тяги открытыя (чертежъ n<sup>o</sup> 78) сдѣлаются перекрестными.

На черт. n<sup>o</sup> 76 показана кулисса съ перекрестными тягами; положительное вращеніе вала и соответствующій ему передній ходъ указаны знакомъ  $+$  и задній ходъ знакомъ  $-$ . Геометрическое мѣсто центровъ результирующихъ эксцентриковъ для кулиссы съ перекрестными тягами найдется приблизительно такимъ же построеніемъ, какое было указано въ пунктѣ 100, но съ различіемъ, на которое обращено вниманіе въ пунктѣ 20. На черт. n<sup>o</sup> 82, таб. III оно представлено кривою  $E_4 E'_3 E'_2 E'_1 E'_0$  и т. д., которое замѣнится весьма приблизительно дугой круга, какъ было сказано въ пунктѣ 100.

Легко видѣть изъ построенія, что означенныя кривыя для кулиссы съ открытыми и перекрестными тягами расположатся симметрично относительно прямой  $E_4 E_4$ , соединяющей центры данныхъ дѣйствительныхъ эксцентриковъ. Для одного и того же градуса кулиссы передняго или задняго хода идеальный эксцентрикъ кулиссы съ перекрестными тягами будетъ значительно менѣе такового для кулиссы съ открытыми тягами, при всѣхъ прочихъ одинаковыхъ условіяхъ, вслѣдствіе чего въ кулиссы съ перекрестными тягами произойдетъ уменьшеніе хода золотника и уменьшеніе открытія паровпускныхъ оконъ.

102. Послѣ изложеннаго графическаго построенія результирующаго эксцентрика мы могли бы совершенно не касаться аналитическаго вопроса отысканія уравненія геометрическаго мѣста центровъ результирующихъ эксцентриковъ. Но имѣя въ виду, что координаты этого геометрическаго мѣста представляютъ извѣстные слагающіе эксцентрики  $A$ ,  $B$ , которые мы опредѣляли во всѣхъ кулисныхъ механизмахъ, обратимся, для послѣдовательности, къ ихъ опредѣленію, и при томъ въ самомъ общемъ случаѣ, представленномъ на черт. н<sup>о</sup> 78, таб. III.

Вообразимъ кулиссу опущенной внизъ на величину  $u_1$  и пусть элементы перемѣщеній конечныхъ точекъ кулиссы опредѣляются идеальными эксцентриками  $\Omega 1$ ,  $\Omega I$  (см. черт. н<sup>о</sup> 75, таб. III и пунктъ 97). Проектируя стороны многоугольника  $\Omega E_1 I I E'' \Omega$  на основаніе, получимъ:

$$\Omega c = \Omega a + ab - cb = \Omega a + ac.$$

$$\text{Но } \Omega a = r_1 \sin \delta_1 \pm r_1 \frac{(c_1 - u_1)}{L} \cos \delta_1; \quad ac = ab \cdot \frac{E_r I}{II} = ab \frac{c_1 - u_1}{c_1 + c_2};$$

величина же  $ab = \Omega b - \Omega a$  опредѣлится, если замѣтимъ, что

$$\Omega b = r_2 \sin \delta_2 \pm r_2 \frac{(c_2 + u_1)}{L} \cos \delta_2.$$

Послѣ сокращеній найдемъ:

$$\begin{aligned} \Omega c = A = & \frac{c_2 + u_1}{c_1 + c_2} \left[ r_1 \sin \delta_1 \pm \frac{(c_1 - u_1)}{L} r_1 \cos \delta_1 \right] + \\ & + \frac{c_1 - u_1}{c_1 + c_2} \left[ r_2 \sin \delta_2 \pm \frac{c_2 + u_1}{L} r_2 \cos \delta_2 \right]. \end{aligned}$$

Проектируя стороны того же многоугольника на ось  $\Omega y$ , найдемъ:

$$\Omega h = \Omega d - dh. \quad \text{Но } dh = dg \cdot \frac{c_1 - u_1}{c_1 + c_2}, \quad \text{а } dg = \Omega d + \Omega g$$

опредѣлится, если замѣтимъ, что

$$\Omega d = r_1 \cos \delta_1 \mp r_1 \sin \delta_1 \frac{(c_1 - u_1)}{L}, \quad \Omega g = r_2 \cos \delta_2 \mp r_2 \sin \delta_2 \frac{(c_2 + u_1)}{L}.$$

Послѣ сокращеній получимъ:

$$\begin{aligned} \Omega h = B = & \frac{c_2 + u_1}{c_1 + c_2} \left[ r_1 \cos \delta_1 \mp r_1 \frac{c_1 - u_1}{L} \sin \delta_1 \right] - \\ & - \frac{c_1 - u_1}{c_1 + c_2} \left[ r_2 \cos \delta_2 \mp r_2 \frac{(c_2 + u_1)}{L} \sin \delta_2 \right]. \end{aligned}$$

Въ выраженіяхъ для  $A$  и  $B$  первые знаки относятся къ кулисамъ съ открытыми тягами, а вторые—къ кулисамъ съ перекрестными тягами. Что касается знака  $u_1$ , то слѣдуетъ замѣтить, что при открытыхъ тягахъ отрѣзокъ  $u_1$ , лежащій ниже основанія  $\Omega x$ , считается положительнымъ, а такъ какъ въ кулисахъ съ перекрестными тягами онъ, при томъ же вращеніи вала, расположится выше основанія, то его въ этомъ случаѣ слѣдуетъ считать величиной отрицательной.

Въ частномъ случаѣ, наиболѣе встрѣчающемся въ практикѣ, а именно при симметричномъ расположеніи относительно кривошипа равныхъ эксцентриковъ,

$$\text{получимъ } A = r \sin \delta \mp r \frac{c^2 - u_1^2}{c \cdot L} \cos \delta; \quad B = \frac{r u_1}{c} \cos \delta.$$

Исключая изъ этихъ уравненій переменную  $u_1$ , найдемъ  $A = f(B)$  уравненіе геометрическаго мѣста центровъ результирующихъ эксцентриковъ. При  $u_1 = 0$  (мертвое положеніе кулисы) получимъ (см. черт. n° 82, таб. III)

$$A_0 = \Omega E_0 = r \sin \delta + \frac{rc}{L} \cos \delta; \quad B_0 = 0$$

$$\text{или } A'_0 = \Omega E'_0 = r \sin \delta - \frac{rc}{L} \cos \delta; \quad B'_0 = 0$$

(перекрестныя тяги). Если отнести искомую кривую къ осямъ координатъ  $x, y$ , начало которыхъ совпадаетъ съ точками  $E_0$  или  $E'_0$ , то получимъ  $A = A_0 \pm x$ ;  $B = y$ . Подставляя сюда вмѣсто величинъ  $A, B, A_0$  ихъ значенія и, исключивъ переменную  $u_1$ , найдемъ уравненіе параболы  $y^2 = \frac{rL}{c} \cos \delta \cdot x$ , вершина которой совпадаетъ или съ точкою  $E_0$ , или съ точкою  $E'_0$ , а параметръ, совпадающій въ ту или другую сторону съ осью  $x$ , равенъ  $p = \pm \frac{rL}{2c} \cos \delta$ .

Такимъ образомъ получаемъ двѣ равныя сопряженныя параболы, изъ коихъ одна, имѣющая вершину въ точкѣ  $E'_0$ , относится къ кулиссѣ съ перекрестными тягами.

**103.** Если золотниковая линія параллельна основанію, какъ показано на черт. n° 113, таб. IV или на черт. n° 107, таб. IV, то для передачи движенія золотнику употребляется вращательная пара въ формѣ двузвучаго прямого, или углового рычага. При этомъ способѣ передачи, паровая коробка въ горизонтальной машинѣ располагается сверху или снизу пароваго цилиндра (см. напр. паровую коробку  $B$  на черт. n° 172, таб. VI) въ вертикальной же машинѣ паровая коробка располагается сбоку главнаго вала (см. черт. n° 121, таб. V), при чемъ доступъ къ ней становится весьма удобнымъ (сравни расположеніе паровой коробки на черт. n° 121, таб. V и на черт. n° 52, таб. II).

На черт. n° 85, таб. III показаны составныя части кулисы Стефенсона съ передаточной вращательной парой  $m, n, O_1$  для вертикальной паровой машины. Подобная же передача употребляется въ американскихъ паровозахъ (см. таб. XXXI, n° 2, 2<sup>a</sup> атласа констр. чергежей). На основаніи пункта 38, линейные элементы дѣйствительныхъ эксцентриковъ расположатся въ этихъ случаяхъ подъ углами  $90 - \delta$  къ направлянію кривошипа, какъ представлено на черт. n° 83, таб. III и черт. n° 113, таб. IV.

Вообще говоря, основаніе двухъ эксцентриковыхъ шатунныхъ паръ, входящихъ въ составъ механизма Стефенсона, т. е. основаніе механизма, можетъ быть разнообразно расположено относительно основанія машины; угловые эле-

менты дѣйствительныхъ эксцентриковъ должны отсчитываться отъ перпендикуляра къ основанію механизма, при мертвомъ положеніи кривошипа. Такъ напр. на черт. n<sup>o</sup> 107, таб. IV основаніе  $\Omega x'$  механизма Стефенсона наклонено къ основанію машины  $\Omega x$  подъ угломъ  $75^\circ$ . Если принять угловые элементы дѣйствительныхъ эксцентриковъ равными  $15^\circ$ , то эксцентриситетъ эксцентрика  $\Omega E'$  передняго хода составитъ съ направлениемъ кривошипа ( $\Omega K_0$ ) уголъ, равный  $180 - 2 \cdot 15 = 150^\circ$ , а эксцентриситетъ эксцентрика  $\Omega E''$  задняго хода совпадаетъ съ направлениемъ его (образуетъ съ нимъ уголъ равный нулю). Уголъ  $\angle mOn$  углового рычага долженъ быть дополнительнымъ до двухъ прямыхъ къ данному углу  $75^\circ$ , т. е. долженъ быть равенъ  $105^\circ$ , а положеніе оси вращенія  $O$  рычага найдется на перпендикулярѣ, возставленномъ изъ средняго положенія точки ( $m$ ) къ основанію  $\Omega x_1$  (см. пунктъ 40).

На черт. n<sup>o</sup> 101, таб. IV показано расположеніе механизма Стефенсона для паровой машины съ основаніемъ  $\Omega x_1$ , наклоннымъ подъ угломъ  $\beta$  къ горизонту  $\Omega x$ , и принимая угловые элементы дѣйствительныхъ эксцентриковъ равными  $\beta$ .

104. Наибольше распространенная конструкція кулисы Стефенсона показана на черт. n<sup>o</sup> 176,  $d$ ,  $b$  и 177<sup>a</sup> 177<sup>b</sup>, таб. VI. На этихъ чертежахъ кулисы представлены въ видѣ скобъ, въ которыхъ устроены дугообразные вырѣзы для перемѣщенія кулиснаго камня. Конструкцію изображенную на черт. 176<sup>b</sup>, въ которой центры шарнирныхъ соединеній расположены на средней линіи дугообразнаго вырѣза слѣдуетъ считать болѣе правильной. На черт. n<sup>o</sup> 177<sup>a</sup> и 177<sup>b</sup> показана кулисса для машинъ большой силы, въ которой шарнирные соединенія кулисы съ головками эксцентриковыхъ шатуновъ устроены съ вкладышами и клиньями для ихъ подтягиванія. Въ паровой кулиссѣ обыкновенно довольствуются вставкой въ отверстіе вилообразной головки эксцентрикаго шатуна латунной или стальной трубки, которая можетъ быть по мѣрѣ истиранія зашѣнена новою.

На черт. n<sup>o</sup> 178<sup>a</sup>, 178<sup>b</sup>, таб. VI показана кулисса состоящая изъ двухъ скобъ  $C$ ,  $C$  съ цапфами  $d$ ,  $d$  для соединенія съ головками эксцентриковыхъ шатуновъ. Скобы по концамъ соединены между собою распорными болтами. Въ головкѣ золотниковаго стержня устроены два вырѣза для свободнаго качанія двухъ скобъ. Подобная же конструкція изображена на черт. n<sup>o</sup> 201, 202, 203, таб. VII и не требуетъ поясненія.

На черт. n<sup>o</sup> 158, таб. VI показана закрытая кулисса состоящая изъ двухъ соединенныхъ между собою половинокъ, имѣющихъ каждая форму  $\Gamma$ ; внутри кулисы перемѣщается кулисный камень  $m$ . Конструкція эта сложнѣе предыдущихъ. На черт. n<sup>o</sup> 198, 199, 200, таб. VII показана полосовая кулисса, состоящая изъ изогнутаго призматическаго бруска  $C$ , скользящаго въ шаровомъ кулисномъ камнѣ  $m$ . На черт. n<sup>o</sup> 190, 191, 190<sup>a</sup> показана кулисса состоящая изъ двухъ изогнутыхъ призматическихъ полосъ съ ящикообразнымъ кулиснымъ камнемъ ( $m$ ) съ вкладышами  $n$ ,  $n$  и приспособленіемъ для ихъ подтягиванія. Конструкція

изображенная на черт. н<sup>о</sup> 196, 196<sup>а</sup>, 197 сходна съ конструкціей кулисы на черт. н<sup>о</sup> 158, таб. VI.

На таб. XXVII, XXVIII, XXIX, XXXI атласа конструктивныхъ черт. показаны общее расположеніе и детали кулисы Стефенсона для различныхъ паровыхъ машинъ.

**105.** Въ колесныхъ пароходахъ, въ которыхъ по конструктивнымъ соображеніямъ устраиваютъ паровую машину съ качающимися цилиндрами, парораспределение производится почти исключительно кулиссой Стефенсона. Прежде чѣмъ приступить къ способу передачи движенія золотнику кулиссой Стефенсона въ этомъ случаѣ, обратимся къ разсмотрѣнію главныхъ соображеній, на которыхъ основана, вообще, передача идеальнаго эксцентрика золотнику отъ главнаго вала въ машинахъ съ качающимися цилиндрами.

Основаніемъ машины слѣдуетъ считать въ этихъ случаяхъ направленіе, проходящее черезъ центры (сѣченія плоскостью перпендикулярною къ главному валу) вращающейся цапфы цилиндра и главнаго вала, т. е. направленіе  $\Omega\Omega'x$  (см. черт. н<sup>о</sup> 108, таб. IV). Самый простѣйшій способъ образованія идеальнаго эксцентрика показавъ на этомъ чертежѣ. Золотникъ, имѣющій цилиндрическую поверхность скольженія, неподвиженъ. Къ этой поверхности плотно прилегаетъ цилиндрическая поверхность скольженія пароваго, качающагося около оси  $\Omega_1$  цилиндра. Обозначимъ разстояніе  $\Omega\Omega_1 = L$ , а  $\Omega'i = l$ . Вращательный эксцентрикъ (кривошипъ) шатуна съ основанія  $\Omega y$  переносится вращательною парюю (цилиндръ и его ось вращенія) на основаніе параллельное  $\Omega\Omega'$  съ измѣненіемъ своего положенія на диаметрально противоположное, въ масштабѣ, приблизительно равномъ отношенію  $\frac{l}{L}$ . Воображая цилиндръ неподвижнымъ, а золотникъ движущимся, мы получимъ, такимъ образомъ, идеальный эксцентрикъ (см. черт. н<sup>о</sup> 109, таб. IV)  $\Omega E_\omega = R \cdot \frac{l}{L}$ , расположенный позади кривошипа подъ угломъ  $90^\circ$ . Какъ извѣстно, парораспределение можетъ быть произведено такимъ эксцентрикомъ лишь при условіи впуска пара внутренними ребрами золотника, какъ и показано на чертежѣ н<sup>о</sup> 108. Располагая золотникъ выше основанія, мы получили бы идеальный эксцентрикъ  $\Omega E'_\omega$ , который требуетъ устройства впуска верхними ребрами золотника. Такъ какъ угловые элементы этихъ эксцентриковъ равны нулю, то нормальное парораспределение ими не можетъ быть произведено (впускъ пара будетъ происходить безъ отсѣчки въ теченіи всего хода поршня, см. отд. III). Описанное устройство съ успѣхомъ примѣняется въ такъ называемыхъ водостолбовыхъ гидравлическихъ двигателяхъ.

**106.** Употребленіе дѣйствительнаго эксцентрика на главномъ валѣ, для парораспределенія въ машинахъ съ качающимися цилиндрами, производится двумя способами, которые мы рассмотримъ въ отдѣльности.

*1-й способъ* состоитъ въ сообщеніи золотнику движенія при посредствѣ этой вращательной пары  $m$  и  $n$ , 0 какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 124, табл. V.

Цѣль употребленія вращательной пары, имѣющей форму показанную на чертежѣ п<sup>о</sup> 123, состоитъ въ возможности сообщенія золотнику движенія *независимо отъ качанія цилиндра*. Если среднее положеніе точки  $m$ , соединяющейся съ эксцентриковымъ шатуномъ, совпадетъ съ центромъ сѣченія цапфы цилиндра, то качаніе его почти не будетъ имѣть вліянія на движеніе золотника. Эксцентрикъ на главномъ валѣ долженъ быть установленъ согласно пункту 38.

2-й способъ состоитъ въ употребленіи особой направляющей кулисы совмѣстно съ передачей движенія вращательной парой, какъ показано на чертежѣ п<sup>о</sup> 96, таб. IV. Цѣль употребленія вспомогательной кулисы состоитъ въ уничтоженіи вліянія качанія цилиндра на движеніе золотника, которое должно исключительно обуславливаться дѣйствіемъ эксцентрика.

Представимъ себѣ два положенія кулисы (см. черт. п<sup>о</sup> 117, таб. IV)  $a_0 m_0 b_0$ ,  $a_\pi m_\pi b_\pi$  соответствующія мертвымъ точкамъ кривошипа и найдемъ геометрическое мѣсто среднихъ положеній различныхъ ея точекъ, т. е. кривую  $a_c m_c b_c$ . Если  $a_\pi m_\pi b_\pi$  представляетъ дугу круга значительнаго радіуса, то кривая  $a_c m_c b_c$  (см. выноску пункта 80) весьма мало отличается отъ нея. Ограничиваясь точностью перваго приближенія, мы эту разницу пренебрежемъ и примемъ, что кулисса въ среднемъ своемъ положеніи между и т. д. совпадетъ всѣми своими точками съ геометрическимъ мѣстомъ  $a_c m_c b_c$ .

Воображая затѣмъ кулисса въ среднемъ положеніи, какъ показано на черт. п<sup>о</sup> 96, таб. IV, при которомъ золотникъ цилиндра тоже долженъ находиться въ среднемъ положеніи, а эксцентриситетъ  $\Omega E_\omega \perp$  къ основанію, представимъ себѣ вращеніе или качаніе цилиндра, мысленно расцѣпивъ его отъ кривошипа. Это вращеніе повлечетъ за собою перемѣщеніе кулисснаго камня  $m$ . Если перемѣщеніе камня  $m$  (по геометрическому мѣсту среднихъ положеній, или приблизительно) по дугѣ кулисы не измѣнитъ средняго положенія золотника, то она удовлетворитъ своему назначенію. Условіе же это будетъ выполнено, если кулисса придать форму дуги круга радіуса  $\rho = m \Omega'$  и центра  $\Omega'$ , при чемъ поступательное движеніе кулисы должно происходить въ направленіи параллельномъ геометрической оси цилиндра \*).

107. Обратимся теперь къ условію дѣйствія кулисы Стефенсона для машинъ съ качающимися цилиндрами (см. черт. п<sup>о</sup> 124, таб. V).

\*) Этимъ устройствомъ мы не уничтожаемъ вполнѣ вліянія качанія цилиндра на движеніе золотника. Уничтожить вполнѣ это вліяніе возможно при удовлетвореніи слѣдующему условію.

Дуговая проекція кулисснаго камня  $m$  на основаніе по дугѣ круга радіуса равнаго разстоянію точки  $m$  до центра  $\Omega'$ , при всякомъ положеніи кривошипа, должна совпадать съ положеніемъ той же точки на основаніи  $\Omega\Omega'$ , предполагая ее концомъ эксцентриковаго шатуна перемѣщающимся по основанію. Такъ какъ радіусы этихъ дуговыхъ проекцій суть величины переменныя, то кулисса должна имѣть форму не дуги круга, а нѣкоторой кривой. Въ практикѣ довольствуются круговой формой кулисы принимая, какъ было объяснено, *среднее значеніе переменнаго радіуса*, при среднемъ положеніи кулисы и золотника.

При передачѣ движенія золотнику *по первому способу* (см. пунктъ 106) постановка кулисы должна удовлетворить слѣдующему условію. Геометрическое мѣсто среднихъ положеній ея точекъ должно проходить черезъ центръ цапфы цилиндра, а такъ какъ это геометрическое мѣсто представляетъ приблизительно дугу круга радіуса равнаго длинѣ  $L$  эксцентриковыхъ шатуновъ и центра  $\Omega$  (или болѣе точно  $L - r$ ), то длина  $L$  эксцентриковыхъ шатуновъ кулисы должна быть равна кратчайшему разстоянію между геометрическими осями главнаго вала и оси вращенія пароваго цилиндра.

Подвѣшиваніе кулисы производится на основаніи пункта 96, а механизмъ передачи къ машинисту можетъ быть устроенъ, какъ показано на чертежѣ. Располагая основанія подѣ угломъ  $90^\circ$ , возможно будетъ, для движенія кулисы обоихъ цилиндровъ, употребить всего лишь два эксцентрика.

Въ самомъ дѣлѣ, представимъ себѣ кривошипъ  $\Omega K$  одного цилиндра въ мертвомъ положеніи, какъ показано на чертежѣ н<sup>о</sup> 124. Дѣйствительные эксцентрики  $\Omega E_1$ ,  $\Omega E_2$  шатуновъ кулисы расположатся подѣ углами  $90 - \delta$  къ направленію кривошипа, если принять въ соображеніе передачу вращательной парой  $m, 0$ . Легко замѣтить, что эти эксцентрики относительно основанія втораго цилиндра и его кривошипа занимаютъ такое положеніе, въ которомъ они могутъ сообщить движеніе второй кулисы при вращеніи кривошипа въ одну и ту же сторону, указанною стрѣлкою. На чертежѣ н<sup>о</sup> 151, таб. V показано это устройство передачи детально. На табл. XXIX, черт. н<sup>о</sup> 3 атласа изображена въ  $\frac{1}{20}$  н. в. вся машина съ расположеніемъ кулисы и механизма перекидки.

Употребленіе кулисы Стефенсона въ машинахъ съ качающимися цилиндрами при парораспределеніи по второму способу, при посредствѣ направляющей кулисы (см. пунктъ 106) состоитъ въ непосредственномъ сообщеніи движенія сей послѣдней, какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 126, таб. V. Къ направляющей штангѣ  $B$  направляющей кулисы  $M$  прикрѣпляется накладка  $N$  съ шарнерною осью кулиснаго камня кулисы Стефенсона. Это устройство детально представлено на черт. н<sup>о</sup> 4<sup>a</sup>, 4<sup>b</sup> таб. XXIX атласа. На черт. н<sup>о</sup> 120, таб. V представлено общее расположеніе кулисы и перекиднаго механизма не требующее поясненій. Кривошины обоихъ шатуновъ связаны между собою серьею  $k$  (см. черт. н<sup>о</sup> 127).

108. Наконецъ разсмотримъ способъ построенія идеальнаго эксцентрика, въ машинахъ съ качающимся цилиндромъ безъ посредства дѣйствительнаго эксцентрика (см. черт. н<sup>о</sup> 95, таб. IV), дѣйствіемъ одной лишь основной кривошипной шатунной пары. При этомъ должна быть устроена направляющая кулиса, измѣненіемъ положенія которой достигается обращеніе вращенія вала машины.

Обозначимъ длину золотниковаго стержня, считая ее отъ головки  $g$  до линіи симметріи золотника, черезъ  $l$ , разстояніе  $\Omega\Omega'$  черезъ  $L$  и радіусъ кривошипа —  $R$ . Воображая золотникъ въ среднемъ положеніи и, устраивая направляющую кулису по дугѣ круга  $b'Oa'$  (см. черт. н<sup>о</sup> 112, таб. IV) раді-

уса  $\Omega_1 O = \rho$ , мы очевидно не получимъ перемѣщенія золотника при качаніи цилиндра, ибо головка золотника ( $g$ ), скользящая въ кулиссѣ, опишетъ дугу того же радіуса. Перемѣщеніе проекціи этой головки на направленіе  $Oy \perp$  къ основанію  $\Omega\Omega'$  машины опредѣлится при этомъ приблизительно идеальнымъ эксцентрикомъ равнымъ  $R \cdot \frac{l}{L}$  съ угловымъ элементомъ  $\delta = 180^\circ$ , на осн. пун. 38.

Наклоня кулиссу на уголъ  $\alpha$  и, приводя ее въ положеніе  $n O i$ , мы перенесемъ этотъ эксцентрикъ на направленіе параллельное основанію, какъ по наклонной плоскости, въ масштабѣ приблизительно равномъ  $\operatorname{tg} \alpha$  и съ измѣненіемъ его положенія на прямо противоположное, такъ что угловой элементъ его будетъ  $\delta = 0$  и потому относительно кривошина эксцентрикъ этотъ приметъ положеніе  $\Omega E'_\omega$ , показанное на черт. н<sup>о</sup> 109, таб. IV, а величина его будетъ равна  $R \cdot \frac{l}{L} \operatorname{tg} \alpha$ . Это и будетъ искомый результирующій эксцентрикъ.

Приводя кулиссу въ положеніе  $l O g$ , наклонное къ среднему положенію ея подъ угломъ ( $- \alpha$ ), мы получимъ идеальный эксцентрикъ  $\Omega E_\omega = \Omega E'_\omega$ , диаметрально противоположный предыдущему, при которомъ машина начнетъ вращеніе вала въ обратную сторону. Такъ какъ угловые элементы этихъ эксцентриковъ относительно перпендикуляра къ направленію кривошина равны нулю, то нормальное парораспределеніе ими не можетъ быть произведено (впускъ пара будетъ происходить безъ отсѣчки въ теченіи полного хода поршня). При  $\alpha = 0$  результирующій эксцентрикъ обращается въ нуль, т. е. золотникъ останется въ покоѣ, поэтому элементы механизма суть  $A = 0$ ;  $B = R \cdot \frac{l}{L} \operatorname{tg} \alpha$ . Этотъ способъ парораспределенія можетъ быть примѣненъ съ успѣхомъ къ небольшимъ паропроходнымъ машинамъ, въ машинахъ же большой силы примѣненіе его невыгодно по причинѣ невозможности получить расширеніе пара, и значительнаго тренія развиваемаго скольженіемъ кулисснаго камня въ кулиссѣ.

На черт. н<sup>о</sup> 181, таб. VII показана другая конструкція парораспределенія по этому способу машиностроительнаго завода Dingler, Zweibrücken. Цилиндрической отростокъ крышки пароваго цилиндра, скользящій въ трубкѣ съ рукояткой  $k$ , къ которой неизмѣнно прикрѣпляется золотниковый стержень  $a$ . Боковая цапфа  $g$  этой трубки насаживается на кулисный камень ( $u$ ) скользящій въ круговой кулиссѣ радіуса  $\rho = \Omega O$ . Положеніе кулиussy устанавливается рычагомъ  $H$ . (Zeitschrift V. In. н<sup>о</sup> 40, 89. Patentbericht).

**109.** Въ паровыхъ машинахъ съ обратнымъ шатуномъ, употребляющимся часто на пароходахъ ради сбереженія мѣста, кулисса располагается по основанію кривошипной шатунной пары машины, которое въ этомъ случаѣ диаметрально противоположно направленію  $\Omega x$  основанія пароваго цилиндра. Такая установка показана на черт. н<sup>о</sup> 114 и черт. н<sup>о</sup> 115, таб. IV.

**110.** На черт. н<sup>о</sup> 79, таб. III показано видоизмѣненіе кулиussy Стефенсона предложенное Дютейлемъ. Эксцентричныя шатунныя пары кулиussy

Стефенсона замѣняются центральными шатунными парами, шарнирные оси которых  $b_0$  направляются подвижными членами вращательныхъ паръ  $O a_0 b_0$ , дающихъ форму ломанныхъ рычаговъ.

Вершины тупыхъ угловъ этихъ рычаговъ сообщаютъ движеніе конечнымъ точкамъ  $A$ ,  $B$  кулисы. Обозначая радіусы вращенія точекъ  $a_0$  и  $b_0$  относительно центра  $O$  черезъ  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , а элементы дѣйствительныхъ эксцентриковъ черезъ  $r$ ,  $\delta$ , получимъ  $r \frac{\rho_1}{\rho_2}$ ,  $\delta$  элементы перемѣщенія точекъ  $A$  и  $B$  для передняго и задняго хода. Построеніе результирующаго эксцентрика производится безъ всякаго затрудненія, подобно предыдущему.

На чертежѣ показано положеніе механизма при мертвомъ стояніи кривошипа, когда положенія обонхъ ломанныхъ рычаговъ совпадаютъ между собою. Придавая кулиссѣ форму дуги круга радіуса  $L$ , мы очевидно достигнемъ неизмѣнности средняго положенія золотника и независимости опереженій впуска отъ положенія кулисы. Достиженіе послѣдней цѣли имѣлось въ виду конструкторомъ. Общее расположеніе и детали механизма Дютейля на паровозной машинѣ показаны на таб. XXXII атласа черт. н<sup>о</sup> 1,  $1^a$ ,  $1^b$  въ  $1/15$  н. в., а на черт. н<sup>о</sup> 195, таб. VII представленъ ея боковой видъ.

### III. Кулисса Гуча (Gooch).

Различіе отъ кулисы Стефенсона состоитъ въ томъ, что для направленія кулиснаго шатуна употребляется неизмѣнная направляющая вращательная пара  $pO$ ,  $O$  какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 116, таб. IV.

Направляющая вращательная пара можетъ быть замѣнена поступательною (см. черт. н<sup>о</sup> 84, таб. III). Измѣненіе результирующихъ эксцентриковъ достигается приведеніемъ вращательнаго эксцентрика кулиснаго шатуна къ различнымъ радіусамъ вращенія съ помощью промежуточнаго золотниковаго стержня  $m_0 d_0$ .

На черт. н<sup>о</sup> 84 представлена кулисса Гуча, получающая движеніе отъ различныхъ ведущихъ эксцентриковъ  $r_1$ ,  $\delta_1$ ;  $r_2$ ,  $\delta_2$ , длины  $L$  шатуновъ которыхъ во всякомъ случаѣ должны быть равны между собою, такъ какъ при этомъ возможно будетъ удовлетворить главнѣйшему условію—неизмѣнности средняго положенія золотника, придавая кулиссѣ форму дуги круга радіуса равнаго промежуточному золотниковому стержню  $m_0 d_0$ .

Въ самомъ дѣлѣ, вообразимъ кулису въ двухъ ея крайнихъ положеніяхъ (черт. н<sup>о</sup> 84)  $A_0 B_0$ ,  $A_\pi B_\pi$ , соответствующихъ мертвымъ положеніямъ кривошипа и опредѣлимъ геометрическое мѣсто среднихъ положеній различныхъ точекъ дуги кулисы. Если кулиссѣ придать форму дуги круга, то геометрическое мѣсто  $A_c m_c B_c$  приблизительно подходитъ къ дугѣ круга того же радіуса, а если длину этого радіуса взять равной длинѣ промежуточнаго стержня  $m_c d_c$ , т. е. равной  $m_0 d_0$ , то воображая кулисный камень  $m$  еремѣщающимся по этой кривой, мы найдемъ, что точка  $d_c$  приблизительно останется неподвижною, и слѣдовательно среднее положеніе золотника будетъ неизмѣнно и независимо отъ положенія кулиснаго камня въ кулиссѣ.

Промежуточный стержень  $m_0 d_0$  подвѣшивается съ помощью подвѣски  $l_3$  и рычага  $l_2$ , заклиненного на перекидномъ валикѣ  $\Omega_1$ , проходящемъ черезъ точку  $d_c$ —среднее положеніе точки  $d_0$ . Такъ какъ геометрическое мѣсто среднихъ положеній точки  $f_0$  при различныхъ положеніяхъ кулиссаго камня будетъ приблизительно дуга круга радіуса  $f_c d_c = f_0 d_0$  и центра  $d_c$ , то для достиженія минимальнаго скольженія этого камня въ кулиссахъ и симметричности размаховъ подвѣски  $l_3$  относительно точки  $p$ , слѣдуетъ, при измѣненіи положенія промежуточнаго стержня  $m_0 d_0$ , эту точку ( $p$ ) перемѣщать по дугѣ круга радіуса  $\Omega_1 p = f_c d_c = f_0 d_0$ .

Съ цѣлью полученія постоянныхъ линейныхъ опереженій впуска, оба ведущіе эксцентрика имѣютъ равные элементы  $r, \delta$ , какъ показано на чертежѣ н<sup>о</sup> 116, таб. IV, при этомъ сказанныя условія, относящіяся къ неизмѣнности средняго положенія золотника и симметричности размаховъ промежуточнаго стержня выполняются болѣе правильно.

Абсцисса точки  $O$  подвѣса кулиussy опредѣлится въ зависимости отъ того, гдѣ избирается точка ( $p$ ) привѣса. Если взять ее на направленіи прямой, соединяющей концы кулиussy, т. е. ея хорды, то искомая абсцисса будетъ

$$\Omega p_c = L - \frac{c_1 c_2}{2L}.$$

или при  $c_1 = c_2$ ,  $L - \frac{c^2}{2L}$ , гдѣ  $L$  длина эксцентриковаго шатуна. Если точка привѣса взята на дугѣ кулиussy, то придется изъ вышесказанной величины вычесть еще величину  $\frac{c_1 c_2}{2L_1}$ , или при  $c_1 = c_2$ ,—величину  $\frac{c^2}{2L_1}$ , гдѣ  $L_1$ —длина промежуточнаго золотничнаго стержня  $m_0 d_0$ . Эти заключенія слѣдуютъ непосредственно изъ того, что среднія положенія конечныхъ точекъ  $A, B$  кулиussy находятся на разстояніи  $L$  отъ центра вала  $\Omega$ .

**112.** Результирующіе эксцентрики опредѣлятся слѣдующимъ образомъ:

Пусть элементы ведущихъ эксцентриковъ будутъ  $r_1, \delta_1; r_2, \delta_2$  (см. черт. н<sup>о</sup> 99, таб. IV). Опредѣляемъ сперва элементы перемѣщенной крайнихъ точекъ кулиussy. Согласно пункту 19 они будутъ  $\Omega A, \delta_1 + \beta_1; \Omega B, \delta_2 + \beta_2$ , гдѣ  $\beta_1$  и  $\beta_2$  суть углы обозначенные на чертежѣ н<sup>о</sup> 84, таб. III. Соединимъ точки  $A, B$  прямой и раздѣлимъ ее точкою  $E_\xi$  на части находящіяся въ отношеніи  $\frac{AE_\xi}{BE_\xi} = \frac{c_1}{c_2}$ . Тогда эксцентрикъ  $\Omega E_\xi$  опредѣлитъ перемѣщеніе точки привѣса кулиussy (см. пунктъ 97). Этотъ эксцентрикъ можемъ принять за поступательный эксцентрикъ кулиссаго шатуна, а вращательный эксцентрикъ его  $\Omega a$  отнесенный къ радіусу  $c_1$  найдется разложеніемъ эксцентрика  $\Omega A$  на два слагающіе  $\Omega E_\xi$  и  $\Omega a$ . Проведя изъ точки  $B$  параллель къ  $\Omega E_\xi$  до пересѣченія въ точкѣ  $b_1$ , найдемъ вращательный эксцентрикъ  $\Omega_1 b$  отнесенный къ радіусу  $c_2$ .

При заданномъ положеніи кулиснаго камня, опредѣляемомъ величиной  $u_2$ , для передняго хода (+), результирующій эксцентрикъ опредѣлится раздѣливъ точкою  $E_r$  отръзокъ  $AE_\xi$  такимъ образомъ, чтобы удовлетворялось условіе

$$\frac{E_r E_\xi}{A E_\xi} = \frac{u_2}{c_1}.$$

Отръзокъ  $\Omega E_r$  представитъ по величинѣ и положенію искомый результирующій эксцентрикъ. Въ самомъ дѣлѣ, эксцентрикъ  $\Omega E_r$  можемъ разсматривать какъ геометрическую сумму двухъ—поступательнаго эксцентрика  $\Omega E_\xi$  и вращательнаго  $\Omega E_c$ , приведеннаго къ радіусу  $u_2$ , т. е. удовлетворяющаго условію:

$$\frac{\Omega E_c}{\Omega a} = \frac{u_2}{c_1}.$$

Имѣя въ виду, что оба эти эксцентрика опредѣляютъ слагающія перемѣщенія кулиснаго камня  $m$ , происходящія отъ поступанія и вращенія кулисы, по одному направленію, найдемъ геометрическимъ сложеніемъ ихъ сложное или составное перемѣщеніе кулиснаго камня.

**III.** Координаты  $A, B$  центра  $E_r$  результирующаго эксцентрика найдемъ проектируя (см. черт. n<sup>o</sup> 99, таб. IV) стороны многоугольника  $\Omega E'_0 A B E''_0$  на основаніе  $\Omega x$  и на направленіе  $\Omega y$  къ нему перпендикулярное. Имѣемъ:

$$\Omega c = A = \Omega a_1 + a_1 b - cb = \Omega a_1 + a_1 c.$$

Но  $\Omega a_1 = r_1 \sin \delta_1 \mp \frac{r_1 c_1}{L} \cos \delta_1$ ;  $a_1 c = \frac{c_1 - u_2}{c_1 + c_2} \cdot a_1 b$ ;  
величина же отръзка

$$a_1 b = \Omega b - \Omega a_1, \text{ а } \Omega b = r_2 \sin \delta_2 \mp \frac{r_2 c_2}{L} \cos \delta_2.$$

Послѣ сокращеній получимъ:

$$A = \left[ r_1 \sin \delta_1 \mp \frac{r_1 c_1}{L} \cos \delta_1 \right] \frac{c_2 + u_2}{c_1 + c_2} + \left[ r_2 \sin \delta_2 \mp \frac{r_2 c_2}{L} \cos \delta_2 \right] \frac{c_1 - u_2}{c_1 + c_2}.$$

Проектируя стороны того же многоугольника на ось  $\Omega y$ , найдемъ:

$$\Omega h = B = \Omega i - hi.$$

Но  $hi = (\Omega g + \Omega i) \frac{c_1 - u_2}{c_1 + c_2}$ ,  $\Omega g = r_2 \cos \delta_2 \mp \frac{r_2 c_2}{L} \sin \delta_2$ ,

$$\Omega i = r_1 \cos \delta_1 \mp \frac{r_1 c_1}{L} \sin \delta_1.$$

Послѣ сокращеній получимъ:

$$B = \left[ r_1 \cos \delta_1 \mp \frac{r_1 c_1}{L} \sin \delta_1 \right] \frac{c_2 + u_2}{c_1 + c_2} - \left[ r_2 \cos \delta_2 \mp \frac{r_2 c_2}{L} \sin \delta_2 \right] \frac{c_1 - u_2}{c_1 + c_2}.$$

Первыя знаки въ выраженіяхъ для  $A$  и  $B$  относятся къ кулисамъ съ открытыми тягами, а вторые—къ кулисамъ съ перекрестными тягами. Что касается знака величины  $u_2$ , то слѣдуетъ замѣтить, что при открытыхъ тягахъ отръзокъ  $u_2$ , лежащій выше оси  $\Omega x$ , считается *положительнымъ*, а въ перекрестныхъ—*отрицательнымъ*.

Въ частномъ случаѣ, когда ведущіе эксцентрики равны между собою и кулисса подвѣшивается за середину своей дуги или хорды, получимъ слѣдующія выраженія для координатъ центра результирующаго эксцентрика:

$$A = r \left( \sin \delta \pm \frac{c}{L} \cos \delta \right); \quad B = r \left( \cos \delta \mp \frac{c}{L} \sin \delta \right) \frac{u_2}{c}.$$

Итакъ имѣемъ  $\Omega E_{\xi} = A = \text{пост. велич.}$  (см. черт. н<sup>о</sup> 97, таб. IV);  $A E_{\xi} = k u_2$ , гдѣ  $k$  коэффициентъ пропорциональности. Раздѣливъ отрѣзки  $A E_{\xi}$  и  $B E_{\xi}$  на четыре части каждый, соответственно четыремъ градусамъ кулиussy передняго и задняго хода и, соединяя точки дѣленія съ центромъ  $\Omega$ , получимъ соотвѣтствующіе этимъ градусамъ результирующіе эксцентрики.

Такъ какъ  $A$  величина постоянная, то геометрическое мѣсто центровъ результирующихъ эксцентриковъ представится прямой линіей перпендикулярной къ оси  $\Omega x$ . Построивъ перпендикуляры къ  $\Omega E'_0$  и  $\Omega E''_0$  изъ точекъ  $E'_0, E''_0$ , и, откладывая  $E'_0 A' = E'_0 A$  и  $E''_0 B_1 = E''_0 B$ , равныя  $\frac{r c}{L} \cos \delta$ , соединимъ точки  $A'$  и  $B'$  прямой, тогда прямая  $A' B'$ , представитъ геометрическое мѣсто центровъ результирующихъ эксцентриковъ для кулиussy съ перекрестными тягами (см. также черт. н<sup>о</sup> 149, таб. V).

Въ заключеніе замѣтимъ, что вмѣсто эксцентрика задняго хода  $\Omega E''_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 116, таб. IV) можно взять эксцентрикъ  $\Omega E_{\xi}$  съ угловымъ элементомъ  $\delta = 90^\circ$  и сообщить имъ движеніе средней точки  $p$  кулиussy, что вполне согласно съ теоріей изложенной въ пунктѣ 112 и не требуетъ поясненій. Кулисса Гуча требуетъ большаго разстоянія между валомъ и цилиндромъ, поэтому въ пароводныхъ машинахъ употребляется рѣдко. Паровозная кулисса Гуча показана на таб. XXXI атласа черт. н<sup>о</sup> 6, 6<sup>a</sup>, а на таб. XL, н<sup>о</sup> 1 изображена кулисса для постоянной реверсивной машины.

114. Кулисса Гуча можетъ быть видоизмѣнена въ механизмъ, подобный механизму Гейзингера, если вращательный эксцентрикъ производящаго шатуна будемъ приводить къ различнымъ радіусамъ вращенія не на самомъ кулиссномъ шатунѣ, а отдѣльно при посредствѣ особой качающейся около неизмѣнной оси кулиussy, какъ показано на черт. н<sup>о</sup> 180, таб. VII. Тогда конечная точка  $A$  производящаго шатуна должна заимствовать движеніе отъ эксцентрика  $\Omega E_1 = r_1$ ,  $\delta = 0$ , который, проходя черезъ кинематическую цѣпь, состоящую изъ кулиussy  $C$  и промежуточнаго стержня  $m A$ , измѣняетъ только свой линейный элементъ, превращаясь въ эксцентрикъ  $B' = r_1 \frac{u}{c}$ .

Имѣя въ виду, что движеніе второй конечной точки ( $B$ ) должно опредѣляться идеальнымъ эксцентриккомъ  $A' = \Omega E_i$ ,  $\delta = 90^\circ$ , мы, на основаніи пунктовъ 20, 21, найдемъ элементы дѣйствительнаго эксцентрика  $\Omega E_u = r_u$ ,  $\delta = 90^\circ + \beta$ , гдѣ уголъ  $\beta$  равенъ углу наклона направленія  $\Omega B_c$  съ основаніемъ.

Приведа эти эксцентрики къ радіусамъ  $\varepsilon B$ ,  $A\varepsilon$ , равнымъ половинѣ длины  $AB$  производящаго шатуна, получимъ элементы —

$$A = \frac{A_1}{2}, \quad \delta = 0 \text{ (или } 180^\circ), \quad B = \frac{B'}{2}, \quad \delta = 90.$$

Главнѣйшее неудобство механизма, состоящее въ томъ, что дѣйствительные эксцентрики должны быть въ два раза болѣе идеальныхъ, можетъ быть отчасти устранено устройствомъ контръ-кривошиповъ, гдѣ это оказывается возможнымъ. Это неудобство, однако, имѣетъ свою хорошую сторону, такъ какъ ошибки, происходящія отъ вліянія наклоновъ конечныхъ шатуновъ, уменьшаются вдвое, передаваясь на движеніе ведущей точки  $\varepsilon$ .

**115.** *Кулисса Аллана* (Allan). Эту кулису можно разсматривать какъ комбинацію кулисъ Стефенсона и Гуча, такъ какъ въ ней (см. черт. н<sup>о</sup> 90, таб. III) измѣненіе результирующихъ эксцентриковъ производится измѣненіемъ положенія самой кулисы (сходство съ кулисой Стефенсона) и одновременнымъ измѣненіемъ положенія промежуточного золотничнаго стержня (сходство съ кулисой Гуча). На черт. 90 ведущіе эксцентрики взяты съ различными элементами и кулисса подвѣшена точкою  $p$ , раздѣляющей ее на части  $c_1$ ,  $c_2$ , т. е. взять общій случай. Кулисса поднята выше основанія на величину  $u_1$ , а промежуточный золотниковый стержень передвинуть точкою  $m$  въ противоположную сторону отъ того же основанія на величину  $u_2$ . Такимъ образомъ, полное относительное перемѣщеніе кулиснаго камня выразится величиной  $u_1 + u_2 = U$ .

Обратимся къ отысканію формы кулисы, удовлетворяющей главнѣйшему условію — неизмѣнности средняго положенія золотника. Если среднія положенія кулиснаго камня  $m$  для всѣхъ положеній кулисы, опредѣляемыхъ величинами  $u_1 + u_2 = U$ , размѣстятся на дугѣ круга, радіуса равнаго длинѣ  $l$  промежуточного золотничнаго стержня  $me$ , то среднее положеніе точки  $e$ , — конца этого стержня, останется неизмѣннымъ (какъ и въ кулисѣ Гуча), а потому не измѣнится и среднее положеніе золотника. Этому условію можно удовлетворить при опредѣленной зависимости между перемѣщеніями  $u_1$  и  $u_2$ , придавая кулисѣ произвольную форму, но мы примемъ ее простѣйшею — прямолинейною, и найдемъ зависимость между величинами  $u_1$ ,  $u_2$ , совместную съ принятой формой кулисы.

Такъ какъ геометрическое мѣсто среднихъ положеній концовъ  $A$  и  $B$  кулисы представляетъ дугу круга  $I, I$  (см. черт. н<sup>о</sup> 77, таб. III), описанную изъ центра  $\mathcal{Q}$  радіусомъ, равнымъ длинѣ  $L$  эксцентриковаго шатуна, то геометрическое мѣсто среднихъ положеній точки подвѣса  $p$  будетъ дуга круга того же центра, но радіуса  $L - f$ , гдѣ  $f$  стрѣлка дуги  $A_c B_c$ , раздѣляющая точкою  $p$  оя хорду  $A_c B_c$  на части  $c_1$  и  $c_2$ . При мертвомъ положеніи кулисы, т. е. при  $u_1 + u_2 = U = 0$ , положеніе кулиснаго камня совпадаетъ съ основаніемъ и съ положеніемъ точки ( $p$ ) на томъ же основаніи, т. е. съ точкою ( $h$ ) пересѣченія дуги  $II, II$  радіуса  $L - f$  съ основаніемъ. Вообразимъ теперь среднее положеніе  $A_c B_c$  кулисы для передняго хода, какъ показано на чертежѣ (въ грубомъ масштабѣ); при этомъ величины  $u_1$  и  $u_2$  приняты положительными и

пусть  $m$  будет положеніе кулиснаго камня въ кулиссѣ. Точки  $h$  и  $m$ , какъ было сказано, должны лежать на дугѣ  $hm$  радіуса  $l$  и центра  $d_c$ . Обозначая точку пересѣченія прямой  $A_c B_c$  съ основаніемъ черезъ  $n$ , легко замѣтить, что отрѣзокъ  $hn$  есть отрѣзокъ сѣкущей равной  $2 \Omega h + hn = 2(L - f) + hn$ , а величина  $u_1$  есть касательная, поэтому имѣемъ:  $u_1^2 = hn(2(L - f) + hn)$ . Если пренебrecь квадратомъ  $hn$  и произведемъ  $hn \cdot f$ , какъ величинами четвертаго порядка въ сравненіи съ  $L$ , то получимъ  $u_1^2 = 2L \cdot hn$ . Откуда  $hn = \frac{u_1^2}{2L}$ . Съ тѣмъ же приближеніемъ стрѣлка  $hs$  дуги  $hm$  равна  $hs = \frac{(ms)^2}{2l} = \frac{u_2^2}{2l}$ , а величина  $ns$  найдется изъ подобія треугольниковъ  $mns$  и  $np\Omega$ ; именно

$$ns = \frac{u_2 \cdot u_1}{\Omega h} = \frac{u_2 \cdot u_1}{L - f},$$

или (съ той же степенью точности)  $ns = \frac{u_2 u_1}{L}$ . Замѣчая, что  $hs = hn + ns$  и, подставляя въ это равенство выше найденныя величины, получимъ:

$$\frac{u_2^2}{2l} = \frac{u_1^2}{2L} + \frac{u_2 \cdot u_1}{L} \quad \text{или} \quad \left(\frac{u_1}{u_2}\right)^2 + 2 \frac{u_1}{u_2} = \frac{L}{l}.$$

Это уравненіе даетъ искомую зависимость между величинами  $u_1$ ,  $u_2$ , которую представимъ въ слѣдующей формѣ:

$$\frac{u_1}{u_2} = -1 \pm \sqrt{1 + \frac{L}{l}} \quad \text{или} \quad \frac{u_1 + u_2}{u_1} = \frac{U}{n \cdot U} = \pm \sqrt{1 + \frac{L}{l}}.$$

Откуда  $n = \pm \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{L}{l}}}$  и, слѣдовательно,  $\frac{u_1}{u_2} = -1 \pm \frac{1}{n}$ .

При нашемъ способѣ перемѣщенія кулиussy величины  $u_1$ ,  $u_2$  однозначны для передняго и задняго хода, и потому отношеніе  $\frac{u_1}{u_2}$  должно быть положительнымъ; имѣя въ виду, что  $n < 1$ , получимъ  $\frac{u_1}{u_2} = -1 + \frac{1}{n}$ .

**115.** Удовлетворить найденному условію съ точностью перваго приближенія устройствомъ перекиднаго механизма не представляетъ затрудненій. Обозначая (см. черт. н<sup>о</sup> 90, таб. III) черезъ  $l_0$  разстояніе точки  $f$  подвѣса промежуточнаго стержня отъ его конца  $e$  (т. е.  $fe = l_0$ ), а черезъ  $a$ ,  $b$  плечи рычага заклиненнаго на перекидномъ валикѣ  $O$  и черезъ  $l$  длину  $me$  промежуточнаго золотниковаго стержня, удовлетворимъ предварительно тому условію, чтобы при мертвомъ положеніи кулиussy  $a + b = l - l_0$  и чтобы двухплечій рычагъ былъ параллеленъ основанію. Тогда подвѣски  $c'_{u_1} p$  и  $c_{u_2} f$ , предполагая ихъ равными, будутъ параллельны между собою. Обозначая далѣе черезъ  $u_1$  перемѣщеніе кулиussy, черезъ  $u_2$  перемѣщеніе кулиснаго камня и черезъ  $u_2^0$  перемѣщеніе точки  $f$ , найдемъ приблизительно  $\frac{a}{b} = \frac{u_1}{u_2^0}$  и  $\frac{l_0}{l} = \frac{u_2^0}{u_2}$  и слѣдовательно  $\frac{a}{b} \cdot \frac{l_0}{l} = \frac{u_1}{u_2}$ ,

ткуда  $\frac{a}{b} = \frac{u_1}{u_2} \frac{l}{l_0} = \frac{1-n}{n} \frac{l}{l_0}$  (см. пункт 114). Присоединивъ сюда равенство  $a + b = l - l_0$ , будемъ считать величины  $a$ ,  $b$  известными и, следовательно, известнымъ положеніе перекиднаго валика  $O$  при выбранной длинѣ подвѣски  $l_1$ . Координаты  $x$ ,  $y$  центра  $O$  относительно осей координатъ  $\Omega x$  и  $\Omega y$  будутъ  $x = \Omega p'_c + a = L - \frac{c_1 c_2}{2L} + a$ ;  $y = l_1$ . Абсциссы точекъ подвѣса  $c'_0$ ,  $c_0$  при мертвомъ стояніи кулисы, т. е. при  $U = 0$ , будутъ соответственно  $x - a$ ;  $x + b$ .

Для того, чтобы получить симметричность размаховъ качанія точекъ привѣса  $p$ ,  $f$ , относительно среднихъ положеній  $p_c$ ,  $f_c$ , при всякомъ положеніи кулисы, слѣдовало бы перемѣщать точки подвѣса  $c'_0$ ,  $c_0$  первую по дугѣ круга радіуса  $L - f'$  (какъ въ кулисѣ Стефенсона), гдѣ  $f' = \frac{c_1 c_2}{2L}$  или въ частномъ случаѣ  $= \frac{c^2}{2L}$ , а вторую точку  $c_0$  — по дугѣ круга радіуса  $l_0$  (какъ въ кулисѣ Гуча). Достигнуть этихъ условій непосредственнымъ употребленіемъ двухплечаго рычага невозможно, такъ какъ крайніе точки  $c'_0$ ,  $c_0$  плечъ его служить вмѣстѣ съ тѣмъ и точками подвѣса, при чемъ круговыя перемѣщенія ихъ отклоняются весьма чувствительно отъ надлежащихъ круговыхъ направленій.

Обстоятельство это повлечетъ за собою несимметричность размаховъ точекъ привѣса  $p$ ,  $f$  относительно  $p'_c$ ,  $f_c$  для всѣхъ положеній кулисы кромѣ мертвого, результатомъ чего будетъ отклоненіе среднихъ направленій этихъ точекъ отъ направленія параллельнаго основанію и болѣе или менѣе значительное скольженіе кулиснаго камня въ кулисѣ.

117. Если въ найденномъ отношеніи  $\frac{u_1}{u_2} = -1 \pm \frac{1}{n}$  взять второй знакъ (т. е. знакъ минусъ), то перемѣщенія  $u_1$ ,  $u_2$  должны быть неоднозначны, ибо отношеніе  $\frac{u_1}{u_2}$  есть величина отрицательная, слѣдовательно, при положительномъ значеніи  $u_1$ , что соответствуетъ опусканію кулисы (см. кулису Стефенсона), величина  $u_2$  должна быть отрицательна, а такъ какъ положительное значеніе этой величины соответствуетъ поднятію промежуточнаго золотничнаго стержня (см. кулису Гуча), то отрицательное значеніе  $u_2$  требуетъ опусканія его. Итакъ при опусканіи кулисы должно произойти одновременное опусканіе промежуточнаго стержня.

При отрицательномъ значеніи  $u_1$  (поднятіе кулисы) величина  $u_2$  должна быть положительна, что соответствуетъ поднятію этого стержня одновременному съ поднятіемъ кулисы. Такимъ образомъ перемѣщенія кулисы и промежуточнаго золотничнаго стержня должны быть направлены въ одну сторону. Выполненіе этого условія требуетъ устройства поворотнаго рычага втораго рода, какъ показано на черт. п<sup>о</sup> 106, таб. IV.

Этотъ способъ подвѣшиванія имѣетъ то преимущество, что направленіе точки подвѣса  $c'_u$  не столь значительно отклоняется отъ правильнаго по причинѣ большаго радіуса  $c'_0O$  дуги  $c'_0c_{u_1}$ , а направленіе точки  $c_{u_2}$  даже приближается къ правильному при значительной длинѣ радіуса  $c_0O$ , но это преимущество влечетъ за собою болѣе существенное неудобство въ другомъ отношеніи, а именно въ необходимости устройства противовѣса, что является совершенно излишнимъ при употребленіи двухплечаго рычага перваго рода, и составляетъ главнѣйшее достоинство Аллановской кулиussy.

Обозначая какъ и раньше плечи  $c_{u_1}O = a$ ,  $c_{u_2}O = b$ , получимъ условіе  $a - b = l - l_0$ , гдѣ  $fd_0 = l_0$  и  $md_0 = l$ . Но такъ какъ

$$\frac{l_0}{l} = \frac{u_2^0}{u_2}; \quad \frac{a}{b} = \frac{u_1}{u_2^0} \quad \text{и} \quad \frac{u_1}{u_2} = \frac{a}{b} \cdot \frac{l_0}{l} \quad (\text{см. пунктъ 115}),$$

то является второе условіе:

$$\frac{a}{b} = \frac{u_1}{u_2} \cdot \frac{l}{l_0} = \left(1 + \frac{1}{n}\right) \frac{l}{l_0},$$

которое съ условіемъ  $a - b = l - l_0$  вполне достаточны для опредѣленія величинъ  $a$ ,  $b$ .

Абсциссы точекъ подвѣса  $c'_0$  и  $c_0$  при  $U = 0$  опредѣляются безъ затрудненія  $\left(x'_0 = L - \frac{c^2}{2L}; \quad x_0 = x'_0 + l - l_0\right)$ , а потому опредѣлятся и положеніе перекиднаго валика  $O$  при выбранной величинѣ  $l_1$  равныхъ подвѣсокъ.

**118.** Построеніе результирующаго эксцентрика производится слѣдующимъ образомъ. Вообразимъ напр. кулиssу въ положеніи указанномъ на черт. n<sup>o</sup> 90 таб. III. Построимъ сперва извѣстнымъ образомъ (черт. n<sup>o</sup> 91) идеальныя эксцентрики  $\Omega E_\xi$  и  $\Omega B$ , опредѣляющіе перемѣщенія крайнихъ точекъ кулиssы  $A$ ,  $B$ , и примемъ одинъ изъ эксцентриковъ напр.  $\Omega E_\xi$  за поступательный, тогда, подобно тому какъ въ кулиссѣ Гуча, раздѣляемъ отрѣзокъ  $BE_\xi$  точкою  $E_r$  на части, удовлетворяющія условію  $\frac{E_\xi E_r}{E_\xi B} = \frac{c_1 + U}{c_1 + c_2}$ , гдѣ  $U = u_1 + u_2$ .

Соединивъ точку  $E_r$  съ центромъ  $\Omega$ , получимъ искомый результирующій эксцентрикъ  $\Omega E_r$  для положенія кулиssы и кулисснаго камня, опредѣленныхъ величиною  $U$ . Для кулиssъ съ перекрестными тягами, идеальныя эксцентрики, опредѣляющіе перемѣщенія концовъ  $A$ ,  $B$  кулиssы расположатся, на основаніи пункта 20, по другую сторону эксцентриковъ  $\Omega E'_0$ ,  $\Omega E''_0$ . Въ частномъ случаѣ, наиболѣе встрѣчающимся въ практикѣ, элементы ведущихъ эксцентриковъ равны между собою ( $r_1 = r_2$ ;  $\delta_1 = \delta_2$ ) и точка подвѣса кулиssы раздѣляетъ ея длину между крайними шарнерными точками пополамъ ( $c_1 = c_2$ ). Для этого случая на черт. n<sup>o</sup> 93, таб. IV построены кривыя  $A_1 E_0 B_n$  и  $a_1 E'_0 b_n$ , представляющія геометрическія мѣста центровъ результирующаго эксцентриковъ для кулиssъ съ открытыми тягами (первая кривая) и для кулиssъ съ перекрестными тягами (вторая кривая).

Эти кривыя построятся слѣдующимъ образомъ.

Построивъ дѣйствительные эксцентрики  $\Omega E_1, \Omega E_n$ , найдемъ сперва эксцентрики  $\Omega A_0, \Omega B_0$ , опредѣляющіе перемѣщенія концовъ кулисы при ея мертвомъ положеніи. Эксцентрикъ  $\Omega E_0$  получающійся приэтомъ опредѣлитъ перемѣщеніе кулиснаго камня для значенія  $U=0$ .

Опредѣлимъ теперь эксцентрики  $\Omega A_1$  для полного передняго хода и эксцентрикъ  $\Omega B_n$  для полного задняго хода. Проведя черезъ точки  $A_1, E_0, B_n$  дугу круга, получимъ съ точностью перваго приближенія искомую кривую центровъ результирующихъ эксцентриковъ для кулисы съ открытыми тягами. Подобнымъ же образомъ, принимая въ соображеніе пунктъ 20, построится кривая  $a_1 E'_0 b_n$  для кулисы съ перекрестными тягами.

119. Опредѣленіе координатъ  $A, B$  построенныхъ кривыхъ и ихъ уравненія не представитъ никакихъ затрудненій. Проектируя стороны (см. черт. 99, таб. IV) многоугольника  $\Omega E'_0 A B E''_0 \Omega$  на основаніе  $\Omega x$ , получимъ:

$$\Omega c = \Omega a + ab - cb = \Omega a + ac; \quad ac = ab \cdot \frac{c_1 + U}{c_1 + c_2};$$

$$\Omega a = r_1 \sin \delta_1 \mp \frac{r_1 (c_1 + u_1)}{L} \cos \delta_1; \quad ab = \Omega b - \Omega a;$$

$$\Omega b = r_2 \sin \delta_2 \pm \frac{r_2 (c_1 - u_2)}{L} \cos \delta_2.$$

Замѣчая, что  $u_1 = nU$  и  $u_2 = (1-n)U$  (см. пунктъ 114), получимъ послѣ сокращеній окончательно:

$$\begin{aligned} \Omega c = A &= \frac{c_2 - U}{c_1 + c_2} \left[ r_1 \sin \delta_1 \pm \frac{c_1 + nU}{L} r_1 \cos \delta_1 \right] + \\ &+ \frac{c_1 + U}{c_1 + c_2} \left[ r_2 \sin \delta_1 \pm \frac{c_2 - nU}{L} r_2 \cos \delta_2 \right]. \end{aligned}$$

Проектируя стороны того же многоугольника на ось  $\Omega y$ , найдемъ:

$$\Omega h = \Omega i - hi; \quad hi = ig \cdot \frac{(c_1 + U)}{c_1 + c_2}; \quad ig = \Omega i + \Omega g;$$

$$\Omega i = r_1 \cos \delta_1 \mp \frac{r_1 (c_1 + u_1)}{L} \sin \delta_1; \quad \Omega g = r_2 \cos \delta_2 \mp \frac{r_2 (c_2 - u_2)}{L} \sin \delta_2.$$

Послѣ сокращеній получимъ:

$$\begin{aligned} \Omega h = B &= \frac{c_2 - U}{c_1 + c_2} \left[ r_1 \cos \delta_1 \mp \frac{c_1 + nU}{L} r_1 \sin \delta_1 \right] - \\ &- \frac{c_1 + U}{c_1 + c_2} \left[ r_2 \cos \delta_2 \pm \frac{c_2 - nU}{L} r_2 \sin \delta_2 \right]. \end{aligned}$$

Въ частномъ случаѣ, когда ведущіе эксцентрики равны между собою и  $c_1 = c_2$ , получимъ:

$$A = r \sin \delta \mp r \frac{c^2 - U^2}{cL} \cos \delta; \quad B = \frac{rU}{c} \left( \cos \delta = \frac{c(1-n)}{L} \sin \delta \right).$$

Съ переѣнкой знака  $U$  величина  $A$  остается положительной, а  $B$  становится отрицательной, что указываетъ на симметричность кривыхъ относительно оси  $\Omega x$ . При  $U=0$ ,  $A_0 = r \sin \delta \pm \frac{rc}{L} \cos \delta$ ,  $B_0 = 0$ . Относя кривыя къ осямъ  $x$ ,  $y$ , проходящимъ черезъ точки  $E_0$  или  $E'_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 93, таб. IV), получимъ:  $A = A_0 \pm x$ ;  $B = y$ , откуда исключеніемъ переѣнной  $U$  найдемъ уравненіе  $y^2 = 2px$ , гдѣ

$$p = \frac{2nc \cos \delta}{Lr} \left[ \cos \delta \mp \frac{c(1-n)}{L} \sin \delta \right]^2.$$

Верхній знакъ въ выраженіяхъ  $A$ ,  $B$ ,  $p$  относится къ кулисамъ съ открытыми тягами, а нижній—къ кулисамъ съ перекрестными тягами, вслѣдствіе чего параметръ параболы для кулисъ съ перекрестными тягами выходитъ бѣльшимъ, чѣмъ при одинаковыхъ элементахъ ведущихъ эксцентрикѡвъ и прочихъ величинъ, въ параболѣ для кулисъ съ открытыми тягами, а это обстоятельство влечетъ за собою меньшую измѣняемость линейнаго опереженія въ первомъ случаѣ.

Сравнивая затѣмъ найденныя параболы съ параболами для кулисъ Стефенсона, мы получимъ, что, при одинаковыхъ элементахъ ведущихъ эксцентрикѡвъ и прочихъ величинъ, ихъ параметры значительно больше параметровъ параболъ для кулисъ Стефенсона, а потому и измѣняемость линейнаго опереженія въ кулиссѣ Аллана менѣе чѣмъ въ кулиссѣ Стефенсона.

Результирующій эксцентрикъ въ кулиссѣ Аллана легко построится, пользуясь найденными параболами, если замѣтимъ, что величина  $B$  измѣняется пропорціонально  $U$ , а потому, раздѣливъ отрѣзокъ  $A_1h = B$  на четыре части, соответственно четыремъ градусамъ кулисы, и, проведя изъ точекъ дѣленія (наприм. точка  $i$ ) линіи параллельныя оси  $\Omega x$  до пересѣченія съ кривой, (напр. точка  $E_r$ ) получимъ положенія центровъ искомыхъ результирующихъ эксцентрикѡвъ.

**120.** Аллановская кулисса для паровозной машины показана на чертежѣ н<sup>о</sup> 98, табл. IV. Детали всего механизма представлены на черт. н<sup>о</sup> 144, 145, 146, 125, 139, 140, 147, табл. V въ  $\frac{1}{10}$  п. в. Сама кулисса (закрытой конструкціи) изображена на чертежѣ н<sup>о</sup> 144. вмѣсто ведущихъ эксцентрикѡвъ устроены (см. черт. н<sup>о</sup> 145, 146) контръ-кривошипъ  $C$ , въ которомъ закрѣпляются, съ помощью винтовой нарѣзки и шурупа  $d$ , двѣ откованныя за одно цѣлое стальные цапфы  $\alpha$ ,  $\alpha'$ . Разстоянія ихъ центровъ до геометрической оси вала  $A$  должны быть равны величинамъ ( $r$ ), т. е. эксцентриситетамъ тѣхъ ведущихъ эксцентрикѡвъ, которые онѣ замѣняютъ, при этомъ должны быть образованы опредѣленные угловые элементы ( $\delta$ ) съ направленіемъ перпендикуляра къ кривошпиу.

На черт. н<sup>о</sup> 125 представлены головки ведущихъ шатуновъ, изъ нихъ бѣльшая головка съ вкладышами надѣвается на цапфы  $\alpha$ ,  $\alpha'$ , а мѣньшая соединяется съ цапфами кулисы  $a$ ,  $a$ ;  $b$ ,  $b$  (черт. н<sup>о</sup> 144). Цапфы  $c$ ,  $c$  кулисы служатъ для подвѣшиванія ея. Головки тягъ (см. черт. н<sup>о</sup> 147) для всѣхъ

шарнерныхъ соединеній снабжены внутренними вставными бронзовыми трубками, которые по мѣрѣ истиранія могутъ быть замѣнены новыми. На черт. n<sup>o</sup> 139, 140 показанъ поворотный двухплечій рычагъ откованный за одно цѣлое съ валикомъ. (Конструкція кулисы взята изъ Handbuch Heusinger von Waldegg. 1875).

На табл. XXX атласа показано общее расположеніе и детали Аллановской кулисы конструкціи завода Кокериль (Вельгія), на пароходѣ Великая Княгиня Марія Павловна \*).

121. Кромя вышеописанныхъ кулиссо-шатунныхъ механизмовъ иногда можно встрѣтить въ рудничныхъ подъёмныхъ машинахъ устройство кулисы въ формѣ скобы, имѣющей неподвижную ось вращенія, какъ показано на черт. n<sup>o</sup> 166, таблицы VI.

Поступательный идеальный эксцентрикъ кулисы очевидно равенъ нулю, вращательный же опредѣлится элементами перемѣщенія конечной точки  $d$ , связанной при посредствѣ эксцентриковаго шатуна  $L$  съ дѣйствительнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E$ . Угловой элементъ перемѣщенія этой точки долженъ быть равенъ нулю, а линейный пусть будетъ равенъ  $\Omega E_i$  (см. черт. n<sup>o</sup> 167); тогда при обратномъ вращеніи вала перемѣщеніе золотника опредѣлится эксцентрикомъ  $\Omega E'_i$  діаметрально противоположнымъ предыдущему съ такимъ же угловымъ элементомъ, а потому для прямого и обратнаго вращенія вала машины можетъ быть получено тождественное парораспределеніе. Угловой элементъ дѣйствительнаго эксцентрика на основаніи пункта 21 опредѣлится отрицательной величиной  $\alpha$  равной углу наклона прямой, соединяющей центр вала  $\Omega$  съ засѣчкой радіуса  $L$  къ среднему направленію движенія точки  $d$ .

Кулисса должна быть очерчена радіусомъ равнымъ длинѣ промежуточнаго золотничнаго стержня  $bS_i$ .

Для избѣжанія скольженія кулиснаго камня, весьма чувствительнаго при расположеніи тяги  $bS_i$  ниже основанія (если предположить устройство подвѣса тяги подобно указанному на черт. n<sup>o</sup> 153) употребляется слѣдующее приспособленіе Данека.

Кулисный камень подвѣшивается точкой  $d$  при помощи подвѣски  $cd$  къ поворотному рычагу  $c\omega H$ , имѣющему въ точкѣ  $\omega$  неподвижную ось вращенія, такимъ образомъ, чтобы шарнирная ось вращенія ( $c$ ) подвѣски совпала съ осью вращенія кулисы въ прямомъ (положительномъ) вращеніи вала. Въ обратномъ вращеніи вала съ этой осью должна совпасть вторая шарнирная ось вращенія ( $d$ ) подвѣски, при этомъ точка  $b$  кулиснаго камня, передающая движеніе золотнику, приметъ симметричное положеніе  $b_1$  по отношенію къ предыдущему ( $b$ ).

Нетрудно сообразить, что скольженіе кулиснаго камня въ прямомъ и обратномъ вращеніи вала уничтожается вѣселятъ только для двухъ вышеопредѣленныхъ его положеній.

Само собою разумѣется, что золотникъ, приводимый въ движеніе этимъ кулиснымъ приводомъ, не долженъ имѣть перекрышъ.

\*) Чертежъ этой машины мы получили отъ К. А. Зворыкина.

## ГЛАВА V.

## Символистика и классификація кулисныхъ механизмовъ.

122. Изложивъ основную теорію кулисныхъ механизмовъ, мы можемъ сдѣлать слѣдующее заключеніе.

Произвести результирующіе эксцентрики можетъ только шатунъ или органъ обладающій такимъ движеніемъ, которое можно разсматривать, какъ совокупность двухъ—поступательнаго и вращательнаго. Элементы этихъ двухъ перемѣщій опредѣляются приблизительно элементами нѣкоторыхъ идеальныхъ эксцентриковъ, которые мы назвали порознь *поступательнымъ* и *вращательнымъ*. Сообразно расположенію основаній этихъ эксцентриковъ мы раздѣлили все механизмы на два отдѣла.

Къ первому отдѣлу (*A*) мы отнесли тѣ механизмы, въ которыхъ поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна имѣютъ *взаимно-перпендикулярныя основанія* (см. глава III, радіальные механизмы).

Ко второму отдѣлу (*B*) отнесены механизмы, движеніе производящаго шатуна которыхъ опредѣляется поступательнымъ и вращательнымъ эксцентрикомъ, имѣющими одно общее основаніе. Механизмы эти мы назвали *кулиссо-шатунными* (см. глава IV).

Во всехъ механизмахъ этого отдѣла производящій шатунъ можетъ имѣть форму скобы съ вырѣзомъ или кулисы, предназначеніе которой заключается въ приведеніи вращательнаго эксцентрика къ различнымъ радіусамъ вращенія. Имѣя въ виду, что это измѣненіе вращательнаго эксцентрика можетъ быть произведено не въ самомъ производящемъ шатунѣ (кулисѣ), а въ одномъ изъ членовъ кинематической цѣпи, предназначенныхъ для сообщенія ему вращательнаго движенія, всегда возможно, по крайней мѣрѣ принципиально, устроить отдѣльно вращательную пару въ формѣ кулисы съ постоянной осью вращенія для измѣненія величины вращательнаго эксцентрика производящаго шатуна (см. пунктъ 114). Обрато механизмы подобнаго рода (Фидлеръ, Гейзингеръ и др.) всегда возможно превратить, какъ было показано (см. пункты 87 и 90), въ *кулиссо-шатунные механизмы*. Благодаря этому свойству, мы, вообще, назвали механизмы, причисленные ко второму отдѣлу, *кулиссо-шатунными*.

Дальнѣйшая группировка каждаго отдѣла должна основываться 1) на различіи въ способѣ образованія производящаго шатуна, или что одно и тоже на различіи въ способѣ образованія поступательнаго и вращательнаго эксцентрика, опредѣляющихъ его движеніе, 2) на различіи въ способѣ измѣненія результирующаго идеальнаго эксцентрика, а именно измѣненіемъ величины поступательнаго, или вращательнаго эксцентрика производящаго шатуна, или совокупнымъ измѣненіемъ того и другаго.

Различіе въ способѣ измѣненія результирующаго эксцентрика при одномъ и томъ же способѣ образованія производящаго шатуна можетъ повлечь за собою, какъ увидимъ далѣе, значительное измѣненіе конструкторціи всего механизма.

Что же касается способов передачи результирующих эксцентриковъ къ золотнику, то они находятся въ зависимости отъ расположенія основаній поступательнаго и вращательнаго эксцентриковъ и способовъ измѣненія ихъ. Такъ напр. всѣ механизмы перваго отдѣла (радіальные механизмы) требуютъ, для приведенія обѣихъ идеальныхъ эксцентриковъ производящаго шатуна (поступательнаго и вращательнаго) къ результирующему и передачи его къ золотнику, устройства *передаточной шатунной пары* (исключеніе—механизмъ Депре, занимающій среднее мѣсто между радіальными и кулисно-шатунными механизмами). Между тѣмъ, какъ механизмы втораго отдѣла (кулисно-шатунные) передаютъ результирующіе эксцентрики при посредствѣ паръ поступательныхъ или вращательныхъ.

**123.** Для лучшаго обнаруженія сходства и различія между собою кулисныхъ механизмовъ съ тѣхъ точекъ зрѣнія, которыя были изложены въ предыдущемъ пунктѣ, мы предлагаемъ способъ символическаго изображенія ихъ.

Этотъ способъ не только позволитъ привести въ систему методы построенія кулисныхъ механизмовъ, но и дастъ возможность, какъ и слѣдуетъ ожидать, указать на пробѣлы въ общей системѣ механизмовъ, и предложить новыя механизмы неупотреблявшіеся въ практикѣ, или на механизмы можетъ быть и существующіе, но неизвѣстные автору.

Условимся въ слѣдующихъ обозначеніяхъ:



эксцентриковая шатунная пара.



кривошипная шатунная пара.



поступательная пара.



вращательная пара (неподвижная ось вращенія).



вращательная пара (подвижная ось вращенія). Этимъ знакомъ

мы будемъ означать *стержи*, служащія для передачи идеальныхъ эксцентриковъ отъ одной вращательной пары съ неподвижною осью вращенія къ подвижному члену другой пары вращательной или поступательной. Этимъ же знакомъ можно обозначить промежуточные золотниковые стержни съ ихъ направлениемъ. Ограничиваясь точностью перваго приближенія, можно исключить этотъ знакъ изъ общаго знакоположенія.



переносная шатунная пара. Эта пара служитъ для приведенія обѣихъ эксцентриковъ—поступательнаго и вращательнаго, имѣющихъ взаимноперпендикулярныя основанія, къ одному результирующему, и переносить его къ золотнику.



шатунная пара втораго порядка (см. пункты 36 и 52). Она занимаетъ поступательный и вращательный эксцентрики, отъ одной эксцентриковой или кривошипной шатунной пары (перваго порядка), или порознь отъ

различныхъ паръ  и .

Занмствованіе это въ первомъ случаѣ можетъ быть непосредственно,— тогда мы обозначимъ ее полнѣе двумя знаками  $\ominus \ominus$ , и наконецъ въ обоихъ случаяхъ можетъ происходить при посредствѣ переносныхъ паръ  $\square \ominus \ominus \square$ . Полное обозначеніе ее будетъ указано далѣе.



шатунная пара, поступательный и вращательный эксцентрики, которой имѣютъ одно общее основаніе. Она можетъ быть образована непосредственно изъ пары  $\ominus$ , придавая шатуну послѣдней трехплечую форму (см. вв. 46 и 81) и тогда мы ее полнѣе обозначимъ двумя знаками  $\ominus \begin{array}{c} \circ \\ \square \end{array}$ . Вообще же говоря, этого рода шатунная пара можетъ занмствовать свои поступательный и вращательный эксцентрики отъ одной изъ паръ  $\ominus$  или  $\ominus$ , или отъ обеихъ паръ порознь, при посредствѣ переносныхъ паръ  $\square \ominus \ominus \square$ . Полное ея обозначеніе въ этихъ случаяхъ будетъ указано далѣе. Замѣтимъ, что эта пара можетъ образоваться непосредственно изъ шатунной пары  $\ominus$  втораго порядка, придавая шатуну послѣдней трехплечую форму и тогда мы обозначимъ ее полнѣе двумя знаками  $\ominus \begin{array}{c} \circ \\ \square \end{array}$ .

Орудіемъ производящимъ результирующіе эксцентрики является такимъ образомъ одна изъ паръ  $\ominus$ ,  $\ominus$ ,  $\begin{array}{c} \circ \\ \square \end{array}$ .

Обозначимъ далѣе буквами:

$(\varepsilon_n)_{x,c}$  поступательный эксцентрикъ,

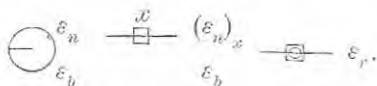
$(\varepsilon_b)_{x,c}$  вращательный эксцентрикъ,

$\varepsilon_r$  результирующій эксцентрикъ.

Значки  $(x)$  укажутъ на измѣняемость величинъ, а значки  $(c)$  обращаютъ особое вниманіе на постоянство величинъ.

Обозначенія эксцентриковъ  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_b$  будемъ ставить при знакахъ тѣхъ шатунныхъ паръ, отъ шатуновъ которыхъ они занмствуются. Обозначенія эксцентриковъ  $(\varepsilon_n)_x$ ,  $(\varepsilon_b)_x$  будемъ ставить при знакахъ тѣхъ переносныхъ вращательныхъ или поступательныхъ паръ, конми эти эксцентрики измѣняются.

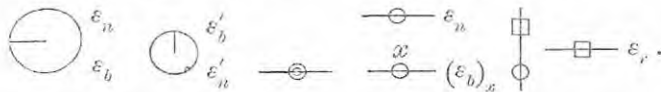
Такимъ образомъ, полное обозначеніе механизма Гакворта (см. черт. н<sup>о</sup> 54, табл. II) будетъ:



Оно показывает, что эксцентрики  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_b$  заимствуются непосредственно от шатуна эксцентриковой шатунной пары, при чем эксцентрик  $\varepsilon_n$  изменяется изменением положения неподвижного члена поступательной пары (кулисса или направляющая линейка). Измененный поступательный эксцентрик  $(\varepsilon_n)_x$  совокупно с вращательным  $\varepsilon_b$  переносной шатунной парой переносятся на одно общее основание, где и складываются геометрически в результирующей  $\varepsilon_r$ .

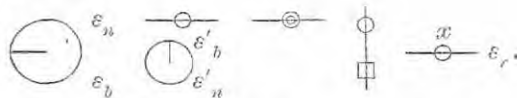
Таже формула может относиться и к их механизмам Блюга и Маршала (см. черт. n<sup>o</sup> 51, табл. II), если мы вместо знака поступательной направляющей пары  $\square$  подставим знак пары вращательной  $\ominus$ . При этом для обозначения положения эксцентриситета действительного эксцентрика при начальном положении кривошипа может служить знак  $\ominus$  или  $\omin�$ .

Для обозначения способа передачи идеальных эксцентриков  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_b$  к производящему шатуну и следовательно для обозначения способа построения производящего шатуна условимся влѣдъ за буквами  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_b$  ставить знаки тѣхъ паръ, концы эти эксцентрики переносятся. Такъ напр. символическая формула механизма Гейзингера (см. черт. n<sup>o</sup> 73 табл. III) будетъ:

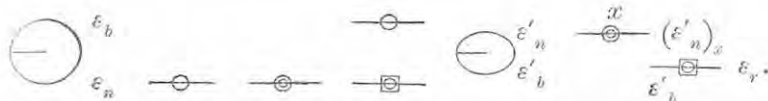


Формула эта выражаетъ, что поступательный эксцентрик шатуна кривошипной шатунной пары при посредствѣ серьги, или вращающейся трубки (вращательная пара) передается производящему шатуну безъ измененія, при этомъ вращательный эксцентрикъ остается безъ употребленія. Отъ шатуна второй эксцентриковой шатунной пары заимствуется тоже одинъ изъ его эксцентриковъ — поступательный, который при посредствѣ  $\ominus$  вращательной пары съ неподвижной осью вращенія (кулисса) и  $\ominus$  промежуточного стержня передается производящему шатуну. Изменениемъ положенія промежуточного стержня изменяется линейный элементъ этого эксцентрика; такъ какъ угловой элементъ его долженъ быть равенъ нулю, то действительный эксцентрикъ заклинивается по направленію перпендикулярному къ кривошипу. При утилизированіи вращательнаго эксцентрика  $(\varepsilon'_b)$  действительный эксцентрикъ (его эксцентриситетъ) долженъ былъ бы совпадать съ направленіемъ кривошипа.

Изменяя механизмъ Гейзингера, какъ сказано въ пунктѣ 87, получимъ слѣдующую формулу его:



Формула механизма Джоя n<sup>o</sup> 3 (см. черт. n<sup>o</sup> 61, табл. II, черт. n<sup>o</sup> 104 табл. IV) представится слѣдующимъ образомъ:



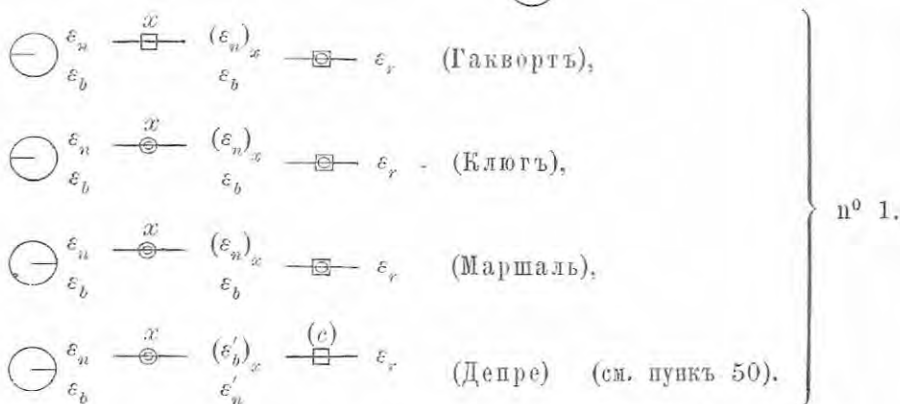
Формула указываетъ, что поступательный эксцентрикъ кривошипной шатунной пары при посредствѣ серьги, вращательной пары (коромысло) и переносной шатунной пары передается производящему шатуну шатунной пары втораго порядка и опредѣляетъ его вращеніе. Вращательный же эксцентрикъ ( $\varepsilon_b$ ) опредѣляетъ его поступаніе.

Дальнѣйшій процессъ образования результирующаго эксцентрика тотъ же, что и въ механизмѣ Клюга.

Этихъ примѣровъ вполне достаточно для того, чтобы перейти къ символическому формулированію и группировкѣ механизмовъ.

124.

## А. Радиальные механизмы.

ГРУППА I  $\ominus$ .

Общая формула для этого класса механизмовъ  $\ominus \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ \varepsilon_b \end{matrix}$ .

По аналогіи напишемъ общія формулы для слѣдующихъ двухъ классовъ механизмовъ неизвѣстныхъ:

$$\ominus \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix} \quad (n^\circ 2) \quad \text{и} \quad \ominus \begin{matrix} \varepsilon_n \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix} \quad (n^\circ 3).$$

Понятно, что къ классамъ  $n^\circ 2$  и  $n^\circ 3$  могутъ принадлежать разнообразныя механизмы, ибо способъ измѣненія эксцентриковъ  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_b$  не указанъ точнымъ образомъ, какъ въ механизмахъ перваго класса  $\ominus \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ \varepsilon_b \end{matrix}$ ; кромѣ того весьма возможно, что эти способы и для класса  $n^\circ 1$  неисчерпаны вполне вышеуказанными изобрѣтателями.

ГРУППА II  $\ominus \ominus$ .

Къ этой группѣ отнесемъ радіальные механизмы съ производящими шатунами шатунныхъ паръ второго порядка (и третьяго и т. д.). Поставивъ послѣ знака  $\ominus$  въ формулахъ группы I, п<sup>0</sup> 1. Знакъ  $\ominus$ , получимъ полное обозначеніе слѣдующихъ механизмовъ:

$\ominus$	$\ominus$	$\varepsilon_n$	$\xrightarrow{x}$	$(\varepsilon_n)_x$	$\xrightarrow{x}$	$\varepsilon_r$	(Броунъ),	}
		$\varepsilon_b$		$\varepsilon_b$				
$\ominus$	$\ominus$	$\varepsilon_n$	$\xrightarrow{x}$	$(\varepsilon_n)_x$	$\xrightarrow{x}$	$\varepsilon_r$	(Броунъ),	
		$\varepsilon_b$		$\varepsilon_b$				
$\ominus$	$\ominus$	$\varepsilon_n$	$\xrightarrow{x}$	$(\varepsilon_n)_x$	$\xrightarrow{x}$	$\varepsilon_r$	(Броунъ),	}
		$\varepsilon_b$		$\varepsilon_b$				
$\ominus$	$\ominus$	$\varepsilon_n$	$\xrightarrow{x}$	$(\varepsilon'_n)_x$	$\xrightarrow{c}$	$\varepsilon_r$	(Новый механизмъ),	
		$\varepsilon_b$		$\varepsilon'_n$				

Между механизмами этого класса извѣстенъ одинъ только механизмъ Броуна, который выражается одною изъ первыхъ трехъ написанныхъ формулъ въ зависимости отъ способа направленія производящаго шатуна Броуна. Конхондное коромысло, примѣненное Броуномъ, можетъ, какъ увидимъ впоследствии, произвести указанные направленія.

Послѣдняя формула класса п<sup>0</sup> 1 представляетъ новый механизмъ, на который мы вскорѣ обратимъ вниманіе.

Общая формула механизмовъ класса п<sup>0</sup> 1 будетъ  $\ominus \ominus \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ \varepsilon_b \end{matrix}$ .

Точно также перенишемъ общія формулы группы I, класса п<sup>0</sup> 2 и п<sup>0</sup> 3, принимая во вниманіе тѣ замѣчанія, которыя были сдѣланы по отношенію къ нимъ и получимъ:

$$\ominus \ominus \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix} \quad (\text{п}^0 \text{ 2}) \quad \text{и} \quad \ominus \ominus \begin{matrix} \varepsilon_n \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix} \quad (\text{п}^0 \text{ 3}).$$

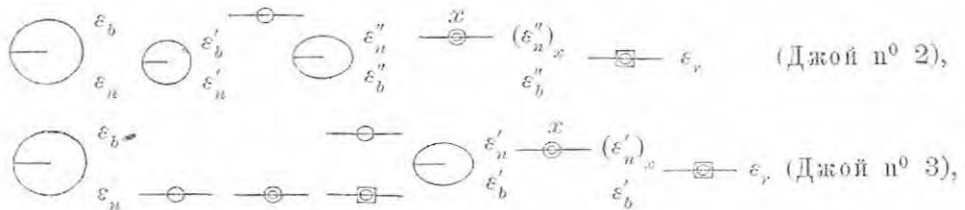
Формулы механизмовъ этой группы съ производящими шатунами шатунныхъ паръ третьяго порядка напишутся поставивъ еще знакъ  $\ominus$  въ предыдущихъ формулахъ. Между ними извѣстенъ механизмъ Джоя п<sup>0</sup> 1 и механизмъ Броуна (см. черт. п<sup>0</sup> 211, табл. VIII), выражаемые одною общемою формулою:

$$\ominus \begin{matrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_b \end{matrix} \ominus \begin{matrix} \varepsilon'_b \\ \varepsilon'_u \end{matrix} \ominus \begin{matrix} \varepsilon''_n \\ \varepsilon''_b \end{matrix} \xrightarrow{x} (\varepsilon''_n)_x \xrightarrow{x} \varepsilon_r,$$

Вслѣдствіе утилизовапія обоихъ эксцентриковъ  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_b$  шатуна кривошипнои шатуной пары явилась надобность, для уменьшенія ихъ масштаба, въ построеніи шатуной пары третьяго порядка.

### ГРУППА III.

Къ ней отнесемъ механизмы съ производящими шатунами, поступательные и вращательные эксцентрики коихъ заимствуются при посредствѣ переносныхъ вращательныхъ и шатуныхъ паръ:



Способъ построения результирующаго эксцентрика производящимъ шатуномъ, какъ видно, несколько не отличается отъ такового въ механизмахъ Клюга, Гакворта, Маршала, Броуна, а потому, принимая во вниманіе замѣчанія относящіяся къ механизмамъ I группы, заключаемъ, что все известныя и неизвѣстныя механизмы этой группы и группы II могутъ быть построены по способу построения производящаго шатуна механизмовъ группы III.

Общія формулы механизмовъ разсматриваемой группы переписутся безъ затрудненія, пользуясь формулами I и II группъ.

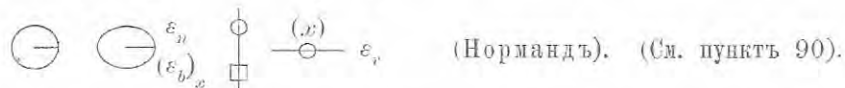
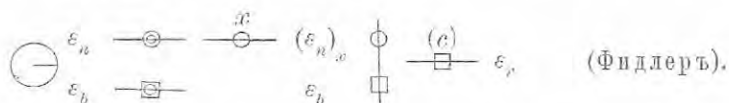
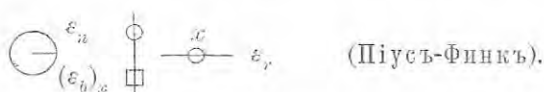
*Заключеніе.* Все три группы механизмовъ называемыхъ радіальными выражаютъ, независимо отъ способа построения производящаго шатуна, одну общую идею, состоящую въ томъ, чтобы поступательный и вращательный эксцентрики его съ основанийъ взаимно-перпендикулярныхъ перевести на одно общее основаніе при условіи измѣненія величины одного изъ нихъ, или двухъ вмѣстѣ. Идея эта выражается общею формулою  $\bigcirc \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix} \varepsilon_r$ .

### В. Кулисно-шатуные механизмы.

125. Производящій шатунъ въ механизмахъ этого отдѣла опредѣляется, какъ известно (см. глава IV), двумя эксцентриками—поступательнымъ и вращательнымъ, имѣющими одно общее основаніе.

### ГРУППА I.

Поступательный и вращательный эксцентрики производящаго шатуна заимствуются отъ одной эксцентриковой, или отъ одной кривошипнои шатуной пары.



Всѣ три механизма эти различаются между собою только способомъ передачи эксцентриковъ  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_b$  отъ основной эксцентриковой шатуновой пары и выражаютъ одну общую идею, осуществленную простѣйшимъ образомъ въ механизмѣ Піусь-Финнка.

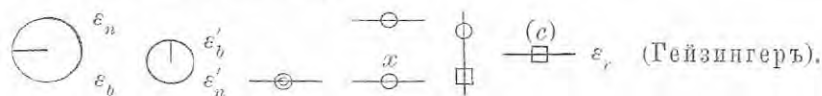
Въ механизмахъ, въ которыхъ утилизируется кривошипная шатуновая пара, относится одинъ извѣстный механизмъ Кирка, выражаемый формулою:



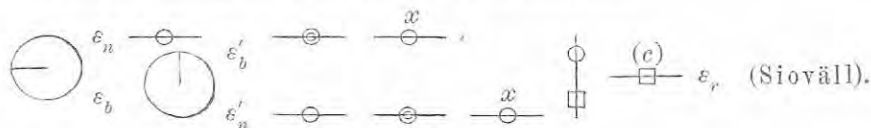
Построивъ шатуновую пару второго или третьяго порядка по способу Джоя ( $n^0 1$ ,  $n^0 2$ ,  $n^0 3$ ), отъ шатуна машины, и примѣняя идею Піусь-Финнка, мы получимъ новый кулиссо-шатуновый механизмъ безъ эксцентриковъ подобный механизму Норманда.

### ГРУППА II.

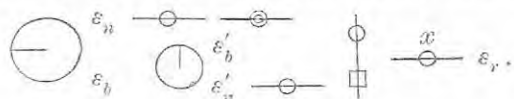
Въ построение производящаго шатуна входятъ одна эксцентриковая и одна кривошипная шатуновая пара:



Замѣняя эксцентриковую шатуновую пару второй кривошипной (въ машинахъ съ двумя цилиндрами подъ угломъ  $90^0$ ), получимъ:

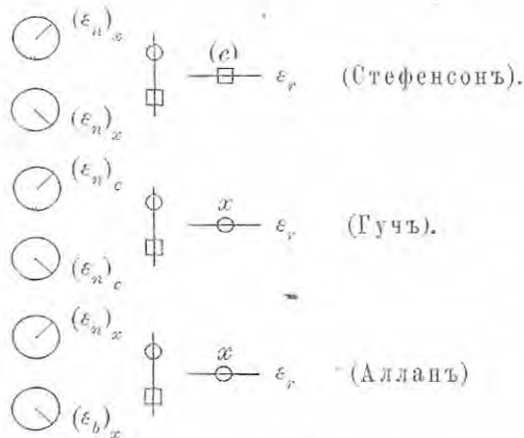


Видоизмѣняя механизмъ Гейзингера (см. пунктъ 87), получимъ:



## ГРУППА III.

Въ построение кулиснаго шатуна входятъ двѣ эксцентриковыя шатуныя пары.



126. Закончивая классификацію всѣхъ, такъ называемыхъ кулисныхъ механизмовъ, мы сдѣлаемъ слѣдующее общее заключеніе.

Всѣ эти механизмы имѣютъ прототипомъ двѣ шатуныя формы, одну  $\bigcirc \begin{matrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_b \end{matrix}$  и другую  $\bigcirc \begin{matrix} \varepsilon_n \\ \varepsilon_b \end{matrix}$ . Такъ какъ эти формы однородны, ибо одна получается видоизмѣненіемъ другой, то понятно, что орудіемъ производящимъ результирующіе эксцентрики долженъ быть *шатуна* въ самомъ широкомъ значеніи этого слова.

Въ нѣкоторыхъ механизмахъ шатуна этотъ можетъ быть на первый взглядъ незамѣтенъ, какъ напр. въ механизмѣ представленномъ на черт. n<sup>o</sup> 159, 160, табл. VI, но послѣ ближайшаго разсмотрѣнія онъ долженъ обнаружиться, какъ это будетъ тотчасъ показано, и слѣдовательно должны обнаружиться его поступательный и вращательный эксцентрики, производящіе эксцентрики результирующіе.

## ГЛАВА VI.

Разсмотрѣніе нѣкоторыхъ механизмовъ, входящихъ въ общую символическую классификацію кулисныхъ приводовъ.

127. Обратимся къ общей формулѣ механизмовъ класса n<sup>o</sup> 2, группы I, т. е. къ формулѣ  $\bigcirc \begin{matrix} (\varepsilon_n)_x \\ (\varepsilon_b)_x \end{matrix}$  (см. пунктъ 124) и построимъ хоть одинъ механизмъ этого класса.

Съ цѣлью полученія точнаго идеальнаго движенія золотника, т. е. точнаго результирующаго идеальнаго эксцентрика, построимъ шатуны, производящій точное эллиптическое перемѣщеніе, и для сего воспользуемся извѣстнымъ принципомъ Эванса (положеннымъ въ основаніе его параллелограмма), описаннымъ въ пунктѣ 54.

Итакъ, примемъ (см. черт. н<sup>о</sup> 22, табл. I) отрѣзокъ  $cb$  прямой, концы котораго перемѣщаются по двумъ взаимно-перпендикулярнымъ направленіямъ, за производящій шатунъ. Такъ какъ середина  $O$  отрѣзка  $cb$  описываетъ окружность, то означенное перемѣщеніе шатуна можно выполнить съ помощію ведущаго радіуса  $\Omega O$  и одной направляющей кулисы  $\Omega x$ , при чемъ второе направленіе становится излишнимъ.


Возьмемъ на шатуны  $cb$  произвольную точку  $a$  и опредѣлимъ элементы перемѣщенія ея проекціи на основаніе, предполагая, что эта точка, описывающая точный эллипсъ, сообщаетъ безконечнымъ шатуномъ движеніе золотнику.

Расположимъ ведущій радіусъ (см. черт. н<sup>о</sup> 55, табл. II) на продолженіи кривошипа  $\pi$ , вообразивъ его начальное положеніе, повернемъ направляющую кулису, вращая ее около центра  $c_0$ , на нѣкоторый уголъ  $\varphi$  къ основанію. Шатунъ приметъ при этомъ новое положеніе  $c'_0 b'_0$  вращаясь около оси  $O$ , а промежуточная точка его  $E_0$  (на предыдущемъ чертежѣ — точка  $a$ ) перейдетъ въ положеніе  $E_\varphi$ .

$$\text{Обозначимъ } Oc_0 = \rho; \quad c_0 b_0 = l = 2\rho; \quad OE_0 = OE_\varphi = a.$$

При мертвомъ (начальномъ) положеніи кулисы ( $\varphi = 0$ ) точка  $E_0$  опишетъ эллипсъ, оси котораго совпадутъ съ осями координатъ  $c_0 x$ ,  $c_0 y$ , при чемъ перемѣщенія проекцій ея на эти оси опредѣлятся точно элементами идеальныхъ эксцентриковъ  $\varepsilon_a = c_0 E_0 = r = \rho \left(1 + \frac{a}{\rho}\right)$ ,  $\delta = 90^\circ$  по основанію  $c_0 x$  и  $\varepsilon_b = c_0 E'_0 = r = \rho \left(1 - \frac{a}{\rho}\right)$ ,  $\delta = 180^\circ$  по основанію  $c_0 y$ . Одинъ изъ этихъ эксцентриковъ, опредѣляющій перемѣщеніе проекціи точки  $E_0$  на основаніе, можетъ быть принятъ за поступательный, а другой за вращательный.

Наклонивъ кулису  $c_0 x$  на уголъ  $\varphi$ , мы найдемъ, что перемѣщенія проекцій точки  $E_\varphi$  на наклонныя оси  $c_0 x_1$  и  $c_0 y_1$  опредѣлятся эксцентриками равными предыдущимъ, но съ другими угловыми элементами, а именно  $90 + \varphi$ ,  $180 + \varphi$ , а поворачивая кулису въ противоположную сторону на тотъ же уголъ (не показано на черт.), найдемъ угловые элементы этихъ эксцентриковъ равными  $90 - \varphi$ ,  $180 - \varphi$ . Оба эти идеальные эксцентрика могутъ быть приведены къ одному общему основанію  $c_0 x$ , или  $c_0 y$  (см. правило пунктъ 29) и геометрически сложены въ результирующій. Воображая кулису повернутой на уголъ  $\varphi$ , расположенной выше основанія  $c_0 x$ , и приводя ихъ къ этому основанію, построимъ (см. черт. н<sup>о</sup> 56, табл. II) эксцентрики  $r \cos \varphi = \Omega E_\varphi$ ,  $\delta = 90 - \varphi$  и  $r_1 \sin \varphi = \Omega E_{\varphi_1}$ ,  $\delta = 180 - \varphi$ , и сложимъ въ искомый резуль-

тирующей  $\Omega E_i$ . Понятно, что приведение обоих эксцентриков  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_b$  къ одному основанію осуществляется въ дѣйствительности переносной шатунной парой .

Элементы  $A$  и  $B$  найдемъ изъ черт. n<sup>o</sup> 56, проектируя эксцентрикъ  $\Omega E_i$  на оси  $\Omega x$  и  $\Omega y$ . Легко видѣть, что

$$A = \Omega E_{\xi} \cos \varphi + E_{\xi} E_i \sin \varphi = (\rho + a) \cos^2 \varphi + (\rho - a) \sin^2 \varphi = \rho + a \cos 2\varphi,$$

$$B = \Omega E_{\xi} \sin \varphi - E_{\xi} E_i \cos \varphi = (\rho + a) \cos \varphi \sin \varphi - (\rho - a) \sin \varphi \cos \varphi = 2 a \sin \varphi \cos \varphi = a \sin 2\varphi.$$

Такъ какъ эти величины представляютъ координаты центра  $E_i$  результирующаго эксцентрика относительно осей  $\Omega x$ ,  $\Omega y$ , то обозначая  $A = x$  и  $B = y$  и исключая переменную  $\varphi$ , найдемъ уравненіе  $(x - \rho)^2 + y^2 = a^2$  (т. е. уравненіе окружности радіуса  $a$ , центръ которой расположенъ на оси  $\Omega x$  на разстояніи отъ центра  $\Omega$  равномъ  $\rho$ ), геометрическаго мѣста центровъ различныхъ результирующихъ эксцентриковъ механизма, измѣняющихъ свои элементы въ зависимости отъ величины угла наклона  $\varphi$ .

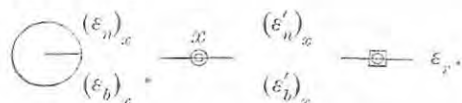
Переносъ ось вращенія кулисы Гакворта въ центръ вала и укорачивая надлежащимъ образомъ шатунъ эксцентрика, мы получимъ вышеописанный механизмъ, въ которомъ поворачиваніемъ кулисы измѣняются оба идеальные эксцентрика  $\varepsilon_n$  и  $\varepsilon_b$ . Само собою разумѣется, что осуществить разсмотрѣнный механизмъ устройствомъ поворачивающейся около центра вала  $\Omega$  прямолинейной кулисы невозможно, поэтому при конструированіи его приходится обратиться къ приемамъ, вытекающимъ изъ слѣдующихъ разсужденій.

**128.** Разсматривая перемѣщеніе шатуна  $c'_0 b'_0$  (см. черт. n<sup>o</sup> 55) въ элементъ времени легко замѣтить, что мгновенный центръ вращенія его лежитъ на окружности, построенной на немъ какъ на діаметрѣ, въ точкѣ касанія ея къ окружности радіуса  $c_0 b_0 = 2\rho = c'_0 b'_0$ , конечное же перемѣщеніе представится перекатываніемъ окружности построенной на немъ по внутренней сторонѣ неподвижной окружности радіуса  $2\rho$ . Такимъ образомъ направляющую кулису можемъ замѣнить направляющимъ кругомъ радіуса  $2\rho$ , а шатунъ  $c_0 b_0$  кругомъ построеннымъ на немъ, какъ на діаметрѣ, и имѣющимъ подвижную ось вращенія  $O_1$ . Воображая эти круги начальными кругами колесъ съ внутреннимъ сдѣвленіемъ, посадимъ малое изъ нихъ на цапфу  $O$  колѣчатаго вала или кривошипа. Выбравъ въ плоскости диска малаго колеса точку  $E_\varphi$ , которая должна сообщить движеніе золотнику, необходимо устроить передаточную шатунную пару. Если малое колесо посажено на цапфу кривошипа, то въ точкѣ  $E_\varphi$  возможно расположить центръ цапфы передаточнаго шатуна, въ противномъ случаѣ, т. е. при существованіи колѣчатаго вала, придется совмѣстить съ этой точкой центръ диска эксцентрика, совершенно свободно посаженнаго на шейку или цапфу колѣна, съ эксцентриситетомъ равнымъ величинѣ  $OE_0 = a$ , и связать этотъ дискъ неизмѣнно съ дискомъ колеса. Описанная такимъ образомъ конструкція механизма показана на черт. n<sup>o</sup> 159, 160 табл. VI и на черт. n<sup>o</sup> 1, n<sup>o</sup> 1<sup>a</sup> табл. XL

атласа. Поворачиваніемъ большого колеса, посаженнаго свободно на валъ  $\Omega$ , достигается измѣненіе элементовъ движенія золотника.

Большое колесо съ валомъ  $\Omega$  составляетъ направляющую вращательную пару, замѣняющую собою поступательную пару механизма Гакворта \*). Такимъ образомъ получается парораспределительный механизмъ, представляющій самую простѣйшую форму циклическаго (гипоциклическаго) заѣвленія.

При помощи извѣстныхъ символическихъ обозначеній напишемъ формулу механизма въ слѣдующемъ видѣ:



**129.** Обращаясь къ соображеніямъ относительно примѣненія этого механизма на практикѣ, замѣтимъ слѣдующее. По конструктивнымъ условіямъ радіусъ колѣна  $c_0O_1 = \rho$  (см. черт. н<sup>о</sup> 55, табл. II) не можетъ быть очень малымъ, а такъ какъ эксцентриситетъ поступательнаго идеальнаго эксцентрика при мертвомъ положеніи кулисы равенъ величинѣ  $\rho + a$ , которая должна быть величиною равною, при  $\varphi = 0$ , открытію паровцуснаго окна плюсъ вѣшняя перекрыша золотника, то ведущую точку  $E_0$  придется расположить по другую сторону центра  $O$  въ точкѣ  $E'_0$ .

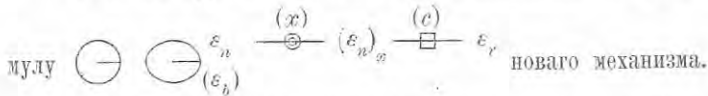
Тогда при наклонѣ кулисы на уголъ  $\varphi$  выше основанія элементы поступательнаго эксцентрика будутъ равны  $r = \rho - a$ ,  $\delta = 90 - \varphi$ , а вращательнаго  $r_1 = \rho + a$ ,  $\delta_1 = 180 - \varphi$ . При заданной величинѣ  $r$  можно увеличеніемъ  $a$  увеличить до надлежащаго размѣра величину  $\rho$ . Элементы  $A$ ,  $B$  въ этомъ случаѣ будутъ  $A = \rho - a \cos 2\varphi$ ;  $B = \mp a \sin 2\varphi$ . Такъ какъ на основаніи пункта 126 геометрическое мѣсто центровъ результирующихъ эксцентриковъ есть окружность, описанная изъ центра  $O$  радіусомъ  $a$ , то легко замѣтить, проводя касательную изъ центра  $c_0$  (см. черт. н<sup>о</sup> 55, табл. II) къ этой окружности, что для уменьшенія углового элемента (который равенъ углу наклона этой касательной къ оси  $c_0y$ ), приходится сильно увеличивать размѣръ  $a$ , т. е. эксцентриситетъ эксцентрика, что повятно неудобно. Подобно тому какъ въ механизмѣ Финка предѣломъ этого угла слѣдуетъ считать уголъ въ  $45^\circ$ . Второе неудобство, лежащее въ основѣ конструкціи механизма, состоитъ въ томъ, что угловая скорость вращенія малаго колеса и слѣдовательнаго эксцентрика вдвое болѣе угловой скорости вала. Оба недостатка могутъ быть уменьшены устройствомъ кривошина вмѣсто колѣчататаго вала, гдѣ это оказывается возможнымъ, такъ какъ въ этомъ случаѣ эксцентрикъ замѣняется цапфою небольшого радіуса, закрѣпляемаго на дискѣ малаго колеса.

Третій недостатокъ, состоящій въ устройствѣ зубчататаго сѣвленія, требуетъ для возможнаго уменьшенія его особой тщательной отдѣлки зубьевъ и приготовленія ихъ изъ ковкаго чугуна, или литаго желѣза. Описанный приборъ

\*) или вращательную пару механизма Кляуга.

представляет интерес в теоретическом отношении, как радиальный механизм, производящий вполне точно идеальные эксцентрики.

**130.** В группе II радиальных механизмов обратим внимание на формулу



Подобно тому, как механизм Броуна, согласно его символической формулы, можно рассматривать как один из механизмов Гакворта, Ключа, или Маршала с производящими шатунами второго порядка, точно также проектируемый механизм можно рассматривать, согласно его формулы, как механизм Дебре (см. I группа радиальные механизмы) с шатуном второго порядка.

Устройство шатуна второго порядка настолько видоизменяет механизм Дебре (см. черт. n° 186, табл. VII), что с первого взгляда они кажутся совершенно разнородными, хотя и осуществляют одну и ту же идею. Обратимся предварительно к устройству проектируемого механизма.

От некоторой промежуточной точки  $c_0$  шатуна Броуна ( $E_0b = l_2 + l_1$ ) заимствует движение шатунов второго порядка  $c_0m = l_4$  шарнирная ось  $m$ , которого направляется подвижной  $om$  (привинченной на оси  $O$  к поворотному рычагу  $O\Omega' = l$ ) по направлению параллельному (приблизительно) золотниковой линии  $zz'$ . От точки  $m$  возможно передать движение золотнику одним из следующих приемов: 1) устройством круговой кулисы  $C$  с направляющими  $B_1, B_1$  подобно тому, как в кулисах Дебре; 2) устройством передаточного стержня  $md = l_3$ , шарнирно-связанного концами  $d$  с золотниковым стержнем, перемещающимся в направляющих  $B_1, B_1$  (т. е. заодно направляющей пары одного вида, направляющей парой другого вида);  $md$  может быть равно  $c_0m$ . Второй способ, применение которого невозможно в механизме Дебре, здесь удобно выполняется. Уравнивание наклонов производящего шатуна  $c_0m$ , как увидим впоследствии, может быть достигнуто в надлежащей степени при посредстве шатуновой пары Броуна и круговой пары  $Om$ . Остается определить, ограничиваясь пока первым приближением, элементы  $A, B$  полученного механизма. Приведем поступательный и вращательный эксцентрики шатуна Броуна к основанию  $c_0m_c$ , полученному засечкой из центра  $c_e$  — среднего положения  $c$  между двумя  $c_0, c_n$  — радиусом  $c_0m_c = c_0m = l_4$ ; будем иметь эксцентрики:  $\Omega E_0 \frac{c_0b}{E_0b} \cos \beta, \delta = 90$  или  $r \frac{l_1}{l_1 + l_2} \cdot \cos \beta, \delta = 90$  и  $\Omega E_0 \sin \beta, \delta = 0$ , или  $r \sin \beta, \delta = 0$ . Эти же эксцентрики, будучи отнесены к направлению, совпадающему с направлением золотниковой линии, превратятся в эксцентрики  $A = \frac{r l_1}{l_1 + l_2}, \delta = 90$   $B = r \operatorname{tg} \beta, \delta = 0$ . Обозначая угловой элемент результирующего эксцентрика

через  $\delta$ . получим  $\operatorname{tg} \delta = \frac{l_1}{(l_1 + l_2)} \operatorname{tg} \beta$ . Выбором надлежащей величины отношения  $\frac{l_1}{l_1 + l_2}$  возможно получить нормальный угол  $\delta$  даже при незначительном наклонѣ  $\beta$ , чѣмъ устраняется существенный недостатокъ механизма Дебре, состоящей, какъ извѣстно, въ ограниченности измѣненія угла  $\delta$  (см. пунктъ 80). Назовемъ этотъ механизмъ, механизмомъ Броунъ-Дебре. Понятно, что вмѣсто основнаго шатуна Броуна можетъ быть взятъ одинъ изъ трехъ шатуновъ Джоя (см. формулы его трехъ механизмовъ).

**131.** Обращаясь къ кулисо-шатуннымъ механизмамъ, замѣтимъ, что самый простѣйшій изъ нихъ есть механизмъ Пиусъ-Финка. Сообщая производящему шатуну его движеніе не отъ дѣйствительнаго эксцентрика, а отъ идеальнаго, образуемаго промежуточной точкой шатуна Броуна, получимъ механизмъ предложенный Нормандомъ (см. формулу пункта 125. пунктъ 90 и черт. n<sup>o</sup> 118, табл. IV, n<sup>o</sup> 175, табл. VI), въ которомъ, благодаря присутствію шатунной пары Броуна, можетъ быть уравнено вліяніе наклоновъ небольшой длины производящаго шатуна на поступательное движеніе кулисы. Принимая же въ соображеніе и то обстоятельство, что угловой элементъ  $\delta$  результирующаго эксцентрика можетъ быть произвольно уменьшенъ, мы получаемъ механизмъ хотя и сложнѣе механизма Финка, но за то и болѣе совершенный. Въ самомъ дѣлѣ, обозначая угловой элементъ результирующаго эксцентрика черезъ  $\delta$ , получимъ  $\operatorname{tg} \delta = \frac{A}{B} = \frac{l_1 l_3}{(l_1 + l_2) u}$ . Выборомъ надлежащей величины отношения  $\frac{l_1}{l_1 + l_2}$  достигается желаемая величина  $\delta$  даже при отношеніи  $\frac{l_3}{u} > 1$ .

Весьма понятно, что вмѣсто шатуна Броуна можетъ быть взятъ одинъ изъ трехъ шатуновъ Джоя, тогда мы получимъ кулисо-шатунный механизмъ, который подобно механизму Кирка утилизируетъ кривошипную шатунную пару, не нуждаясь въ дѣйствительныхъ эксцентрикахъ.

**132.** Разсматривая формулу механизма Фидлера, мы видимъ, что въ немъ подобно механизму Норманда заимствуются  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$  отъ одной шатунной пары Броуна, но при посредствѣ нѣкоторыхъ промежуточныхъ паръ, т. е. болѣе сложнымъ образомъ. Примѣняя совокупность этихъ паръ къ одному изъ шатуновъ Джоя, получимъ снова механизмы подобные механизму Кирка. Такимъ образомъ всякій радіальный механизмъ можетъ быть видоизмѣненъ въ кулисо-шатунный и обратно. Справедливость обратнаго превращенія можно подтвердить на механизмѣ Гуча. Согласно пункту 114, его можно превратить въ механизмъ Гейзингера, а механизмъ Гейзингера подобенъ механизму Фидлера, который видоизмѣняется согласно пункту 90 въ механизмъ Норманда, сей же послѣдній обратится въ механизмъ Броуна, т. е. въ радіальный механизмъ, замѣной кулиснаго шатуна Финка производящимъ шатуномъ Броуна. Производящій же шатунъ Броуна отличается, какъ извѣстно, отъ эксцентриковаго шатуна Гакворта только порядкомъ построенія (второго или треть-

яго порядка). Такимъ образомъ мы прошли черезъ рядъ нѣсколькихъ механизмовъ превращеніемъ одного въ другой, начиная съ кулисы Гуча.

**133.** Теорію результирующаго эксцентрика можно приложить весьма просто къ отысканію идеальныхъ кривошиповъ паровыхъ машинъ съ двумя и тремя цилиндрами двойнаго и тройнаго расширенія, расположенными параллельно другъ другу, при условіи передачи работы отъ всѣхъ поршней на одинъ кривошипъ главнаго вала машины. Разсмотримъ сначала паровую машину съ двумя цилиндрами (см. черт. н<sup>о</sup> 132, табл. V). Работа отъ двухъ поршней передается при посредствѣ двухъ равныхъ шатуновъ  $L$  на одинъ кривошипъ  $\Omega K$ . Согласно пунктамъ 19 и 20 найдемъ, что движеніе поршня перваго цилиндра опредѣляется идеальнымъ кривошипомъ  $\Omega I$ , а движеніе поршня втораго цилиндра — идеальнымъ кривошипомъ  $\Omega II$ . Если обозначить разстояніе между геометрическими осями двухъ цилиндровъ черезъ  $2c$ , то при условіи  $\frac{c}{L} = \sin 45^\circ = 0,71$ , уголъ между двумя идеальными кривошипами будетъ равенъ  $90^\circ$ . Мы получимъ такимъ образомъ компаундъ машину съ однимъ кривошипомъ  $\Omega K$  (козвчатый валъ). На чертежѣ показана схема передачи къ золотникамъ. Передача къ золотнику I-го цилиндра производится отъ кривошипа при посредствѣ вспомогательнаго шатуна  $kb$  и балансира  $eb$  съ неподвижною осью вращенія  $O'$ . Этотъ балансиръ можетъ сообщать движеніе воздушнымъ насосомъ холодильника. Такимъ образомъ движеніе золотника I-го цилиндра опредѣлится идеальнымъ эксцентрикомъ  $\Omega E_1$ , который относительно идеальнаго кривошипа  $\Omega I$  будетъ имѣть, при вышеуказанномъ условіи, угловой элементъ  $\delta = 45^\circ$ . Передача къ золотнику II-го цилиндра можетъ быть устроена отъ промежуточной точки ( $d$ ) того же вспомогательнаго шатуна  $kb$  при посредствѣ направляющаго круговаго правила, промежуточной тяги  $ff$  и угловаго рычага, имѣющаго неподвижную ось вращенія  $O_2$ . Легко сообразить, что идеальный эксцентрикъ  $\Omega E_2$ , опредѣляющій движеніе золотника II-го цилиндра будетъ имѣть угловой элементъ относительно идеальнаго кривошипа  $\Omega II$  равный тоже  $45^\circ$ , если среднее направленіе точки  $f$  съ среднимъ положеніемъ ( $d_c$ ) точки  $d$  находится на одномъ перпендикулярѣ къ основанію  $\Omega x$ . Измѣняя положеніе оси вращенія круговаго правила можно придать угловому элементу желаемую величину. Вообразимъ слѣдующую пару цилиндровъ расположенныхъ ниже оси  $\Omega y$  и передающихъ работу шатунною передачею разсмотрѣннаго устройства на второе колѣно вала (подъ угломъ  $180^\circ$  къ первому), тогда подобно предъидущему получимъ вторую пару III, IV идеальныхъ кривошиповъ (см. черт. н<sup>о</sup> 138, табл. V) съ идеальными эксцентриками  $\Omega E_{III}$ ,  $\Omega E_{IV}$ , построенными вышесказаннымъ способомъ. Такимъ образомъ можно построить машину съ четвернымъ расширеніемъ пара при двухъ дѣйствительныхъ кривошипахъ съ весьма равномернымъ распределеніемъ на валу касательныхъ давленій.

Предлагаемъ читателю разработать для такой машины наиболѣе простѣйшую передачу къ золотникамъ для измѣненія элементовъ движенія ихъ, и обращенія хода машины, безъ употребленія дѣйствительныхъ эксцентриковъ.

**134.** На черт. 141, табл. V изображены три цилиндра съ параллельными осями, передающіе работу на одинъ кривошипъ колѣчататаго вала. Движеніе поршней первыхъ двухъ цилиндровъ опредѣлится подобно предыдущему идеальными кривошипами  $\Omega I$ ,  $\Omega II$ . Третій цилиндръ передаетъ работу на колѣчатый валъ при посредствѣ обратнаго шатуна.

На черт. n° 142, табл. V представлено устройство, въ которомъ движеніе всѣхъ трехъ поршней опредѣляется идеальными кривошипами. Однако эти кривошипы расположатся такимъ же образомъ какъ и въ предыдущемъ случаѣ. Для того чтобы обратить идеальный кривошипъ II-го цилиндра и достигнуть такимъ образомъ болѣе равномернаго распредѣленія касательныхъ усилій по окружности описываемой цапфой дѣйствительнаго кривошина, слѣдовало бы устроить коромысло  $cD$  второго рода, т. е. точку  $M$  взять на продолженіи  $cD$ , но тогда необходимо было бы или устроить второе коромысло для передачи къ поршню II-го цилиндра, не измѣняя его положенія, или же измѣнить его положеніе соотвѣтственно положенію ведущей точки  $M$ .

**135.** Передача движенія золотнику средняго цилиндра въ машинѣ съ тремя цилиндрами (тройнаго расширенія) отъ средней точки коромысла (см. черт. n° 122, табл. V) была примѣнена впервые Джоемъ. Пусть идеальные эксцентрики (см. черт. n° 136, табл. V), сообщающіе движеніе золотникамъ I-го и III-го цилиндра, будутъ  $\Omega 1$ ;  $\Omega 3$ . Соединяя середину  $R$  отрѣзка  $13$  съ центромъ  $\Omega$ , получимъ по величинѣ и положенію идеальный эксцентрикъ  $\Omega R$  управляющій движеніемъ золотника средняго цилиндра II.

Въ самомъ дѣлѣ (см. черт. n° 137); если разложить эксцентрики  $\Omega 3$ ;  $\Omega 1$  на слагающіе  $\Omega E_c$ ,  $\Omega R$ ;  $\Omega E'_c$ ,  $\Omega R$ , то эксцентрики  $\Omega E_c = \Omega E'_c$  не окажутъ влияния на движеніе ведущей точки коромысла; движеніе этой точки опредѣлится однимъ лишь поступательнымъ эксцентрикомъ  $\Omega R$ . Употребленіе коромысла въ паровой машинѣ комбаундъ для построенія идеальнаго кривошина было предложено у насъ въ Россіи инженеромъ Вебутовымъ. (см. журналъ Минист. Путей Сообщенія июнь, июль и августъ 1890 г.).

## ГЛАВА VII.

### Механизмы для перестановки кулиссъ. Серво-Моторы.

**136.** Самое простое приспособленіе для перестановки кулиussy состоитъ въ устройствѣ такъ называемаго перекиднаго рычага закрѣпляемаго на передвижномъ валикѣ. Рычагъ этотъ устанавливается въ желаемомъ положеніи съ помощью направляющаго зубчататаго сектора (см. черт. n° 95, табл. IV и черт. n° 143, 150, табл. V). Перекидной валикъ (см. напр. черт. n° 106, табл. IV точку  $\Omega'$ ) можетъ быть расположенъ различно, смотря по мѣстнымъ условіямъ, относительно поворотнаго валика (см. точку  $O$  на томъ же чертежѣ) на которомъ закрѣпляются поворотные рычаги для подвѣшиванія кулиссъ (Стефен-

сона, Аллана). Въ радиальныхъ механизмахъ на поворотномъ валикѣ закрѣпляется направляющаяся кулисса, или круговое правило (см. черт. 94, 100 табл. IV). Въ нѣкоторыхъ случаяхъ въ особомъ перекидномъ валикѣ не встрѣчается надобности, такъ что перекидной рычагъ и кулисса заклинены на одномъ и томъ же поворотномъ валикѣ кулиссы (см. черт. n<sup>o</sup> 103, табл. IV и черт. n<sup>o</sup> 121, n<sup>o</sup> 122, табл. V). Устройство перекиднаго рычага показано въ атласѣ табл. XXVII n<sup>o</sup> 17, табл. XLII n<sup>o</sup> 3, 3<sup>a</sup> въ  $\frac{1}{10}$  н. в. На этой же таблицѣ на черт. n<sup>o</sup> 5, 6 представленъ перекидной рычагъ конструкціи Бельера. Мы вкратцѣ опишемъ это наилучшее устройство. Перекидной рычагъ *H* снабженъ разъемной гайкой *M* состоящей изъ двухъ половинокъ. Одна половина (нижняя) безъ рѣзбы, а вторая верхняя снабжена нарѣзкой обхватывающей винтъ *t*. Винтъ съ помощью маховичка *R* приводится во вращательное движеніе. Такъ какъ поступательнаго движенія винтъ не имѣетъ, то при вращеніи его поступательныхъ движеніемъ обладаетъ гайка *M*, увлекающая за собою перекидной рычагъ. Это приспособленіе служитъ для точной установки кулиссы. Для быстрого же перемѣщенія рычага предварительно поднимаютъ верхнюю половину гайки при помощи нажимнаго устройства не требующаго объясненія. При перестановкѣ рычага винтъ *t* получить нѣкоторый наклонъ, что вполнѣ допускаетъ шарпное устройство съ двумя скрѣпленіями (*c*) и (*b*). Опусканіемъ гайки рычагъ устанавливается неподвижно, не нуждаясь въ зубчатомъ секторѣ. Устройство различныхъ перекидныхъ рычаговъ для паровозныхъ кулиссъ можно найти въ Handbuch für specielle Eisenbahn-Technik. E. Heusinger von Waldegg, Leipzig 1874. Dritter Band. Taf. XXIV.

137. Въ паровозныхъ машинахъ почти исключительно употребляютъ вмѣсто перекиднаго рычага маховое колесо съ винтовой передачею. Такая передача представлена схематически на черт. n<sup>o</sup> 121, табл. V и детально на табл. XXVIII и XXIX n<sup>o</sup> 1, n<sup>o</sup> 2 атласа. Винтовая передача удобна въ томъ отношеніи, что не требуетъ никакихъ приспособленій для установки колеса въ опредѣленномъ положеніи, такъ какъ обратное дѣйствіе отъ винта на колесо невозможно. Она весьма пригодна для большихъ машинъ, такъ какъ усиліе одного человѣка достаточно для перестановки значительной величины кулиссъ и золотниковъ паровыхъ цилиндровъ, развивающихъ работу въ нѣсколько тысячъ индикаторныхъ силъ. Однако въ этихъ случаяхъ дѣйствіе механизма весьма медленно и пригодно только для точной установки кулиссы на ходу машины. Для быстрой же перестановки кулиссъ на обратный ходъ употребляютъ обыкновенно особую вспомогательную паровую машину, вращающую винтовой валъ перекиднаго механизма. На черт. n<sup>o</sup> 163, табл. VI представлено схематически одно изъ такихъ устройствъ для горизонтальной паровой машины.

138. Устройство отдѣльной вспомогательной паровой машины для вращенія винтоваго вала пригодно лишь въ весьма большихъ машинахъ и имѣетъ однако неудобство, состоящее въ томъ, что по прераченіи доступа пара машина продолжаетъ нѣкоторое время вращеніе винтоваго вала, поэтому точная уста-

новка главной кулисы для регулированія расширения пара довольно затруднительна. Для передвиженія и точной установки кулисы, при незначительной затратѣ усилія со стороны машиниста, были предложены особые механизмы называемые вообще серво-моторами. Принципъ ихъ устройства заключается въ построении механизма, управляющаго особымъ приёмникомъ какой либо посторонней значительной силы (пара, воды и т. п.). Этотъ посторонний двигатель долженъ вполнѣ точно подчиняться самымъ незначительнымъ манипуляціямъ надъ вспомогательнымъ механизмомъ со стороны машиниста.

Наиболѣе простѣйшее устройство подобнаго рода представлено на чертежѣ н<sup>о</sup> 148, табл. V. Цилиндръ  $C_1$  наполняется глицериномъ или масломъ. При движеніи его поршня масло переливается въ одной части цилиндра въ другую, проходя черезъ особый кранъ ( $a$ ), устройство котораго въ болшемъ масштабѣ показано на черт. н<sup>о</sup> 152.  $C_2$ —паровой цилиндръ съ особымъ поворотнымъ золотникомъ закрѣпленнымъ на оси рукоятки  $R$ . Съ помощью этого золотника можно производить выпускъ пара по одну или другую сторону цилиндра и одновременный выпускъ съ нерабочей части его. Поршни обоихъ цилиндровъ посажены на одинъ общій штокъ. Вообразимъ, что посредствомъ закрытія отверстия краномъ ( $a$ ) возбуждено такое сопротивленіе переливанію жидкости изъ одной части цилиндра въ другую, что давленіе пара почти уравнивается съ суммою гидравлическаго сопротивленія и сопротивленія необходимаго для перестановки регулирующаго механизма (кулисы и золотника). Незначительнымъ поворотомъ рукоятки  $R$  при небольшомъ усиліи со стороны машиниста, равновѣсіе будетъ окончательно нарушено и поршень цилиндра начнетъ перемѣщаться въ ту или другую сторону, передавая штокомъ свое движеніе рычагу, закрѣпленному на поворотномъ валу кулиснаго привода. Въ моментъ закрытія золотникомъ паровпускнаго канала сила расширения пара оказывается недостаточной для передвиженія поршней и остановка ихъ можетъ быть произведена *приблизительно* въ желаемомъ положеніи *при известномъ навыкѣ со стороны машиниста*. Однако нельзя сказать, чтобы перемѣщеніе поршней вполнѣ точно соответствовало всѣмъ манипуляціямъ машиниста. Все же произойдетъ при этомъ болѣе или менѣе значительная неопредѣленность въ положеніи поршней при опредѣленномъ положеніи рукоятки  $R$ , зависящая главнымъ образомъ отъ продолжающагося послѣ закрытія крана расширения пара и многихъ обстоятельствъ случайнаго характера. Недостатокъ этотъ въ значительной степени уменьшается болѣе совершеннымъ устройствомъ механизма, къ описанію котораго мы переходимъ.

139. На перекидномъ валикѣ  $\Omega$  заклинивается рычагъ  $II$  (см. черт. н<sup>о</sup> 134, табл. V), на которомъ укрѣпляется ось вращенія  $O'$  вспомогательнаго рычага  $JKO$ . Конецъ его ( $O$ ) шарнирно связанъ при посредствѣ промежуточнаго стержня  $st$  съ золотникомъ (безъ перекрышъ) небольшого пароваго цилиндра  $C$ . Поршень этого цилиндра посаженъ на штокъ, который при посредствѣ ползунчика  $A$ , съ направляющими  $d$ , и стержня  $cb$  сочленяется съ концомъ ( $b$ ) главного пе-

рекидного рычага  $H$ . Машинистъ дѣйствуетъ на рукоятку  $E$ , вспомоgetельнаго рычага, отклоняя золотникъ вправо или влѣво изъ его средняго положенія. Усиліе передаваемое поршнемъ главному рычагу заставляеть его, какъ нетрудно замѣтить, наклоняться въ сторону вращенія вспомоgetельнаго рычага. По прекращеніи усилія машиниста, вспомоgetельный рычагъ, подъ вліяніемъ особой рессоры, закрѣпленной на оси  $O'$ , и прикасающейся къ нему съ двухъ его боковыхъ сторонъ, принимаетъ положеніе совпадающее съ направлениемъ главнаго рычага; при этомъ конецъ ( $O$ ) вспомоgetельнаго рычага почти совпадетъ съ положеніемъ оси вращенія  $\Omega$ , а золотникъ придетъ снова въ среднее положеніе и выпускъ пара въ цилиндръ прекратится.

Однако и здѣсь подъ вліяніемъ расширения пара главный рычагъ будетъ имѣть стремленіе перемѣщаться въ прежнемъ направленіи и для того, чтобы выяснитъ какимъ образомъ уничтожается возможность этого перемѣщенія обратится къ схематическому чертежу, представленному на табл. VII, н<sup>о</sup> 182. При наклоненіи  $\alpha\beta$  вспомоgetельнаго рычага золотникъ открылъ правый выпускной каналъ цилиндра и пусть поршень  $D$  принялъ требуемое положеніе  $D_1$  а главный рычагъ вѣдетъ съ вспомоgetельнымъ перемѣстились въ положенія  $H_1 A_1$ ;  $\beta_1 I$ . Когда машинистъ оставитъ вспомоgetельный рычагъ, конецъ его (1) приметъ положеніе (2). Эти положенія въ дѣйствительности весьма мало удалены отъ положенія оси  $\Omega$  главнаго рычага и только для ясности чертежа представлены значительно удаленными. Тѣмъ не менѣе точка 2 находится нѣсколько вправо отъ оси  $\Omega$ , при чемъ золотникъ находится почти въ среднемъ положеніи. Если представить себѣ дальнѣйшее перемѣщеніе поршня въ положеніе  $D_n$  и соответствующее ему положеніе  $H_n A_n$  главнаго рычага, то точка (2) займетъ положеніе (3), при которомъ паръ уже въ достаточномъ количествѣ вступитъ въ лѣвую часть цилиндра на встрѣчу поршню и заставитъ его отклоняться въ обратномъ направленіи, поэтому стремленіе поршня продолжать свое движеніе подъ вліяніемъ расширения пара уничтожается автоматически. Однако нетрудно сообразитъ, что установка поршня  $P$  въ опредѣленномъ положеніи произойдетъ послѣ хотя и незначительныхъ, но неизбѣжныхъ колебаній его относительно этого положенія, безъ чувствительной передачи ихъ мускуламъ руки машиниста, такъ какъ движеніе главнаго рычага почти независимо, въ небольшихъ предѣлахъ, отъ положенія рукоятки.

Гидравлическій катарактъ  $k$  (см. черт. н<sup>о</sup> 134, табл. V) служитъ для поглощенія живой силы движущихся массъ въ случаѣ болѣе или менѣе быстрой перестановки кулиснаго привода. Описанный механизмъ употребляется въ рудничныхъ подъемныхъ машинахъ (*machine d'extraction*).

На табл. XLII атласа, черт. н<sup>о</sup> 9, 9<sup>a</sup>, 9<sup>b</sup> представленъ въ  $\frac{1}{10}$  н. в. серво-моторъ для той же цѣли конструкціи С. Veer à Jemsharres, Belgique. Послѣ описаннаго устройства конструкція эта не требуетъ поясненій.

На черт. н<sup>о</sup> 1, н<sup>о</sup> 1<sup>a</sup> той же таблицы изображенъ серво-моторъ для перестановки кулисы Гуча, конструкціи А. Stevart, Lüttich, принципиально не

отличающийся от описаннаго. Усилие поршня передается нижнему плечу основнаго рычага  $EB$ , заклиненнаго на перекидномъ валикѣ  $A$  кулиснаго привода.

Перекидной рычагъ  $L$  насаженъ свободно на удлиненную втулку основнаго рычага и передаетъ движеніе золотнику при посредствѣ небольшого двухплечаго рычага  $cb$  (черт. н<sup>о</sup> 1<sup>а</sup>), ось вращенія котораго ( $a$ ) закрѣплена на второмъ короткомъ плечѣ основнаго рычага  $EB$ , а конецъ ( $b$ ) шарнирно связанъ съ рычагомъ  $L$ ; спиральная пружина  $ss$  приводитъ перекидной рычагъ въ такое положеніе, что ведущая точка  $c$  двухплечаго рычага  $cb$  совпадаетъ съ положеніемъ центра  $\Omega$  перекиднаго валика, при чемъ золотникъ закрываетъ оба канала пароваго цилиндра. Дѣйствіе механизма совершенно тождественно съ вышеописаннымъ.

140. Опишемъ еще устройство серво-мотора болѣе совершенной конструкціи, принятой технической администраціею общества желѣзной дороги le chemin de fer de l'Ouest.

Обратимся предварительно къ схематическому чертежу, представленному на табл. V, н<sup>о</sup> 133.  $G$  — паровой цилиндръ съ коробчатымъ золотникомъ безъ перекрышъ,  $L$  — цилиндръ (катарактъ) наполненный глицериномъ или масломъ, съ краномъ  $C$  особаго устройства (см. черт. н<sup>о</sup> 152), при посредствѣ котораго жидкость можетъ переливаться изъ одной части цилиндра въ другую. На поворотномъ валикѣ  $O'$  кулиснаго привода заклиненъ угловой рычагъ  $F'$ , получающій движеніе отъ штока поршня пароваго и гидравлическаго цилиндровъ, а на перекидномъ валикѣ  $m$  закрѣпленъ перекидной рычагъ  $E'm$ , сообщающій отъ руки машиниста перемѣщеніе золотнику пароваго цилиндра и одновременно перемѣщеніе крану  $C$ .

Воображая сперва на мгновеніе точку ( $r$ ) вращательной пары  $ar$ ,  $D$  съ подвижной осью вращенія  $D$  — неподвижной, нетрудно замѣтить, что при перемѣщеніи рукоятки  $E$  перекиднаго рычага, напр. вправо, золотникъ передвинется тоже вправо и откроетъ доступъ пару въ лѣвую часть цилиндра, вслѣдствіе чего поршень начнетъ перемѣщеніе слѣва на право и произведетъ поворачиваніе угловаго рычага  $F'O$ , въ томъ же направленіи; одновременно съ этимъ перемѣщеніе точки  $D$  передается крану  $C$  и производитъ закрытіе внутренняго канала. Приймаая теперь точку  $a$  неподвижной, мы увидимъ, что перемѣщеніе точки  $D$  (слѣва на право), происходящее отъ поворачиванія угловаго рычага  $HO$ , заставляеть золотникъ совершать перемѣщеніе въ направленіи обратномъ предыдущему, такъ какъ это перемѣщеніе сообщается золотнику при посредствѣ двухплечаго рычага  $t$  съ неподвижной осью вращенія. При достаточной величинѣ перемѣщенія золотника можетъ произойти выпускъ пара съ рабочей части цилиндра (лѣвой) и выпускъ по нерабочую сторону поршня (правую), что повлечетъ за собою обратное движеніе поршня.

Для того, чтобы аппаратъ былъ чувствителенъ къ малѣйшимъ перемѣщеніямъ рукоятки, золотникъ почти не долженъ имѣть перекрышъ, а съ тѣмъ, чтобы избѣжать при этомъ случайныхъ протоковъ пара въ цилиндръ, при сред-

немъ положеніи золотника, устраиваютъ вспомогательный второй золотникъ съ небольшими перекрышами, получающій перемѣщеніе вмѣстѣ съ основнымъ отъ одного и того же перекидного рычага *En*, какъ показано на черт. n<sup>o</sup> 143, табл. V. На этомъ чертежѣ изображенъ аппаратъ въ томъ видѣ, въ какомъ онъ существуетъ въ дѣйствительности и немного отличающійся расположеніемъ своихъ частей по сравненію съ схематическимъ чертежемъ. На черт. n<sup>o</sup> 150, представленъ перекидной рычагъ вмѣстѣ съ вращательной парой, имѣющей подвижную ось вращения, которой сообщается движеніе золотникамъ и крану *C*.

Фарко въ своихъ серво-моторахъ употребляетъ давленіе воды, какъ движущую силу, подвергая ее вышнему давленію пара, съ цѣлю уничтоженія колебаній поршня рабочаго цилиндра, хотя и незначительныхъ, но неизбежныхъ при непосредственномъ дѣйствіи пара влѣдствіе его упругости. Желаящихъ подробно ознакомиться съ механизмами его изобрѣтенія отсылаемъ къ сочиненію J. Farcot. Le servo-moteur ou moteur asservi in 8<sup>o</sup> 1873.

На табл. XLII, n<sup>o</sup> 8 атласа изображенъ серво-моторъ Brown'a (Edinburg) употребляющійся на большихъ военныхъ судахъ въ Англіи. Устройство гидравлическаго цилиндра съ особымъ золотникомъ представлено въ  $\frac{1}{8}$  н. в. на черт. n<sup>o</sup> 8<sup>a</sup>. Этими цилиндрами пользуются не только, какъ катарактомъ, но и какъ рабочимъ цилиндромъ для перестановки кулисы во время стоянки, употребляя для этой цѣли особый нагнетательный насосъ, показанный на черт. n<sup>o</sup> 8. Устройство и дѣйствіе механизма послѣ вышеописанныхъ устройствъ понятно и не требуетъ никакихъ объясненій.

## ГЛАВА VIII.

### Коловратные механизмы.

141. Коловратные механизмы, употребляемые для той же цѣли какъ и кулисы, основаны на принципѣ дѣйствія передвижнаго эксцентрика. Образование ими идеальныхъ эксцентриковъ совершается непосредственно перестановкою дѣйствительнаго эксцентрика.

На черт. n<sup>o</sup> 145, табл. VI представленъ эксцентриковый дискъ *A*, который можетъ поворачиваться около шарнирной оси (*a*) хомута *B*, закрѣпленнаго на главномъ валѣ  $\Omega$  машины. Въ томъ же хомутѣ пропускается болтикъ (*c*) проходящій съвязъ вырѣзъ эксцентриковаго диска. Съ помощью этого нажимаго болтика дискъ можетъ устанавливаться въ любомъ положеніи. Приводя дискъ *A* въ различныя положенія, мы увидимъ, что центръ его *E* опишетъ дугу круга около шарнирной оси (*a*), при чемъ элементы  $r$ ,  $\delta$  эксцентрика будутъ измѣняться подобно тому какъ и въ кулисномъ приводѣ Стефенсона. Само собою понятно, что такая перестановка дѣйствительнаго эксцентрика на ходу машины невозможна безъ устройства особыхъ приспособленій. Описанное

же устройство может съ успѣхомъ употребляться въ локомотивахъ и небольшихъ машинахъ для регулированія хода золотника, но не иначе какъ останавливая всякій разъ машину.

На черт. н<sup>о</sup> 155 представлено подобное устройство съ тѣмъ различіемъ, что центръ диска  $A$  при его перестановкѣ перемѣщается по прямой перпендикулярной къ направленію кривошипа и слѣдовательно элементы  $r$ ,  $\delta$  будутъ измѣняться подобно тому какъ въ кулисномъ приводѣ Гуча. Для этого въ эксцентриковомъ дискѣ  $A$  устраивается прорѣзь по направленію перпендикулярному къ направленію кривошипа. Нажимной болтикъ закручиваетъ дискъ эксцентрика къ особому диску  $B$ , который заклинивается на главномъ валѣ. Подобно предъидущему устройству оно можетъ быть рекомендовано для небольшихъ машинъ. Наконецъ эксцентриковый дискъ можетъ имѣть одно лишь относительное вращеніе около центра вала  $\Omega$  и закручиваться вышесказаннымъ образомъ въ любомъ положеніи. Въ этомъ случаѣ будетъ измѣняться одинъ угловой элементъ  $\delta$  эксцентрика.

142. Вся трудность построенія коловратнаго механизма для измѣненія элементовъ  $r$ ,  $\delta$  передвижнаго диска на ходу машины заключается въ устройствѣ передачи къ этому диску отъ рукоятки или маховичка машиниста. Многими изобрѣтателями были предложены различныя болѣе или менѣе остроумныя приспособленія, изъ которыхъ мы рассмотримъ сперва весьма простой механизмъ Додса, употреблявшійся прежде на паровозахъ въ Англіи.

На черт. н<sup>о</sup> 171, табл. VI изображенъ этотъ механизмъ для паровой машины.  $\Omega\Omega$  колѣчатый валъ съ шейками  $k_1$ ,  $k_2$  для шатуновъ двухъ цилиндровъ. Эксцентриковыя диски  $E_1$  и  $E_2$  съ прямоугольными вырѣзами по направленію соответствующаго кривошипа насаживаются на призматическую часть вала и переставляются по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ съ помощью шайбы  $H$ , которая снабжена двумя взаимно перпендикулярными клиньями  $dd$  и  $ce$ . Наклонныя плоскости этихъ клиньевъ входятъ въ соответствующіе прорѣзы эксцентриковыхъ дисковъ. Для того, чтобы при дѣйствіи клиньевъ эти диски не могли смѣщаться въ боковыя стороны, устроены особыя направляющіе  $pp$ . Обойма шайбы  $H$  снабжена двумя цапфами (не показанными на чертѣ), которыя входятъ въ соответствующія отверстія въ видѣ поворотнаго рычага съ неподвижной осью вращенія. На черт. н<sup>о</sup> 169 показаны два направленія кривошиповъ  $\Omega_1 K_0$  и  $\Omega K'_{\pi/2}$  взаимно перпендикулярныя между собою. При движеніи вышесказанной шайбы  $H$  центръ одного диска будетъ перемѣщаться по прямой  $E_0 E_1$  внизъ, а центръ другаго по прямой  $E'_{\pi/2} E_{\pi/2}$ , справа на лѣво. Перейдя въ положенія  $E'$  и  $E_{\pi/2}$  они образуютъ элементы  $r$ ,  $\delta$  для обратнаго вращенія вала. Главный недостатокъ устройства подобныхъ механизмовъ заключается въ томъ, что усиліе переставляющее золотникъ является какъ реакція отъ усилія передаваемого машинистомъ. Эта сила реакціи должна имѣть значительную величину и возбуждаетъ поэтому значительное треніе во всѣхъ соприкасающихся подвижныхъ частяхъ механизма. Для перестановки эксцентри-

ковых дисков инженером Бебутовым был предложен механизм подвижному устраняющий это неудобство, но отличающийся большою сложностью своих составных частей (см. журнал Мин. Пут. Сообщ. 1890, июль, июль, август).

**143** Изъ числа механизмов основанных на принципѣ перестановки дѣйствительнаго эксцентрика заслуживаетъ особаго вниманія весьма остроумный механизмъ Трипле съ шаровымъ эксцентрикомъ, представленный на черт. n<sup>o</sup> 189, 189<sup>bis</sup> табл. VII.

На части вала, ограниченной двумя плоскостями (см. два черт. n<sup>o</sup> 189) насаживается эксцентрикъ съ соответствующимъ вырѣзомъ по направленію перпендикулярному къ направленію кривошипа и ограниченный частью шаровой поверхности. Шаровой эксцентрикъ можетъ имѣть относительное вращеніе около оси укрѣпленной на валу  $\Omega$  при вращеніи винтовой трубки  $tt$  съ квадратной нарѣзкой, ввинченной въ тѣло подшипника и составляющей одно цѣлое съ маховичкомъ  $M$ . Во внутрь этой трубки вставляется вторая трубка цилиндрической формы снаружи и призматической формы внутри. Одинъ конецъ этой трубки снабженъ заплечикомъ, прилегающимъ къ тѣлу подшипника, и отросткомъ шарнирно связаннымъ съ эксцентрикомъ  $E$ , а на второй конецъ надѣвается шайба, прилегающая къ маховичку  $M$ . Трубка насаживается на призматическій конецъ вала и вращается вмѣстѣ съ нимъ и съ эксцентрикомъ. При вращеніи маховичка на ходу машины эксцентрикъ получитъ относительное вращательное перемѣщеніе около своей оси закрѣпленной на валу  $\Omega$ , при чемъ центръ его шаровой поверхности перемѣстится изъ положенія  $b_1$  въ  $b_n$  по дугѣ  $b_1b_n$  въ плоскости большаго круга, перпендикулярной къ оси относительнаго вращенія и не проходящей черезъ геометрическую ось вала, а находящуюся отъ нея на нѣкоторомъ разстояніи равномъ половинѣ наименьшаго хода золотника ( $r_{\min}$ ).

Идеальные эксцентрики, соответствующіе положеніямъ  $b_1$  и  $b_n$  центра шара будутъ  $\Omega E_1$ ,  $\Omega E_n$  (см. другой черт. n<sup>o</sup> 189) при чемъ прямая  $E_1 E_n$  представитъ геометрическое мѣсто центровъ идеальныхъ эксцентриковъ для всѣхъ промежуточныхъ положеній центра шара на дугѣ  $b_1 b_n$ .

На черт. n<sup>o</sup> 187 показано небольшое видоизмѣненіе описаннаго механизма которое можетъ быть утилизовано для различныхъ цѣлей какъ серво-моторъ и какъ регуляторъ. Трубка  $t_1 t_1$  съ квадратною винтовою нарѣзкою вращается вмѣстѣ съ валомъ, вслѣдствіе чего вращеніе вала сопровождается относительнымъ перемѣщеніемъ эксцентрика до тѣхъ поръ пока онъ не приметъ положенія соответствующаго мертвому ходу машины. Такимъ образомъ машина предоставленная самой себѣ автоматически останавливается. При вращеніи маховичка въ ту или другую сторону валъ машины начнетъ вращеніе въ томъ же направленіи и если угловыя скорости ихъ будутъ равны между собою то эксцентрикъ не измѣнитъ своего относительнаго положенія. Приспособленіе такого рода можетъ быть примѣнено къ рулевымъ машинамъ большихъ судовъ и къ машинамъ различнаго рода подъемныхъ устройствъ.

Кромѣ того это устройство можетъ служить какъ регуляторъ, если сообщить маховичку равномерное вращеніе съ определенной угловой скоростью равной угловой скорости вращенія вала машины съ помощью одного изъ существующихъ для этой цѣли механизмовъ. Въ самомъ дѣлѣ, съ измѣненіемъ угловой скорости вращенія вала эксцентрикъ получитъ относительное перемѣщеніе, которое повлечетъ за собою уменьшеніе или увеличеніе хода золотника и соотвѣтственное уменьшеніе или увеличеніе расхода пара основной машины. Удобство такого регулированія могло бы имѣть мѣсто напр. въ парашодныхъ машинахъ, гребной валъ которыхъ, выступая наружу во время волненія, весьма сильно измѣняетъ свою угловую скорость вращенія.

Шаровой эксцентрикъ готовится изъ литой стали, коле  $A$  окружающее его можетъ быть отлито изъ бронзы и снабжено на своей вѣншей цилиндрической поверхности такъ называемымъ антифрикціоннымъ металломъ.

Опыты примѣненія механизма Трипле для рудничной машины въ 350 индикаторныхъ силъ не обнаружили никакихъ неудобствъ въ конструктивномъ отношеніи.

**144.** Перейдемъ теперь къ описанію устройствъ, въ которыхъ эксцентрикъ получаетъ на ходу *относительное вращеніе* около главнаго вала машины. Самый простѣйшій изъ механизмовъ подобнаго рода представленъ на черт. n<sup>o</sup> 156, табл. VI. На главномъ валѣ насажены два коническихъ колеса  $B$ ,  $C$ , изъ которыхъ одно заклиняется шпонкой, а другое  $C$ , составляющее одно цѣлое съ эксцентриковымъ дискомъ  $E$ , сидитъ свободно. Промежуточная коническая шестеренка  $A$  имѣетъ ось вращенія закрѣпленную на перекидномъ рычагѣ. Всѣ три колеса имѣютъ равные начальные радіусы. Такъ какъ вращеніе эксцентрикового диска совершается въ сторону обратную вращенію главнаго вала, то эксцентриситетъ его долженъ быть расположенъ позади кривошипа подъ угломъ равнымъ  $90^\circ + \delta$ , такъ напр. на черт. 156 вращеніе кривошипа предполагается въ сторону обратную вращенію часовой стрѣлки. При вращеніи перекиднаго рычага происходитъ относительное вращеніе эксцентрикового диска около вала въ ту или другую сторону.

Необходимо замѣтить, что относительное угловое перемѣщеніе диска при этомъ устройствѣ въ два раза болѣе угловаго перемѣщенія перекиднаго рычага, что влечетъ за собою употребленіе значительнаго усилія для перестановки рычага со стороны машиниста, поэтому устройство подобнаго рода можетъ быть примѣнено лишь въ небольшихъ машинахъ.

Главный недостатокъ механизма состоитъ въ трудности укрѣпленія оси вращенія промежуточнаго колеса и неизбежной игры въ соприкасающихся частяхъ, являющейся какъ результатъ быстрого истиранія ихъ.

**145.** Колесный приводъ Мазелини, причисляющійся къ подобнаго рода устройствамъ, представленъ схематически на черт. n<sup>o</sup> 170, табл. VI. Эксцентрикъ въ механизмѣ Мазелини замѣняется колѣномъ особаго золотниковаго валика  $\Omega_1$ , на шейку котораго прямо насаживается головка золотниковаго ша-

туна. Этот вспомогательный валикъ вращается съ угловою скоростью равною угловой скорости вращенія главнаго (кореннаго) вала машины  $\Omega$  при посредствѣ пары цилиндрическихъ равныхъ зубчатыхъ колесъ  $E, D$ , изъ которыхъ одно  $E$ , сидящее свободно на оси валика, снабжено деревянными зубьями для избѣжанія шумнаго хода. Такъ какъ направленіе вращенія золотниковаго валика прямопротивоположно вращенію главнаго вала (предполагая на минуту колесо  $E$  заклиненнымъ на своей оси), то направленіе главнаго кривошипа  $\Omega K_0$  машины (воображая его перенесеннымъ параллельно на золотниковый валикъ) должно опережать колѣно валика на уголъ  $90 + \delta$ . Если переставить это колѣно такимъ образомъ, чтобы положеніе его опережало кривошипъ на тотъ же уголъ, т. е. переставить колѣно на уголъ  $180 - 2\delta$ , то главный валъ обратитъ свое вращеніе.

Итакъ вопросъ состоитъ въ возможности на ходу машины вращать золотниковый валъ на нѣкоторый уголъ, т. е. измѣнять положеніе колѣна этого вала относительно главнаго кривошипа. Для этой цѣли Мазелини устраиваетъ слѣдующую систему зубчатыхъ колесъ.

Со втулкой маховика, которая закрѣпляется на оси валика съ помощью особаго нажимнаго коническаго тормоза, приводимаго въ дѣйствіе малымъ маховичкомъ (не показанъ на черт.), составляетъ одно цѣлое колесо  $M$ . Съ колесомъ  $M$  сдѣляется второе колесо  $L$ , составляющее одно цѣлое съ колесомъ  $J$ , которое, будучи посажено на одну ось съ первымъ, сдѣляется съ зубцами  $K$  находящимися на внутренней поверхности нижняго вырѣза большаго колеса  $E$ . Ось обоихъ колесъ  $L, J$  закрѣпляется въ особомъ хомутѣ, заклиненномъ на золотниковомъ валикѣ, и снабженномъ на противоположномъ концѣ цапфою  $G$ , которая свободно скользитъ въ верхнемъ вырѣзѣ большаго колеса пока не упрется въ него и не увлечетъ его во вращеніе. Такъ какъ колесо  $M$  вращается вмѣстѣ съ валикомъ, то колесо  $L$  относительно своей оси вращенія будетъ неподвижно и слѣдовательно колесо  $J$  останется неподвижнымъ относительно колеса  $E$ . Если задержать вращеніе маховика съ колесомъ  $M$  отъ руки машиниста, то колесо  $L$  вмѣстѣ съ  $J$ , получитъ относительно своей оси угловое перемѣщеніе, влекущее за собою перекатываніе колеса  $J$  по внутренней зубчатой поверхности  $K$  нижняго вырѣза колеса  $E$ , вслѣдствіе чего хомутъ  $HG$  начнетъ измѣнять свое положеніе относительно кривошипа и начнется относительное вращеніе золотниковаго валика на ходу машины до тѣхъ поръ пока цапфа  $G$  не упрется въ противоположный конецъ вырѣза колеса  $E$ , при этомъ наибольшее относительное угловое вращеніе золотниковаго валика должно быть равно  $180 - 2\delta$ . На чертежѣ показано положеніе хомута и центра ( $\omega$ ) его цапфы  $G$ , при которомъ колѣно валика образуетъ съ направлениемъ кривошипа уголъ равный  $180^\circ$ . Когда центръ  $\omega$  совпадетъ съ точкой ( $b$ ) кривошипъ начнетъ вращеніе въ сторону часовой стрѣлки, при совпаденіи же его съ ( $a$ ) вращеніе произойдетъ въ обратномъ направленіи.

Уголъ  $a M \omega = \omega M b = 90 - \delta$ ; уголъ  $a M b = 2(90 - \delta) = 180 - 2\delta$ .

Колесо  $E$  можетъ быть закрѣплено на валикѣ въ одномъ изъ положеній между  $(a)$  и  $(b)$  съ помощью особой соединительной муфты, но установка его отъ руки машиниста на ходу машины въ одно изъ такихъ положеній невозможна и поэтому рассматриваемый механизмъ непригоденъ для непосредственнаго результиванія хода золотника и лишь только для полученія обратнаго хода. Измѣненіе же угла  $\delta$  въ крайнихъ предѣлахъ производится весьма легко и удобно, для сего отпускаютъ коническій тормазъ и задерживаютъ вращеніе большаго маховика съ колесомъ  $M$ , пока цапфа хомута не упрется въ противоположный конецъ вырѣза колеса  $E$ , и снова закрѣпляютъ колесо нажимнымъ устройствомъ. Опредѣлимъ, на какой уголъ долженъ повернуться маховикъ относительно валика (или валикъ относительно маховика) для поворачиванія хомута на уголъ  $180 - 2\delta$  относительно кривошипа. Обозначимъ радиусы колесъ  $M$ ,  $L$ ,  $J$  и зубчатаго сегмента  $K$  соответственно черезъ  $r_I$ ,  $r_{II}$ ,  $r_{III}$ ,  $r_{IV}$ .

Воображая колеса  $E$ ,  $D$  неподвижными, перемѣстимъ цапфу  $G$  хомута изъ положенія  $(b)$  въ  $(a)$ , поворачивая его на уголъ  $180 - 2\delta$ . При этомъ поворачиваніи произойдетъ перекачываніе колеса  $J$  по зубчатому сегменту  $K$ . Обозначая угловое перемѣщеніе колеса  $J$  черезъ  $\alpha$ , получимъ условіе  $r_{IV} (180 - 2\delta) = r_{III} \alpha$ , обозначая же угловое перемѣщеніе колеса  $M$ ,

черезъ  $x$ , найдемъ  $r_I \cdot x = r_{II} \cdot \alpha$ . Откуда  $x = \frac{r_{II} \cdot r_{IV}}{r_{III} \cdot r_I} (180 - 2\delta)$ . Эта

величина опредѣлитъ угловое перемѣщеніе колеса  $M$ , предполагая валикъ неподвижнымъ; но валикъ мы повернули на уголъ  $180 - 2\delta$  поворачиваніемъ хомута, слѣдовательно угловое перемѣщеніе  $x_1$  колеса  $M$  относительно валика, или валика

относительно неподвижнаго колеса равно  $x_1 = (180 - 2\delta) \left[ \frac{r_{II}}{r_{III}} \cdot \frac{r_{IV}}{r_I} - 1 \right]$ .

Для облегченія усилія со стороны машиниста слѣдуетъ по возможности увеличить величину  $\frac{r_{II}}{r_{III}} \cdot \frac{r_{IV}}{r_I}$ , если перекидка производится въ ручную. Пола-

гая  $\frac{r_{II}}{r_{III}} = 2$ ;  $\frac{r_{IV}}{r_I} = 2$  и уголъ  $\delta = 30^\circ$ , получимъ  $x_1 = 120 \cdot 3 = 360^\circ$ .

Механизмъ Мазелини изображенъ конструктивно на табл. XL, n<sup>o</sup> 3 атласа. Желающихъ познакомиться детально съ этимъ устройствомъ и съ механизмами управляющими движеніемъ перекиднаго маховика отсылаемъ къ сочиненію Leduc. Nouvelles machines marines и сочиненію Freminville. Cours pratique des machines à vapeur marines. Рассмотрѣнный механизмъ весьма распространенъ на судахъ французскаго флота.

**146.** Четырехколесный приводъ Модзлея представляетъ болѣе совершенное устройство подобнаго рода (см. черт. n<sup>o</sup> 168, табл. VI). Отъ вала  $\Omega$  машины передается движеніе колѣнчатому золотниковому валику  $\Omega_1$ , при посредствѣ двухъ паръ паровыхъ цилиндрическихъ колесъ. Промежуточные колеса  $c$ ,  $D$

заклучены въ раму, которая можетъ переставляться, скользя своими концами въ двухъ кулисахъ  $Ff$  и  $Gg_a$ . Построение формы этихъ кулисъ основано на слѣдующихъ соображеніяхъ.

Для того, чтобы промежуточные колеса находились въ сѣвленіи съ тѣми, которые закрѣплены на параллельныхъ осяхъ, при всѣхъ положеніяхъ ихъ осей необходимо, чтобы центры ихъ дисковъ  $(d)$  и  $(c)$  перемѣщались по дугамъ круговъ, описанныхъ изъ центровъ  $\Omega$ ,  $\Omega_1$  радіусами  $\Omega_1d$  и  $\Omega c$ . Центръ  $f$  кулиснаго камня опишетъ при этомъ весьма приблизительно дугу круга  $Ff$ , а центръ  $g$  кулиснаго камня  $G$  кривую  $Gg_1 g_2 g_3 g_4$ , которую слѣдуетъ возможно точнее замѣнить прямой. Устраняя двѣ кулисы, дуговую и прямолинейную, и перемѣщая въ нихъ центры кулисныхъ камней шарнирно связанныя съ рамой, при всѣхъ ея положеніяхъ, достигнемъ достаточно точнаго касанія промежуточныхъ колесъ съ основными колесами  $A$ ,  $B$ .

Перемѣщеніе рамы производится винтовой передачею съ парю коническихъ колесъ. Для уравновѣшиванія рамы служатъ грузы  $Q$ ,  $Q$ . Такъ какъ золотниковый валикъ вращается въ сторону обратную вращенію главнаго вала, то колѣно его  $\Omega E$  должно быть расположено позади кривошина (мысленно перенося его параллельно въ центръ валика  $\Omega_1$ ) на уголъ  $90 + \delta$ , такъ что при расположеніи частей, указанныхъ на чертежѣ, направленіе вращенія кривошина совпадаетъ съ обратнымъ вращеніемъ часовой стрѣлки.

Перемѣстимъ раму изъ одного положенія въ другое, и пусть точки  $(d_1)$  и  $(c_1)$  будутъ новыя положенія центровъ вспомогательныхъ колесъ  $D$ ,  $C$ . Соединяя точки  $d_1$  и  $c_1$  съ центрами  $\Omega_1$  и  $\Omega$ , получимъ ломанную линію  $\Omega_1 d_1 c_1 \Omega$ , стороны которой съ прежними положеніями ихъ  $\Omega d$ ,  $dc$ ,  $c\Omega$  образуютъ нѣкоторые углы  $\gamma$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ . При перемѣщеніи рамы на ходу машины колесо  $B$  получитъ угловое перемѣщеніе относительно кривошина, такъ что колѣно валика относительно кривошина повернется на нѣкоторый уголъ, наибольшее значеніе котораго должно быть равно  $180 - 2\delta$ . Для того, чтобы найти зависимость между угловыми перемѣщеніями  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и этимъ угломъ, вообразимъ колесо  $A$  неподвижнымъ и посмотримъ, какое угловое перемѣщеніе получитъ колесо  $B$  при угловыхъ перемѣщеніяхъ вспомогательныхъ колесъ, предполагая сперва ихъ независимыми другъ отъ друга. Когда центръ  $c$  колеса  $C$  перемѣстится въ положеніе  $c_1$ , то колесо относительно своей оси повернется на уголъ  $\alpha$ . Это угловое перемѣщеніе сообщится очевидно колесу  $B$  и валику  $\Omega_1$ . Но при опусканіи рамы центры  $d$  и  $c$  вспомогательныхъ колесъ заняли положенія  $(d_1)$ ,  $(c_1)$ , при чемъ прямая  $d_1 c_1$  образуетъ съ прямой  $dc$  уголъ  $\beta$ . Разсматривая этотъ наклонъ, какъ угловое перемѣщеніе центра  $(d)$  (влѣво) относительно центра  $c$ , при неподвижномъ колесѣ  $C$  или какъ вращеніе колеса  $D$  около своей оси, найдемъ, что и это перемѣщеніе должно сообщиться колесу  $B$  и валику  $\Omega_1$  въ ту же сторону. Наконецъ перемѣщеніе центра  $d$  около центра  $\Omega_1$  по дугѣ  $dd_1$ , на уголъ  $\gamma$  можно разсматривать, какъ вращеніе колеса  $B$  около своей оси. Такимъ образомъ, если бы каждое изъ колесъ сообщило колесу  $B$  угловыя пе-

перемѣщенія независимо отъ другихъ, то колесо  $B$  повернулось бы на уголъ равный  $\alpha + \beta + \gamma$ . Разсматривая теперь центры вспомогательныхъ колесъ неподвижными и воображая колесо  $B$  повернувшимся по направлению часовой стрѣлки на этотъ уголъ, мы найдемъ, что кривошипъ повернется въ обратную сторону на тотъ же уголъ, и слѣдовательно угловое перемѣщеніе валика относительно кривошипа будетъ равно  $2(\alpha + \beta + \gamma)$ , — оно должно быть равно по условію  $180 - 2\delta$ . Итакъ  $180 - 2\delta = 2(\alpha + \beta + \gamma)$ , отсюда  $\alpha + \beta + \gamma = 90 - \delta$ . При  $\delta = 90^\circ$ , т. е. при мертвомъ ходѣ золотника  $\alpha + \beta + \gamma = 0$ , такъ что эти углы слѣдуетъ считать отъ среднихъ положеній кулисныхъ камней соответствующихъ  $\delta = 90^\circ$ . На табл. XI, н<sup>о</sup> 4, 4<sup>b</sup> атласа представленъ этотъ механизмъ конструктивно. Желающихъ болѣе подробно ознакомиться съ конструкціей механизма отсылаемъ къ вышеозначеннымъ сочиненіямъ Leduc et Fremerville. Механизмъ Модзлея принятъ на нѣкоторыхъ судахъ Германскаго флота. Недостатокъ механизма заключается въ сильномъ стукѣ колесъ.

147. Относительное вращеніе эксцентрика на ходу машинъ кромѣ разсматриваемыхъ эциклическихъ заѣвленій можетъ быть произведено перемѣщеніемъ вдоль вала особой винтовой муфты входящей во внутрь эксцентриковаго диска. Относительное поступаніе этой муфты, сидящей на шпонкѣ вала, обусловливаетъ вращеніе эксцентриковаго диска. Механизмы подобнаго рода могутъ быть пригнѣяемы лишь въ небольшихъ машинахъ по причинѣ значительнаго тренія развивающагося на винтовой нарѣзкѣ. Очевидно они принципиально не отличаются отъ клиновыхъ устройствъ подобнаго механизму Додса (см. пунктъ 142).

148. Къ коловратнымъ механизмамъ съ относительнымъ вращеніемъ эксцентрика около вала слѣдуетъ отнести устройство, представленное на черт. н<sup>о</sup> 165, 165<sup>a</sup> 179, табл. VI.

Эксцентрикый дискъ (см. черт. н<sup>о</sup> 179) свободно насаженъ на валу  $\Omega$  съ цилиндрическимъ выступомъ  $V$ , боковыя щѣки котораго ( $a$ ) и ( $a_1$ ) попеременно могутъ уцѣпаться въ углубленія ( $i$ ) и ( $i_1$ ) втораго диска, прикрѣпленнаго къ эксцентрику для уравновѣиванія его. Предполагая вращеніе кривошипа въ сторону движенія часовой стрѣлки, мы увидимъ, что выступъ  $a_1$  вала произведетъ давленіе на впадину ( $i_1$ ) противовѣса и увлечетъ въ своемъ вращеніи эксцентрикъ. Для перестановки эксцентрика на уголъ  $\angle i\Omega 2 = 180 - 2\delta$ , машинистъ (см. черт. н<sup>о</sup> 165) прижимаетъ ногой педаль  $p'$  и снимаетъ крючекъ ( $a$ ) эксцентриковой штанги съ цапфы  $b$  рычага  $H$ . Освободивъ такимъ образомъ эксцентриковую штангу отъ золотниковой  $S_i$  (см. н<sup>о</sup> 165<sup>a</sup>), машинистъ перестановкой рычага перемѣщаетъ золотникъ на обратный ходъ, вслѣдствіе чего кривошипъ начнетъ обратное вращеніе и когда выступъ вала ( $a$ ) прикоснется къ впадинѣ ( $i$ ) диска  $G$  (см. черт. н<sup>о</sup> 179, табл. VI), т. е. когда установится связь между валикомъ и эксцентрикомъ, машинистъ оставляетъ педаль и искусственнымъ передвиженіемъ рукоятки накладываетъ снова крючекъ ( $a$ ) на цапфу ( $b$ ). Дальнѣйшее вращеніе вала будетъ такимъ образомъ установлено.

Для поворачиванія такого эксцентрика употребляютъ въ пароводныхъ машинахъ особый приводъ, представляющій систему зубчатыхъ эпициклическихъ сцепленій. Мы не будемъ описывать подобнаго устарѣлаго устройства, не представляющаго ничего замѣчательнаго въ конструктивномъ отношеніи, и отсылаемъ желающихъ познакомиться съ нимъ къ сочиненію Busley. Schiffsmaschinen. Kiel. 1886. (Русскій переводъ. Судовые механизмы, Г. Пю-Ульскій и К. Вардтъ. С.-Петербургъ. 1891 г. см. томъ II, стр. 122 приводъ сист. Muir и Caldwell).

---

## ОТДѢЛЪ III.

**Парораспределение производимое простымъ коробчатымъ золотникомъ, перемѣщеніе котораго опредѣляется элементами идеальнаго эксцентрика.**

### ГЛАВА IX.

#### Діаграммы парораспределенія.

149. Перемѣщеніе ( $\xi$ ) золотника изъ средняго его положенія, сообщаемое ему элементами идеальнаго эксцентрика  $r$ ,  $\delta$ , выражается, какъ извѣстно, слѣдующею простою зависимостью  $\xi = r \sin(\omega + \delta)$  между ними и угломъ наклона кривошипа къ основанію (см. пунктъ 10). Для того чтобы представить наглядно законъ измѣненія перемѣщенія золотника, выражаемый предъидущею формулою, и вмѣстѣ съ тѣмъ ходъ парораспределенія имъ производимаго, были предложены многими авторами различныя діаграммы, изъ которыхъ мы рассмотримъ наиболѣе употребительныя: 1) полярную діаграмму Цейнера, 2) Ортогональную діаграмму Мюллера, 3) весьма удобную для практическихъ приложений діаграмму Оппенклосса.

#### *Діаграмма Цейнера.*

Построивъ элементы  $r$ ,  $\delta$  идеальнаго эксцентрика, опишемъ окружность на линейной величинѣ ( $r$ ) какъ на діаметрѣ (см. черт. n<sup>o</sup> 215, табл. VIII) и пріймемъ  $Ox$  за полярную ось и точку  $O$  за полюсъ.

Проведя векторъ  $OП$  подъ нѣкоторымъ угломъ ( $\omega$ ) къ полярной оси, равнымъ углу наклона кривошипа къ основанію, легко замѣтить что отрѣзокъ  $OQ$ , заключенный внутри построенной окружности, равенъ  $r \sin(\omega + \delta)$  или  $A \cos \omega + B \sin \omega$ , гдѣ  $A = r \sin \delta$ ;  $B = r \cos \delta$  и  $\operatorname{tg} \delta = \frac{A}{B}$ .

Такъ какъ уравненіе  $\xi = r \sin(\omega + \delta) = A \cos \omega + B \sin \omega$  представляетъ полярное уравненіе окружности, проходящей черезъ полюсъ  $O$ , то діаграмма называется *полярной*.

Условившись отсчитывать углы ( $\omega$ ) наклона кривошипа къ основанію *отъ полярной оси*, мы найдемъ, такимъ образомъ, что хорды построенной окружности, проведенныя изъ полюса  $O$ , представляютъ графически величины

равныя перемѣщеніямъ золотника изъ его средняго положенія, соотвѣтственно угламъ наклона кривошипа, равнымъ угламъ наклона этихъ хордъ къ полярной оси.

Для опредѣленія перемѣщенія золотника по другую сторону центра его колебаній построимъ вторую окружность, равную первой, на продолженіи ея діаметра и касательную къ ней.

Замѣтимъ, что за полярную ось діаграммы возможно было бы принять направленіе совпадающее съ дѣйствительнымъ начальнымъ положеніемъ кривошипа, но тогда пришлось бы разсматривать предварительно векторы нижняго круга діаграммы.

**150.** Для изслѣдованія по діаграммѣ парораспределения, производимаго простымъ коробчатымъ золотникомъ, необходимо знать величины его вѣшнихъ и внутреннихъ перекрытій т. е. тѣ величины, на которыя золотникъ перекрываетъ своими вѣшними или внутренними ребрами крайнія паровыя окна въ его среднемъ положеніи. Обозначимъ вѣшнюю перекрышу золотника черезъ ( $e$ ) и внутреннюю черезъ ( $i$ ).

Три независимыя величины  $\delta$ ,  $\frac{e}{r}$ ,  $\frac{i}{r}$  назовемъ парораспределительными элементами золотника, ибо отъ нихъ, какъ увидимъ, зависятъ слѣдующія фазы нормального парораспределения: а) впускъ пара б) расширеніе с) выпускъ д) сжатіе.

Проведемъ изъ центра или полюса  $\Omega$  радіусомъ равнымъ вѣшной перекрышѣ золотника  $e = \Omega 5$  (см. черт. n<sup>o</sup> 215, табл. VIII) окружность, которая пересѣчетъ два круга діаграммы въ четырехъ точкахъ  $9'$ ,  $5$ ,  $9$ ,  $5'$ . Соединивъ эти точки съ полюсомъ, мы получимъ четыре направленія радіуса вектора, которыя образуютъ съ полярною осью  $\Omega x$  углы равные угламъ наклона кривошипа къ линіи мертвыхъ точекъ.

Первыя два направленія опредѣляютъ углы наклона кривошипа, соотвѣтствующіе двумъ положеніямъ золотника, въ прямомъ и обратномъ ходѣ его, по одну сторону центра его колебаній (напр. вправо), на разстояніи отъ этого центра равномъ вѣшной перекрышѣ ( $e$ ).

Вторыя два направленія опредѣляютъ углы наклона, соотвѣтствующіе двумъ положеніямъ золотника, въ прямомъ и обратномъ его ходѣ, по другую сторону центра его колебаній (напр. влево) на разстояніи отъ него равномъ той же вѣшной перекрышѣ. Сообразно тому, происходитъ ли открытіе или закрытіе оконъ этой перекрышей, мы опредѣлимъ означенными направленіями вектора моменты противопара, или моменты отсѣчекъ въ прямомъ и обратномъ движеніи поршня.

Такимъ образомъ, направленіе  $\Omega g'$  опредѣлитъ моментъ противопара или опереженія впуска, ибо съ дальнѣйшимъ вращеніемъ вектора хорды круга діаграммы увеличиваются т. е. окно открывается а направленіе  $\Omega V$  — моментъ прекращенія впуска или моментъ отсѣчки, ибо окно перекрывается.

Положенія  $\Omega IX$  и  $\Omega 5'$  опредѣляютъ моменты открытія и закрытія второго крайняго окна, со стороны выпуска, т. е. моменты пароупора и отсѣчки по другую сторону поршня въ его обратномъ ходѣ.

Приведи теперь изъ полюса  $\Omega$  діаграммы кругъ радіусомъ равнымъ внутренней перекрышкѣ золотника ( $i$ ) и опредѣляя точки  $S', 6, 8, 6'$  пересѣченія его съ кругами діаграммы, найдемъ, подобно предыдущему, четыре направленія радіусовъ векторовъ, соотвѣтствующія четыремъ положеніямъ кривошипа, въ моменты открытія и закрытія крайнихъ оконъ со стороны выпуска пара къ прямомъ и обратномъ ходѣ поршня.

Такимъ образомъ, направленіе вектора  $\Omega S'$  опредѣлитъ моментъ опереженія выпуска, ибо съ дальнѣйшимъ вращеніемъ вектора хорды круга діаграммы увеличиваются т. е. окно открывается, а направленіе  $\Omega 6$  — моментъ сжатія, ибо окно со стороны выпуска закрывается или перекрывается. Точно также  $\Omega 8, \Omega 6'$  опредѣляютъ моменты открытія или закрытія со стороны выпуска изъ второго крайняго окна въ обратномъ ходѣ поршня.

**151.** Переходя къ разсмотрѣнію, по діаграммѣ Цейнера, послѣдовательныхъ моментовъ парораспределенія, обратимъ вниманіе на слѣдующія правила, которыя нетрудно было усмотрѣть изъ предыдущаго пункта \*).

а) При однозначныхъ величинахъ ( $\xi$ ) назначенія двухъ крайнихъ паровыхъ оконъ цилиндра различны. Если напр. при положительныхъ значеніяхъ ( $\xi$ ) (верхній кругъ діаграммы) черезъ одно окно происходитъ *выпускъ*, то черезъ другое окно происходитъ *выпускъ* пара.

б) Съ измѣненіемъ знака ( $\xi$ ) назначеніе одного и того же окна пзмѣняется. Если, напр. при положительныхъ значеніяхъ ( $\xi$ ) черезъ какое нибудь окно происходитъ *выпускъ* пара въ цилиндръ, то при отрицательныхъ значеніяхъ ( $\xi$ ) будетъ происходить *выпускъ* изъ того же окна. Поэтому оказывается возможнымъ обращать лишь вниманіе на измѣненіе знака величины ( $\xi$ ) независимо отъ того по какому кругу верхнему или нижнему отсчитываются положительные значенія  $\xi$ .

Это замѣчаніе имѣетъ, напр. мѣсто при изслѣдованіи парораспределенія съ отсѣчкой внутренними ребрами золотника, когда эксцентръ располагается позади кривошипа и образуетъ съ перпендикуляромъ къ нему острый уголъ  $\delta$ .

**152.** Разсмотримъ теперь по діаграммѣ (см. черт. n° 215, табл. VIII) послѣдовательные моменты парораспределенія въ теченіи полуоборота кривошипа, предполагая (условно) его направленіе совпадающимъ съ направленіемъ радіуса вектора.

1) Мертвое положеніе кривошипа  $\Omega I$ . Паровое окно (положимъ лѣвое) открыто со стороны выпуска на величину ( $v$ ) линейнаго опереженія выпуска  $v = \Omega I - e = r \sin \delta - e$ . Въ тоже время второе окно открыто на величину ( $w$ ) линейнаго опереженія выпуска  $w = \Omega I - i = r \sin \delta - i$ .

\*) См. литогр. лекціи проф. Котурницкаго.

2)  $\Omega II$  положеніе кривошипа въ моментъ полнаго открытія окна на величину равную его высотѣ ( $a$ ), такъ что  $\Omega\Omega = e + a$ . Второе окно (правое) было вполне открыто нѣсколько раньше. Этотъ моментъ не показанъ и опредѣлился бы точкой пересѣченія круга радіуса  $i + a$ , проведеннаго изъ полюса съ кругомъ діаграммы.

3)  $\Omega a$  положеніе кривошипа въ моментъ мертваго положенія золотника. Начиная съ этого момента золотникъ измѣняетъ направленіе своего перемѣщенія и, возвращаясь къ центру колебаній, займетъ сначала положеніе соответствующее положенію кривошипа  $\Omega III$ , при которомъ паровое окно со стороны впуска открыто на величину равную его высотѣ ( $a$ ); второе окно будетъ открыто на эту величину нѣсколько позже (этотъ моментъ не показанъ и легко найдется).

Съ дальнѣйшимъ вращеніемъ кривошипа наступитъ положеніе его  $\Omega IV$ , когда лѣвое окно со стороны впуска будетъ открыто на величину  $e$ , а правое со стороны выпуска на величину  $w$ .

4)  $\Omega V$  положеніе кривошипа въ моментъ закрытія лѣваго окна или въ моментъ *отсѣчки*, когда притокъ пара въ цилиндръ прекращенъ и наступаетъ расширеніе его. Второе окно открыто еще со стороны выпуска на величину равную  $e - i$ .

5)  $\Omega VI$  положеніе кривошипа въ моментъ закрытія праваго окна со стороны выпуска, т. е. въ моментъ начала сжатія мятаго пара. Лѣвое окно перекрыто при этомъ на величину равную  $e - i$ , такъ что расширеніе рабочаго пара продолжается.

6)  $\Omega VII$  положеніе кривошипа въ моментъ средняго положенія золотника, когда оба крайнія окна перекрыты на величину  $e$  (внѣшнимъ образомъ) и на величину  $i$  (внутреннимъ образомъ). Расширеніе рабочаго пара продолжается одновременно съ сжатіемъ мятаго пара.

Съ дальнѣйшимъ вращеніемъ кривошипа назначеніе обоихъ крайнихъ оконъ измѣняется, а именно окно, которое раньше служило для впуска пары (лѣвое) будетъ служить теперь для выпуска отработаннаго пара, второе же крайнее окно послужитъ для впуска свѣжаго пара въ соответствующую (правую) часть цилиндра.

7)  $\Omega VIII$  положеніе кривошипа въ моментъ прекращенія расширенія и начала опереженія выпуска мятаго пара изъ лѣваго окна. Правое окно закрыто, съ внѣшней стороны на величину  $e - i$  и сжатіе мятаго пара продолжается.

8)  $\Omega IX$  положеніе кривошипа въ моментъ открытія праваго окна, т. е. въ моментъ противонара. Лѣвое окно со стороны выпуска открыто при этомъ на величину  $e - i$ .

9)  $\Omega X$  второе мертвое положеніе кривошипа, при которомъ паровыя окна открыты: лѣвое со стороны выпуска на величину  $w = r \sin \delta - i$ , а правое со стороны впуска на величину  $v = r \sin \delta - e$ .

Въ теченіе второй половины оборота и обратнаго хода поршня снова повторяются рассмотрѣнные моменты парораспределения.

Если теперь провести из полюса  $\Omega$  произвольным радиусом окружность, и найти ортогональные, или дуговые проекции на направление основания  $xx$  точек пересечения векторов диаграммы с этой окружностью, то для всех моментов парораспределения легко определять приблизительно или точно соответствующия имъ части хода поршня. Подъ н<sup>о</sup> 217 представлена таблица, въ которой обозначены доли хода поршня, соответствующия угламъ ( $\omega$ ) наклона кривошипа въ предположеніи безконечной длины шатуна.

**153.** *Діаграмма Мюллера* (см. черт. н<sup>о</sup> 216, табл. VIII).

Построимъ элементы  $r$ ,  $\delta$  на основаніи  $\Omega x$  и проведемъ радиусомъ равнымъ  $r$  изъ центра  $\Omega$  окружность. Проектируя центръ эксцентрика на направление  $\Omega x$ , получимъ относительное положеніе золотника (его оси симметріи). Съ тѣмъ чтобы не слѣдить одновременно за положеніемъ кривошипа и эксцентриситета, воображаютъ основаніе повернутымъ на уголъ  $90^\circ + \delta$  въ сторону вращенія кривошипа, оставляя направленіе золотниковой линіи  $zx$  безъ измѣненія, и отсчитываютъ углы кривошипа отъ направленія  $\Omega I$ . Если провести параллели къ оси  $\Omega y$  по обѣ стороны ея на разстояніяхъ  $i$ ,  $e$ ,  $e + v$ ,  $e + a$ , то подобно тому какъ и въ пунктѣ 152 опредѣлимъ легко послѣдовательные моменты парораспределения. Для сравненія съ предыдущей діаграммой поставлены однѣ и тѣ же цифры и буквы. Такъ напр.  $\Omega V$  соответствуетъ моменту отсѣчки, а  $\Omega g'$  моменту противопара для одной и той же части цилиндра. Проектированіемъ точекъ пересѣченія радиусовъ  $\Omega I$ ,  $\Omega II$  и т. д. съ окружностью діаграммы на направленіе  $Xx$  опредѣлимъ легко въ процентахъ доли хода поршня, соответствующія заданнымъ моментамъ парораспределения.

**154.** Переходя къ разсмотрѣнію діаграммы Ошинкловса замѣтимъ, что линейнымъ величинамъ (см. черт. н<sup>о</sup> 216)  $e$ ,  $i$ ,  $v$ ,  $w$  соответствуютъ угловыя величины, которыя назовемъ послѣдовательно *углами внешней и внутренней перекрѣтки* (углы  $\psi$ ,  $\eta$ ), *углами линейнаго опереженія впуска* (уголъ *противопара*) и *выпуска* (углы  $\varphi = \delta - \psi$ ,  $\beta = \delta - \eta$ ). Линейной величиной  $e + v$  соответствуетъ *уголъ опереженія*  $\delta$ .

Эти угловыя величины связаны съ линейными слѣдующими равенствами, которыя вытекаютъ прямо изъ разсмотрѣнія черт. н<sup>о</sup> 216.

$$1) e + v = r \sin \delta; \quad 2) e = r \sin \psi; \quad 3) i = r \sin \eta; \quad 4) v = r \sin \delta - r \sin \psi = \\ = 2r \cos \frac{\delta + \psi}{2} \sin \frac{\delta - \psi}{2}.$$

замѣчая что  $5) i + w = e + v = r \sin \delta,$

надемъ далѣе  $6) w = r \sin \delta - r \sin \eta = 2r \cos \frac{\delta + \eta}{2} \sin \frac{\delta - \eta}{2}.$

Обозначимъ затѣмъ уголъ вращенія кривошипа, начиная съ мертвой точки 10 момента отсѣчки, черезъ  $\omega' = \angle I \Omega V$  и назовемъ его *уголомъ наполненія*. Изъ черт. 216 видно, что этотъ уголъ равенъ: 7)  $\omega' = 180 - 2\delta + \varphi$ , или  $\omega' = 180 - \delta - \psi$ . Обозначимъ уголъ вращенія кривошипа отъ начала

отсѣчки до конца расширенія (или начала выпуска) черезъ  $\alpha = \angle V \Omega VIII$  и назовемъ его *угломъ расширенія*. Изъ черт. имѣемъ: 8)  $\alpha = \delta - \varphi + \eta = \psi + \eta$ , т. е. *уголъ расширенія равенъ суммѣ угловъ вѣнцовой и внутренней перекрыши золотника*. Обозначимъ затѣмъ уголъ вращенія кривошипа отъ начала сжатія до момента противопара черезъ  $\gamma = \angle VI \Omega IX$  и назовемъ его *угломъ сжатія*. Имѣемъ изъ черт. 216: 9)  $\gamma = \psi + \eta = \alpha$ , т. е. *уголъ сжатія равенъ углу расширенія*. Сумма угловъ  $\alpha + \omega' = 180 - \delta + \eta$  представитъ уголъ вращенія кривошипа отъ мертваго положенія до начала выпуска. Назовемъ этотъ уголъ *угломъ начала выпуска*; а сумма угловъ  $\omega' + \psi - \eta = 180 - \delta - \eta$  представитъ *уголъ начала сжатія*.

Такимъ образомъ въ зависимости отъ *трехъ независимыхъ* угловыхъ величинъ  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\eta$ , которыя назовемъ *угловыми элементами парораспределения*, мы получимъ послѣдовательно, начиная отъ мертваго положенія кривошипа, выраженія слѣдующихъ угловъ, соответствующихъ главнымъ моментамъ парораспределения.

а) Мертвое положеніе кривошипа  $\omega = 0$ . б) Уголъ наполненія или начала расширенія  $\omega' = 180 - 2\delta + \varphi = 180 - \delta - \psi$ . в) Уголъ начала сжатія  $\omega'' = 180 - \delta - \eta$ . г) Уголъ начала выпуска (конецъ расширенія)  $\alpha + \omega' = 180 - \delta + \eta$ . е) Уголъ начала противопара (конецъ сжатія)  $180 - \varphi = 180 - \delta + \psi$ . Сюда можно присоединить выраженія для угловъ противопара. ф)  $\varphi = \delta - \psi$ , г) угла опереженія выпуска  $\beta = \delta - \eta$ , расширенія и)  $\alpha = \psi + \eta$  и угла сжатія и)  $\gamma = \psi + \eta$ .

Разсмотрѣніе этихъ равенствъ позволяетъ сдѣлать слѣдующія заключенія. Увеличеніе угла  $\delta$  влечетъ за собою увеличеніе угла противопара и уменьшеніе угловъ начала расширенія, сжатія и выпуска. Хотя углы расширенія и сжатія отъ угла  $\delta$  не зависятъ, но съ увеличеніемъ его *начало расширенія, сжатія и противопара наступаютъ раньше*. Двѣ остальные независимыя величины  $\psi$ ,  $\eta$  опредѣляютъ углы расширенія и сжатія. Увеличеніе этихъ угловъ влечетъ за собою увеличеніе расширенія и сжатія и обратно.

Углы  $\psi$  и  $\eta$  могутъ измѣняться или съ измѣненіемъ вѣнцовой или внутренней перекрыши золотника, или съ измѣненіемъ эксцентриситета эксцентрика, т. е. хода золотника. Въ самомъ дѣлѣ, изъ выраженій 2) и 3) имѣемъ:  $\sin \psi = \frac{e}{r}$ ;  $\sin \eta = \frac{i}{r}$ , откуда усматриваемъ, что съ уменьшеніемъ хода золотника, или увеличеніемъ вѣнцовой и внутренней перекрыши сказанные углы увеличиваются. Въ парораспределительномъ механизмѣ съ постоянной шатунной передачей можетъ измѣняться только уголъ  $\delta$  непосредственнымъ поворачиваніемъ (перестановкой) эксцентрика на валу въ ту или другую сторону. Одновременное измѣненіе угловъ  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\eta$  возможно, вообще говоря, только при посредствѣ кулиснаго механизма.

Одновременное увеличеніе  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\eta$  влечетъ за собою уменьшеніе угла наполненія съ увеличеніемъ угла расширенія, но вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается

настолько же и уголъ сжатія при менѣе значительномъ измѣненіи угловъ начала выпуска и противопара. Измѣненіе этихъ величинъ, какъ увидимъ впоследствии, прямо оказываетъ вліяніе на величину работы пара въ цилиндрѣ. Съ увеличеніемъ  $\delta$ ,  $\psi$ ,  $\eta$  положительная работа въ періодъ наполненія и расширенія пара до момента выпуска можетъ даже сдѣлаться равной отрицательной работѣ сжатія и противопара, тогда сумма работъ въ теченіи полного хода поршня можетъ быть равна нулю, причемъ движеніе машины становится невозможнымъ.

**155. Діаграма Ошинклосса \*).**

Діаграма имѣетъ цѣлью дать простой графической способъ опредѣленія зависимости между линейными и угловыми элементами парораспределенія, необходимаго при проектированіи простаго золотника.

Разсмотримъ сначала построеніе діаграммы и ея примѣненіе въ частномъ случаѣ, а именно въ предположеніи, что линейное опереженіе  $v = 0$  и слѣдовательно уголъ противопара  $\varphi = \delta - \psi = 0$  (см. пунктъ 154 выраженіе f) или  $\delta = \psi$ , и предполагая  $\eta = 0$ .

Проведемъ изъ центра  $\Omega$  полуокружность (см. черт. n<sup>o</sup> 221, табл. VIII) радіусомъ  $\Omega E = r$ , возставимъ изъ центра  $\Omega$  перпендикуляръ къ направленію діаметра проведенной полуокружности и произвольную точку (полюсъ) на продолженіи этого перпендикуляра соединимъ съ однимъ изъ концовъ діаметра діаграммы. Отъ дѣленія (0), по окружности, будемъ откладывать справа на лѣво углы опереженія  $\delta$  равные угламъ перекрышъ  $\psi$ . Линейная величина  $e$  перекрыши, соответствующая угловой  $\psi$ , найдется (см. форму 2, пунктъ 154), если опуститъ перпендикуляръ на исправленіе діаметра и измѣритъ отрѣзокъ между центромъ  $\Omega$  и основаніемъ этого перпендикуляра. Такъ какъ величины ( $e$ ) и ( $r$ ) находятся между собою въ постоянномъ отношеніи  $\frac{e}{r} = \sin \delta = \sin \psi$ , то для полученія перекрышъ соответствующихъ одному и тому же углу  $\psi$  но при различныхъ ходахъ золотника, поступимъ слѣдующимъ образомъ:

Соединимъ основаніе опущеннаго перпендикуляра съ полюсомъ (0) (пусть это будетъ направленіе 0, 120), проведемъ параллельно діаметру отрѣзокъ  $d_1 c_1 = r_1$ , равный данному полуходу золотника, и измѣримъ разстояніе между направленіемъ оси  $\Omega O$  и точкой пересѣченія ( $e_1$ ) вектора 0, 120 съ  $d_1 c_1$ .

Отрѣзокъ  $e_1 c_1$  представитъ очевидно линейную величину перекрыши, соответствующую данному полуходу ( $r_1$ ) золотника: очевидно также, что съ помощью діаграммы возможно найти линейную величину перекрыши и для полухода золотника большаго  $\Omega E = r$ . Если напр. этотъ полуходъ болѣе  $\Omega E$  въ отношеніи  $\frac{a}{b}$ , то искомая перекрыша (при томъ же углѣ  $\psi$ ) увеличится тоже въ  $\frac{a}{b}$ .

Обратная задача, состоящая въ нахожденіи угла перекрыши по заданному

\*) См. Die praktische Anwendung der Schieber und Coulissensteuerungen. W. S. Auchincloss.

полухода золотника и линейной величины перекрыши рѣшится безъ затрудненій. Эти двѣ задачи составить *базисъ* для рѣшенія слѣдующей.

*Задача.* Дано *наибольшее открытіе* паровпускнаго окна (оно можетъ быть болѣе высоты окна) и *начало расширения* въ процентахъ хода поршня (напр. 75%). Требуется опредѣлить помощью діаграммы уголъ опереженія ( $\delta$ ) эксцентрика, вѣшнюю перекрышку ( $e$ ) золотника, уголъ начала расширения ( $\omega'$ ) и сжатія ( $\omega_n$ ). Изъ н<sup>о</sup> 217, табл. VIII имѣемъ, что уголъ ( $\omega_1$ ) начала расширения при 75% хода поршня равенъ  $120^\circ$ , а такъ какъ этотъ уголъ равенъ [см. пунктъ 154 выраж. б)]  $\omega' = 180 - 2\delta$  (при  $\varphi = 0$ ), то искомый уголъ опереженія  $\delta = \frac{180 - 120}{2} = 30^\circ$ . Этотъ уголъ опереженія представляеть вѣсть съ тѣмъ и уголъ перекрыши (ибо  $\varphi = 0$ ). Отложимъ его влѣво отъ дѣленія ( $o$ ) на окружности діаграммы, и опустимъ на направленіе діаметра перпендикуляръ, основаніе котораго соединимъ съ полюсомъ  $0$ . Если теперь на полоску бумаги отложить заданную величину наибольшаго открытія окна  $d'e'$  и передвигать эту полоску параллельно діаметру діаграммы до тѣхъ поръ пока концы отрѣзка  $d'e'$  упадутъ на направленія векторовъ  $0,120$  и  $90^\circ 0,0$ , то отрѣзокъ  $d_1c_1 = r_1$ , измѣренный по масштабу, представитъ искомую величину полухода золотника, а отрѣзокъ  $e'e' = e$  — искомую величину вѣшной перекрыши. Уголъ начала сжатія [см. пунктъ 154 выраж. в)] равенъ  $180 - \delta$  (ибо  $\eta = 0$ ) т. е. равенъ  $180 - 30^\circ = 150^\circ$ .

Предлагаемъ рѣшить ту же задачу по даннымъ: наибольшее открытіе окна равно  $3,2^\circ$  при 82% наполненія. На черт. н<sup>о</sup> 213 представлена полоска бумаги съ отдѣльными величинами, найденными по діаграммѣ и приложенному масштабу.

Читатель можетъ скоро освоиться съ употребленіемъ діаграммы, рѣшивъ нѣсколько задачъ подобныхъ предъидущей; съ этою цѣлью предлагаются слѣдующія данныя:

$$\text{Наполненіе} \begin{cases} 60\% \\ 70\% \\ 75\% \\ 85\% \end{cases} \quad \text{открытіе окна} \begin{cases} 2,1 \\ 2,8 \\ 3,5 \\ 4,2. \end{cases}$$

**156.** Рассмотримъ теперь употребленіе діаграммы Ошинклосса въ общемъ случаѣ, когда требуются въ данномъ парораспределеніи извѣстныя угловыя величины опереженія впуска (или уголъ противопара  $\varphi$ ) и внутренней перекрыши (уголъ  $\eta$ ).

Изъ выраженія для угла наполненія  $\omega' = 180 - 2\delta + \varphi$  (см. пунктъ 154) имѣемъ  $\delta = \frac{180 - \omega' + \varphi}{2} = \frac{180 - \omega'}{2} + \frac{\varphi}{2}$  и уголъ вѣшной перекрыши (см. черт. н<sup>о</sup> 216)  $\varphi = \delta - \eta$ . Если обозначимъ уголъ опереженія, при одномъ и томъ же уголѣ наполненія для золотника безъ угла противопара черезъ  $\delta'$ ,

равный  $\frac{180 - \omega'}{2}$  (на основаніи предыдущей задачи), то  $\delta = \delta' + \frac{\varphi}{2}$ , а уголъ  $\psi = \delta - \varphi = \delta' - \frac{\varphi}{2}$ . Отсюда вытекаетъ слѣдующее правило Ошинклосса.

Уголъ опереженія ( $\delta'$ ) требуемаго начала расширенія ( $\omega'$ ) безъ линейнаго опереженія золотника увеличить на половину заданнаго угла  $\varphi$  линейнаго опереженія (угла противопара) и уголъ перекрыши ( $\delta' = \psi'$ ) безъ линейнаго опереженія уменьшить на другую половину этого угла. Такимъ способомъ получимъ искомый уголъ опереженія ( $\delta$ ) и уголъ вѣшной перекрыши ( $\psi$ ) золотника съ даннымъ угломъ противопара  $\varphi$ . Это правило слѣдуетъ изъ непосредственнаго разсмотрѣнія черт. n<sup>o</sup> 216.

Въ самомъ дѣлѣ, увеличивая уголъ  $\delta$  на  $\frac{\varphi}{2}$  мы уменьшимъ уголъ наполненія  $\omega'$  на ту же величину, уменьшая же уголъ перекрыши на  $\frac{\varphi}{2}$ , мы увеличимъ  $\omega'$  на эту величину и слѣдовательно получимъ тотъ же уголъ наполненія  $\omega'$ , но при углѣ противопара, равномъ заданному углу  $\varphi$ .

Пусть напр. золотникъ, къ которому относится черт. n<sup>o</sup> 213, табл. VIII долженъ быть переставленъ такъ, чтобы образовать уголъ противопара въ  $8^\circ$ , не измѣняя тѣмъ самымъ угла наполненія  $\omega'$ . На основаніи приведеннаго правила новый уголъ опереженія  $\delta = 25 + 4 = 29^\circ$ , а уголъ вѣшной перекрыши  $\psi = 25 - 4 = 21^\circ$ . Переносъ бумажную полосу черт. n<sup>o</sup> 213 на діаграмму представленную на черт. n<sup>o</sup> 210 въ натуральную величину (на бумажкѣ отрѣзокъ  $ab$  слѣдуетъ отложить тоже въ натуральную величину) такимъ образомъ чтобы верхнее ребро ея осталось параллельнымъ основанію  $Co$  діаграммы, а отрѣзокъ  $ab$ , равный наибольшему открытію пароваго окна, заключался между направленіемъ вектора 21,0 и направленіемъ крайняго вектора  $CA$ , получимъ ходъ золотника равный  $10^\circ$  а наружную его перекрышу равной 1,8. Линейное опереженіе ( $v$ ) золотника опредѣлится, по линіи хода, отрѣзкомъ между векторами 21,0 и 29,0. Оно будетъ равно  $0,65^\circ$ .

Дальнѣйшимъ слѣдствіемъ увеличенія угла опереженія, при одновременномъ уменьшеніи на ту же величину угла перекрыши, будетъ то, что начало сжатія наступитъ при углѣ  $180 - 29 - \eta$  (см. с. пунктъ 154) а опереженіе выпуска при углѣ  $180 - 29 + \eta$ . Если внутренняя перекрыша равна нулю, то эти углы ( $151^\circ$ ) равны между собою. Такимъ образомъ, устанавливая золотникъ съ угломъ противопара  $\varphi = 8^\circ$  при той же высотѣ открыванія окна ( $3,2^\circ$ ) и величинѣ угла наполненія ( $130^\circ$ ), мы получимъ слѣдующія обстоятельства парораспределенія.

Уголъ опереженія  $\delta = 29^\circ$ , уголъ вѣшной перекрыши  $\psi = 21^\circ$ , ходъ золотника  $2r = 10^\circ$ , вѣшняя перекрыша  $e = 1,8^\circ$ , внутренняя перекрыша  $i = 0$  (по условію), линейное опереженіе  $v = 0,65^\circ$ , уголъ начала сжатія и опереженія выпуска  $151^\circ$ , что соотвѣтствуетъ по таблицѣ подь n<sup>o</sup> 217  $94\%$  хода поршня.

Замѣтимъ, что если придать золотнику внутреннюю перекрышу  $i$ , выраженную въ угловой величинѣ  $\eta$  (положимъ  $5^\circ$ ), то уголъ наполненія  $\omega'$  отъ этого не измѣнится (см. выр. б) пунктъ 154), а измѣнится уголъ расширения  $\varphi + \eta$  равный углу сжатія, уголъ начала выпуска  $\angle 180 - \delta + \eta = 156^\circ$  и уголъ начала сжатія  $\angle 180^\circ - \delta - \eta = 146^\circ$ . Обратно, если сжатіе, начавшееся при  $151^\circ$ , должно начаться напр. при  $138^\circ$ , то надо придать золотнику внутреннюю перекрышу, выраженную въ угловой величинѣ равной  $151 - 138^\circ = 13^\circ$ . Этому углу по діаграммѣ, при ходѣ золотника въ  $10^\circ$ , соответствуетъ линейная величина  $1,12^\circ$ , при этомъ расширение будетъ продолжено и опереженіе выпуска начнется при углахъ  $151^\circ + 13^\circ = 164^\circ$ .

Когда даны будутъ перекрыши, линейное опереженіе и ходъ только что рассмотрѣннаго золотника, то легко опредѣлить по діаграммѣ начало расширения, сжатія и уголъ опереженія. Откладывая на полоскѣ бумаги эти величины, и устанавливая ее такимъ образомъ, чтобы отрѣзокъ равный полуходу золотника заключался между направленіями крайнихъ векторовъ діаграммы  $OB, AC$ , получимъ непосредственно: уголъ опереженія равный  $29^\circ$ , уголъ перекрыши въ  $21^\circ$ , уголъ противопара  $\varphi = 29^\circ - 21^\circ = 8^\circ$ , уголъ начала расширения  $\omega' = 180 - 2\delta + \varphi = 130^\circ$ , (или  $82\%$  хода поршня), а уголъ начала выпуска и сжатія для золотника безъ внутренней перекрыши  $180^\circ - 29^\circ = 151^\circ$  (или  $94\%$  хода поршня).

Внимательное рассмотрѣніе діаграммы укажетъ, что при помощи ея легко опредѣляется переменная величина открытія пароваго окна, начиная съ величины линейнаго опереженія до высоты наибольшаго открытія и обратно, и что всякая вообще задача относящаяся къ опредѣленію элементовъ парораспределенія разрѣшается настолько же легко и притомъ непосредственно.

157. Съ тѣмъ чтобы показать на примѣрѣ употребленіе діаграммы Ошниклосса для опредѣленія размѣровъ золотника, удовлетворяющаго заданнымъ условіямъ парораспределенія, разрѣшимъ слѣдующую задачу (см. стр. 41 4-е изданіе Цейнера „Ueber Schiebersteuerungen“). Дано наполненіе  $80\%$ , линейное опереженіе  $v = 0,6^\circ$ , высота впускнаго окна въ  $3^\circ$  и наибольшее его открытіе въ  $3,6^\circ$ . Опредѣлить ходъ, уголъ опереженія и вышнюю перекрышу золотника.

Для рѣшенія этой задачи Цейнеръ составляетъ сперва уравненіе, въ которое входитъ величина эксцентриситета, вычисляетъ эту величину въ  $6^\circ$  и находитъ затѣмъ построеніемъ уголъ опереженія въ  $30^\circ$  и вышнюю перекрышу въ  $2,4^\circ$ .

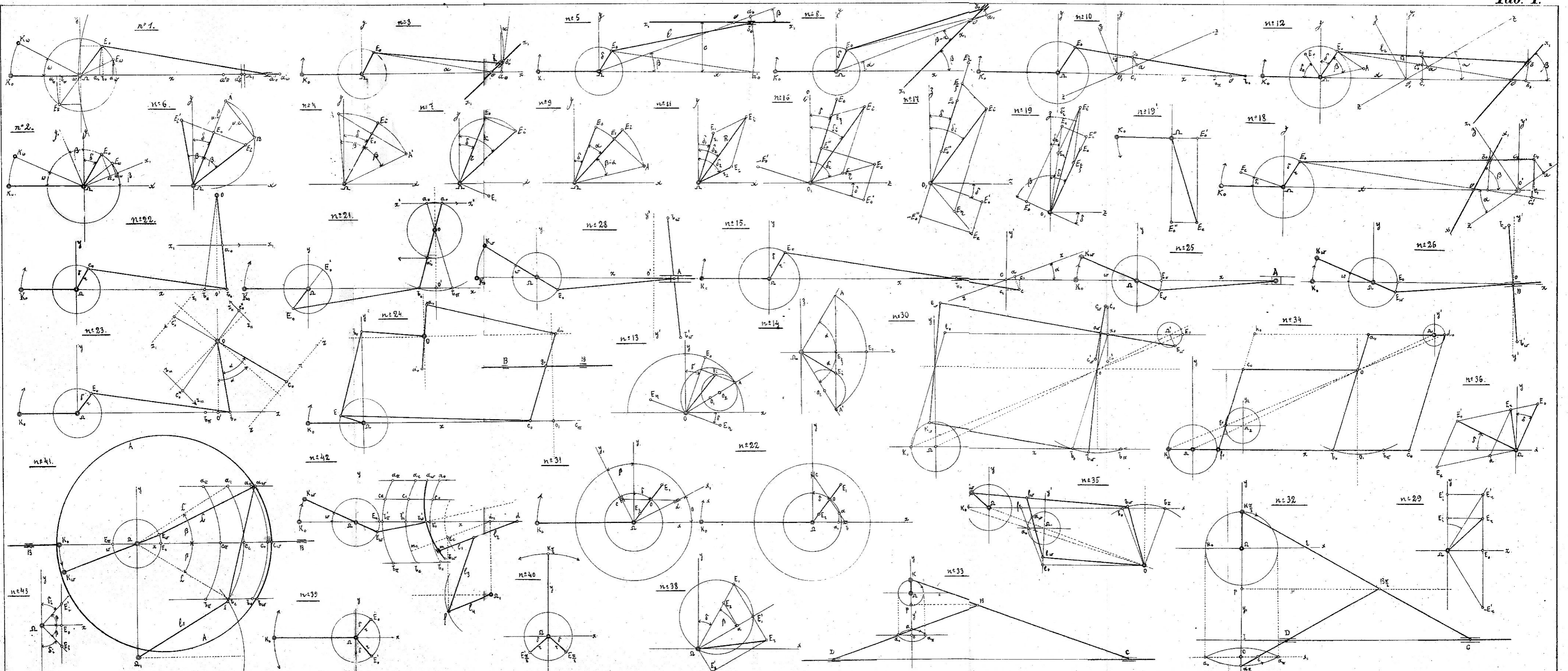
Посредствомъ предложенной діаграммы всѣ три искомыя размѣра опредѣлятся слѣдующимъ образомъ. По таблицѣ путей поршня (n<sup>o</sup> 217) наполненію  $80\%$  соответствуетъ уголъ начала расширения въ  $127^\circ$ . Уголъ опереженія ( $\delta$ ) эксцентрика для золотника безъ линейнаго опереженія опредѣлится изъ выраженія  $\omega' = 180 - 2\delta$ , откуда  $\delta = \frac{180 - \omega'}{2} = \frac{180^\circ - 127^\circ}{2} = 26,5^\circ$ .

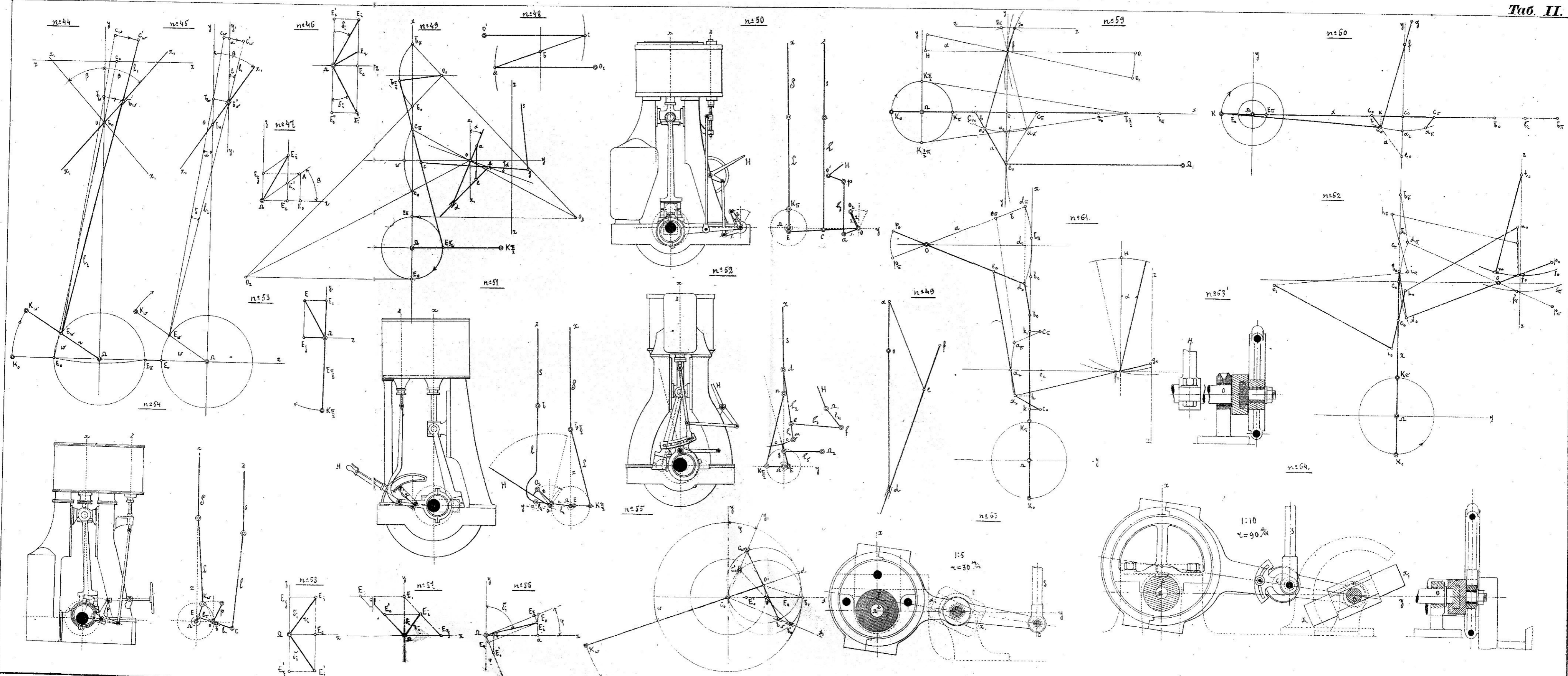
Отложивъ этотъ уголъ, какъ показано на черт. n<sup>o</sup> 212, табл. VIII, или найдя

дѣленіе въ  $127^\circ$  по масштабу черт. н<sup>о</sup> 210, проведемъ векторъ  $go$  (или по діаграмѣ н<sup>о</sup> 210—векторъ  $26,5^\circ - 0$ ). Если отложить затѣмъ (черт. н<sup>о</sup> 212) отъ точки  $c$  по діаметру  $c\Omega$  отрѣзокъ равный  $3,6^c$  (данному наибольшему открытію окна) и провести направленіе  $pp$  параллельное  $co$ , опредѣляющее точку пересѣченія ( $a$ ) его съ векторомъ  $og$ , то отрѣзокъ  $c_1d_1$ , проходящій черезъ эту точку ( $a$ ) параллельно  $\Omega c$ , изобразитъ величину полухода золотника безъ линейнаго опереженія. Отложимъ теперь отъ точки ( $a$ ) по линіи  $c_1d_1$  вправо величину  $ab = 0,3^c$  равную половинѣ заданнаго линейнаго опереженія, и другую половину его  $ac = ab = 0,3^c$  влѣво, и проведемъ черезъ точку ( $b$ ) параллель къ вектору  $go$  до пересѣченія въ ( $b'$ ) съ направленіемъ  $pp$ , тогда отрѣзокъ  $od = 6^c$ , проведенный черезъ точку ( $b'$ ) параллельно  $\Omega c$ , изобразитъ искомый эксцентриситетъ, часть его  $b'd = 2,4^c$  представитъ вѣдущую перекрышу золотника, а съ помощію радіуса вектора  $of'$ , проведеннаго изъ полюса ( $0$ ) черезъ точку  $c_1$ , (конецъ отрѣзка  $b's'$ , равнаго данному линейному опереженію) найдемъ уголъ ( $\delta$ ) опереженія въ  $30^\circ$ , возсталяя перпендикуляръ  $fF'$  и проводя  $F\Omega$ .

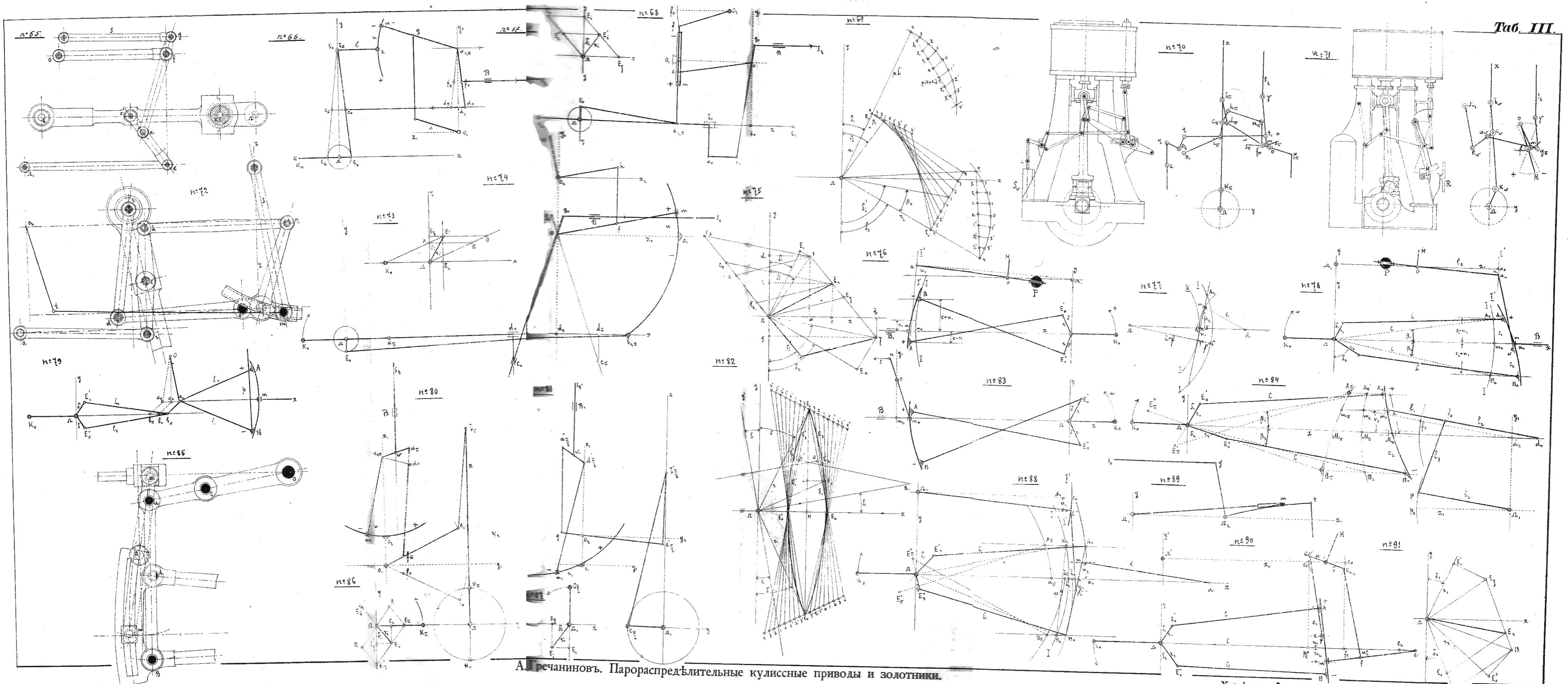
Найденное рѣшеніе задачи не будетъ однако вполне точнымъ вследствие того, что отложеннымъ половинамъ  $ab = ac$  линейнаго опереженія не соответствуютъ равные углы, но ошибка будетъ настолько незначительна, что выходитъ изъ предѣловъ точности графическаго построенія, какъ видно изъ дѣленій на діаграмѣ (н<sup>о</sup> 210, табл. VIII) и не представляетъ никакого значенія въ практическомъ приложеніи.

Строгое рѣшеніе задачи и притомъ болѣе простое получается при заданіи опереженія впуска угловой величиной, т. е. величиной угла противопара. Откладывая въ этомъ случаѣ отъ извѣстнаго направленія подъ угломъ въ  $26,5^\circ$  (см. направленіе  $\Omega g$  на черт. н<sup>о</sup> 212), въ обѣ стороны, половинъ заданнаго угла противопара, получимъ уголъ перекрыши ( $\psi$ ) и уголъ опереженія ( $\delta$ ). Соответствующія имъ линейныя величины и эксцентриситетъ эксцентрика найдемъ, если провести векторы отвѣчающіе найденнымъ угламъ  $\psi$ ,  $\delta$ , и отрѣзокъ  $cd$  черезъ точку ( $b'$ ) пересѣченія одного изъ нихъ съ извѣстнымъ направленіемъ  $pp$ .





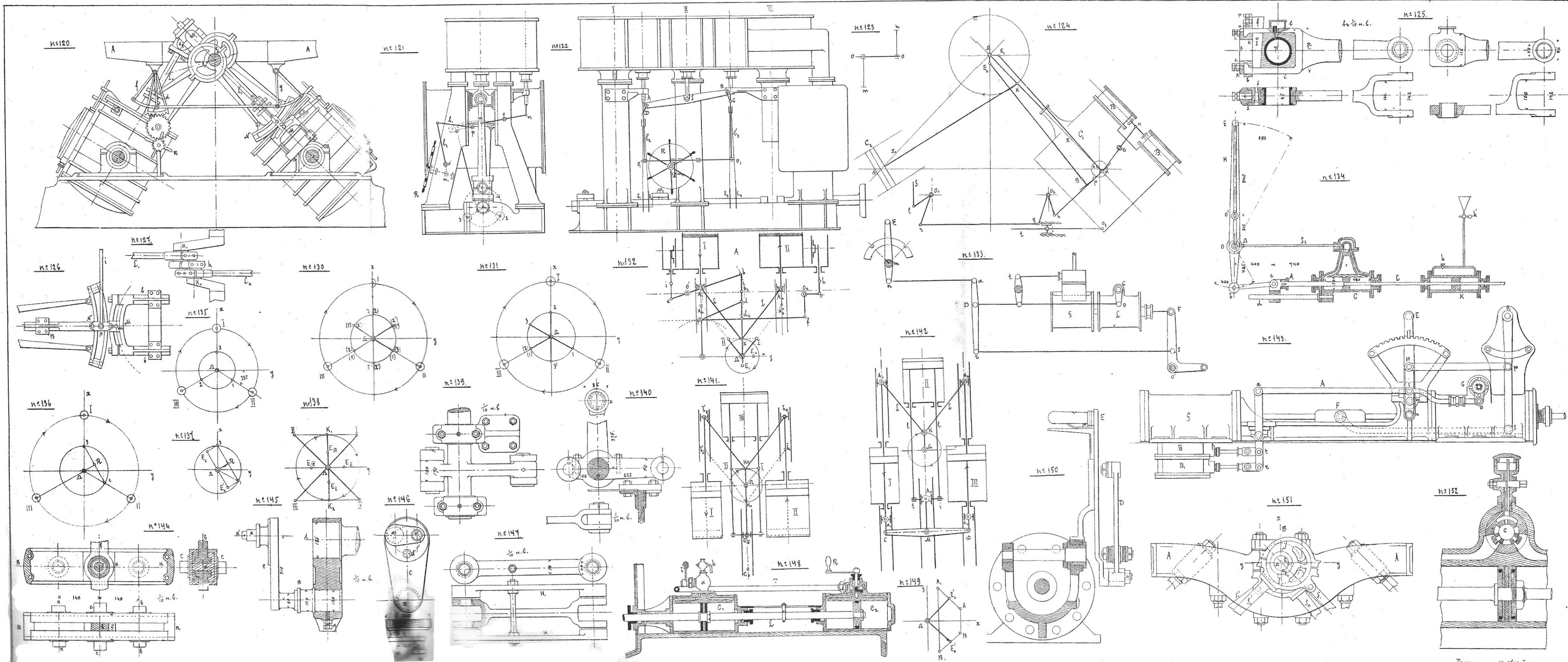
Ал. Гречаниновъ. Парораспределительные кулисные приводы и золотники.

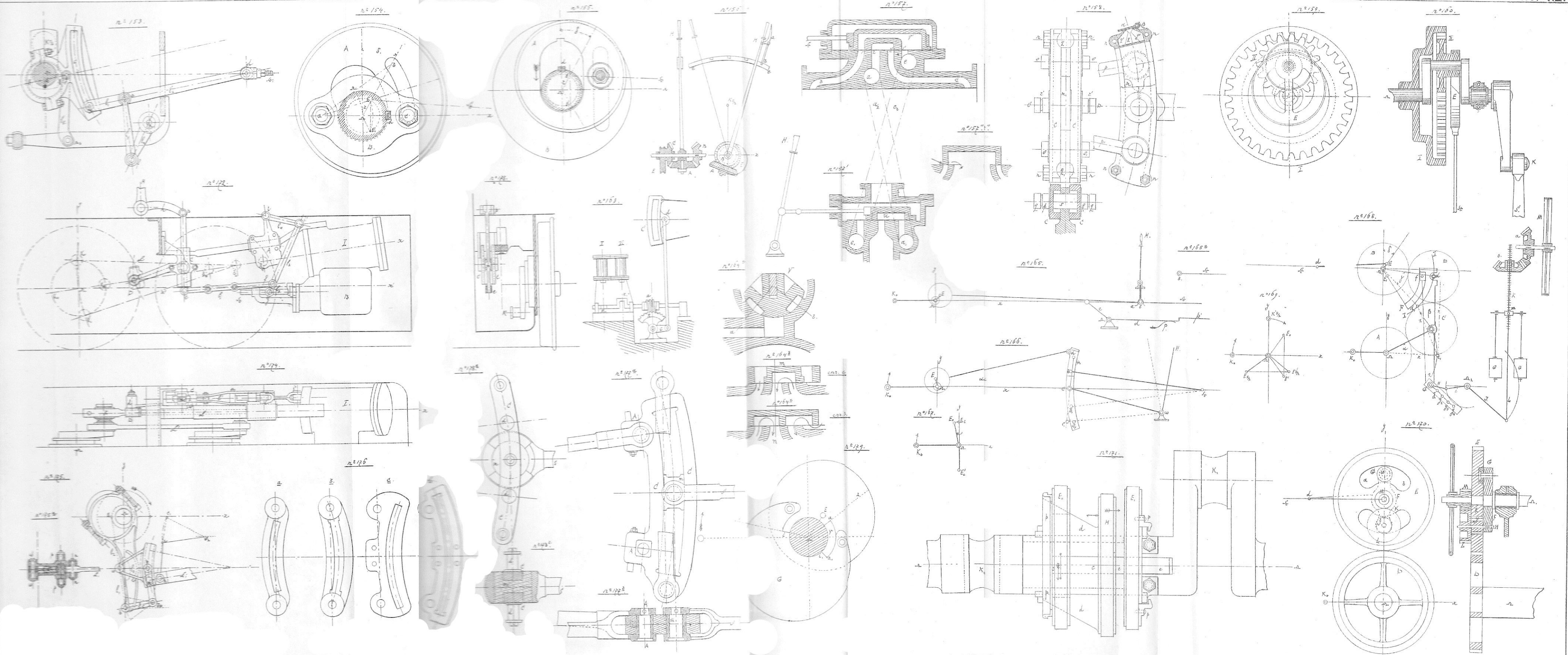


А. Гечаниновъ. Парораспределительные кулисные приводы и золотники.

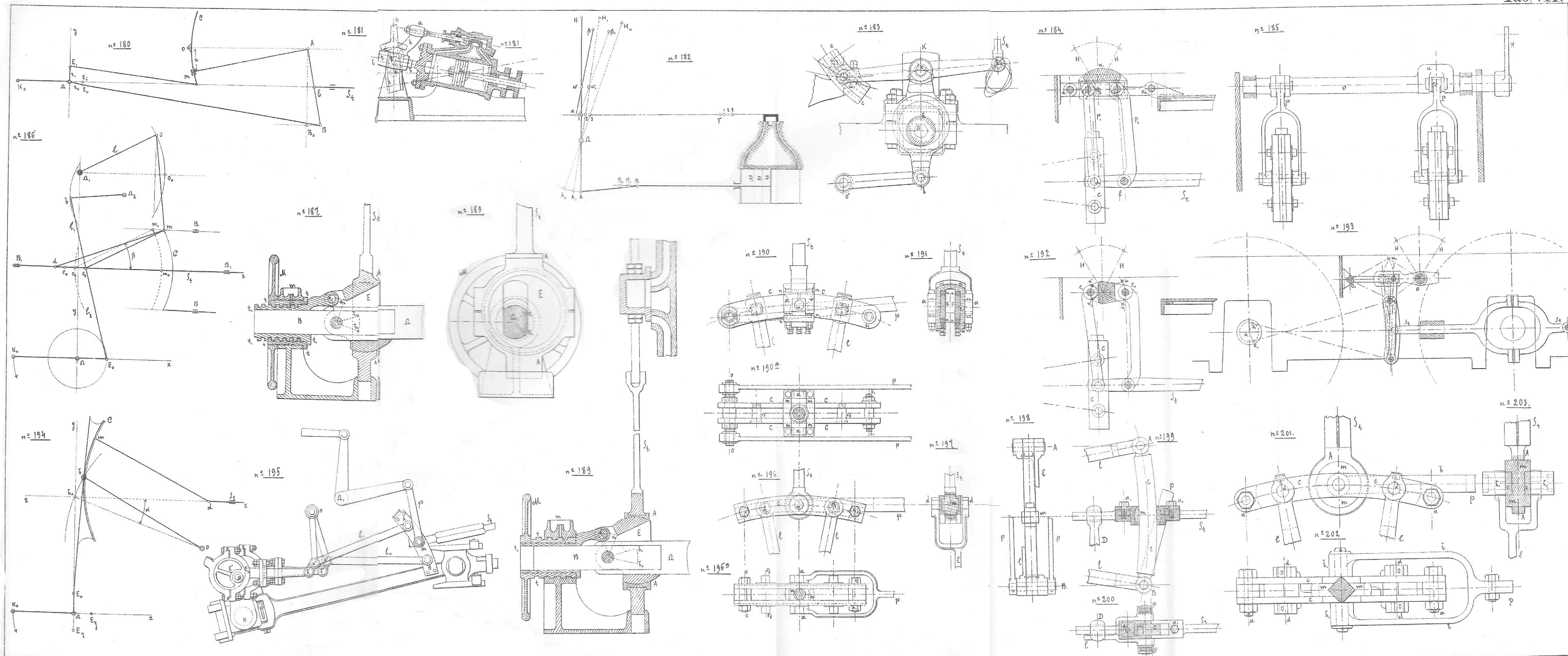
Харьковъ. Литографія Зильберберга.



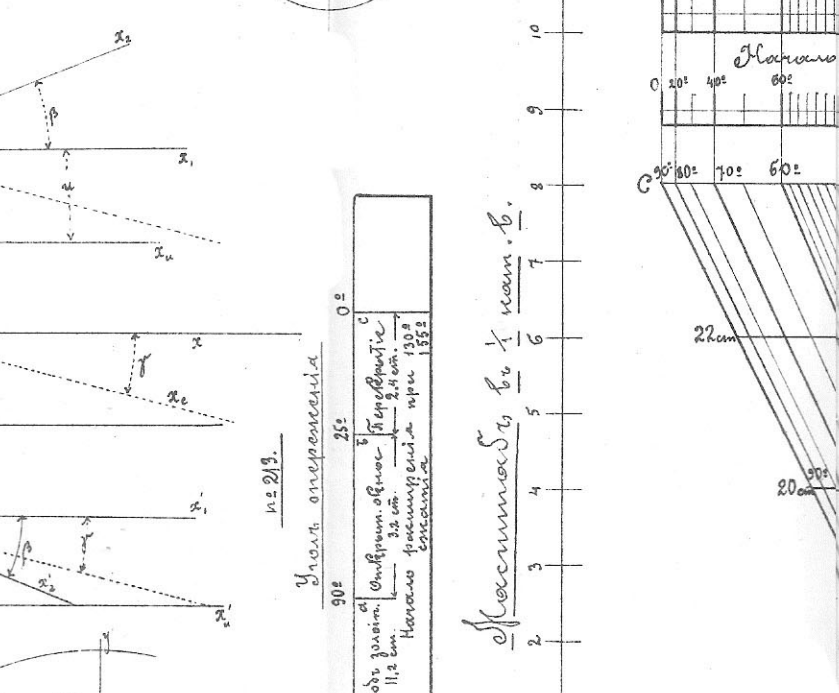
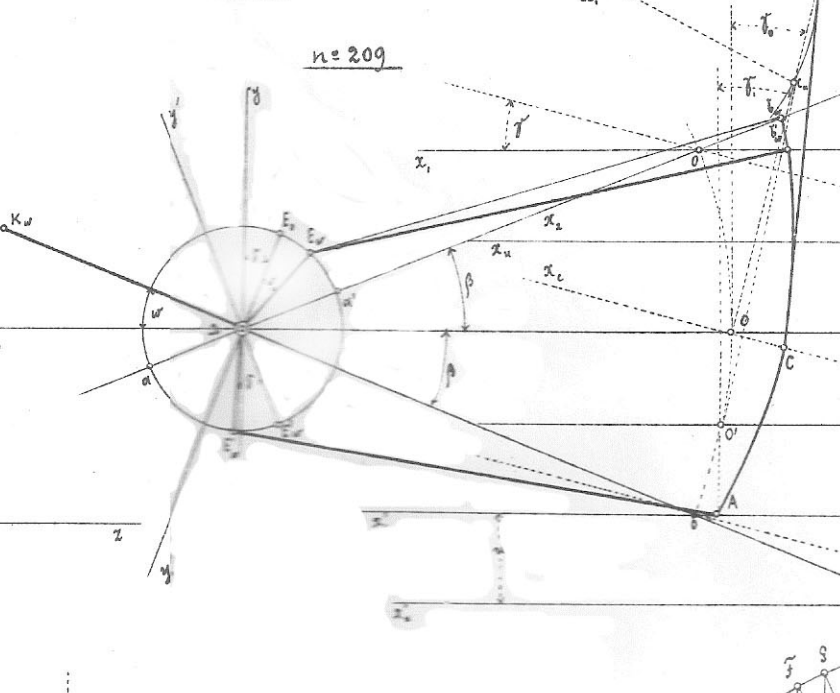
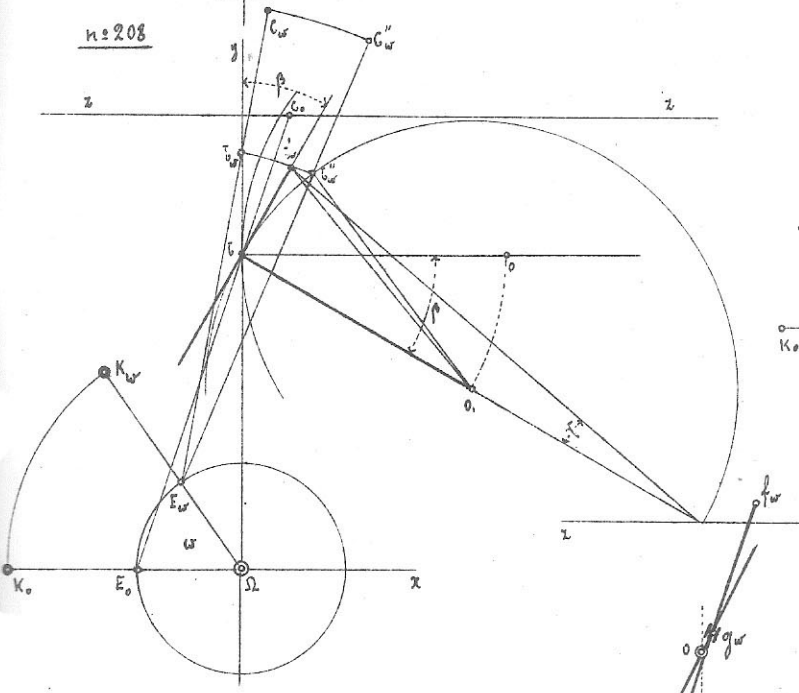
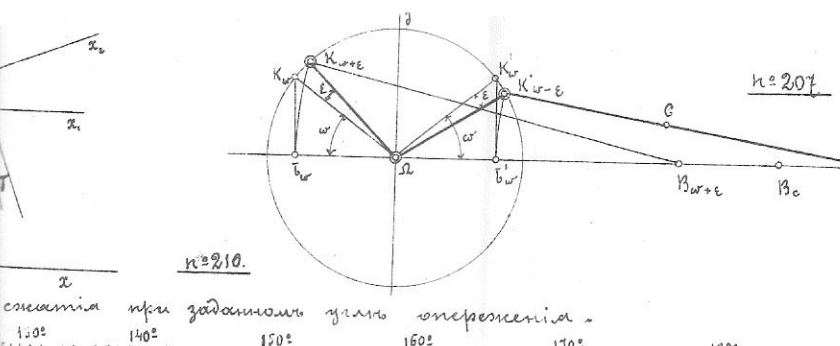
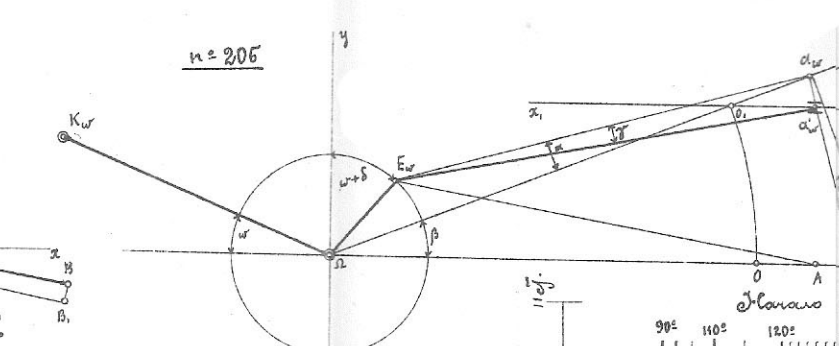
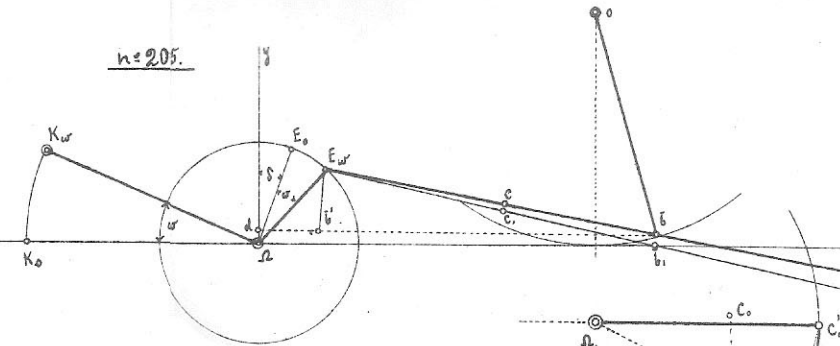
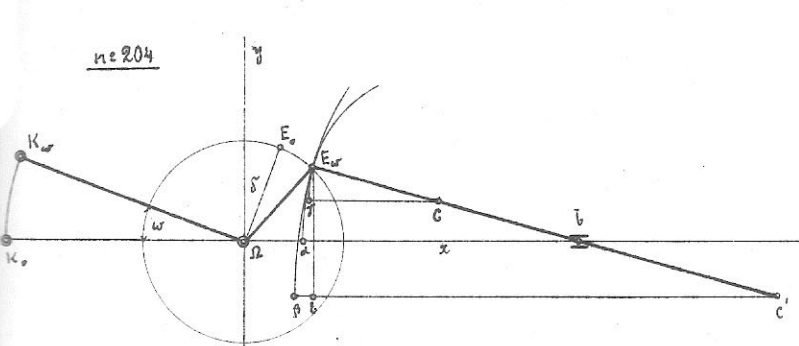




Ал. Гречаниновъ. Парораспределительные кулисные приводы и золотники.



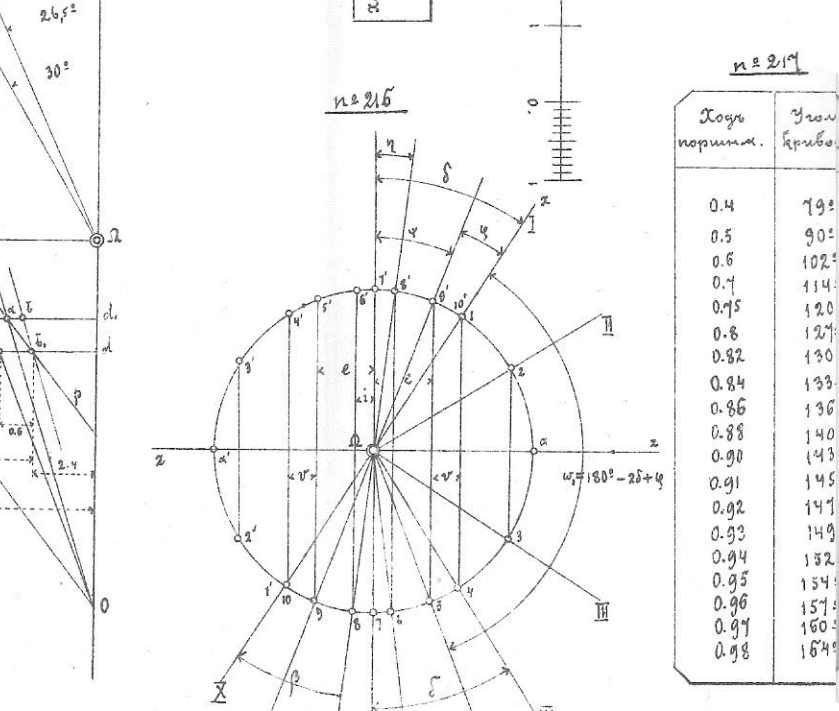
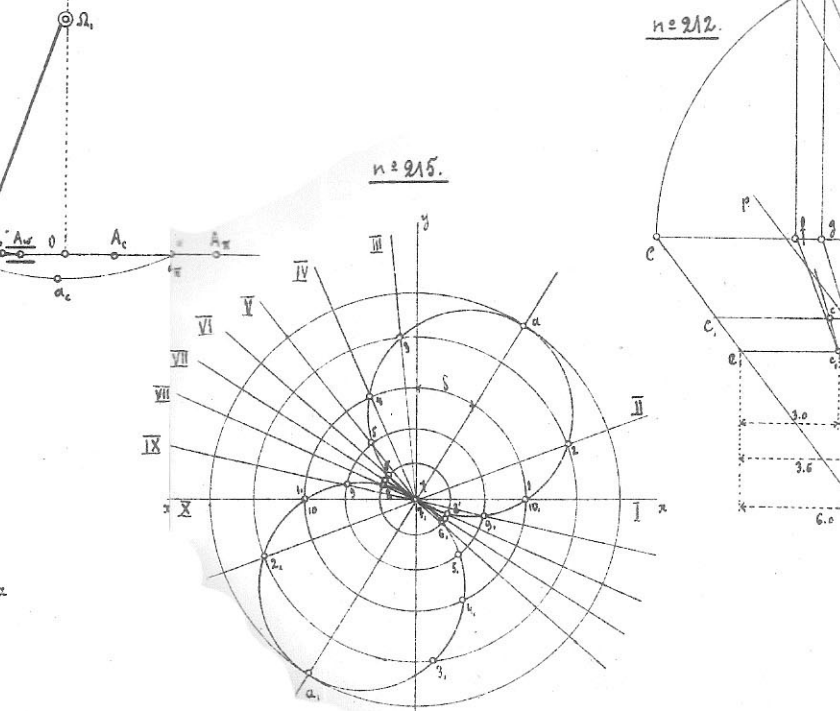
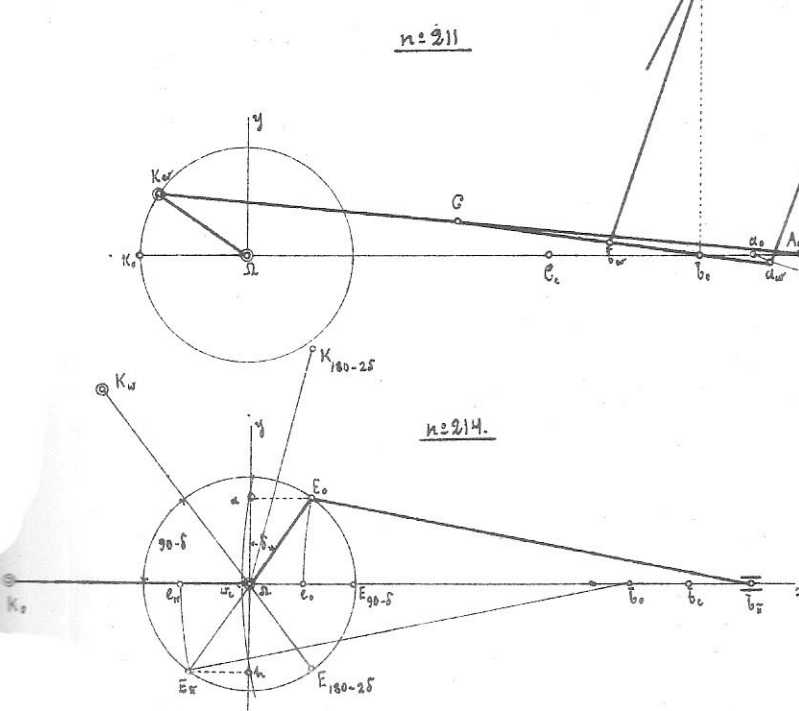
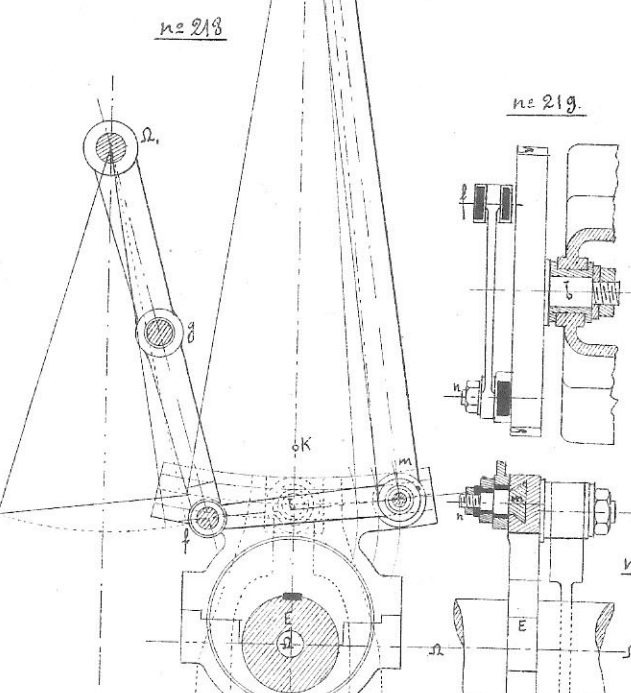
Ал. Гречаниновъ. Парораспределительные кулисные приводы и золотники.



Начало сжатия при заданном угле оперенения -

Начало расширения выражение во угле кривой кривая -

90°	110°	120°	130°	140°	150°	160°	170°	180°
0	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°
20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°
30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°	50°
40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°	40°
50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°	30°
60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°	20°
70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°	10°
80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°
100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°
110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°
120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°	40°
130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°	50°
140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°	60°
150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°	70°
160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°	80°
170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°	90°
180°	170°	160°	150°	140°	130°	120°	110°	100°



Угол оперенения

Угол оперенения при заданном угле оперенения -

Угол оперенения при заданном угле оперенения -

90°	0°	25°	50°	75°	100°	125°	150°	175°	180°
0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
20	10	0	10	20	30	40	50	60	70
30	20	10	0	10	20	30	40	50	60
40	30	20	10	0	10	20	30	40	50
50	40	30	20	10	0	10	20	30	40
60	50	40	30	20	10	0	10	20	30
70	60	50	40	30	20	10	0	10	20
80	70	60	50	40	30	20	10	0	10
90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
110	100	90	80	70	60	50	40	30	20
120	110	100	90	80	70	60	50	40	30
130	120	110	100	90	80	70	60	50	40
140	130	120	110	100	90	80	70	60	50
150	140	130	120	110	100	90	80	70	60
160	150	140	130	120	110	100	90	80	70
170	160	150	140	130	120	110	100	90	80
180	170	160	150	140	130	120	110	100	90

