

ТТ 92
100

ИЖ. И. М. СТРУЖЕНЦОВ

ПАРОВОЗНАЯ
ПАРОВАЯ
МАШИНА

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ • 1935

11
29

KK-2 (1775) 91-KH-

N.

1775

1775

621-13

С-87

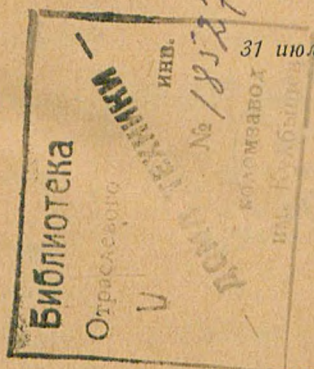
des Joffe

Т 92 / 100 С

Инж. И. М. СТРУЖЕНЦОВ

ПАРОВОЗНАЯ ПАРОВАЯ МАШИНА

Рассмотрено Комиссией в составе проф. Штанге, Сыромятникова, Николаева, инж. Коншина, Яковсона, Попова, Ганшина и одобрено руководством Цопкадра НКПС в качестве учебного пособия для курсовой сети и специальных школ по подготовке паровозных машинистов жсел.-дор. транспорта



ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТРАНСПОРТНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ 1935

Настоящая книга „Паровозная паровая машина“ предназначается в качестве руководства для машинистов, их помощников, слесарей депо и др., а также и как пособие для школ курсовой сети.

В ней описаны устройства паровозных паровых машин, работающих на наших железных дорогах. Для облегчения изучения машины автор поместил в конце каждой главы контрольные работы и вопросы самопроверки.



2015187050

О П Е Ч А Т К И
к книге «Струженцов И. М., Паровозная паровая машина»

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть	Опечатка по вине
21	15 сверху	большого	большого	—
37	7 снизу	США	в США	корр. Шихмановой
59	1 сверху	T^A и T	T^A и T^B	—
62	17 сверху	$\frac{158 + 133}{2} = 145,5^\circ$	$\frac{158 + 133}{2} = 145,5^\circ$	типографии
77	5 снизу	Q^C	O^C	} корр. Шихмановой
77	4 снизу	(Q^{CB})	O^{CB}	
82	1 сверху	b	v	—
122	11 сверху	фиг. 97	фиг. 97a	—
144	6 сверху	на машине	по машине	—

ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	6
Глава I	
Общие понятия об устройстве и работе паровой машины	
1. Определение	7
2. Устройство простейшей паровой машины	7
3. Общее устройство паровозной паровой машины	8
Глава II	
Парораспределение простым золотником	
1. Устройство и работа простого золотника	12
2. Золотниковый кривошип и эксцентрик. Распределение пара простым золотником	13
3. Недостатки парораспределения простым золотником	19
4. Золотники с перекрышами	19
5. Золотники с каналом Трика	22
6. Разгруженный (плоский) золотник	23
7. Цилиндрический (круглый) золотник	23
Глава III	
Парораспределительный механизм	
1. Требования, предъявляемые к парораспределительному механизму	27
2. Парораспределительный механизм Стефенсона	28
3. Парораспределительный механизм Джоя	31
4. Парораспределительный механизм Вальсхарта (Гейзингера)	32
5. Парораспределительные механизмы без кулис. Клапанные парораспределения	37
Глава IV	
Особые случаи работы паровозной машины—езда без пара и контрпар	
1. Езда с закрытым регулятором	41
2. Клапан Рикюра	41
3. Байпасы	43
4. Раздвижные золотники Трофимова	45
5. Контрпар	46
6. Кран Лешателье. Включение контрпара	48
Глава V	
Потери в паровой машине	
1. Общие сведения	51
2. Потери энергии на мятие пара	51
3. Потери энергии пара на трение в паропроводах	52
4. Потери на утечку	53

	Стр.
§ 5. Потери на конденсацию	54
6. Потери через стенки цилиндра и труб	56
7. Потери с отработавшим паром	56
8. Сопротивление в конусе	58
9. Механические потери	59

Глава VI

Повышение экономичности работы паровых машин

§ 1. Способы уменьшения потерь	61
2. Паровые машины-компаунд	61
3. Прямоточные паровые машины	64
4. Паровые машины, работающие перегретым паром	66

Глава VII

Типы паровозных паровых машин

§ 1. Краткий обзор типов паровых машин	70
2. Двухцилиндровые паровые машины	71
3. Многоцилиндровые паровые машины	73

Глава VIII

Конструкция паровых цилиндров и их деталей

§ 1. Конструкция цилиндра	81
2. Крепление цилиндра к раме паровоза	85
3. Крышки цилиндров	86
4. Поршневые сальники	89
5. Золотниковые крышки и их сальники	90

Глава IX

Конструкция деталей движущего механизма

§ 1. Поршень и поршневые кольца	93
2. Поршневой шток	96
3. Крейцкопф	97
4. Параллели	101
5. Параллельная рамка	102
6. Поршневые дышла	103
7. Сцепные дышла	106

Глава X

Конструкция деталей парораспределительного механизма

§ 1. Плоские золотники	110
2. Круглые золотники	111
3. Золотниковые штоки	114
4. Кулиса	115
5. Тяги парораспределения	117
6. Переводный механизм	118
7. Контркривошип	119

Глава XI

Принадлежности и арматура паровой машины

§ 1. Принадлежности паровых машин-компаунд. Приборы трогания и модераторы	121
2. Арматура паровых цилиндров	123
3. Масленки паровой машины	125

	Стр.
4. Лубрикаторы	127
5. Смазочные прессы	128

Глава XII

Подсчет работоспособности паровоза

1. Общие понятия о работе паровой машины	134
2. Теоретическая индикаторная диаграмма	135
3. Индикатор	139
4. Действительная индикаторная диаграмма	140
5. Подсчет мощности паровоза	141
6. Сила тяги паровоза по сцеплению	142
7. Сила тяги на машине	144
8. Сила тяги по котлу	146
9. Главные размеры некоторых паровозов	148

Глава XIII (дополнительная)

Диаграмма Цейнера	150
-----------------------------	-----

ПРЕДИСЛОВИЕ

Паровая машина паровоза представляет собой наиболее ответственную и наиболее сложную часть всего паровоза, на изучение которой необходимо обращать самое серьезное внимание.

В существующих элементарных руководствах на эту часть паровоза или не обращается достаточного внимания, или даются не вполне правильные положения.

Целью выпуска настоящей книги было дать популярное изложение процесса работы пара в цилиндре, дать сведения об устройстве и работе всей машины и в особенности частей парораспределения.

Книга предназначена в качестве руководства для машинистов, помощников, слесарей депо и др., а также и как пособие для школ курсовой сети.

Основная установка при изложении материала взята на существующие наиболее распространенные (количественно) серии паровозов.

Некоторые специфические детали устройства паровой машины мощных паровозов [блочные цилиндры, «несквозные» штоки (без контрштоков), новые типы смазочных прессов и др.], пока не получившие повсеместного распространения, разобраны схематически; исчерпывающие сведения о новейших конструкциях машин мощных паровозов приведены в труде этого же автора «Мощные паровозы». Таким образом настоящая книга является как бы вводной частью книги «Мощные паровозы».

ГЛАВА I

ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ УСТРОЙСТВЕ И РАБОТЕ ПАРОВОЙ МАШИНЫ

§ 1. Определение

Паровой машиной паровоза называется та его часть, которая превращает тепловую энергию, заключенную в вырабатываемом котлом паре, в механическую работу.

Паровая машина является наиболее сложной по устройству частью паровоза.

В основном паровая машина состоит из *парового цилиндра, поршня*, могущего двигаться внутри цилиндра, и связанного с поршнем *шатунного механизма*, передающего движение колесам паровоза. Ниже мы увидим, что для осуществления непрерывной работы машины необходим еще так называемый *парораспределительный механизм*, управляющий впуском в цилиндр свежего пара и выпуском наружу отработавшего.

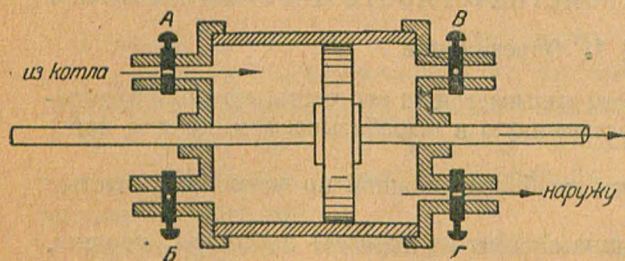
§ 2. Устройство простейшей паровой машины

Подаваемый котлом пар обладает известной упругостью или, как говорят, тем или иным *давлением*. Пар, впущенный в какой-либо замкнутый сосуд, например в цилиндр, давит на все стенки этого сосуда, стремясь занять больший объем. Если в цилиндр вставить поршень и пространство между поршнем и дном (крышкой) цилиндра наполнить паром, то под давлением пара поршень тотчас же передвинется к противоположной крышке цилиндра. Ясно, что полость цилиндра по другую сторону поршня должна сообщаться с окружающей средой—для выхода из этой полости воздуха или остатков ранее впущенного в нее пара. Когда поршень дойдет до противоположной крышки цилиндра, доступ пара из котла в первую полость цилиндра тем или иным способом прекращается и она сообщается с окружающей атмосферой. Пар быстро выходит. Если теперь пар впустить в другую полость, то поршень будет двигаться в обратную сторону—к исходному положению. Именно таким образом были устроены цилиндры первых паровых машин. Схематически подобный цилиндр показан на фиг. 1.

Посмотрим, как происходит перемещение поршня в таком цилиндре. Заметим, что краны *А* и *В* сообщают цилиндр с паровым котлом, а краны *Б* и *Г*—с атмосферой.

Если закрыть краны *Б* и *В* и открыть краны *А* и *Г*, то пар из котла через кран *А* заполнит левую полость цилиндра, называемую в этом случае рабочей полостью, и будет перемещать поршень вправо. Когда

поршень дойдет до правой крышки, краны *А* и *Г* закрываются и открываются краны *Б* и *В*. Через кран *Б* впускной ранее отработавший пар выходит наружу, а через кран *В* поступает свежий пар из котла, передвигающий поршень влево. В этом случае рабочей полостью цилиндра является правая полость. Ручное управление всеми четырьмя кранами было очень неудобным, поэтому вскоре



Фиг. 1.

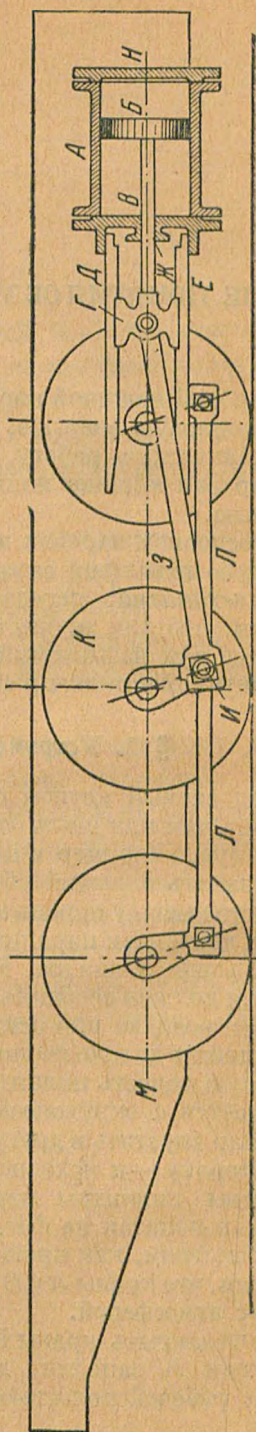
перешли к автоматическому управлению, выполняющемуся тягами, соединенными с валом машины.

§ 3. Общее устройство паровой машины

Выполненные описанным образом паровые цилиндры первых машин подверглись в дальнейшем целому ряду усовершенствований. Краны были заменены другими, более совершенными органами (золотниками), но сущность работы паровой машины—впуск пара то с одной, то с другой стороны поршня и соответствующее передвижение последнего—сохраняется и в современных машинах.

Быстрые темпы усовершенствования паровых машин отмечаются со времени постройки Стефенсоном первых паровозов.

Поступательное движение паровоза как в старинных, так и в современных образцах получается за счет перемещения поршня в цилиндре. Паровоз приводится в движение так называемым *движущим механизмом*. Движущий механизм паровой машины паровоза схематически показан на фиг. 2. Буквой *А* обозначен паровой цилиндр, *Б*—поршень и *В*—порш-



Фиг. 2.

невой шток (скалка). Выходящий за крышку конец поршневого штока заделан в особый ползун (крейцкопф) Г,двигающийся между направляющими (параллелями) Д и Е. Наличие этих направляющих является необходимым, так как иначе будут иметь место перекосы поршня в цилиндре и быстрый износ сальника, что вызовет сильное парение и большие потери пара. В крейцкопфе шарнирно закрепляется передний конец поршневого ведущего шатуна (дышла) З, задний конец которого надет на палец И, наглухо запрессованный в колесо К, называемое ведущим колесом паровоза.

Расстояние от центра пальца до центра оси колесной пары называется радиусом кривошипа. Оно равно половине хода поршня. Другими словами, ход поршня равен удвоенному радиусу кривошипа.

У некоторых старинных типов паровозов, имевших наружные рамы, кривошипы изготавливались отдельно и насаживались на выступающие концы осей; на пальцы этих кривошипов навешивались шатуны.

Паровой цилиндр устанавливается горизонтально или с небольшим наклоном, обычно так, чтобы продольная ось его проходила через центр ведущего колеса. Так, на фиг. 2 ось цилиндра, являющаяся осью всей машины и обозначенная МН, проходит через центр ведущего колеса К.

Если в правую полость цилиндра, показанного на фиг. 2, впустить пар из котла, то под давлением пара поршень передвинется влево. Движение поршня передастся через шток и крейцкопф шатуну, и колесо в результате нажатия на палец повернется на некоторый угол. Трение колес о рельсы приведет паровоз в движение.

Когда поршень дойдет до своего крайнего положения у крышки цилиндра, между поршнем и крышкой должен остаться небольшой зазор 15—20 мм. Этот зазор создает так называемое *вредное пространство*. Вредным оно называется потому, что поглощает излишнее количество пара (не производящего полезной работы). Ниже будут указаны способы уменьшения расхода свежего пара на заполнение вредного пространства. Здесь отметим, что при работе поршня вредное пространство всегда должно иметь место, когда поршень подходит к передней или задней крышке. Оно необходимо, во-первых, для предотвращения ударов поршня о крышку и, во-вторых, для придания машине спокойного хода, так как пар, заполняющий вредное пространство, создает упругую подушку, постепенно останавливающую поршень.

Когда передвигающийся под давлением пара поршень займет крайнее положение, направление шатуна машины совпадет с направлением кривошипа. Такое положение шатунного механизма называется мертвым. Если шатунный механизм остановленной паровой машины находится в мертвом положении, то, сколько бы мы ни впускали пара в ту или другую полость цилиндра, машина с места не сдвинется. Впускаемый в цилиндр пар будет или растягивать или сжимать поршневой шток и шатун, но вала (колеса) вращать не сможет. Колесо за один оборот мертвое положение занимает дважды (переднее и заднее). При мертвом положении кривошипа палец его находится, как говорят, в *мертвой точке*.

Паровозные паровые машины, расположенные по обе стороны паровоза, также не свободны от этого недостатка. Для того чтобы паровоз мог сдвинуться с места при любом положении шатунных механизмов,

кривошипны обеих машин надо расположить под прямым углом друг к другу. В этом случае при мертвом положении, например, правого шатунного механизма, движение паровозу сообщается левой машиной, кривошип которой занимает *вертикальное* положение.

Каким же образом может работать паровая машина, имеющая всего-навсего *один* цилиндр? Ведь такие машины до последнего времени пользуются большим распространением, например на локомотивах. Конечно такая машина пускается в ход искусственно (от руки с помощью зубчатой передачи или от специальной маленькой паровой машины); вращая вал, мы выводим шатунный механизм из мертвого положения, а начавшая работать машина проходит последующие мертвые положения по *инерции* или, как говорят,—с разгона. С явлениями инерции мы встречаемся постоянно и в нашей обыденной жизни: ни один движущийся предмет не может сразу остановиться, а всегда за счет разгона продолжает некоторое время свое движение. Чем предмет тяжелее, чем быстрее он движется, тем больше его сила инерции. Всякая одноцилиндровая паровая машина должна снабжаться тяжелым *маховым колесом* (маховиком), насаженным на вал машины. Инерция вращающегося махового колеса дает возможность получить более или менее равномерное вращение вала даже при наличии лишь *одного* цилиндра.

Отметим, что в паровозе роль маховика играют отчасти колеса и главный вес тронувшегося с места паровоза.

Первые паровозы имели лишь одну движущую паровоз колесную пару. Попытки перевозить при помощи таких паровозов более или менее тяжелые составы вагонов не удавались, так как движущие колеса паровозов начинали скользить по рельсам, или, как говорят, *боксовать*. Чтобы избежать боксования, увеличивали нагрузку, приходящуюся на эту движущую ось. Однако больших результатов не достигли вследствие слабости применявшихся тогда рельсов. Соединение же сцепными дышлами *Л* (фиг. 2) пальцев нескольких рядом расположенных колес паровоза позволило значительно увеличить его силу тяги, не прибегая к увеличению нагрузки на ось. Чем большее число сцепленных сцепными дышлами колес имеет паровоз, тем большая развивается сила тяги. Конечно при этом размеры паровых цилиндров и самого котла должны быть соответственно увеличены, как об этом будет сказано в главе. «Подсчет работоспособности паровоза».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что называется паровой машиной паровоза?
2. Из каких частей состоит паровозная машина?
3. На чем основано действие паровой машины?
4. Сколько кранов имел цилиндр первых паровых машин?
5. Как производилась работа цилиндра паровой машины при крановом распределении?
6. Каким образом поступательное движение поршня преобразуется во вращательное движение колеса?
7. Какие детали машины составляют движущий механизм?

8. Что такое кривошип?
9. Какая зависимость существует между радиусом кривошипа и ходом поршня?
10. Какую роль играет трение между колесом и рельсом во время работы паровоза?
11. Что такое мертвое положение шатуна механизма и сколько раз оно наступает за один оборот колеса?
12. Что такое вредное пространство цилиндра?
13. Почему одноцилиндровая паровая машина, остановившись в мертвом положении, не может «взять с места»?
14. Почему паровоз берет с места при любом положении кривошипов колес (т. е. и шатунных механизмов)?
15. Что такое инерция? Какую роль играет сила инерции при работе паровой машины?
16. Для чего спариваются сцепными дышлами несколько рядом расположенных колес паровоза?
17. Почему товарные паровозы имеют большее число спаренных колес, чем пассажирские?

ГЛАВА II

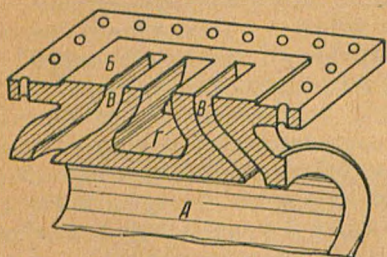
ПАРОРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТЫМ ЗОЛОТНИКОМ

§ 1. Устройство и работа простого золотника

Краны, посредством которых впускался и выпускался пар из цилиндров первых машин, отличались крайней громоздкостью, управление ими было очень неудобно. Поэтому *крановое* парораспределение вскоре было заменено значительно более удобным—*золотниковым парораспределением*. Существенной частью последнего является *золотник*. Золотники изготавливаются или коробчатой формы (плоские золотники) или цилиндрической. Так как последняя представляет современное развитие

коробчатой формы, разберем устройство и работу основного типа плоского золотника.

Золотник помещается в особой золотниковой коробке, отлитой в одно целое с паровым цилиндром. Основание золотниковой коробки составляет золотниковое *зеркало*. По гладко *простроганному* золотниковому зеркалу передвигается положенный на него золотник. Золотниковое зеркало имеет три щелевых рядом рас-



Фиг. 3.

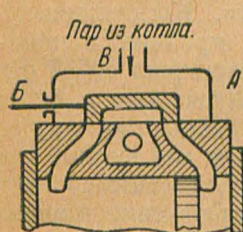
положенных отверстия. Среднее несколько шире крайних и сообщается с *выхлопным* каналом. Это отверстие служит для выпуска наружу отработавшего в цилиндре пара—«мятого пара». Два крайних отверстия сообщаются каналами с передней и задней полостями цилиндра. Эти каналы называются паровыми каналами: они входят в цилиндр у самых крышек. Каждый канал служит для впуска и выпуска пара из соответствующей полости цилиндра.

На фиг. 3 показан продольный разрез парового цилиндра по золотниковому зеркалу и каналам. Здесь А—внутренняя рабочая поверхность цилиндра, по которой движется поршень, Б—золотниковое зеркало, В—паровые каналы и Г—выхлопное отверстие, сообщаемое не показанной на фиг. 3 боковой трубой с атмосферой.

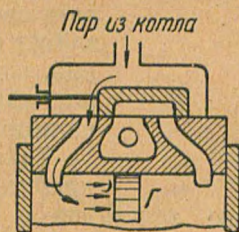
Простейший коробчатый золотник представляет массивную толстостенную прямоугольную коробку. Внутренняя длина коробки равна длине щелевых отверстий золотникового зеркала, а ширина равна расстоянию между паровыми каналами, как показано на фиг. 4. Опрокинутая кверху дном коробка—золотник—кладется на золотниковое зеркало и

перекрывает своими кромками те или другие каналы. На фиг. 4 простой золотник показан в среднем положении, на фиг. 5—в крайнем правом и на фиг. 6—в крайнем левом положении. В среднем положении золотник перекрывает оба паровых канала, и обе полости цилиндра оказываются замкнутыми. Золотник, сдвинутый вправо (фиг. 5), открывает паровой канал в левую полость цилиндра, сообщая в то же время правую полость цилиндра с атмосферой.

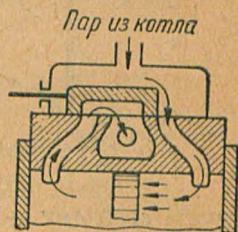
На фиг. 4 золотниковая коробка обозначена буквой А. Сквозь одну стенку золотниковой коробки пропускается скалка Б, управляющая движением золотника. По трубе В в золотниковую коробку впускается пар из котла. В положении золотника, показанном на фиг. 4, пар не сможет проникнуть в цилиндр. Золотник на фиг. 5 откроет доступ пару в левую полость цилиндра. Пар, действуя на поршень Г, передвинет его вправо. Когда поршень, толкаемый паром, придет в правое мертвое положение,



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6.

золотник должен (заранее начавши двигаться влево) закрыть пару доступ в левую полость. Мертвое положение проходится машиной по инерции, поршень начинает двигаться влево. Золотник же, продолжая свое движение влево, открывает правый паровой канал (фиг. 6). Пар входит в правую полость цилиндра и начинает толкать поршень в обратную сторону.

Пропуская в правый паровой канал свежий пар, золотник в то же время открывает отработавшему в левой полости пару выход наружу, в атмосферу, как показано стрелками на фиг. 6.

Таким образом происходит работа простейшей паровой машины.

§ 2. Золотниковый кривошип и эксцентрик. Распределение пара простым золотником

Каким же образом золотник приводится в движение? Ведь движение золотника должно быть строго согласовано с движением поршня, иначе золотник будет не во-время открывать и закрывать паровые каналы и паровая машина не сможет работать.

Так как вращение вала машины (или ведущего колеса у паровоза) происходит за счет передвижения поршня в цилиндре, естественно, от этого же вала (или колеса) можно с помощью небольшого дополнительного кривошипа привести в движение золотник. Для этого нужно воспользоваться дополнительным шатунным механизмом, который здесь в отличие

от основного шатунного механизма будет преобразовывать вращательное движение колеса в поступательное движение золотника по золотниковому зеркалу.

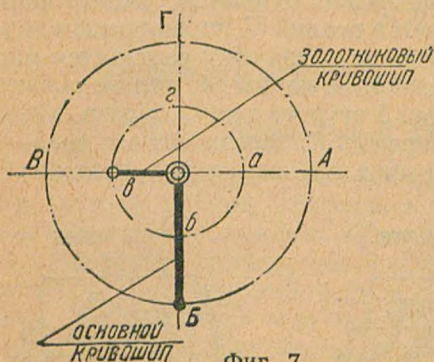
Каким же образом должен быть расположен золотниковый кривошип по отношению к основному поршневому кривошипу?

Выше мы видели, что движение золотника по золотниковому зеркалу похоже на движение поршня в цилиндре; золотник, двигаясь то в одну,

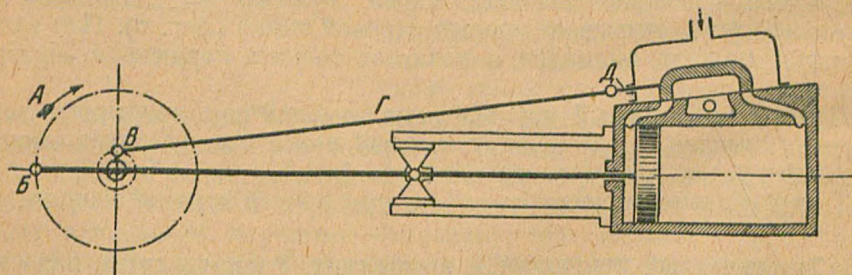
то в другую сторону, имеет так же, как и поршень, крайние положения, в которых золотник на мгновение останавливается и лишь после этого начинает двигаться в обратную сторону. В это время паровые каналы открыты полностью; поршень находится на середине своего пути. Когда поршень займет одно из крайних положений, золотник перекроет собой оба паровых канала (фиг. 4), т. е. будет находиться на *середине* своего пути.

Таким образом мы видим, что *крайнее* положение поршня соответ-

ствует *среднему* положению золотника и *среднее* положение поршня соответствует *крайнему* положению золотника. Отсюда следует, что поршневой и золотниковый кривошипы должны быть посажены на валу (или колесе) под прямым углом друг к другу, как показано на фиг. 7. Здесь *АВВГ*—окружность, описываемая пальцем основного кривошипа, и *абвг*—окружность, описываемая пальцем золотникового кривошипа.



Фиг. 7.

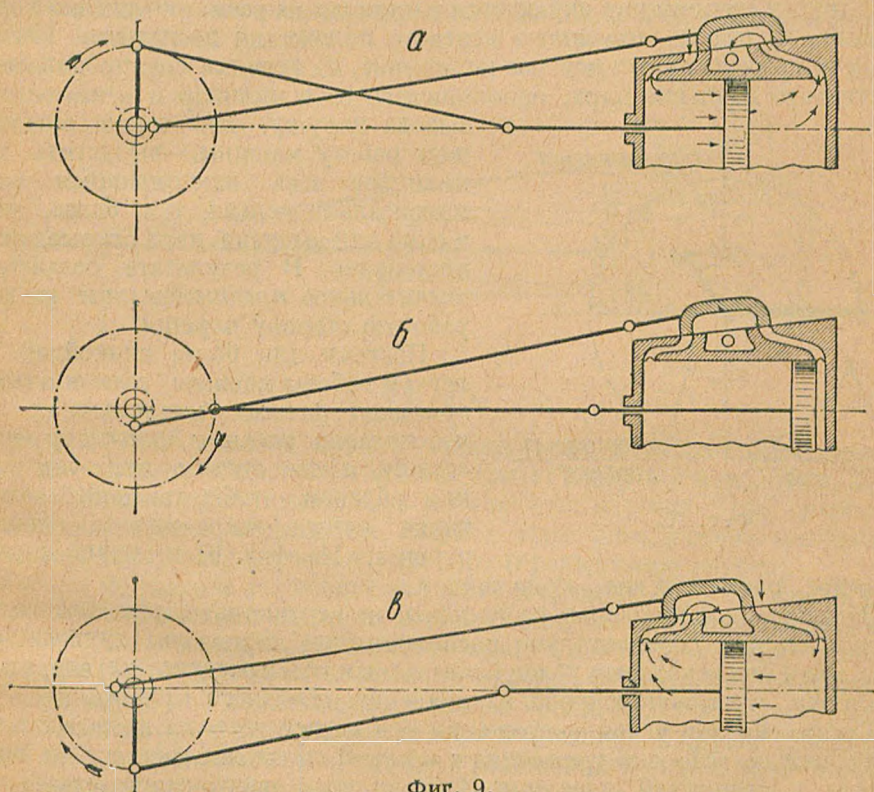


Фиг. 8.

Если диаметр первой окружности равен, как мы уже знаем, ходу поршня, то диаметр второй окружности равен ходу золотника, т. е. расстоянию от одного крайнего положения золотника до другого крайнего положения.

Если мы на палец золотникового кривошипа навесим тягу, выполненную по типу основного шатуна, и передний конец ее соединим со скалкой, управляющей движением золотника, то получим простейшую схему парораспределительного механизма, показанную на фиг. 8.

Проследим работу такого механизма. На этом рисунке машина показана в заднем (т. е. левом на рисунке) мертвом положении. Золотник перекрывает оба окна. Если машина находится в движении, как показано на фиг. 8, то это мертвое положение проходится по инерции. Предположим, что паровоз движется вперед. В этом случае колесо паровоза вместе с пальцем *Б* основного кривошипа вращается по стрелке *А*. В таком же направлении вращается и палец *В* золотникового кривошипа. Золотник тягами *Г* и *Д* будет передвигаться вправо. Когда основной кривошип



Фиг. 9.

встанет в вертикальное положение, как показано на фиг. 9 *а*, золотник займет крайнее правое положение. Пар войдет в левую полость цилиндра и переместит поршень вправо. Одновременно золотник начинает свое движение влево и, когда поршень окажется в переднем мертвом положении (фиг. 9, *б*), золотник успеет закрыть оба паровых канала. Мертвую точку машина пройдет опять по инерции, и фиг. 9, *в*, показывает кривошип в нижнем положении, а золотниковый кривошип—в заднем мертвом положении,—золотник открывает полностью передний (правый) паровой канал. Машина продолжает работать.

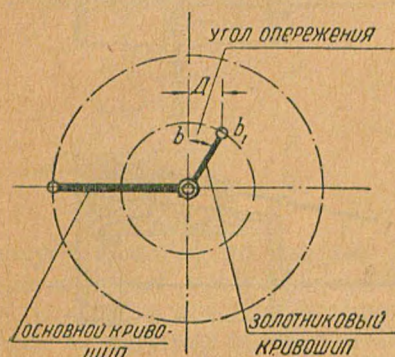
Однако при таком взаимном расположении кривошипов паровая машина имеет очень беспокойный ход и с трудом берет с места. Действи-

тельно, у работающей машины при положении поршня, например в передней мертвой точке, передняя полость цилиндра только что разобшилась с атмосферой, следовательно ранее отработавший в ней пар весь вышел наружу, а свежий пар еще не впущен (золотник перекрывает канал). В начале обратного движения поршня, когда в цилиндре необходимо иметь полное давление пара, начнет открываться паровое окно и пар будет просачиваться в цилиндр через узкую щель, расширяющуюся лишь постепенно. Налицо *запаздывание* впуска пара в рабочую полость цилиндра.

С другой стороны пар выпускается в цилиндр на всем протяжении хода поршня—до противоположного мертвого положения последнего. Когда поршень приходит в это мертвое положение, на него все еще продолжает действовать давление пара, наполнившего весь цилиндр и неимеющего

выхода наружу. Это также затрудняет работу машины,—выпустить из цилиндра весь накопившийся пар моментально нельзя, тем более, что и окно для выпуска пара открывается постепенно. В результате создается значительное *противодавление* на нерабочую сторону поршня.

Поэтому для более спокойной и легкой работы машины золотниковый кривошип должен *насаживаться* не под прямым углом к основному кривошипу, а под тупым, при чем таким образом, чтобы движение золотника всегда опережало движение поршня. На фиг. 10 показано такое



Фиг. 10.

взаимное расположение кривошипов.

Золотниковый кривошип расположен не вертикально, как следовало бы ожидать при горизонтально расположенном поршневом кривошипе, а наклонен под некоторым углом (называемым *углом опережения*) вперед—в сторону, противоположную направлению основного кривошипа.

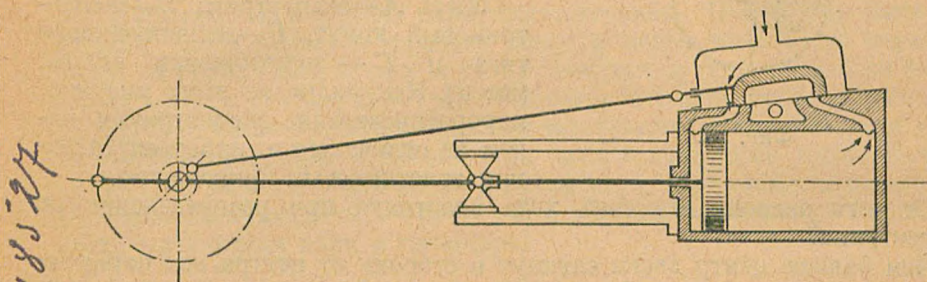
Таким образом *углом опережения* называется угол, на который при расположении основного кривошипа в мертвой точке отклоняется от вертикали золотниковый кривошип. Обычно угол опережения бывает в пределах от 27° до 30° .¹

Как изменяется в этом случае парораспределение? Сравнивая фиг. 10 с фиг. 7, видим, что на обоих рисунках кривошип показан в задней мертвой точке. Если же на фиг. 7 палец золотникового кривошипа находится в точке *b*, то на фиг. 10 палец находится в точке *b₁*; следовательно и золотник будет сдвинут вперед на некоторую величину, называемую *линей-*

¹ Заметим, что обыкновенно золотниковая коробка располагается *сверху* цилиндра и золотниковая тяга идет поэтому не горизонтально, а имеет значительный наклон, как показано на фиг. 8, 9 и 11. Вследствие этого угол, под которым заклинивается золотниковый кривошип (так называемый *угол заклинивания*), должен быть несколько меньше, чем угол опережения, на величину угла подъема оси золотниковой скалки относительно оси паровой машины.

ным опережением впуска, или иначе—предварением впуска (величина линейного опережения зависит от величины угла опережения). Указанная величина в разных машинах колеблется в широких пределах—от 3 до 6 мм.

Мы упоминали выше, что простой золотник в своем среднем положении должен перекрывать оба паровых канала и при самом небольшом перемещении от своего среднего положения открывать одно окно для впуска и другое—для выпуска пара. Следовательно, наличие угла опережения обуславливает не только более раннее открытие канала для впуска пара, но и более раннее открытие окна также и для выпуска пара, как это показано на фиг. 11.



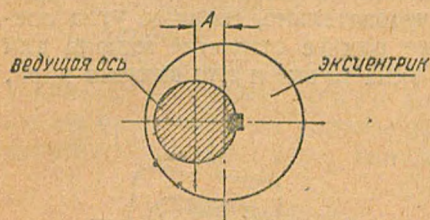
Фиг. 11.

Выпуск отработавшего пара начинается таким образом несколько ранее того момента, в который поршень придет в мертвое положение. Это также облегчает работу машины в начале хода поршня. При простом золотнике линейное опережение выпуска пара (предварение выпуска) равно линейному опережению впуска пара (предварению впуска).

Уяснив положение золотника на фиг. 11 и сравнив фиг. 11 с фиг. 8, на которой поршневой кривошип показан также в заднем мертвом положении, не трудно представить себе, просматривая фиг. 9, а, б и в, положение золотника и при любом другом расположении основного кривошипа и поршня. Открытие впускного и выпускного каналов всегда будет начинаться несколько раньше прихода поршня в мертвое положение. С другой стороны, фиг. 9, а и в, показывает нам, что при положении поршня по середине длины цилиндра паровпускное окно открыто уже не полностью, как это имело место при отсутствии угла опережения. Окно постепенно закрывается, чего впрочем и следовало ожидать вследствие того, что золотниковый кривошип при наличии угла опережения не только раньше открывает, но и раньше закрывает паровые окна.

Именно таким образом были устроены паровые машины первых паровых экипажей. Правда, движение золотника исходило не от золотникового кривошипа, как было только что отмечено и как это имеет место в современных паровозах, а от особого диска, эксцентрично посаженного и закрепленного на ведущей оси паровоза, т. е. таким образом, что центр диска не совпадал с центром паровой оси. Этот диск, называемый эксцентриком, показан на фиг. 12. Он получил огромное распространение на всех старинных паровозах

В отличие от золотникового кривошипа эксцентрик обычно закрепляется не на пальце, а на *оси* ведущего колеса. При вращении последнего эксцентрик также вращается. Если его обхватить снаружи хомутом-ободом таким образом, чтобы эксцентрик мог легко вращаться в хомуте, а к хомуту *наглухо* прикрепить тягу, то при вращении оси паровоза эксцентрик будет передвигать вперед и назад тягу, прикрепленную к хомуту. К переднему концу этой тяги прикрепляется (шарнирно) конец золотниковой скалки. Такой парораспределительный механизм показан на фиг. 13.

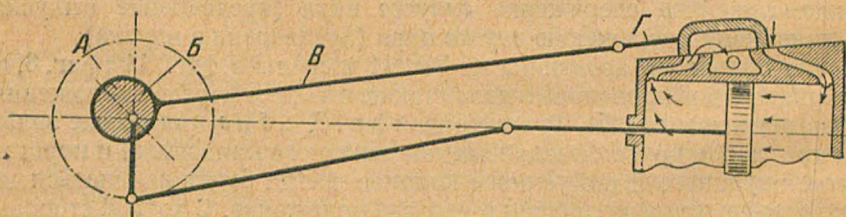


Фиг. 12.

Здесь А—эксцентрик, Б—эксцентриковый хомут, В—эксцентриксовая тяга и Г—золотниковая скалка (шток). Как видно из этого рисунка, парораспределение эксцентриком ничем не отличается от парораспределения золотниковым кривошипом.

От чего зависит величина хода золотника при распределении от эксцентрика?

Чем больше центр диска сдвинут в сторону от центра оси паровоза (или вала машины), тем больше будет, как говорят, *эксцентриситет* эксцентрика и тем больше будет ход золотника. Вообще эксцентриситетом эксцентрика называется расстояние между центрами диска и вала. На фиг. 12 эксцентриситет обозначен буквой А. Ход золотника равен двум эксцентриситетам.



Фиг. 13.

Эксцентрики получили в свое время большое распространение. До сих пор на нашей сети работает небольшое количество паровозов с парораспределением от эксцентриков. Поэтому мы и упоминаем о последних. Применение эксцентриков оправдывается при расположении золотниковых коробок и, следовательно, золотников *сбоку* паровых цилиндров (т. е. под котлом).

В таких случаях эксцентрики позволяли ставить под паровоз простые прямые оси без всяких колен. Коленчатые оси для приведения в движение золотниковых тяг дороги и непрочны. Практика подсказала, что при слишком малом радиусе кривошипа (колена) большой эксцентриковый диск целесообразно насадить на *прямую* ось.

§ 3. Недостатки парораспределения простым золотником

Паровые машины современных паровозов по сравнению с другими типами двигателей в работе крайне неэкономичны. Первые же паровозные машины, снабженные разобранными выше простыми золотниками, и подавно расходовали огромное количество пара. Расходовалось пара так много, что для передвижения вагонов по рельсовой колее оказывалось хозяйственно более целесообразным применение других видов тяги, например конной.

Дело в том, что энергия пара в паровой машине использовалась в самой незначительной степени, после чего он выбрасывался в выхлопную трубу машины. Напомним, что впускенный в цилиндр пар обладает известной упругостью и потому перемещает поршень. По мере продвижения поршня котел подает в цилиндр новые и новые количества пара. Мы знаем, что пар, как и всякое другое газообразное тело, стремится расшириться в своем объеме. И вот эта-то способность пара *расширяться* и при *расширении давать работу*—простым золотником не используется вовсе. Сильнейшие выхлопы отработанного пара показывали, какое большое количество энергии заключается в таком паре. Стремление к *понижению* давления вылетающего в трубу пара заставило подумать о необходимости *расширения* пара в цилиндре.

§ 4. Золотники с перекрышами

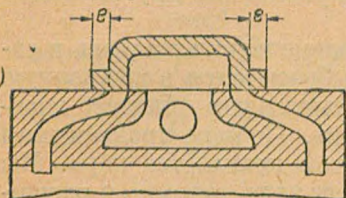
Что будет происходить в цилиндре, если мы закроем, например, золотником паровое окно и таким образом прекратим впуск пара в цилиндр, когда поршень прошел, например, половину своего хода? В этот момент половина цилиндра заполнена свежим паром, золотник прекратил дальнейший доступ пара из котла, но оказавшийся замкнутым пар продолжает выталкивать поршень в силу своего стремления *расшириться* в объеме. Мы имеем так называемое *расширение* пара. По мере расширения пара его объем увеличивается, а давление, естественно, падает.

Если мы впустили пар в цилиндр, предположим, с давлением в 12 атмосфер, то после прекращения впуска пара давление последнего по мере расширения будет последовательно понижаться до 11, 10, 9 и т. д. атмосфер. Сила его давления на поршень, естественно, постепенно уменьшается. Машина оказывается менее мощной, чем при впуске пара на *всем* протяжении хода поршня. Но некоторое уменьшение мощности машины с избытком окупается значительно более экономным расходом пара. Например прекращение впуска пара в момент, когда поршень прошел половину своего хода, уменьшает лишь на $\frac{1}{2}$ мощность машины, а пара расходуется *вдвое* меньше. Налицо определенная выгода.

Поэтому паровые машины всегда выполняются с *расширением* пара, или, как говорят, с отсечкой впуска пара. Отсечка может быть произведена и на половине хода поршня и на 0,3 хода поршня и т. д. *Отсечкой*, следовательно, называется *отношение длины хода поршня, в продолжение которого в цилиндр впускается свежий пар, ко всей длине хода поршня*. Например *отсечка 0,4* показывает, что на четырех десятых длины хода поршня производится впуск свежего пара из котла, а на протяжении

остальных шести десятых поршень движется под давлением *расширяющегося* пара—без добавления свежего пара в цилиндр.

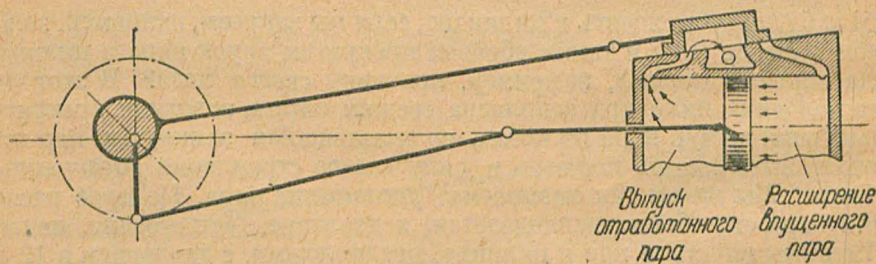
Для работы с отсечкой золотник должен иметь несколько другую форму. Описанный выше золотник не годится, так как он после окончания впуска пара немедленно начинает выпускать его (поршень в этот момент находится в мертвой точке). Здесь же нужно иметь такое положение, чтобы пар, вpuщенный в цилиндр, довольно продолжительное время



Фиг. 14.

оказывался *запертым* в цилиндре. Остановить золотник, естественно, нельзя как по конструктивным соображениям, так и потому, что во время расширения пара поршень продолжает движение, следовательно из нерабочей полости цилиндра должен быть обеспечен *выпуск* отработавшего пара, а простой золотник, перекрывающая один канал, как это нам необходимо, в то же время перекрывает и другой.

Поэтому опорные поверхности золотника, так называемые поля, которыми он опирается на золотниковое зеркало, делаются всегда более широкими, чем перекрываемые простенки золотникового зеркала. Предположим, что нам требуется иметь отсечку 0,5. Это значит, что золотник в тот момент, когда поршень находится посередине своего хода, должен кромкой опорной поверхности *перекрыть* (отсечь) впуск пара



Фиг. 15.

в цилиндр. На фиг. 13 поршень как-раз показан на середине своего хода. Золотник на этом рисунке — простой, предназначенный для работы без расширения пара; правое окно открыто для впуска пара.

Особые уширения опорных поверхностей золотника в нужный момент прекращают впуск пара, причем золотник получает вид, показанный на фиг. 14.

Отличие его от предыдущих типов простых золотников заключается в наличии выступов *e*. Пунктиром помечены стенки простого золотника без этих выступов.

Теперь представим себе такой золотник для положения кривошипа согласно фиг. 13. Наличие этих выступов, отлитых снаружи заодно с золотником, закроет паровое окно значительно раньше, чем поршень придет в мертвую точку. Отсечка пара налицо. Именно такое положение и занимает золотник на фиг. 15, показывающей шатунный и паровой

распределительный механизм в том же положении, что и на фиг. 13, но золотник в данном случае снабжен выступами.

Такие выступы называются *перекрышей впуска*. Чем больше перекрыша впуска, тем раньше закрывается окно и происходит отсечка пара.

Таким образом перекрыша впуска, давая *отсечку* пара, значительно увеличивает экономичность работы паровой машины.

Приводим еще один способ, улучшающий дальнейшую работу машины, а именно *прекращение выпуска отработавшего в цилиндре пара прежде, чем поршень придет в мертвое положение*. В этом случае не весь отработавший пар (мятый пар) выталкивается поршнем, как это имело место при простом золотнике, а небольшая часть пара остается запертой в цилиндре. По мере дальнейшего набегания поршня оставшийся в цилиндре пар сжимается, давление его повышается, и в конце хода поршня, приближающегося к мертвому положению, вредное пространство уже заполнено паром сравнительно большего давления, хотя обычно и несколько меньшего, чем давление пара в котле.

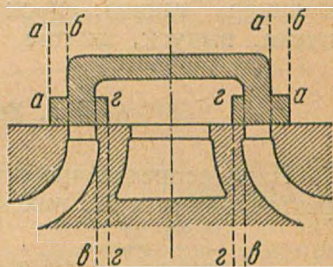
Это постепенное увеличение давления в нерабочей полости у цилиндра создает упомянутую выше упругую паровую подушку, *постепенно останавливающую поршень*. Кроме того существенным моментом является сбережение свежего пара на заполнение вредного пространства. Когда поршень подходит к мертвой точке, паровое окно для впуска пара во вредное пространство открывается, но пар не ударяет в поршень, так как в цилиндре уже имеется определенное давление пара. В результате ход машины становится спокойным, без толчков.

Каким же образом осуществляется такое раннее закрытие золотником выпускного окна? Ясно, что отсекающая выпуск пара внутренняя кромка золотника должна иметь выступ (похожий на выступ перекрыши впуска), называющийся *перекрышей выпуска*. Золотник обычно так и выполняется—с перекрышами впуска и выпуска,—как показано на фиг. 16. Здесь *аб*—перекрыша впуска и *вг*—перекрыша выпуска. Перекрыша выпуска обычно выполняется значительно меньшей, чем перекрыша впуска, так как сжатие нам необходимо лишь в конце хода поршня.

Если применять большую перекрышу выпуска, выпускное окно закроется слишком рано и давление окажется чрезмерным. Слишком большое сжатие будет уже невыгодным. Оказывая большое противодействие на поршень с нерабочей его стороны, такая подушка уменьшит полезную работу машины.

Величина перекрыши выпуска колеблется у разных паровозов в пределах: от -8 до $+3$ мм.

В машинах, имеющих сравнительно небольшое число оборотов, (например в товарных паровозах), нет смысла применять большое сжатие. У товарных паровозов перекрыша выпуска может равняться



Фиг. 16.

нулю и даже быть отрицательной (до 1—4 мм в обычных машинах). Отрицательная перекрыша указывает на то, что в среднем положении золотника обе полости цилиндра узкими щелевыми отверстиями сообщаются с атмосферой.

Золотники изображенного на фиг. 16 типа получили в свое время большое распространение, так как они обеспечивали спокойный ход паровоза и давали экономию в расходе пара.

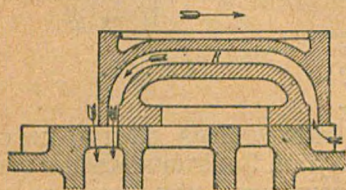
Отметим, что линейное предварение впуска пара в цилиндр должно быть, конечно, и при золотнике с перекрышами. Контркривошип следует насадить на вал (или колесо) таким образом, чтобы при мертвом положении поршня золотник был передвинут от своего среднего положения на величину линейного предварения впуска *плюс* величина перекрыши впуска.

Итак, рассматривая работу пара в цилиндре за один оборот колеса (т. е. за два хода поршня), мы устанавливаем четыре *основных* периода: первый период—впуск пара, второй—расширение. При движении поршня в обратном направлении—выпуск (третий период) и, наконец,—сжатие (последний, четвертый период).

Последовательность *всех* процессов, происходящих в одной полости цилиндра, такова: впуск пара, отсечка, расширение, опережение выпуска, выпуск, сжатие, опережение впуска.

§ 5. Золотники с каналом Трика

Парораспределение плоским коромысловым золотником, будь он с перекрышами или без них, имеет существенный недостаток: в начале хода поршня, когда на поршень должно действовать полное давление пара, паровое окно открыто лишь незначительно. Проход пара затруднен, так как узкая щель, образуемая кромкой окна и кромкой выступа золотника, не может пропустить большого количества пара. Поэтому сравнительно большое распространение в старых паровозах получили плоские золотники с так называемым каналом Трика,



Фиг. 17.

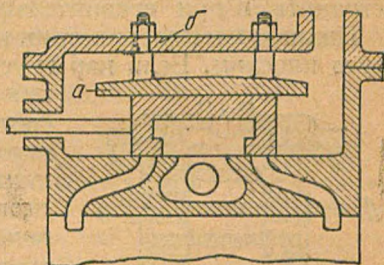
предназначенным для дополнительного впуска пара в цилиндр в *начале хода поршня*. На фиг. 17 изображен такой золотник. Канал К, устраиваемый внутри корпуса золотника, как показано на рисунке, при небольшом открытии парового окна, вводит в это окно дополнительное количество пара, что повышает давление в цилиндре в начале хода поршня. По мере дальнейшего открытия парового окна этот канал перекрывается простенком золотникового лица.

Польза, даваемая каналом Трика, была в свое время несколько переоценена; усложнение конструкции золотника, снабженного каналом Трика, оправдывается лишь в быстроходных машинах, где быстрое перемещение поршня затрудняет заполнение паром цилиндра через узкую щель, даваемую обычным золотником.

§ 6. Разгруженный (плоский) золотник

Существенным недостатком плоского золотника является значительное трение между его опорной поверхностью и золотниковым зеркалом шиберной коробки. Плоский золотник с большой силой прижат к золотниковому лицу (за счет давления пара): *под золотником* мы имеем лишь атмосферное (или немного большее) давление, а *на золотник* действует полное давление свежего пара. Чтобы привести в движение золотник, требуются большие усилия, на что расходуется энергия паровой машины; кроме того золотник срабатывается и начинает пропускать пар.

Чтобы устранить такой большой нажим на золотник, нередко употреблялись так называемые уравновешенные золотники, схематически показанные на фиг. 18. Здесь *a* — особая плита, называемая *разгрузочной* или *компенсаторной*; закрепляется она на крышке золотниковой коробки таким образом, чтобы между нею и верхней поверхностью золотника не было зазора. В этом случае пар уже не прижимает золотник к золотниковому лицу и передвижение первого значительно облегчается.



Фиг. 18.

На фиг. 18 показана *схема* такого устройства. Конструктивное выполнение уравновешивающего устройства, как мы увидим дальше, сложно и ненадежно (в смысле утечки пара). Для устранения зазора между верхней плоскостью золотника и разгрузочной плитой, неизбежного при износе поверхностей, предусматриваются промежуточные детали (кольца, пружины и т. д.), что усложняет конструкцию такого золотника, не давая в то же время надежных результатов. Введение же крупных паровозов потребовало увеличения размеров, а следовательно и веса золотников. А так как золотники для уменьшения трения (при передвижении по зеркалу) изготавливаются обычно из бронзы (редко из чугуна), то стоимость таких больших золотников была высока.

С другой стороны, применение перегретого пара, получившее большое распространение за последние десятилетия, также ухудшало условия работы золотника, вызывая коробление последнего и следовательно большую утечку пара. Все типы плоских золотников, в том числе и уравновешенные, оказались неудовлетворительными. На смену им пришли цилиндрические золотники.

§ 7. Цилиндрический (круглый) золотник

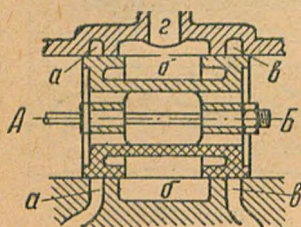
Представим себе контур обычного плоского золотника, крестообразно заштрихованный на фиг. 19, и «обернем» этот контур вокруг расположенной над ним оси *АВ*. Получим *цилиндрическую* форму золотника. В соответствии с такой его формой и золотниковая коробка имеет форму цилиндра, внутри которого работает золотник. Внутренний диаметр золотникового цилиндра естественно должен быть равен диаметру золотника.

В цилиндрической золотниковой коробке применяются кольцевые паровые каналы: каналы *a*, *б* и *в* охватывают золотник кругом. В нижней части рисунка каналы *a* и *в* подводят пар к полостям цилиндра.

Взаимное расположение каналов и самого золотника показывает, что последний по распределению пара ничем не отличается от ранее описанного плоского золотника. Преимущество цилиндрического золотника заключается в его полной *уравновешенности*, т. е. давление пара на золотник имеет место *по всем* направлениям. Передвижение золотника—легкое, трение—небольшое. Это обуславливает более легкие условия работы парораспределительного механизма.

Конечно, золотник на фиг. 19 показан схематически. Износ рабочих поверхностей золотника и золотникового цилиндра вызывает утечку пара. Однако применением уплотнительных колец (см. ниже) эту утечку можно устранить и при сравнительно большом износе рабочих поверхностей.

Цилиндрический золотник имеет и другое существенное преимущество перед плоским. Если пар впускается в цилиндр при плоском золотнике



Фиг. 19.

при помощи наружных кромок последнего (так называемый *наружный впуск*), а выпуск отработавшего пара производится внутренними кромками, то при наличии цилиндрического золотника пар можно впускать при помощи внутренних кромок золотника (*внутренний впуск*), а выпускать — *наружными*. Преимущество внутреннего впуска заключается в том, что золотниковый цилиндр заполнен отработавшим паром низкого давления, вытекающим через выпускную трубу в

атмосферу. Это позволяет выполнять уплотнительные приспособления для золотниковой скалки крайне простыми. Отмечаем, что наружный впуск при перегретом паре требует сложных и дорогих сальников.

При плоских золотниках осуществить внутренний впуск было бы так же желательным, но от него приходится отказываться из-за неизбежного отжатия золотника от золотникового зеркала и связанных с этим больших утечек пара.

Внутренний впуск пара при цилиндрическом золотнике осуществляется просто. Пар подводится по трубе *г*, заполняет пространство *б—б* и внутренними кромками, открывающими паровые окна, пропускается в паровые каналы и далее в цилиндр. Схема самого парораспределительного механизма крупных изменений не претерпевает: требуется лишь насаживать контркривошип («обратный кривошип») под другим углом к кривошипу (см. ниже).

При изменении наружного впуска на внутренний перекрыши золотника естественно меняются места: перекрыша внутренних кромок золотника является перекрышей впуска, а перекрыша наружных кромок — перекрышей выпуска. На фиг. 19 перекрыша на внутренней кромке золотника показана значительно большей, чем перекрыша на наружной. В данном случае это *перекрыша впуска*.

Канал Трика, конечно, можно применить и при цилиндрических золотниках. Подчеркнем, что большая длина впускного окна при всяком

цилиндрическом золотнике (окно «проходит» по всей длине окружности цилиндрической коробки) позволяет быстро заполнить цилиндр и при небольшом открытии окна. Это также может считаться преимуществом цилиндрического золотника, делающим устройство дополнительного канала Трика мало целесообразным. Правда, некоторые паровозы прежней постройки, снабженные цилиндрическими золотниками, имеют каналы Трика, но в настоящее время золотники для всех паровозов выполняются без этих каналов.

Преимущества цилиндрических золотников настолько существенны, что все современные паровозы снабжены такими золотниками.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

- 1) Что такое парораспределительный золотник?
- 2) В чем заключается преимущество золотникового парораспределения перед крановым?
- 3) Что такое золотниковая коробка и для чего она нужна?
- 4) Что называется золотниковым зеркалом?
- 5) Сколько отверстий имеет золотниковое зеркало и как они называются?
- 6) Почему простой золотник (т. е. золотник без перекрыш) в среднем положении должен своими опорными поверхностями (полями) закрывать оба паровых канала и при небольшом сдвиге в сторону открывать их?
- 7) Из какого металла изготавливаются золотники?
- 8) Что такое золотниковый кривошип и для какой цели он служит?
- 9) Каким образом производится передвижение золотника?
- 10) Почему радиус золотникового кривошипа значительно меньше, нежели радиус поршневого кривошипа?
- 11) Какое положение занимает кривошип при среднем положении золотника?
- 12) Что такое эксцентрик и эксцентриситет эксцентрика?
- 13) Какая существует зависимость между величиной хода золотника и размером эксцентриситета?
- 14) Что такое опережение впуска пара и для чего оно нужно?
- 15) Под каким углом должен быть насажен золотниковый кривошип (по отношению к основному кривошипу) при работе золотника без опережения впуска пара и с опережением?
- 16) Что такое линейное предвращение впуска и в каких единицах оно измеряется?
- 17) Почему невыгодно пользоваться простым золотником и почему всегда применяют золотники с перекрышами?
- 18) Что такое перекрыша впуска и для какой цели она применяется?
- 19) Что такое перекрыша выпуска и для какой цели она применяется?
- 20) Почему перекрыша впуска делается всегда больше перекрыши выпуска?
- 21) Что такое отсечка пара?
- 22) Для чего необходимо сжатие пара в цилиндре и как велико должно быть давление сжатия?
- 23) От чего зависит величина расширения и величина сжатия пара?
- 24) Для чего делается в золотниках канал Трика?
- 25) В чем заключается основной недостаток парораспределения простым золотником?

- 26) На чем основано действие уравновешенного плоского золотника?
- 27) Как устроен цилиндрический золотник?
- 28) Перечислите преимущества цилиндрического золотника перед [плоским.
- 29) Почему плоский золотник в особенности неудовлетворительно работает при перегретом паре?

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1) Начертите схему движущего механизма паровоза с пятью спаренными осями.

2) Как изменится работа паровой машины, работающей простым золотником без опережения впуска пара, если поставить золотник с перекрышами и осуществить предварение впуска?

3) Начертите положение золотника с перекрышами для всех положений кривошипа, показанных на фиг. 9.

4) Начертите золотник с перекрышами и опережением впуска в момент наибольшего открытия переднего парового окна и для этого положения золотника покажите положение поршня и шатунного механизма.

5) В тексте было указано (§ 3), что расширение пара экономит его расход. Но работа такой машины менее эффективна, нежели работа машины, работающей без расширения пара. Какими путями можно компенсировать это уменьшение работы?

6) Назовите четыре основных периода работы пара в цилиндре паровой машины.

ГЛАВА III

ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ

§ 1. Требования, предъявляемые к парораспределительному механизму

Рассмотрим требования, предъявляемые и паровозному парораспределительному механизму, и дадим общее описание механизма, отвечающего этим требованиям.

Простейшее парораспределение паровой машины составляет, как мы уже знаем, из золотника, золотникового штока (скалки), золотниковой тяги и золотникового кривошипа.

Все детали парораспределения распадаются на две группы: внутренние парораспределительные органы и наружные. Внутренние органы—золотник и шток, наружные—детали самого механизма, назначение которого—приводить золотник в движение.

Для паровозной паровой машины механизм, состоящий лишь из золотникового кривошипа и золотниковой тяги, не подходит, так как снабженная таким простейшим механизмом паровая машина не имеет обратного хода (машина не реверсивна), к тому же величина работы машины корректируется только регуляторным клапаном. Например малое открытие клапана вызовет большое мятие пара (при проходе через узкую щель под клапаном), давление пара, идущего к цилиндру, упадет, эффективность работы снизится. Мятие пара сопровождается большой потерей энергии, поэтому таким образом регулировать работу машины в широких пределах нельзя.

Паровозная паровая машина должна допускать широкое регулирование развиваемой ею работы. Состав поезда приходится вести то на площадке, то на подъеме и т. д. ускорение движения требует, конечно, весьма интенсивной работы.

Нам уже известно, что изменение отсечки (степени наполнения) влияет на работу паровой машины.

Трогая с места, машинист должен дать большое наполнение, близкое к единице (0,7—0,8), для быстрого развития скорости движущегося тяжелого состава, а затем, уменьшив наполнение (до 0,2—0,5 в зависимости от профиля пути), следовать по перегону с возможно более полным расширением пара. В этом случае налицо наиболее рациональное *использование пара*. Регулирование паровозных машин осуществляется специальными *парораспределительными механизмами*.

Итак, парораспределительный механизм паровоза обеспечивает, во-первых, *реверсивность* машины и, во-вторых, изменение в широких пределах *отсечки* пара.

Парораспределительные механизмы паровозов представляют собой естественное развитие простейшего механизма.

Существенной частью всех употребляющихся на наших паровозах распределительных механизмов является *кулиса*, почему часто и весь парораспределительный механизм называется кулисным механизмом.

Кулиса представляет собой слегка изогнутый стальной кованый брус, в пазах которого может перемещаться стальной кулисный камень, имеющий профиль паза кулисы.

От кулисного камня тягой берется движение для золотника.

Кулиса устанавливается позади цилиндра, против золотниковой коробки. Должно обеспечить возможность ее отклонения (качания) на некоторый угол вокруг горизонтальной поперечной паровозу оси. Отклонение (качание) кулисы вызывает соответствующее движение камня кулисы, а это последнее передвигает золотник по золотниковому зеркалу.

Способы приведения кулисы в качательное движение различны.

§ 2. Парораспределительный механизм Стефенсона

Старинные паровозы оборудовались большей частью механизмами Стефенсона. В настоящее время указанные механизмы встречаются редко — лишь на паровозах старых типов. Но так как этот механизм послужил основой для разработки других позднейших механизмов, считаем небесполезным остановиться хотя бы вкратце на устройстве парораспределительного механизма Стефенсона.

Кулиса приводится в качательное движение двумя эксцентриками, насаженными на ведущей оси паровоза. На ось необходимо насаживать два эксцентрика для каждой паровой машины паровоза, так как один эксцентрик сообщает паровозу лишь одно движение золотника, например для переднего хода. Отмечаем, что при наличии на паровозе двух машин, как это обычно и бывает, на ведущей оси необходимо ставить всего четыре эксцентрика. Первый эксцентрик насаживается в том положении (по отношению к поршневому кривошипу), как это указывалось раньше, и служит для сообщения паровозу переднего хода. Второй эксцентрик, служащий для сообщения заднего хода, насаживается под тупым углом такой же величины, но направленным в другую от кривошипа сторону, как это показано на фиг. 20; здесь *аз* — поршневой кривошип, показанный в заднем мертвом положении, а *зб* — эксцентриситеты двух эксцентриков. Для упрощения рисунка самые эксцентрики опущены; показаны лишь их эксцентриситеты (равнозначные известным нам золотниковым кривошипам).

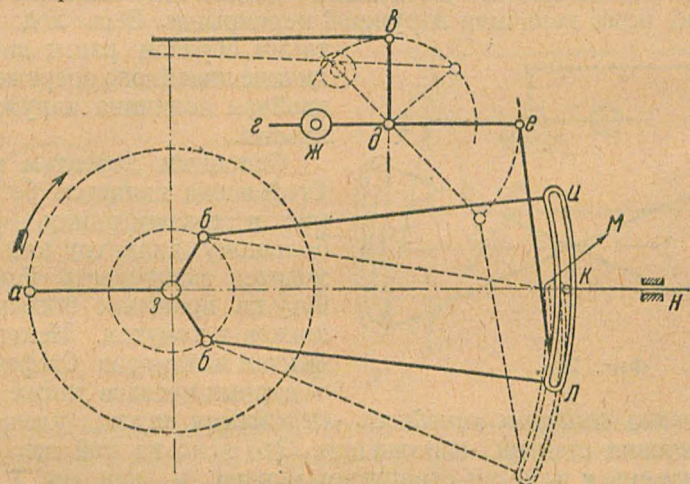
Ясно, что при такой посадке второго эксцентрика золотник, соединенный тягой с хомутом этого эксцентрика, будет открывать впуск пара в соответствующую заднему ходу полость цилиндра.

Эксцентриковые тяги *би* и *бл* своими передними концами шарнирно соединены с верхним и нижним концами кулисы *ил*. Кулиса же серией *ел* подвешена к рычагу *де*, могущему вращаться вокруг точки *д*; *кн* — тяга, идущая к золотнику; *к* — кулисный камень. Паз кулисы, по которому движется камень, обрабатывается (фрезерная работа) по радиусу, равному длине эксцентриковой тяги.

В точке d условно показан проходящий поперек паровоза *переводной вал*, несущий на себе два рычага de (к правой и левой паровым машинам паровоза) и рычаг $дв$. К верхнему концу рычага $дв$ шарнирно закреплена идущая в будку машиниста горизонтальная тяга, частично показанная на фиг. 20. Эта тяга управляет ходом паровоза.

Как же работает такой механизм? Предположим, паровоз должен идти вперед. Машинист переводит механизм в положение, показанное *пунктиром* на фиг. 20. Переводный вал вращается при этом по часовой стрелке, кулиса опускается, и мы имеем уже знакомый нам простейший механизм, в котором $зб$ —золотниковый кривошип, $бм$ —золотниковая тяга и $кн$ —золотниковый шток.

Для получения заднего хода паровоза машинист вращает переводный вал *против* часовой стрелки, кулиса поднимается (на фигуре это положение не показано), и золотниковый шток будет получать движение от тяги $бл$. Паровоз пойдет задним ходом.



Фиг. 20.

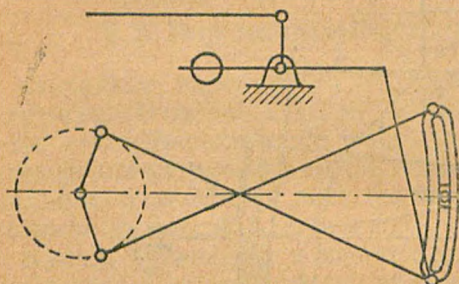
При вращении колес паровоза кулиса имеет качательное движение, и чем ближе к концам паза расположен камень $к$, тем больший размах он получает, т. е. тем больше будет ход золотника. При крайних положениях камня в кулисе золотник имеет наибольший ход, окна открываются им полностью,—имеет место наибольшее *наполнение* паром цилиндров.

Но ведь машинист может не до самого конца спустить (или поднять) кулису. Какое движение получит тогда камень и следовательно золотник? Ясно, что *по мере приближения* камня к *центру* качающейся кулисы *размах движения его уменьшается*; уменьшается следовательно и величина хода золотника. Но уменьшение величины открытия окон вызывает более раннее их закрытие, наполнение уменьшается. А последнее для нас является необходимым во многих случаях работы паровоза.

Если камень находится на *середине* кулисы, ход золотника будет наименьшим, т. е. будет равен лишь двойному линейному опережению впуска плюс двойная величина наружной перекрыши. Поясним это.

Наличие же углов опережения заставит камень перемещаться на небольшое расстояние вперед и назад. Представим себе поршневой кри- вошип в *задней* мертвой точке. Тогда оба эксцентриситета расположатся *вправо* от вертикальной оси колеса (фиг. 20) и вправо же—на величину линейного опережения плюс наружная перекрыша—переместится вся кулиса и расположенный в центре ее камень *к*. Окно будет открыто на величину линейного опережения впуска.

таким образом равен двойной величине линейного опережения плюс двойная величина наружной перекрыши.



Основным дефектом механизма Стефенсона является большое трение в эксцентриках, благодаря большому диаметру которых приходится затрачивать большую работу на вращение эксцентрикых дисков в хомутах. Некоторым дефектом механизма Стефенсона для товарных поездов также является

С другой стороны это непостоянство линейного опережения в механизме Стефенсона является положительным качеством его при применении на *быстроходных пассажирских паровозах*, работающих обычно на больших скоростях и с малыми отсечками. В этом случае, т. е. в случае *очень быстрого движения* золотника и поршня, большое линейное опережение способствует лучшему заполнению цилиндра паром в начале хода поршня. Поэтому в Англии и теперь иногда быстроходные курьерские паровозы снабжают механизмами Стефенсона.

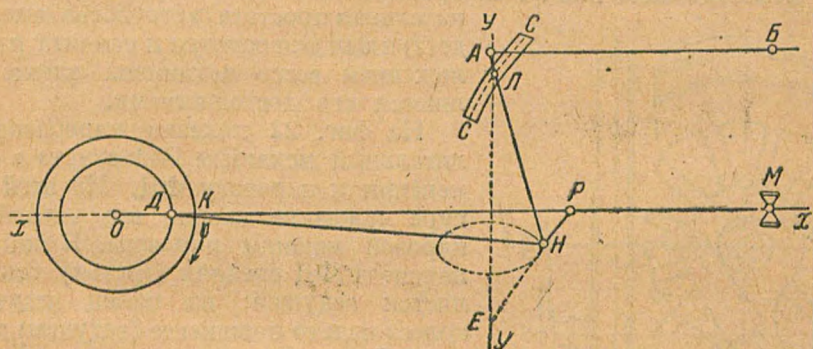
30

Большое сходство с механизмом Стефенсона имеют старинные—также эксцентриковые механизмы Гуча и Аллана, имевшие большое распространение в свое время, но теперь почти вышедшие из употребления и потому здесь не рассматриваемые.

Все эти механизмы, включая и стефенсоновский, не свободны от серьезного дефекта—большого трения в частях механизма (в эксцентриках).

§ 3. Парораспределительный механизм Джоя

На протяжении столетнего развития паровоза ясно видно желание освободиться от большого трения, присущего всем эксцентриковым механизмам. Поэтому необходимо отметить еще одну систему парораспределительного механизма—кулисный механизм Джоя. Этот механизм вовсе не имеет эксцентриков. В данном случае золотник получает движение от системы рычагов, связанных с ведущим дышлом. На фиг. 21 схе-



Фиг. 21

матически изображен механизм Джоя, где ОК—поршневой кривошип, КМ—поршневое дышло, М—крейцкопф, ОД—золотниковый кривошип.

К точке Р поршневого дышла подвешена серьга РН, другим своим концом соединенная с передним концом тяги ДН от пальца золотникового кривошипа. При движении паровоза точка Н будет описывать эллипс, показанный на фиг. 21 пунктиром. На валик шарнира в точке Н надет рычаг АН, от точки А которого берется движение для золотника (тягой АБ). Точка Л рычага АН—камень,двигающийся в пазах кулисы СС. Кулиса при движении паровоза в отличие от всех других механизмов остается в покое, но наклон ее может быть изменен рукой машиниста помощью особого переводного рычага, о котором будет сказано в дальнейшем. Наклон кулисы и определяет передвижение золотника. Чем больше наклон, тем больше и перемещение золотника. Кулиса, поставленная в среднее (вертикальное) положение, дает наименьший ход золотника (золотник открывает окна на величину линейного опережения впуска). Если кулису поставить так, что ее верхний конец будет сдвинут назад относительно ее центра, паровоз получит задний ход.

В этом механизме имеется значительное трение камня в кулисе; за один оборот колеса камень дважды (вверх и вниз) передвигается по пазам ее.

Кроме того в этом механизме на правильность парораспределения весьма вредно влияет игра рессор, вызывающая постоянные скачкообразные изменения отсечки, запаздывание выпуска пара и т. д.

Механизм Джоя в настоящее время выходит из употребления и встречается лишь на единичных паровозах, постепенно списываемых с инвентаря жел. дорог.

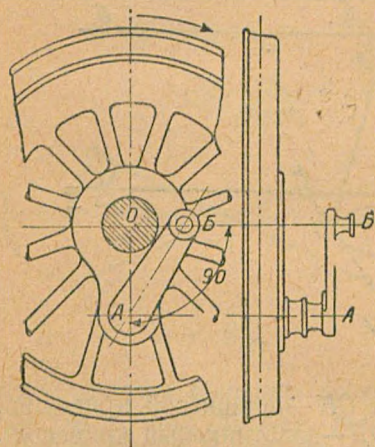
§ 4. Парораспределительный механизм Вальсхарта (Гейзингера)

Кулисный механизм Вальсхарта, чаще не вполне правильно называемый у нас *механизмом Гейзингера*, получил исключительно большое распространение на паровозах благодаря целому ряду преимуществ перед другими механизмами.

Механизм Вальсхарта имеет малое трение в шарнирах, игра рессор лишь незначительно влияет на правильность парораспределения. Срав-

нительная простота устройства вместе с доступным для осмотра и ремонта расположением всего механизма таюже являются его достоинствами.

На фиг. 22 показан парораспределительный механизм Вальсхарта в применении к паровозу ФД. На этой фигуре показано заодно все устройство паровой машины паровоза. В экипаже паровоза ФД средняя (третья) ось является ведущей; на палец ведущего колеса надето поршневое (ведущее) дышло М. В отличие от других пальцев (на колесах сцепных осей) ведущий палец Н имеет на своем наружном конце дополнительный кривошип, направленный в обратную сторону по отношению к основному (поршневому) кривошипу. Такой *обратный кривошип* называется



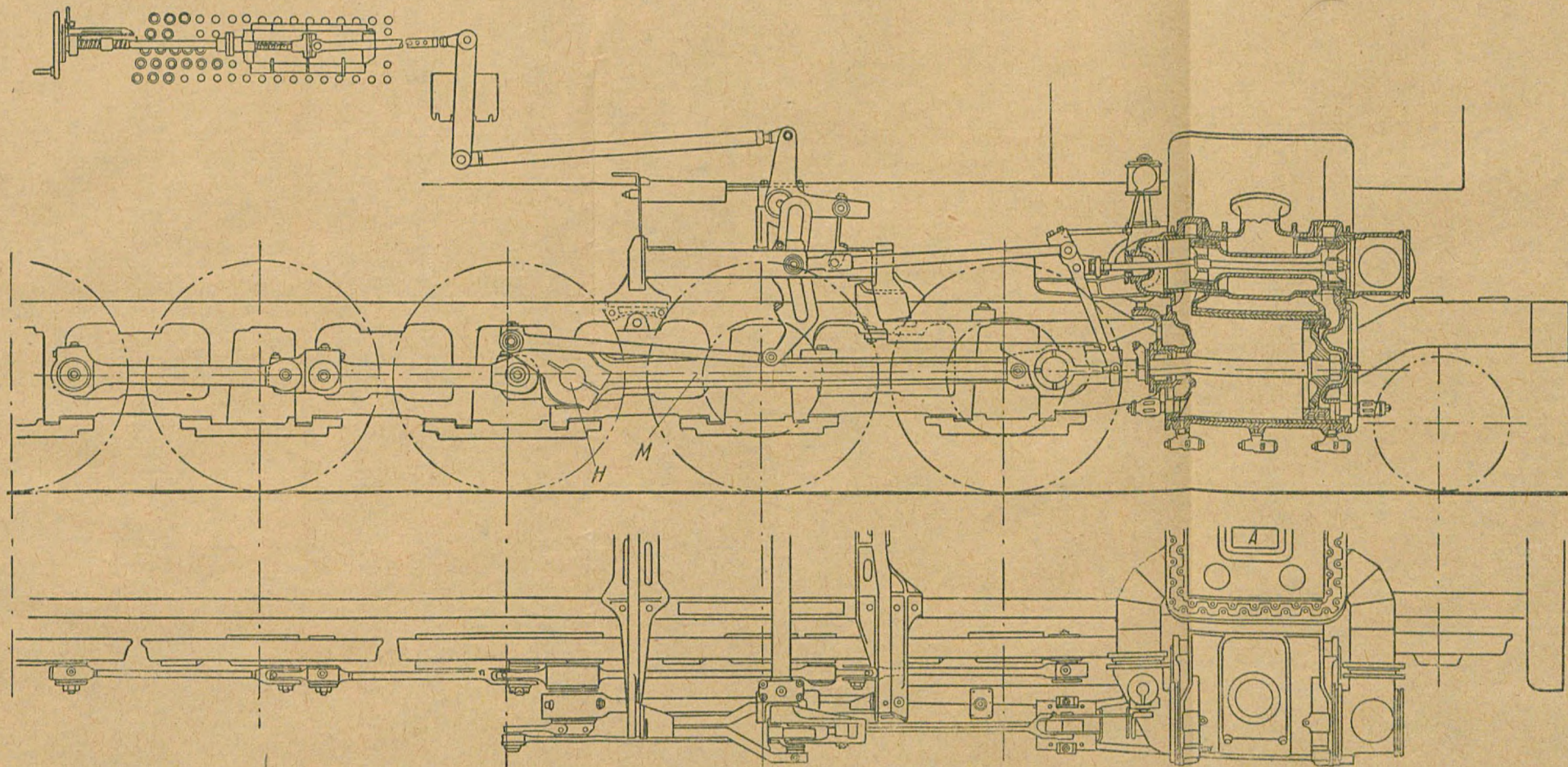
Фиг. 23.

контркривошипом. На конце контркривошипа имеется палец, на который надевается тяга, управляющая движением кулисы.

Расстояние от центра пальца контркривошипа до центра колеса называется *радиусом контркривошипа* и представляет собой не что иное, как радиус уже известного нам золотникового кривошипа (это — эксцентриситет эксцентрика в эксцентриковых механизмах).

На фиг. 23 для большей ясности показан в крупном масштабе контркривошип. Радиусом поршневого кривошипа является размер AO и радиусом золотникового кривошипа — OB . Самый контркривошип обозначен AB .

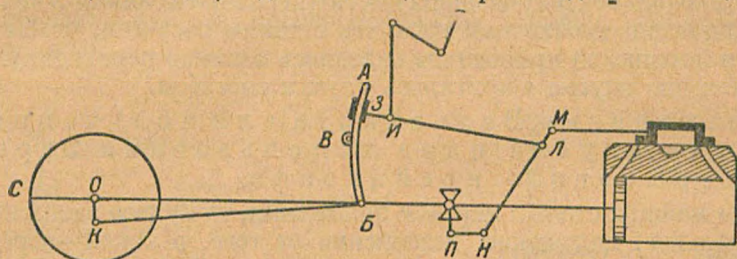
Вводит контркривошип AB , закрепляя его на конце ведущего пальца, приходится для того, чтобы избежать постановки на колесе двух пальцев (поршневого и золотникового): надеть на пальцы шатун и тяга не дадут возможности вращения колесу, так как сейчас же ударятся друг о друга.



Отмечаем, что для кулисного механизма Вальсхарта угол между направлением поршневого кривошипа $ОА$ и золотникового кривошипа $ОБ$ делается примерно прямой; опережение впуска пара достигается другим, нижеописываемым способом.

Для лучшего усвоения устройства и действия механизма Вальсхарта представим его схематически на фиг. 24 в применении для плоского золотника, а к фиг. 22 вернемся позже, — при разборе конструкции деталей механизма.

На фиг. 24: $ОС$ — кривошип, $ОК$ — радиус контркривошипа (золотниковый кривошип), $АБ$ — кулиса и $З$ — камень кулисы. Кулиса посредине своей длины — в точке $В$ — подвешена к особому кронштейну, закрепленному на паровой раме. Кулиса может качаться на некоторый угол вокруг этой точки $В$. К нижнему концу кулисы шарнирно присоединен передний конец тяги $КБ$, задний конец которой надет на палец контр-



Фиг. 24.

кривошипа. Тяга $КБ$ называется *тягой от пальца* или *эксцентровой тягой*. При вращении колеса точка $К$ будет описывать окружность; кулиса получит качательное движение. От камня $З$ можно было бы брать движение для золотника помощью тяги $ЗЛ$.

Отмечаем, что корпус кулисы изогнут по радиусу, равному длине тяги $ЗЛ$. Камень $З$ кулисы может перемещаться в пазах последней. Чем ближе к центру кулисы находится камень, тем меньше размах его движения, тем меньше и величина хода золотника. Наоборот, удаляя камень от центра качания кулисы, мы *увеличиваем* размах движения камня. Это, как и в кулисном механизме Стефенсона, увеличивает открытие окон, вызывая более позднее закрытие их с соответствующим увеличением степени наполнения. Наоборот, если камень находится в центре качания кулисы, то последняя не сообщает ему никакого перемещения. В это время рычаг переводного вала (показан в верхней части фиг. 24) находится в среднем положении, и весь механизм, как говорят, стоит на центре. Вращая в ту или другую сторону переводный вал, машинист перемещает и камень в кулисе, так как рычаги переводного вала при помощи подвесок соединены с точками $И$ золотниковых тяг, а последние в свою очередь своими задними концами шарнирно соединены с камнями. Вращение же самого переводного вала осуществляется горизонтальной тягой, идущей в будку машиниста.

В будке машиниста горизонтально установлен *переводный винт*. Гайка этого винта, шарнирно соединяемая с задним концом переводной

тяги, перемещается при вращении винта (рукой машиниста) и тем самым перемещает камень кулисы в нужное положение.

Итак, *характер* перемещения переднего конца тяги $ЗЛ$ —точки $Л$ —нужное нам движение золотника, но из-за отсутствия угла опережения у золотникового кривошипа, как было указано раньше, воспользоваться точкой $Л$ для непосредственного соединения ее с золотниковым штоком нельзя. Такой механизм дает парораспределение без опережения впуска пара.

Почему же контркривошип насажен так, что золотниковой кривошип не имеет угла опережения? Ведь эксцентрики кулисного механизма Стефенсона насажены под нужным нам *тупым* углом по отношению к кривошипу. Дело, конечно, в том, что контркривошип в механизме Вальсхарта один, а эксцентриков в механизме Стефенсона два. Если мы хотим от *одного* контркривошипа иметь и передний и задний ход паровоза, контркривошип необходимо насадить с таким расчетом, чтобы золотниковый и поршневой кривошипы оказались взаимно перпендикулярными, а опережение впуска достигалось *другим* способом.

В механизме Вальсхарта для получения предварения впуска пара использовано перемещение поршневого кривошипа.

Если машина стоит в мертвом положении, то кулиса занимает среднее (вертикальное) положение, независимо от того, в какой—передней или задней—мертвой точке остановилась машина. Золотниковый же кривошип будет занимать верхнее или нижнее положение. Но на положение золотника (относительно золотникового зеркала) расположение поршня в передней или задней точке должно оказывать существенное влияние. Мы знаем, что при положении поршня в левой мертвой точке должно быть открыто для впуска пара *левое* окно; при положении поршня в *правой* мертвой точке должно быть открыто правое окно. В обоих случаях окна должны быть открыты на величину линейного опережения впуска пара.

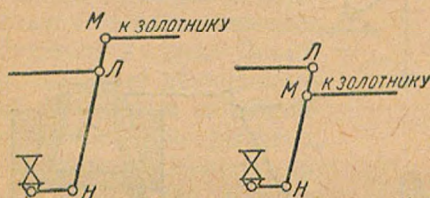
Таким образом золотник должен быть сдвинут в ту или другую сторону от своего среднего положения. Но кулиса занимает в обоих случаях одно и то же положение (среднее), и следовательно точка $Л$ остается также на месте. Необходимое сдвижение золотника в кулисном механизме Вальсхарта берется от особого рычага $НМ$, называемого *маятником*. Нижний конец маятника связан с кривошипом посредством небольшой соединительной тяги $ПН$. В своей верхней части маятник шарнирно соединен в двух рядом расположенных точках с золотниковой тягой $ЗЛ$ и золотниковым штоком.

Что мы имеем в этом случае? При неподвижной точке $Л$ для обоих мертвых положений точка $М$ будет сдвинута или вправо, как показано на фиг. 24 для задней мертвой точки машины, или влево—для передней мертвой точки. Размер $ЛМ$ подбирается таким, чтобы полное перемещение точки $М$, считая в обе стороны (при неподвижной точке $Л$), было как-раз равно двойному (в обе стороны от середины) линейному опережению плюс двойная величина наружной перекрышки золотника.

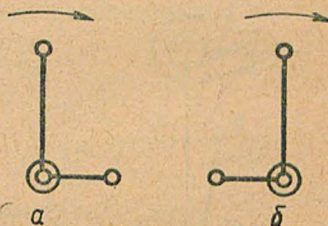
Напоминаем, что при расположении шатунного механизма в мертвой точке перемещение точки *М* от своего среднего положения должно быть равно наружной перекрыше золотника *плюс* величина линейного опережения впуска.

Так как *величина* хода поршня, определяющая размах колебания маятника, всегда постоянна, линейное опережение также сохраняет свою постоянную величину *для всех отсечек*. Подчеркиваем, что радиус кривизны кулисы равен длине золотниковой тяги; поэтому точка *Л* остается на месте при любом положении камня в кулисе. Важно лишь, чтобы машина была в мертвой точке, т. е. чтобы кулиса занимала *среднее* положение.

Устройство маятника при *наружном* и *внутреннем* впуске неодинаково. При *наружном* впуске, если например поршневой кривошип находится в задней мертвой точке (фиг. 24), маятник подает золотник *вперед*, открывая заднее впускное окно. При *внутреннем* же впуске маятник сдвигает золотник *назад*—в противоположную сторону, открывая заднее впускное окно.



Фиг. 25.



Фиг. 26.

Так как расположение маятника (и следовательно его точки *Л*) в случае того или другого впуска остается неизменным, точка *М* захвата золотникового штока при *наружном* впуске помещается *над* точкой *Л*, а в случае *внутреннего* впуска—между точками *Л* и *Н*; различие устройства маятников ясно видно из фиг. 25.

Примечание. В обоих случаях кривошип находится в задней мертвой точке.

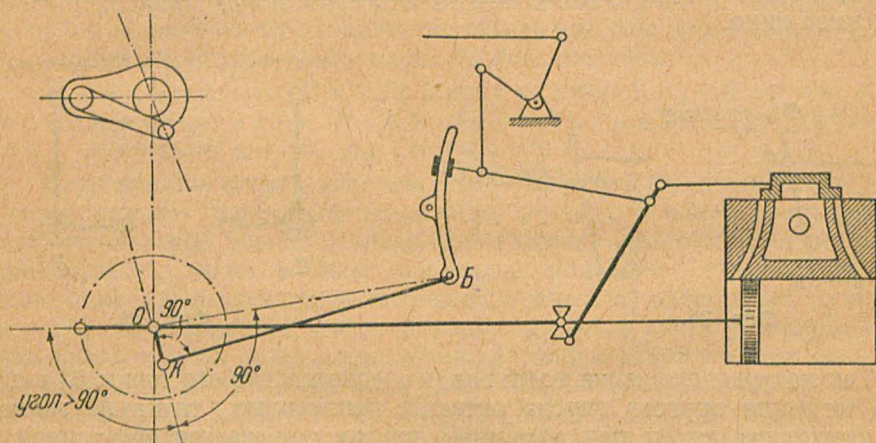
На фиг. 25 левая схема показывает расположение шарниров на маятнике для наружного впуска, а правая—для внутреннего впуска. В первом случае точка *М* сдвинута вправо относительно вертикальной линии, проходящей через «неподвижную» точку *Л*, во втором случае—влево. Маятник по правой схеме соответствует маятнику на фиг. 22, так как паровоз ФД имеет цилиндрические золотники с *внутренним* впуском пара.

Таким образом мы видим, что перемещение золотника при кулисном механизме Вальсхарта есть сложение двух движений—от пальца контр-кривошипа и от маятника.

Необходимо отметить одну особенность механизма Вальсхарта: контркривошип может быть закреплен на колесе так, что он опережает кривошип на 90° или, наоборот, запаздывает на тот же угол. Оба случая показаны на фиг. 26: *а* показывает золотниковый кривошип, опережающий

поршневой кривошип, *б*—запаздывающий. Стрелкой обозначено направление вращения колеса.

В обоих случаях может быть получен например *передний* ход паровоза. Все дело в положении камня в кулисе. При контркривошипе, *опережающем* кривошип (фиг. 26,а), передний ход паровоза получается при камне, работающем в *верхней* части кулисы; наоборот—при контркривошипе, *отстающем* от кривошипа (фиг. 26,б), передний ход паровоза получается при камне, спущенном в *нижнюю* часть кулисы. Проверим это. Допустим, кривошип находится в нижнем положении. Для переднего хода паровоза пар должен быть впущен в переднюю полость цилиндра. Для этого цилиндрический золотник с внутренним впуском пара должен быть сдвинут *вперед*. Кулиса занимает наклонное положение, и для того, чтобы камень сдвинуть вперед, его нужно спустить в нижнюю часть кулисы.



Фиг. 27.

Раньше было указано, что золотниковый кривошип в кулисном механизме Вальсхарта располагается *примерно* под прямым углом к поршневому кривошипу, а опережение впуска осуществляется другим путем. Теперь мы уже знаем, что опережение впуска достигается введением маятника, но тогда почему же *не в точности* под прямым углом насаживается золотниковый кривошип? На величину угла между поршневым и золотниковым кривошипами влияет расположение нижнего конца кулисы относительно продольной оси цилиндра, проходящей и через центр колеса. Если мы имеем механизм, в котором нижняя точка кулисы (*точка захвата* кулисы) расположена на оси цилиндра, как это показано на фиг. 24, то золотниковый кривошип перпендикулярен поршневому. Однако кулиса обычно располагается так, что точка захвата *Б* ее *выше* оси цилиндра (фиг. 27). В этом случае прямой угол между поршневым и золотниковым кривошипами будет давать несимметричные отклонения кулисы от своего среднего положения, и парораспределение будет неправильным. Поэтому направление золотникового кривошипа *ОК*

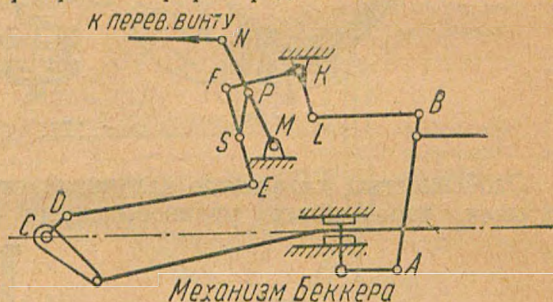
должно быть перпендикулярным к линии OB , соединяющей центр колеса с точкой захвата кулисы. Ясно, что угол между обоими кривошипами будет несколько больше 90° и тем больше, чем выше поднята кулиса над осью цилиндра.

§ 5. Парораспределительные механизмы без кулис: Клапанные парораспределения

Выше было указано, что кулисный механизм Вальсхарта получил исключительно большое распространение благодаря более простой по сравнению с другими механизмами конструкции, малому трению в шарнирах, нечувствительности к игре рессор и благодаря даваемому им удовлетворительному парораспределению. Но парораспределительный механизм Вальсхарта при всех своих достоинствах все-таки имеет одну сложную и дорогую деталь—кулису. Для изготовления кулисы необходимо иметь несколько дорогих специальных станков. Ремонт ее затруднителен.

В связи с этим недостатком механизма Вальсхарта в Америке получил некоторое распространение шарнирный парораспределительный механизм Беккера, основной особенностью которого является отсутствие кулисы. Золотник получает движение от особым образом скомбинированной системы рычагов.

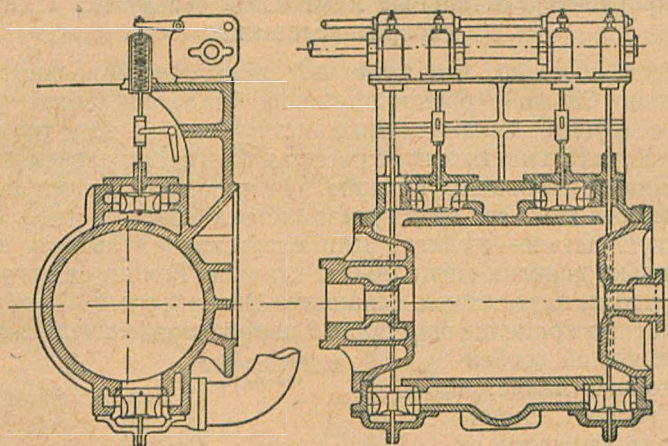
Механизм Беккера показан на фиг. 27а. Как видно по фигуре, золотник получает движение от двух кинематических цепей: от маятника *AB*, приводящегося в качательное движе-



ние от крейцкопфа, и от золотникового кривошипа *СД*. Тяга *ДЕ* имеет в своей передней головке шарнир и соединена с рычагом *ЕF*, в свою очередь соединенным с коленчатым рычагом *FKL*, управляющим движением золотника. Перемена хода и изменение отсечки осуществляются рычагом *MN*, соединенным одной из своих средних точек с серьгой *PS* и через ее посредство с уже упомянутым рычагом *ЕF*. На ходу паровоза точка *Д* описывает круг, серьга *PS* качается вокруг центра *Р*, и рычаг *FKL*, также качаясь, передает движение золотниковому штоку. Меняя положение рычага *MN*, можно менять расположения точки *Р* и тем самым, давая иное положение рычагу *FKL*, изменять отсечку или ход паровоза. Дефектом этого механизма является большое количество шарниров, при износе сообщающих золотнику неправильное движение. Заметим, что США механизм Беккера получил все же некоторое распространение, главным образом благодаря простоте изготовления деталей (тяги и рычаги изготавливаются штамповкой) и сравнительно простому ремонту (смена изношенных втулок и валиков).

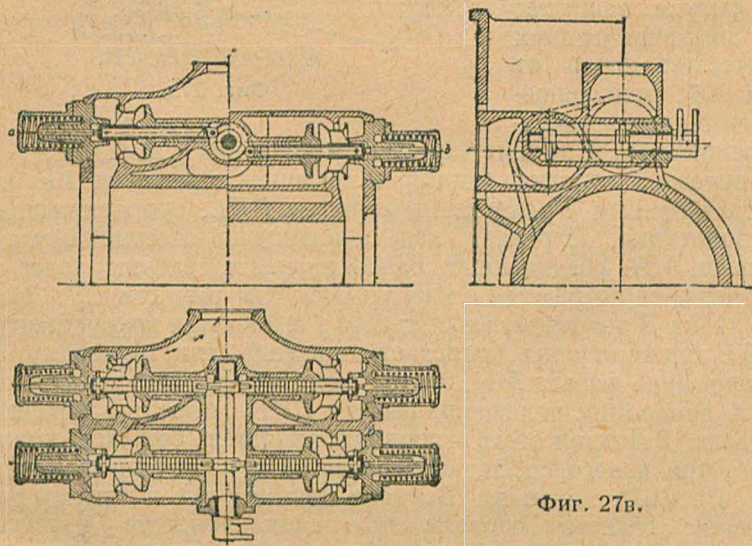
Клапанные распределительные механизмы теоретически оказываются значительно лучше, чем золотниковые. Это механизмы совсем другого рода.

Если впуск и выпуск пара производится золотником, то при проходе пара через узкие щелевые отверстия часть энергии пара всегда теряется. По самому характеру движения золотника *открытие и закрытие окон происходит медленно*. Это—недостаток всякого золотникового механизма.



Фиг. 27б.

Особенностью *клапанного механизма* является наличие на цилиндре четырех тарельчатых уравновешенных клапанов, попарно устано-



Фиг. 27в.

вленных на каждой полости цилиндра. Один клапан служит для впуска свежего пара, а другой—для выпуска отработавшего. Подъем клапанов осуществляется от вращающегося особого вала, имеющего выступы. Эти выступы (*кулачки*), нажимая на хвостовики клапанов, открывают

их в нужные моменты. Кулачковый вал проходит над цилиндром вдоль его (возле клапанов). Кулачки вала позволяют получить очень *быстрый* подъем клапанов и таким образом свести до минимума потери энергии пара на мятие.

В Западной Европе некоторое распространение получило удовлетворительно работающее клапанное парораспределение Капротти.

За самое последнее время во Франции было испытано и дало наиболее благоприятные результаты (по экономии топлива и надежности работы) клапанное распределение *Рено*. Паровой цилиндр с клапанами показан на фиг. 27б. Впускные клапаны расположены сверху, выпускные—снизу цилиндра. Открытие и закрытие клапанов производится кулачками распределительного вала, проходящего вдоль верхней части цилиндра. Вал приводится в движение от одной из сцепных осей паровоза.

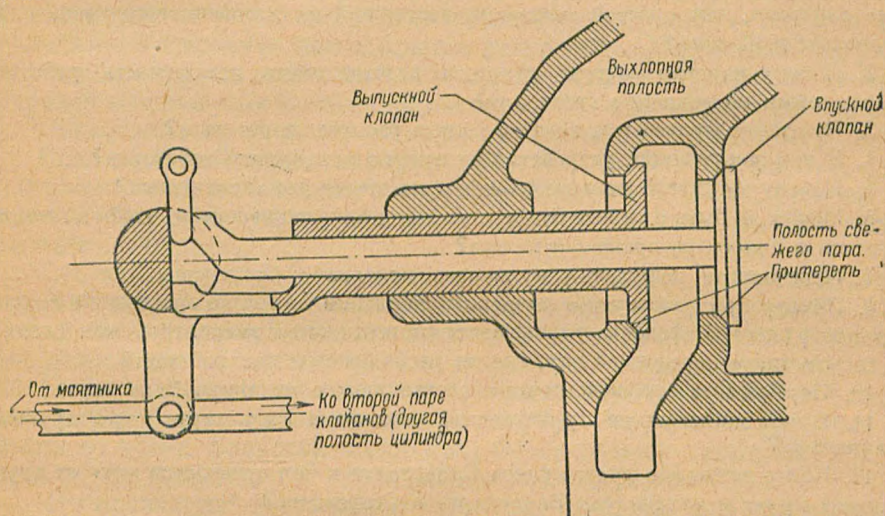


Рис. 27г.

В Германии получило некоторое распространение клапанное парораспределение системы Ленца, показанное на фиг. 27в. Над цилиндром в поперечной плоскости располагается распределительный кулачковый вал, получающий движение от маятника и приводящий в движение две пары клапанов, управляющих впуском и выпуском пара из обеих полостей цилиндра. Клапаны сделаны очень легкими, штампованными из листовой стали толщиной 3 мм. Малый вес клапанов обуславливает незначительные величины ударов клапанов о седла и достаточно продолжительный срок службы тех и других.

Положительные результаты работы клапанов Ленца побудили нас приступить к оборудованию одного вновь строящегося паровоза СУ таким клапаным распределением. На фиг. 27г показана схема наиболее усовершенствованных клапанов Ленца, примерно в том виде, как это выполняется для паровозов СУ. От маятника получает качательное движение распределительный вал (2 шт. на цилиндр), управ-

ляющий открытием впускного и выпускного клапанов. Стержень выпускного клапана сделан трубчатым—для пропуска стержня впускного клапана. Такое устройство достаточно компактно.

Но и это совершенное распределение не лишено своих недостатков. Общим недостатком всякого клапанного распределения, в том числе и Ленца и Рено, является необходимость тщательного ухода за клапанами и дорогой ремонт их. Эти соображения заставляют воздерживаться от широкого применения таких механизмов, отдавая пока предпочтение надежным и в общем удовлетворительно работающим механизмам Вальсхарта (Гейзингера).

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Почему паровоз должен быть снабжен кулисным механизмом, значительно более сложным, чем простой механизм, состоящий из золотникового кривошипа и золотниковой тяги?
2. Почему паровая машина паровоза должна иметь возможность работать с различными по величине отсечками?
3. Что такое кулиса и какова ее роль в распределении пара?
4. В чем заключается устройство кулисного механизма Стефенсона?
5. Почему кулисный механизм Стефенсона имеет два эксцентрика?
6. Может ли быть в кулисе Стефенсона такое положение камня, чтобы золотник оставался в покое при вращении колеса?
7. Перечислите недостатки кулисного механизма Стефенсона.
8. Почему при увеличении степени наполнения линейное опережение впуска пара при кулисе Стефенсона уменьшается (при открытых эксцентриковых тягах)?
9. Что такое переводной вал, где он расположен и как работает?
10. Перечислите основные детали, составляющие механизм Вальсхарта.
11. В чем заключаются преимущества механизма Вальсхарта перед другими механизмами?
12. Какое движение имеет кулиса Вальсхарта и чем отличается друг от друга движение кулис в механизмах Вальсхарта и Стефенсона?
13. Почему кулисный механизм Вальсхарта имеет *один* палец контр кривошипа, от которого можно получить и задний и передний ход паровоза?
14. Для чего служит маятник в кулисном механизме Вальсхарта?
15. Чем отличается маятник для золотника с наружным впуском пара от маятника для золотника с внутренним впуском?
16. Какое движение имеет золотник, если камень кулисы механизма Вальсхарта поставлен в центре кулисы?
17. Почему перемещение камня по кулисе от одного крайнего положения до другого меняет ход паровоза на обратный?
18. Какое положение занимает поршень, если кулиса Вальсхарта находится в своем среднем положении?
19. Какой общий недостаток имеют все кулисные механизмы?
20. Перечислите системы парораспределения, не имеющие кулис.

ГЛАВА IV

ОСОБЫЕ СЛУЧАИ РАБОТЫ ПАРОВОЗНОЙ МАШИНЫ— ЕЗДА БЕЗ ПАРА И КОНТРПАР

§ 1. Езда с закрытым регулятором

В отличие от стационарных паровых машин (т. е. установленных на фундаментах—в заводских условиях) паровозные паровые машины часто находятся в движении при закрытом регуляторе. Ход поезда под уклон, по инерции—перед остановкой и т. д., во всех этих случаях движение паровой машины совершается по инерции, без применения силы пара.

Посмотрим, какие явления тогда происходят в паровом цилиндре.

Если паровая машина паровоза работает «под паром», а затем доступ пара из котла прекращается, то паровоз пойдет по инерции, при чем поршень и золотник будут естественно продолжать свое обычное *относительное* движение.

Так как пар в рабочую полость не впускается и пароподводящая труба закрыта, то при движении поршня, например от передней крышки к задней, в передней полости цилиндра будет получаться значительное разрежение. Золотник в это время держит открытым впускное окно полости, вследствие чего разрежение распространится и на золотниковую коробку и на пароподводящую трубу. Разрежение (разница давления в обеих полостях цилиндра) будет сильно тормозить ход поршня, а следовательно и вращение колес паровоза.

Что происходит в это время в другой, *нерабочей* полости цилиндра? В начале хода поршень (фиг. 15) выталкивает остаток отработавшего пара и воздуха под золотник и далее в атмосферу. Затем золотник, продвигаясь вправо, закроет паровое окно, и заполняющий левую (заднюю) полость остаток пара и воздуха начнет сжиматься. Давление повышается, ход поршня затормаживается.

Таким образом поршень будет энергично тормозиться, и паровоз в скором времени остановится.

Но последнее для нас крайне нежелательно, так как паровоз при закрытом регуляторе должен иметь легкий ход; это дает возможность часто прибегать к использованию инерции поезда в вышеупомянутых случаях и таким образом экономить пар, а следовательно и топливо.

§ 2. Клапан Рикюра

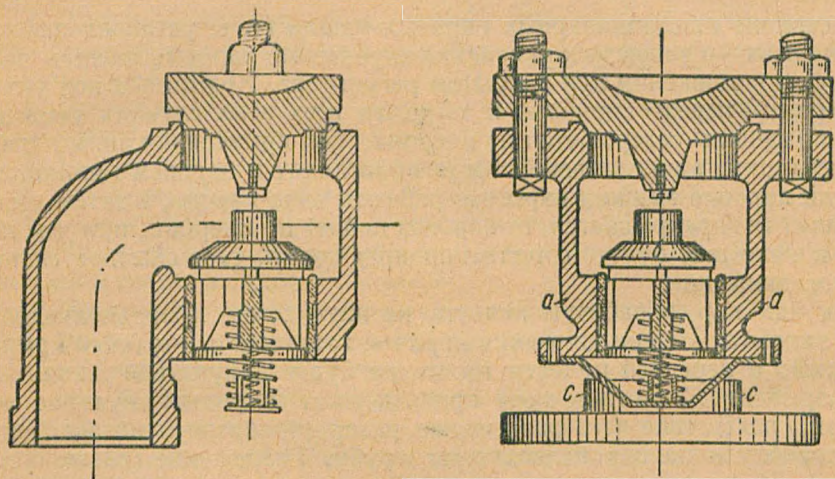
Для того, чтобы сделать легким ход паровоза при езде с закрытым регулятором, нужно уничтожить вредное разрежение в одной полости цилиндра и сжатие в другой, необходимо *уравнять* давления в них, приблизив эти давления к обычному атмосферному.



При цилиндрических золотниках такое *уравнивание* давлений в обеих полостях цилиндра может быть достигнуто применением особого типа цилиндрического золотника Трофимова, о чем будет сказано ниже.

При наличии *плоских* золотников на золотниковой коробке или на крышках цилиндра обычно ставят особые уравнивательные приборы — клапаны Рикюра, назначение которых заключается в том, чтобы при разрежении в золотниковой коробке (а следовательно и в цилиндре) открывать окружающему цилиндр воздуху доступ в золотниковую коробку. При наличии такого клапана разрежение в полости цилиндра будет незначительное, необходимое лишь для *засасывания* воздуха.

На фиг. 28 показан клапан Рикюра. Нижним фланцем *С* клапан укрепляется на золотниковой коробке. Клапан *б* и его седло отлиты



Фиг. 28.

из бронзы и установлены внутри чугунного корпуса так, что при поднятом клапане, как показано на фигуре, воздух свободно проходит сквозь отверстия в седле под клапан и направляется далее в цилиндр.

Если в золотниковую коробку впущен пар, то клапан сейчас же захлопывается давлением пара и таким образом золотниковая коробка оказывается разобщенной с атмосферой.

Для ослабления удара клапана о седло (при открытии регулятора), а также для облегчения подъема клапана (после закрытия регулятора) снизу клапана иногда устанавливаются небольшие пружины, опирающиеся нижними концами на поперечную скобку, привернутую к корпусу клапана.

Таким образом разрежение в полости цилиндра почти уничтожается. Что касается сжатия в другой полости, то оно в значительной мере может быть уменьшено постановкой камня кулисы в *крайнее* положение, соответствующее ходу паровоза. Рычаг перемены хода ставится в крайнее положение, и золотник получает при этом наибольший ход. Позднее закрытие выпускного окна в значительной мере уменьшает сжатие,

оставляя выход выталкиваемому поршнем воздуху почти на всем протяжении хода поршня.

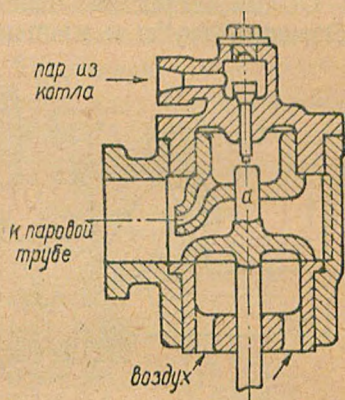
Таким образом при езде с закрытым регулятором нужно всегда ставить рычаг перемены хода паровоза в крайнее положение, соответствующее ходу паровоза. Это правило распространяется на все типы плоских и круглых золотников (кроме *трофимовских*, как будет указано дальше).

Клапан Рикюра—весьма несовершенный прибор. Впускаемый им воздух выталкивается далее через конус и, создавая разрежение в дымовой камере, усиливает горение в топке в то время, когда пар не расходуется машиной. Кроме того прогоняемый через цилиндр холодный воздух значительно охлаждает стенки цилиндра и поршень. Когда машинист снова откроет регулятор, пар будет поступать в холодный цилиндр и терять часть своего тепла. Последнее, как мы увидим впоследствии, крайне нежелательно.

Несмотря на эти два основных дефекта, клапаны Рикюра имеют до сих пор применение на многих паровозах, в том числе и на многих современных американских.

Сравнительно большое распространение на наших паровозах получил клапан Рикюра несколько более совершенной конструкции, показанный на фиг. 29. Такой клапан работает обычным порядком; в верхней части корпуса имеется дополнительный малый клапан, который открывается при подъеме основного клапана. Для совместной работы клапанов верхняя часть основного клапана снабжается хвостовиком *a*, упирающимся в хвостовичок малого клапана. Малый клапан, поднимаясь, пропускает в цилиндры пар из котла, увлажняющий струю воздуха, подаваемую основным клапаном. Такой сдвоенный клапан называется паровоздушным клапаном и имеет большое распространение на паровозах, работающих *перегретым паром*. Клапан обычно устанавливается при помощи особого патрубка на перегревателем коллекторе, снаружи котла.

Воздух и пар, проходя по пароперегревательным элементам, охлаждают их и тем самым предохраняют трубы элементов от обгорания. Заметим, что смесь воздуха и пара, проходя по элементам, значительно нагревается и часто смазка в цилиндрах начинает гореть. Наиболее рациональной является постановка паровоздушных клапанов на парорабочей трубе поблизости цилиндров.



Фиг. 29.

§ 3. Байпасы

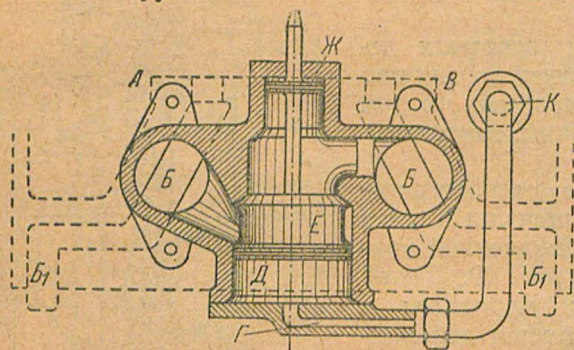
Более совершенными приборами для уравнивания давления воздуха в обеих полостях цилиндра при езде с закрытым регулятором являются уравнивательные приборы другого типа—*перепускные приборы*, называемые *байпасами*. Эти приборы при закрытии регулятора сообщают (посред-

ством особой трубы) одну с другой полости цилиндра, и во время хода паровоза заполняющий цилиндры воздух *перекачивается* из одной полости цилиндра в другую, затем снова в первую и т. д.

Конструкций байпасов существует несколько десятков, но все они имеют те или иные недостатки. Оказалось весьма затруднительным конструктивное осуществление идеи *вполне свободного* сообщения между собой полостей цилиндра при закрытом регуляторе и немедленного разобщения их при открытии регулятора. Уже одно наличие *десятков* типов байпасов показывает, какая большая работа была проделана при их конструировании и стремление отдельных изобретателей улучшить неудовлетворительную или малоудовлетворительную работу предыдущих образцов.

Общим дефектом байпасов является недостаточный диаметр общающей трубы и клапанов. Это вызывает значительное торможение

перегоняемого воздуха и чрезмерное нагревание последнего. Нагревание воздуха лишь частично уменьшается при постановке на паровоз в дополнение к байпасам паровоздушных клапанов. Нагревание воздуха разлагает смазочное масло на стенках цилиндров, дает твердый нагар, быстро изнашивающий как поршень, так и самый цилиндр.



Фиг. 30.

Помимо этого дефектом большинства типов байпасов является не надежная работа разобщающего устройства.

В самые последние годы получил некоторое распространение байпас Бондарева для паровозных цилиндров с плоскими золотниками, показанный на фиг. 30. Паровоз с такими байпасами становится более «ходовитым», чем с клапанами Рикюра. Помимо этого отпадают отрицательные качества паровоза, снабженного клапанами Рикюра.

Байпас Бондарева представляет собой чугунную коробку, крепящуюся сбоку цилиндра. На фиг. 30 пунктиром показаны уже знакомые нам паровые каналы; АВ—золотниковое зеркало цилиндра.

Корпус байпаса крепится двумя патрубками Б к цилиндру. В стенках последнего делаются два отверстия против паровых окон. Внутри корпуса расположен шток с двумя поршнями—Е и Ж. Нижняя камера Д соединяется с золотниковой коробкой посредством трубки Г.

При открытии регулятора пар из золотниковой коробки поступает по трубке Г в камеру Д и поднимает поршень Е в показанное на фигуре положение. Верхняя торцевая поверхность поршня Е, выполненная в виде тарельчатого клапана, разъединяет камеры ББ одну от другой, и работа паровоза происходит обычным порядком.

После закрытия регулятора в золотниковой коробке образуется раз-

режение, которое вместе с собственным весом клапана перемещает его вниз, камеры ББ сообщаются друг с другом, и поршень паровоза лишь перегоняет воздух из одной полости цилиндра в другую.

Если паровоз оборудован круглыми (цилиндрическими) золотниками, то уравнивание давлений обычно осуществляется применением особых раздвижных золотников системы Трофимова. Целый ряд лет на паровозах с круглыми золотниками ставились малоудовлетворительные байпасы сист. Зяблова, ныне потерявшие всякое значение.

Изобретателем Трофимовым был предложен и осуществлен принципиально новый удачный способ уравнивания давлений в полостях цилиндра—посредством *раздвижного* цилиндрического золотника—байпаса. Все типы обычных байпасов для паровозов с цилиндрическими золотниками оказались ненужными. В настоящее время почти все байпасы с таких паровозов уже сняты в связи с постановкой золотников Трофимова.

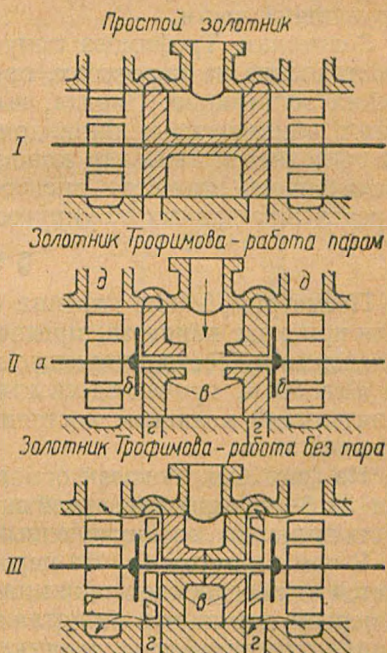
§ 4. Раздвижные золотники Трофимова

Сущность устройства золотников Трофимова заключается в том, что диски цилиндрических золотников, обычно наглухо закрепляемые на золотниковом штоке, как показано на схематической фиг. 31—I, получают возможность передвигаться по золотниковому штоку между двумя упорными шайбами, наглухо закрепленными на штоке. Схема золотников Трофимова показана на той же фиг. 31—II. Золотниковый шток *a* имеет две наглухо закрепленные шайбы *б*. На шток между шайбами свободно надеты два диска *в*.

Так как цилиндрические золотники выполняются с внутренним впуском пара¹, то пар, впущенный, как показано на фиг. 31—II стрелкой, в междудисковое пространство, прижимает диски к упорным шайбам, и *золотник под паром работает как обычный цилиндрический (поршневой) золотник*.

Если закрыть регулятор, то шток, продолжая свое возвратно-поступательное движение, столкнет (своими шайбами) диски в среднюю часть золотникового цилиндра (фиг. 31—III), где они и останутся в *покое* во все время движения паровоза с закрытым регулятором. Чтобы упорные шайбы *б* не касались остановившихся посередине дисков, кулисный камень и, следовательно, рычаг перемены хода необходимо ставить на *центр*,

¹ Некоторые паровозы, как например НЦ, ЩЧ, имеют наружный выпуск пара и при круглых золотниках.



Фиг. 31.

так как в этом случае ход золотникового штока минимален и равен всего лишь двойному линейному опережению плюс двойная величина перекрыши впуска.

Сдвинувшиеся к середине золотникового цилиндра диски открывают вполне свободное сообщение обеих полостей цилиндра между собой, так как впускные каналы z обеих полостей сообщаются между собой через выхлопные каналы d . А так как показанные на фиг. 31 выхлопные каналы идут в общую выхлопную камеру цилиндра, то перекачивание воздуха из одной полости цилиндра в другую происходит по соединительному каналу весьма большого сечения. Паровоз получает очень легкий ход, нагревание перекачиваемого воздуха отсутствует, и остановившиеся диски золотника не изнашиваются; тем самым не изнашиваются и стенки золотникового цилиндра.

Некоторым дефектом этих золотников является необходимость осторожного открытия регулятора, так как раздвигающиеся диски со значительной скоростью набегают на упорные шайбы и могут быть случаи поломок тех и других. Но этот дефект в общем устраним. Ударов дисков о шайбы можно избежать устройством достаточно упругой *паровоздушной подушки* между диском и шайбой, как об этом будет сказано в конструктивной части.

Золотники Трофимова получили вполне заслуженное широкое распространение на паровозах, предусматривающих постановку цилиндрических золотников. Правда, выпускаемые мощные паровозы ФД и ИС имеют обыкновенные цилиндрические (нераздвижные) золотники, но это объясняется тем, что конструирование золотников Трофимова для увеличенного диаметра дисков—задача, требующая ряда опытов по определению данных об упругости паровоздушной подушки.

§ 5. Контрпар

Посмотрим, какие явления будут происходить в паровом цилиндре, если при ходе паровоза, предположим, *вперед*, перевести камень кулисы в положение, соответствующее *заднему* ходу. Такое положение показано на фиг. 32, *б*, причем здесь для наглядности взят простой парораспределительный механизм, состоящий из золотникового кривошипа и золотниковой тяги.

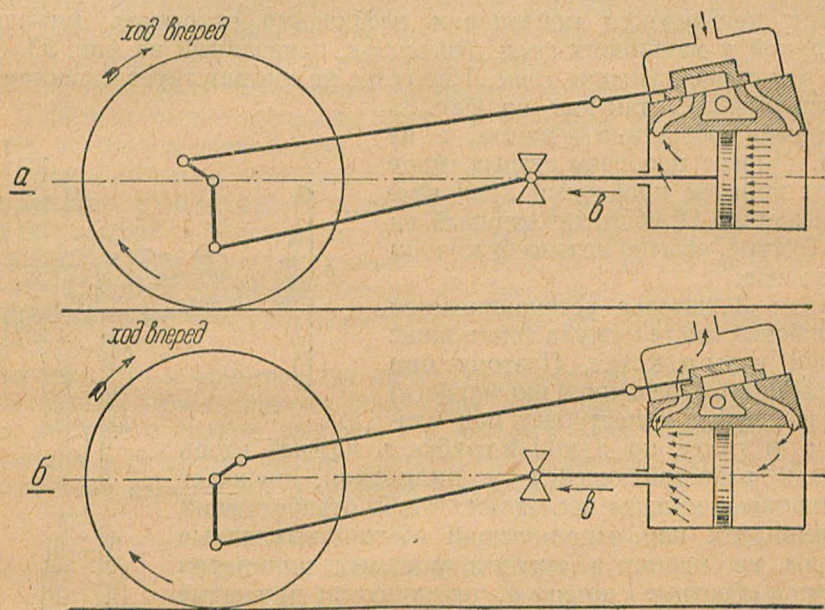
На фиг. 32, *а*, показан обычный ход паровоза под паром вперед, а на фиг. 32, *б*—упомянутый случай впуска пара в *противоположную* рабочей полости цилиндра, осуществленный золотниковым кривошипом *заднего* хода.

В том и другом случае паровоз движется вперед, поршень передвигается от передней крышки цилиндра к задней, как показано стрелкой *в*. В первом случае пар из котла поступал в золотниковую коробку, затем в цилиндр, *перемещал поршень* и далее выбрасывался в выхлопную трубу (фиг. 32, *а*). Во втором случае (*б*) *перемещающийся в цилиндре поршень* (за счет движущегося по инерции поезда) всасывает в цилиндр газы из выхлопной трубы и затем гонит их в котел, преодолевая полное давление пара в котле. Конечно для такого накачивания в котел газов требуется большая работа (для преодоления котлового давления пара) от движущегося *по инерции* поезда. Последний через непродолжительное время останавливается.

Этот способ торможения поезда (паровоза) называется торможением *контрпаром* или *противопаром*, так как пар из котла «впускается» все время навстречу движению поршня.

К контрпару приходится прибегать лишь при необходимости в быстрой остановке или уменьшении скорости поезда, имеющего слабые ручные тормоза, как это до последнего времени часто имело место в товарных поездах.

Переводить кулисный камень в положение обратного хода необходимо лишь *после открытия регулятора*, так как иначе в паропроводной трубе давление очень быстро возрастает: накачиваемые в нее газы не имеют



Фиг. 32.

выхода, благодаря чему произойдет или разрыв трубы, или поломка частей движущего механизма, не рассчитанного на чрезмерно большое давление в цилиндре, или наконец колеса паровоза остановятся, что вызовет сильное стирание (выбоины) бандажей колес.

Выхлопная труба от цилиндра подводится к конусу, находящемуся в дымовой коробке. Если машина при контрпаре будет засасывать газы, как только что упоминалось, то вместе с ними попадут в цилиндр кусочки несгоревшего угля и сажа. Стенки цилиндра и поршень будут быстро изнашиваться.

Кроме того нагнетаемые в котел газы и воздух вредно отразятся на работе котла. Воздух, попавший в паровую трубу инжектора, естественно не создаст в инжекторе нужного для засасывания воды разрежения, и инжектор не закачает. Удалить воздух из котла затруднительно: воздух тяжелее пара и поэтому он будет скапливаться над уровнем воды

слоем пара. Выпустить поэтому воздух через предохранительные клапаны почти невозможно (выпускают его через вестовую трубу инжектора или через сифонный кран).

Поэтому при пользовании контрпаром необходимо непременно пускать в ход *кран Лешателье*.

§ 6. Кран Лешателье. Включение контрпара

Кран Лешателье предохраняет котел от попадания в него воздуха (и газов) при контрпаре.

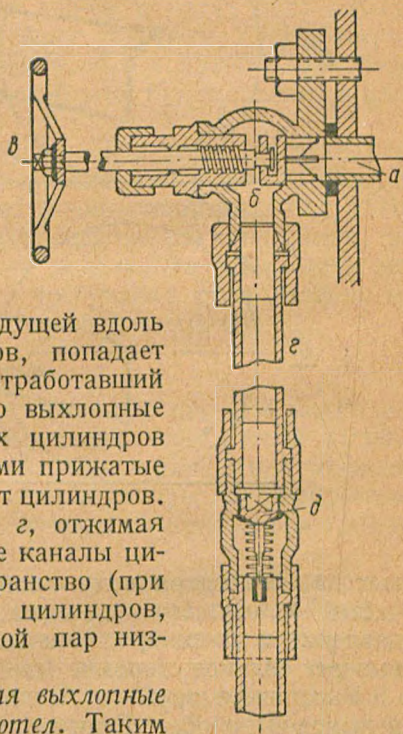
При пользовании контрпаром необходимо открывать имеющийся под рукой у машиниста *кран Лешателье*, показанный на фиг. 33. Заметим, что самое название *кран Лешателье* не соответствует истинному положению вещей, так как на фиг. 33 изображен собственно *вентиль*, а не кран. Многие паровозы старых типов имеют впрочем пробочный кран вместо вентиля. Прибор, показанный на этой фигуре, обычно называют краном Лешателье.

Кран Лешателье устанавливается на лобовом листе кожуха топki ниже уровня воды в котле. Поэтому при открытии его (вращением маховичка *в*) вода по трубке *а* поступает под клапан *б* и далее по длинной трубке *г*, идущей вдоль котла и разветвляющейся у цилиндров, попадает в выхлопные каналы последних. Чтобы отработавший в цилиндрах пар, заполняющий обычно выхлопные каналы, не проник в трубу *г*, у самых цилиндров ставятся обратные клапаны *д*, пружинками прижатые к своим седлам и разобщающие трубку *г* от цилиндров.

Котельная вода, пущенная в трубку *г*, отжимая обратные клапаны *д*, входит в выхлопные каналы цилиндров. Попадая в разреженное пространство (при контрпаре) и встречая горячие стенки цилиндров, вода почти полностью обращается в сырой пар низкого давления.

Эта смесь пара и воды, заполняющая выхлопные каналы, и нагнетается обратно в котел. Таким образом засасывания газов из дымовой камеры нет, стенки цилиндров сберегаются, в котел воздуха не поступает.

Перед тем как дать контрпар, нужно отпустить тормозные колодки колес паровоза (если они были заторможены). Это необходимо для того, чтобы избежать остановки колес при контрпаре. Необходимо также открыть продувательные краны цилиндров, служащие для спуска воды из последних. Для того чтобы дать контрпар, нужно:



Фиг. 33.

1) *подтянуть рычаг перемены хода поближе к центру*, отнюдь не переводя его даже на малую отсечку *обратного* хода, чтобы не порвать паропровода или других деталей;

2) *открыть кран Лешателье*;

3) *открыть регулятор на малый клапан*; опасаться увеличения скорости при этом не следует, т. к. слишком кратковременна такая работа;

4) *перевести рычаг перемены хода на небольшую отсечку обратного хода* и

5) *немедленно после этого открыть полностью регулятор*.

При пуске контрпара необходимо строго придерживаться изложенного порядка операций. Вообще от машиниста при торможении контрпаром требуются выдержка и особая внимательность.

Регулировать силу торможения контрпаром нужно рычагом перемены хода. Переводя рычаг перемены хода на большую отсечку обратного хода, мы усиливаем торможение.

Во время действия контрпара необходимо наблюдать за котловым давлением (по манометру). Увеличение давления покажет, что пара, подаваемого краном Лешателье, недостаточно и происходит дополнительное засасывание газов из дымовой камеры. В этом случае надо или увеличить открытие крана Лешателье или уменьшить отсечку.

Выключение контрпара производится теми же операциями, *только в обратном порядке*.

Отмечаем, что к пользованию контрпаром надо прибегать лишь при действительной необходимости скорейшей остановки или торможения поезда, имеющего слабые тормоза. На пассажирских паровозах, предназначенных для обслуживания составов, целиком оборудованных воздушными тормозами, кран Лешателье отсутствует.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Почему паровоз должен иметь легкий ход при езде с закрытым регулятором?

2. Что происходит в обеих полостях цилиндра при езде с закрытым регулятором?

3. Почему при езде с закрытым регулятором камень кулисы нужно переводить в крайнее положение, соответствующее ходу паровоза?

4. Что такое уравнильные приборы?

5. Для чего ставится на паровоз клапан Риккура? Опишите его устройство и действие.

6. Как устроен паровоздушный клапан и чем он отличается от клапана Риккура?

7. Что такое перепускной прибор (байпас)?

8. В чем заключается преимущество золотников Трофимова перед обыкновенными при езде без пара?

9. Как устроены золотники Трофимова?

10. Что такое контрпар?

11. Когда приходится пользоваться контрпаром?

12. Что произойдет, если перевести камень кулисы на обратный ход, не открыв при этом регулятора?
13. Какая цель преследуется постановкой крана Лешателье?
14. Как устроен кран Лешателье? Опишите его действие.
15. Почему машинист должен быть крайне внимательным при пуске контрпара?
16. Опишите порядок и перечислите названия операций для пуска контрпара.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1. Пользуясь схемой фиг. 20, начертите кулисный механизм Стефенсона, поставленный на центре (камень посредине длины кулисы) при низшем положении кривошипа.
2. Начертите механизм Стефенсона при наивысшем положении кривошипа, поставленный на передний ход при наибольшем наполнении.
3. Как изменится парораспределение, а вместе с тем и работа машины, если в кулисном механизме Стефенсона углы опережения, под которыми поставлены оба эксцентрика, сделать чрезмерно большими (например не 30, а 50°)?
4. Пользуясь схемой, показанной на фиг. 24, начертите расположение механизма Вальсхарта при кривошипе в низшем (а затем в верхнем) положении для переднего хода. В схемах покажите и расположение золотника.
5. В чем именно будет неправильность распределения кулисным механизмом Вальсхарта, если точка захвата кулисы расположена *выше* оси цилиндров, а золотниковый кривошип (*ОБ* на фиг. 23) перпендикулярен поршневому кривошипу *ОА*?
6. Составьте подробный перечень и мотивированно укажите порядок операций по *выключению* контрпара.

ГЛАВА V

ПОТЕРИ В ПАРОВОЙ МАШИНЕ

§ 1. Общие сведения

Превращение тепловой энергии пара в механическую работу по передвижению паровоза сопровождается целым рядом потерь. Далеко не вся энергия, получаемая паровой машиной, расходуется полезно. Обычно потеря энергии, заключенной в паре, достигает в паровой машине паровоза 30—50%, а при неблагоприятных условиях—и еще большей величины. Большие потери значительно повышают расход топлива и поэтому борьбе с этим должно уделить особо серьезное внимание.

Паровоз—весьма неэкономный двигатель. Если в топку паровоза вводится определенный запас содержащейся в топливе энергии, то только 6% (в среднем) ее можно реализовать для передвижения вагонов. Остальные 94% пропадают без всякой пользы для дела. В среднем в котле теряется 28% и в машине 66% всей энергии, содержащейся в топливе. Как видно, машина работает с огромными потерями.

Для успешной борьбы с потерями надо прежде всего детально изучить и проанализировать этот вопрос.

Проследим все потери в работе паровой машины. Для большей систематичности рассматриваем последовательно весь путь пара, устанавливая потери, имеющие место на отдельных его участках—от котла через регуляторный золотник, паропровод, золотники, цилиндры и наконец через выхлопную трубу и конус—в атмосферу.

§ 2. Потеря энергии на мятие пара

Мятие пара, а вместе с ним и потеря некоторой части заключенной в нем энергии, имеет место на многих этапах. Уже проходя через щель под клапан (или золотник) регулятора, пар теряет часть своей энергии, увеличивающуюся при слишком малом открытии регулятора. Последнее объясняется тем, что часть энергии пара затрачивается только на то, чтобы *проникнуть* в узкую щель. Чем уже щель, тем больше потеря. Поэтому регуляторный клапан в условиях нормальной работы паровоза должен быть открыт по возможности больше.

Мятие пара происходит, как мы уже знаем, и при проходе через паровые окна золотникового цилиндра (зеркала) при езде с малыми отсечками, т. е. при малом открытии окон. Здесь узкие щелевые отверстия также вызывают потери энергии пара. Борьба с мятием пара путем

увеличения отсечки затруднительно, так как отсечка должна устанавливаться в зависимости от величины работы, которую паровозная машина должна развивать в данный момент.

Лучшим способом уменьшить потери на мятие насыщенного пара при впуске его в цилиндр является применение *клапанного* парораспределения вместо золотникового. Но клапанное распределение пока не получает распространения на паровозах по целому ряду причин, к главнейшим из которых относятся—сложность устройства, ненадежность работы в условиях паровозной службы, необходимость тщательного и высококачественного ремонта. С некоторым мятением пара золотниками приходится мириться, принимая конечно меры к уменьшению мятия (увеличивая размеры окон). В общем мятие пара на паровозах, работающих насыщенным паром, не достигает больших значений при отсечках 0,25 и больше. Если в данный момент требуется меньшая отсечка,—перекрывают регулятор на меньшее открытие. Правда, в этом случае несколько увеличиваются потери на мятие в регуляторном клапане, но они не так велики, как в золотниках; при отсечках, меньших 0,25, пар проникает в цилиндр через узкие щели окон, едва открываемых золотником.

Отмечаем, что наличие линейного опережения впуска пара уменьшает мятие пара в начале впуска.

Другой мерой борьбы с мятением пара является применение на паровозах высокоперегретого пара.

Пар, перегретый до 350—360° Ц, весьма *текуч* и без труда проходит через узкие щелевые отверстия там, где плотный насыщенный пар терял значительную часть своей энергии. Эта текучесть перегретого пара позволяет машине работать с малыми отсечками без больших потерь на мятие пара. Но дальше мы увидим, что текучесть перегретого пара сопровождается другими видами потерь.

§ 3. Потери энергии пара на трение в паропроводах

Пар, проходя по тем или иным *паропроводам*, естественно испытывает трение о стенки труб. Паропровод от регулятора к пароперегревателю, проходы для пара в коллекторе, элементы перегревателя, паропровод от коллектора к цилиндрам, паровые каналы цилиндра и наконец выпускные трубы—все эти отдельные участки пути пара от котла до конуса обуславливают потери энергии пара (трение о стенки), так как часть его энергии затрачивается на преодоление трения; *давление пара заметно падает*.

Чтобы уменьшить падение давления, надо обеспечить пару более свободный проход. Последнее достигается увеличением *сечения* всех трубопроводов и каналов.

Однако не следует забывать, что увеличение живого сечения трубы вызывает соответственное увеличение наружной ее поверхности, а это повысит потери на охлаждение. Поэтому выбирают *скорости* протекания пара в паропроводах около 30 метров в секунду для насыщенного пара и до 80 метров в секунду для перегретого пара. Отсюда, зная количество расходуемого пара, получают сечение и диаметр паропровода. При

названных скоростях трение невелико, и трубы не получают слишком громоздкими. Перегретый пар, как более текучий, может проходить с очень большими скоростями, как только что указано, с минимальными при этом потерями на трение.

Величина потери на мятие в регуляторном клапане и трение о стенки паропровода колеблется обычно в пределах от 8 до 10% располагаемого давления пара.

§ 4. Потери на утечку

При хорошем состоянии частей паровой машины потеря на утечку сравнительно невелика. Если же сработавшийся золотник неплотно прилегает к зеркалу, если изношенные уплотнительные кольца поршня пропускают пар из одной полости цилиндра в другую, если сальники (поршневой и золотниковый) машины не имеют нужной плотности, если в машине имеются какие-либо другие неплотности или щели,— то потери будут значительными.

Все части машины должны поддерживаться в порядке, тщательно смазываться, во-время ремонтироваться. Хороший уход за машиной уменьшает потери на утечку.

При работе перегретым паром в особенности необходимо заботиться о хорошем состоянии машины, так как потери на утечку могут достигать больших величин (до 25% всего количества расходуемого пара).

Наибольшие потери на утечку имеют место в золотниках. Если круглые золотники имеют особые уплотнительные кольца, дающие достаточную герметичность даже при некотором износе последних, то при изношенных плоских золотниках потери на утечку под изношенный золотник весьма значительны.

Поршень также недостаточно герметично отделяет полости цилиндра одну от другой. Уплотнительные кольца поршня, о которых будет сказано в дальнейшем, даже и при хорошем состоянии пропускают некоторое количество пара из одной полости в другую. Чем медленнее ход машины, т. е. чем медленнее движется поршень в цилиндре, тем больше эти потери.

Значительная утечка под золотник или через поршневые кольца встречается часто. Обнаруживается она сравнительно легко простым способом. Для проверки плотности золотника машина паровоза ставится так, чтобы золотник занял *среднее* положение. Затормозив колеса и открыв продувательные краны цилиндров, открывают немного регулятор. Если в продувательные краны пойдет пар, *значит золотник неплотно прилегает к зеркалу и пропускает пар в цилиндр*. Во время работы паровоза неплотность золотника можно обнаружить также по шуму в золотниковой коробе.

Пропуск пара поршневыми кольцами может быть обнаружен однотипным способом: впусив пар например в *заднюю* полость цилиндра, смотрят, не появится ли пар из продувательного крана *передней* полости цилиндра. Появление пара покажет пропуск его поршневыми кольцами.

§ 5. Потери на конденсацию

Насыщенный пар, вступая в холодный цилиндр, несколько охлаждается, отдавая свое тепло нагревающимся при этом стенкам цилиндра. Это частичное охлаждение насыщенного пара вызывает его *конденсацию*. Пар частично конденсируется в воду, капельки воды осаждаются на стенках цилиндра, *давление пара при этом падает*. Падение давления уменьшает работу, даваемую машиной, так как уменьшается сила пара, толкающая поршень.

Конденсационную воду удаляют из цилиндров при помощи продувочных кранов, ставящихся в нижней части цилиндров. Вода несжимаема и поэтому, если ее не удалить из цилиндра, она явится причиной поломки частей движущего механизма, вышибания крышек цилиндра и т. д.

Потеря на конденсацию пара, в особенности большая при первоначальном пуске машины в ход, оказывается значительной и при установившемся режиме работы, когда цилиндр уже прогрелся.

Действительно, какова температура стенок цилиндра при установившейся (длительной) работе паровоза? Допустим, давление насыщенного пара, вырабатываемого котлом, — 13 атмосфер абсолютных (т. е. 12 избыточных). В регуляторном клапане и паропроводе пар неизбежно потеряет одну атмосферу (на мятие и трение) и поступит в цилиндр, имея давление 12 атмосфер (абсолютных).

В нижеприводимой таблице указаны различные степени упругости (давление), насыщенного пара и соответствующая им температура пара:

Упругость (давление) пара в атм.	Температура пара в град. Ц	Упругость (давление) пара в атм.	Температура пара в град. Ц
1	100	11	183
2	120	12	187
3	133	13	191
4	143	14	194
5	151	15	197
6	158	16	200
7	164	17	203
8	170	18	206
9	174	19	209
10	179	20	211

Из таблицы мы узнаем, что температура пара давлением в 12 атм. равна 187° Ц. Если давление отработанного пара, предположим, равно 3 атм, то его температура—133°Ц¹.

Таким образом пар входит в цилиндр, имея температуру 187°, а выходит лишь с температурой 133°. Ясно, что стенки цилиндра при устано-

¹ В действительности давление выхлопного пара еще меньше (1,1—1,4 атм.), потери тепла, как будет видно из дальнейшего, еще более возрастают.

вившемся режиме работы будут иметь температуру, примерно среднюю между этими двумя, т. е.

$$\frac{187 + 133}{2} = \frac{320}{2} = 160^\circ$$

Эта температура будет общей для всего цилиндра, так как каждый паровой канал то выпускает свежий пар, то выпускает отработавший. Разница между температурами выпускаемого пара и стенок

$$187 - 160 = 27^\circ$$

и показывает нам, насколько выпускаемый в цилиндр пар *горячее* стенок цилиндра. Именно эта разница в температурах и будет вызывать конденсацию пара еще в самом *начале* его работы в цилиндре. Такая потеря и называется потерей от начальной конденсации.

Отметим, что во время расширения пара в цилиндре происходит так называемая внутренняя конденсация, являющаяся результатом потери энергии расширяющегося в цилиндре пара. Вода в виде росы осаждается на стенках цилиндра.

В самом конце расширения температура все более и более расширяющегося пара становится более низкой, чем температура стенок цилиндра. Более горячие стенки начинают испарять осевшую на них воду. Происходит *вторичное испарение*; небольшое количество образовавшегося пара несколько замедляет общее падение давления пара. Конечно никакого выигрыша в полезной работе вторичное испарение не приносит. Действительно давление пара в конце расширения невелико, и самое падение давления замедляется лишь немного. Зато *выпускает* приходится большее количество пара, вследствие чего *противодавление* выпускаемого пара несколько увеличивается.

Самой серьезной потерей в работе паровой машины насыщенным паром является потеря от начальной конденсации. Эта потеря обычно колеблется в пределах от 10 до 30%, поднимаясь в некоторых случаях до 50—60% всего пара, поступившего в цилиндры.

Основных способов для борьбы с начальной конденсацией два.

Применение так называемого *последовательного расширения пара* (машины-компаунд) значительно уменьшает начальную конденсацию. Устройство машин-компаунд будет разобрано ниже, а пока укажем, что паровозные машины-компаунд имеют два цилиндра; в первом происходит лишь *частичное расширение пара*, поступающего затем во второй цилиндр для дальнейшего расширения. Основное достоинство машин-компаунд заключается в том, что в этих машинах температура выпускаемого и выпускаемого пара приближается одна к другой. Это в свою очередь приближает температуру стенки цилиндра к температуре выпускаемого пара. Начальная конденсация резко уменьшается. Машины-компаунд дают значительное сбережение пара (до 13%) и, следовательно, топлива. Они получили огромное распространение на наших старых паровозах.

Другой мерой борьбы с начальной конденсацией является применение перегретого пара. Мы знаем, что пар перегревается в том случае, если насыщенный пар, идущий от котла к цилиндрам, пропускается

через пучок мелких трубок (элементов перегревателя), помещенных внутри жаровых труб.

В элементах пар перегревается до температуры 340—400° Ц, и в таком перегретом состоянии, лишь немного остыв в паропроводе, пар поступает в цилиндр. Попадая в цилиндр, пар естественно несколько охлаждается, *но охлаждение вызывает лишь некоторое падение температуры пара и самое незначительное уменьшение его давления, в несколько раз меньшее, чем это имело место при насыщенном паре.* Это важнейшее свойство перегретого пара в дальнейшем будет разъяснено. *Начальная конденсация отсутствует вовсе,* мощность машины не уменьшается. Перегретый пар оказался в работе значительно выгоднее насыщенного. Все вновь строящиеся паровозы оборудуются, как правило, пароперегревателями. Преимущество, а также и недостатки применения перегретого пара детально будут разобраны ниже.

§ 6. Потери через стенки цилиндра и труб

Следующей по порядку потерей является потеря тепла через стенки цилиндра, золотниковой коробки и труб. Если потеря тепла паропроводом невелика, так как он обычно расположен на большей части своей длины в обогреваемой уходящими топочными газами дымовой камере, то потеря тепла через стенки цилиндра, окруженного холодным воздухом, может достигать значительных величин.

Для уменьшения потери через стенки цилиндр, золотниковая коробка, крышки цилиндра, а также и нижние концы паропроводных труб покрываются слоем изоляции—асбеститом, магнезитом или другим нетеплопроводящим веществом. Отмечаем, что изоляция деревом, пробкой или войлоком также хороша, но может употребляться лишь при работе насыщенным паром. При работе перегретым паром эти изоляционные вещества оказываются неудовлетворительными—при температурах 370—380° они начинают обугливаться и теряют свои изоляционные свойства. В случае необходимости применения для изоляции цилиндров машин, работающих перегретым паром, именно этих последних материалов—цилиндры покрываются сначала тонким слоем асбестита, и уже на асбестит кладут дерево, войлок и другие вещества.

§ 7. Потери с работающим паром

Первые паровые машины, работавшие без расширения, потребляли огромное количество пара. Расширение пара, получившее исключительное распространение на всех паровых машинах, значительно экономит пар. Чем больше пар расширится в цилиндре, тем экономнее работает паровая машина. Это мы уже знаем. Но степень расширения не может быть настолько велика, чтобы дать возможность пару расширяться в цилиндре до атмосферного давления.

Допустим, мы имеем пар давлением в 10 атмосфер и хотим работать с выхлопным давлением, равным атмосферному; для получения такого давления пар должен расширяться примерно в 10 раз (занять в 10 раз больший объем); следовательно, отсечка должна равняться 0,1. При

такой отсечке работа поршня за один ход крайне невелика. Вообще чем меньше степень наполнения (отсечка), тем меньше и работа, выполняемая поршнем за один ход. Упругость пара мы использовали полностью, израсходовали его самым бережливым способом, но полезную работу получили небольшую.

Для выполнения *требующейся* работы пришлось бы сделать громоздкий цилиндр с огромным поршнем, одно *трение* такого тяжелого поршня заставило бы расходовать лишний пар на работу по передвижению такого тяжелого поршня. Да и само усилие на поршень в *конце его хода* было бы настолько ничтожно, что большой полезной работы такая машина дать не могла бы.

Поэтому невыгодно делать слишком малые отсечки, и приходится мириться с тем, что пар уходит из цилиндра еще со значительным запасом тепла и, следовательно, энергии. При отсечке например 0,4 пар имеет выхлопное давление в 4 атмосферы (при тех же 10 атмосферах впуска), т. е. содержит в себе еще значительный запас энергии. Но главнейшая потеря тепла с уходящим паром заключается все-таки не в этом недостаточном его расширении.

На приготовление пара в котле затрачивается большое количество тепла. Посмотрим, сколько тепла затрачивается для того, чтобы 1 кг воды обратить в насыщенный пар, предположим, давлением в 12 атмосфер (абс.).

Для поднятия температуры 1 кг воды от 0° до 100° Ц (температура кипения воды при атмосферном давлении) необходимо затратить 100 калорий. Затем на превращение 1 кг нагретой до 100° воды в пар того же атмосферного давления затрачивается 539 калорий (это—скрытая теплота парообразования). Наконец для поднятия давления этого пара от одной атмосферы до 12 затрачивается дополнительно лишь 29 калорий. Таким образом 1 кг пара давлением 12 атмосфер содержит в себе тепла (так называемое *теплосодержание пара*)

$$100 + 539 + 29 = 668 \text{ калорий}$$

Если выпускать пар из машины давлением всего в 1 атмосферу, то все-таки огромное количество тепла, равное

$$100 + 539 = 639 \text{ калориям,}$$

будет пропадать без всякой пользы для работы машины. Но так как понижать давление выхлопного пара до атмосферного практически, как мы знаем, невыгодно, то эта потеря тепла будет еще больше.

В этой огромной потере тепла с отработавшим паром кроется главнейшая причина неэкономной работы паровой машины и всего паровоза по сравнению с другими типами двигателей.

Правда, отработавший пар, проходя через конус, дает нам некоторую полезную работу по созданию разрежения в дымовой камере, но это конечно ничтожная работа, тем более, что пар все равно должен быть выброшен в атмосферу.

Отнять некоторую долю тепла от уходящего пара (превратив ее в полезную работу) можно путем устройства особого *конденсатора (холодильника)*—прибора, дающего возможность значительно понизить давление выхлопного пара.

Конденсатор позволяет сильно разредить *нерабочую полость цилиндра*, т. е. осуществить значительно более полное использование тепловой энергии пара.

Конденсатор получил огромное распространение в стационарных паровых машинах. Основной частью его устройства является большая камера, в которую выпускается отработавший пар и впрыскивается холодная вода. Пар, встречая холодную воду, быстро конденсируется в воду. А так как сконденсировавшаяся вода занимает в 1 700 раз меньший объем, чем пар (атмосферного давления), то давление в конденсаторе получается значительно меньшее, чем атмосферное. Разрежается и *нерабочая полость цилиндра*, полезная работа машины значительно увеличивается.

Дополнительными частями конденсатора являются камера для охлаждения нагретой в конденсаторе воды, водяной и воздушный (для откачки попадающего в конденсатор воздуха) насосы.

Громоздкость устройства не позволяет конденсаторам получить распространение на паровозах, хотя в Германии за последние годы построено несколько паровозов с конденсаторами, установленными на тендерах¹.

Описанные паровозы работают экономнее обыкновенных; большая стоимость конденсаторной установки, ремонта ее ложится тяжелым бременем на стоимость самого паровоза и его эксплуатации.

§ 8. Сопротивление в конусе]

Отработавший в цилиндре пар должен пройти через *конус*—суженный насадок на конце выхлопной трубы. Сужение выхода создает сопротивление прохождению струи пара, и это повышает противодавление отработавшего пара в цилиндре. В конечном итоге полезная работа машины уменьшается.

Правда, сужение сечения выхлопной струи пара оживляет горение в топке, но при ненужности поддерживать оживленное горение сужение конуса приносит, конечно, лишь вред.

Возможность регулирования величины разрежения осуществлялась постановкой конусов переменного сечения. Предполагалось, что машинист будет затягивать конус лишь на непродолжительные отрезки времени—в случаях действительной необходимости. Практика же показала, что бригады пользуются обычно излишне затянутым конусом. Это вызывает чрезмерно увеличенное противодавление в *нерабочей полости цилиндра* с соответствующим уменьшением полезной работы машины. Переменные конуса теперь выходят из употребления. Учтя опыт американских жел. дорог, уже давно отказавшихся от переменных конусов, мы с 1931 г. также перешли на исключительную постановку постоянных конусов для всех вновь строящихся паровозов.

Отметим, что в последнее время получают распространение на наших новых паровозах конуса с фасонными насадками и конуса с раздельным выхлопом от обоих цилиндров¹; на американских парово-

¹ См. книгу того же автора „Мощные паровозы“.

зах Т^А и Т поставлены *звездчатые конуса*, показанные на фиг. 34. В этих конусах вылетающая струя пара разбивается на шесть струй, имеющих, естественно, *очень большую поверхность соприкосновения с топочными газами*, заполняющими дымовую камеру. Вследствие большого трения между частицами летящего в дымовую трубу отработавшего пара и частицами топочных газов дымовая коробка весьма сильно разрежается. *Повышение разрежения позволяет увеличить площадь сечения конуса по сравнению с круглым сечением обычного старого конуса*. Это уменьшает скорость выхода пара и соответственно уменьшает *противодавление в цилиндре*. Последнее для нас чрезвычайно ценно.

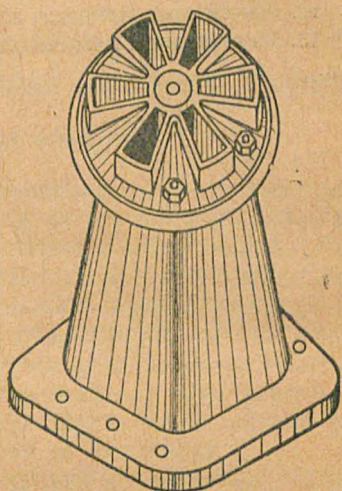
§ 9. Механические потери

Кроме всех вышеперечисленных потерь энергии пара, всегда имеют место и механические потери, уменьшающие полезную работу машины. Механические потери вызываются *трением* в частях машины и экипажа паровоза.

Движение поршня и золотника всегда сопровождается значительным трением; последнее в особенности велико у плоского золотника. Трение всегда имеет место и во всех других частях движущейся машины и экипажа при перемещении крейцкопфа по параллелям, во всех многочисленных шарнирах движущего и парораспределительного механизмов; в экипажной части паровоза имеется трение в шейках, в буксовых направляющих и т. д.

Уменьшить трение можно рациональной конструкцией тех или иных деталей, о чем будет сказано в дальнейшем, хорошим уходом (очистка от грязи, смазка) и хорошим ремонтом.

В обычных условиях при цилиндрических золотниках потери на трение в машине и экипаже колеблются в пределах от 3 до 5%.



Фиг. 34.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Что такое мятие пара? Какие меры нужно принимать для его уменьшения?
2. Почему избегают делать паропроводы большого диаметра, хотя потери на трение в них резко уменьшаются?
3. Почему скорости движения перегретого пара в паропроводах можно допускать примерно в 2—2½ раза большие, чем скорости насыщенного пара?
4. При каких условиях и в каких частях машины утечка пара часто достигает больших значений?
5. Что такое начальная и внутренняя конденсация пара?
6. Почему при охлаждении насыщенного пара он сейчас же начинает конденсироваться в воду?
7. Почему невыгодно работать с полным расширением пара в цилиндре (т. е. с расширением до 1 атмосферы)?

8. Что такое скрытое тепло парообразования и почему мы не можем реализовать это тепло (превратить в полезную работу) в цилиндрах паровых машин?

9. Что такое конденсатор (холодильник), какие выгоды он дает в работе паровой машины и почему конденсаторы не получают большого распространения на паровозах?

10. Почему конус оказывает сопротивление протеканию через него пара?

11. Какой новый тип конусов получает распространение и в чем заключается его преимущество перед старыми типами конусов?

12. Какой вред приносит затягивание переменного конуса?

13. Перечислите механические потери в паровой машине и в экипаже паровоза.

ГЛАВА VI

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ПАРОВЫХ МАШИН

§ 1. Способы уменьшения потерь

Все потери нужно стремиться свести к минимуму, поднять тем самым *экономичность* работы паровой машины, взять от нее возможно большее количество работы при том же количестве подводимого к машине пара.

Основной потерей, как указано выше, является потеря на начальную конденсацию. Все другие потери можно уменьшить теми или иными простыми средствами, но эту потерю, и притом главнейшую, можно уменьшить или даже вовсе устранить лишь *коренным изменением режима работы пара* в цилиндре (*применение машины-компаунд*) или *изменением самого состояния пара* (*применение перегретого пара*). Если первый способ лишь уменьшает конденсацию, то второй ее устраняет.

Есть еще один способ уменьшить начальную конденсацию—применить *особые прямоточные паровые машины*. Правда, последние не получили в паровозах сколько-нибудь широкого распространения, но они интересны для нас как реальные оправдавшие себя попытки уменьшить начальную конденсацию.

Что касается паровых машин-компаунд, то последние получили в свое время огромное распространение на паровозах. В настоящее время самый принцип компаунд-машины—принцип последовательного расширения—устарел и уступил место значительно более рациональному способу борьбы с конденсацией пара—*перегреву* пара. Перегретый пар получил самое широкое распространение на всех современных паровозах.

Но так как в настоящее время на нашей жел.-дорожной сети работает значительное количество старых паровозов с машинами-компаунд, ознакомление с ними хотя бы в общих чертах необходимо.

§ 2. Паровые машины-компаунд

Как уже упомянуто выше, паровые машины-компаунд имеют последовательное расширение пара в нескольких цилиндрах. В паровозах получило исключительное распространение *двукратное расширение пара*. Отмечаем, что стационарные машины, не так стесненные в своем весе и компактности, часто строились с трех и четырехкратным расширением пара.

Посмотрим, значительно ли приблизится в машине-компаунд температура стенок цилиндра к температуре впускаемого пара. Возьмем преж-

ний пример. Если в цилиндр машины простого (т. е. однократного) расширения впустить насыщенный пар давлением в 12 атмосфер (187° Ц), то при давлении выхлопного пара в 3 атмосферы (133° Ц) температура стенок будет на 27° ниже температуры впускаемого пара; налицо значительная начальная конденсация.

Предположим теперь, что мы имеем двухцилиндровую машину-компаунд. Пар, *частично расширившись* в одном цилиндре, затем впускается в другой. Поставив например кулисный механизм на отсечку 0,5, мы будем иметь расширение в первом цилиндре приблизительно с 12 до 6 атмосфер и в другом, следовательно, с 6 до 3.

Температура пара, впускаемого в паровой цилиндр,—187°, а выпускаемого—158° (эту температуру, соответствующую 6 атмосферам давления, берем из таблицы температуры и давлений пара на стр. 54), следовательно температура стенок первого цилиндра

$$\frac{187 + 158}{2} = 172,5^\circ.$$

Во втором цилиндре соответственно имеем температуру стенок:

$$\frac{158 + 133}{2} = 145,5^\circ.$$

Разница в температурах впускаемого пара и стенок цилиндра соответственно равна

$$187 - 172,5 = 14,5^\circ,$$

$$158 - 145,5 = 12,5^\circ.$$

Если мы сравним эти цифры с цифрой разницы температур для машины простого расширения (27°), то увидим, что в машине-компаунд температура стенок цилиндра значительно приблизилась к температуре впускаемого пара. И если так, то входящий в цилиндр пар *будет охлаждаться значительно меньше, т. е. значительно меньшей будет и начальная конденсация.*

Применив не двукратное, а трех- и четырехкратное расширение, мы можем начальную конденсацию уменьшить в еще большей степени. Но такие машины вследствие громоздкости не распространены на паровозах.

Другое преимущество машин-компаунд перед обыкновенными заключается в том, что первые *обеспечивают значительно большее расширение пара* при сравнительно больших отсечках. В машинах-компаунд большие отсечки, например 0,5—0,6, оказываются вполне допустимыми для нормальной экономичной работы машины. Действительно в первом цилиндре при отсечке 0,5 пар расширится примерно вдвое, т. е. его давление при выпуске будет равняться 6 атмосферам при 12 атмосферах давления впуска. Далее впущенный во второй цилиндр пар расширится примерно с 6 до 3 атмосфер. В машинах простого расширения отсечка (для получения того же давления выхлопа) должна бы определяться

$$\frac{3}{12} = 0,25.$$

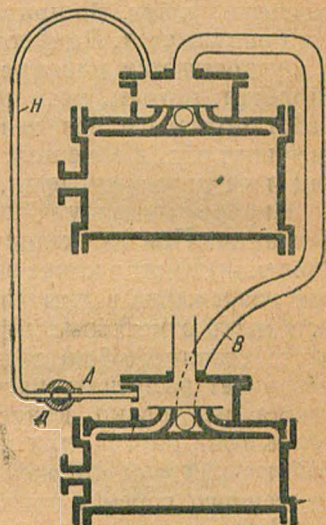
Величина работы *одного* цилиндра при такой малой отсечке, конечно, была бы незначительна. Правда, оба цилиндра (правый и левый) в

машине простого расширения работают *параллельно*, и суммарная мощность их будет конечно не меньше, нежели в приведенном случае (машина-компаунд), но потери на начальную конденсацию в простой машине значительно больше.

Первый цилиндр, в который пар вступает непосредственно из котла, называется *цилиндром высокого давления*, второй—*цилиндром низкого давления*.

В цилиндр низкого давления поступает пар значительно меньшего давления, нежели в цилиндр высокого давления. Поэтому для сохранения равенства работы цилиндров объем цилиндра низкого давления должен значительно превышать (в 2—2,4 раза) объем цилиндра высокого давления.

Схема устройства двухцилиндровой машины-компаунд показана на фиг. 35. Свежий пар из котла поступает в цилиндр высокого давления (нижний на фиг.) и, частично расширившись в нем, по трубе *В*, называемой *ресиверной трубой* (собирающей), подается в цилиндр низкого давления и оттуда уже выбрасывается в атмосферу. Для обеспечения равномерного впуска пара в цилиндр низкого давления ресиверная труба должна применяться достаточно большого объема, обычно не меньше объема большого цилиндра. Большой объем этой трубы заставляет выполнять ее значительного диаметра и достаточно длинной. Чтобы избежать тепловых потерь в самой трубе, ее размещают в дымовой камере, располагая обычно в виде большой петли.



Фиг. 35.

Двухцилиндровый паровоз-компаунд берет с места очень плохо, так как пар из котла поступает только в один цилиндр. Если поршень его находится в мертвом (или близком к нему) положении, паровоз не тронется с места. Поэтому в таких машинах применяется, например, дополнительная трубка *Н* (см. фиг. 35), соединяющая золотниковые коробки обоих цилиндров; на этой трубке помещают кран *Л* или какое-либо иное разобщающее устройство, посредством которого при трогании с места можно впустить пар и в другой цилиндр. Это обеспечивает трогание с места при любом положении кривошипов движущего механизма. Такое устройство для впуска свежего пара в цилиндр низкого давления называется *прибором отправления*, или *прибором трогания с места*. После одного-двух оборотов колеса прибор *Л* должен быть перекрыт, и машина начинает работать с нормальным для нее двукратным расширением пара.

Оба указанные преимущества машины-компаунд (уменьшение начальной конденсации и более полное расширение пара) являются *основными*

ее достоинствами, обусловившими в свое время огромное распространение таких машин.

Кроме того в машинах-компаунд значительно уменьшается утечка пара через неплотности поршня и золотника, так как разница в давлениях по обе стороны поршня и золотника значительно меньше, чем в обычных машинах однократного расширения.

К основным недостаткам машин-компаунд относится *сложность устройства их*. Это увеличивает стоимость паровоза, усложняет и затрудняет уход, удорожает ремонт. Недостатком является и *неизбежное неравенство работы цилиндров при различных отсечках*. Объемы цилиндров выбираются так, чтобы при наиболее употребительной отсечке обеспечить равенство работ. Но при увеличении или при уменьшении отсечки равенство нарушается. В действительности же отсечка не остается постоянной, а увеличивается или уменьшается в зависимости от условий профиля, скорости, погоды, веса перевозимого состава и т. д. Из-за неравенства работ правого и левого цилиндров паровоз получает беспокойный ход (извилистость движения), вредно отзывающийся как на самом паровозе, так и на рельсовом пути.

Паровозы-компаунд склонны к боксованию больше, нежели обыкновенные. При движении паровоза без пара большой цилиндр (низкого давления) гонит в конус огромное количество воздуха, создавая значительное разрежение в дымовой коробке и усиливая горение в топке. Чтобы устранить отмеченные дефекты, на выхлопной трубе большого цилиндра часто ставят особую задвижку, называемую *модератором*. Модератор позволяет выпускать нагнетаемый воздух непосредственно в атмосферу, минуя не только конус, но и самую дымовую трубу. Модератор открывают иногда при работе паровоза под паром; в этом случае отработавший пар выбрасывается в атмосферу минуя конус, не вызывая усиленного горения топлива.

Наличие модератора еще больше усложняет конструкцию машины, добавляя лишний рычаг управления в будке. Многие паровозы-компаунд модераторов не имеют. В последнем случае приходится мириться с излишне большим разрежением в дымовой коробке при езде с закрытым регулятором. Наличие двухцилиндровой машины-компаунд неблагоприятно отзывается и на работе топки. Если в простой машине паровоза за один оборот колеса происходит *четыре* выхлопа отработавшего пара в конус, то в компаунд-машине — только *два*. В этом случае разрежение в дымовой коробке колеблется, изменяется скачкообразно; при этом нарушается равномерное горение в топке. Унос топлива и общий расход его увеличиваются.

Наконец, потери на трение и отчасти на мятие пара в машине-компаунд больше, чем в машинах простого (однократного) расширения. В процессе работы пар должен пройти по двум паропроводам (вместо одного) и через два золотника (вместо одного).

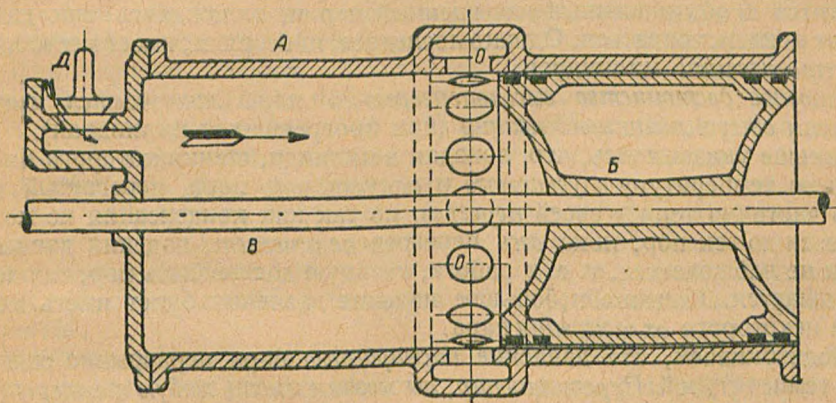
§ 3. Прямоточные паровые машины

Другим способом уменьшения потерь на начальную конденсацию является *разделение в цилиндре впускных каналов от выпускных*. Это

значительно уменьшает начальную конденсацию, так как та часть цилиндра, в которую производится выпуск свежего пара, оказывается более горячей, нежели та, из которой происходит выпуск. Пар в такой машине всегда движется в одну сторону от впускных каналов к выпускным, почему самая машина и получила название *прямоточной*, т. е. имеющей постоянное (*прямое*) направление потока пара.

Прямоточная машина впервые была сконструирована Штумпфом. На фиг. 36 показан продольный разрез цилиндра *А*. Правая крышка цилиндра, одинаковая с левой, на фигуре не показана. Пар в левую полость цилиндра впускается через клапан *Д*. Окна *О* для выпуска пара сделаны посередине длины цилиндра.

Пар, впущенный в левую полость, выталкивает поршень *Б*, сидящий на штоке *В*. Когда поршень подходит к одной из мертвых точек (правой на фигуре), он открывает своим корпусом выхлопные окна *О* и выпускает пар. Правая и левая полости цилиндра симметричны. Поршень *Б* делается



Фиг. 36.

очень широким; его ширина примерно равна его ходу, а цилиндр должен иметь длину, почти вдвое больше обычной. Большая длина цилиндра и большая ширина поршня обуславливаются расположением выпускных окон посередине длины цилиндра.

Прямоточная машина Штумпфа дает значительную экономию пара. В стационарных установках машины Штумпфа получили сравнительно большое распространение, но в паровозах—совершенно незначительное. Применению этих машин на паровозах препятствует громоздкость цилиндра и поршня: большой вес последнего затрудняет уравнивание движущихся частей машины и вызывает беспокойный ход паровоза. Другим дефектом является слишком быстрый и резкий выпуск отработавшего пара, сопровождающийся сильными и отрывистыми выхлопами в конус, уносящими много несгоревшего топлива.

Наконец, к дефектам относится и *слишком большое сжатие пара*, так какдвигающийся к крышке поршень еще в начале своего обратного хода перекроет выхлопные окна, и сжатие, начавшись очень рано, достигает чрезмерно больших величин.

Несмотря на упомянутые дефекты, паровозы с машиной Штумпфа все-таки экономнее простых. Отмечаем, что недавно Штумпф усовершенствовал свою машину: для выпуска пара применен золотник. В настоящее время эта машина находится в стадии испытания; уже первые результаты опытов говорят о большой экономии в расходе пара по сравнению как с обычной машиной Штумпфа, так и по сравнению с машиной-компаунд.

§ 4. Паровые машины, работающие перегретым паром

Если машины-компаунд и прямоточные машины в значительной мере уменьшают потери на конденсацию пара в цилиндрах, то *применение перегретого пара устраняет ее* целиком. Конечно до тех пор, пока цилиндры не прогреются, стенки их будут жадно отнимать тепло от поступившего пара. Последний, потратив на прогревание *весь свой перегрев*, обратится в обыкновенный насыщенный пар и, охлаждаясь еще далее, начнет конденсироваться. Однако последнее, повторяем, имеет место *лишь при прогревании* цилиндров.

Основное достоинство высокоперегретого пара заключается именно в полном отсутствии конденсации (при прогретых цилиндрах).

Раньше указывалось, что, попадая в цилиндр, стенки которого имеют среднюю температуру *впускаемого и выпускаемого* пара, перегретый пар лишь частично теряет своей *перегрев*, но так как конденсация не может начаться до тех пор, пока *весь* перегрев не исчезнет, падения давления почти не наблюдается, т. е. и работа, которую должен дать пар, также не уменьшается. Конечно, небольшое падение давления будет иметь место из-за некоторого *охлаждения* пара.

Подчеркиваем, что давление *насыщенного* пара неразрывно связано с его температурой. *Перегретая пар, мы можем иметь любую температуру пара при том же давлении, так что температура перегретого пара отнюдь не характеризует давления, как это характерно при насыщенном паре.*

Другим преимуществом перегрева пара является увеличение объема, происходящее при перегревании пара. Мы знаем, что всякое тело, в особенности газообразное, расширяется при нагревании. Если мы подаем из котла в пароперегреватель один кубометр насыщенного пара, то получаем из перегревателя примерно полтора (или даже еще немного больше) кубометра перегретого пара того же давления. Ясно, что, располагая большим объемом пара (того же давления), мы можем произвести и большую работу.

Не нужно также забывать, что насыщенный пар неизбежно содержит довольно значительное количество влаги (5—7%), уносимой паром из котла. В паровозах, работающих насыщенным паром, эта вода приносит болшой вред работе машины. В пароперегревателе же эта вода конечно *испаряется*. Полученный пар также перегревается. Таким образом за счет испарения влаги объем перегретого пара еще более увеличивается.

Какой же температурой перегрева пара нужно ограничиваться? Предел ставится исключительно условиями *смазки* машины и возмож-

ностью *коробления* отдельных частей машины, например золотников. Во всяком случае температура перегретого пара в $390\text{--}400^\circ\text{C}$ является предельной для существующих смазочных масел. Еще более высокая температура перегрева конечно может быть получена при соответствующей конструкции и размерах пароперегревателя, но в таком случае смазка начинает разлагаться, на стенках цилиндра образуется твердый нагар, царапающий поршневые кольца и самый цилиндр. Большая утечка пара из одной полости цилиндра в другую сведет на-нет выгоду от такого слишком высокого перегрева.

С другой стороны, уменьшение температуры нагрева не должно вызывать появления в конце расширения (когда пар имеет значительное понижение температуры) конденсации. Другими словами, *перегрев должен быть таким, чтобы пар и в самом конце расширения оставался перегретым паром*. Температура перегретого пара в $360\text{--}350^\circ$ отвечает этому условию.

Третьим, также немаловажным, достоинством перегретого пара является возможность целесообразно использовать крайне малые отсечки.

Для паровой машины, работающей насыщенным паром, отсечки, меньшие 0,25, невыгодны из-за слишком больших потерь энергии пара на мятие в паровых окнах и на конденсацию пара. Перегретый же пар, как мы уже указывали, настолько *текуч*, что оказывается возможным без больших потерь работать с отсечками 0,1—0,15, т. е. *работать со значительным расширением пара*. Большая текучесть перегретого пара объясняется его меньшей *плотностью*: пар занимает при том же весе значительно больший объем, чем насыщенный пар. Сырой насыщенный пар, к тому же содержащий в себе частично влагу, значительно более тяжел и плотен.

Изложенные преимущества *перегретого* пара по сравнению с насыщенным огромны. Именно этим объясняется широкое распространение перегретого пара в паровых машинах вообще и в паровозных в частности. Конечно конструктивно машины пришлось значительно изменить, усложнив некоторые детали. Значение и роль перегретого пара были осознаны не сразу. Лишь после удовлетворительного разрешения многих конструктивных вопросов перегретый пар стал получать значительное распространение. Во всяком случае можно твердо считать, что перегретый пар дает значительно больший, нежели двойное расширение, эффект, причем последний достигается более простыми средствами. В связи с этим машины-компаунды, работающие насыщенным паром, должны считаться устаревшими; они уступили место перегревным машинам.

Наряду с этими большими преимуществами нужно отметить и некоторые отрицательные качества перегретого пара.

Текучесть пара, позволяющая работать с меньшими отсечками, зачастую является причиной больших утечек, при неудовлетворительном состоянии машины. В незначительных неплотностях золотника, поршня, сальников и других деталей, где потери от утечки насыщенного пара были ничтожны, потери от утечки перегретого пара могут достигать больших значений. Плоские золотники вообще непригодны для работы перегретым паром, так как коробятся и дают огромную утечку из золотниковой коробки непосредственно в конус.

Смазка трущихся частей (необходимо применение специальных масел с высокой температурой вспышки) оказывается решающим моментом в работе поршня и цилиндрического золотника именно при перегретом паре. Действительно, насыщенный пар, содержащий в себе большее или меньшее количество влаги и частично конденсирующийся в цилиндре, сам по себе является смазывающим веществом для поршня и золотника. Перегретый же пар—совершенно сухое вещество, и для смазки названных и некоторых других деталей на паровоз приходится ставить особые *смазочные прессы*.

Конструкция всасывающих клапанов также усложняется: приходится ставить не обычные клапаны Риккура, а упомянутые выше паровоздушные клапаны.

Самая конструкция многих деталей при перегретом паре усложняется. Приходится особенно заботиться об уплотнении золотниковых дисков (поршней), поршня цилиндра, применять особые конструкции сальников с металлической уплотнительной набивкой, в несколько раз более дорогие, чем обыкновенные сальники с мягкой набивкой, применяемой в сальниках для насыщенного пара.

Наконец отметим, что и самый цилиндр для перегретого пара должен быть несколько больше, чем при насыщенном паре, так как перегретый пар при расширении теряет давление несколько *быстрее*, нежели насыщенный. Быстро уменьшающееся давление пара требует естественно большего цилиндра (большей площади поршня при той же длине хода поршня) для возможности совершения той же работы.

Хотя перегретый пар более текуч, чем насыщенный, потеря в трубопроводах от регулятора до цилиндров—при перегретом паре—выше. Это объясняется значительным *удлинением пути* перегретого пара, проходящего не только по обычным паропроводам, но и по длинным перегревательным элементам.

В заключение укажем, что дальнейшей мерой по поднятию экономичности работы паровоза является одновременное применение на паровозе и перегретого пара и двукратного расширения. Конечно в этом случае машина расходует пар еще экономичнее, но *сложность* конструкции таких паровозов ограничивает пределы их применения.

На основании недавно произведенных точных испытаний Метцельтин (Германия) нашел величины экономии от применения двукратного расширения и перегретого пара. На паровозе, работающем насыщенным паром, простая машина была заменена машиной-компаунд, экономия в расходе пара получилась равной 13%. Если на тот же паровоз, имеющий простую машину, поставлен пароперегреватель, экономия получается в 19%. Наконец, если тот же паровоз оборудован и машиной-компаунд и пароперегревателем, экономия достигает 25%.

Эти цифры показывают, что постройка на паровоз пароперегревателя дает значительно большую экономию пара, чем постройка сложной машины-компаунд. Добавление же на перегревный паровоз машины-компаунд увеличивает экономию лишь на $25 - 19 = 6\%$ по сравнению с перегревным паровозом, оборудованным машиной простого (однократного) расширения, а сложность такого паровоза резко увеличивается.

Результаты этих опытов лишней раз подчеркивают правильность взятой нами установки на постройку на всех наших паровозостроительных заводах новых паровозов как прежних типов (ЭМ и СУ), так и новых (ФД, ИС и др.), оборудованных простыми двухцилиндровыми машинами и, конечно, пароперегревателями.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. В чем заключается основная и наиболее значительная по величине потеря в работе паровой машины насыщенным паром?
2. Какие основные меры борьбы с конденсацией пара?
3. Как устроена машина-компаунд?
4. Перечислите все преимущества и недостатки машины-компаунд по сравнению с машиной простого расширения.
5. Что такое ресивер и как велики должны быть его размеры?
6. Почему цилиндр низкого давления в машинах-компаунд устраивается значительно большего диаметра, чем цилиндр высокого давления?
7. Почему двухцилиндровый компаунд-паровоз необходимо оборудовать приборами отправления? Опишите работу прибора отправления.
8. Как устроена прямоточная машина Штумпфа, в чем ее достоинства и недостатки?
9. Что такое перегретый пар и какое его основное свойство?
10. Какие соображения заставляют ограничиваться температурой перегретого пара не свыше 380—400° Ц?
11. В чем заключаются преимущества перегретого пара перед насыщенным?
12. Сколько процентов экономии пара дает постройка на паровоз (с простыми машинами) пароперегревателя?
13. Почему плоские золотники работают неудовлетворительно при перегретом паре?
14. Почему цилиндры перегретных паровозов должны быть несколько большего диаметра, чем цилиндры паровозов, работающих насыщенным паром?
15. Какой тип паровоза (по машине) принят для постройки на всех наших паровозостроительных заводах и почему?

ГЛАВА VII

ТИПЫ ПАРОВОЗНЫХ ПАРОВЫХ МАШИН

§ 1. Краткий обзор типов паровых машин

Стремление к усовершенствованию, повышению экономичности работы паровозов и их паровых машин обусловило наличие большого разнообразия работающих на нашей сети типов паровозных машин.

За последние годы, как мы уже знаем, наметился наиболее удовлетворительный в конечном итоге тип паровой машины—двухцилиндровый, простого расширения, работающий перегретым паром.

В настоящее время строятся и предполагаются к дальнейшей стройке именно такие паровозы.

С другой стороны, еще не выслужило срока амортизации большое количество старых типов паровозов, с чем также приходится считаться. Огромное большинство этих паровозов оборудовано машинами-компаунд.

Таким образом исторически сложилось наличие двух групп машин: машины-компаунд и машины простого расширения.

По роду применяемого пара паровые машины распадаются на две группы—работающие насыщенным и работающие перегретым паром.

Отметим, что большинство машин-компаунд работают насыщенным паром (устаревшие типы), а большинство паровозов с перегревом пара имеют простые машины (более современные типы).

Наконец весьма существенным конструктивным различием паровозов является *число паровых цилиндров*. Кроме уже знакомых нам двухцилиндровых паровозов, на нашей сети имеется некоторое количество паровозов с многоцилиндровыми машинами,—с числом цилиндров до четырех.

Если в настоящее время при работе перегретым паром обычно ставятся двухцилиндровые машины, то при машинах-компаунд больший смысл имело ставить многоцилиндровые машины, в особенности для пассажирских паровозов. Действительно, при наличии например четырех цилиндров часто оказывается вполне возможным уравнивать работу машин правой и левой сторон паровоза и получить возможность работы паровоза с очень большими скоростями. Трогание с места и разгон поезда посредством таких паровозов облегчаются.

С другой стороны, наличие на паровозе трех или четырехцилиндровой машины позволяет значительно увеличить мощность паровоза, что является немаловажным достоинством таких многоцилиндровых машин. К постановке четырех цилиндров и применению так называемых *сочлененных* паровозов, когда под котлом размещены две независимых одна

от другой тележки с поставленными на них машинами, часто прибегали за последние два-три десятилетия в Америке и в редких случаях у нас. Сочлененные паровозы строились преимущественно для больших мощностей. Такие паровозы выполнялись в Америке как с машинами-компаунд, так и с машинами простого расширения. В последнем случае все четыре цилиндра получают свежий пар непосредственно из котла.

В Америке кроме того имеется несколько экземпляров крупнейших шестицилиндровых паровозов-компаунд. Третья пара цилиндров этих паровозов размещена на тендерной раме. Колеса тендера являются также *движущими*. Размеры всех шести их цилиндров примерно одинаковы. Пар из каждого цилиндра высокого давления поступает в два цилиндра низкого давления. В виду сложности и ряда конструктивных дефектов эти паровозы не получили дальнейшего распространения.

Наконец необходимо отметить, что при мощном котле современных паровозов обычно имеется избыток *паропроизводительности* при трогании с места, или при езде на подъеме, когда число оборотов машины невелико (малая скорость), и как бы ни была велика отсечка, машина расходует пара значительно меньше того количества, которое может дать мощный котел. А так как при указанных условиях работы от паровоза требуется максимум тягового усилия, то в Америке получили сравнительно широкое распространение небольшие *вспомогательные* паровые машины, устанавливаемые на тележках тендера. Эти машины, получившие название *бустеров*, включают только на малых скоростях, т. е. как раз в периоды избытка паропроизводительности, и в то время, когда паровоз должен развивать наибольшую силу тяги. При достижении определенной скорости бустер выключается¹.

Для более удобного рассмотрения типов машин делим их на две наиболее отличающиеся одна от другой основные группы—двухцилиндровые и многоцилиндровые машины.

§ 2. Двухцилиндровые паровые машины

Двухцилиндровые машины являются наиболее распространенными на нашей сети. Ими оборудовано огромное большинство наших паровозов.

Часть старых типов и большинство современных паровозов имеют *простую машину*. К этим типам относятся серии паровозов: Б, Г^п, Е, З, И, К, К^у, Н^п, О^п, С, С^у, Щ^п, Э, Э^у, Э^м, V, Ь и Ъ, а также и новые типы мощных паровозов—серии ФД, ИС, Т^а и Т^б.

Построенный на Луганском заводе сверхмощный товарный паровоз типа 2-7-2 (с нагрузкой на спаренную ось в 20 тонн) имеет также простую двухцилиндровую машину.

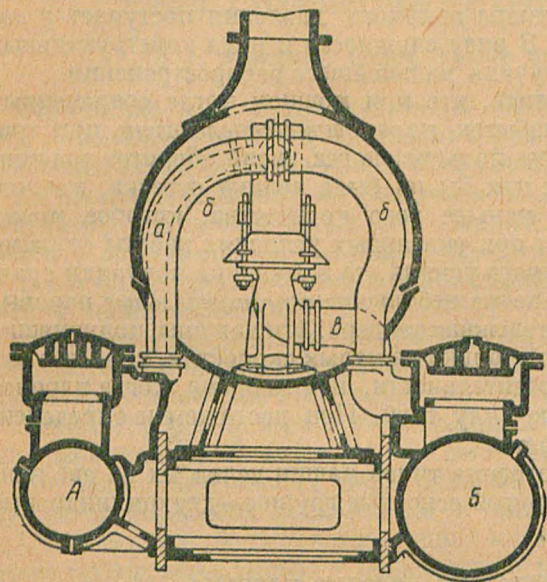
Почти все перечисленные серии паровозов оборудованы пароперегревателями. Исключение составляют лишь мелкие танк-паровозы серии Ь и часть более крупных танк-паровозов серии Ъ, машины которых работают насыщенным паром.

Приведенный перечень серий показывает, что большинство перечисленных паровозов сравнительно не старого возраста.

¹ Устройство и работа бустера—см. книгу того же автора «Мощные паровозы».

Двухцилиндровые машины-компаунд стоят в большинстве на более старых типах паровозов.

Наиболее распространенные в настоящее время паровые машины-компаунд имеют два цилиндра. На фиг. 37 показан поперечный разрез паровоза с такой машиной. Цилиндр высокого давления (обычно—правый по ходу паровоза) обозначен А, цилиндр низкого давления—Б; труба б—ресивер, а—впускная труба цилиндра высокого давления (показана пунктиром, так как она расположена сзади ресивера), в—выпускная труба цилиндра низкого давления, подходящая к конусу.



Фиг. 37

Машины этого типа стоят на паровозах серий: А, Г, Н^о, Н^д, Н^в, Н^в, Н^у, О^д, О^в, О^ч, Щ, Щ^ч и Ы^ч.

Из перечисленных серий могут считаться еще не устаревшими лишь паровозы серий Щ^ч и Ы^ч, оборудованные и машиной-компаунд и перегревателем.

Поясним индексы, стоящие [возле заглавных букв, присвоенных отдельным сериям.

Значок у—обозначает усиленный тип паровоза какой-либо серии. Например Су—усиленный паровоз прежней серии С; Ку—усиленный паровоз прежней серии К и т. д.

Значок п отмечает наличие на паровозе простой машины, работающей перегретым паром. Например Н^п, О^п.

Значок ч показывает, что на паровозе имеется компаунд-машина, работающая перегретым паром. Например О^ч, Щ^ч и т. д.

Значки д, в и в возле серий Н и О обозначают систему кулисного механизма Джоя или Вальсхарта, а малая или большая буква (т. е. строчная или заглавная)—индексы, присвоенные этим сериям паровозов в зависимости от диаметра спаренных колес. Паровозы Н^в и Н^д имеют колеса диаметром 1700 мм, а Н^д и Н^в—1900 мм.

Значок м у серии Э подчеркивает модернизацию этого паровоза. С 1932 г. эти паровозы выпускаются заводами с повышенным до 14 атмосфер (изб.) вместо 12 у Э и Эу давлением пара в котле.

Индексы А и Б у мощных паровозов серии Т обозначают первые буквы названия американских заводов, построивших эти паровозы: А—Американская локомотивостроительная компания и Б—Балдвин.

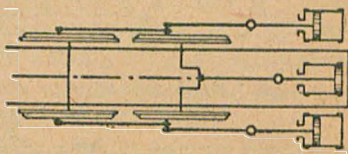
Наконец, отмечаем, что нашим первым мощным паровозам новых типов советской постройки присвоены инициалы великих вождей пролетариата. Товарный паровоз типа 1-5-1 имеет присвоенную ему серию ФД («Феликс Дзержинский»). Пассажирский паровоз 1-4-2 имеет серию ИС («Иосиф Сталин»).

Некоторое количество старых паровозов серий Н, О и Щ за последние 8—9 лет было *модернизировано*. Так, пассажирский компаунд-паровоз Н^В был переделан на простую машину и перегрев пара (серия Н^П), товарные паровозы О^В и Щ были переделаны на работу перегретым паром (серии О^ч и Щ^ч). Модернизация повысила экономичность работы паровозов, одновременно повысив их мощность.

§ 3. Многоцилиндровые паровые машины

Наличие на паровозе многоцилиндровой машины, как указано выше, оправдывается отчасти на быстроходных пассажирских паровозах, имеющих машины двойного расширения. Обычно такие паровозы оборудовались четырьмя цилиндрами: ставились два цилиндра высокого давления и два—низкого.

Все четыре цилиндра в пассажирских и некоторых небольших товарных паровозах размещались в передней части паровоза. Что же касается крупных товарных паровозов, строящихся с четырьмя цилиндрами, то здесь обычно применялись *сочлененные* паровозы, и цилиндры располагались на двух независимых одна от другой тележках, находящихся под одним мощным паровым котлом.



Фиг. 38.

Многоцилиндровые машины отличаются большой сложностью своего устройства.

В особенности сложными оказываются четырехцилиндровые машины-компаунд.

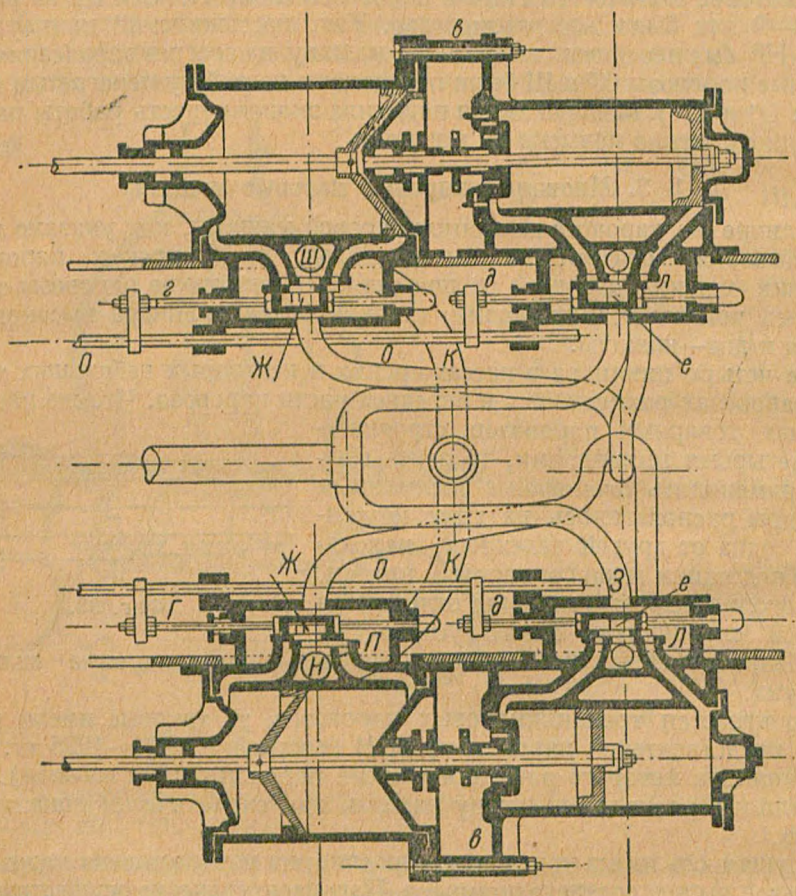
Что касается трехцилиндровых паровозов, то таковые имели у нас своим представителем паровоз серии М (постройки 1924—1925 гг.), все три цилиндра которого работали свежим паром (простая машина). Третий цилиндр расположен между рамами, как схематически показано на фиг. 38.

Ведущая ось имеет коленчатое строение; на шейку колена надевается поршневое дышло среднего цилиндра. Парораспределение осуществляется тремя кулисными механизмами, хотя некоторые трехцилиндровые американские паровозы имеют два кулисных механизма (к наружным цилиндрам), а движение золотника третьего (внутреннего) цилиндра берется от особой системы рычагов, соединяющих передние концы золотниковых штоков наружных машин.

Наличие третьего цилиндра дает: 1) большую мощность паровоза по цилиндрам, 2) более равномерное тяговое усилие за один оборот колеса (более равномерный *крутящий момент*), 3) значительно лучшее уравнивание сил инерции; отметим, что все три кривошипа расположены под углом 120° один к другому, и 4) более равномерное разрежение в дымовой камере, так как за один оборот колеса имеют место шесть выхлопов отработавшего пара.

Паровоз серии М оказался неудачным в силу ряда конструктивных дефектов; постройка этих паровозов прекращена.

Паровозы М имеют целый ряд конструктивных дефектов. Одним из существенных дефектов является большой наклон (к горизонтали) среднего цилиндра. Это вызывает беспокойный ход паровоза. Учтя



Фиг. 39.

кроме того, что цилиндровая мощность этих паровозов вообще несколько велика, НКПС только-что провел (в течение 1932—1934 гг.) вполне разумное мероприятие—выключил из работы средний цилиндр у всех паровозов М с соответствующей переделкой других частей машины. Таким образом все паровозы М превращены в обычные двухцилиндровые.

Работа паровозов улучшилась, тем более, что по Условиям прочности котла оказалось возможным поднять в нем давление с 13 до

14,5 атм. Это вместе с несколько увеличившимися рабочими отсечками компенсировало уменьшившуюся цилиндровую мощность паровоза.

Перейдем к рассмотрению четырехцилиндровых паровозов. Цилиндры этих паровозов могут быть расположены разнообразно. Если рама паровоза жесткая (т. е. *один* экипаж под котлом), то цилиндры могут быть расположены по одному с боков рамы (снаружи) и два—между рамными листами, или же все четыре цилиндра могут быть расположены по бокам рамы попарно один за другим. Последнее расположение, более старое и менее удачное, показано на фиг. 39.

На этом рисунке показано типовое расположение цилиндров паровых машин паровозов старинной серии Р. На каждом штоке сидят по два поршня, работающие в последовательно расположенных цилиндрах. *Машины-компаунд с последовательно расположенными цилиндрами, имеющие один общий шток с двумя поршнями, называются машинами тандем-компаунд.*

Пар поступает из котла по паропроводам 3 в цилиндры высокого давления. Отработавший в них пар через выпускные патрубки поступает в ресиверы, имеющие обычно фасонную форму для достижения большей длины их и, следовательно, объема. Из ресиверов пар поступает в золотниковые коробки цилиндров низкого давления и далее в цилиндр низкого давления, из которых через патрубки *Н* и *Ш* выбрасывается по трубам *К* в конус. Золотники *Ж* и *е* каждой пары цилиндров приводятся в движение штоками *г* и *д*, жестко соединенными, как показано на рисунке, с основными золотниковыми штоками *О*.

Машины такого типа хотя и работают до сих пор, но могут служить примером слишком сложных и неудобных в обслуживании и ремонте конструкций.

В динамическом отношении эти машины также неудовлетворительны и обуславливают беспокойный ход паровоза.

Парораспределительные механизмы размещены (как это часто делалось в старых паровозах) в неудобных для осмотра, ухода и ремонта внутренних междурамных промежутках. Уход за сальниками, размещенными между цилиндрами высокого и низкого давления, весьма затруднителен.

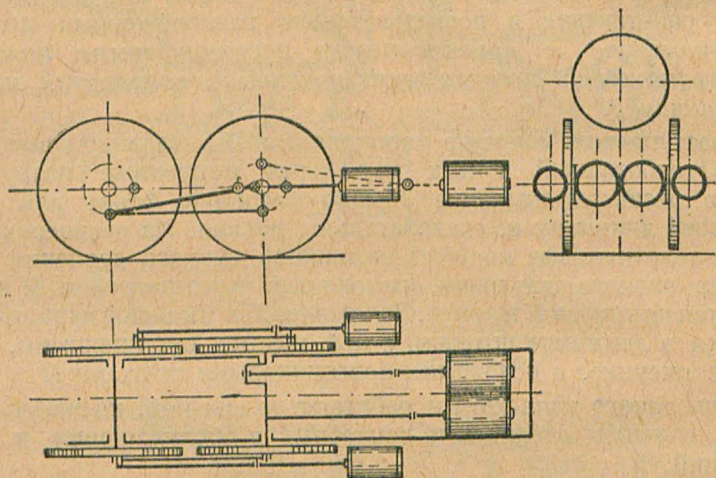
Более современным типом четырехцилиндровых машин-компаунд являются машины с коленчатой ведущей осью, где два цилиндра расположены *между* рам. Схема такого расположения цилиндров показана на фиг. 40. Снаружи рам размещены цилиндры высокого давления и между рам—цилиндры низкого давления. *Ведущими* осями здесь являются *две* оси, что конечно благоприятно отзывается на уменьшении нагрузок от силы пара, приходящихся на каждую ось. Эта система машины-компаунд предложена *де-Гленом*.

Применена она на наших паровозах серий *У* и *УУ*, отличающихся спокойным ходом при больших скоростях, что объясняется хорошим взаимным уравниванием движущихся частей машины.

Многочисленные другие типы расположения цилиндров машин-компаунд и другие способы приведения колес во вращательное движение

здесь не рассматриваются, как не получившие распространения на нашей сети или примененные на паровозах, уже списанных с инвентаря жел. дорог.

Что касается четырехцилиндровых машин простого расширения, то таковые имеют одно основное достоинство—почти полное взаимное уравнивание движущихся частей, так как поршни, крейцкопфы и другие детали каждой пары движущих механизмов имеют все время *встречное движение*. При таком встречном движении взаимно уничтожаются силы инерции отдельных частей машины. Предельные допустимые скорости движения таких паровозов очень велики. Рядом расположенные четыре цилиндра (т. е. два снаружи и два между рамами) *простой машины*



Фиг. 40.

дают лучшее уравнивание, так как детали всех механизмов могут быть сделаны одинакового веса и размеров, в то время как такие же четырехцилиндровые машины-компаунд, имея разные размеры цилиндров, несколько хуже уравновешены.

Наш паровоз серии Л имеет такую четырехцилиндровую машину простого расширения.

К недостаткам четырехцилиндровых паровозов, помимо отмеченной нами крайней сложности, относится и то, что они должны обязательно иметь двухколенчатую ось. При *изготовлении двухколенчатой оси* необходимость выполнить два колена на небольшой длине оси, равной расстоянию между буксами, заставляет перерезать волокна металла, в то время как наличие *одного* колена (например у ведущей оси паровоза серии М) позволяет при отковке лишь *изгибать* ось под некоторыми углами—для получения колена.

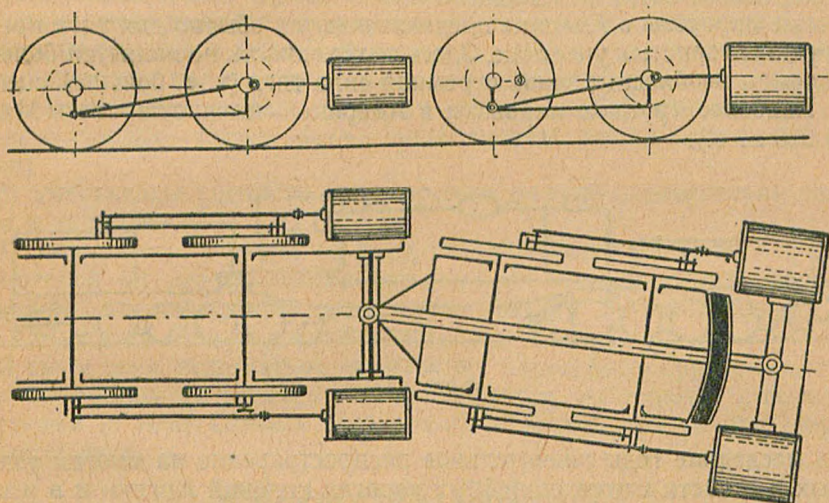
Двухколенчатые оси менее надежны в работе, чем одноколенчатые и тем более простые прямые.

Что касается *сочлененных паровозов*, то здесь также наблюдается большое разнообразие типов машин.

Так как эти паровозы появились в сравнительно недавнее время и самая постройка их вызвана предъявлением увеличенных требований к мощности паровозов,—огромное большинство сочлененных паровозов имеют перегрев пара.

Характерной особенностью сочлененных паровозов считается наличие мощного котла, опирающегося на экипаж, состоящий из двух тележек.

Наибольшее распространение из всех сочлененных паровозов как на наших, так и зарубежных дорогах получили паровозы *дуплекс-компаунд*, в которых цилиндры, установленные на задней тележке, являются



Фиг. 41.

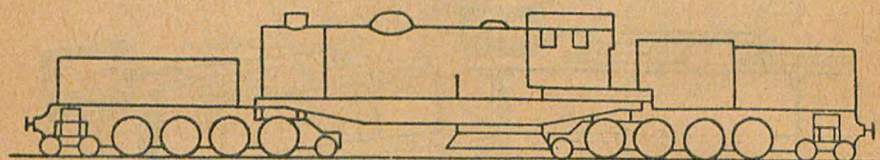
цилиндрами высокого давления, а цилиндры, размещенные на передней тележке,—цилиндрами низкого давления. Этот тип схематически показан на фиг. 41.

Свежий пар из котла входит в оба задних (левых на рисунке) цилиндра высокого давления, размещенных на раме, жестко связанной с котлом. Из этих цилиндров пар по длинному ресиверу переходит в два цилиндра низкого давления, расположенных на второй раме, могущей отклоняться (при проходе закруглений пути) от своего среднего положения. Это отклонение осуществляется вращением всей передней тележки относительно шкворня, расположенного в передней части задней рамы, как это показано на фиг. 41. Паровозы-компаунд этой системы называются паровозами типа Маллет, по фамилии первого их конструктора. Паровозы Маллет имеются у нас на дорогах, им присвоена серия Θ и Q^4 ($Q^{ЧВ}$).

Паровозы Маллет, хотя и строились сравнительно продолжительный отрезок времени (отчасти у нас и в особенности в Америке), себя не оправдали. Их существенным дефектом является *громоздкость* всего

паровоза и несогласованность работы обеих пар цилиндров. Эта несогласованность легко вызывает боксование то одной, то другой группы спаренных колес. Если забоксует задняя машина, давление в ресивере поднимается, и повышенное давление в цилиндрах передней машины вызывает боксование передней группы спаренных колес. Последнее быстро высасывает пар из ресивера, давление в нем падает, соответственно падает противодействие в цилиндрах задней машины, и легко может начаться вторичное боксование задней группы колес и т. д. Эта несогласованность работы цилиндров в особенности неблагоприятно проявляется при больших скоростях, самое достижение которых для этих паровозов затруднительно.

! Такие паровозы в Америке предназначаются обычно для тяги поездов на трудных гористых участках. Здесь тихоходность не является большим дефектом, а необходима лишь огромная сила тяги (т. е. большой сцепной вес). Наиболее крупные паровозы в Америке,—именно паровозы Маллет (до 4 600 л. с.).



Фиг. 42.

За последние годы значительное распространение на многих узкоколейных и отчасти ширококолейных дорогах колоний Англии и в некоторых других странах получили сочлененные паровозы совершенно другого типа—паровозы Гарратт.

Разделение экипажа паровоза на две отдельных рамы позволяет получить увеличенное количество сцепных (спаренных) осей без ухудшения вписывания паровоза в кривые. Отсюда следует, что нагрузка на каждую спаренную ось может быть сравнительно невелика даже у мощных сочлененных паровозов. Это свойство сочлененных паровозов получило яркое выражение в паровозах Гарратт. Именно этим свойством нам и интересен паровоз Гарратт. Один паровоз такого типа был нами приобретен в 1932 г. в Англии (ему присвоена серия Я).

Котел паровоза Гарратт лежит на особой раме и концами своими опирается на две вращающиеся на шкворнях тележки. На обеих тележках установлены простые двухцилиндровые машины простого расширения. Число осей на каждой тележке колеблется от 3 до 7. Наш паровоз Гарратт имеет две семиосные тележки; колесная характеристика паровоза: 2—4—1+1—4—2. Схема паровоза показана на фиг. 42.

Запасы воды и топлива у таких паровозов размещены на тележках, как это видно из рисунка.

Сочлененные паровозы вообще, и Гарратт в частности, хорошо вписываются в кривые, так как тележки их могут вращаться под котлом вокруг шкворней. Вынесение тележек паровоза из-под котла обеспечивает

очень низкую посадку котла относительно головки рельса. Это повышает устойчивость паровоза при плохом верхнем строении пути.

В наших условиях паровозы Гарратт не получают распространения. Они обладают целым рядом существенных дефектов. Главнейшие из них:

1) громоздкость паровоза—большая длина, большой вес; помимо неудобств в эксплуатации, большой вес сочлененного паровоза обуславливает большую стоимость последнего;

2) сложность машины, затрудняющая и постройку, и обслуживание, и ремонт. Слабое место паровоза—длинные паропроводы высокого давления, имеющие шарнирные соединения (у паровозов Маллет шарнирные соединения имеются на ресивере, в котором давление пара примерно вдвое меньше, чем в котле). В нашем суровом климате многочисленные обслуживающие паровоз длинные паро-, водо-, масло- и отчасти воздухопроводы окажутся в очень тяжелых условиях. Большие потери тепла в паропроводах—также весьма существенный недостаток таких паровозов;

3) уменьшение сцепного веса паровоза по мере расходования запасов воды и топлива;

4) расположение котла на весу обуславливает большой вес балки, на которой он лежит; постановка крупных котлов с соответствующими большими колосниковыми решетками поэтому затруднительна (хотя зольник может быть сделан большим по объему).

В свете этих недостатков применение паровозов Гарратт может быть оправдано лишь в странах с теплым климатом, на дорогах с гористыми участками (с незатяжными подъемами), а также при слабом верхнем строении пути.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. По каким трем основным признакам подразделяются паровые машины?
2. Почему большинство машин-компаунд работают насыщенным паром, а большинство перегретых паровозов имеют простые машины?
3. Перечислите лично вам известные или знакомые серии паровозов, имеющие:
 - а) машины-компаунд и работающие насыщенным паром;
 - б) такие же машины, работающие перегретым паром;
 - в) машины простого расширения, работающие насыщенным паром;
 - г) такие же машины, работающие перегретым паром.
4. Сколько цилиндров имеют паровозы с машинами тандем-компаунд и дуплекс-компаунд? Опишите устройство тех и других.
5. Сколько цилиндров и какие машины поставлены на наших паровозах серии Л и М?
6. Перечислите преимущества и недостатки многоцилиндровых паровозов.
7. Как устроены экипажи сочлененных паровозов?
8. Перечислите преимущества и недостатки сочлененных паровозов.
9. Опишите устройство паровозов Гарратт.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1. Перечислите все потери в работе машины насыщенным паром, начав с самых серьезных по величине потерь.
2. Если давление впускаемого в цилиндр насыщенного пара 16 атмосфер и отсечка 0,5, то как велико будет давление выхлопа в простой машине и в машине-компаунд?

3. Вычислите среднюю температуру стенок цилиндра машины простого расширения, если давление впуска 15 атмосфер, а отсечка 0,33 (т. е. свежий пар впускается на протяжении $\frac{1}{3}$ хода поршня).

4. Почему простые машины, работающие перегретым паром, вытесняют машины-компаунд, работающие перегретым паром?

5. Почему оборудование перегретого паровоза компаунд-машиной вместо простой машины влияет лишь незначительно на экономичность работы паровоза?

6. Почему паровоз с простой машиной и перегревом пара *проще*, чем паровоз-компаунд, работающий насыщенным паром?

7. Почему перегретый пар, вpuщенный в холодный цилиндр трогającegoся с места паровоза, все-таки *конденсируется* в воду? При каких условиях это имеет место?

8. Какая машина будет работать экономнее—машина Штумпфа насыщенным паром, или простая перегретая машина?

9. Изложите все соображения, по которым основным типом для паровозостроения ближайших лет признан паровоз с простой двухцилиндровой машиной, работающей перегретым паром.

10. Изложите существенные различия двух типов сочлененных паровозов—Маллета и Гарратт.

ГЛАВА VIII

КОНСТРУКЦИЯ ПАРОВЫХ ЦИЛИНДРОВ И ИХ ДЕТАЛЕЙ

§ 1. Конструкция цилиндра

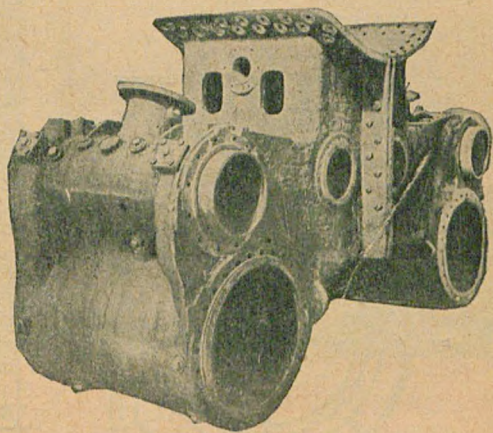
Паровой цилиндр представляет собой одну из наиболее сложных и ответственных деталей паровоза. По конструкции цилиндры разделяются на два типа—старый тип чугунного цилиндра (отлитого из плотного и однородного чугуна), «приваливающегося» сбоку к паровой раме, и *новый тип* цилиндра из литой стали, отливаемого за одно целое с половиной междуцилиндрового рамного скрепления и половиной передней опоры дымовой коробки. Два таких цилиндра, скрепленные один с другим, как показано на фиг. 43, образуют мощный *цилиндровый блок*, опускаемый сверху на раму. Этот блок одновременно служит и междурамным скреплением и передней опорой парового котла (дымовой коробки). Такие цилиндры применяются в крупных паровозах при брусковых рамах¹.

В одной отливке с цилиндром (как старого, так и нового типа) всегда выполняются золотниковая коробка, все паровые каналы, фланцы для крепления крышек цилиндра и паропроводов (свежего и мятого пара) и привалочная плита к раме.

Посмотрим, как устроены цилиндры наших старых типов, пользующихся огромным распространением на наших паровозах.

При плоских золотниках цилиндр имеет форму, показанную на фиг. 44, и при круглых—показанную на фиг. 45.

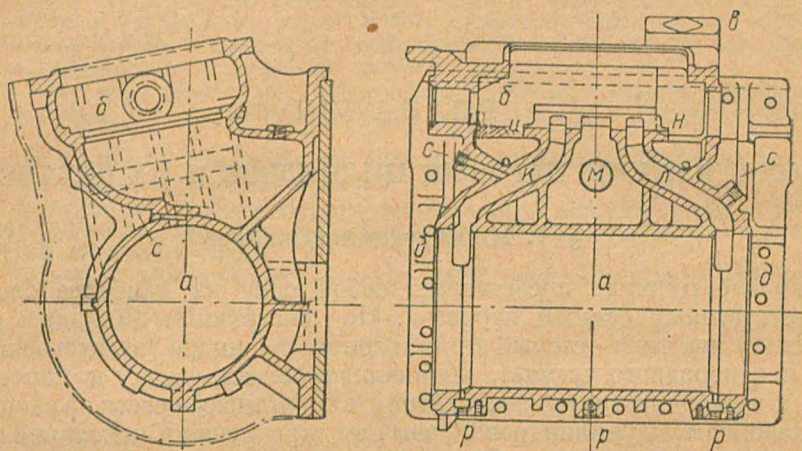
Буквой *a* обозначен самый цилиндр, *б*—золотниковая коробка; сверху располагаются патрубки для подвода пара к цилиндру (см. напри-



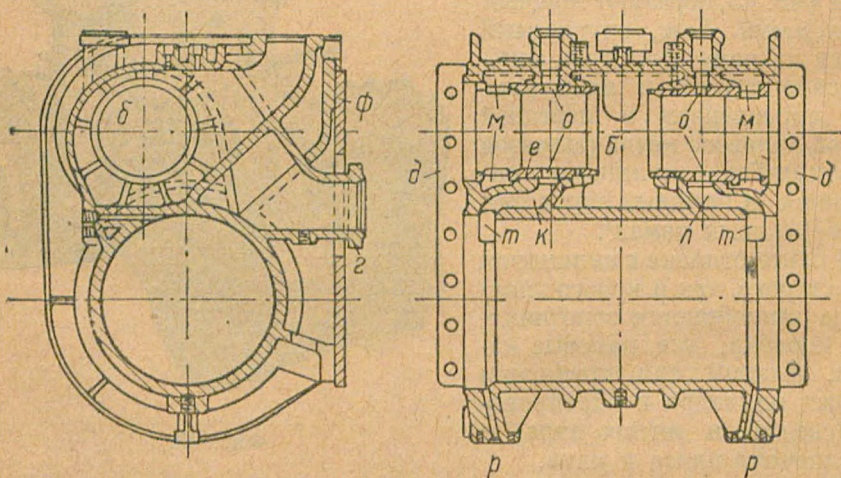
Фиг. 43.

¹ Подробные сведения о блочных цилиндрах даны в книге того же автора «Мощные паровозы».

мер, патрубок *b* на фиг. 44). На фиг. 45 показан (обозначен *г*) патрубок для присоединения паровыпускной трубы; *д*—привалочная плита для крепления цилиндра к раме, *к* и *л*—паровые каналы, *р*—отверстия в нижней части цилиндра, служащие для спуска из цилиндра конденсационной воды.



Фиг. 44.



Фиг. 45.

Что же касается размеров цилиндра, то диаметр его и ход поршня определяются с таким расчетом, чтобы паровая машина могла развивать мощность, необходимую для передвижения поезда с заданной скоростью. В современных паровозах диаметр цилиндра колеблется в пределах от 550 до 780 мм. Многоцилиндровые паровозы с машинами простого рас-

ширения имеют несколько меньшие диаметры цилиндров—от 460 мм (паровоз серии Л).

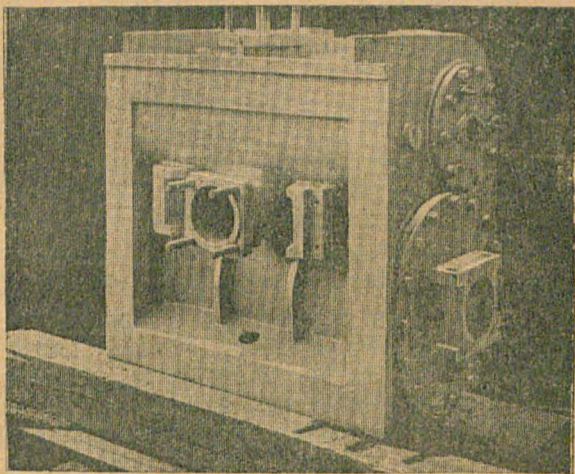
Ход поршня колеблется в пределах от 600 до 810 мм.

Длина самого цилиндра делается больше хода поршня на величину обоих вредных пространств плюс ширина (толщина) самого поршня.

Толщина стенок цилиндра колеблется в пределах от 25 до 32 мм. Такая толщина позволяет производить несколько *расточек* сработавшихся стенок цилиндра, тем самым увеличивается срок службы дорогостоящего цилиндра. После нескольких расточек стенка цилиндра становится тонкой и опасной для работы цилиндра. Но и большой износ стенок не является концом срока работы цилиндра: в изношенный цилиндр запрессовывается соответствующая по размерам *чугунная втулка*, и этим цилиндр как бы обновляется.

Стальные цилиндры еще при их первоначальном изготовлении снабжаются цилиндрическими втулками по другим соображениям; трение *чугунных* поршневых колец по *стальной* стенке велико, кольца быстро изнашиваются и приходят в негодность. Запрессованная *чугунная втулка* значительно облегчает работу колец (*чугун* работает по *чугуну* с небольшим трением).

Внутренний диаметр цилиндра неодинаков по всей его длине: у концов делаются небольшие расточки на больший диаметр. Эти расточки показаны на фиг. 44 и 45. Они служат, во-первых, для облегчения заводки поршня в цилиндр и, во-вторых, для того чтобы при растачивании цилиндра можно было обойтись без смены крышек. Последние, как мы увидим ниже, немного заходят внутрь цилиндра и центрируются этим.



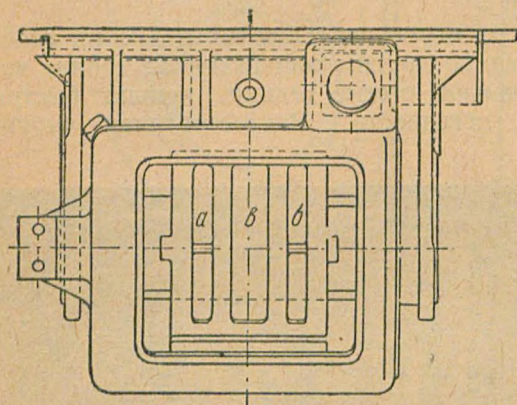
Фиг. 45а.

Для обработки внутренней рабочей поверхности парового и золотникового цилиндров применяются специальные цилиндрические расточные станки. Обработанные поверхности цилиндра должны быть гладкими (без следов *резца*) для уменьшения трения и износа поршневых колец.

На фиг. 45 в золотниковом цилиндре показаны две запрессованные с разных сторон *золотниковые втулки* *е*, в которых прорезаются паровпускные окна *О* и паровыпускные *М*. Заметим, что паровыпускные каналы соединяются в самой отливке цилиндра в одну полость, к трубку которой *г* и крепится, как [мы указывали выше, выхлопная труба.

Длина самого золотникового цилиндра в новых паровозах нередко превышает длину цилиндра, так как при длинном золотниковом цилиндре паровые каналы выходят более короткими; вредное пространство уменьшается. Несколько большая длина самого круглого золотника не является, конечно, дефектом.

Золотниковые втулки являются сменной частью цилиндра; при износе они (после нескольких расточек) заменяются новыми. Золотниковые втулки и для новых цилиндров приходится всегда делать отдельно, так как внутри самого золотникового цилиндра невозможно обработать впускные окна в цилиндр. Окна схематически показаны на фиг. 31. Заменить окна *сплошными кольцевыми каналами* конечно нельзя, так как золотник своими уплотнительными кольцами провалится в такие



Фиг. 46.

каналы. Наличие же перешейков между отдельными окнами позволяет золотнику беспрепятственно двигаться по золотниковой втулке.

При золотниках Трофимова втулки делаются значительно длиннее, чем показано на фиг. 45. В этом случае втулки почти касаются друг друга своими внутренними концами. Это делается для того, чтобы обеспечить возможность полного сближения обоих золотниковых дисков в средней части золотникового цилиндра (при езде без пара).

За последние годы получил большое распространение новый способ изготовления паровпускных окон в золотниковых втулках, позволяющий обойтись без длительной фрезеровки каждого окна. Окна отливаются в виде несквозных *углублений*, сделанных на наружной части втулки. При расточке внутреннего диаметра втулки окна оказываются прорезанными насквозь. Для получения правильных отсекающих пар кромок окон делается узкая проточка (шириной 2 мм) по кромкам окон. В эту проточку кольцо провалиться конечно не может. Длительная фрезеровка окон отпадает полностью.

Золотниковые коробки при плоских золотниках имеют иное устройство. На фиг. 44 *ин* обозначено золотниковое зеркало для плоского золотника, расположенное в наклонной плоскости, как это видно из поперечного разреза цилиндра. Необходимость расположить золотниковый шток на большем расстоянии от рамы, нежели расположен поршневой шток (и следовательно продольная ось цилиндра), нередко вынуждает придать зеркалу тот или иной наклон. Иначе детали парораспределительного механизма могут задеть за шатунный механизм. Конечно это рассуждение имеет силу только при золотниковых коробках, расположенных *над* цилиндром, как это применяется у большинства паровозов. Некоторые паровозы старых типов имеют *внутренние* парораспределительные ме-

ханизмы, расположенные между рам. В этом случае между рам располагаются и золотниковые коробки, находящиеся таким образом сбоку цилиндра. Но это устаревший тип.

На фиг. 46 показан цилиндр в плане. Здесь ясно видно прямоугольное очертание золотниковой коробки. Буквами *a* и *б* обозначены впускные окна, *в*—выпускное окно. Как видно, все окна, в особенности впускные, представляют собой неширокие щели. Небольшая ширина окон (от 25 до 55 мм) позволяет применять компактный золотник с небольшим ходом. Длина золотникового зеркала определяется с таким расчетом, чтобы золотник, двигаясь по нему, в своих крайних положениях немного выходил за пределы зеркала. При соблюдении отмеченного условия достигается *равномерный* износ как самого золотника, так и зеркала.

Обработка зеркала должна быть произведена (строжкой или фрезеровкой) самым тщательным образом для уменьшения трения и пропуска пара. После станочной обработки зеркала и самого золотника они пришабровываются друг к другу.

§ 2. Крепление цилиндра к раме паровоза

Крепление цилиндра к раме должно быть надежным, так как усилия в цилиндре развиваются очень большие. Крепление производится несколькими десятками точеных болтов.

В последние годы получают распространение точеные болты, обтачиваемые на конус с едва заметным уклоном $\frac{1}{150}$ — $\frac{1}{200}$. Такие болты вставляются от руки в развернутые (с таким же малым конусом) дыры в раме и привалочной плите. Диаметр болта должен быть чуть-чуть больше диаметра дыры, так что головка такого болта на 12—20 мм не доходит до плоскости рамного места. Ударами пневматического молотка болт окончательно загоняется в дыру до соприкосновения головки его с листом рамы.

Описанный способ постановки болтов обеспечивает надежное нажатие всей боковой поверхностью болта на всю поверхность стенки дыры.

В прежнее время употреблялись строго цилиндрические болты. Последние не обеспечивали упомянутого нажатия, несмотря на то, что загонялись на место сильными ударами молотка.

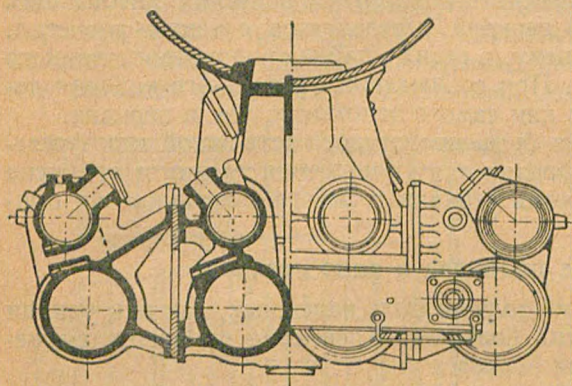
Для упрощения сборки и для хотя бы частичного предотвращения действия на болты силы *веса самого цилиндра* в верхней части привалочной плиты имеется узкий длинный борт (фиг. 44 и 45), которым цилиндр как бы навешивается на раму.

Чтобы окончательно закрепить цилиндр и повысить сопротивляемость расшатыванию, развивающемуся от действия пара (сила пара пытается сдвинуть цилиндр то вперед, то назад, в зависимости от того, в какую полость—в заднюю или в переднюю—впущен пар),—в средней части привалочной плиты имеются два выступа. Эти выступы вставляются в вырезанное в раме окно и расклиниваются в нем. Один из этих выступов виден на поперечном разрезе цилиндра на фиг. 44. На фиг. 45а показана фотография цилиндра паровоза С; снимок сделан со стороны рамы. Здесь ясно виден патрубок выхлопной трубы и расположенные с боков его выступы, заходящие внутрь окна в раме и расклиниваемые в этом окне.

Цилиндр закрепляется в таком положении относительно рамы, чтобы ось его [была горизонтальной (пассажирские паровозы) или немного наклоненной к горизонтали (большинство товарных паровозов)].

Напомним, что продольная ось цилиндра обычно проходит через центр ведущего колеса.

Небольшой наклон цилиндров приходится делать при малых размерах спаренных колес, когда цилиндр оказывается слишком низко поставлен-



Фиг. 47.

ным относительно головки рельса, и продувательные краны выходят за линию предельного очертания (габарит) подвижного состава.

Если цилиндры располагаются не только сбоку рам, как это имеет место в обычных двухцилиндровых паровозах, а и между рамами (многоцилиндровые паровозы), то внутренние цилиндры имеют две привалочные плиты, размещенные с обеих сторон цилиндра и приваливающиеся к обоим рамным листам. Та-

ким образом в этом случае *внутренние* цилиндры являются одновременно и междурамным скреплением.

Трехцилиндровый паровоз имеет один внутренний цилиндр с двумя привалочными фланцами; четырехцилиндровый паровоз имеет два внутренних цилиндра (одна отливка) с двумя же привалочными плитами. На фиг. 47 показано расположение цилиндров паровоза Л.

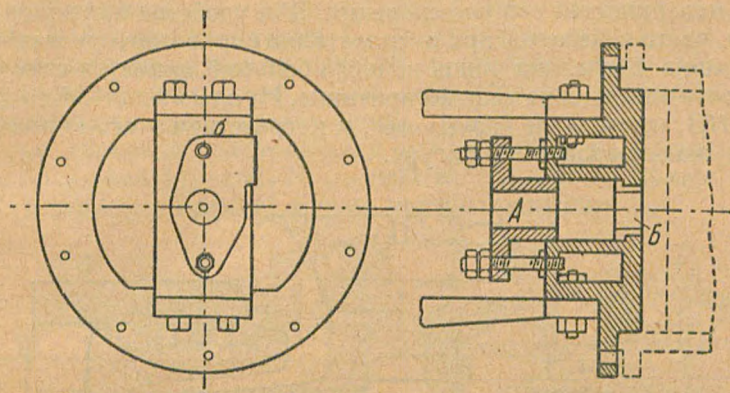
Обыкновенно внутренние цилиндры отливаются заодно с передней опорой дымовой коробки. Отливка таких внутренних цилиндров, комбинированных с опорой котла, сложна и обходится дорого.

§ 3. Крышки цилиндров

Паровой цилиндр спереди и сзади закрывается крышками. Крышки цилиндров почти всех паровозов отливаются из чугуна, хотя для мощных паровозов с их большим давлением пара и большим диаметром цилиндра крышки изготавливаются из литой стали, как более прочного материала.

В простейшем виде крышка цилиндра, показанная на фиг. 48, представляет собой чугунный диск с отверстиями по окружности для пропуска шпилек, крепящих ее к цилиндру. В средней части крышки делается отверстие А—Б для пропуска поршневого штока. Задняя крышка обычно снабжается одним или двумя приливами для крепления параллелей, передние концы которых, крепящиеся к крышке, показаны на фиг. 48. Сама крышка слегка вдвигается в цилиндр, чем надежно центрируется относительно последнего (фланец цилиндра показан на фи-

гуре пунктиром). Для того чтобы избежать просачивания пара по кольцевому зазору вокруг проходящего через крышку штока—устанавливается сальник; описание различных типов сальников дается ниже. |



Фиг. 48.

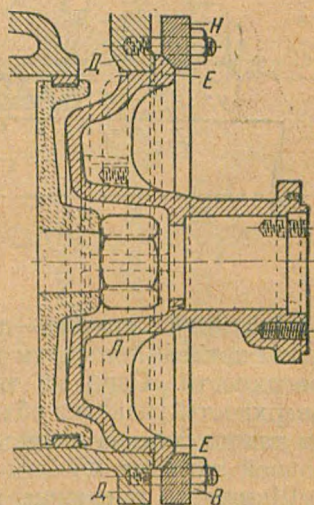
Крышки цилиндров распространенных у нас типов паровозов [показаны на фиг. 49 и 50. На фиг. 49 показана передняя крышка Л—Е и на фиг. 50—задняя. На последней фигуре изображена не вся крышка, а лишь верхняя ее половина Ж—С.

Прилив Т на задней крышке служит опорой переднего конца параллели, показанного на фигуре.

Фасонный профиль крышек объясняется соответствующим контуром поршня, имеющего обод, ступицу и гайку, удерживающую поршень на штоке. Напоминаем, что пространство между крышкой и поршнем, находящимся в ближайшем к крышке мертвом положении, является вредным пространством и должно быть небольшим.

Ребра, имеющиеся у крышек, придают им достаточную прочность.

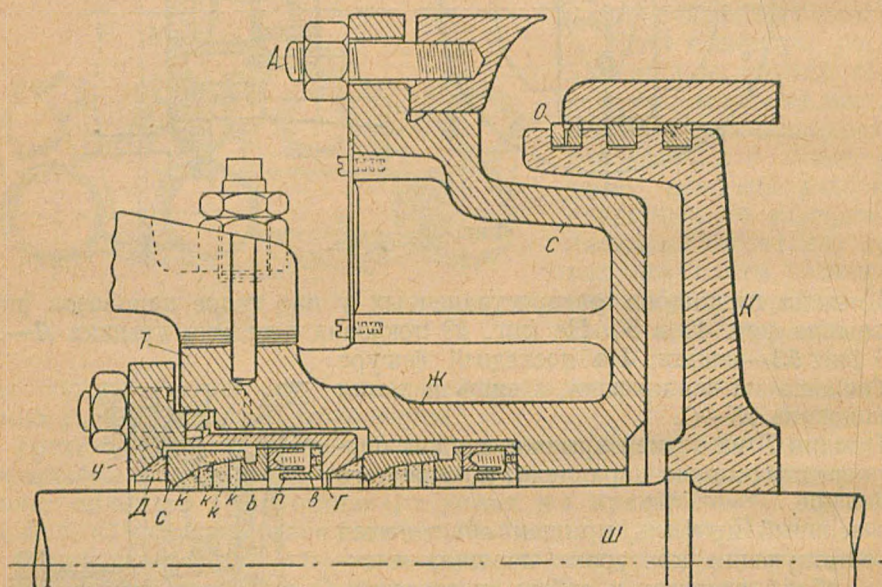
В средней части обеих крышек сделаны обычно отверстия для пропуска поршневого штока. Если отверстие в задней крышке является органически необходимым (для соединения поршня с другими деталями движущего механизма), то отверстия в передней; крышке может и не быть. В этом случае крышка называется глухой; поршневой шток кончается у самой гайки поршня. Новые мощные паровозы не имеют этих хвостовиков штока, называемых контрштоками, и поэтому передние крышки этих паровозов сделаны глухими.



Фиг. 49.

Но почти все наши паровозы, в том числе и сравнительно современные (например Э^м, С^у и др.), имеют длинные контрштоки, проходящие через переднюю крышку.

Герметичность соединения крышки с цилиндром достигается *притиркой* поверхностей соприкосновения. Для удобства притирки передней крышки, часто снимаемой при эксплуатации паровозов (при выемке поршня), крышка *Е* сделана лишь немного большей диаметра самого цилиндра, так что шпильки не мешают притирке. Но здесь приходится добавлять кольцо *НВ*, называемое *нажимным*, и посредством этого кольца крепить крышку, как показано на фигуре.



Фиг. 50.

Притирка крышек—длительная ручная работа. Сейчас ведутся опыты замены *притирки* другими способами получения вполне гладкой поверхности. Один из таких способов—*накатка* роликами стыковых поверхностей; накатка обходится значительно дешевле притирки. Дефектом такого способа является необходимость слишком сильной предварительной затяжки шпилек—еще при самой сборке нового паровоза.

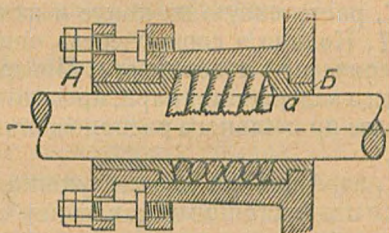
Шпильки, крепящие крышки, изготавливаются с большим запасом прочности, так как помимо большого усилия пара, стремящегося оторвать крышку от цилиндра, необходимо предусмотреть и *предварительную затяжку шпилек*. Предварительная затяжка необходима для получения *герметичного* соединения, которое может быть лишь при достаточно сильном нажатии крышки.

Диаметр шпилек колеблется в пределах от 22 до 28 мм, число шпилек—от 20 до 30 штук.

§ 4. Поршневые сальники

Сальники цилиндрических крышек при работе насыщенным паром имеют простое устройство, показанное на фиг. 51. Основными частями сальника являются: крышка А, вдвигающаяся в стакан, отлитый заодно с крышкой, и бронзовая втулка Б, называемая *грундебуксой*. Грундебукса заполняет зазор между штоком и стенками дыры. При износе грундебуксы заменяется новой. Для возможности постановки грундебуксы разрезается вдоль на две части.

Крышка сальника изготавливается или целиком из бронзы или из чугуна с бронзовой втулкой. Последний способ дает экономию цветного металла и является поэтому весьма распространенным.



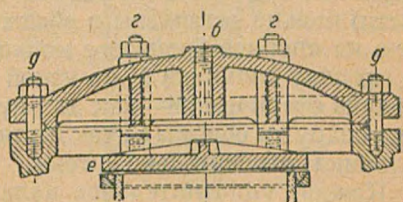
Фиг. 51.

Между грундебуксой и крышкой сальника помещается мягкая набивка, состоящая чаще всего из асбестового шнура, пропитанного жирами с примесью графитового порошка.

Затягивая гайки шпилек, мы сжимаем набивку, заставляем ее плотно прилегать к стенкам стакана сальника и штока. Сильно затягивать гайки нельзя во избежание чрезмерного нагревания штока и порчи самой набивки и штока. Чтобы не слишком затянутые гайки не могли ослабнуть, их законтривают, как это и показано на фигуре.

На крышке сальника устраивается масленка (обозначена б на левой проекции фиг. 48), служащая для смазки штока.

Крышка цилиндра, работающего перегретым паром, должна иметь сальник с металлической набивкой: асбест, пенька или другие мягкие материалы, пропитанные жирами, работают совершенно неудовлетворительно при перегретом паре. Пенька, сало горят, происходят задиры штока и сильное парение. Поэтому мягкая набивка в сальниках для перегретого пара заменена металлической набивкой—*баббитовыми разрезными кольцами*. Эти кольца ставятся по нескольку штук вплотную одно к другому. Герметичность достигается расположением стыков разрезных



Фиг. 52.

колец в шахматном порядке, так что замок одного кольца не попадает в замок соседнего. Внутренний диаметр всех колец растачивается в точности по диаметру штока, а наружный—на конус. Коническая поверхность, как увидим далее, обуславливает плотное прилегание колец к штоку. Такой сальник показан на фиг. 50. На этой фигуре показан двойной сальник, состоящий из двух групп уплотнительных колец *К*. Две группы колец обычно ставятся для большей надежности работы всего устройства, так как перегретый пар очень текуч.

Стакан *Г* разделяет сальник на две половины.

Разберем устройство одной половины сальника. Основные детали, дающие уплотнение,—кольца *К*. Самое малое из них делается бронзовым, остальные три—баббитовые. [Обточенные на конус (по наружной поверхности) кольца вставлены в обойму *С*, расточенную на конус и нажимающую на опорное бронзовое кольцо *Д*. Кольцо в свою очередь опирается на крышку сальника *У* по узкой сферической поверхности. Поверхность сделана сферической—как для лучшего задержания пара, просачивающегося снаружи обоймы *С*, так и для более правильного расположения всего сальника относительно штока.

Каждое уплотнительное кольцо разрезано на два полукольца.

Уплотнительные кольца находятся под постоянным давлением сжатых пружин *п*, опирающихся одной стороной на неподвижное кольцо *в* и другой стороной—на подвижное кольцо *б*, нажимающее на баббитовые кольца. Пружины, стремясь втолкнуть уплотнительные кольца поглубже в обойму *с*, прижимают их к штоку, что и обеспечивает необходимую герметичность сальника. Трение баббита о сталь невелико, шток легко ходит в таком сальнике. Герметичность сальника сохраняется и при некотором износе колец—пружины лишь поглубже вталкивают их в обойму.

Сальники с металлической набивкой обходятся дорого и требуют длительной и точной обработки на станках (токарных и частично фрезерных). В работе такие сальники оказываются удовлетворительными.

Описанная конструкция применена в наиболее распространенных у нас паровозах серии Э и части *С^У*. Другие паровозы имеют несколько другую форму и расположение деталей таких сальников. Но во всех конструкциях сальников, не исключая сальников на новых мощных паровозах, применен тот же основной принцип—уплотнение достигается постановкой баббитовых колец, тем или иным способом прижимаемых к поршневому штоку.

§ 5. Золотниковые крышки и их сальники

Назначение золотниковых крышек—закрыть золотниковые коробки, после того как золотники поставлены на место. При плоских золотниках крышка имеет форму выпуклой, прямоугольного очертания (в плане) плиты, показанной на фиг. 52.

Выпуклость крышки и ребра *а* придают ей необходимую прочность. Напоминаем, что золотниковая крышка при плоских золотниках нагружена большой силой давления пара (изнутри), заполняющего золотниковую коробку.

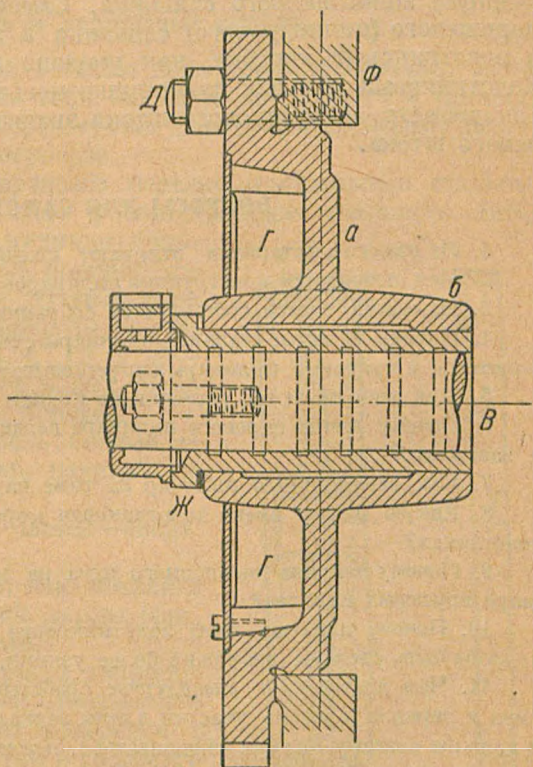
В средней части крышки обычно имеются четыре отверстия *в—в*, через которые проходят болты *г*, крепящие компенсаторную плиту *е* (см. схему на фиг. 18). Устройство компенсаторного приспособления золотника будет разобрано ниже.

Золотниковая крышка цилиндра с круглыми золотниками показана на фиг. 53. Устройство ее очень напоминает упрощенную цилиндрическую крышку.

Крепление крышки *а* к фланцу *ф* золотникового цилиндра производится, как и у предыдущего типа крышки, шпильками и гайками *д*. Также имеются усиливающие ребра *г*. В средней части крышки устроено отверстие для пропуска золотникового штока.

Устройство золотникового сальника при круглых золотниках очень простое. При круглых золотниках обычно практикуется, как мы уже знаем, *внутренний спуск пара*, и поэтому крышка нагружена изнутри лишь очень небольшим давлением мягкого пара, вылетающего в конус. Поэтому устраивать сложный сальник, как это имеет место в крышке парового цилиндра, нет смысла.

Существенной частью золотникового сальника обычно является бронзовая втулка *ж*, расточенная по диаметру золотникового штока. Для полного устранения просачивания пара на внутренней рабочей поверхности втулки протачивается ряд канавок, показанных на фиг. 53. Попадая в эти канавки по очень



Фиг. 53.

малому зазору между штоком и стенкой отверстия, просачивающийся пар постепенно расширяется, теряет свое и без того малое давление, частично превращается в воду и поэтому не выходит наружу. Такое уплотнительное приспособление, состоящее из ряда канавок, проточенных во втулке, называется *лабиринтовым сальником*.

Если золотниковый шток имеет контршток, что обычно имеет место в паровозах старых типов, то обе золотниковые крышки (передняя и задняя) похожи одна на другую. Передние золотниковые крышки мощных паровозов выполняются глухими, так как золотниковые штоки этих паровозов не имеют контрштоков.

Часто задняя золотниковая крышка отливается за одно целое с *золотниковыми направляющими*. Назначение этих направляющих то же, что и параллелей для поршневого крейцкопфа,—обеспечить *прямолинейное* возвратно-поступательное движение конца золотникового штока, сделанного в золотниковый крейцкопф (кулачок). Такая конструкция крышки применена во всех паровозах серии Э, ФД, ИС и др.

При плоских золотниках крышки делаются, как мы видели, без отверстий для пропуска золотниковых штоков, а последние пропускаются через стенку самой золотниковой коробки. На фиг. 44 виден стакан (корпус) золотникового сальника. Самое устройство золотникового и поршневого (цилиндрового) сальника в этом случае одинаково, так как в золотниковой коробке, как указано выше, находится *свезисый* пар. Золотниковый сальник имеет лишь меньшие размеры всех деталей, так как диаметр золотникового штока значительно меньше диаметра поршневого штока.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Из какого материала отливают цилиндры нового и старого типов?
2. Чем отличаются конструкции цилиндров новых мощных и старых паровозов?
3. Из каких частей составляется собранный паровой цилиндр?
4. Почему в *новые* стальные цилиндры ставится чугунная втулка? Когда приходится и в чугунные цилиндры запрессовывать втулки?
5. Для чего делаются расточки по концам рабочей поверхности цилиндра?
6. Почему длина парового цилиндра делается больше величины хода поршня и насколько?
7. Как закрепляется цилиндр на раме паровоза?
8. Какую форму имеет золотниковая коробка при плоских и при круглых золотниках?
9. Почему ширина выхлопного окна на золотниковом зеркале должна быть шире впускных каналов?
10. Почему паровые окна золотникового зеркала при плоских золотниках должны быть сделаны возможно более узкими, хотя бы и более длинными?
11. Чем достигается *равномерное* срабатывание рабочей поверхности золотника и зеркала (средние участки длины зеркала *все время* перекрыты золотником и должны поэтому больше изнашиваться, нежели края зеркала, на которые золотник надвигается, лишь приближаясь к своему крайнему положению)?
12. Почему в цилиндрах с круглыми золотниками должны ставиться золотниковые втулки?
13. Опишите устройство задней цилиндровой крышки.
14. Как устроен сальник с мягкой набивкой и с металлической?
15. Почему гайки шпилек сальников для насыщенного пара должны быть обязательно законтрены? Что может случиться, если контргайка ослабнет?
16. Чем достигается герметичность соединения крышек с цилиндром?
17. Что такое лабиринтовый сальник и как он работает?

ГЛАВА IX

КОНСТРУКЦИЯ ДЕТАЛЕЙ ДВИЖУЩЕГО МЕХАНИЗМА

§ 1. Поршень и поршневые кольца

Поршень является основной деталью движущего механизма, непосредственно воспринимающей на себя давление впускного в цилиндр пара. Поршень, как мы знаем, передает свое движение поршневому дышлу и далее—движущим колесам паровоза.

Для небольших старых паровозов нередко применялись стальные кованые поршни. Однако по мере распространения стального литья и увеличения размеров самого цилиндра большее распространение получили поршни *литой стали*, значительно более дешевые и не менее надежные. Все наши паровозы не старых типов, в том числе Э, Б, С, С^у и другие, не говоря уже о мощных новых паровозах, имеют стальные литые поршни.

На фиг. 54 показан поршень, снятый со штока, и на фиг. 55—поршень, надетый на шток и закрепленный гайкой.

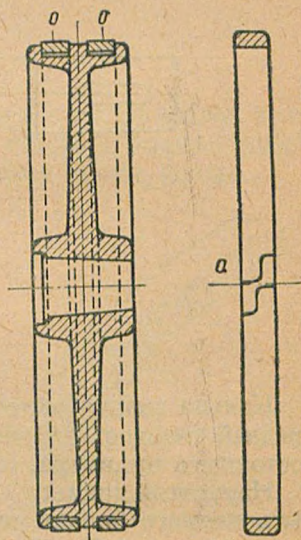
Поршень состоит из трех частей—обода, диска и ступицы (втулка).

Диск реже бывает плоским, как показано на фиг. 54, и чаще—конической формы (фиг. 55). Последний прочнее первого.

В отверстие в ступице поршня запрессовывается шток. Для большей надежности соединения часто растачивают отверстия в ступице немного на конус. Шток в соответствующем месте такоже obtачивается на конус. Если отверстие во втулке цилиндрическое (фиг. 55), то диаметр его должен быть примерно на 0,1 мм меньше диаметра штока. Насадка поршня производится под прессом.

На внешней поверхности обода протачиваются две-три канавки для поршневых уплотнительных колец *О*. Кольцо показано отдельно на фиг. 54 (справа). Кольца—необходимая принадлежность поршня, обуславливающая герметичность поршня даже при некотором износе как цилиндра, так и самих колец.

Диаметр поршня делается немного меньше (на несколько мм) внутреннего диаметра цилиндра. Кольца, немного выступая из ручьев, плотно

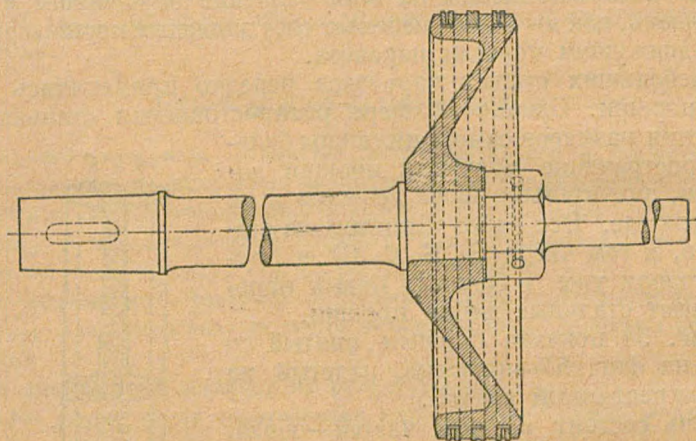


Фиг. 54.

прижимаются к стенкам цилиндра. Пропуск пара *под кольца* совершенно ничтожен, так как ширина ручья в ободке делается по возможности равной ширине кольца. Конечно по условиям обработки и сборки ширина ручья неизбежно оказывается немного больше ширины кольца, но эта разница не должна превышать 0,1 мм.

Часто по наружной поверхности кольца проходит узкая канавка (проточка); в ней задерживается смазка и конденсационная вода, облегчающие движение поршня в цилиндре.

Иногда кольцо радиально просверливается в нескольких местах для того, чтобы пропустить пар *под кольцо К* в пространство между внутренней поверхностью кольца и дном ручья. Отверстия просверливаются конечно небольшими; они служат для пропуска пара под кольцо и лучшего прижатия кольца к рабочей поверхности цилиндра.



Фиг. 55.

Кольца вытачиваются из 'барабанов, отлитых из однородного чугуна, средней твердости. Однородный материал колец сберегает стенку дорогостоящего цилиндра, изношенные кольца легко заменяются новыми.

Наружный диаметр обточенного барабана заготовки колец должен быть немного больше внутреннего диаметра цилиндра. Обточенный снаружи и изнутри барабан разрезается на отдельные кольца шириной, немного большей глубины ручья в поршне. Затем кольцо разрезается и в 'месте разреза делается, например, зигзагообразный замок *а*, показанный на фиг. 54. Готовый замок показан отдельно на фиг. 56, *а*. Если теперь кольцо сжать, то выступы замка перекроют друг друга и кольцо получит вид, показанный на той же фигуре и обозначенный буквой *б*.

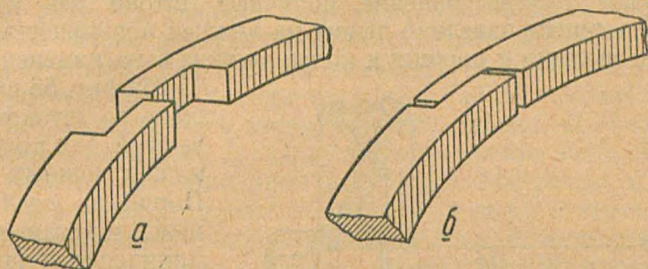
После этого кольцо в таком сжатом состоянии укрепляется в особой оправке и еще раз окончательно обтачивается с наружной стороны до получения диаметра, *равного* внутреннему диаметру цилиндра.

Заключительной операцией является шлифовка боковых поверхностей, соприкасающихся с боковыми стенками ручья. Готовое кольцо надевается на поршень, в свободном состоянии оно больше диаметра

цилиндра; вставляя поршень в цилиндр, что производится без труда благодаря конической расточке по концам цилиндра, мы постепенно сжимаем кольцо. Кольцо, работая в цилиндре, стремится разжаться и потому, плотно прилегая к стенкам цилиндра, не пропускает пар из одной полости цилиндра в другую.

Устройство замка может быть осуществлено и несколько другим способом.

Описанный замок имеет тот недостаток, что выступы замка выходят сравнительно тонкими, слабыми и часто ломаются.



Фиг. 56.

Более прочный замок показан на фиг. 57. Здесь имеется медная планка, приклепанная к одному из концов кольца. Наличие планки позволяет иметь значительно более широкие и прочные концы кольца.

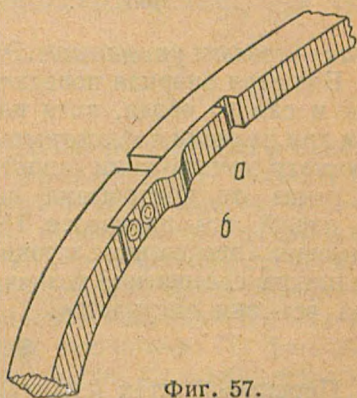
Обыкновенные поршневые кольца должны иметь толщину несколько большую, чем глубина ручья в поршне; этим цилиндр предохраняется от царапания его стальным поршнем.

Кольца остаются достаточно герметичными и при некотором износе их. По мере увеличения износа замок несколько раздвигается, но большого пропаривания кольцо все-таки не дает.

Число колец бывает обычно два для поршней, работающих насыщенным паром, и три—для работающих перегретым паром.

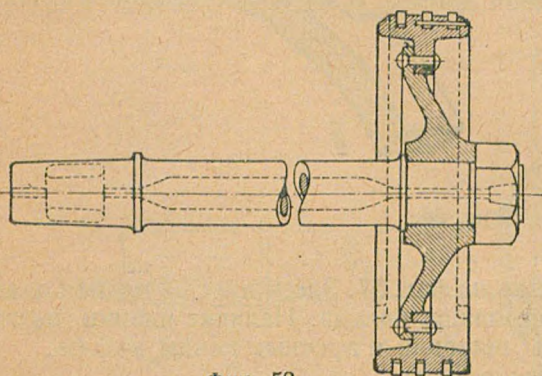
Для уменьшения просачивания пара из одной полости цилиндра в другую замки колец должны располагаться в противоположных местах поршня. Часто кольца снабжаются стопорами, не позволяющими кольцу провертываться вдоль ручья. Такой стопор *б* показан на фиг. 57. Входя в специальное углубление в боковой стенке ручья, этот выступ удерживает кольцо от провертывания.

Чтобы облегчить работу колец, разгрузить их от веса самого поршня, шток последнего делается с хвостовиком, называемым контрштоком. Шток и контршток, проходя через задний и передний сальники крышек,



Фиг. 57.

поддерживают поршень на весу. Но есть и другие конструкции поршней и колец, дающие возможность обойтись без контрштока, без сложного сальника передней крышки цилиндра, без самого утяжеления поршневого штока этим контрштоком. Если контршток действительно поддерживает поршень на-весу в *новом паровозе*, где все детали обработаны и собраны точно по чертежу, где нет никаких изношенных частей, то при эксплуатации паровоза, после нескольких мелких ремонтов, при износе деталей сальников поршень, как показывает опыт, зачастую нажимает (своим весом) на кольца, сильно изнашивая их. Поэтому в настоящее время большое распространение получают штоки без контрштоков (*несквозные*); поршень заведомо лежит на нижней поверхности цилиндра. Конечно конструкция и поршня и колец должна быть изменена.



Фиг. 58.

На фиг. 58 показан поршень со штоком, разработанный для применения на наших мощных паровозах. Поршень сделан составным, к стальному диску приклепан чугунный обод. В последнем сделаны три узких ручья для поршневых колец. В нижней (наиболее изнашивающейся) части обод сделан уширенным. Кольца здесь работают в глубоких ручьях и несут только свои прямые функ-

кции—создают уплотнение. Это значительно увеличивает срок их работы¹.

Большая опорная поверхность обода уменьшает износ как цилиндра, так и самого обода, хотя износ цилиндра, конечно, несколько больше, чем при наличии *подвешенного поршня*. Если учесть значительно большую простоту конструкции (короткий шток, отсутствие переднего сальника), то отказ от контрштока окажется все-таки выгодным. Опыт работы на нашей сети паровозов Т^А и Т^В, а также и паровозов ФД и ИС, имеющих «несквозные» штоки, показывает, что износ нижней поверхности цилиндра совершенно незначителен, хотя небольшая овализация цилиндра все-таки получается.

§ 2. Поршневой шток

Поршневой шток (скалка) с контрштоком показан на фиг. 55. Диаметр контрштока делается обычно значительно меньше диаметра самого штока, так как назначение первого—лишь *поддерживать* поршень. На фиг. 58 показан шток без контрштока, значительно более короткий.

Короткие «несквозные» штоки влекут за собой неравенство работ обеих полостей цилиндра; при движении поршня от передней крышки цилиндра к задней пар действует на всю *площадь поршня*, а при обратном на такую же площадь *минус* площадь сечения самого штока.

¹ Детально об устройстве поршней мощных паровозов см. мой труд «Мощные паровозы».

Сквозные штоки это неравенство работы полостей в значительной мере уменьшают.

Шток отковывается обычно из твердой углеродистой стали. Некоторые мощные паровозы снабжены штоками из никелевой стали; применение последней позволяет или несколько уменьшить диаметр штока и получить меньший его вес, или при том же диаметре применить *полый* шток. Вес штока должен быть возможно меньшим для лучшего уравнивания паровоза. В мощных быстроходных паровозах, как например в паровозе серии ИС, применяется *полый* трубчатый шток (шток см. по фиг. 58), дающий дальнейшее уменьшение веса.

Поршень на штоке следует закреплять очень надежно, так как за каждый оборот колеса пар дважды нажимает на поршень, стремясь то снять его со штока, то еще глубже насадить. Гайка, закрепляющая поршень на штоке, должна быть затянута очень сильно. Для того чтобы гайка не могла отвернуться (ослабнуть), она должна быть надежно законтрена. Способов законтривания несколько. Например, гайка после затяжки просверливается *вместе со штоком*; в дыру ставится заклепка (фиг. 55). Это—наиболее распространенный способ законтривания поршневой гайки. В случае «несквозного» штока (фиг. 58) могут быть применены другие способы, не ослабляющие сечения штока отверстием под заклепку. Например немного выступающий за гайку торец штока *расклепывается* или торец штока *приваривается* к торцу гайки по кольцевой линии.

Соединение поршневого штока с крейцкопфом — клиновое. Задний конец штока имеет конический хвостовик, который и вставляется в соответствующее гнездо крейцкопфа и закрепляется там клином, как это будет указано ниже.

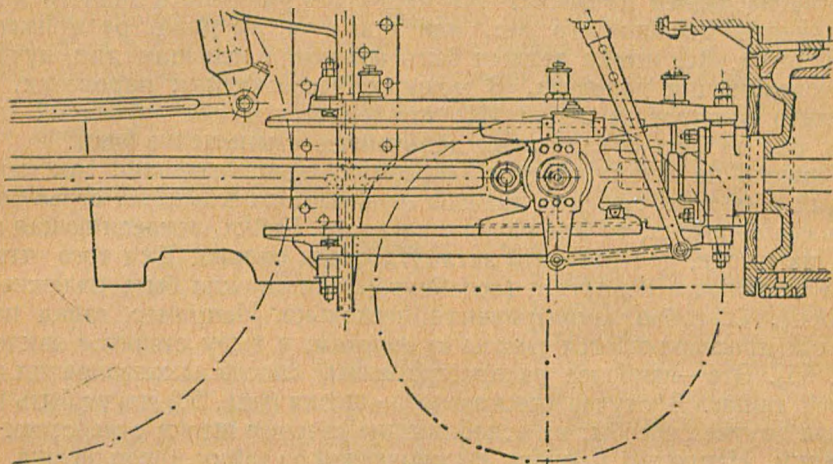
§ 3. Крейцкопф

Для того чтобы осуществить шарнирное соединение поршневого штока с поршневым дышлом, обеспечив при этом *прямолинейное* возвратно-поступательное перемещение конца поршневого штока, вводится особая деталь движущего механизма, называемая крейцкопфом (кулаком). В корпусе крейцкопфа, отлитом из стали, жестко укрепляется конец поршневого штока, и на валик, заделанный в корпус, навешивается передняя головка поршневого дышла. Движение крейцкопфа направляется одной или двумя параллелями, по которым скользит крейцкопф. На фиг. 59 показан весь этот узел: цилиндровая крышка, болты, крепящие параллель к крышке, крейцкопф и параллели. Задние концы параллелей крепятся болтами к особой „параллельной“ рамке, привернутой к раме паровоза.

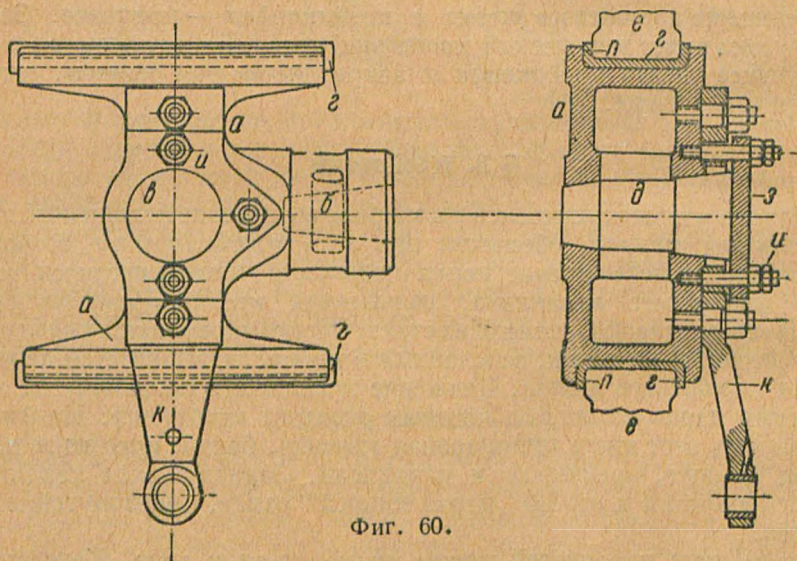
Вместо двух параллелей может применяться и одна. Конструкция крейцкопфа конечно соответственно изменяется.

Крейцкопф при наличии двух параллелей, расположенных с обеих его сторон, показан на фиг. 60. Корпус крейцкопфа *a* состоит из двух опорных поверхностей, средней части и втулки *б*. Опорные поверхности προσταгиваются и снабжаются бронзовыми вкладышами *г* (поползушками) корытообразного сечения. Вкладыши должны плотно входить в простро-

ганные пазы корпуса; они укрепляются на месте бронзовыми шурупами с потайными головками. Этими вкладышами крейцкопф опирается на параллели *е*. Для уменьшения трения бронзовые вкладыши иногда снабжаются баббитовой заливкой.



Фиг. 59.



Фиг. 60.

Смазываются вкладыши и параллели обильно. Масло для смазки верхней параллели подается от масленки, установленной на верхней же параллели. Смазка нижней параллели производится от масленки, установленной в передней части нижней опорной поверхности крейцкопфа (фиг. 59).

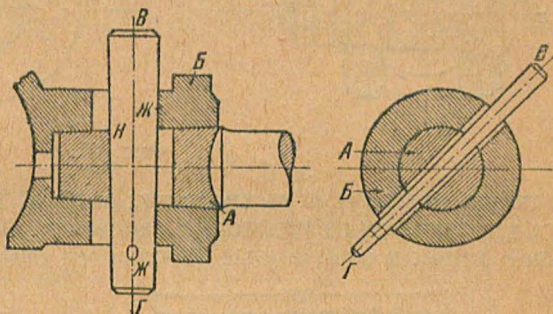
Для облегчения растекания масла по всей большой рабочей поверх-

ности вкладыша в последнем вырубается зигзагообразные канавки, идущие по всей рабочей поверхности вкладыша.

В средней части крейцкопфа расточено большое отверстие *с* для крейцкопфного валика *д*. Валик, как видно из фигуры, имеет цилиндрическую среднюю часть, на которую навешивается поршневое дышло, и две концевых конических части, входящие в конические же отверстия в щеках корпуса. Конические поверхности, во-первых, позволяют получить очень плотное соединение валика с крейцкопфом и, во-вторых, дают возможность подтягивать расшатавшийся валик: за счет больших усилий, направленных то в одну, то в другую сторону, происходит обминание стенок отверстия в крейцкопфе. Закрепление валика, а также и его подтягивание осуществляются обычно планкой *З*, удерживаемой на месте шпильками *И*. Затягивая гайки этих шпилек, мы нажимаем планкой *З* на валик и удерживаем его на месте.

Передняя втулка крейцкопфа растачивается на конус, как показано на фиг. 61. Для клина *В—Г*, удерживающего хвостовик штока *А*, фрезеруется щелевой прорез,

который должен немного не совпадать с таким же прорезом в хвостовике. Вставленный в прорез клин должен нажать на поверхности *Ж—Ж* и *Н*. Заколачивая клин, мы прочно закрепляем шток в крейцкопфе. Усилия, выдерживаемые этим ответственным соединением, очень велики. Чтобы случайно



Фиг. 61.

ослабший клин не мог выскочить, в нижней его части сделано небольшое отверстие для разводной чеки. Для более надежного нажатия *всей* поверхности хвостовика штока на *всю* поверхность конического гнезда—эти две поверхности должны быть тщательно притерты одна к другой.

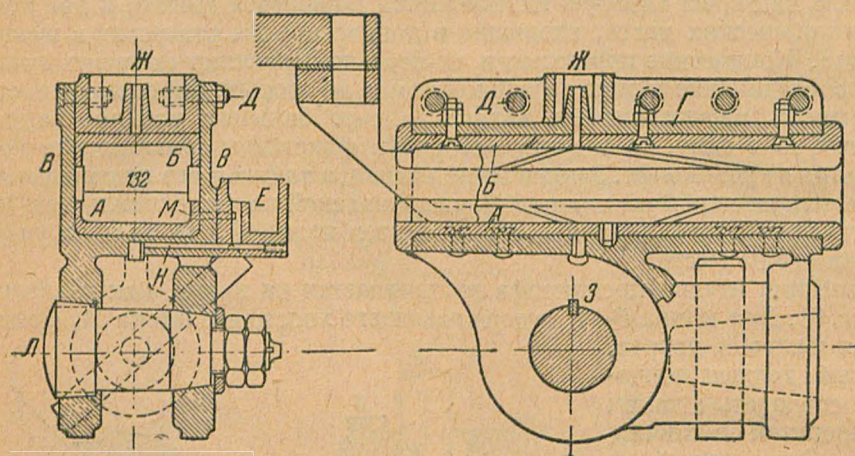
При кулисном механизме Вальсхарта к крейцкопфу обычно крепится особый поводок *К*, показанный на фиг. 60, нижний конец которого соединяется небольшой соединительной тягой с маятником, как показано на фиг. 59.

Крейцкопф для одиночной параллели показан на фиг. 62. В верхней части корпуса крейцкопфа имеются две большие вертикальные стенки *В—В*, между которыми зажимается крышка крейцкопфа *Г*. Болтами *Д* крышка прочно соединяется с корпусом. В образовавшееся окно и пропускается параллель. И корпус и крышка снабжаются обычными бронзовыми вкладышами *Б*. Таким образом и здесь налицо две направляющих поверхности, но они скользят по верхней и нижней плоскостям *одной* параллели.

Для смазки верхнего вкладыша поставлена масленка *Ж*. Для смазки нижнего вкладыша, а также и для смазки валика крейцкопфа исполь-

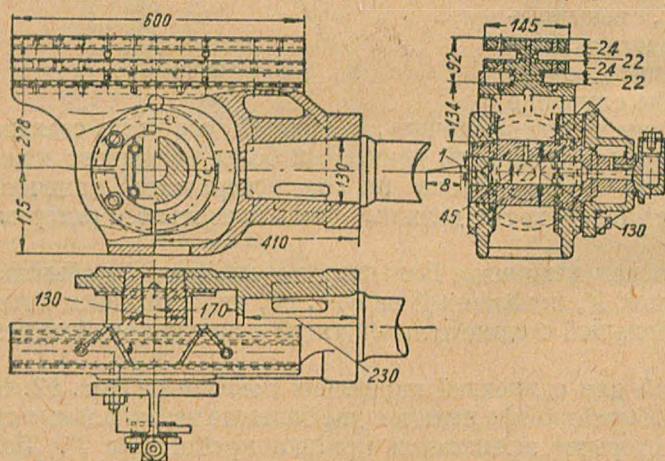
зуется другая масленка *Е* с двумя выходами для масла: *М*—для смазки вкладыша и *Н*—для смазки валика.

Закрепление поршневого штока и в этом крейцкопфе не отличается от предыдущего; что касается валика *Л*, то для его закрепления служат



Фиг. 62.

две гайки, накрученные на хвостовик валика. Такой способ крепления валика применяется на некоторых паровозах. Он менее удачен, чем предыдущий; валик в этом случае приходится ставить изнутри, что конечно



Фиг. 63.

неудобно. Подчеркнем, что в первом случае (фиг. 60) валик ставился снаружи паровоза.

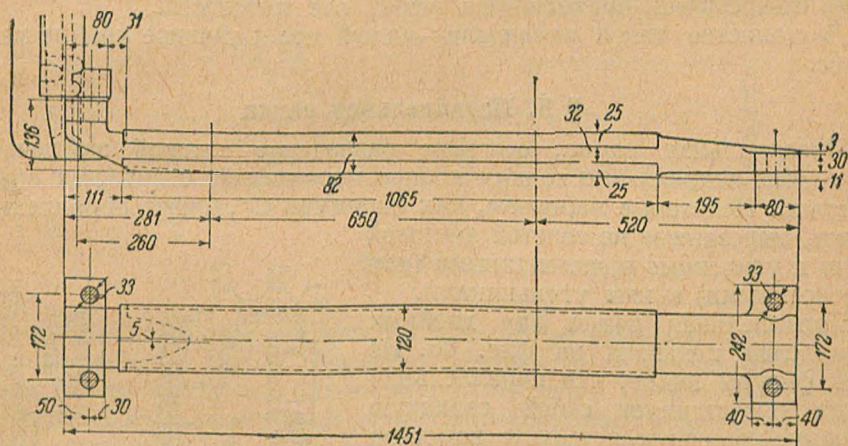
Иногда валик предохраняется от провертывания шпонкой *З* (фиг. 62).

Новые мощные паровозы имеют крейцкопфы с сильно развитыми опорными поверхностями, как показано на фиг. 63.

Преимущества указанного крейцкопфа заключаются в большой и потому мало изнашивающейся опорной поверхности, надежности работы, меньшем весе как самого крейцкопфа, так и параллели, удобстве сборки и разборки движущего механизма. Заметим все же, что первоначальная стоимость многоплоскостных крейцкопфов и параллелей (в особенности параллелей) по сравнению с обычными конструкциями несколько выше.

Параллели всегда отковываются из твердой стали и обрабатываются кругом.

На фиг. 59 показаны двойные параллели и на фиг. 64—одиночная параллель. Основной частью параллели является ее средняя рабочая поверхность, по которой перемещается крейцкопф. Средняя часть



Фиг. 64.

параллели делается более массивной, чем концевые. Последнее придает параллели, во-первых, большую прочность и, во-вторых, позволяет при ремонте параллели протрагивать лишь рабочую поверхность ее, не задевая резцом концевых частей.

В передней и задней частях параллели имеются отверстия для крепления ее к крышке цилиндра и к параллельной рамке.

Параллели некоторых паровозов сделаны составными. Так, например, большое расстояние от крышки цилиндра до параллельной рамки у паровоза СУ вынудило применить длинные литые *параллельные балки* и уже к ним крепить прямоугольные кованые бруски, являющиеся собственно параллелями.

Для обеспечения точной установки параллели (строго параллельно

продольной оси цилиндра) последняя крепится не непосредственно к приливам крышки цилиндра и рамки, а между соединяемыми частями прокладываются несколько тонких железных листов. Толщина таких прокладок определяется при сборке. Изношенные параллели исправляются протрагиванием их рабочих поверхностей. Общая толщина прокладок при этом должна быть изменена.

Параллель для многоплоскостного крейцкопфа показана на фиг. 65. Как видно, параллель состоит из двух симметричных частей, имеющих вид буквы Е. Стык



фиг. 65.

проходит вдоль параллели в верхней ее части. Обе половины параллели сболчиваются 10—13 горизонтальными болтами, расположенными по всей длине ее.

Масленка для смазки параллели ставится

наверху; подача масла к нижним плоскостям обеспечивается вертикальными отверстиями, проходящими через все плоскости.

Достоинство такой параллели—малый вес и главное крайне малый износ.

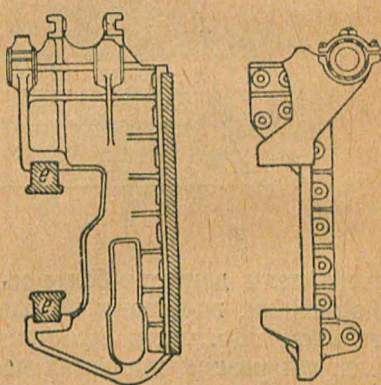
§ 5. Параллельная рамка

Параллельная рамка, основное назначение которой заключается в жестком закреплении задних концов параллелей, отливается обычно из стали. Некоторые паровозы, как например СУ, имеют параллельные рамки, вырезанные из толстой листовой стали и усиленные приклепанными (или приваренными) к ним угольниками.

Параллельная рамка для двойных параллелей показана на фиг. 66. Из этой фигуры видно, что параллельная рамка представляет собой солидную отливку, крепящуюся к раме паровоза большим количеством болтов.

В верхней части рамки прилиты кронштейны для подшипников кулисы (при парораспределении Вальсхарта), как это показано на фиг. 66, а также и кронштейны для подшипников переводного вала.

Мощные новые паровозы имеют очень сложные и громоздкие комбинированные параллельные рамки, в одной отливке, содержащие обе (т. е. правую и левую) собственно параллельные рамки, подшипники для обеих кулис и переводного вала, промежуточную опору парового котла, иногда привалочную плиту для крепления тормозных цилиндров и т. д. Отливка такой параллельной рамки очень сложна; для обработки ее тре-



Фиг. 66.

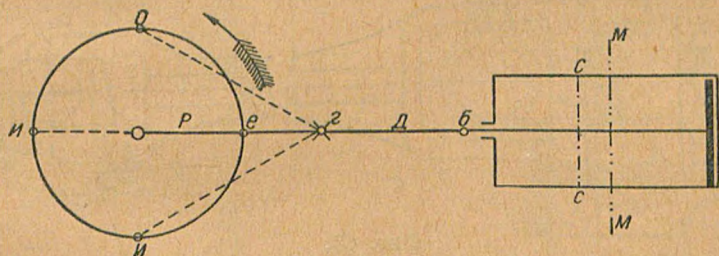
буются специальные станки. Однако затраты окупаются *точным* взаимным расположением обработанных поверхностей, быстрой, дешевой и простой сборкой ответственных деталей парораспределительного механизма, не говоря уже о большей надежности работы такой цельной рамки.

§ 6. Поршневые дышла

Назначение поршневого дышла—передать ведущему колесу движение поршня, штока и крейцкопфа, превратив прямолинейное возвратно-поступательное движение этих частей во вращательное движение колеса.

Поршневое дышло часто называют ведущим дышлом или режешатуном.

Поршневое дышло—одна из самых ответственных деталей не только паровой машины, но и всего паровоза в целом. Отковывается оно из лучшей твердой стали; дышла новых мощных паровозов для увеличения прочности (при минимальном весе) отковываются часто из никелевой стали.



Фиг. 67.

Корпус дышла состоит из трех частей—*стебля* (средняя часть) и двух *головок*—передней и задней. Передняя головка часто называется *крейцкопфной* головкой, так как она надевается на валик крейцкопфа. Задняя головка надевается на ведущий *палец*, запрессованный в ведущее колесо.

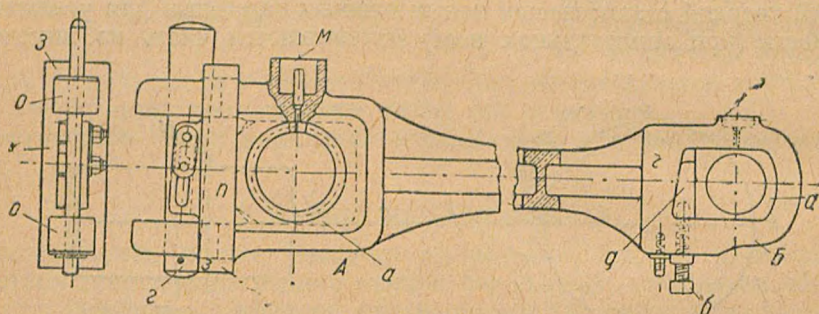
Длина ведущего дышла имеет большое значение для работы паровоза. Чем длиннее дышло, тем равномернее сила тяги паровоза за один оборот колеса. Поясним это. На фиг. 67 показана схема движения поршня и дышла. Если поршень занимает переднее мертвое положение, то палец находится в точке *е*. Заднее мертвое положение поршня будет соответствовать расположению пальца в точке *и*. Если мысленно представить себе палец расположенным в центре колеса, то поршень будет находиться как-раз посередине цилиндра *м—м*. Но если теперь палец переместить из центра в точку *о* или *н*, поршень несколько сдвинется назад и займет положение *с—с*. Следовательно за первую четверть оборота колеса, считая от передней мертвой точки, поршень пройдет несколько более половины своего хода, а за вторую четверть оборота—несколько менее половины хода.

Колеса паровоза вращаются равномерно, и следовательно поршень будет иметь неравномерное движение в переднем и заднем участках

длины всего хода, сила тяги паровоза будет также неравномерной. Чем короче поршневое дышло, тем больше будет эта неравномерность. Конечно, важна не абсолютная длина поршневого дышла, а *отношение длины дышла к величине радиуса кривошипа*.

С другой стороны, слишком длинные дышла имеют и большой вес, а это затрудняет уравнивание (посредством противовесов, прилитых на колесах) движущихся масс. Паровоз получает беспокойный ход. Поэтому паровая машина паровоза выполняется таким образом, чтобы длина ведущего дышла была в 6,4—8 раз больше радиуса кривошипа (в некоторых паровозах, как например КУ, это отношение возрастает до 10). Дышла такой длины не получаются чрезмерно тяжелыми, а уравнивание паровоза оказывается возможным сделать удовлетворительным.

Итак при данной длине и прочности поршневое дышло должно быть возможно более легким. Поэтому сечение стебля поршневого дышла



Фиг. 68.

делается обычно *двутавровым*, как показано на фиг. 68. Чем больше высота сечения, тем прочнее (при той же затрате металла) оказывается дышло. Толщина вертикальной стенки, соединяющей обе полки двутавра, может быть небольшой (11—16 мм).

На фиг. 68 задняя головка обозначена А, передняя—Б. Как видно, задняя головка значительно больше по размерам, чем передняя. Это объясняется тем, что в задней головке все время происходит *быстрое вращение пальца*, в то время как в передней части дышла имеет место лишь *медленное качание* (на небольшой угол) головки вокруг валика крейцкопфа. Поэтому задняя головка имеет весьма *развитые поверхности*, подверженные износу.

Передняя головка дышла выполняется всегда закрытой—типа рамки, а задняя для удобства сборки обычно делается открытой, т. е. вилкообразной.

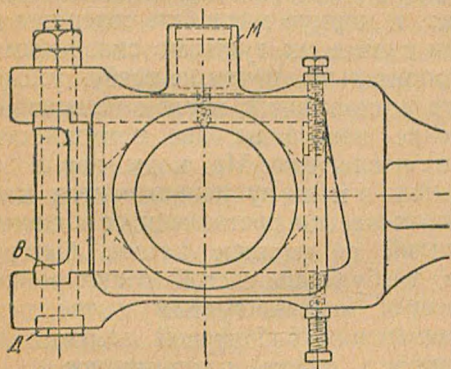
Поршневые дышла внутренних цилиндров всегда выполняются с *открытыми* задними головками, иначе надеть дышло на шейку кривошипа коленчатой оси было бы, конечно, невозможно.

Подшипники обеих головок во всех наших паровозах (кроме новых мощных паровозов) сделаны бронзовыми с баббитовой заливкой. Обычно подшипники состоят из двух половин; помощью клина, установленного в головке дышла, изношенные подшипники можно подтягивать.

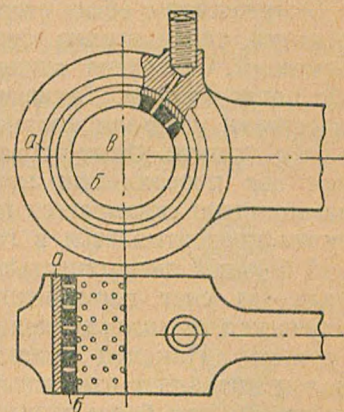
Подтягивание подшипника передней головки, состоящего из двух половин *а* и *в*, производится вращением нажимного болта *б*, передвигающего кверху клин *д*. Нажимной болт должен быть предохранен от отвертывания, для чего на нем имеется контргайка, показанная на фиг. 68.

Передние головки всех поршневых дышл устраиваются примерно таким же образом; часто по конструктивным соображениям перемещение клина осуществляется не в вертикальном направлении, как мы только что видели, а в горизонтальном. Это, конечно, лишь внешне меняет устройство головки.

Подшипник задней головки состоит из двух половин *а*, подтягивающихся скобой *П*, перемещающейся *вправо* при нажатии на нее клина *г*. Скоба *П* (обозначена литерой *З* на поперечном виде дышла) имеет в своем теле два прямоугольных отверстия, в которые входит вилка *ОО* задней



Фиг. 69.



Фиг. 70.

головки. При помощи скобы после того, как клин подтянут, законтривают его в новом положении посредством двух болтов, как показано на фиг. 68.

Пример неудачной конструкции задней головки дан на фиг. 69. Здесь в простроганные поперечные пазы вилки вставляется сухарь *В*, на который и опирается подшипник. Сухарь закрепляется на месте болтом *Д*. Подтягивание подшипника производится клином, напоминающим по устройству клин передней головки. В работе такая головка оказалась неудовлетворительной: сухарь *В* расшатывается в своих гнездах, имелись случаи обрывов концевых частей вилки головки.

Задняя головка дышла снабжается фитильной масленкой *М*; передняя головка снабжена простой воронкообразной масленкой (фиг. 68), в которую подается масло из крейцкопфной масленки (фиг. 62).

Во всех старых конструкциях дышловых головок корпусмасленки расположен сверху—над серединой пальца. В новых конструкциях масленка располагается не над самым центром подшипника, а несколько смещенно, что облегчает условия работы материала головки и повышает ее прочность.

Подтягивание дышловых подшипников—весьма ответственная операция, часто производимая недостаточно опытными машинистами. Неумелая регулировка подшипников головок всегда вызывает или нагрева-

ние головок (и расплавление баббитовой заливки), или сильный стук дышел, разбивающий подшипники. В мощных паровозах нового типа поэтому применены значительно более надежные в работе и простые подшипники с плавающими втулками. Схема головки дышла с плавающей втулкой показана на фиг. 70. Устройство такой головки заключается в следующем: в расточенный корпус головки дышла запрессовывается стальная цементированная втулка *а*. В эту втулку свободно вставляется другая втулка *б* бронзовая, в которой сделано большое количество (до 70) мелких отверстий. Внутренний диаметр этой бронзовой втулки несколько больше (на 0,3—0,5 мм) диаметра пальца, на который надета такая дышловая головка.

Таким образом втулка *б* может вращаться вокруг пальца или вместе с пальцем вращаться в запрессованной втулке *а*.

Окруженная с обеих сторон слоем смазки, подающейся из небольшой масленки, такая втулка как бы *плавает в смазке*, почему и называется *плавающей*. Отверстия втулки, а также и корпус масленки содержат в себе запас смазки. Такие втулки при смазке их густыми смазочными веществами работают вполне удовлетворительно, почти не требуя ухода за собой в пути. Опыт показывает, что у плавающих втулок изнашиваются обе поверхности; это разделение износа на две поверхности благоприятно сказывается на величине последнего. На ходу паровоза втулка проверяется в головке дышла и поэтому изнашивается *всей своей боковой поверхностью*. В обычных жестко поставленных подшипниках—за счет горизонтальных усилий по дышлам всегда быстро получается *овализация* подшипников, требующая частой регулировки и ремонта. Наконец смазка плавающих втулок густым и твердым маслом позволяет отказаться от применения баббитовой заливки и тем самым еще более повысить надежность работы подшипников.

Некоторым дефектом плавающих втулок является *стук* их при работе паровоза, увеличивающийся по мере изнашивания.

Изошенные втулки без труда заменяются новыми. Отмечаем, что такими втулками снабжены все дышловые головки сцепных дышел и задние головки поршневых дышел паровозов Т^А, Т^В, ФД, ИС и АА.

Для возможности постановки поршневого дышла (с плавающими втулками) контркривошип должен быть не цельнокованым (заодно с ведущим пальцем), а съемным, как это будет указано ниже.

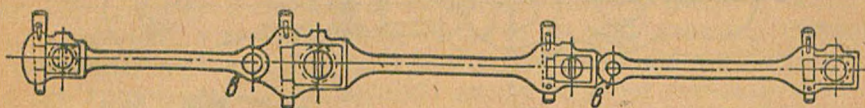
§ 7. Сцепные дышла

Для получения большей силы тяги паровоза колеса его соединяются сцепными дышлами в одну движущую систему. Обыкновенно пассажирские паровозы имеют три спаренных движущих оси, товарные—4-5. Мощные пассажирские паровозы имеют 4 спаренных оси (М, ИС), а товарные—до 6 и даже до 7, как это сделано например в новом мощном товарном паровозе 2-7-2 серии АА.

Сцепные дышла называются также спаренными дышлами или просто спарниками. Сцепное дышло, одной из своих головок надеваемое на шейку у основания ведущего пальца (рядом с задней головкой поршневого дышла), называется *центровым* дышлом. Подшипник этой головки сцепного дышла (самый большой по размерам) называется *центровым*.

Сцепные дышла по своему устройству напоминают поршневые, но выполняются с несколько меньшими размерами. Длина сцепного дышла (между центрами подшипников головок) равна расстоянию между спаренными осями.

Что касается сечения дышел, то в случае многоосных экипажей оно делается разной величины для крайних и средних сцепных дышел. Крайние сцепные дышла делаются несколько более легкими, чем сред-

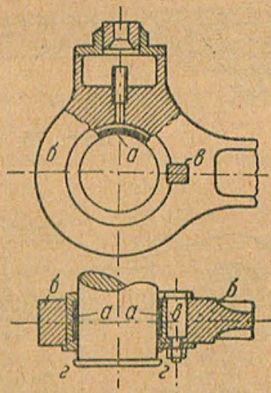


Фиг. 71.

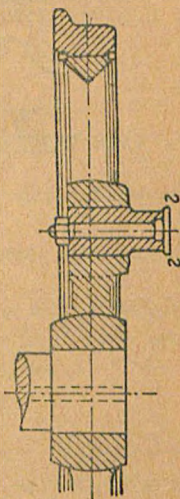
ние: последние должны воздействовать как на палец, на который они надеты, так и на следующие (крайние) дышла.

Профиль сечения сцепных дышел делается или двутавровый (более дорогие дышла, но и более легкие при той же прочности), или простой прямоугольный. На фиг. 71 показана система сцепных дышел для паровоза с 4 сцепными осями.

На паровозах Э применяются дышла несколько иного типа. Клиновые подтягивающиеся подшипники в этих паровозах заменены простыми втулочными, показанными на фиг. 72. На этом рисунке б—головка, а—бронзовая втулка, вставленная в головку и закрепленная в ней болтом в. Внутренняя рабочая поверхность втулки залита баббитом (показано черным).



Фиг. 72.

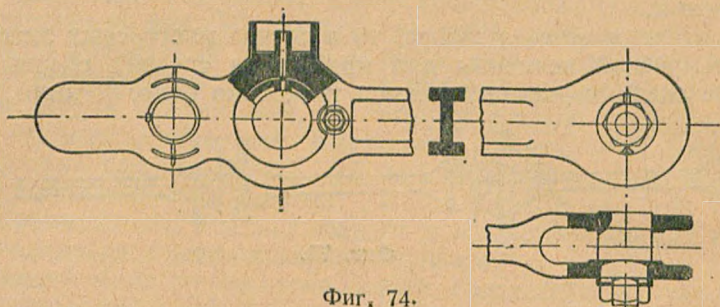


Фиг. 73.

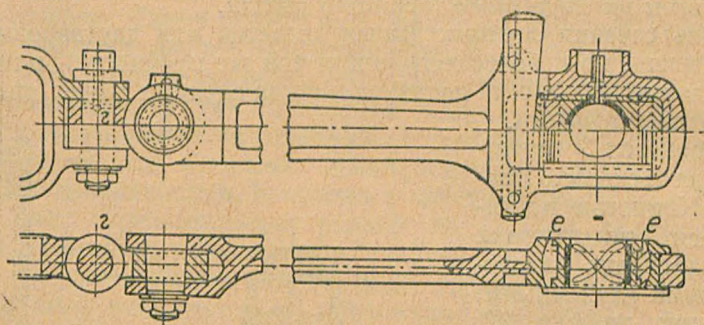
Чтобы обеспечить возможность постановки такой втулочной головки дышла, применяют отъемный бурт пальца з—з, как показано на фиг. 73 (бурт обозначен также з—з). Палец высверливается, и хвостовик бурта, вставленный в дыру, закрепляется с другой стороны пальца двумя гайками или корончатой гайкой (схематически показана простая гайка).

Так как некоторые оси паровоза Э для возможности прохода кривых пути сделаны подвижными, т. е. с некоторым поперечным перемещением (2-я и 5-я сцепные оси), пальцы колес этих осей сделаны длиннее, чем втулки дышел. Это позволяет пальцу переместиться вдоль втулки при проходе кривой.

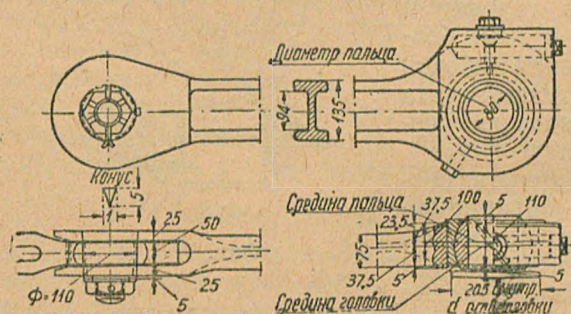
Одно из средних сцепных дышл паровоза Э (З-е) показано на фиг. 74. Задняя головка имеет втулочный подшипник и хвостовик с отверстием для шарнирного соединения этого дышла со следующим. Передняя часть



Фиг. 74.



Фиг. 75.



Фиг. 76.

(правая на рисунке) дышла заканчивается вилкой и валиком, служащими для соединения еще с одним сцепным дышлом.

Некоторые наши паровозы (С, СУ) имеют значительную боковую подвижность передней сцепной оси. Во избежание поломки переднего сцепного дышла и пальца подшипник переднего пальца делается вращающимся в особой цилиндрической (поверхность *e—e* на фиг. 75)

или лучше шаровой поверхности. В паровозах С^У применен, например, шаровой палец (на цилиндрический палец надета на *шпонке шаровая* стальная втулка), вращающийся в расточенном по такой же шаровой поверхности подшипнике. Шаровая поверхность пальца предохраняет как самый палец, так и подшипники от излома. Шарнирное же соединение сцепного дышла с центральной головкой другого сцепного дышла осуществляется посредством так называемого шарнира Гука (фиг. 75), дающего возможность изгибаться системе дышел в *любом* направлении—как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях.

Отмечаем, что новые мощные паровозы ИС, в которых передняя сцепная ось сделана также подвижной, имеют *шаровую плавающую втулку* (фиг. 76) в передней головке переднего сцепного дышла. Шарнир в другом (заднем) конце дышла выполнен более простым способом; возможность свободного изгиба дышел в горизонтальном и в вертикальном направлениях осуществляется постановкой *шаровой втулки в месте соединения переднего и среднего сцепных дышел*, как показано на фиг. 76.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Из какого материала изготавливаются поршень, поршневой шток, крейцкопф, параллели, параллельная рамка, поршневые и сцепные дышла?
2. Каким образом соединяется поршень со штоком?
3. Для чего поршень снабжается кольцами?
4. Опишите способы изготовления поршневого кольца.
5. Для чего и каким образом устраивается замок кольца?
6. Почему диски поршней новых мощных паровозов часто устраиваются составными?
7. Перечислите особенности конструкции поршня, штока и деталей самого цилиндра в новых мощных паровозах.
8. В чем заключаются положительные и отрицательные стороны несквозных штоков (без контрштоков)?
9. Какие существуют типы крейцкопфов и параллелей? Опишите их устройство.
10. Что такое многоплоскостная параллель, каково ее устройство, какие особенности устройства должен иметь крейцкопф для такой параллели?
11. Для чего устраиваются бронзовые вкладыши крейцкопфов?
12. Как производится смазка крейцкопфа и параллелей?
13. Для чего служит и как устраивается параллельная рамка?
14. Почему длина шатуна имеет большое значение для работы машины? Какие положительные и отрицательные качества имеются у длинных дышел?
15. Как устроены головки поршневых дышел?
16. Какого сечения бывают стелби поршневых и сцепных дышел?
17. Для чего делаются шарниры между соседними сцепными дышлами?
18. Как устроены клиновые и втулочные головки сцепных дышел?
19. Что такое плавающие втулки и в чем заключаются их преимущества перед обычными клиновыми и втулочными подшипниками?
20. Как надеваются на пальцы сцепные и поршневые дышла со втулочными головками?
21. Как устраиваются бурты пальцев при втулочных подшипниках?
22. Как устраиваются сцепные дышла для сцепных осей, имеющих поперечное перемещение?

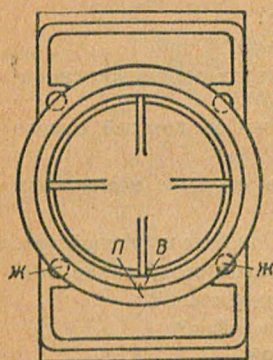
ГЛАВА X

КОНСТРУКЦИЯ ДЕТАЛЕЙ ПАРОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА

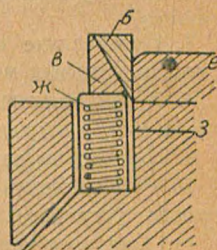
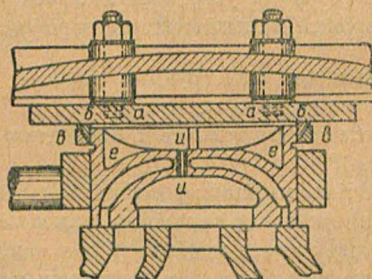
§ 1. Плоские золотники

Конструктивное выполнение плоского золотника показано на фиг. 77. Золотник отливается обычно из бронзы.

Плоский золотник часто снабжается каналом Трика (показан на фиг. 77). Необходимой принадлежностью золотника является компенсаторное устройство. Показанное на фигуре компенсаторное устройство системы Борриса получило большое распространение на наших старых паровозах с плоскими золотниками. Компенсаторное устройство служит, как мы знаем, для разгрузки золотника. Существенная часть устройства—



Фиг. 77.



Фиг. 78.

чугунная плита *а—а*, крепящаяся к крышке золотниковой коробки. Нижняя поверхность плиты должна быть тщательно обработана.

В своей верхней части золотник имеет кольцевой выступ *е—е*, ясно видимый также на плане золотника (слева). На выступ надеваются сверху два кольца *б* и *в* трехгранного сечения, сложенные вместе, как показано на фигуре.

Эти кольца *б* и *в* показаны отдельно на фиг. 78; пружинами *ж* они прижимаются к компенсаторной плите. Клиновидное сечение колец заставляет кольцо *б* прижиматься как к компенсаторной плите, так и к выступу золотника. Внутренний диаметр кольца *б* вытачивается точно в размер с диаметром выступа *е*. Поэтому пар не проникает в пространство над золотником, последний оказывается разгруженным. Просачи-

вающийся между кольцами пар по трубке *ии* (фиг. 77) уходит в атмосферу.

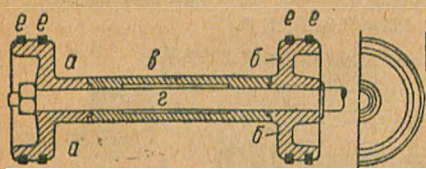
При движении золотника происходит перемещение кольца *б* по компенсаторной плите. Для уменьшения трения кольцо изготавливается из бронзы.

Такое устройство не вполне разгружает золотник, так как площадь уравновешенного круга *б* меньше площади всего золотника; последний все-таки оказывается прижатым к золотниковому зеркалу, но, конечно, со значительно меньшей силой, чем простой неразгруженный золотник. Круглая форма колец выбрана из-за легкости получения на токарных станках правильных поверхностей.

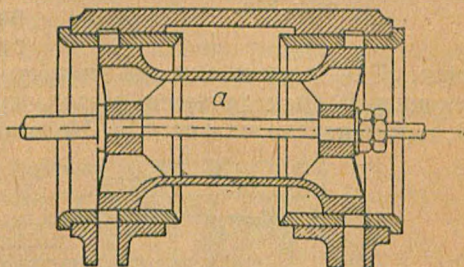
Компенсаторное устройство Борриса хотя и лучше многих других, но все же дает значительную утечку пара, в особенности при изношенных поверхностях.

§ 2. Круглые золотники

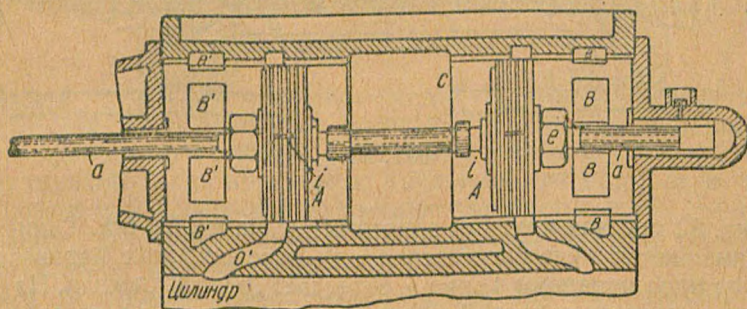
Круглые (цилиндрические) золотники могут устраиваться различными способами. Во всех конструкциях соблюдается основной принцип—на штоке сидят два золотниковых поршня, управляющие впуском и выпуском пара из цилиндра. На



Фиг. 79.



Фиг. 80.



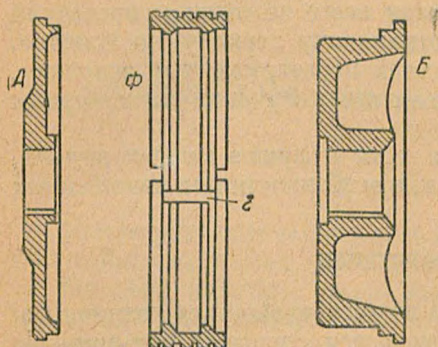
Фиг. 81.

фиг. 79 показан простейший круглый золотник: *а* и *б*—золотниковые диски (поршни), *с*—распорная трубка, *г*—шток, *е-е*—уплотнительные кольца, изготавливаемые так же, как и поршневые.

На фиг. 80 показан цельнолитой золотник *а* (кольца не показаны), называемый *трубчатым* золотником. Внутри золотника имеется свобод-

ный проход пара из передней части золотникового цилиндра в заднюю, что благоприятно отзывается на выпуске пара из какой-либо полости цилиндра.

Часть пара идет, как обычно, в выхлопные окна цилиндра, ближайшие к паровым окнам, а часть пара проходит по средней части золотника к выхлопным окнам другого конца золотникового цилиндра.

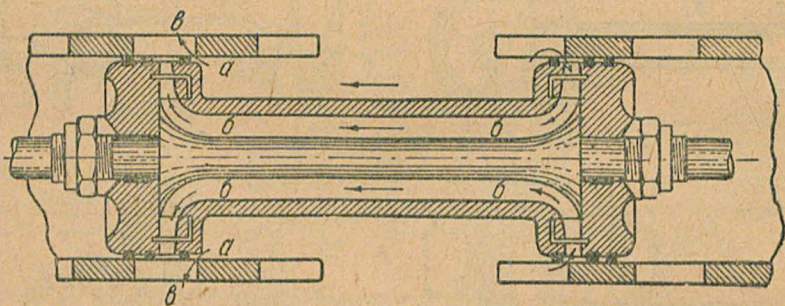


Фиг. 81а.

На многих наших паровозах применялся золотник Шмидта, показанный на фиг. 81. Устроен он следующим образом.

На золотниковом штоке *а—а* посредством гаек *е—е* закрепляются два поршневых диска *А—А*. Диски несут на себе или одно *широкое* уплотнительное кольцо с рядом узких мелких канавок, проточенных на его рабочей поверхности, или несколько обыкновенных узких уплотнительных колец. Узкие кольца надеваются на диск простым способом—разводятся рукой и надвигаются на

диск. Для постановки же широкого уплотнительного кольца самый поршневой диск делается разъемным—состоящим из двух половин *А* и *Б*, как показано на фиг. 81а. Кольцо *Ф* имеет замок *г*.

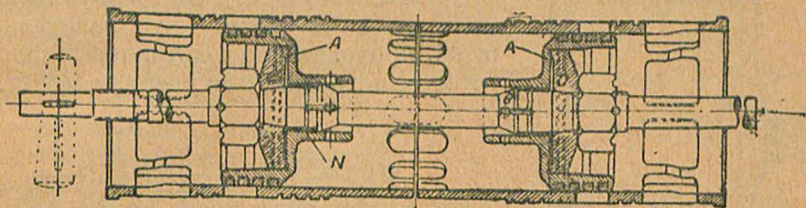


Фиг. 82.

На фиг. 82 показан круглый золотник с каналом Трика. Такие золотники применяются преимущественно для пассажирских паровозов, где добавление пара каналами Трика *б* облегчает „разгон“ поезда. На фигуре стрелками *в* показан основной впуск пара в левое окно и стрелками *б*—дополнительный. Золотник состоит из трех частей—двух дисков и средней трубчатой части. Гайками, расположенными по концам золотника, все три части плотно прижимаются одна к другой и закрепляются на штоке. Золотники Трофимова, о преимуществах которых мы уже знаем, получили огромное распространение. Посмотрим, как конструктивно выполняются эти золотники.

На фиг. 83 показан золотник Трофимова при работе с паром. Золот-

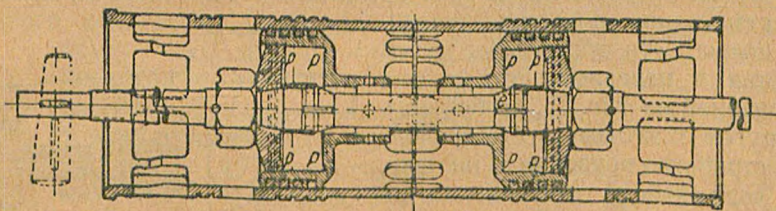
никовые диски *A* прижаты¹ к упорным шайбам *C*. Эти упорные шайбы жестко закреплены на штоке, и золотник Трофимова при открытом регуляторе (т. е. при работе с паром) ничем не отличается от обыкновенного круглого золотника. При закрытом регуляторе диски сдвигаются к середине золотникового цилиндра, открывая свободное сообщение (по паровым и выхлопным каналам) между обеими полостями цилиндра, как показано на фиг. 84.



Фиг. 83.

При открытии регулятора диски *A* раздвигаются в стороны. Для устранения ударов дисков об упорные шайбы в дисках сделаны цилиндрические расточки, диаметр которых лишь на $\frac{1}{4}$ мм больше диаметра упорной шайбы, на которую надвигается диск.

При набегаии диска на шайбу воздух, заполняющий расточку диска *P—P—P—P* (фиг. 84), оказывается запертым и, не успевая выходить по очень узкому кольцевому зазору между диском и шайбой,



Фиг. 84.

сжимается и постепенно останавливает набегающий диск. Этот воздушный буфер все же оказывается недостаточно мощным для получения мягкой посадки диска на шайбу. Поэтому на особых втулках *N*, надетых на шток, сделаны узкие продольные канавки *e*, по которым в полость буфера подводится небольшое добавочное количество пара, значительно поднимающее давление такого *паро-воздушного буфера*. Добавление пара значительно смягчает удар диска о шайбу.

Втулка *N* служит также направлением для набегающего диска. Для уменьшения трения она делается или бронзовой, или ковкого чугуна. Изношенная втулка легко заменяется новой. Шток благодаря наличию этой втулки не изнашивается.

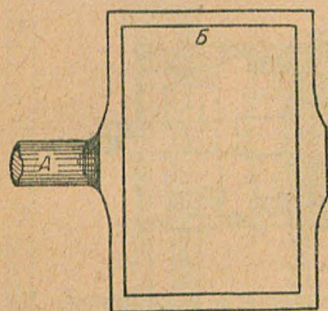
Для того чтобы избежать утечки пара через неплотности между корпусом диска и упорной шайбой, стыковые поверхности этих деталей имеют узкие притирочные кольцевые поверхности *P—P*.

¹ Давлением пара.

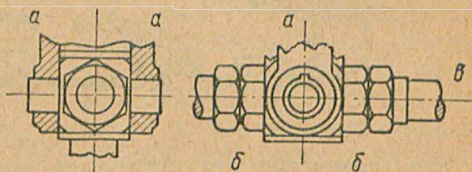
§ 3. Золотниковые штоки

Соединение плоских и круглых золотников с золотниковым штоком производится различными способами.

Золотниковый шток при *плоском* золотнике не должен жестко соединяться с последним. Плоский золотник при повышении давления *под* золотником, например при закрытом регуляторе, может отжиматься, отходить от зеркала, в то время как золотниковый шток, проходя через золотниковый сальник, естественно подаваться вверх не может.

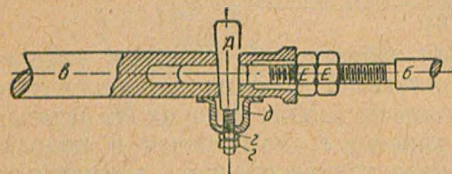


Фиг. 85.

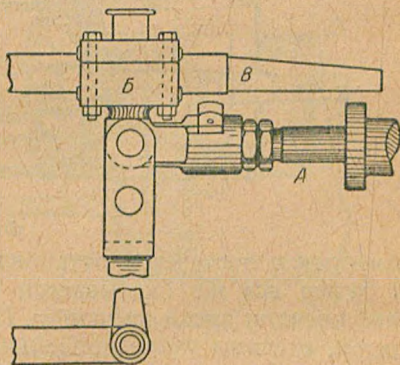


Фиг. 86.

С другой стороны, жестко закрепить шток к золотнику нельзя, так как золотник и зеркало постепенно срабатываются; место соединения штока с золотником несколько опустится, и шток опять будет работать на изгиб. Поэтому нужно обеспечить возможность свободного вертикального перемещения золотника относительно штока. Это достигается путем устройства в передней части штока А, показанной на фиг. 85, особой рамки Б, кругом охватывающей золотник. Такое устройство показано и на фиг. 77; оно дает свободу перемещения зо-



Фиг. 87.



Фиг. 88.

лотника в вертикальном направлении. Круглые золотники закрепляются на штоках таким же способом, как и поршни паровых цилиндров, т. е. гайками, накручиваемыми на соответствующие места штока, снабженные резьбой.

Задний конец золотникового штока соединяется с частями парораспределительного механизма. Для возможности *точной* установки и *проверки* золотника, что очень важно для получения правильного парораспределения, шток на своем конце обычно имеет такое устройство,

чтобы можно было в некоторых пределах передвигать золотник по зеркала (или в золотниковом цилиндре).

Соединение золотникового штока с маятником осуществляется несколькими способами, показанными на фиг. 86 и 87. На первой фигуре показан распространенный способ соединения золотникового штока с маятником. Последний заканчивается ушком $a-a$, в которое вставляется фасонный валик, снабженный отверстием в своей средней части. В это отверстие вдвигается конец золотникового штока. Установка последнего регулируется гайками $б-б$. Последние должны быть законтрены.

На фиг. 87 показано *клиновое соединение* штока. Ослабив гайки E , накрученные на хвостовик штока $б$, подвертыванием или ослаблением гаек $г-г$ установить шток можно точно, после чего все гайки должны быть затянуты и законтрены.

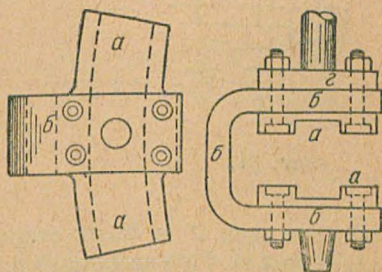
На фиг. 88 показано устройство золотникового кулачка B . На этой фигуре показана и золотниковая направляющая B , по которой передвигается золотниковый кулачок. Эти две детали имеют то же назначение, что и параллель и крейцкопф движущего механизма,—обеспечить *прямолинейное* движение конца золотникового штока. Буквой A обозначен золотниковый шток, закрепленный в золотниковом кулачке и законтренный двумя гайками.

§ 4. Кулиса

Кулиса представляет собой ответственнойшую деталь парораспределительного механизма. Необходимость иметь очень *твердые* рабочие поверхности кулисы (для уменьшения износа) вынуждает употреблять для отковки кулисы мягкую сталь с непременною последующей цементацией. Твердые марки стали, из которых отковываются детали движущего и парораспределительного механизма, в данном случае неприменимы, так как рабочие поверхности кулисы могут принять только *закалку*, которая распространится вглубь металла кулисы и обусловит *хрупкость* всего изделия. Цементация мягкой стали дает очень твер-



Фиг. 89.



Фиг. 90.

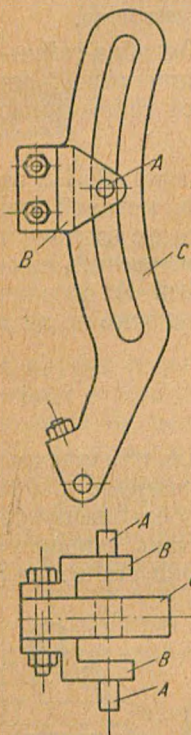
дую наружную корку, *вязкость* внутренних слоев металла сохраняется. Цементации подвергается конечно и кулисный камень.

Кулиса Стефенсона показана на фиг. 89. Она представляет собой кованую изогнутую пластину, в которой сделан средний прорез для камня, показанного на фигуре в центре кулисы, и два концевых отверстия для соединения с передними концами эксцентриковых тяг. Кулиса Джоя составляется из нескольких частей, как показано на фиг. 90. К массив-

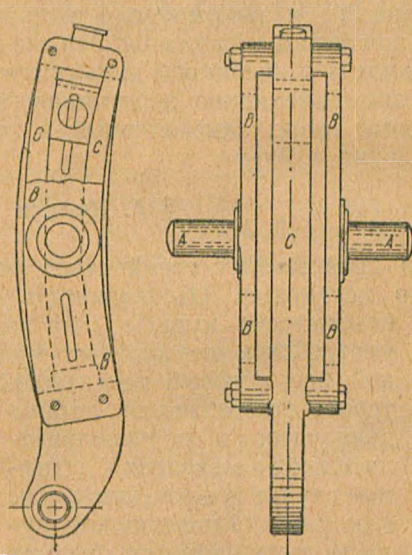
ной скобе *б—б* болтами крепятся рабочие щеки *а—а*, в которых сделаны направляющие пазы для камня.

Кулиса Джоя качается вокруг шипов, один из которых представляет собой длинный вал, фланцами *г* соединяющий обе кулисы (правой и левой стороны) паровоза в одну систему. На этот вал насаживается рычаг, управляющий поворотом кулисы и, следовательно, отсечкой. Такой вал, как мы увидим ниже, называется *переводным*.

Кулиса в механизмах Вальсхарта (Гейзингера) выполняется или *открытого типа*, показанного на фиг. 91, или *закрытого*, как показано на фиг. 92. Для того чтобы дать возможность камню передвигаться по всей длине прореза кулисы, точки подвеса последней—шипы *А*—должны быть закреплены *вне* рабочей поверхности кулисы. Это достигается уст-



Фиг. 91.



Фиг. 92.

ройством щек *В*, с обеих сторон крепящихся к кулисе и несущих на себе шипы *А*. Продольная ось шипов, вокруг которых качается кулиса, должна совпадать с центром камня, находящегося в среднем положении. В этом случае качающаяся кулиса не дает никакого перемещения камню. Это будет *нулевая отсечка*, когда рычаг перемены хода стоит «на центре».

Если щеки *В* идут *вдоль* всего корпуса кулисы (фиг. 92) и крепятся в верхней и нижней частях ее, мы имеем *закрытую* кулису,—ее прорез и камень *закрыты* с боков. Если же щеки расположены *поперек* кулисы (фиг. 91) и крепятся к ней сбоку, то они естественно не закрывают прореза,—мы имеем *открытую* кулису.

И та и другая кулисы в общем равноценны. Правда, открытая кулиса легче, чем закрытая, но она несколько быстрее и легче загрязняется.

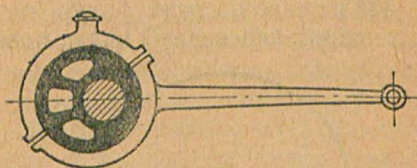
Закрытая кулиса весьма распространена на наших паровозах. Некоторые паровозы (Су, ФД Е и др.) имеют открытые кулисы.

Камень кулисы—несколько изогнутый кусок стали прямоугольного сечения, две рабочие поверхности которого обработаны по радиусу прореза кулисы. Камень имеет отверстие посередине для валика, передающего движение камня кулисной тяге, как будет указано ниже.

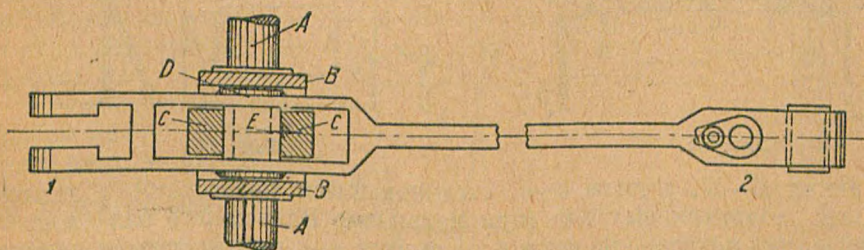
§ 5. Тяги парораспределения

Тяги парораспределительного механизма отковываются из твердой стали. Они снабжены простыми круглыми головками для валиков шарниров. Для устранения износа головок в отверстия их запрессовываются стальные цементированные втулки, эти втулки вставлены валики. Такие шарнирные соединения имеют малый износ, что благоприятно сказывается на величине зазоров в шарнирах. Заметим, что зазоры, давая мертвый ход отдельным деталям механизма, искажают парораспределение.

В кулисном механизме Вальсхарта задняя головка тяги от пальца контркривошипа имеет подшипник, устроенный по типу дышловых подшипников: он состоит из двух половин и подтягивается клином. Такое устройство объясняется сравнительно большим износом подшипника, в котором происходит вращение пальца, в то время как во всех других шарнирах имеет место лишь качание валиков на небольшой угол¹.



Фиг. 93.



Фиг. 94.

В кулисном механизме Стефенсона эксцентриковые тяги имеют устройство, показанное на фиг. 93. Хомут сделан из двух половин, соединяемых болтами. Удерживается хомут на эксцентрикe кольцевым выступом, сделанным на хомуте. Выступ последнего входит в кольцевую проточку, сделанную на внешней окружности эксцентрикового диска.

В кулисном механизме Вальсхарта имеются две основных тяги—тяга от пальца контркривошипа и золотниковая тяга, в плане показанная на фиг. 94. Золотниковая тяга имеет в своей части, обращенной

¹ Заметим, что Коломенский завод, начиная с 1933 г., стал выпускать паровозы Су, тяги от пальца которых имеют уже не описанный подтягивающийся подшипник, а бронзовую втулку.

к кулисе, фасонную вилку *Д*, охватывающую с обеих сторон кулису *С*. Буквой *Е* обозначен камень кулисы; пунктиром показан валик камня, *В*—щеки кулисы и *А*—шпицы щек. Заканчивается вилка ушком *Г* для соединения рассматриваемой тяги с рычагом переводного вала. Это соединение осуществляется промежуточной небольшой подвеской.

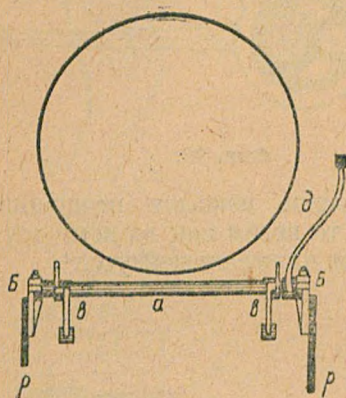
Кроме этих двух основных тяг, механизм Вальсхарта имеет уже известный нам парораспределительный рычаг—маятник, в шарнирах которого также применены стальные втулки.

Остальные детали механизма—второстепенные поводки и подвески—уже перечислены при разборе самого механизма Вальсхарта.

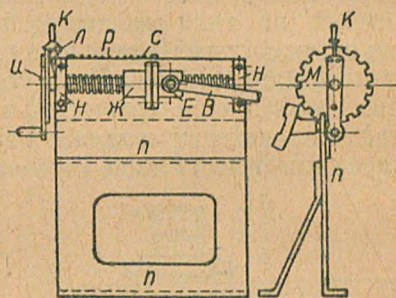
§ 6. Переводный механизм

Для возможности изменения отсечки и получения обратного хода на паровозе всегда устанавливается переводный механизм, детали которого показаны на фиг. 95 и 96.

На первой из этих фигур показаны следующие детали переводного механизма: переводный вал *а*, повертывающийся на некоторый угол в под-



Фиг. 95.



Фиг. 96.

шипниках *Б—Б*, рычаги *в—в*, соединяющиеся подвесками с задними концами золотниковых тяг (при механизме Вальсхарта вал делается длиннее, чем показано на фигуре, и рычаги *в—в* располагаются *снаружи* рам), и рычаг *д*, с верхним концом которого соединяется длинная *переводная тяга*, идущая в будку машиниста. Кроме того на валу устанавливается небольшой кривошип (на фигуре не показан), конец которого соединяется с пружиной, уравнивающей детали механизма, стремящиеся под действием собственного веса повернуть переводный вал в определенную сторону. Другой конец растянутой пружины закрепляется к раме паровоза или к междурамному скреплению.

В будке машиниста для управления ходом паровоза устанавливается станина *пп* (фиг. 96), в подшипниках которой *Н—Н* вращается переводный винт. Гайка *ж* этого винта в точке *Е* шарнирно соединяется с вилкой *в*, представляющей собой конец *переводной тяги*.

Вращая маховик *М*, мы передвигаем вдоль винта гайку *ж* и, следовательно, меняем отсечку или ход паровоза. Над винтом установлена

указательная планка p с нанесенными делениями от 0,8 до 0,0 и от 0,0 до 0,8, обозначающими отсечки для переднего и заднего ходов паровоза¹.

Вдоль этих цифр передвигается указатель C , закрепленный на гайке винта. Вращая винт, машинист меняет отсечку и, смотря на указатель C , знает величину ее. Переводный винт, гайку и маховик часто называют *реверсом*.

Чтобы устранить самопроизвольное вращение винта, по окружности маховика M сделаны углубления, в которые заходит собачка K . Для того чтобы изменить отсечку, машинист левой рукой откидывает собачку, а правой—начинает вращать винт.

Старинные малые паровозы вместо переводного винта с гайкой имели простой вертикальный рычаг, работая которым машинист менял отсечку. Этот рычаг перемены хода давно уже устарел, заменен винтом, но название «рычаг» сохранилось до сих пор; переводный винт, маховик с рукояткой и гайку до сих пор называют «рычагом перемены хода».

По мере увеличения размеров паровоза увеличиваются и размеры и вес всех деталей парораспределительного механизма; увеличивается и трение в шарнирах. Это заставляет машиниста прикладывать большое мускульное усилие к рукоятке переводного винта. Поэтому мощные паровозы часто снабжаются особыми *серво-моторами* для перемены хода паровоза.

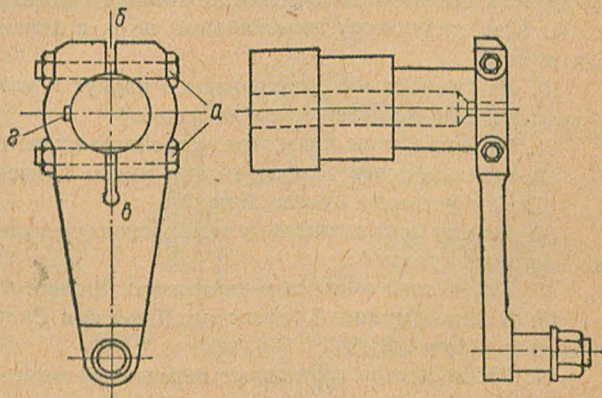
Основной частью серво-мотора является воздушный цилиндр, поршень которого соединен с рычагом переводного вала. Впуская воздух в ту или другую полость цилиндра, машинист поворачивает переводный вал на нужный угол, т. е. меняет отсечку. Работа машиниста в значительной степени облегчается, так как он управляет лишь небольшим рычажком.

При необходимости прибор можно привести в действие и паром².

§ 7. Контркривошип

В кулисном механизме Вальсхарта кулиса как мы знаем, получает качательное движение от пальца контркривошипа.

Прежде контркривошип отковывался за одно целое с ведущим пальцем (фиг. 23). Отковка и обработка такого изделия очень дороги. Поэтому теперь стали изготавливать контркривошип *отдельным* и укреплять его на ведущем пальце. Такой *съемный* контркривошип совершенно необходим при *втулочных* дышловых подшипниках—иначе нельзя навесить дышла.



Фиг. 97.

¹ Мощные паровозы часто имеют наибольшую отсечку не 0,8, а 0,7 и даже 0,6 («ограниченная отсечка»), о чем сказано в книге «Мощные паровозы».

² Серво-моторы рассмотрены в книге «Мощные паровозы».

Конструкция съемного контркривошипа показана на фиг. 97. Диаметр отверстия в контркривошипе растачивается в точности по диаметру хвостовика ведущего пальца.

Когда контркривошип надет на палец, гайки болтов *а—а* затягиваются, и так как корпус контркривошипа имеет узкий длинный прорез *б—в*, то половинки корпуса плотно прижимаются к хвостовику. Шпонка *г* предохраняет контркривошип от *провертывания*, а болты *а*, проходя частично в теле хвостовика, как показано на фигуре, предохраняют контркривошип от сползания с хвостовика.

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Каково устройство компенсаторной плиты плоского золотника? Полностью ли она разгружает плоский золотник?
2. Почему штоки для *плоских* золотников должны быть сделаны большего диаметра, чем при *круглых* золотниках?
3. Что такое золотниковая рамка и для чего она устраивается?
4. Что такое трубчатый золотник?
5. Опишите (по фиг. 82) работу круглого золотника с каналом Трика.
6. Опишите устройство золотника Трофимова. Какая цель преследуется устройством паровоздушных подушек?
7. Для чего нужна притирка между диском и шайбой золотников Трофимова? Где устраивается эта притирочная поверхность и какую форму она имеет?
8. Как соединяется круглый золотник со штоком?
9. Как соединяется золотниковый шток с деталями парораспределительного механизма?
10. Из какой стали изготавливаются корпус и камень кулисы? Как предохраняются их рабочие поверхности от износа?
11. Назовите типы и опишите устройство кулисы Вальсхарта.
12. Сколько точек захвата тягами имеют кулисы Стефенсона и Вальсхарта?
13. Как устроена кулиса Джоя?
14. Почему центры шипов кулисы должны совпадать с центром камня, стоящего по середине кулисы?
15. Какие тяги имеются в механизмах Стефенсона, Джоя и Вальсхарта?
16. В какой кулисе (Стефенсона, Джоя или Вальсхарта) камень больше изнашивается и почему?
17. Какие детали составляют переводный механизм?
18. Как устроен переводный вал? Сколько и каких рычагов (кривошипов) устанавливается на переводном валу?
19. Как устроен переводный винт? Как машинист узнает степень наполнения в данный момент?
20. Как укрепляется на ведущем пальце съемный контркривошип?

ГЛАВА XI

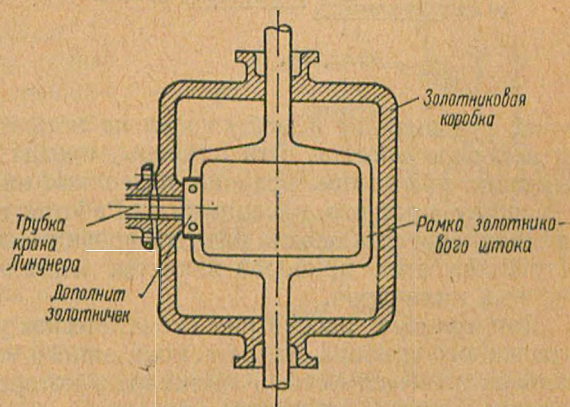
ПРИНАДЛЕЖНОСТИ И АРМАТУРА ПАРОВОЙ МАШИНЫ

§ 1. Принадлежности паровых машин-компаунд. Приборы трогания и модераторы

Необходимость постановки на компаунд-паровоз особых приборов трогания с места значительно усложняет все устройство паровой машины. Попытки рационального осуществления легкого трогания паровоза с места привели к наличию очень большого количества различных конструкций этих приборов, стоящих на уже устаревших двухцилиндровых паровозах-компаунд. Рассмотрим в самых кратких чертах эти приборы.

Все приборы трогания с места можно разделить на три основных группы.

К первой группе относятся приборы, которые работают только при наибольшей отсечке и притом помимо желания машиниста включить их, т. е. работают автоматически. Эти приборы работают только при спущенном до конца рычаге перемены хода. К приборам упомянутой группы, получившим некоторое распространение, относится прибор Борриса. Большого распространения этот прибор не получил, так как в работе паровоза иногда приходится добавлять свежий пар в левый цилиндр не только при самой большой отсечке, но и при несколько меньших.

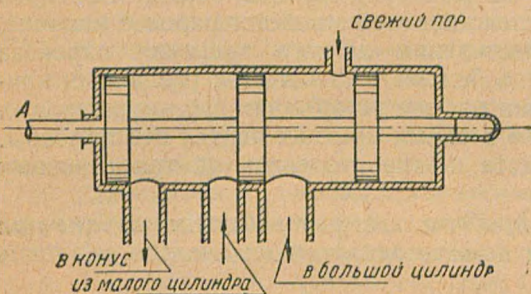


Фиг. 97а.

Вторая группа составляет из более универсальных приборов, добавляющих свежий пар в левый цилиндр, когда отсечка увеличивается выше определенной величины. К этой группе относится прибор Коломенского завода и кран Линднера. Последний получил сравнительно большое распространение. Он схематически показан на фиг. 35. Кран открывается тягой, соединенной с переводным рычагом, или, лучше, от самостоятельного привода. При увеличении отсечки свыше 0,71—0,72 пробка крана открывает сообщение обеих золотниковых коробок.

Дефектом такого прибора является *медленное* заполнение большого цилиндра паром, идущим по трубке небольшого диаметра (38 мм). Поэтому такой прибор получил распространение преимущественно на товарных паровозах.

Заметим, что если золотник большого цилиндра стоит в среднем положении, или близком к нему, т. е. если золотник перекрывает оба впускных окна, впуск пара в большой цилиндр, естественно, невозможен. Пар из золотниковой коробки большого цилиндра пойдет в ресивер и создаст противодействие в малом цилиндре. Чтобы избежать этого нежелательного явления, трубка крана Линднера подводится сбоку—посередине длины золотниковой коробки (см. фиг. 97) и входное отверстие трубки делается перекрывающимся особой небольшой планкой-золотничком, укрепленным на рамке штока; схема устройства показана на фиг. 97-а. Длина этого дополнительного зо-



Фиг. 98.

лотничка делается такой, чтобы при открытии основным золотником паровых окон в цилиндр—открывалось бы и это дополнительное отверстие.

Обработка и пригонка деталей дополнительного впуска должна быть очень тщательной.

Наконец, *третью группу составляют наиболее универсальные приборы Маллета, Дульца и Емельянова*, работающие в любое время по желанию машиниста, независимо от величины отсечки. Эти приборы, правда, значительно сложнее предыдущих, но они при желании позволяют превратить машину-компаунд в машину простого расширения. Работая свежим паром в обоих цилиндрах, скорость можно развить сравнительно быстро. Основной идеей устройства этих приборов является *переключение паропроводов* обоих паровых цилиндров.

Для примера рассмотрим схематическое устройство и работу распространенного прибора Маллета, показанного на фиг. 98. Основной деталью прибора является особый цилиндр, в котором могут передвигаться три поршня, сидящие на одной скалке.

В положении поршней, показанном на фигуре, свежий пар входит в верхнее небольшое отверстие и направляется далее по нижней трубе в цилиндр низкого давления. В это время средний и левый поршни стоят так, что пар, отработавший в малом цилиндре, выходит непосредственно в конус. Таким образом при положении поршней согласно фигуре оба цилиндра работают *свежим* паром, выпуская его в конус.

Если же машинист передвигает поршни вправо, то *левый* поршень разобщит малый цилиндр от конуса, и *средний* поршень, подвинувшись вправо, позволит отработавшему в малом цилиндре пару идти к большому цилиндру и в то же время разъединит большой цилиндр

с трубкой свежего пара. Паровоз будет работать по принципу компаунд.

За последнее время на паровозах-компаунд взамен всех рассмотренных приборов получают распространение простые краны-добавители (с ручным приводом), впускающие свежий пар в цилиндр низкого давления.

Модераторы так же, как и приборы трогания, стоят только на старых (далеко не всех) паровозах. На фиг. 99 показан модератор Зяблова. Он устанавливается на выхлопной трубе большого цилиндра перед конусом. Корпус модератора *А* имеет выходящий наружу котла отросток *Б*, к которому крепится труба *В*. Вращая валик *Е* (привод сделан в будку машиниста), мы повертываем круглый золотник *Д* и тем самым воздух, поступающий из большого цилиндра при езде без пара, выпускаем не в конус и дымовую трубу *Ж*, а непосредственно в атмосферу по трубе *В*.

При работе с паром золотник должен закрывать вход в отросток *Б* и открывать выход отработавшего пара в конус.

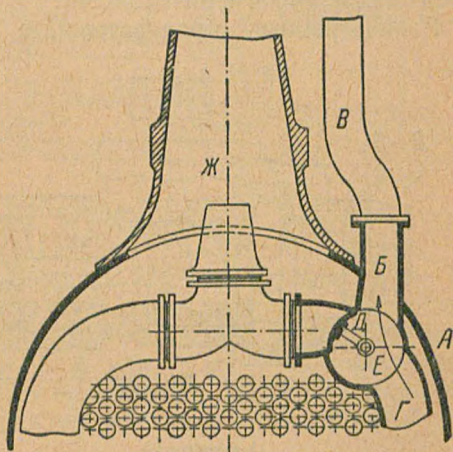
Если от котла в данный момент не требуется большого парообразования или нет смысла форсировать работу топки, также пользуются модератором, но уже при работе под паром. В этом случае отработавший пар выбрасывается в атмосферу, минуя конус.

§ 2. Арматура паровых цилиндров

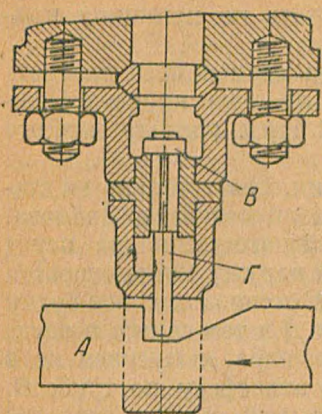
Для получения исправной и безопасной работы машины паровоза паровые цилиндры снабжаются соответствующей арматурой. К основным деталям арматуры относятся продувательные и предохранительные клапаны и уже известные нам байпассы. Кроме того золотниковые коробки современных паровозов оборудуются пирометрами, измеряющими температуру перегретого пара, впускаемого в цилиндры. Пирометр устанавливается в будке, а к цилиндру идет его проводка. Устройство пирометра паровой машины такое же, как и котлового (стоящего на перегревателе).

Несколько особняком стоят смазочные приборы, составляющие целую группу принадлежностей цилиндров. Они разбираются ниже в особых параграфах.

Продувательные клапаны цилиндра являются необходимой принадлежностью всякой паровой машины. Их устройство показано на фиг. 100. Клапаны устанавливаются в самой нижней части цилиндра. Проходящая внизу клапана тяга *А* при своем перемещении по стрелке косым срезом нажимает на хвостовик *Г* клапана *В*, который, поднимаясь над своим седлом, выпускает воду из цилиндра.



Фиг. 99.



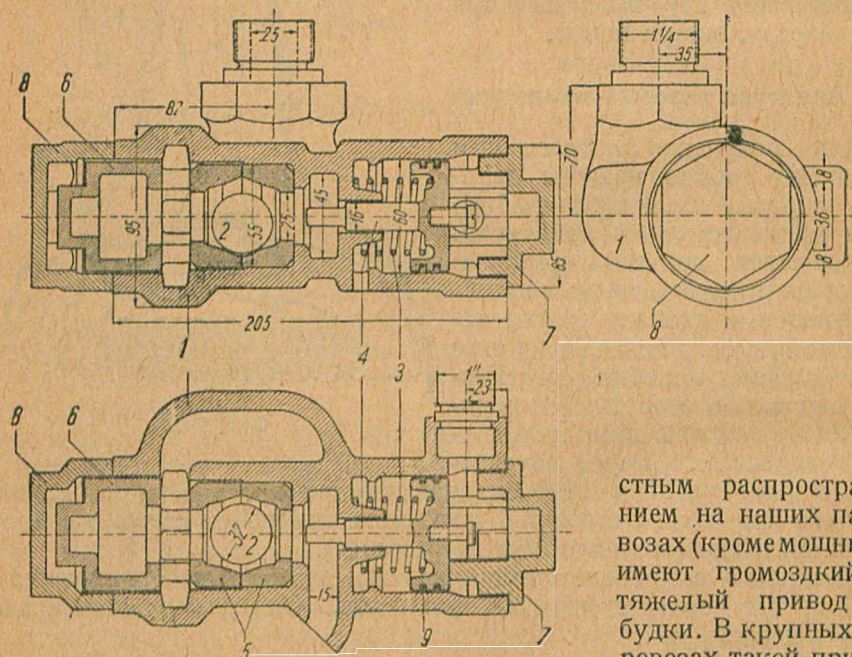
Фиг. 100.

Каждый паровой цилиндр снабжается 3—4 клапанами: два являются спускными из полостей цилиндра и 1—2—из золотниковой коробки. Все клапаны ставятся внизу цилиндра в ряд и открываются одной тягой, имеющей несколько косых вырезов. От золотниковой коробки к соответствующим клапанам идут трубки.

Дефект таких клапанов—частый отказ их сесть на место (при попадании кусочка накипи или нагара между клапаном и седлом).

Некоторые паровозы, как например *СУ*, имеют не клапаны, а простые продувательные пробочные краны. Краны всегда можно закрыть, так как ребра отверстия в пробке перерезают кусочки накипи или нагара; краны всегда могут быть закрыты *сразу*, но зато они требуют частого ремонта (притирки пробок) и потому считаются малоудовлетворительными.

Рассмотренные продувательные клапаны, пользующиеся повсе-



Фиг. 100а.

стным распространением на наших паровозах (кроме мощных), имеют громоздкий и тяжелый привод из будки. В крупных паровозах такой привод оказывается вовсе не конструктивным. По-

этому на мощных паровозах применяют особые шариковые продувательные клапаны с воздушным приводом из будки.

На фиг. 100а показаны продувательные клапаны мощных парово-

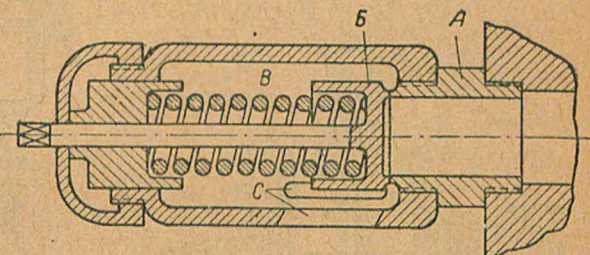
зов. Существенной частью являются корпус 1 и шарик 2. Давлением пара шарик прижимается к правому седлу 5 и разобщает цилиндр от атмосферы. Для того чтобы продуть цилиндры, впускают сжатый воздух в правую часть корпуса. Имеющийся здесь поршень 9 перемещается влево и хвостиком своего штока 4 отталкивает шарик от седла.

Достоинством такого клапана помимо надежности работы (все детали—стальные) является сообщение цилиндра с атмосферой на стоянках паровоза, так как шарик под действием своего веса лежит на дне своей полости (между седлами 5).

Предохранительные клапаны—необходимая принадлежность цилиндров с круглыми золотниками, так как круглые золотники, не отжимаясь от зеркала при чрезмерном повышении давления в цилиндре, могут стать причиной серьезной поломки машины—вышибания крышек, поломки дышел и т. д. Действительно, если при скапливании воды в цилиндре объем ее окажется большим, чем вредное пространство, произойдет сильнейший толчок при подходе поршня к мертвой точке, так как вода—несжимаема. Предохранительные клапаны, ставящиеся на каждой крышке цилиндра, не позволяют подняться давлению в цилиндре выше заданной величины (давления пара в котле, на которое рассчитаны все детали машины).

Заметим, что предохранительными клапанами часто снабжаются ресиверы паровых машин-компаунд.

На фиг. 101 схематически показан этот клапан цилиндра. Его устройство напоминает котловый предохранительный клапан. Штуцер А ввертывается в крышку цилиндра. На штуцер, как на седло, опирается клапан В, нагруженный пружиной В. При превышении давления в цилиндре клапан приподнимается и выпускает пар или воду в окна С—С.



Фиг. 101.

§ 3. Масленки паровой машины

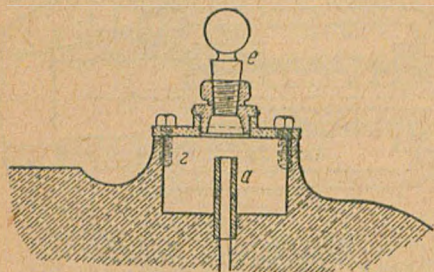
Смазка всех трущихся частей паровой машины является залогом исправной работы последней. Смазка наружных деталей движущего и парораспределительного механизма осуществляется простыми фитильными масленками, показанными на фиг. 102. В резервуар масленки, вырезанной в корпусе головки дышла, наливается жидкое масло, в трубку а вставляется на проволоке шерстяной фитиль, внешним своим концом лежащий на дне резервуара.

По мере расходования смазки фитиль подает новые количества ее к шейке пальца (или валика). Сверху резервуар закрывается крышкой и пробкой е. Пробка часто заменяется клапаном, открывающимся внутрь при нажатии пальцем. Последнее устройство позволяет быстро добавить масло во все масленки, что очень важно при кратковременных остановках паровоза. Смазка дышловых головок густым маслом произ-

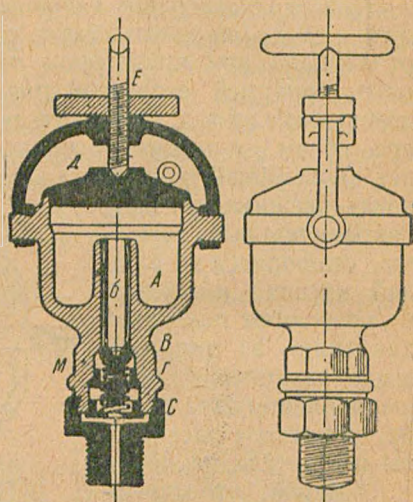
водится без всяких фитилей: масло впрессовывается в корпус масленки небольшим переносным винтовым прессом¹.

Что касается смазки поршня и золотника, то здесь устройство масленок усложняется из-за наличия давления пара, затрудняющего проникновение масла в цилиндр.

Простые масленки, пользующиеся [распространением на старых паровозах, работающих насыщенным паром, показаны на фиг. 103. Масло наливается в резервуар А, плотно закрываемый крышкой Д, нажимаемой винтом Е. В трубку б вставлен фитиль. Внизу корпуса поставлены два клапана В и Г, прижимаемые пружинками М и С к своим седлам. Пространство под клапанами длинной трубкой сообщается с паровым цилиндром. При езде без пара в этой трубке образуется разрежение, и масло постепенно проходит в цилиндр.



Фиг. 102.



Фиг. 103.

Другое, еще более простое устройство подобной масленки основано на *всасывании* сразу всего масла, налитого в резервуар. Масленка устраивается без фитиля; масло втягивается в трубку за счет того же разрежения в цилиндрах.

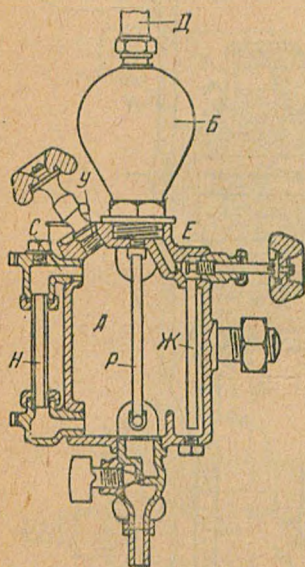
Отмечаем, что такие масленки подают смазку только при закрытом регуляторе. При открытом регуляторе смазывающим веществом является сам насыщенный пар. Если эти масленки не вполне удовлетворительно работают и при насыщенном паре, то при перегретом паре они оказываются вовсе непригодными.

§ 4. Лубрикаторы

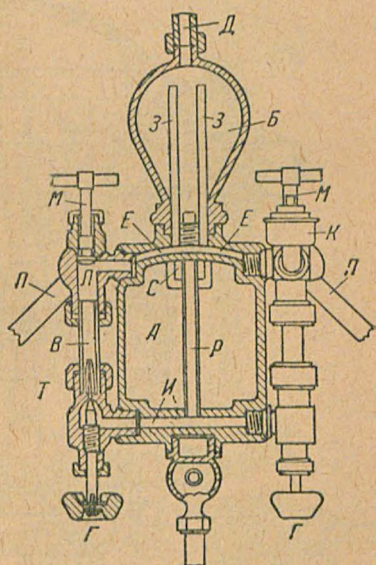
Лубрикаторы представляют собой более совершенный вид смазочного устройства, так как они подают масло в цилиндры *непрерывно*, независимо от того, под паром или без пара идет паровоз. Наибольшим распространением на наших паровозах пользуются лубрикаторы Натана, показанные на фиг. 104 и 105.

¹ Смазка дышловых головок густыми смазывающими веществами более подробно рассмотрена в книге «Мощные паровозы».

Лубрикатор устроен следующим образом. В корпус А лубрикатора через отверстие У, закрываемое пробкой, наливается масло. В верхней части прибора имеется небольшой резервуар Б, в который поступает пар из котла по трубке Д. Из резервуара Б пар не имеет *свободного* выхода в атмосферу, охлаждается в нем и превращается в воду. Когда уровень воды поднимается выше отверстий двух трубок З, вода начинает перетекать по этим трубкам в каналы Е и трубки Ж (фиг. 104) в низ резервуара А. Попадая в резервуар А, вода поднимает находящееся в нем масло (масло легче воды, и поэтому вода будет всегда под слоем масла). Уровень масла поднимается до отверстия трубки Р (фиг. 104); затем



Фиг. 104.



Фиг. 105.

масло поступает по этой трубке в каналы И и Т и далее внутрь стеклянных трубок В, заполненных конденсационной водой, подаваемой из резервуара Б. Масло в виде капелек пробегает снизу вверх по этим стеклянным трубкам («видимая подача») и поступает далее в трубки Л, подводящие масло вместе с конденсационной водой к цилиндрам.

Вентильками Г можно регулировать подачу масла. В случае порчи лубрикатора (засорение, поломка стекла) можно пользоваться простыми масленками К.

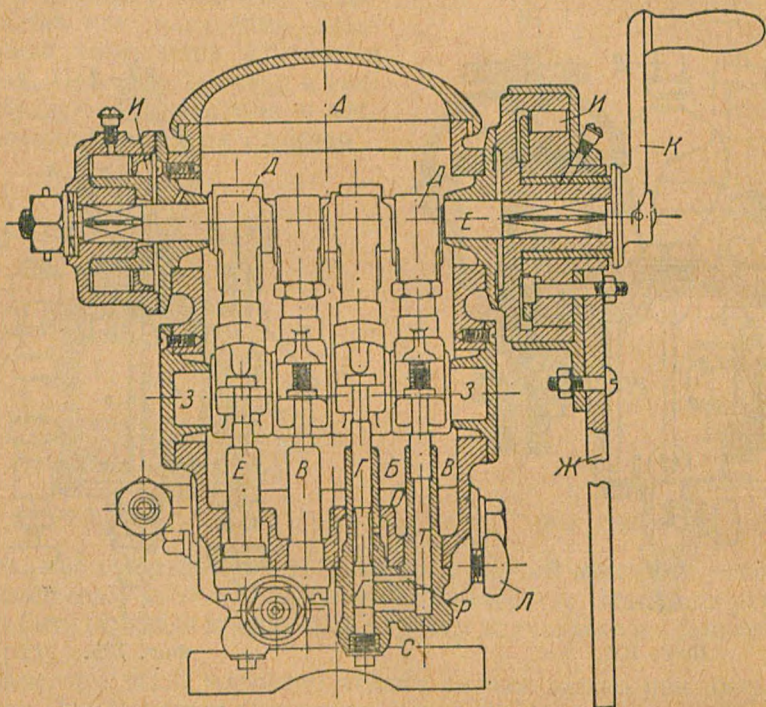
Стекло Н показывает величину запаса масла в лубрикаторе.

Лубрикатор имеет тот недостаток, что подает масло в одном и том же количестве независимо от режима работы и скорости паровоза, хотя при увеличении противодавления в маслопроводе подача несколько уменьшается. Другой дефект лубрикатора—его частое засаривание.

§ 5. Смазочные прессы

Наиболее совершенным смазочным прибором для паровых цилиндров считается смазочный пресс с так называемой принудительной подачей смазки. Смазочные прессы иногда называют *смазочными насосами*.

Основной идеей устройства смазочных прессов всех систем (Фридмана, Лысова, Натана и др.) является *нагнетание маленькими насосами масла в маслопроводы к цилиндрам, золотникам и сальникам*, а иногда и другим трущимся частям паровоза. Поршеньки насосиков получают движение от какой-либо детали парораспределительного механизма

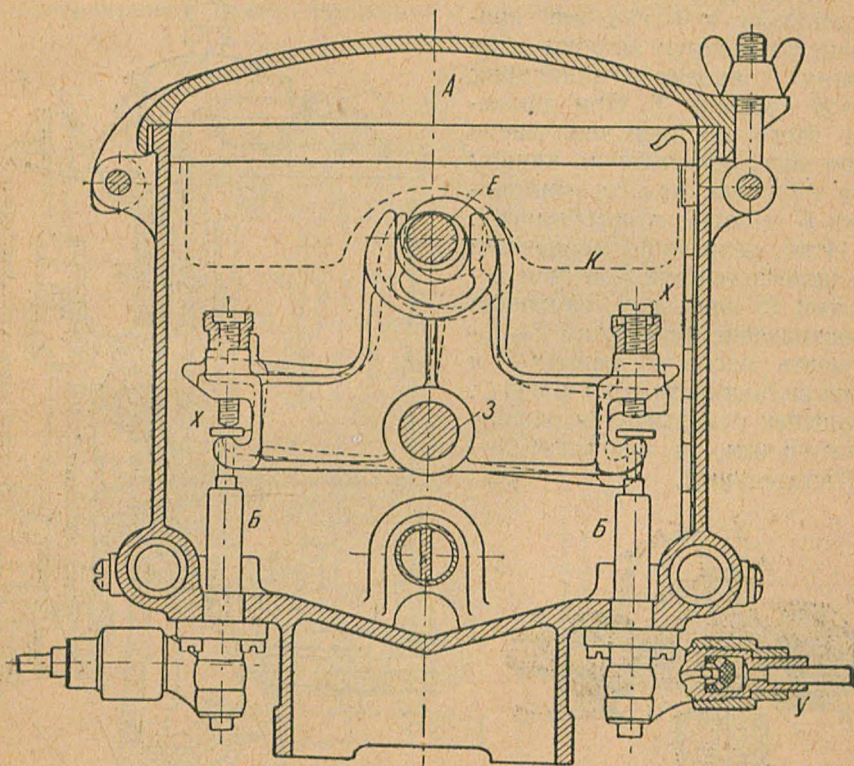


Фиг. 106.

(кулиса, маятник и др.). Чем быстрее идет паровоз, тем больше ходов сделают поршеньки и тем больше масла поступит в цилиндры. В этом заключается основное преимущество смазочных прессов перед всеми другими видами смазочных приборов. Другое преимущество — *непрерывность* подачи смазки при движении паровоза и отсутствие подачи на остановках. В случае необходимости, например перед отправлением поезда, можно от руки накачать некоторое количество масла в маслопроводы и цилиндры.

Наибольшим распространением на нашей сети пользуются смазочные прессы Фридмана — с невидимой и видимой подачей смазки. Первые показаны на фиг. 106 и 107.

Корпус пресса *А* служит одновременно и резервуаром для масла. В нижней части корпуса размещены в два ряда цилиндры маленьких насосов *Б* и *В* (фиг. 106). По трубкам *У* (фиг. 107), называемым маслопроводами, эти насосики гонят масло к паровым цилиндрам, золотникам и сальникам. Количество этих насосиков колеблется обычно от 6 до 8 («шесть выходов», «восемь выходов») — в соответствии с количеством мест, подлежащих обслуживанию прессом на обеих сторонах паровоза.



Фиг. 107.

Насосик состоит из двух цилиндров *Б* и *В* (фиг. 106), полости которых соединяются между собой каналами *Р* и *С*¹. Цилиндр *Б* сообщается в верхней своей части с масляным резервуаром *А*.

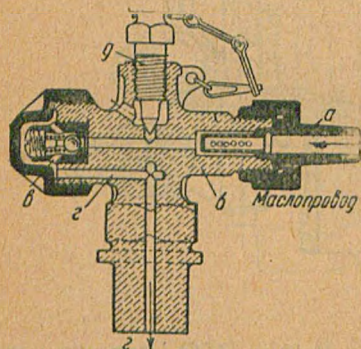
В верхней части корпуса проходит вал *Е*, имеющий медленное вращение от рычага *Ж*, соединенного с этим валом храповичком и собачкой *Н*. Рычаг *Ж* имеет качательное движение от какой-либо детали парораспределительного механизма. На валу *Е* имеются небольшие эксцентрики (кулачки), заходящие в верхние челюсти коромысел; последние могут качаться вокруг вала *З*. Такое устройство дает очень медленное качание коромысла при сравнительно быстром качании рычага *Ж*. Ко-

¹ Каналы *Р* и *С* расположены один под другим.

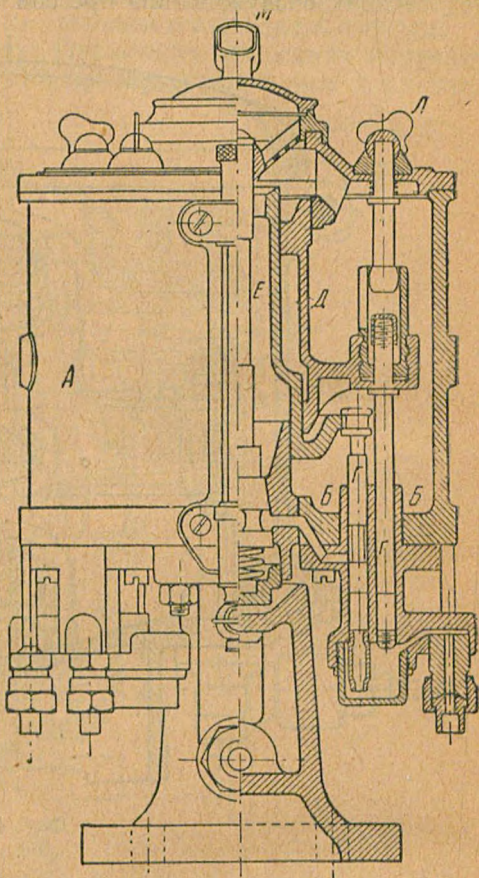
ромысла на своих концах имеют боковые челюсти, в которые вкладываются верхние бурты поршеньков, работающих в цилиндрах Б и В. Поднимая или опуская регулировочные винты Х, помещенные на концах коромысла (см. фиг. 107), можно уменьшать или увеличивать ход поршеньков, а следовательно и подачу масла.

Рассмотрим работу пресса. При подъеме поршня Т (фиг. 106) поршень Г опускается и открывает своей заточкой проход масла к каналу Р. Масло через узкое отверстие О попадает в кольцевые пространства вокруг заточки и по каналу Р входит в цилиндр В под поршень Т. При движении этого поршня вниз масло будет выталкиваться по каналу С в нижнюю полость цилиндрика Б и затем в маслопровод.

Итак, назначение поршенька Г заключается в переменном открытии то канала Р, то канала С; назначение поршенька Т — засасывать масло по каналу Р и затем выталкивать его в канал С. Поршень Г называется распределительным, а поршень Т — нагнетательным.



Фиг. 108.



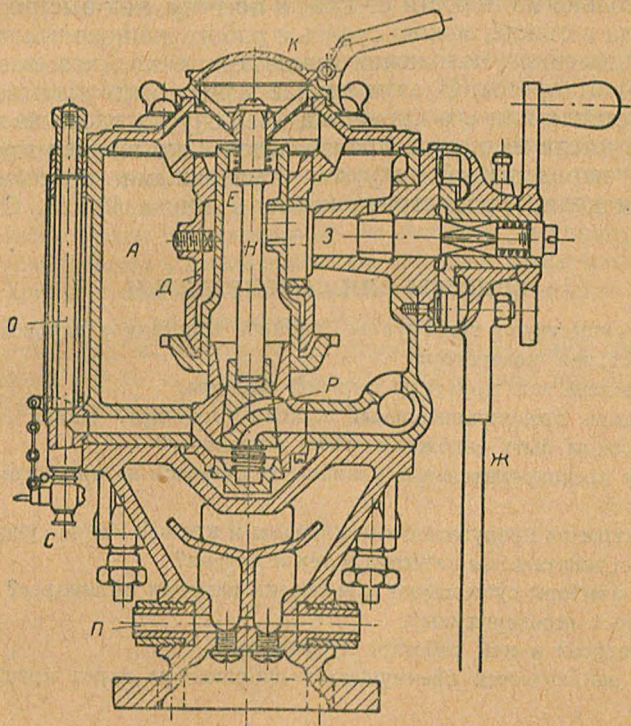
Фиг. 109.

Выходы из пресса закрыты обратными шариковыми клапанами, к корпусам которых крепятся маслопроводы У, как показано на фиг. 107. В том месте, где маслопроводная трубка входит в цилиндр, ставится другой обратный клапан. Назначение обоих обратных клапанов — не пропустить пара из цилиндра к смазочному прессу.

На фиг. 108 показан обратный клапан, ставящийся на паровом цилиндре (или на золотниковой коробке). Буквой а обозначен маслопровод, б — корпус клапана, в — шарик, играющий роль обратного клапана, д —

пробка для контроля. Шарик закрыт давлением пара и нажимом пружинки; он открывает проход масла в канал 2 только в том случае, если напор масла будет больше давления пара и нажатия упомянутой пружинки. Такое устройство обуславливает невозможность попадания пара в маслопровод.

Этот смазочный пресс работает в общем удовлетворительно. Некоторым дефектом является невозможность прямого контроля над работой отдельных насосиков. Более совершенным прессом поэтому является распространенный пресс Фридмана с «видимой подачей», у которого



Фиг. 110.

простыми средствами может быть проверена работа каждого в отдельности насосика. Этот прибор показан на фиг. 109 и 110.

Устройство самих насосиков ничем не отличается от предыдущего, но расположение их иное. Здесь мы имеем круглый корпус пресса; все цилиндры размещены вокруг центральных втулок Д и Е, управляющих движением поршеньков Г. Вал 3 (фиг. 110) имеет на своем внутреннем конце два эксцентрика, заставляющие то подниматься, то опускаться втулки Д и Е, а следовательно и поршеньки. Эксцентриситеты эксцентриков направлены в противоположные стороны, вследствие чего при подъеме одного поршенька другой опускается.

В этом прессе значительно удобнее регулировать подачу масла каждым насосиком, так как регулировочные барашки Л (фиг. 109)

выходят наружу корпуса. Сбоку корпуса имеется маслоуказательное стекло *O*, обычно показывающее уровень масла в резервуаре.

Основным достоинством и преимуществом этого пресса, как указано выше, является возможность контроля подачи масла каждым насосиком.

Внутри корпуса имеется пробка крана *P* (фиг. 110) с фасонными отверстиями. Эта пробка стержнем *H* и рукояткой *M* может повертываться в своем гнезде. Повертывая рукоятку, мы сообщаем полость стекла со всасывающим каналом любого насосика. Последний начинает забирать масло только из полости стекла, и по тому, как быстро понижается уровень масла в стекле, можно судить о работе данного насосика.

При определенном положении рукоятки стекло оказывается вообще разобщенным от пресса. В этом случае может быть произведена смена лопнувшего стекла или его прочистка—без спуска масла из корпуса.

Удаление масла из пресса производится открыванием крана *C*.

Мощные паровозы оборудуются смазочными прессами «Натан» последней модели, рассматриваемыми в книге И. М. Струженцова «Мощные паровозы».

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Какие существуют три группы приборов трогания у паровозов-компаунд?
2. Как устроен модератор?
3. Перечислите всю арматуру паровой машины.
4. Что такое предохранительный клапан цилиндра? Какие типы паровых цилиндров должны быть снабжены этими клапанами?
5. Почему предохранительные клапаны не ставятся на цилиндрах с плоскими золотниками?
6. Как устроены продувательные клапаны и краны? Какие существуют положительные и отрицательные качества у тех и других?
7. Какие приборы существуют для смазки паровых цилиндров? Перечислите, начиная с самых несовершенных.
8. Как устроен и как работает лубрикатор?
9. В чем заключаются преимущества лубрикатора перед простыми масленками?
10. Какие смазочные устройства называются смазочными прессами?
11. Каковы преимущества смазочных прессов по сравнению с другими смазочными устройствами (простыми масленками и лубрикаторами)?
12. Как устроены и как работают смазочные прессы Фридмана с невидимой и видимой подачей?
13. Как проверяется работа пресса Фридмана с видимой подачей?
14. Как изменить подачу масла прессом Фридмана с невидимой и видимой подачей? В каком прессе удобнее делать регулировку подачи?

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1. Начертите паровые цилиндры с плоским и круглым золотниками и покажите все основные каналы и фланцы.
2. Какие силы развиваются в паровом цилиндре во время работы машины и в каких направлениях эти силы стремятся сдвинуть цилиндр относительно рамы? Учтите также собственный вес цилиндра.

3. Каким образом паровой цилиндр предохраняется от перемещений относительно рамы (помимо затяжки основных болтов, крепящих цилиндр к раме)?

4. Докажите, что с увеличением *числа* лабиринтовых канавок золотникового сальника герметичность последнего увеличивается.

5. Пользуясь схемой фиг. 67, найдите положение поршня при нескольких промежуточных положениях пальца.

6. Пользуясь фиг. 71, 72 и 74, начертите систему всех сцепных дышел паровоза Э, зная, что все подшипники головок втулочные (кроме центральной головки).

7. Начертите круглый золотник с каналом Трика и поршень в паровом цилиндре в момент отсечки 0,3.

8. Продумайте и изложите ваши соображения—почему в золотнике Трофимова нельзя уменьшить зазор между расточкой диска и упорной шайбой, т. е. сделать этот зазор равным не $\frac{1}{4}$ мм, а например 0,1 мм. Ведь при таком малом зазоре можно было бы обойтись только *воздушным* буфером и не устраивать *паровоздушного*.

9. Вес каких деталей парораспределительного механизма стремится повернуть переводный вал (напомним, что пружина стремится повернуть вал в обратную сторону и таким образом уравнивает эти детали)?

10. В старину вместо уравнивающей *пружины* на переводном валу ставился *рычаг с грузом*, уравнивающий детали парораспределения. В чем заключаются преимущества уравнивания *пружиной*?

11. Пользуясь фиг. 22, составьте подробный перечень всех деталей паровой машины паровоза ФД (т. е. перечислите все детали цилиндра, все детали движущего и парораспределительного механизма).

ГЛАВА XII

ПОДСЧЕТ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПАРОВОЗА

§ 1. Общие понятия о работе паровой машины

Из физики мы знаем, что работа измеряется *килограммометрами*, т. е. *произведением силы* (измеренной в килограммах) *на путь* (измеренный в метрах).

Подсчитаем работу, развиваемую паром в цилиндре за один ход поршня.

Примем диаметр цилиндра d машины равным 65 см. Тогда площадь поршня S , на которую действует пар, равна

$$S = 0,97 \frac{\pi d^2}{4} = 0,97 \frac{3,14 \cdot 65^2}{4} = 3\,314 \text{ см}^2.$$

Здесь коэффициент 0,97 учитывает уменьшение полезной площади поршня поршневым штоком. Площадь сечения штока примерно составляет 3% всей площади поршня, и *полезная* площадь поршня оказывается равной

$$1 - 0,03 = 0,97$$

всей площади поршня.

Предположим, машина работает без расширения, т. е. пар впускается на всем протяжении хода поршня. Давление пара p примем равным 6 атм (т. е. 6 кг/см²).

Если площадь поршня равна 3314 см², то все давление P , приходящееся на эту площадь, равно

$$P = S \cdot p = 3\,314 \cdot 6 = 19\,884 \text{ кг.}$$

Примем ход поршня равным $L = 0,7$ м; тогда работа R_1 , которую развивает машина, равна

$$R_1 = P \cdot L = 19\,884 \cdot 0,7 = 13\,919 \text{ килограммометров.}$$

Но не всю эту работу мы получаем от цилиндра, так как по другую сторону мы имеем *противодавление*. Величину последнего можно принять равной 1,2 атм. Это сопротивление развивает, как говорят, *отрицательную работу* R_2

$$R_2 = 0,7 \cdot 3\,314 \cdot 1,2 = 2\,784 \text{ кг. м.}$$

На преодоление этого сопротивления будет затрачиваться часть полезной работы машины, и *отдать* машина сможет лишь

$$R = R_1 - R_2 = 13\,919 - 2\,784 = 11\,135 \text{ кг. м.}$$

За один оборот колеса мы имеем два хода поршня (вперед и назад); затем на паровозе работают два цилиндра; следовательно работа, развиваемая обоими цилиндрами за один оборот колеса, выразится в

$$2 \cdot 2 \cdot 11\,135 = 44\,540 \text{ кг. м.}$$

Если паровоз идет с такой скоростью, что его колесо в 1 секунду делает например два оборота, то окончательно работа $R_{\text{п}}$, развиваемая машинами паровоза в 1 секунду,

$$R_{\text{п}} = 2 \cdot 44\,540 = 89\,080 \text{ кг. м/сек.}$$

Эта работа, развиваемая паровозом за 1 секунду, есть *мощность* паровоза. Мощность, как мы знаем, измеряется обычно в лошадиных силах. Напомним, что 75 кг. м в секунду составляют 1 л. с.; обозначив мощность паровоза $N_{\text{п}}$, находим

$$N_{\text{п}} = \frac{89\,080}{75} = 1\,188 \text{ л. с.}$$

Полученная цифра показывает, что рассматриваемый паровоз является достаточно мощным.

Запишем на основании изложенных рассуждений *общую формулу* работы пара в одном цилиндре за один оборот колеса:

$$R = 0,97 \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2pL. \quad (1)$$

Здесь p обозначает *полезное* давление пара в цилиндре, представляющее собой *разницу* давлений в обеих полостях

$$p = 6 - 1,2 = 4,8 \text{ атм.}$$

Эта формула (1) встретится нам в дальнейшем.

Итак, работа машины *без расширения* пара может быть подсчитана очень просто. Но все современные машины работают, как известно, с *расширением пара*; давление пара не остается постоянным на всем протяжении хода поршня. Здесь подсчет работы несколько усложняется, как увидим ниже.

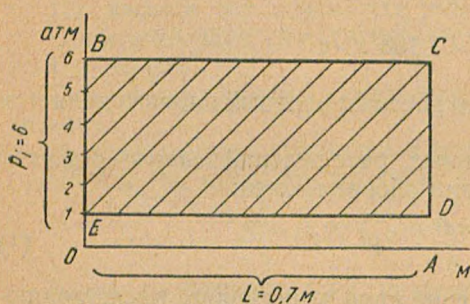
§ 2. Теоретическая индикаторная диаграмма

Работу, развиваемую в цилиндре машины, можно простым способом изобразить *графически*. Возьмем две взаимно-перпендикулярные линии OA и OB (фиг. 111) и на горизонтальной линии OA отложим в каком-нибудь масштабе ход поршня $L=0,7 \text{ м}$, а по вертикальной—давление впускного в цилиндр пара $p_i = 6 \text{ атм}$.

Представим себе мысленно, что поршень движется от левой мертвой точки O к правой. Давление пара (в случае работы без расширения пара) будет постоянным и равным 6 атм на всем протяжении хода поршня. Если из точки B проведем горизонтальную линию $BC \parallel OA$, то эта линия будет показывать давление пара в цилиндре в течение всего движения поршня от точки O до точки A . Когда поршень приходит в точку A , начинается выпуск пара, давление его быстро падает (линия CA).

Площадь полученного прямоугольника $OBCA$ равна произведению его сторон, т. е. величине отрезка OB , измеряющего давление в килограммах на каждый $см^2$ площади поршня, помноженная на величину отрезка OA (измеряющего путь в $м$). Следовательно площадь этого прямоугольника выражает собой *работу*, произведенную паром за один ход поршня и измеренную в $кг/м$. Отметим, что эта работа отнесена к одному $см^2$ площади поршня, так как самая цифра атмосфер показывает, что именно на каждый $см^2$ площади поршня *давит сила 6 кг*. Чтобы узнать всю работу, произведенную паром, нужно помножить полученную величину работы на *площадь* поршня.

С другой стороны, отрезок $AD = OE$, равный расстоянию по вертикали от точки A до точки D , показывает нам величину противодействия в нерабочей полости цилиндра. Площадь $OEDA$ должна быть *вычтена* из всей площади прямоугольника $OBCA$.



Фиг. 111.

Итак, мы получили прямоугольник $BCDE$, графически изображающий величину полезной работы пара в цилиндре машины за один ход. Рабочий ход поршня «начинается» от прямой OB . При движении поршня вправо давление в цилиндре изображается прямой BC . Когда поршень приходит в правую мертвую точку, давление пара падает до величины AD , и это давление AD сохраняется постоянным на всем протяжении обратного хода

поршня. Когда поршень приходит снова в мертвую точку, давление пара поднимается до значения OB , и далее мы опять имеем те же явления: впуск, начало выпуска, выпуск, начало впуска и т. д.

Такая диаграмма, изображающая *графически* работу пара в паровом цилиндре, называется *индикаторной диаграммой*. Площадь диаграммы, «изображающая» полезную работу, заштрихована.

Посмотрим, какой вид будет иметь индикаторная диаграмма в современной машине, работающей с *расширением* пара.

Предположим, давление пара в котле $p_k = 12$ атм изб., т. е. 13 атм абс. На трение и мятие в паропроводе и золотниках затрачивается 1 атм. Тогда давление впуска будет

$$13 - 1 = 12 \text{ атм. абс.}$$

Поставив рычаг перемены хода на отсечку, хотя бы 0,4, построим индикаторную диаграмму.

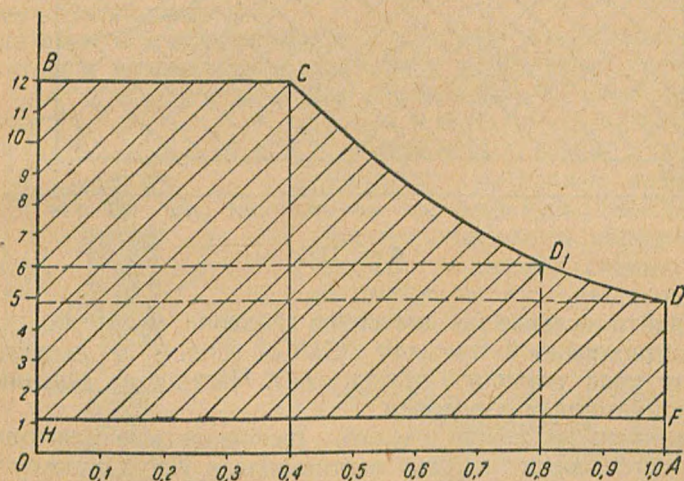
Возьмем те же взаимно перпендикулярные линии OB и OA (фиг. 112). На линии OA отложим в каком-нибудь масштабе ход поршня OA и разобьем его для удобства на 10 равных частей. На линии OB отложим давление в 12 атм.

При движении поршня от левой мертвой точки вправо на протяжении 0,4 его хода давление в цилиндре остается постоянным и равным давлению впуска.

нию впуска, т. е. 12 атм. Проводим линию $BC=OA$. Когда поршень пройдет 0,4 своего пути, происходит отсечка пара, впуск его прекращается, поршень продолжает выталкиваться расширяющимся паром; давление последнего падает, и, когда поршень придет в правое мертвое положение, объем пара увеличится в $2\frac{1}{2}$ раза (напомним, что отсечка равна 0,4), следовательно давление его будет примерно в $2\frac{1}{2}$ раза меньше:

$$\frac{12}{2,5} = 4,8 \text{ атм.}$$

Найдя точку D , соответствующую давлению 4,8 атм. соединяем точки C и D слегка вогнутой кривой, показывающей, как падает давление пара по мере его расширения. Легко впрочем найти и промежуточные точки этой кривой CD , например, когда поршень пройдет 0,8 своего хода,



Фиг. 112.

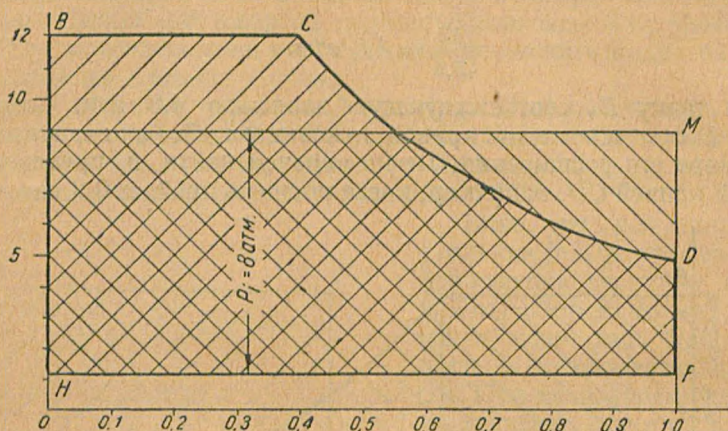
пар расширится примерно в два раза; давление его будет в два раза меньше—не 12, а 6 атм. Восстанавливая перпендикуляры к линии OA в точке 0,8 и к линии OB в точке «6 атм», находим точку D_1 пересечения этих перпендикуляров.

При движении поршня в обратную сторону давление в этой полости будет равняться примерно 1,2 атм. Линию FH проводим параллельно OA , так как предполагаем, что давление выпуска, как и прежде, остается постоянным на всем протяжении хода поршня.

Полученная площадь $BCDFH$, которая для наглядности заштрихована, изображает величину работы за 1 ход поршня. Такая индикаторная диаграмма, построенная на основании физических законов расширения пара, называется теоретической индикаторной диаграммой.

Здесь мы имеем изменяющееся давление в цилиндре: сначала оно постоянно и равно давлению впуска, затем постепенно падает. Поэтому для пользования известной уже нам формулой подсчета работы пара необ-

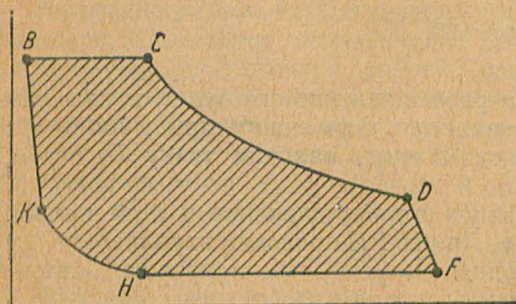
ходимо иметь вместо этого изменяющегося давления пара какое-то *среднее постоянное*, которое называется *средним индикаторным давлением* (обозначается p_i). Это среднее давление уже будет *постоянным*, и его возможно будет проставить в формулу (1) и таким образом найти величину работы машины.



Фиг. 113.

Чтобы найти среднее индикаторное давление, нужно подсчитать величину заштрихованной площади $BCDFH$ (фиг. 112) и разделить ее на величину хода поршня (отрезок OA). Частное от деления и будет *средним индикаторным давлением*.

Подсчет площади можно сделать, разбивши всю заштрихованную площадь на большое количество вертикальных узких прямоугольников



Фиг. 114.

разной длины, или лучше особым прибором для измерения фигурных площадей, называемым *планиметром*.

На фиг. 113 показана замена фигурной индикаторной диаграммы $BCDFH$ простым прямоугольником (заштрихованным в обратную сторону). Найдя среднее индикаторное давление p_i (оно равно примерно 8—9 атм), проводим горизонтальную линию через точку M , и площадь полу-

ченного прямоугольника будет естественно равновелика площади индикаторной диаграммы $BCDFH$. Значение p_i подставляем в наши подсчеты работы и таким образом узнаем величину последней.

Теоретическая индикаторная диаграмма была показана нами упрощенно. Если учесть предварение выпуска, сжатие и предварение впуска,

теоретическая индикаторная диаграмма примет вид, показанный на фиг. 114. Здесь BC —впуск; точка C —момент отсечки и начало расширения; CD —расширение; точка D —начало выпуска (поршень немного не дошел до мертвой точки); DF и FH —выпуск; точка H —начало сжатия, HK —сжатие; точка K —начало впуска (поршень немного не дошел до мертвой точки); KB —предварение впуска.

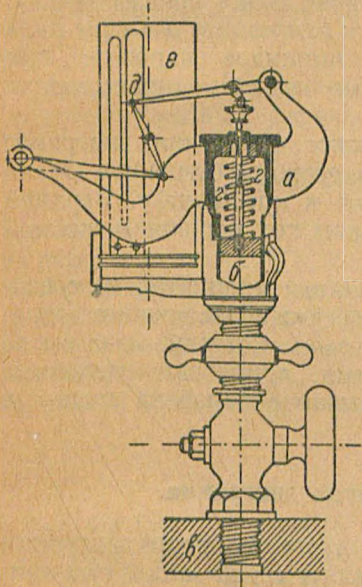
Как видим из диаграммы, сжатие уменьшает площадь диаграммы (средняя левый нижний угол), т. е. немного уменьшается и полезная работа машины.

§ 3. Индикатор

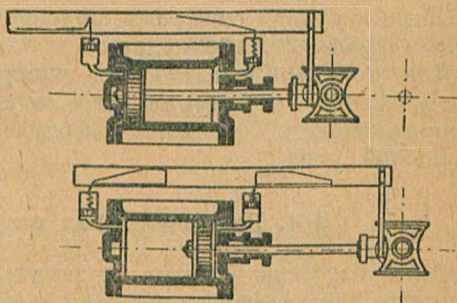
Развиваемая в цилиндрах паровоза работа легко может быть измерена в реальных эксплуатационных условиях помощью особого прибора, называемого *индикатором*.

Индикатором называется прибор, который вычерчивает на листке бумаги готовую индикаторную диаграмму работающего паровоза. Прибор укрепляется на самом паровом цилиндре или на площадке паровоза.

Получивши такую индикаторную диаграмму, вычисляем среднее индикаторное давление и, зная число ходов поршня испытываемого паровоза за одну секунду (в момент съемки диаграмм), мы узнаем работу и далее подсчитываем мощность паровоза.



Фиг. 115.



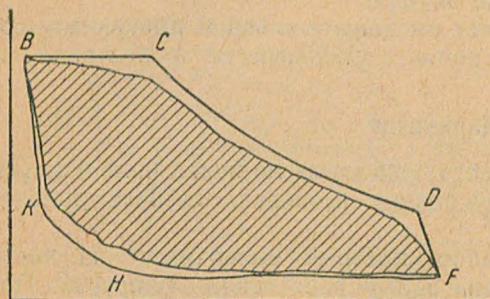
Фиг. 116.

Основной частью индикатора, показанного на фиг. 115, является цилиндр b , нижним своим хвостовиком ввертываемый в цилиндр v (или прикрепляемый к трубке, идущей к цилиндру).

В цилиндре помещен поршень, нагруженный сверху пружиной g . Шток поршня выходит наружу; он соединен с системой рычажков, дающих *прямолинейное* перемещение центру среднего рычажка, значительно большее, чем перемещение самого поршня. В центре среднего рычажка закреплен карандаш.

Барабан e соединяется намотанным на него шнурком с крейцкопфом движущего механизма. Внутри барабана имеется пружина, стремящаяся

повернуть барабан в сторону, обратную натяжению шнурка. При движении паровоза барабан поворачивается то в одну, то в другую сторону в такт движению поршня паровоза. На барабан наматывается бумажная лента. Если показанным на фигуре краником пустить пар в цилиндр индикатора, поршень поднимется, несколько сжав пружину. Чем больше давление пара в цилиндре паровоза, тем больше оно будет в цилиндре индикатора и тем больше поднимется поршень послед-



Фиг. 117.

перемещении поршня. Эта замкнутая линия и есть индикаторная диаграмма.

Фиг. 116 схематически показывает процесс получения диаграмм: каждая полость цилиндра снабжена индикатором, бумажная лента условно показана вытянутой и прикрепленной к крейцкопфу. Верхний рисунок показывает получение кривой за один ход поршня и нижний рисунок за другой (обратный) ход.

Обычно съемка диаграмм производится одним индикатором, соединенным трубками и трехходовым краником с обеими полостями цилиндра.

Для получения компактной диаграммы, длина которой была бы во много раз короче натурального хода поршня, применяют различные ходоуменьшители, обуславливающие [повертывание барабана лишь на небольшой угол.

§ 4. Действительная индикаторная диаграмма

Сняв с барабана бумагу, мы увидим, что в действительности диаграмма не имеет резко очерченных углов, а представляет собой замкнутую кривую с очень плавно закругленными углами (фиг. 117, см. заштрихованную площадь). На этой же фигуре показана ожидавшаяся теоретическая диаграмма $BCDFHK$ (при этой же отсечке). Плавные закругления линии объясняются *мятцем* пара перед самой отсечкой, перед началом сжатия и т. д. Это подтверждают уже известные нам дефекты золотникового парораспределения: *слишком малые открытия окна мнут пар*. Разница между площадями теоретической и действительной диаграмм представляет *недополученную работу*. Эта *неполнота* диаграммы значительно уменьшается при клапанном парораспределении, где закрытие [клапанов происходит *сразу*, и еще перед самым моментом отсечки пар проходит в цилиндр через *полностью открытый канал*.

Некоторый наклон линии впуска объясняется тем, что пар не успевает заполнять цилиндр *с нужным давлением* (убегающий поршень быстро увеличивает объем цилиндра, подлежащий заполнению паром).

По виду индикаторных диаграмм судят о качестве самого парораспределительного механизма (правильность подобранных перекрыш, линейного предварения и т. д.) и о качестве *сборки* механизма. Сравнивая диаграммы обеих полостей цилиндра, можно судить и о разнице в отсечках для обоих ходов поршня, о необходимости проверки золотника и т. д.

В связи с уменьшением площади действительной индикаторной диаграммы по сравнению с теоретической и среднее индикаторное давление будет несколько меньше. Для средних употребительных скоростей Боррис дает следующую таблицу средних индикаторных давлений:

Таблица А

Отсечка пара	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
Среднее давление для 1 атм.	0,153	0,328	0,446	0,549	0,627	0,690	0,737	0,844

Цифрами этой таблицы можно пользоваться для приблизительных подсчетов работы паровоза.

§ 5. Подсчет мощности паровоза

Выше мы узнали, что мощность, развиваемая в цилиндрах данного паровоза, равна 1 188 л. с. Эта цилиндровая мощность называется индикаторной мощностью паровоза (обозначим ее N_i).

Часть этой мощности тратится на преодоление значительного трения в частях машины; на *ободе движущих колес* мы будем иметь несколько меньшую мощность N_k . Отношение мощности на ободе и индикаторной мощности называется механическим коэффициентом полезного действия η_m :

$$\eta_m = \frac{N_k}{N_i}. \quad (2)$$

В среднем для наших паровозов можно принять $\eta_m = 0,9$.

Тогда в нашем случае

$$N_k = \eta_m \cdot N_i = 0,9 \cdot 1\,188 = 1\,069 \text{ л. с.}$$

Это—мощность паровоза на ободе движущих колес, т. е. та мощность, которая непосредственно затрачивается на *передвижение* паровоза и вагонов.

Каким же образом можно на основании всего изложенного *составить общую формулу мощности* паровоза, чтобы затем, пользуясь этой формулой, иметь возможность подсчитать мощность *любого* паровоза? Конечно, среднее индикаторное давление и скорость паровоза (в данный момент) должны быть нам известны.

Обозначим скорость паровоза (измеренную в км в час) через v и диаметр движущих колес (в м) через D .

Путь S , проходимый паровозом за 1 секунду,

$$S = \frac{1000 \cdot v}{60 \cdot 60} = \frac{10}{36} v \text{ м.} \quad (3)$$

Множитель 1 000 учитывает перевод километров в метры.

За 1 секунду колесо сделает столько оборотов (n), сколько раз укладывается длина окружности колеса πD в этом пути, проходимом паровозом за 1 секунду:

$$n = \frac{10 \cdot v}{36 \cdot \pi \cdot D}.$$

Индикаторная работа пара в одном цилиндре за один оборот колеса, как мы имели раньше,

$$R = 0,97 \frac{\pi d^2}{4} \cdot p_i \cdot 2 \cdot L = 0,97 \frac{\pi d^2}{2} p_i \cdot L. \quad (1')$$

Работа пара в двух цилиндрах за один оборот колеса:

$$R' = 2 \cdot 0,97 \cdot \frac{\pi d^2}{2} \cdot p_i \cdot L = 0,97 \cdot \pi d^2 \cdot p_i \cdot L. \quad (4)$$

Но за 1 секунду колесо сделает n оборотов, следовательно индикаторная мощность паровоза

$$\begin{aligned} N_i' &= 0,97 \cdot \pi d^2 \cdot p_i \cdot L \cdot n = \frac{0,97 \pi d^2 p_i L \cdot 10 \cdot v}{36 \pi D} = \\ &= \frac{0,97 \cdot d^2 p_i L}{D} \cdot \frac{10 \cdot v}{36} \text{ кг. м/сек.} \end{aligned} \quad (5)$$

Чтобы выразить мощность в лошадиных силах, делим это выражение на 75 и окончательно получаем *индикаторную мощность*:

$$N_i = \frac{0,97 \cdot d^2 p_i L}{D} \cdot \frac{10 \cdot v}{36 \cdot 75} = \frac{0,97 \cdot d^2 p_i L}{D} \cdot \frac{v}{270} \text{ л. с.} \quad (6)$$

Помножив это выражение на механический коэффициент полезного действия η_m , получаем формулу *касательной мощности*.

$$N_k = \eta_m \frac{0,97 \cdot d^2 p_i L}{D} \cdot \frac{v}{270} \text{ л. с.} \quad (7)$$

§ 6. Сила тяги паровоза по сцеплению

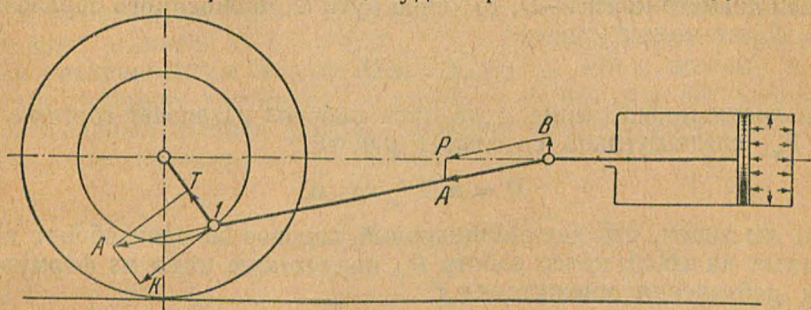
Паровоз представляет собой машину с очень непостоянным режимом работы. Измерять мощность паровоза (в лошадиных силах) приходится в редких случаях. Паровоз всегда допускает очень большие перегрузки (езда по подъему, тяжелый состав, дурная погода). *Гораздо лучше поэтому измерять работоспособность паровоза по той силе тяги, которую он может развить.*

Сила тяги машины одной стороны (правой или левой) паровоза на протяжении оборота колеса непостоянна: она равна нулю в мертвых точках и наибольшей величине при вертикальном расположении кри-

вшип. Эта *неравномерность* силы тяги усиливается еще и тем, что самое давление пара на поршень также непостоянно: оно велико в начале его хода; затем давление на поршень постепенно уменьшается—по мере расширения пара и приближения поршня к мертвой точке.

Посмотрим, каким образом сила давления пара на поршень передается пальцу кривошипа движущего колеса.

На фиг. 118 показана схема машины. По штоку действует сила P . Переносим ее к концу штока (к крейцкопфу) и раскладываем еще по правилу параллелограмма на две силы B и A . Сила B будет восприниматься параллелями, которые должны быть рассчитаны на сопротивление этой силе. Силу A , направленную по дышлу, переносим в точку I и раскладываем на две силы: первая сила K будет вращать колесо; другая сила T



Фиг. 118.

будет только сжимать кривошип и никакой полезной работы, конечно, не произведет. Сила K , как мы знаем, будет изменяться при разных положениях кривошипа. Она и создает нужную для передвижения паровоза и вагонов силу тяги. Если эта сила K будет чрезмерно велика, или если *цепной вес паровоза* окажется недостаточным, колесо будет *боксовать*. Наличие трения между колесом и рельсом—основное условие для реализации силы тяги. Если цепной вес или трение будут недостаточны, паровоз не сможет сдвинуть поезд с места.

Если цепной вес паровоза обозначим буквой Q , то сила тяги, которую паровоз сможет развить, будет равна примерно $\frac{1}{5} Q$. При подсыпании под колеса песка из песочницы, установленной сверху на котле, трение между колесами с рельсом можно увеличить. Этот коэффициент будет равен уже не $\frac{1}{5}$, а $\frac{1}{4}$.

Вообще сила тяги паровоза

$$F_{\text{тяги}} = \psi \cdot Q, \quad (8)$$

где коэффициент ψ , стоящий перед Q , называется *коэффициентом сцепления*. При неблагоприятных условиях коэффициент сцепления падает до $\frac{1}{8}$ и даже до $\frac{1}{10}$ (гололед, дождь, загрязненные станционные пути и т. д.).

Таким образом, если, например, цепной вес паровоза ЭУ равен 85 тоннам (85 000 кг), то наибольшая сила тяги этого паровоза по сцеплению в обычных условиях

$$F_{\text{тяги}} = \psi \cdot Q = \frac{1}{5} \cdot 85\,000 = 17\,000 \text{ кг.}$$

При подсыпании песка этот паровоз может развить значительно большую силу тяги по сцеплению $F_{\text{см}} = \psi \cdot Q = 1/4 \cdot 85\,000 = 21\,250$ кг. Конечно, в этих подсчетах силы тяги по сцеплению предполагается, что машина может реализовать (по своей мощности) данную силу тяги, а котел сможет обеспечить машину паром.

§ 7. Сила тяги на машине

Посмотрим теперь, каким образом, зная основные размеры машины, можно подсчитать силу тяги паровоза по машине, т. е. узнать наибольшую силу тяги паровоза, развиваемую цилиндрами.

Если диаметр колеса— D , то длина пути C , проходимого паровозом за один оборот колеса, равна

$$C = \pi D.$$

Во время прохождения этого пути паровоз развивает среднюю силу тяги F_k , следовательно совершает работу

$$R = \pi D F_k \text{ кг} \cdot \text{м}. \quad (9)$$

Но мы знаем, что двухцилиндровый паровоз за один оборот колеса развивает на ободе колес работу R_k , получаемую нами из формулы (4) путем добавления множителя η_m :

$$R_k = 0,97 \cdot \pi d^2 \cdot p_i \cdot L \cdot \eta_m. \quad (10)$$

При отсутствии боксования колеса эти работы, конечно, равны между собой:

$$\pi D F_k = 0,97 \cdot \pi d^2 \cdot p_i \cdot L \cdot \eta_m,$$

откуда мы и получаем выражение для силы тяги на ободе, развиваемой цилиндрами:

$$F_k = 0,97 \frac{\eta_m \cdot d^2 p_i L}{D}. \quad (11)$$

Этой формулой и пользуются при подсчете силы тяги на ободе или, как говорят, *касательной силы тяги*.

Заметим, что иногда определяют также и силу тяги на крюке тендера. Эта сила тяги будет меньше касательной на величину сопротивления самого паровоза и тендера.

Если отбросить коэффициент η_m , получим выражение для цилиндровой силы тяги

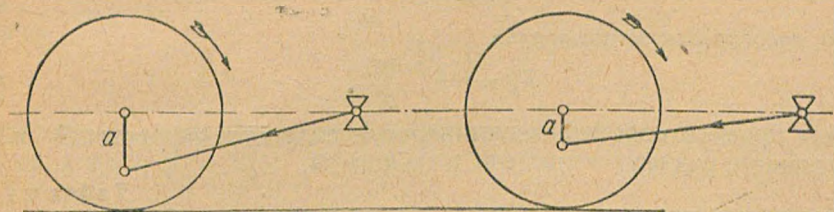
$$F_i = 0,97 \frac{d^2 p_i L}{D}. \quad (12)$$

Формулы силы тяги показывают нам, что:

- 1) сила тяги паровоза возрастает при увеличении диаметра цилиндров;
- 2) сила тяги возрастает по мере увеличения отсечки (возрастает среднее индикаторное давление);
- 3) сила тяги возрастает при увеличении радиуса кривошипа (ход поршня L равен двойному радиусу кривошипа);

это ясно из сравнения фиг. 119 и 120. В первом радиус кривошипа a больше и сила тяги будет также больше. Вообще, чем ближе расположен палец кривошипа к окружности колеса, тем сила тяги больше;

4) сила тяги уменьшается по мере увеличения диаметра колеса. Отмечаем, что хотя сила тяги в этом случае уменьшается, зато *путь*, проходимый паровозом за 1 оборот колеса, удлиняется. Поэтому-то пассажирские паровозы и имеют большие колеса: сила тяги этих паровозов сравнительно невелика, а скорости движения большие. У товарных паровозов, наоборот, нужна большая сила тяги при меньших скоростях. Для реализации большой силы тяги товарные паровозы конечно должны иметь и соответственно больший сцепной вес, т. е. большее, чем у пассажирских паровозов, количество движущих колесных пар. Заметим, что по мере развития ж.-д. транспорта скорости движения товарных поездов увеличиваются быстрее, чем пассажирских, и поэтому у современных товарных паровозов, предназначенных для обслуживания скорых товарных поездов (США), диаметры колес сравнивались с диаметрами колес пассажирских паровозов.



Фиг. 119 и 120.

Формулы для подсчета силы тяги очень напоминают формулы (6) и (7) для подсчета мощности паровоза и отличаются от них лишь отсутствием множителя, учитывающего скорость, и численного коэффициента.

Если в формулу (6)
$$N_i = \frac{0,97d^2 p_i L}{D} \cdot \frac{v}{270}$$

подставить вместо первого множителя

$$\frac{0,97d^2 p_i L}{D},$$

равного, как мы только-что получили, F_i , получаем очень простую формулу индикаторной мощности

$$N_i = \frac{F_i v}{270}. \quad (13)$$

Указанная формула устанавливает зависимость между *мощностью*, силой тяги и скоростью. Между прочим опыты над паровозами показывают, что при увеличении скорости, например, вдвое сила тяги падает несколько меньше, чем в два раза. Поэтому на больших скоростях (до известного предела) паровозы развивают наибольшие мощности.

Рассматривая формулу (12)

$$F_i = 0,97 \frac{d^2 p_i L}{D}, \quad (12)$$

замечаем, что для всякого паровоза, зная его размеры, очень легко определить развиваемую им цилиндровую силу тяги. Неизвестным оказывается лишь среднее индикаторное давление p_i . На основании опытных данных можно в среднем считать, что товарные паровозы могут дать среднее индикаторное давление

$$p_i = 0,6 p_k, \quad (13)$$

где p_k давление пара в котле в атм. изб. Для пассажирских паровозов можно принимать

$$p_i = 0,5 p_k. \quad (14)$$

Подставляя в формулу (12) эти опытные коэффициенты, можно пренебречь незначительным уменьшением площади сечения поршня (за счет штока), т. е. коэффициент 0,97 принять равным 1. Тогда цилиндровая сила тяги для товарных паровозов

$$F_i = 0,6 \frac{p_k d^2 L}{D} \quad (15)$$

и для пассажирских паровозов

$$F_i = 0,5 \frac{p_k d^2 L}{D}. \quad (16)$$

Для примера подсчитаем цилиндровую силу тяги паровозов ЭУ и СУ. Их основные размеры приведены в таблице Б.

Таблица Б

П а р о в о з	Давление пара в атм. изб.	Диаметр цилиндра см	Ход поршня см	Диаметр движущих колес см
ЭУ	12	65	70	132
СУ	13	57,5	70	185

Для ЭУ

$$F_i = 0,6 \frac{p_k d^2 L}{D} = \frac{0,6 \cdot 12 \cdot 65^2 \cdot 70}{132} = 16\ 132 \text{ кг.}$$

Для СУ

$$F_i = 0,5 \frac{p_k d^2 L}{D} = \frac{0,5 \cdot 13 \cdot 57,5^2 \cdot 70}{185} = 8\ 132 \text{ кг.}$$

В подсчетах силы тяги паровозов-компаунд (двухцилиндровых) в формулы (15 и 16) нужно проставлять размеры *большого* цилиндра и результат подсчета делить на 2.

§ 8. Сила тяги по котлу

До сих пор мы вычисляли силу тяги паровоза по сцеплению и по машине. Следует иметь в виду, что очень часто предел увеличения силы тяги ставится не этими факторами, а котлом.

Действительно, и теоретическими подсчетами и испытаниями паро-

возов установлено, что паровозы-компаунд расходуют от 9 до 12 кг пара на лошадиную силу-час, а перегревные паровозы—от 7 до 12 кг на л. с.-час. Отметим, что для каждого паровоза существует определенный режим работы (т. е. отсечка и скорость), при котором расход пара на л. с.-час наименьший. Конечно в эксплуатационных условиях этот режим постоянно не соблюдается.

Паропроизводительность котла не может беспредельно увеличиваться; следовательно котел также ставит предел увеличению силы тяги (или мощности) паровоза.

Размеры котла, машины и величина сцепного веса должны соответствовать друг другу.

При опытных поездках с паровозами паропроизводительность котла измеряется по количеству израсходованной на испарение воды. Считаем, что 95% всего пара израсходовано машиной, а 5% пошли для служебных надобностей (сифон, воздушный насос и т. д.).

Напишем общую формулу мощности паровоза

$$N = \frac{F \cdot v}{270},$$

откуда

$$F = \frac{270 \cdot N}{v}. \quad (17)$$

Обозначим через B паропроизводительность котла и через a —расход пара на 1 л. с.-час.

Тогда

$$N = \frac{B}{a};$$

$$F = \frac{270}{v} \cdot N = \frac{270 \cdot B}{v \cdot a}. \quad (18)$$

Примем в среднем расход пара на 1 л. с.-час равным 9 кг, а паропроизводительность котла, предположим, равна 8000 кг пара в час, тогда

$$F = \frac{270}{9} \cdot \frac{8000}{v} = \frac{240\,000}{v}. \quad (18')$$

Из приведенного равенства видим, что по мере увеличения скорости паровоза сила тяги должна уменьшаться, иначе пара может не хватить. Например, при скорости $v=10$ км в час

$$F = \frac{240\,000}{10} = 24\,000 \text{ кг},$$

т. е. сила тяги по котлу может достигать очень больших значений (вообще при малых скоростях паровозов, в особенности товарных, сила тяги ограничивается по сцеплению колес с рельсами).

При скорости 60 км в час

$$F = \frac{240\,000}{60} = 4\,000 \text{ кг}.$$

§ 9. Главные размеры некоторых паровозов

Приводим таблицу В главных размеров наиболее распространенных или характерных паровозов:

Таблица В

Общие сведения			Спешной вес паровоза	Котел			Машина				Диаметр движ. колес см
Назначение	Серия паровоза	Тип паровоза		Давление пара атм	Испар. пов. нагр. м ²	Пов. перегрева м ²	Тип	Число цилиндров	Диам. цилиндров см	Ход поршня см	
Товарные	ОВ	0-4-0	52	12	153	—	комп.	2	50/73	65	120
	Щ	1-4-0	64	14	206	—	"	2	51/76,5	70	130
	ЭУ	0-5-0	85	12	197	66	прост.	2	65	70	132
	ЭМ	0-5-0	80	14	194	66	"	2	65	70	132
	Е	1-5-0	81	12,7	242	66	"	2	63,5	71,1	132
	ФД	1-5-1	100	15	295	148	"	2	67	77	150
	Т ^Б	1-5-1	115	14	340	150	"	2	70	76	152
	Т ^А	1-5-2	115	17	380	160	"	2	70	76	152
Пассажирские	Я	2-4-1+	150	15,5	444		"	4	57	71,1	150
	Гаррат	+1-4-2									
	АА	2-7-2	140	17	457	176		2	74	81	160
	Б ^П	2-3-0	46	13	164	41	прост.	2	55	70	183
	К	2-3-0	47	12	164	40	"	2	57,5	65	170
	С	1-3-1	47	13	207	51	"	2	55	70	183
	С ^У	1-3-1	54	13	197	73	"	2	57,5	70	185
	Л	2-3-1	54	12	285	68	"	4	46	65	184
	М	2-4-0	73	13	260	87	"	3	54	70	172
	ИС	1-4-2	100	15	295	148	"	2	67	77	185

ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ

1. Чем измеряется работа пара в паровом цилиндре?
2. Подсчитайте полное давление на поршень какого-либо паровоза, пользуясь данными таблицы В.
3. Чему равна работа пара в цилиндре за один ход поршня? Выведите формулу.
4. Чем отличается понятие «мощность» от понятия «работы»?
5. В каких единицах измеряется мощность паровой машины?
6. Как изображается (графически) работа в паровом цилиндре? Что обозначают взаимно перпендикулярные линии на диаграмме?
7. Что такое *теоретическая индикаторная диаграмма*?
8. Что такое *действительная индикаторная диаграмма* и чем она отличается от теоретической?
9. Что такое индикатор, как он устроен и как работает?
10. Что такое среднее индикаторное давление? Как оно определяется? В какой диаграмме это среднее индикаторное давление выше: в теоретической или в действительной индикаторной диаграмме?

11. Что такое индикаторная и касательная мощность паровоза? Как определяется та и другая мощность? Что такое механический коэффициент полезного действия?
12. При каком положении кривошипа вращающее усилие будет наибольшим?
13. Как узнать число оборотов колеса в секунду, зная скорость паровоза ($км$ в час), например, при $v = 50 км$ в час и $D = 132 см$?
14. Выведите формулу индикаторной мощности паровоза (сперва подсчитайте *работу* машины за один оборот колеса).
15. Что такое сила тяги паровоза по сцеплению, по машине и по котлу? Какая существует связь между этими величинами?
16. Для чего нужна песочница на паровозе?
17. Какая зависимость существует между силой тяги и скоростью паровоза?
18. Почему при увеличении диаметра движущих колес сила тяги уменьшается?
19. Внимательно рассмотрите формулу (6) и ответьте, во сколько раз увеличится сила тяги паровоза, если диаметр цилиндров d увеличить в два раза.

КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ

1. Начертите теоретическую и действительную индикаторные диаграммы для отсечки 0,7 и 0,2 (всего 4 диаграммы).
2. Почему индикаторная диаграмма показывает работу в паровом цилиндре, отнесенную лишь к $1 см^2$ площади поршня? Что нужно сделать, чтобы по диаграмме узнать работу *обоих цилиндров* за один оборот колеса?
3. Продумайте и изложите письменно, какие именно дефекты парораспределения можно обнаружить, рассматривая индикаторную диаграмму.
4. Подсчитайте работу пара в цилиндре за один ход поршня паровоза C^V , пользуясь данными на таблице В.
5. Подсчитайте индикаторную мощность паровоза \mathcal{E}_i при отсечке 0,3, пользуясь таблицей А и В.
6. Определите силу тяги паровоза при той же отсечке, пользуясь теми же таблицами.
7. Рассмотрите формулы (18) и (18') и изложите, какими факторами (т. е. котлом, сцепным весом или цилиндрами) ограничивается сила тяги паровоза *при очень малых скоростях*.
8. У какого паровоза Э, или Е, сила тяги по цилиндрам больше и на сколько (пользуйтесь данными по таблице В)?
9. Определите силу тяги паровоза С по котлу, приняв, что с одного $м^2$ испаряющей поверхности нагрева можно снять до 50 кг пара в час, а расход пара у этого паровоза равен 8 кг на 1 л. с.-час.

ГЛАВА XIII (дополнительная)

ДИАГРАММА ЦЕЙНЕРА

В этой главе даются дополнительные сведения о золотниковом парораспределении.

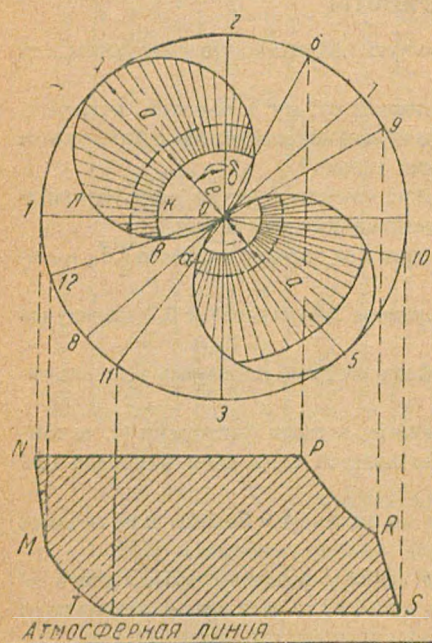
Существует простой метод исследования движения золотника и определения величины открытия им паровых окон цилиндров. Этот метод, предложенный Цейнером, известен под названием „Диаграммы Цейнера“.

Зная угол опережения δ , радиус золотникового кривошипа (эксцентриситет), перекрыши впуска e и выпуска i и ширину парового окна a золотникового зеркала, можно построить теоретическую индикаторную диаграмму с помощью так называемой диаграммы Цейнера. Эта диаграмма, кроме того, дает в определенном масштабе величину открытия окон для любого положения поршня в цилиндре. Пользуясь этой диаграммой, легко проследить все изменения в парораспределении при изменении угла опережения, перекрыши впуска и выпуска и других элементов парораспределения.

Проведем (фиг. 121) радиусом $O-1$, равным радиусу кривошипа в каком-либо масштабе, окружность и построим на этой окружности диаграмму Цейнера для левой полости цилиндра—для обоих ходов поршня—слева направо и обратно—справа налево.

Отложив влево от вертикального диаметра 2-3 угол δ , равный углу опережения, проводим диаметр 4-5 и на радиусах $O-4$ и $O-5$ проводим окружности так, чтобы они проходили через центр круга O и касались большей окружности, как показано на диаграмме. Эти окружности называются кругами Цейнера.

Предположив, что радиус золотникового кривошипа равен также $O-1$ (конечно, в другом масштабе), проводим две дуги радиусами $O-b$ и $O-d$, равными перекрышам впуска и выпуска.



Фиг. 121.

Полученная диаграмма показывает нам открытие окна золотником. При положении поршня в точке 4 окно открыто полностью на величину a , равную ширине окна парового цилиндра: для того чтобы открыть окно полностью, золотник должен быть сдвинут от своего среднего положения на величину $a+e$, т. е. как-раз на величину радиуса золотникового кривошипа. При дальнейшем вращении поршневого кривошипа окно начнет закрываться, и при приходе поршня в точку 6 окно закроется. Величина постепенно уменьшающегося открытия окна показана радиальной штриховкой. В момент закрытия окна начинается расширение впускного в цилиндр пара. При положении поршня в точке 7, когда диаметр 7-8 перпендикулярен диаметру 4-5, золотник находится в своем среднем положении. При дальнейшем движении поршня, по приходе его в точку 9, выпускное окно начинает открываться (нижний круг Цейнера). Открытие окна увеличивается по прохождении поршня в точку 10. В этот момент в золотниковом зеркале окно открыто *полностью*, и хотя золотник продолжает свое движение, дальнейшего открытия окна, конечно, произойти не может; проводим поэтому дополнительную дугу радиусом, равным $i+a$, и заштриховываем величину открытия выпускного окна.

Точка d показывает момент закрытия выпускного окна. Поршень в это время находится в точке 11. Начинается сжатие. Когда поршень придет в точку 12, окно начинает открываться для впуска свежего пара (точка b на круге Цейнера).

Диаграмма Цейнера показывает, между прочим, что при положении поршня в мертвой точке окно открыто на величину KL . Это и будет линейным предварением впуска.

Проводя пунктирные линии вниз (вертикально) за пределы диаграммы—по соответствующим точкам 1, 6, 9, 11, 12 положения поршня, мы можем построить теоретическую индикаторную диаграмму (фиг. 121), задавшись некоторым масштабом для давления пара. Здесь M —начало впуска (предварение), NP —впуск, PR —расширение, RST —выпуск, TM —сжатие.

Посмотрим, как изменится парораспределение при *увеличении* перекрыши впуска. Если радиус e увеличить, как показано пунктирной дугой, впуск пара начнется несколько позже, а кончится раньше, и машина будет работать с большим расширением пара. Уменьшение перекрыши впуска, наоборот, даст большую степень наполнения цилиндра.

Увеличение перекрыши выпуска, как показано пунктирной дугой, на нижнем круге Цейнера даст более позднее начало выпуска и более раннее начало сжатия.

Наконец, если несколько уменьшить угол опережения δ , диаметр 4-5 немного повернется на часовой стрелке, предварение впуска уменьшится, закрытие впускных окон будет наступать позже, открытие выпускных окон также будет задерживаться.

Цена книги 1 р. 85 к.

Переплет 50 коп.

Рецензент *И. И. Николаев*

Редактор *А. Н. Фомин*

Техред. *П. Хитров.*

Уполн. Главлита В-101559

ЖДИЗ 1514 Ж1в

Тираж 12 160 экз.

Разм. бум. 62x94 $\frac{1}{16}$

9 $\frac{1}{2}$ п. л. + 1 вкл. $\frac{1}{4}$ п. л. 51403 зн. в п. л.

Зак. тип. 6938.

Сдано в набор 25/1-35 г.

Подписано к печати 23/VII-35 г.

552.

552.

Цена 2 р. 35 н.

[Образ. 20 к.]

[Образ. 20 к.]



**Издания
Трансжелдориздата
продаются в магазинах
Книгообъединения
ОГИЗа**

**Единичные экземпляры
высылает наложенным
платежом**

**«Книга — почтой»
Москва, 64**



2015187050