

1-88  
001

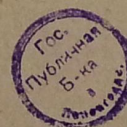
38-4

139

В. Н. СОЛОГУБОВ

# УСТРОЙСТВО УЗКОКОЛЕЙНЫХ ПАРОВОЗОВ

157-го И 159-го Т И П О В



ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
ТРАНСПОРТНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Москва ★ ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ ★ 1938



В настоящей книге дано описание конструкций паровозов узкой колеи заводского типа 157 и 159. Кроме того приведены формулы теплового расчета паровозного котла, основные данные теплотехнических испытаний паровозов и удельного сопротивления движению.

Книга рассчитана на машинистов и инженерно-технических работников узкоколейного железнодорожного транспорта.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . .	Стр. 5
--------------------	--------

### ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

#### КОНСТРУКЦИИ УЗКОКОЛЕЙНЫХ ПАРОВОЗОВ 157 и 159 ТИПОВ

##### Глава I. Котел

§ 1. Топка . . . . .	8
Огневая коробка . . . . .	10
Кожух топки . . . . .	13
Скрепление огневой коробки с кожухом топки . . . . .	13
Крепление кожуха топки . . . . .	19
§ 2. Цилиндрическая часть котла . . . . .	21
Передняя решетка . . . . .	22
Паровой колпак . . . . .	23
Жаровые и дымогарные трубы . . . . .	26
§ 3. Дымовая коробка . . . . .	30
§ 4. Гарнитура паровозного котла . . . . .	34
Пароперегреватель . . . . .	34
Паровые регуляторы . . . . .	39
Промывательные люки и лаз . . . . .	41
Спускной кран топки . . . . .	43
Дымовая труба, конус и сифон . . . . .	44
Колосниковая решетка . . . . .	47
Зольник . . . . .	49
Топочные дверцы . . . . .	50
§ 5. Арматура и приборы для питания котла водой . . . . .	52
Водомерные стекла и водопробные краны . . . . .	52
Пароразборная колонка . . . . .	54
Предохранительные клапаны . . . . .	55
Инжектор . . . . .	56

##### Глава II. Машина

§ 1. Общее понятие об устройстве и работе паровой машины . . . . .	60
§ 2. Паровые цилиндры и движущий механизм . . . . .	61
Конструкция цилиндров и их крышек . . . . .	61
Продувательные клапаны, краны и предохранительные клапаны цилиндров . . . . .	64
Поршень и шток . . . . .	66
Поршневой сальник . . . . .	67
Крейцкопф и параллели . . . . .	68
Дышла . . . . .	70



§ 3. Парораспределение и парораспределительный механизм . . . . .	Стр. 74
Понятие о работе золотника . . . . .	74
Конструкция золотников . . . . .	78
Устройство и работа кулисного механизма Гейзингера . . . . .	81
§ 4. Работа машины без пара и контрпар . . . . .	88
Машина с закрытым регулятором . . . . .	88
Паровоздушные клапаны . . . . .	89
Контрпар . . . . .	90

### Глава III. Экипаж

§ 1. Рама и ее детали . . . . .	93
§ 2. Буфы и колесные пары . . . . .	97
Буфы . . . . .	97
Колесные пары . . . . .	99
§ 3. Рессорное подвешивание . . . . .	104
§ 4. Упругие приборы . . . . .	107

### Глава IV. Модернизация паровоза 159 типа . . . . . 108

### Глава V. Смазка и смазочные приборы . . . . . 112

## часть вторая

## ТЕПЛОВОЙ ПРОЦЕСС И СИЛА ТЯГИ ПАРОВОЗА

### Глава I. Работа паровозного котла

§ 1. Теплоемкость газового потока . . . . .	115
§ 2. Количество воздуха, необходимое для горения, и коэффициент избытка воздуха . . . . .	116
§ 3. Располагаемое тепло и теоретическая температура горения . . . . .	120
§ 4. Потери тепла от химической неполноты сгорания и механические потери . . . . .	122
§ 5. Потери тепла с уходящими газами, на внешнее охлаждение котла и на служебные нужды . . . . .	127
§ 6. Определение полезно использованного тепла и коэффициент полезного действия котла . . . . .	131
§ 7. Паропроизводительность котла . . . . .	140

### Глава II. Работа паровой машины

§ 1. Тепловой баланс машины . . . . .	142
---------------------------------------	-----

### Глава III. Сила тяги паровоза и сопротивление движению

§ 1. Сила тяги паровоза . . . . .	147
§ 2. Сопротивление движению поезда . . . . .	151

## ВВЕДЕНИЕ

Узкоколейные железные дороги имеют распространение во всех странах мира, в том числе и в Советском Союзе.

Ширина колеи колеблется от 600 до 1067 мм. В СССР наиболее распространена колея ширины 750 мм.

Основные преимущества узкоколейных дорог: легкость, быстрота и дешевизна постройки вследствие уменьшения объема земляных и строительных работ, уменьшение капитальных затрат на вспомогательные устройства и дешевизна ремонта и эксплуатации.

Слабость верхнего строения пути и легкие рельсы требуют, чтобы подвижной состав, предназначенный для эксплуатации на этих дорогах, имел сравнительно небольшие нагрузки на ось.

Подвижной состав узкоколейных железных дорог значительно отличается по своему устройству от нормального ширококолейного. На конструкцию подвижного состава оказывают большое влияние ширина колеи, профиль пути, весовые ограничения и специальные требования.

Большое количество кривых малого радиуса требует применения короткой жесткой базы у паровозов и вагонов.

Узкоколейные железные дороги с механической тягой (паровой, электрической и мотовозной) обслуживают различные отрасли промышленности, как то: торфяную, лесную, рудную, сахарную и т. п.

На узкоколейных железных дорогах работают паровозы самых разнообразных типов и систем. Неупорядоченность и бессистемность тягового хозяйства этих дорог в дореволюционное время сказываются прежде всего и самым болезненным образом в многосерийности паровозного парка. Мы встречаемся с паровозами как отечественной, так и заграничной постройки самых различных мощностей и возрастов. Паровозы постройки до 1928 г. выпускались заводами преимущественно без пароперегревателей и с плоскими золотниками, за исключением паровоза серии К 63 типа постройки Коломенского завода 1910 г. В настоящее время для дорог колеи 750 мм выпускаются паровозы только двух типов: 157 и 159 с колесной характеристикой 0-4-0 с нагрузкой на ось первый — 6,5 т, второй — 4 т. Для большей экономичности в расходах воды и топлива оба паровоза оборудованы пароперегревателем, который расположен в жаровых трубах. Машины обоих паровозов имеют кулису Гейзингера и поршневые золотники.

Внедрение узкоколейных паровозов 157 и 159 типов в промышленный транспорт в последнее время проводится быстрыми темпами.



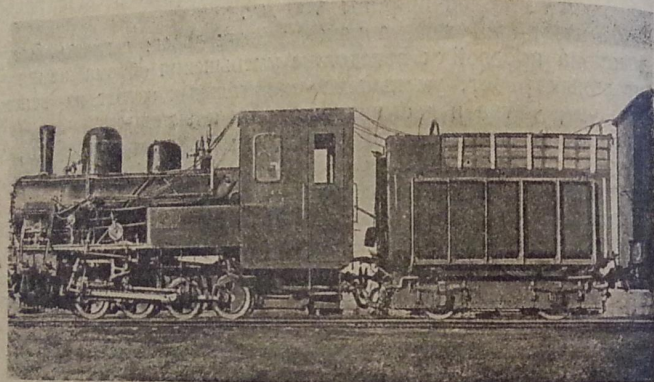
В торфяной промышленности на 1 февраля 1931 г. паровозный парк по срокам службы распределялся следующим образом:

от 1 до 10 лет службы	— 20%	паровозного парка,
» 11 » 20 »	» — 26%	»

Остальное количество паровозов относится к большему и невыявленному сроку службы.

На 1 января 1936 г. паровозный парк торфопромышленности значительно обновлен за счет поступления паровозов 157 и 159 типов, а поэтому и характеристика паровозного парка по срокам службы резко изменилась, т. е.:

от 1 до 10 лет службы	— 51%,
» 11 » 20 »	» — 17%.



Фиг. 1

Следовательно в ближайшее время многосерийность узкоколейных паровозов должна резко сократиться за счет списания с инвентаря большого количества старых паровозов.

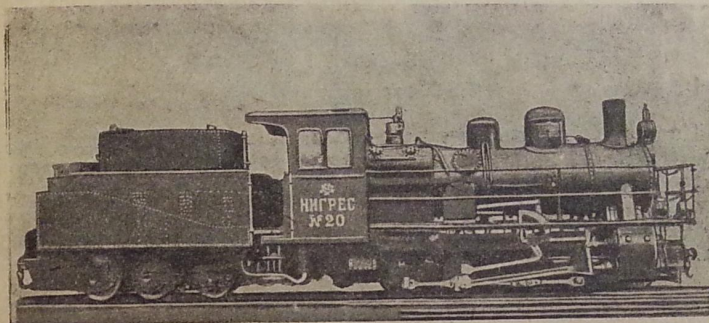
Приведенные цифры показывают, что паровозы 157 и 159 типов становятся основным типом паровозов промышленного узкоколейного транспорта.

Из старых серий на сети узкоколейных железных дорог имеют распространение паровозы постройки Коломенского завода 0-3-0 серии Н 86 типа с нагрузкой на ось 3,93 т и паровозы 0-4-0 серий К и О 63 типа с нагрузками на ось для паровозов серии К в зависимости от года постройки от 4,84 до 5,47 т и для паровоза серии О — 5,25 т.

Паровозы 159 типа (фиг. 1) и 157 типа (фиг. 1а) отличаются друг от друга не только нагрузкой на ось и основными размерами, но и конструктивными различиями, главнейшие из которых следующие: котел паровоза 157 типа имеет топку Бельпера, а паровоз 159 типа — топку с круглым потолком кожуха; у паровоза 159 типа внутренняя рама, а у 157 типа — наружная. Кроме этого паровоз 159 типа имеет

оборудование для прицепки тендера с обеих сторон паровоза. На этом же паровозе на площадках с левой стороны установлен ящик для топлива, а с правой — для воды. Вследствие малых запасов воды и топлива в этих ящиках паровоз может быть использован без тендера только на маневровой работе в течение около 1 часа, поэтому эти ящики возятся как мертвый груз и без ущерба могут быть сняты.

Произведенные испытания этих паровозов показывают, что они как теплосиловая установка менее экономичны, чем ширококолей-



Фиг. 1а

ные паровозы. Полный коэффициент полезного действия паровоза 157 типа колеблется от 2,6 до 5,9%, а 159 типа — от 2,2 до 5,5%.

Эти испытания дали ценный материал по пересмотру конструкции паровозов 157 и 159 типов и позволили наметить основные пути их модернизации.



# часть первая КОНСТРУКЦИИ УЗКОКОЛЕЙНЫХ ПАРОВОЗОВ 157 и 159 типов

## ГЛАВА I КОТЕЛ

Котел узкоколейных паровозов 157 и 159 типов по своей конструкции не отличается от котла паровоза нормальной колеи и состоит из тех же основных частей, т. е. топки А, цилиндрической части Б и дымовой коробки В (фиг. 2).

Каждая часть котла в свою очередь состоит из отдельных элементов.

### § 1. Топка

В топке паровозного котла на колосниковой решетке происходит сгорание топлива, тепло которого передается через стенки огневой коробки, жаровых и дымогарных труб воде для образования пара и через стенки трубок пароперегревателя для перегрева этого пара.

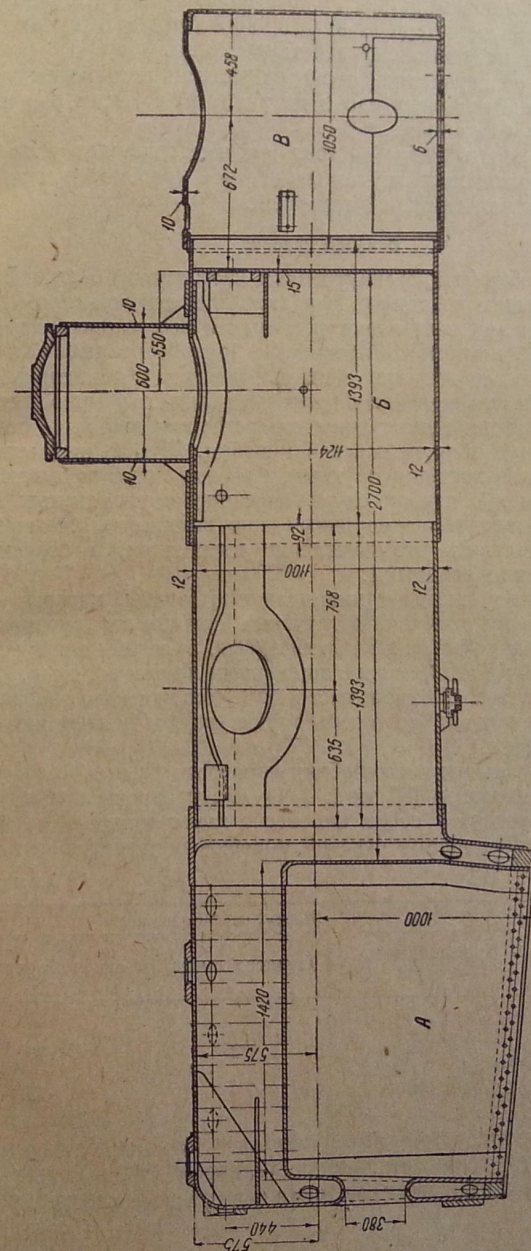
Топка является наиболее интенсивно действующей частью парового котла: несмотря на то, что поверхность нагрева топки в 8—12 раз меньше, чем трубчатая часть котла, она дает от 40—60% весового количества пара, приготовляемого котлом.

Правильное и экономное сжигание топлива обусловлено надлежащим выбором соотношений основных размеров огневой коробки и главным образом достаточной величиной отношения полезного объема топки  $V_m$  к площади колосниковой решетки  $R$ , которое у паровозов нормальной колеи колеблется от 1,3 до 2,5. У паровозов узкоколейных не удастся обычно получить такие значения  $V_m : R$ , но все же надо помнить, что чем больше это отношение, тем лучше, особенно при сжигании топлив, богатых летучими (дрова, торф, бурые и длиннопламенные угли).

Отношение поверхности нагрева топки к испаряющей поверхности трубчатой части котла для различных узкоколейных паровозов приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Тип паровоза	157	159	63	86
Отношение				
$H_m : H_k$ . . . . .	1/8	1/8,9	1/10,64	1/10,92



Фиг. 2



При недостаточной величине этого отношения значительно уменьшаются химические потери от недогорания топлива и сильно понижается коэффициент полезного действия котла.

На форму и размеры топков влияют: тип рамы, расположение колесных пар и их диаметр, а также род и свойство применяемого топлива.

Топка паровозного котла состоит из двух основных частей — кожуха топки и помещенной внутри его огневой коробки, ограниченной в нижней части колосниковой решеткой.

## Огневая коробка

Огневая коробка (фиг. 3) (внутренняя часть топки) состоит из трех листов, образующих ее стенки. Передний лист огневой коробки, имеющий отверстия для постановки жаровых и дымогарных труб, называется задней, или огневой, решеткой. Лист, образующий потолок и боковые стенки, называется шинельным листом. Шинельный лист огневой коробки узкоколейных паровозов бывает обычно цельным. Задний лист, имеющий шуровочное отверстие для заброски топлива, называется задней стенкой огневой коробки. Шуровочное отверстие у обоих паровозов делается круглым. Огневые коробки бывают клепаные и сварные. В первом случае соединение упомянутых листов между собой производится ordinaryным швом внахлестку. Медные огневые коробки делались исключительно клепаными, а современные железные делаются сварными.

Для соединения листов у них делаются загибы, которые располагаются в сторону огня для облегчения чеканки заклепочного шва (фиг. 4). При сварной огневой коробке (фиг. 3) загибы задней стенки и огневой решетки соединяются с шинельным листом впритык.

Топки паровозов 159 типа постройки Коломенского завода изготавливались клепаными, но теперь другие заводы делают их исключительно на сварке.

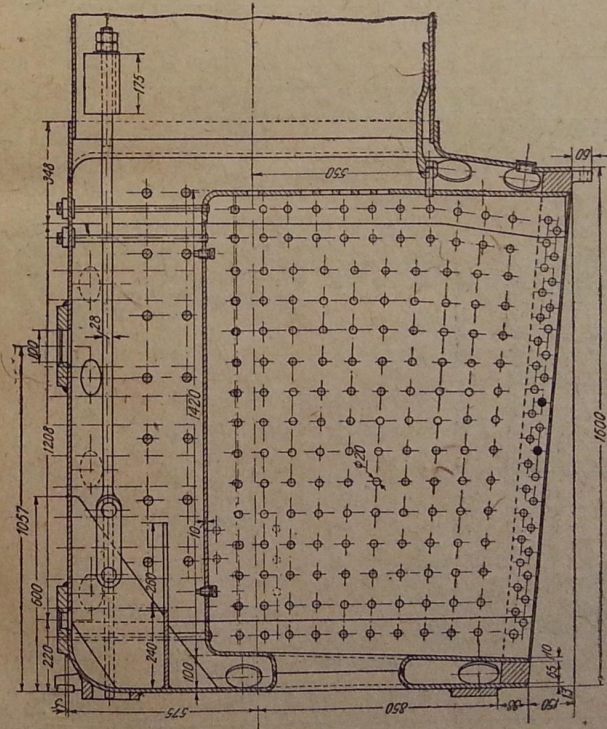
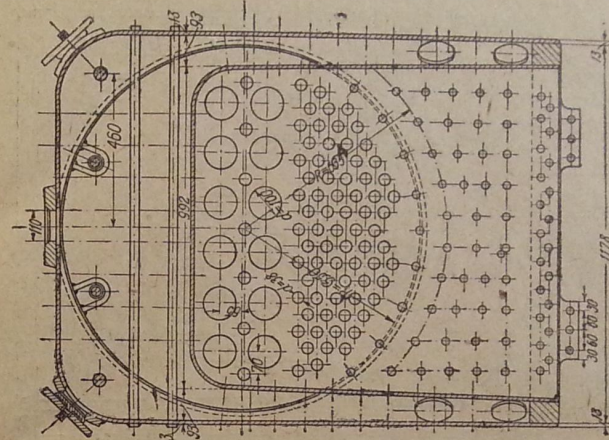
Толщина шинельных листов обоих паровозов 10 мм. Толщина задней решетки у паровоза 157 типа — 11 мм, у паровоза 159 типа — 13 мм. Задняя стенка у обоих паровозов имеет толщину по 10 мм.

Радиусы загибов листов огневой коробки приводятся в табл. 2.

Таблица 2

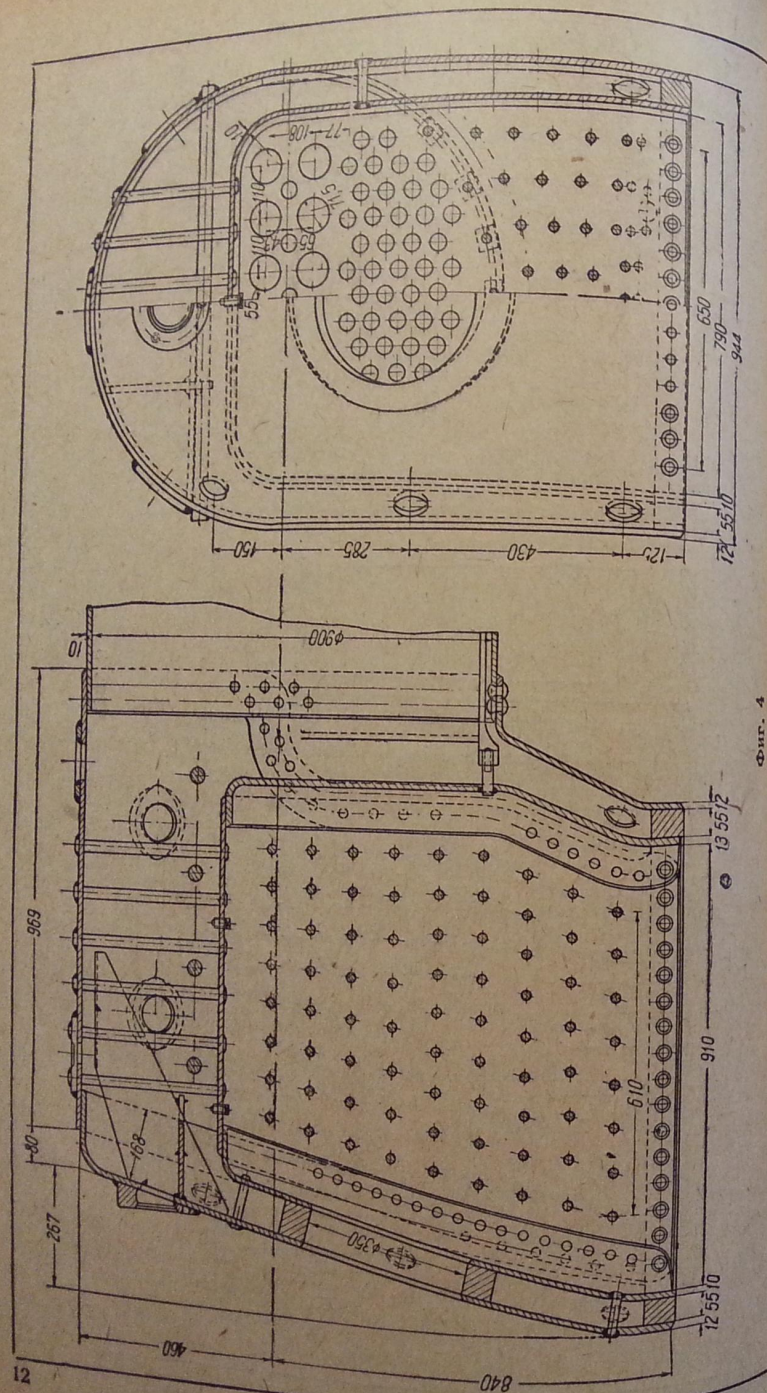
Тип паровоза	Радиус загиба в мм		
	шинельного листа	заднего листа	огневой решетки
157	115	32	29
159	110	30	25

Материалом для изготовления огневых коробок узкоколейных паровозов служит исключительно сталь марки Ст-2. Только часть паровозов 157 типа из первого выпуска имеют медные огневые коробки.



Фиг. 3





Фиг. 4

Преимущество стальных огневых коробок кроме легкости и дешевизны их заключается в том, что они допускают сварку листов как при изготовлении, так и при ремонте.

Однако стальные топki больше, чем медные, чувствительны к изменениям температуры, резкие колебания которой могут вызвать трещины, поэтому должны быть обеспечены внимательный уход и наблюдение за работой топki.

#### Кожух топki

Кожух топki состоит из трех листов. Задний лист, выходящий в будку машиниста, называется лобовым листом. Лист, образующий боковые стенки и потолок кожуха, называется шинельным листом. Фасонный лист, соединяющий кожух топki с цилиндрической частью котла, называется ухватным листом.

Кожух топki паровоза 157 типа системы Бельпера с плоским потолком. У паровоза 159 типа потолок кожуха топki очерчен радиусом 460 мм. Подобного типа топki имеют паровозы старых серий — О<sup>в</sup>, Н<sup>в</sup>, Р, К, К<sup>а</sup> и др.

Топki Бельпера по сравнению с радиальными увеличивают паровое пространство котла и имеют большее количество анкерных болтов одинакового размера, чем облегчается их заготовка. К недостаткам этого типа топok относятся: сложность соединения кожуха топki с цилиндрической частью котла, наличие дополнительного крепления боковых стенок поперечными связями и ее больший вес по сравнению с радиальной топкой.

Форма кожуха бывает различна, что зависит в основном от размеров топki, системы ее, весовых и габаритных соображений.

У паровоза 159 типа верхняя часть лобового листа кожуха топki по отношению к нижней имеет наклон вперед на 267 мм. Это дает более удобное размещение арматуры и облегчает выход пузырьков пара из водяного пространства.

Швы кожуха топki до недавнего времени делались клепаными внахлестку у обоих типов паровозов, а теперь их делают исключительно сварными впритык. Это же следует сказать и о соединениях кожуха с цилиндрической частью котла.

Толщина стенок кожуха топki паровоза 157 типа 13 мм, 159 типа — 12 мм.

Материал листов сталь марки Ст-2.

#### Скрепление огневой коробки с кожухом топki

Огневая коробка с кожухом топki соединяется посредством топочной рамы, крепления у шуровочной горловины, боковых связей и анкерных болтов.

Топочная рама соединяет листы огневой коробки и кожуха топki в ее нижней части. Скрепление листов на паровозе 157 типа произведено двухрядным заклепочным швом, расположенным в шахматном порядке. На паровозе 159 типа скрепление произведено однорядным заклепочным швом. В настоящее время Новочеркасским заводом разработана сварная конструкция топочной рамы.

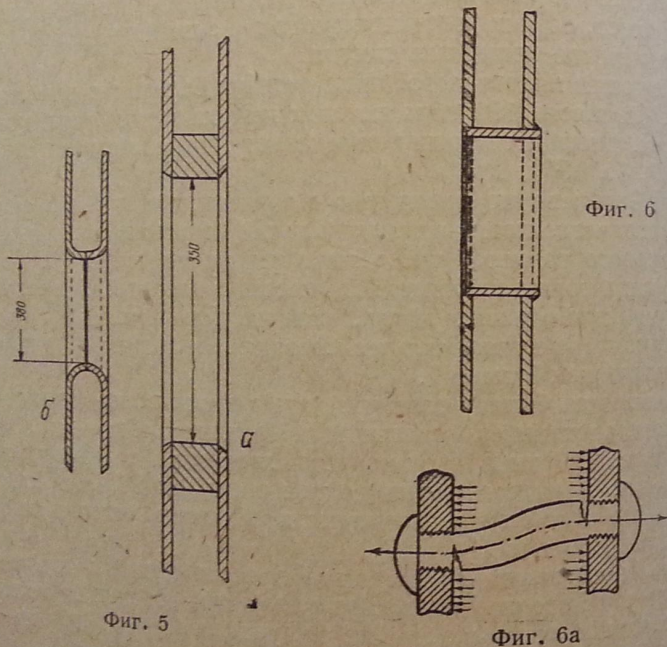


На вновь выпускаемых паровозах 159 типа крепление топочной рамы с листами кожуха топки и огневой коробки производится сварочным швом. Для наложения сварочного шва топочная рама несколько выступает вниз за кромки листов кожуха и огневой коробки.

Ширина топочной рамы у обоих паровозов 55 мм, а высота у паровоза 157 типа 92,5 мм, у паровоза 159 типа — 55 мм.

Топочная рама паровоза 157 типа у ухватного листа имеет каблучка толщиной по 35 мм и длиной 180 мм, предназначенных для укрепления с задней подвижной опорой котла.

Горловина шуровочного отверстия на паровозе 159 типа укрепляется при помощи шуровочного кольца, имеющего форму выреза на лобовой



листе кожуха топки и заднем листе огневой коробки (фиг. 5, а). Такое крепление произведено однорядным заклепочным швом.

На паровозе 157 типа крепление шуровочного отверстия производится следующим образом: концы выреза лобового листа кожуха топки и заднего листа огневой коробки отогнуты в сторону водяного пространства и между собой сварены (фиг. 5, б). Такое крепление шуровочного отверстия распространено на мощных паровозах нормальной колеи и имеет ряд преимуществ по сравнению с креплением при помощи массивного шуровочного кольца, так как последнее омывается водой и менее подвержено температурным деформациям, чем задний лист огневой коробки, отчего может произойти ослабление заклепочного шва, и появится течь.

Для устранения этих недостатков Подольский завод перешел на укрепление шуровочной горловины на паровозе 159 типа по способу

приведенному на фиг. 6. Такое соединение более надежно в работе и проще в постановке. Необходимо отметить, что размеры шуровочного отверстия на паровозе 159 типа недостаточны, так как через это отверстие трудно пролезть в огневую коробку для производства ремонта. Однако устройство большего шуровочного отверстия при малом объеме топки приведет к быстрому понижению температуры при заброске топлива вследствие проникновения большого количества воздуха в топку, что ухудшает процесс горения и может вызвать даже течь труб. Отсюда видно, что у узкоколейных паровозов приходится мириться с недостаточными размерами шуровочного отверстия.

Плоские стенки топки под давлением пара испытывают большое усилие. Чтобы иметь представление о величине этого усилия, приведем подсчет давления пара на потолок огневой коробки паровоза 157 типа. Потолок имеет длину 1420 мм и ширину 992 мм, следовательно площадь будет равна  $142 \times 99,2 = 13\,086,4 \text{ см}^2$ . При давлении пара в котле 13 ат общее давление на потолок равно  $13 \times 13\,086,4 = 170\,123 \text{ кг}$ , или около 170 т.

Для сохранения правильной формы стенок огневой коробки и кожуха топки они скрепляются между собой жесткими связями и анкерными болтами.

Связями скрепляется задняя стенка огневой коробки с лобовым листом кожуха топки, боковые стенки между собой и подрешетчатая часть огневой решетки — с ухватным листом кожуха топки. Связи бывают нарезные и сварные.

Нарезная связь представляет собой стержень цилиндрической формы с утолщенными нарезанными концами. Диаметр нарезки на конце связи в стенке огневой коробки делается на 0,5 мм меньше, чем на конце, укрепляемом в стенке кожуха топки, для облегчения постановки связи и сохранения плотности резьбы в стенке кожуха. Соответственно диаметрам концов связи нарезаются и отверстия в стенках огневой коробки и кожуха топки.

Средняя часть связи делается гладкой и называется шейкой. Для уменьшения случаев обрыва связи переход от нарезанной части к гладкой делается плавным.

Стенки огневой коробки и кожуха топки нагреваются до различной температуры и имеют различное расширение, чем вызывают изгиб связи, приводящий иногда к обрыву (фиг. 6а). Для обнаружения обрыва связи с обоих концов ее по оси просверливаются контрольные отверстия диаметром 4—6 мм и глубиной больше длины нарезанной части связи на 5—10 мм. При обрыве через контрольное отверстие будет выходить под давлением пара вода, что и укажет на обрыв связи. Обрыв ее чаще всего происходит у стенки кожуха топки. Постановку связей производят со стороны кожуха топки с помощью расклепки обоих концов головки.

В последнее время на паровозе 157 и 159 типов связи ввариваются. Вварная связь делается цилиндрической формы без утолщений по концам, что упрощает и удешевляет ее изготовление. С огневой стороны связь сточена на конус на длине 15 мм. На паровозе 157 типа листы огневой коробки с внутренней стороны разделяются под об-



Л  
Н  
Э  
У  
(  
,

Концы связей с наружной стороны выступают на 5—6 мм, с внутренней стороны огневой коробки — на 3—4 мм. Конец связи, выступающий из огневую коробку, изготовлен на конус. Связи обоих паров



К числу преимуществ сварных связей надо отнести их дешевизну в изготовлении и постановке, надежность в работе и долговечность. При правильном ведении процесса сварки связи никогда не теряют упругости, что не только в дефовских, но даже и заводских условиях получить плотную постановку нарезной связи — дело далекое от простого, то станет очевидным полная целесообразность сварных связей. Это мероприятие на ширококолейном транспорте начинаться должно с широкого применения, и нет никаких препятствий к применению его и у промышленных узкоколейных паровозов.

16

Крепкая система соединения в результате резкого изгиба потолка может вызвать образование трещин в последнем. Во избежание этого в паровозе 157. типа выпуска Коломенского и Сормовского заводов в передних двух рядах установлены подвижные анкерные

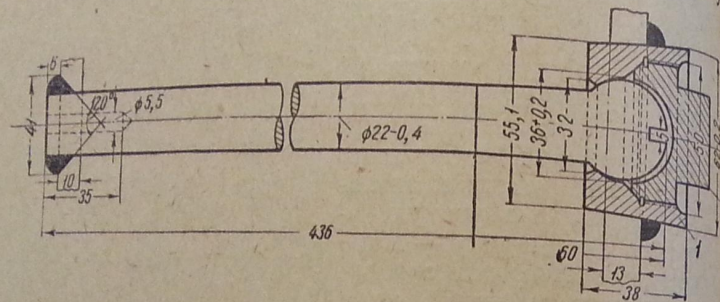


Устройство паровозов 266/1



ки связей Тэта в отверстия потолка кожуха топки ввариваются втулки 7. После постановки связей втулки закрываются ввертными крышками 2.

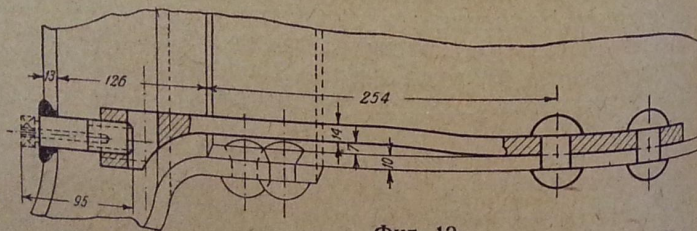
При деформации потолка огневой коробки связь Тэта меняет первоначальное положение, вращаясь шаровым концом во втулке.



Фиг. 11

Для изготовления анкерных болтов употребляется сталь марки Ст-1. Втулки и крышки связи Тэта изготавливаются из стали марки Ст-3.

Для укрепления нижней части огневой решетки между рядом дымогарных труб и верхним рядом связей ставятся лапчатые связи. Количество таких связей зависит от размеров топки; на паровозе 159 типа поставлено 7, на паровозе 157 типа — 9 (фиг. 12) и на паровозе 63 типа — 8 шт.



Фиг. 12

Лапчатая связь состоит собственно из связи и скобы, которая приваривается к заднему барабану цилиндрической части котла. Скрепление огневой решетки производится помощью связи, один конец которой вваривается в утолщенную часть скобы, а другой закрепляется в огневой решетке на резьбе или сваркой.

Диаметр лапчатых связей у обоих паровозов 23 мм. Контрольные отверстия просверлены со стороны огневой коробки для паровозов 159 типа из стали марки Ст-2, а для паровоза 157 типа — из Ст-1. Скобы соответственно изготавливаются из Ст-2 и Ст-1.

#### Крепление кожуха топки

Выше потолка огневой коробки боковые стенки и лобовой лист кожуха топки требуют дополнительных креплений. Эти крепления в основном подобны креплениям, применяемым у котлов паровозов нормальной колеи.

У паровозов 157 и 159 типов лобовой лист кожуха топки укрепляется контрфорсом, который придает ему большую жесткость и тем самым предохраняет его от выпучивания (фиг. 3 и 4). Контрфорс состоит из трех листов жесткости, расположенных горизонтально, двух раскосов и косынки, расположенных вертикально (фиг. 13). Раскосы, листы жесткости и косынка сварены между собой и представляют цельную жесткую систему. Листы жесткости приварены к лобовому листу и боковым стенкам кожуха топки, раскосы приварены к потолку и лобовому листу, а косынка приварена к среднему листу жесткости и к лобовому листу. Первые выпуски этих паровозов постройки Коломенского завода имели контрфорсы, прикрепленные к лобовому листу и боковым стенкам кожуха топки при помощи угольников.

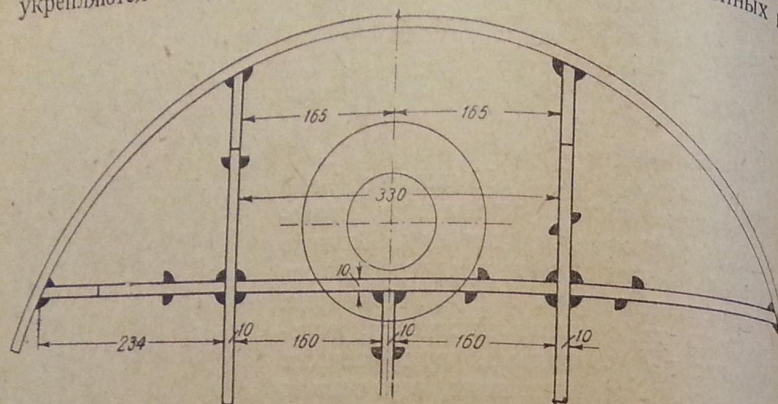
Лобовой лист кожуха топки паровоза 157 типа кроме контрфорса скрепляется еще четырьмя продольными тяжами: двумя — с задним барабаном цилиндрической части котла и двумя — с ухватным листом кожуха топки. Крайние тяжи выходят наружу лобового и ухватного листов на 16 мм и закрепляются электросварочным швом. Эти продольные тяжи имеют диаметр 28 мм, контрольные отверстия — диаметр 7 мм и глубину 75 мм. Средние два тяжа скрепляются с раскосами помощью боковых щек и валиков (фиг. 3) и в передней части проходят через скобы, приваренные к заднему барабану цилиндрической части котла, и закрепляются в ней гайкой и контргайкой (фиг. 14). Для предотвращения произвольного отвинчивания гайки ставят шплинт диаметром 8 мм.



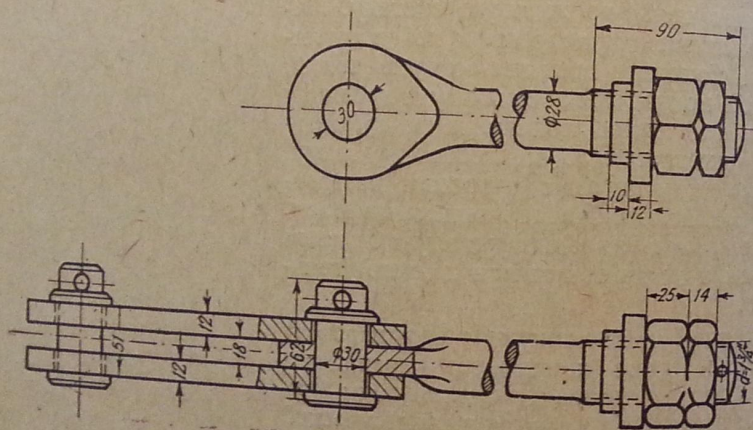
Фиг. 12а



Боковые стенки кожуха топки выше потолка огневой коробки укрепляются поперечными связями. На старых узкоколейных ло-

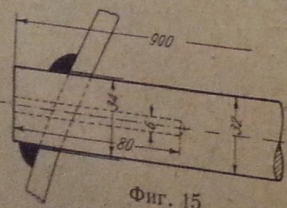


Фиг. 13



Фиг. 14

ровозах, в том числе и на паровозах 157 и 159 типов первых выпусков поперечные связи поставлены на нарезке. В последнее время на паровозах 157 и 159 типов эти связи поставлены на вварке. На паровозе 159 типа поставлен один ряд поперечных связей в количестве 4 шт. длиной 900 мм и диаметром 32 мм (фиг. 15). Поперечные связи с обоих концов имеют контрольные отверстия диаметром 6 мм и глубиной 80 мм. Диаметр отверстия в боковых стенках кожуха топки сделан в 34 мм. На паровозах 157 типа, имеющих топку типа Бельпера, поставлено два ряда поперечных



Фиг. 15

связей в количестве 14 шт. длиной 1236 мм. Все связи имеют одинаковые размеры с продольными тяжами за исключением длины. Для изготовления контрфорсов, продольных тяжей, поперечных связей и скоб применяется сталь марки Ст-2.

## § 2. Цилиндрическая часть котла

Цилиндрическая часть котла состоит из отдельных 2—3 барабанов, которые склепываются между собой впритык или внахлестку. Соединение барабанов между собой осуществляется одним из следующих способов:

а) барабаны изготавливаются различных диаметров, вставляются один в другой и укрепляются заклепочным швом. По такому способу произведено соединение барабанов у паровозов 63 типа серии О и у паровозов 157 и 159 типов, причем у паровоза 63 типа первый барабан входит во второй, а у последних — задний барабан входит в первый;

б) все барабаны изготавливаются одинакового диаметра и соединяются между собой впритык помощью наружной накладки и заклепочного шва. Этот способ соединения барабанов применен на паровозах Коломенского завода 63 типа серии К, цилиндрическая часть котла которого состоит из трех барабанов.

Цилиндрическая часть котла паровозов 157 и 159 типов состоит из двух барабанов. Соединение заднего барабана с кожухом топки различно; у паровоза 157 типа задний барабан соединяется двухрядным заклепочным швом внахлестку с ухватным листом, у паровоза 159 типа, имеющего круглый потолок кожуха, задний барабан котла соединяется частично (по верхней полуокружности) с шинельным листом кожуха и частично (по нижней полуокружности) с ухватным листом, который в этом случае иногда называется рогатым. Это соединение такое же, как у паровоза серии ОВ, имеющего аналогичную топку. Передний барабан у обоих типов паровозов соединяется сварным швом с вставленной в него передней решеткой.

В цилиндрической части котла размещены дымогарные и жаровые трубы, укрепленные в огневой и передней решетках.

На первом барабане цилиндрической части котла располагается паровой колпак, или сухопарник, служащий для собирания сухого пара, и помещения регулятора. На заднем барабане котла у паровоза 157 типа помещается лаз.

Длина барабанов цилиндрической части котла паровоза 157 типа равна 1313 мм, а 159 типа — 1307 мм. Внутренний диаметр заднего барабана паровоза 157 типа равен 1100 мм, а переднего — 1124 мм; у паровоза 159 типа соответственно 900 и 920 мм.

Толщина стенок барабана зависит от диаметра котла и давления пара в котле. На паровозе 157 типа толщина стенок барабанов 12 мм, на паровозе 159 типа — 10 мм.

Листы, изогнутые в барабаны, соединяются по линии стыка продольным заклепочным швом. Продольные швы на обоих паровозах сделаны впритык с двумя накладками и укреплены четырьмя рядами



заклепок диаметром 19 мм. Внутренняя накладка для увеличения коэффициента прочности шва делается большей ширины, чем наружная.

Продольные швы двух соседних барабанов не должны располагаться по одной прямой линии, так как при соединении их значительно усложняется склепка узла, в котором сходятся продольные и поперечные швы.

Барабаны цилиндрической части котла соединены между собой поперечным швом внахлестку двумя рядами заклепок.

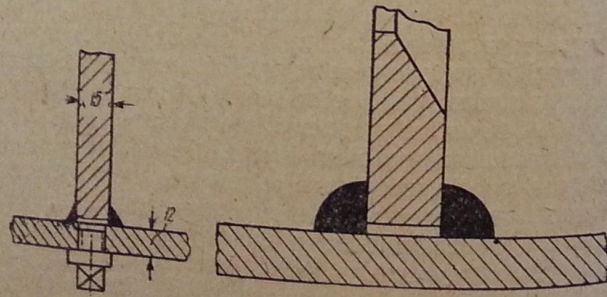
В настоящее время котлы паровоза 159 типа изготавливаются несварными. Соединение заднего барабана с кожухом топки и переднего барабана со вторым осуществляется сварным швом впритык. Продольные швы барабанов также укреплены сварочным швом впритык. Продольный шов первого барабана расположен вверху по образующей цилиндрической части котла, а шов второго барабана расположен с правой стороны котла выше уровня воды в котле.

Материалом для изготовления листов барабанов и заклепок служит сталь марки Ст-2.

#### Передняя решетка

Передняя решетка представляет собой плоскую стенку с отверстиями для постановки жаровых и дымогарных труб. Скрепление с передним барабаном производится помощью заклепочного шва внахлестку.

В первом случае решетка имеет отогнутый борт, наружный диаметр которого равен внутреннему диаметру первого барабана и бо-



Фиг. 16

вляется в него отгибом в сторону дымовой коробки. Скрепление решетки с барабаном в этом случае производится однорядным заклепочным швом. Такой способ постановки решетки применен на старых узкоколейных паровозах и на паровозах 157 и 159 типов.

В настоящее время на паровозах 157 и 159 типов передняя решетка прикрепляется к внутренней части переднего барабана посредством приварки с двух сторон (фиг. 16). В этом случае решетка вырезывается

из листа диаметром на 4—5 мм меньше внутреннего диаметра первого барабана.

Передняя решетка против выгибания под давлением пара предохраняется трубами, а выше этих последних укрепляется контрфорсом, состоящим из горизонтального листа жесткости, приваренного к передней решетке и по бокам к стенкам барабана котла, и из двух наклонно расположенных косынок; последние приварены к решетке и к горизонтальному листу. На фиг. 2 представлено описываемое укрепление для паровоза 157 типа постройки завода «Красное Сормово», а на фиг. 17 — для паровоза 159 типа.

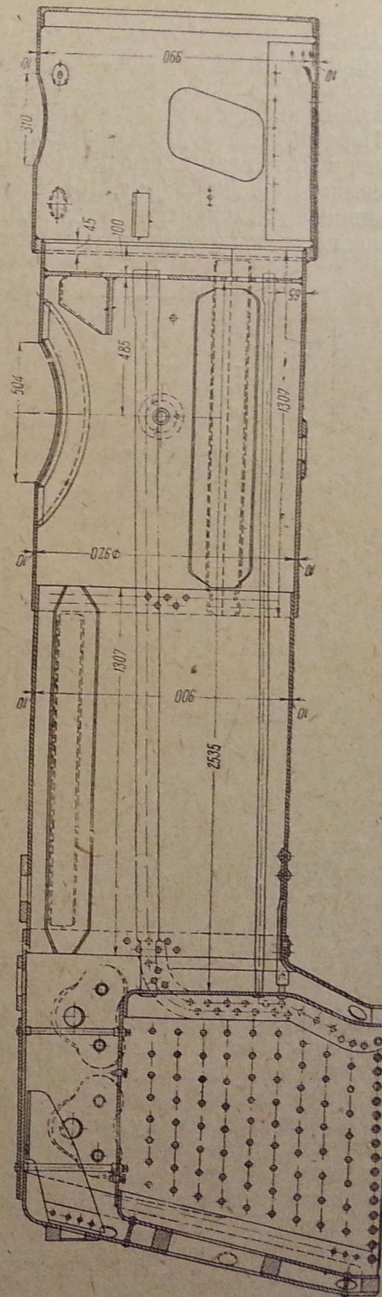
В передней решетке между нижней образующей барабана и нижним рядом дымогарных труб делается отверстие для постановки промывательного люка.

Толщина передней решетки у обоих паровозов 15 мм, она изготавливается из стали марки Ст-2.

#### Паровой колпак

Паровой колпак, или сухопарник, у описываемых паровозов поставлен на первом барабане цилиндрической части котла. Такая постановка парового колпака дает возможность производить отбор пара в наиболее удаленном месте от топки, в области которой производится пар значительной влажности вследствие наибольшей интенсивности парообразования. Кроме того при таком расположении колпака уменьшается длина регуляторной трубы.

В паровом колпаке располагается регуляторная головка, которая служит для забора пара из котла, и паросушитель.

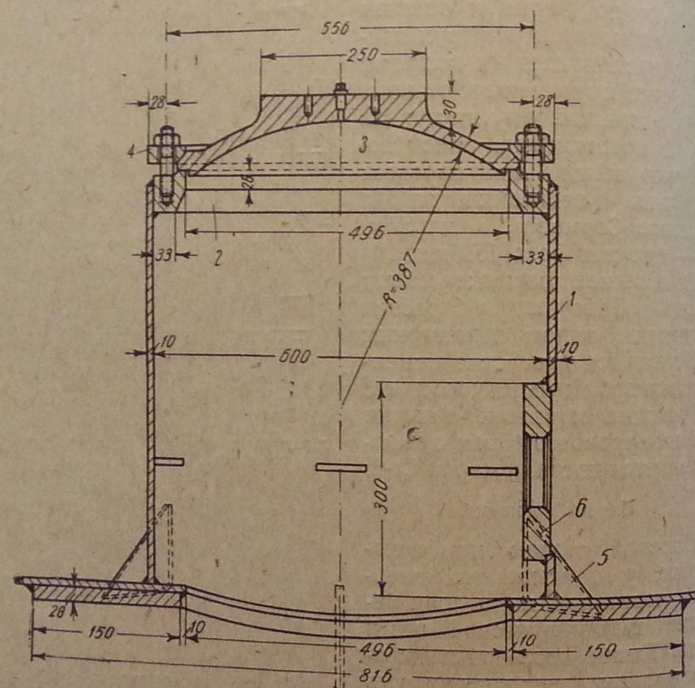


Фиг. 17



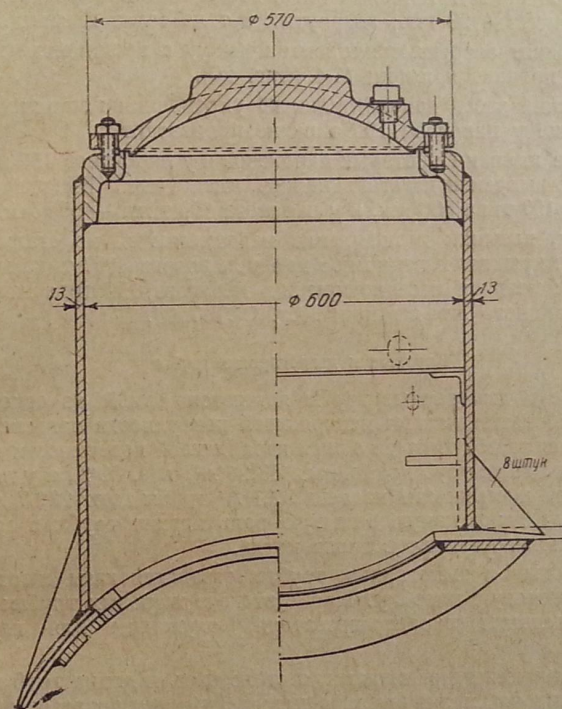
Для соединения сухопарника с паровым пространством котла в верхней части барабана делается круглый вырез, а для увеличения жесткости барабана в месте выреза с внутренней стороны приклепывается подкладка по форме выреза.

Паровой колпак паровоза 157 типа состоит из барабана 7, седла крышки 2, приваренного в верхней части к барабану, крышки 3 и нажимного кольца 4 (фиг. 18). Барабан сухопарника приваривается к цилиндрической части котла. Для создания большей жесткости он дополнительно укрепляется шестью косынками 5, приваренными

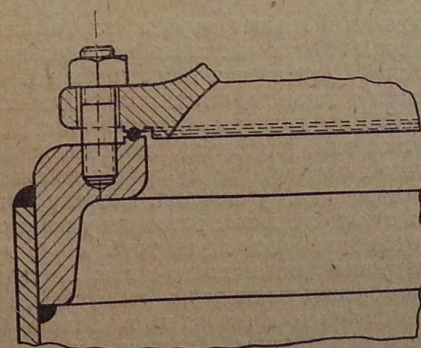


Фиг. 18

к его стенке и цилиндрической части котла. Внизу барабана справа в стенке сделано большое прямоугольное отверстие, закрытое толстым приварным фланцем 6. К этому фланцу изнутри прикрепляется регуляторная головка, а снаружи — регуляторная труба. У паровозов 157 типа прежних выпусков этого фланца не было, и регуляторная труба проходила внутри котла. Крышка парового колпака ставится на притирке и прижимается к седлу нажимным кольцом, одетым на 30 шпилек диаметром  $7/8$ ", ввернутых в тело седла крышки. У паровоза 159 типа паровой колпак также приваривается к цилиндрической части котла и укрепляется косынками в количестве 8 шт. (фиг. 19). Седло крышки имеет другую форму. Крышка ста-



Фиг. 19



Фиг. 20



вится на притирке и прижимается к седлу шпильками диаметром  $\frac{7}{8}$ " в количестве 28 шт., ввернутых в тело седла крышки.

Как вариант разрешается ставить крышку с прокладным кольцом из медной проволоки марки М-4 (фиг. 20).

Подольский завод дополнительного укрепления косынками парового колпака у паровоза 159 типа не производит.

Паровые колпаки у старых паровозов и у паровозов 157 и 159 типов первых выпусков изготавливались клепаными. Высота колпака у паровоза 157 типа 600 мм, а у паровоза 159 типа — 550 мм.

Барабан, косынки и подкрепка изготавливаются из стали марки Ст-2; седло, крышки и нажимное кольцо паровоза 157 типа из стали марки Ст-3; крышки и седло крышки паровоза 159 типа изготавливаются из стального литья марки ЛСт. ОСТ 7504.

#### Жаровые и дымогарные трубы

Жаровые и дымогарные трубы являются одной из основных и притом наибольшей частью испаряющей поверхности нагрева котла. Так, у паровоза 157 типа из общей испаряющей поверхности нагрева в  $48,64 \text{ м}^2$  на долю труб приходится  $43,24 \text{ м}^2$ , т. е. 89%, а у паровоза 159 типа при поверхности нагрева  $32,1 \text{ м}^2$  трубы дают  $28,87 \text{ м}^2$ , т. е. 90%. Отсюда ясно, какую большую роль играют трубы в создании поверхности нагрева паровозного котла.

По жаровым и дымогарным трубам отводятся газы сгорания из огневой в дымовую коробку. Кроме этого в жаровых трубах размещаются элементы пароперегревателя, служащие для перегрева пара.

Расстояние между решетками, а стало быть и длина труб в узкоколейных паровозах значительно меньше, чем у паровозов широкой колеи. Это расстояние у паровоза 157 типа — 2 700 мм, а у паровоза 159 типа — 2 530 мм.

Отношение длины дымогарных труб к внутреннему диаметру, как правило, близко к 100. Многочисленные исследования показывают, что с теплотехнической точки зрения такие трубы работают наиболее рационально, охлаждая газы до относительно невысокой температуры порядка  $280-350^\circ$ . У паровозов узкоколейных невозможно получить выгодное отношение, так как это потребовало бы применения труб слишком малого диаметра, при котором неизбежен их быстрый износ сажей, золой и мелкими угольками. Поэтому приходится применять трубы почти такого же диаметра, как и у паровозов нормальной колеи (у 157 и 159 типов поставлены трубы  $40/45 \text{ мм}$ ), хотя расстояние между решетками меньше почти вдвое. Очевидно, что с теплотехнической точки зрения такие трубы невыгодны, и температура уходящих газов, а стало быть и потеря тепла с ними будут больше, чем у паровозов нормальной колеи. Сказанное справедливо и по отношению к жаровым трубам.

Число жаровых и дымогарных труб и их диаметры приведены в табл. 3.

Таблица 3

Тип паровоза	Число дымогарных труб	Диаметр в мм	Число жаровых труб	Диаметр в мм
157	81	40/45	12	125/133
159	57	40/45	12	82,5/89
86	80	33/38	—	—
63 серии О . . .	136	38/43	—	—
63 » К . . .	131	38/43	—	—

Постановка труб производится через дымовую коробку. Перед постановкой в заднюю решетку вставляются медные кольца толщиной для дымогарных труб 1,5 мм, жаровых — 2 мм. Кольцо устанавливается так, чтобы его кромка не доходила до края отверстия в сторону огня на 0,75 мм, в сторону воды оно выходит на 2 мм. Постановка колец у железных решеток производится для того, чтобы предотвратить разработку отверстий в решетке и создать более плотное соединение труб с решеткой. Концы труб должны выходить из отверстия решетки в сторону огня на 10 мм для образования буртиков.

После постановки труб их концы со стороны огневой коробки отгибаются на  $45^\circ$ , затем трубы развальцовываются. Со стороны воды особым раздаточным прессом, вставленным в трубу, образуется внутренний буртик, который обеспечивает прочное и плотное соединение трубы с решеткой и предохраняет трубу от продольного перемещения по отношению к решетке при нагревании котла (фиг. 21 и 22). После этого концы труб отбуртовываются, затем производятся гидравлическое испытание котла и обварка буртиков труб со стороны огневой коробки. Обварка труб в огневой коробке получила распространение только в последнее время.

Укрепление передних концов труб производится развальцовкой с последующей раздачей их на конус.

Разбивка дымогарных труб в решетках у паровозов 157 и 159 типов осуществляется по вершинам равностороннего треугольника, которая дает почти прямолинейный путь выхода пузырьков пара при компактном расположении труб.

На фиг. 23 дана разбивка труб в обеих решетках для паровоза 157 типа, а на фиг. 23а — для паровоза 159-типа, где даны все размеры, характеризующие разбивку.

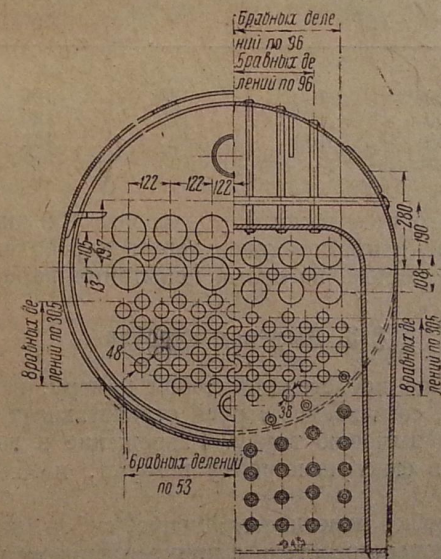
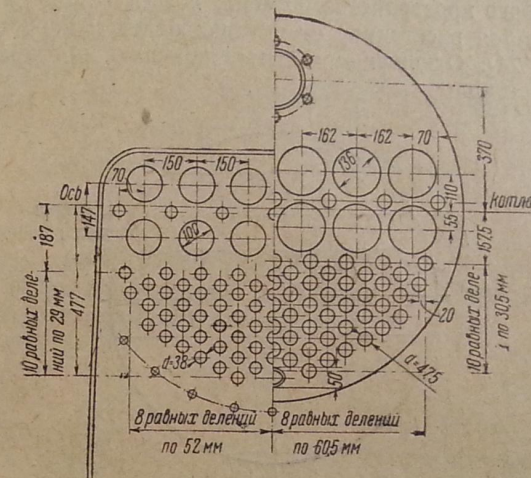
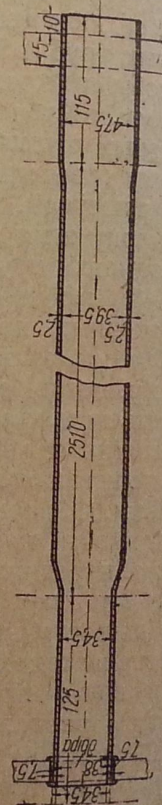
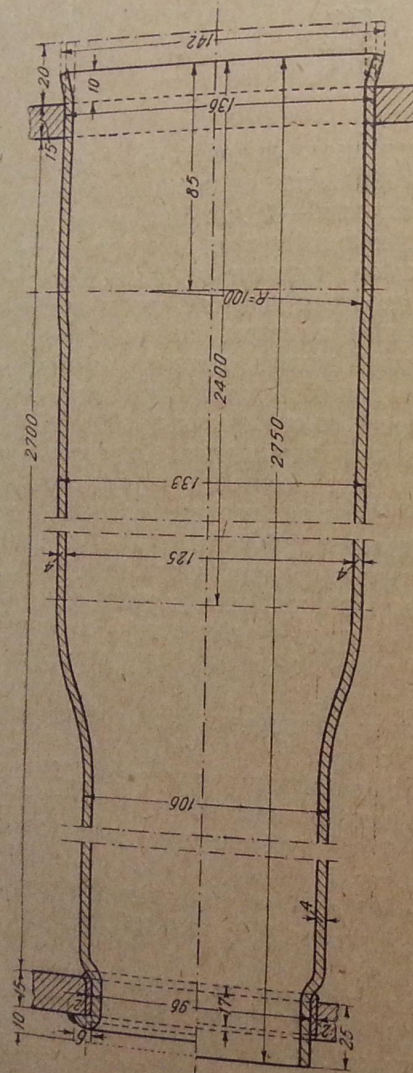
Жаровые трубы обычно располагаются по углам квадрата или прямоугольника. На паровозах 157 и 159 типов жаровые трубы расположены по углам прямоугольника.

Для сохранения определенных размеров мостиков в передней решетке жаровым и дымогарным трубам дают уклон кверху и раздвигают их в стороны.

После разбивки труб можно определить диаметр котла, причем необходимо учесть величину парового пространства.

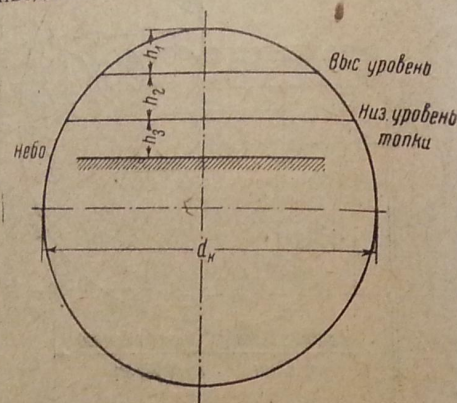
Считая, что наименьший допускаемый уровень воды в котле должен быть выше потолка на величину  $h_2 = 100 \text{ мм}$ , колебание уровня воды







$h_3 = 120$  до 180 мм (для узкоколейных паровозов примем 120 мм), высота парового пространства не менее  $h_1 = 1/6 - 1/7$  от диаметра  $d_k$ , определяется расстояние от потолка огневой коробки до котелки (фиг. 24). Отношение высоты парового пространства к метру котла приводится в табл. 4.



Фиг. 24

Таблица

Тип паровоза	Размеры в мм				$\frac{h_1}{d_k}$
	$d_k$	$h_3$	$h_2$	$h_1$	
159	900	100	120	100	$1/9$
157	1100	100	120	126	$1/5,92$
63	1050	100	120	152	$1/6,91$

Высоту парового пространства у паровоза 159 типа следует считать недостаточной, и котел должен давать пар большой влажностью, что вполне подтвердилось во время испытания паровоза.

### § 3. Дымовая коробка

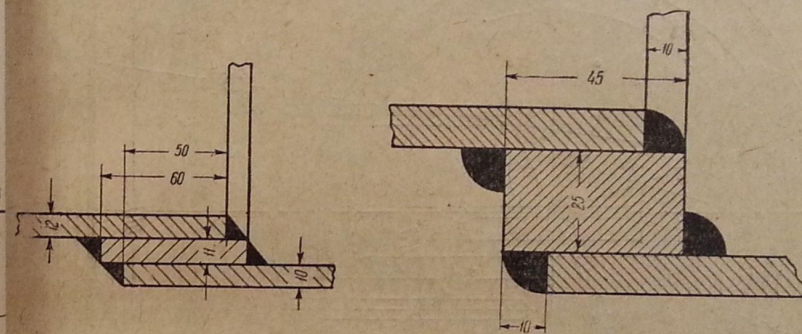
Дымовая коробка представляет собой камеру, в которой происходит разрежение, создаваемое струей отработавшего пара, выходящего из конуса в дымовую трубу. Разрежение в дымовой коробке вызывает приток в огневую коробку воздуха, необходимого для сгорания топлива.

В дымовой коробке помещаются: конус, сифон, пароперегреватель, коллектор пароперегревателя с прикрепленными к нему концами элементов пароперегревателя, искроудержатель и прибор для замера изгари.

Объем дымовой коробки желательно делать возможно больше, так как это способствует более равномерной тяге газов сгорания.

Этот объем зависит от мощности паровоза и размеров установленных в дымовой коробке приборов.

Барабан дымовой коробки обычно склепывается из одного листа, а на паровозах 157 и 159 типов барабан сварной. На паровозе 159 типа Подольский завод сваривает барабан дымовой коробки из двух листов. Толщина стенок дымовой коробки 10 мм. В нижней части коробки изнутри приварен лист у обоих паровозов толщиной 6 мм. Этот лист, иногда называемый защитным, служит для предохранения нижней части барабана дымовой коробки от быстрого прогорания и износа горящими угольками; кроме того он создает большую жесткость конструкции, которая необходима потому, что дымовая коробка лежит на передней опоре котла и выдерживает большую нагрузку от веса котла и случайных толчков и ударов.



Фиг. 25

Дымовая коробка узкоколейных паровозов в большинстве случаев соединяется с первым барабаном котла заклепочным швом или сваркой. На паровозах 157 и 159 типов крепление дымовой коробки с передним барабаном произведено путем сварки, причем между барабаном котла и дымовой коробки расположено кольцо, показанное на фиг. 25, где слева — соединение дымовой коробки с передним барабаном котла для паровоза 157 типа. Здесь прокладное кольцо тонкое и сделано из полосового железа. У паровоза 159 типа (справа на фиг. 25) прокладное кольцо толстое кованое. По переднему обрезу барабана дымовой коробки приварен по окружности угольник, вертикальной полке которого прикрепляется передний лист. Для доступа в дымовую коробку передний лист имеет отверстие, закрываемое откидной дверцей. Размеры отверстия и дверки должны удовлетворять следующим условиям:

- 1) должен быть свободный доступ ко всем приборам, находящимся в дымовой коробке;
- 2) крайние ряды дымогарных и жаровых труб должны выниматься свободно без перекосов;
- 3) должна быть удобна постановка и снятие элементов пароперегревателя и других приборов;



Материалом для изготовления барабана дымовой коробки, предохранительного листа и прокладного кольца служит сталь, марка Ст-0 или Ст-2.

В дымовой коробке помещаются также искроуловители. У паровоза 157 типа искроуловитель состоит из двух вертикальных и одного наклонного отражательных листов и двух сеток — вокруг конуса над конусом. Первая сетка круглая слабоконической формы, вторая — горизонтальная плоская с диаметром отверстия 240 мм, с центром по оси конуса. Отклоненные листами искры под действием тяги стремятся пройти в трубу и, встречая на своем пути сетки, дробятся и падают на дно дымовой коробки. Мелкие искры все же вылетают, но особой опасности не представляют. Так как сетки постоянно засоряются и часто прогорают, то признать конструкцию искроуловителя удовлетворительной отнюдь нельзя. Вопрос об усовершенствовании этого важнейшего прибора продолжает оставаться актуальным. В эксплуатации надо особенно строго следить за исправностью сеток.

У паровоза 159 типа искроуловитель также сетчатый, состоящий из плоских сеток и одной полуконической.

#### § 4. Гарнитура паровозного котла

##### Пароперегреватель

Применение перегретого пара для работы паровозной машины значительно увеличивает экономичность и мощность паровоза. Паровоз, оборудованный пароперегревателем, по сравнению с бес-



Фиг. 28

перегретым таким же паровозом дает экономию топлива от 10 до 15%. Это объясняется главным образом тем, что при перегреве сильно увеличивается удельный объем пара и потому соответственно уменьшается вес пара, впускаемого в цилиндры при данной отсечке. Кроме того уменьшению расхода пара способствует: а) его плохая теплопроводность, благодаря которой пар при впуске, соприкасаясь со стенками цилиндра относительно низкой температуры, не конденсируется как насыщенный, а лишь немного понижает свою температуру, оставаясь вполне работоспособным; б) текучесть перегретого пара. Благодаря этому свойству пар легко проходит через узкие щели окон, открываемых золотником, теряя лишь ничтожную часть своего первоначального давления. Отсюда возможность развить данную работу при меньших отсечках и соответственная экономия расхода тепла и топлива. Благодаря уменьшению весового количества пара, расходуемого машиной, облегчается работа котла и повышается его к. п. д., а отсюда и к. п. д. паровоза в целом.

Несмотря на неоспоримые преимущества перегретого пара, применение его на узкоколейных паровозах не получало до последнего времени большого распространения главным образом из-за техни-

ческой косности и отсталости заказчиков, эксплуатирующих эти паровозы, и отсутствия должного внимания со стороны заводов-строителей. Однако за последнее время эта точка зрения в корне меняется. Это объясняется оживлением научно-технической работы в области промышленного железнодорожного транспорта, результаты которой воочию показывают полную целесообразность перегрева в условиях работы узкоколейных паровозов. Паровозы 157 и 159 типов оборудованы перегревателями системы Шмидта, но каждый элемент расположен в двух соседних по вертикали жаровых трубах (фиг. 28—29). У паровозов 157 типа первых выпусков жаровые трубы были диаметром 113 × 121 мм и трубки элементов 27 × 34 мм<sup>1</sup>. Теперь применяются жаровые трубы 125 × 133 мм и трубки элементов 28 × 35 мм. У паровозов 159 типа жаровые трубы диаметром 82,5 × 89 мм и трубки элементов 18 × 24 мм. Пар по трубкам перегревателя совершает восемь ходов (четыре оборота). На фиг. 29 представлены элемент пароперегревателя паровоза 157 типа, который состоит из отдельных цельнотянутых трубок, соединенных между собой в задней части со стороны огневой коробки специальными колпачками. Верхний ряд трубок элемента также соединен при помощи колпачка. Две нижние трубки имеют загнутые вверх концы, которыми они присоединяются к коллектору. Колпачки изготавливаются отдельно, причем их задние стенки для увеличения сопротивляемости от механического износа делаются утолщенными (фиг. 30). При сборке элемента колпачок надевается на концы трубок и обваривается.

На паровозе 159 типа трубки элемента не имеют колпачка в дымовой коробке (фиг. 31). Кроме того соединительные трубки от коллектора подходят не к нижнему, а к верхнему ряду трубок элемента. Концы элементов с целью предохранения их от обгорания не доходят до огневой решетки на 350 мм. Для избежания резкого сужения живого сечения жаровой трубы в местах расположения колпачков последние сдвигаются относительно друг друга на паровозе 157 типа на 150 мм, на паровозе 159 типа — на 130 мм. Удержание элементов в определенном положении в жаровых трубах производится двумя хомутиками (фиг. 32).

Прикрепление элементов к коллектору на описываемых паровозах произведено различными способами.

На паровозе 157 типа концы элемента укреплены в соединительном фланце. Для достижения большей плотности между фланцем и коллектором ставится конусная втулка. Фланец имеет в середине отверстие, через которое проходит натяжной болт. Головка этого болта заводится в паз в нижней части коллектора. Прижатие фланца к коллектору производится гайкой нажимного болта. В целях предотвращения обгорания нарезки болт не должен выходить из гайки или вместо нормальной должна быть поставлена глухая гайка.

Присоединение элементов к коллектору на паровозе 159 типа осуществляется следующим образом: соединительные фланцы одеваются на трубки до постановки головок. Головка верхним концом заходит

<sup>1</sup> См. Тяговый паспорт паровоза 157 типа, изд. Трансжелдориздата, 1934 г.



На основании опытных данных температура перегретого пара в золотниковой коробке паровоза 157 типа при форсировании в  $50 \text{ кг/м}^2$  испаряющей поверхности в 1 час устанавливалась при  $330^\circ \text{Ц}$ .



На паровозе 159 типа во время испытания паровоза температура перегретого пара достигала только  $225^{\circ}\text{C}$ , что объясняется малым пространством котла (это дает увеличение влажности пара неудачными размерами жаровых и перегревателей и слишком малым диаметром трубок элементов пароперегревателя и длиной прохождения пара от регуляторного клапана до золотника). Коробки дают большое мятие пара.

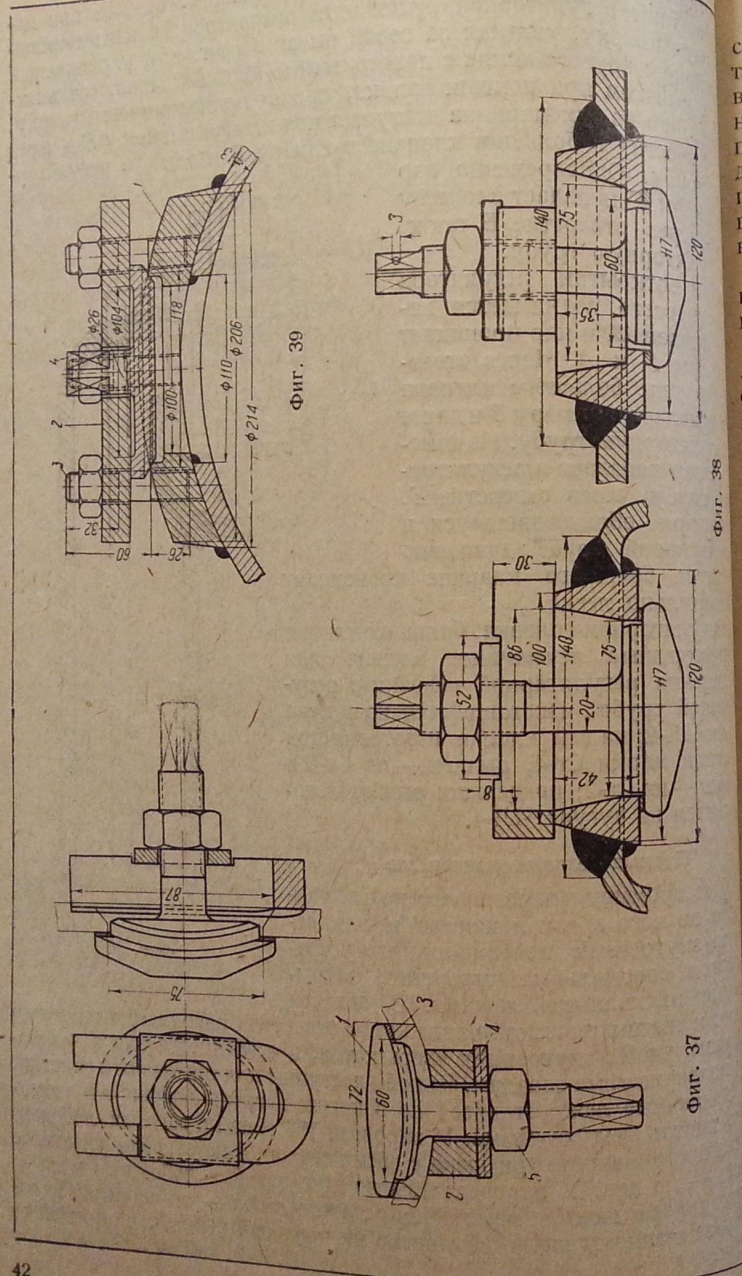
Вследствие малого живого сечения жаровых труб доля проходящих в них газов мала (0,351), поэтому и температура перегрева

Все это настоятельно требует изменить размеры жаровых труб и перепроектировать пароперегреватель, что и было поручено Ново-еркаскому паровозостроительному заводу.



- 1) отбор пара производится не из высшей точки в сухопарнике вследствие вертикального расположения золотникового зеркала;
- 2) пришибивание золотников к зеркалу усложняет ремонт регулятора;
- 3) золотники часто дают пропуск пара при закрытом регуляторе;
- 4) при разъединении регуляторного привода в открытом положении регулятор нельзя закрыть;





Фиг. 39

Фиг. 38

Фиг. 37

Вверху на боковых стенках кожуха топки обоих паровозов поставлены также закладные люки по два с каждой стороны. Кроме того на паровозе 157 типа поставлен один накладной люк внизу на втором барабане, а на паровозе 159 типа такой же люк стоит внизу на первом барабане. На фиг. 37 представлен малый закладной люк паровоза 159 типа. Плотность прилегания люка к стенкам кожуха достигается свинцовой прокладкой 3. Эта прокладка изготавливается по форме люка 1 и одевается вокруг его выступа. Люк закрепляется при помощи скобы 2, квадратной шайбы 4 и гайки 5. Скоба имеет вырез для укрепления шайбы.

На паровозе 157 типа закладные люки поставлены на втулки, которые привариваются к листам кожуха топки (фиг. 38). Плотность прилегания люка к стенке достигается асбестовой прокладкой.

На фиг. 39 представлен большой люк на топку паровоза 157 типа. Люк ставится на фланец 1, приваренный к стенке кожуха. Фланец служит для усиления стенки, ослабленной вырезом, и одновременно является седлом, к которому притирается люк. Люк прижимается к фланцу нажимным диском 2 на шести шпильках 3, ввернутых в тело фланца. В центре люк 4 имеет квадратный хвостовик, за который поддерживают рукой при постановке и снятии его; этим же хвостовиком пользуются и при притирке люка.

На верхней части заднего барабана слева на паровозе 157 типа сделано отверстие для лаза диаметром 410 мм. Вокруг отверстия для усиления стенки поставлено кольцо.

На паровозе 159 типа лаза не имеется, но на верхней образующей заднего барабана поставлен накладной люк диаметром 71,5 мм. Люки и втулки изготавливаются из стали марки Ст-2, скобы — из Ст-3 и шайбы — из Ст-0.

#### Спускной кран топки

Спускной кран топки служит для спуска воды из котла, для его наполнения после промывки, а также для продувки котла. Спускной кран топки устанавливается внизу над топочной рамой на ухватном листе кожуха топки.

На фиг. 40 представлен спускной кран топки паровоза 157 типа, который состоит из бронзового корпуса, укрепляемого на кожухе топки посредством трех шпилек и устанавливаемого на чечевичном кольце, изготовленном из чугуна марки ЧЛ-3. В корпус вставляется коническая пробка, имеющая в своем теле сквозной прорез. В верхней своей части пробка оканчивается квадратом и удерживается в корпусе нажимным фланцем помощью двух шпилек. Кроме того на хвостовик пробки надевается шайба и закрепляется гайкой. В корпусе против выреза в пробке имеется маленькое отверстие, служащее для спуска воды, оставшейся в вырезе пробки после ее закрытия.

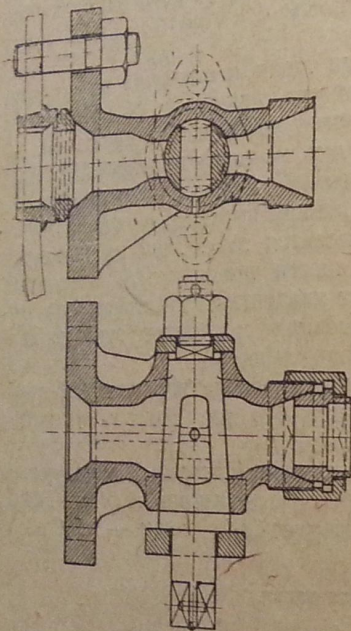
Для отвода в сторону воды или пара при продувке котла к корпусу крана прикрепляется наконечник.

Чечевичное кольцо опирается на специальную втулку, сваренную в ухватный лист кожуха топки.



На паровозе 159 типа корпус крана прикреплен к ухватному лому с правой стороны от оси топki двумя шпильками. Кран этого паровоза ничем не отличается от вышеописанного, за исключением размеров.

Пробочные краны очень неудобны и даже опасны в работе, особенно при продувках котла, поэтому их следует заменять задвижками или кранами системы Эверстинг по образцу, имеющемуся на паровозах нормальной колеи.



Фиг. 40

#### Дымовая труба, конус и сифон

Дымовая труба предназначена для отвода в атмосферу продуктов горения и отработанного пара. Кроме того труба является одним из элементов тягового аппарата паровоза (конус + труба).

Дымовая труба на паровозе 157 типа (фиг. 41) состоит из двух частей. Нижняя часть трубы, или седалище, укрепляется на дымовой коробке, в которую входит в нее своим раструбом. Собственно труба укрепляется на седалище помощью болтов.

На фиг. 42 представлена дымовая труба паровоза 159 типа, непосредственно укрепляемая на дымовой коробке. Труба обычно делается конической с расширением кверху. Теоретически показывает, что конические трубы работают выгоднее цилиндрических и при одинаковом давлении в конусе обеспечивают большее разрежение в дымовой коробке.

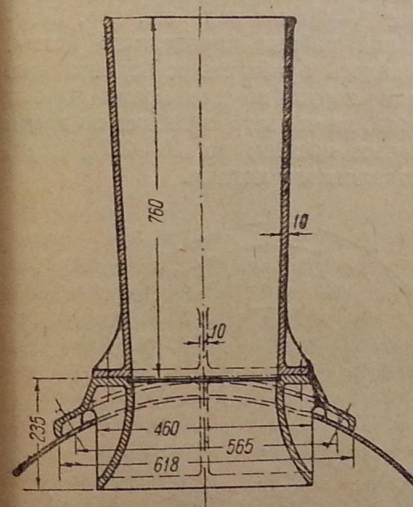
Труба и седалище отлиты из чугуна марки ЧЛ-4. Разрежение в дымовой коробке создается совместной работой трубы и конуса. Последний устанавливается в дымовой коробке на одной вертикальной оси с трубой.

Струя мягкого пара, вылетающего из конуса с большой скоростью своей завихренной шероховатой поверхностью захватывает газы, имеющиеся в дымовой коробке, и таким образом создает в последнем известное разрежение. Благодаря этому по трубам устремляются газы сгорания из огневой коробки, где в свою очередь создается также некоторый вакуум, вызывающий подсос воздуха, необходимого для горения, через зольник, колосниковую решетку и слой топлива. Следует твердо запомнить, что сам по себе конус без дымовой трубы

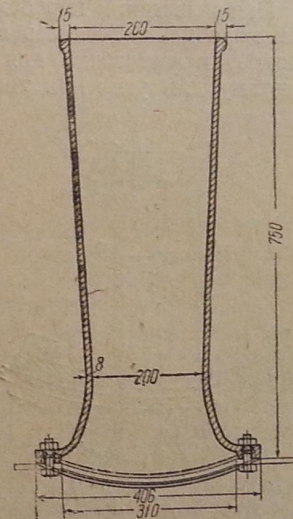
не может создать разрежения; эти два элемента как бы дополняют друг друга.

Струя газов и пара должна при этом полностью заполнять сечение трубы поблизости от ее устья. Только при этом условии в дымовую коробку не может проникнуть через трубу воздух, который препятствует разрежению. При неправильной установке конуса по отношению к трубе сечение трубы полностью не заполняется, почему и тяга получается плохая.

Конуса различают с переменным и постоянным сечением.



Фиг. 41



Фиг. 42

Конуса с переменным сечением имели большое распространение на старых узкоколейных паровозах. Уменьшение сечения конуса увеличивает скорость вылетающей струи пара, отчего происходит усиление тяги, а следовательно и улучшение парообразования в котле. Но одновременно с уменьшением сечения конуса происходит повышение давления на нерабочую сторону поршня, что уменьшает силу тяги паровоза.

На паровозах 157 и 159 типов установлены конуса с постоянным сечением.

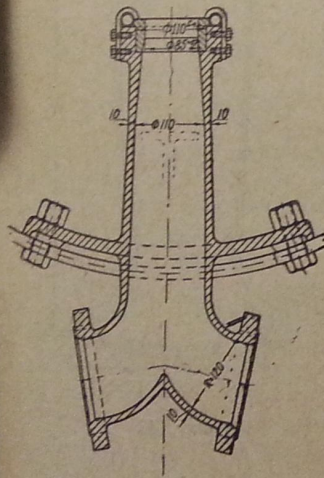
Конус паровоза 157 типа представлен на фиг. 43. Для получения требуемого сечения в верхнее отверстие конуса вставляется втулка. Внизу отливка конуса имеет форму тройника, к боковым отросткам которого присоединяются паропроводные трубы. Конус помощью прилитого к нему прямоугольного фланца укрепляется в нижней части дымовой коробки. Устье конуса расположено на 210 мм ниже оси котла, т. е. у паровоза 157 типа конус «нижний». У паровоза же 159



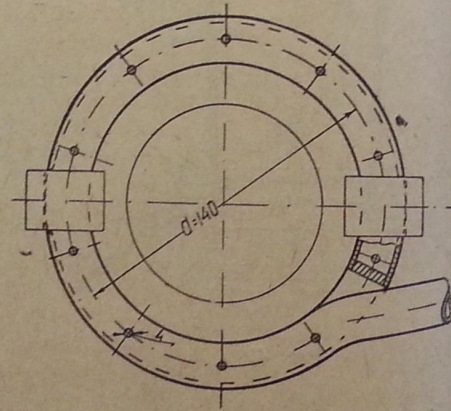
типа устье конуса на 395 мм выше оси котла, т. е. конус этого паровоза «верхний».

Конструктивным недостатком обоих конусов следует считать то, что конус и сидалище либо составляют одно целое (паровоз 157 типа), либо конус совсем не имеет сидалища (у паровоза 159 типа), поэтому отнятие конуса от места и проверка его невозможны без разъединения от паропроводных труб. Следует сделать конус и сидалище отдельными с тем, чтобы можно было производить ремонт и проверки без отнятия труб.

При испытании паровоза 159 типа в 1931 г. разрежение в дымовой коробке колебалось в пределах 9—20 мм вод. ст., что, безусловно, недостаточно для нормальной работы паровозного котла. Поэтому для усиления тяги приходилось прибегать к пользованию сифоном почти во все время работы паровоза, на что затрачивалось во время некоторых поездок до 20—26% пара приготовляемого котлом.



Фиг. 43



Фиг. 44

Для улучшения работы паровозного котла эту неудачную конусную установку надо было перепроектировать.

При испытании паровоза 159 типа в 1936 г. устье конуса было расположено на 125 мм выше оси котла, разрежение в дымовой коробке колебалось в пределах 55—65 мм вод. ст. при напряжении колосниковой решетки 220—250 кг/м<sup>2</sup>/час, что позволило не прибегать к пользованию сифоном и подтвердило выводы опытов 1931 г.

На паровозах широкой колеи в последнее время ставят конусы с раздельным выхлопом. При этом типе конуса выхлоп пара из одного цилиндра паровой машины не влияет на работу другого цилиндра. Проведенные опыты показали, что при таком конусе разрежение в дымовой коробке получается более высокое, чем при других конусах, а противодействие в цилиндрах на много понижается, что способствует улучшению работы паровой машины и увеличивает ее мощность и экономичность.

Безусловно, эти конуса необходимо применять и на узкоколейных паровозах.

Конуса и насадка изготавливаются из чугуна марки ЧЛ-3.

Для создания тяги на стоянках и во время движения при закрытом регуляторе, а также для усиления ее при работе паровой машины применяют сифон, который представляет собой трубку, изогнутую кольцом. По окружности кольца в верхней части располагаются отверстия диаметром 4 мм в количестве 10 шт.

Для создания надлежащего напора паровой струи сумма площадей всех отверстий должна быть меньше площади сечения трубки. Сифонное кольцо на паровозе 157 типа располагается на головке конуса (фиг. 44), а на паровозе 159 типа — у основания трубы и укрепляется скобами.

Для правильной работы сифона его центр должен совпадать с осью дымовой трубы и конуса. Привод для открытия сифона выведен в будку машиниста.

#### Колосниковая решетка

Колосниковая решетка служит для сжигания на ней твердого топлива. Для этого она должна обеспечивать бесперебойный и равномерный подвод воздуха в необходимом количестве для сжигания топлива с наименьшей потерей на химическую неполноту горения.

Площадь колосниковой решетки определяется в зависимости от количества топлива, которое должно быть сожжено в единицу времени, при данной форсировке решетки  $U$ , которая для разных топлив различна. Количество же сжигаемого топлива зависит от требуемой паропроизводительности котла, увеличиваясь с увеличением последней. Отсюда ясно, что чем больше мощность котла, тем больше площадь колосниковой решетки. Так как данной максимальной паропроизводительности соответствует определенная испаряющая поверхность нагрева, то площадь решетки находится в известном отношении к поверхности нагрева котла. Если испаряющую поверхность нагрева обозначить через  $H_k$ , а площадь колосниковой решетки — через  $R$ , то для паровоза 157 типа (Сормовского завода):

$$H_k : R = 46,55 : 1,46 = 31,9;$$

для паровоза 159 типа:

$$H_k : R = 32,1 : 0,718 = 44,7.$$

Чем больше  $R$  при данной  $H_k$ , тем, вообще говоря, больше паропроизводительность данного котла, однако особенно большое уменьшение отношения  $H_k : R$  с теплотехнической точки зрения оказывается уже невыгодным (получается очень сырой пар, температура уходящих газов и потеря тепла с ними увеличиваются, к. п. д. котла понижается).

Размеры площадей колосниковой решетки для различных типов узкоколейных паровозов приводятся в табл. 6.



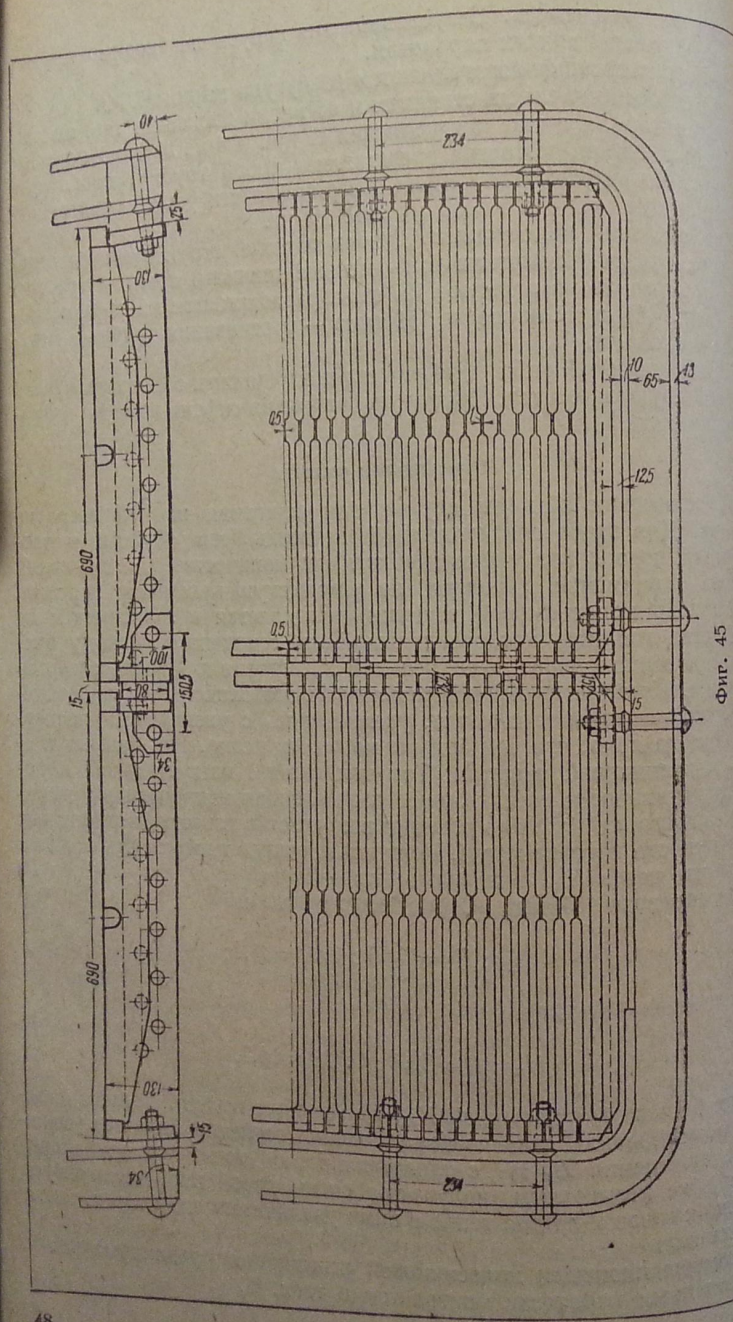


Таблица 6

Тип паровоза	86	63 серии О	159	157	157 Сормов- ского завода
Площадь колосни- ковой решетки в м <sup>2</sup>					
R	0,51	1,15	0,718	1,32	1,46

Колосниковая решетка состоит из отдельных колосников, укладываемых на балки, которые укреплены к обвязочному кольцу помощью специальных заклепок с удлиненными концами, и поддержек (для средней балки).

На паровозе 157 типа колосниковая решетка набрана из 68 рядовых колосников и четырех боковых (фиг. 45). В продольном направлении колосники уложены в два ряда длиной каждый по 690 мм с зазором между ними в 15 мм. Зазор оставляется для того, чтобы колосники при расширении упирались друг в друга и не выпучивались. В середине огневой коробки колосники удерживаются на средней двойной склепанной балке, расположенной на подпорках. Спереди и сзади огневой коробки колосники опираются на одинарные балки, укрепленные на специальных заклепках. На паровозе 159 типа колосник имеет длину 885 мм и удерживается на передней балке, укрепленной на заклепках, и на задней балке, укрепленной на специальных подпорках, заходящих к огневую коробку снизу. Количество колосников в решетке 27, из них два боковых. Толщина колосников на обоих паровозах 15 мм, а зазоры между колосниками для прохода воздуха 11 мм — на первом и 12 мм — на втором паровозе.

В поперечном сечении колосник имеет форму трапеции, обращенной длинной стороной кверху. Такая форма колосника дает возможность проваливаться золе и мелким частицам шлака без закупоривания зазоров, через которые поступает воздух для горения топлива. У обоих паровозов решетки не имеют опрокидывающихся колосников, что затрудняет чистку топки. Следует спроектировать решетку с опрокидной частью.

Колосники изготавливаются из чугуна марки ЧЛ-3, балки — из стали Ст-0, заклепки — Ст-1.

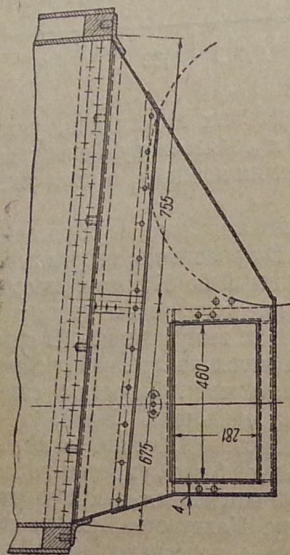
#### Зольник

Зольник (поддувало) служит для подвода воздуха к колосниковой решетке и для собирания горящих частиц топлива и шлака, проваливающихся через зазоры колосниковой решетки. Клапана, установленные на зольнике, дают возможность регулировать приток воздуха к горящему слою топлива.

Зольник паровоза 157 типа изготавливается из стальных листов толщиной 4 мм. Для удобства ремонта зольник изготавливается разъемным и состоит из двух частей, соединенных между собой болтами. Верхняя часть зольника прикрепляется на шпильках к топочной раме (фиг. 46). Листы зольника скрепляются между собой сварным швом. Ширина зольника в нижней части определяется расстоянием между



внутренними кромками рамы, а в верхней — шириной кожуха топки. Объем зольника делается по возможности наибольшим, так как малый объем может быстро заполниться до уровня колосниковой решетки, что затруднит подвод воздуха к горючему топливу. Для подвода воздуха устраиваются клапаны, сечение которых обыкновенно делается равным от  $\frac{1}{4}$  до  $\frac{1}{6}$  площади колосниковой решетки. Рычаги для открытия клапанов вводятся в будку машиниста.



Фиг. 46

Очистка шлака производится через боковые клапаны зольника, что представляет некоторое неудобство, поэтому необходимо перейти к постановке зольника бункерного типа, чтобы сократить на много время по очистке зольника.

В зольнике помещаются искроудержательные сетки, препятствующие уголькам выпадать на путь при открытых клапанах.

Все детали зольника изготовляются из стали марки Ст-0

#### Топочные дверцы

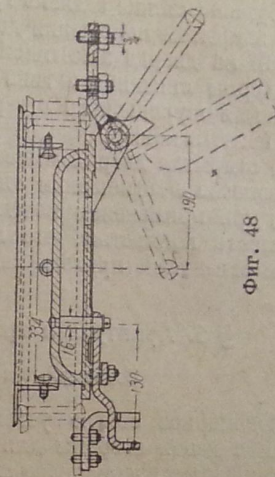
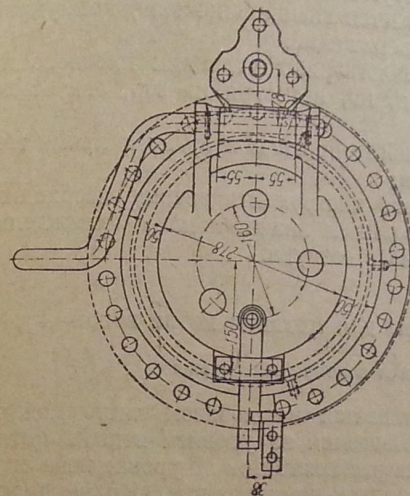
Дверцы для закрывания топочного отверстия топки на паровозных паровозах имеют различную конструкцию.

На паровозах 157 и 159 типа применены одностворчатые поворотные дверцы, открываемые в будку машиниста. Дверца паровоза 157 типа (фиг. 47) изготовляется по очертанию шуровочного отверстия и прикрепляется к раме 2 к вертикальному валу. Вал шарнирно укреплен в раме 4 и сегменте 5. Открытие дверцы производится поворотом ручки, соединенной с вертикальным валом. На сегменте

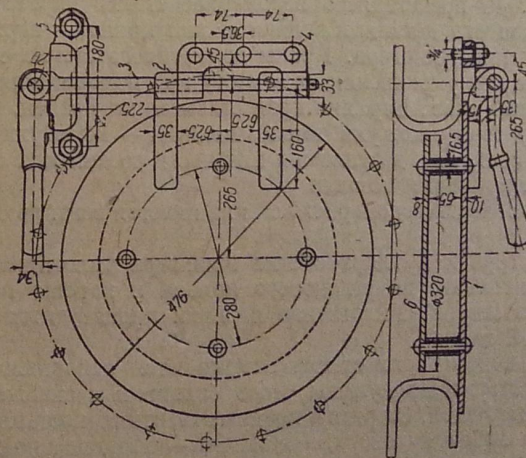
имеется два углубления для открытого и закрытого положения дверцы.

Для предохранения дверцы от перегорания с внутренней ее стороны ставится предохранительный лист 6, укрепляемый с дверцей тырелью заклепками на распорных втулках.

Листы дверцы и петли изготовлены из стали марки Ст-3.



Фиг. 48



Фиг. 47



На паровозе 159 типа (фиг. 48) дверца изготовлена пустотелой из чугуна марки ЧЛ-4. Для охлаждения внутренней стенки дверцы в наружной стенке сделано три круглых отверстия. Удержание дверцы в закрытом положении достигается специальной запоркой, укрепленной на дверце заклепкой и державкой.

Дверцы описанного типа удовлетворяют условиям плотного закрывания шуровочного отверстия, но, несмотря на это, они имеют ряд недостатков:

- открытая дверка мешает работе бригады в будке и кроме того небезопасна в отношении ожогов;
- при применении кочегарного инструмента дверцу необходимо открывать полностью, что приводит к значительному охлаждению топki вследствие притока холодного воздуха.

## § 5. Арматура и приборы для питания котла водой

### Водомерные стекла и водопробные краны

Водомерное стекло устанавливается на лобовом листе кожуха топki с левой стороны для наблюдения за уровнем воды в котле. Нижний кран водомерного стекла располагается на уровне неба огневой коробки, а верхний — в паровом пространстве. Краны между собой сообщаются стеклянной трубкой или при помощи стекла Клингера. Вода заполняет стекло через нижний кран и находится под давлением пара, поступающего через верхний кран. На основании закона сообщающихся сосудов уровень воды в стекле будет такой же, как и в котле.

На фиг. 49 представлено водомерное стекло паровоза 157 типа. Главнейшими его деталями являются: два крана — верхний и нижний — и стекло Клингера. Краны водомерного стекла имеют овальные фланцы для укрепления их к месту при помощи шпилек, ввернутых в лобовой лист. Верхний кран ставится на фланец, приваренный к лобовому листу кожуха топki, нижний — ко втулке, ввернутой в лобовой лист. Для достижения плотности соединения ставятся прокладные чечевичные кольца.

В нижней части водомерного стекла имеется вентиль для продувки стекла.

Концы трубок футляра стекла Клингера уплотняются в кранах помощью набивки из резинового кольца и хорошо промасленного асбестового шнура. Уплотнение набивки производится грундбуксой и натяжной гайкой.

Краны водомерного стекла закрываются запорными вентилями, стержни которых пропущены через сальники и снабжены трапециевидной нарезкой. Стержень верхнего вентиля поставлен перпендикулярно к лобовому листу, а нижнего — параллельно к нему. Хвостовик нижнего вентиля должен иметь такую длину, чтобы можно было безопасно закрыть его при лопании стекла, а затем уже перекрыть верхний вентиль. На старых узкоколейных паровозах вместо стекол Клингера поставлены стеклянные трубки и краны водомер-

ного стекла с коническими пробками. Пробковые краны имеют ряд недостатков: трудность перекрытия в случае их закипания, что представляет опасность при лопании стекла, и частая течь, требующая их притирки. Разобшение стекла от парового и водяного пространств при пробковых кранах достигается перекрытием пробки, для чего на их квадратные хвостовики насаживаются кривошипные, связанные между собой шарнирно тягой. Рукоятка привода для приведения в действие тяги выводится на правую сторону лобового листа.

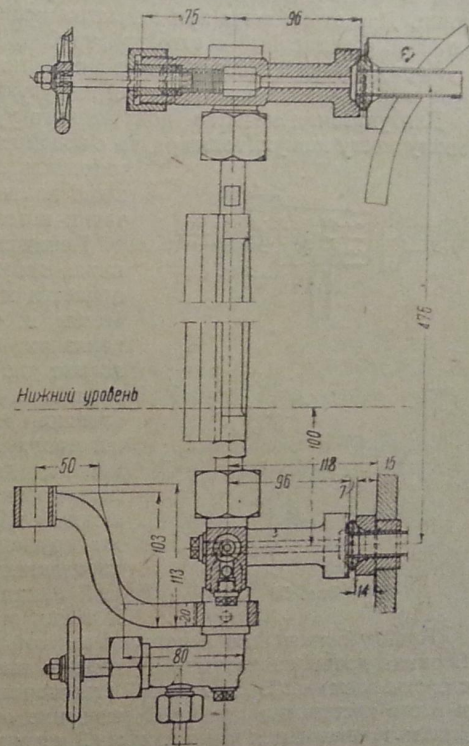
Для безопасности паровозной бригады на стеклянную трубку ставят футляр.

Для освещения водомерного стекла на его нижнем кране укрепляется стойка, на которой устанавливается фонарик.

Расстояние между осями верхнего и нижнего кранов на паровозе 157 типа равно 476 мм, а на паровозе 159 типа — 350 мм. На паровозе 159 типа применено также стекло Клингера.

Для правильной работы водомерного стекла необходимо чаще производить его продувку. После продувки стекла уровень воды в нем должен быть таким же, как и до продувки. Изменение уровня воды после продувки указывает на засорение кранов. При засорении нижнего крана вода в стекле после продувки не подается, а при засорении верхнего крана вода заполнит все стекло.

На всех паровозных котлах узкой колеи кроме водомерного стекла ставятся обычно два водопробных крана на правой стороне лобового листа кожуха топki. У паровозов 157 типа постройки завода «Красное Сормово» водопробных кранов поставлено три. Расстояние между соседними кранами по вертикали 70 мм. Водопробными кранами пользуются для определения уровня воды в котле при порче водомерного стекла, а также для контроля показаний последнего. На фиг. 50



Фиг. 49

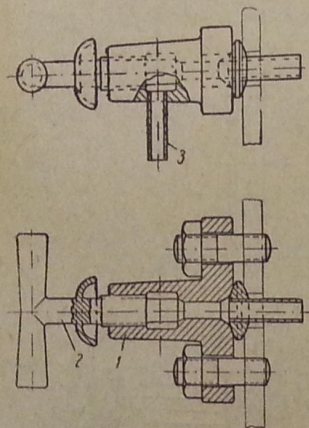


представлен водопробный кран паровоза 159 типа. Кран состоит из корпуса 1, клапана 2, входящего в корпус и оканчивающегося рукояткой, и спускного наконечника 3, приваренного к корпусу. Корпус крана укрепляется шпильками на прокладном чечевичном кольце к лобовому листу.

Нижний кран ставится на расстояние 100 мм от наивысшей точки потолка огневой коробки, а верхний — на высоте наивысшего уровня воды в котле. Водопробные краны располагаются по наклонной линии. Для стока воды при открытии кранов под ними помещается жолобок, соединенный с отводной трубкой, идущей под паровоз.

Корпус крана изготавливается из литой стали, а клапан — из бронзы. Прокладное кольцо изготавливается из чугуна марки ЧЛ-2.

Для указания низшего допустимого уровня воды в котле к лобовому листу кожуха топki рядом с водомерным стеклом прикрепляется



Фиг. 50

указатель, стрелка которого расположена на высоте 100 мм от высшей точки потолка огневой коробки. Понижение уровня воды в котле ниже допустимого уровня может привести к поджогу потолка топки. Чтобы избежать этого, ставят легкоплавкие пробки. Пробки располагают по оси котла: одну в передней, а другую — в задней части потолка огневой коробки. Пробка изготавливается из бронзы со сквозным каналом для заливки специального легкоплавкого свинцово-оловянистого сплава. При оголении потолка, даже кратковременном, сплав быстро расплавляется, и через освобожденный канал в топку поступает пар и тушит огонь.

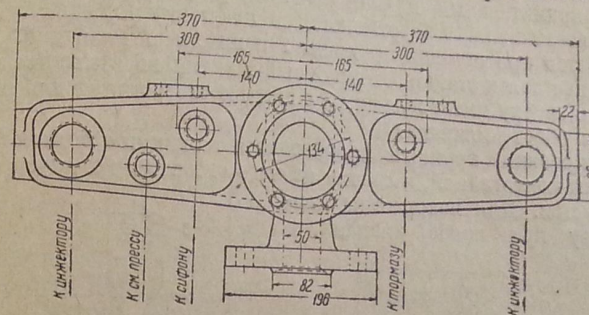
#### Пароразборная колонка

Забор пара на служебные нужды производится из пароразборной колонки, сообщенной с паровым пространством котла. Пароразборная колонка устанавливается на потолке кожуха топki в будке машиниста.

Укрепление колонки производится при помощи шпилек на прокладном чечевичном кольце. Разобшение колонки от котла производится запорным вентилем. На фиг. 51 представлена пароразборная колонка паровоза 157 типа.

Из пароразборной колонки берется пар для инжекторов, сифона парового тормоза и пресс-масленки.

Пароразборные колонки отливаются из стали марки ЛСт-1.



Фиг. 51

#### Предохранительные клапаны

На каждом паровозном котле в целях безопасности должно быть поставлено не менее двух предохранительных клапанов, работающих независимо друг от друга. Предохранительные клапаны при превышении предельного давления автоматически выпускают излишний пар из котла. Нагрузка клапанов должна быть отрегулирована так, чтобы один из них начинал работать при превышении предельного давления на 0,3 ат, а другой — на 0,5 ат.

Предохранительные клапаны устанавливаются на кожухе топki или на цилиндрической части котла.

На паровозе 157 типа предохранительные клапаны в количестве 2 шт. установлены на кожухе топki на стальной литой коробке вместе со свистком.

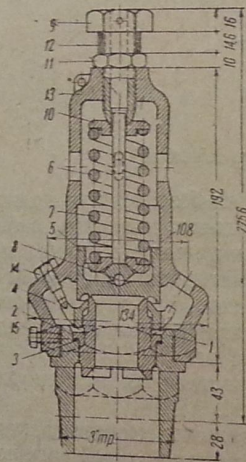
Предохранительный клапан (фиг. 52) состоит из следующих деталей: штуцера 1, в который ввинчивается седло клапана 2. Для создания большей плотности между седлом и штуцером устанавливается асбестовая прокладка 3. На седло навинчивается кольцо 4. Клапан 5 прижимается к седлу пружиной 6 через стержень 7 и шарик 8. Регулирование пружины производится нажимным болтом 9 помощью шайбы 10. Нажимной болт удерживается в определенном положении контргайкой 11. Между контргайкой и головкой нажимного болта ставится контрольная трубка 12. Корпус клапана 13 после постановки в него шайбы, стержня, пружины и клапана навинчивается на штуцер. Для удержания седла и кольца в определенном положении ставятся установочные болты 14 и 15. Подставка укрепляется на кожухе топki установочными болтами 14 и 15. Подставка укрепляется на кожухе топki восемью шпильками на прокладном чечевичном кольце. Корпус клапана и подставка изготавливаются из стали марки ЛСт-1, штуцер — из Ст-2. Клапан и седло клапана изготавливаются из хромоникелевой стали; пружина и шарик — из Ст-7, а стержень — из Ст-5.



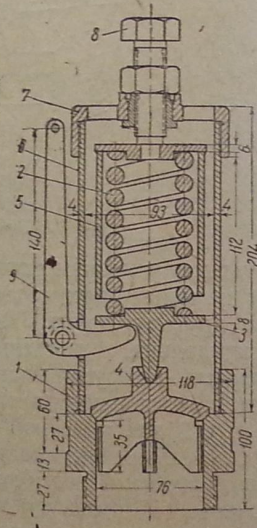
На паровозе 159 типа оба предохранительные клапаны установлены на заднем барабане цилиндрической части котла на общей рабке со свистком и трубой для травления пара.

затем: седло клапана 1 ввертывается в подставку клапана, а к нему прижимается при помощи пружины 2 и шайбы 3 клапан 4. Вмещающий стержень поставлен стакан 5. Наружный стакан 6 ввертывается в седло клапана и сверху имеет крышку 7 с шестью отверстиями для выпуска пара при работе клапана.

Регулирование пружины производится с помощью 8, закрепленным контргайкой, и сверху на него одевается колпачок и затопломбируется. Для нажатия на клапан снизу при пробе клапана и



ФИГ. 52



Фиг. 53

спуске пара устанавливается рычаг 9. Стаканы изготавливаются из стали марки Ст-2, а крышки к ним и шайбы, пружины и седла — Ст-0; клапан изготовлен из бронзы.

Свисток паровоза 157 типа трехтонный по звуку. Корпус и резонатор свистка изготовлены из чугуна. Бронза применена только для втулки — седла клапана и направляющей стержня клапана.

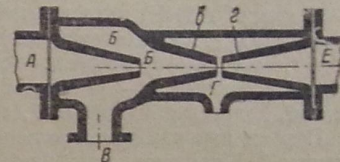
У паровоза 159 типа свисток также трехтонный по звуку, но изготовлен из бронзы. Ради однообразия и экономии цветного металла свистки паровозов обоих типов должны быть объединены, — у паровоза 159 типа следует ставить свисток чугунный, как у паровоза 157 типа.

## Инжектор

**Инжектор**  
Инжектор применяется для питания паровозных котлов водой. Действие инжектора основано на превращении тепловой энергии пара при смешении.

с водой в энергию движения, которая гонит смесь пара и воды в котел, преодолевая встречное противодавление из котла. Схема устройства инжектора (фиг. 54) сводится к следующему: в цилиндрической коробке, открытой с обоих концов и имеющей два отростка, помещены три конуса — б, в и г, оси которых лежат на одной прямой. Первые два конуса расположены по одному направлению, а третий — в обратном направлении.

Конус *б* называется паровым, *б* — конденсационным, или водяным, *г* — нагнетательным. По трубе *А* из котла поступает пар; двигаясь далее через конус *б*, пар попадает в конденсационную камеру, или камеру смешения *Б*, в которой смешивается с холодной водой, подводимой из тендера по трубе *В*. При смешении пара с водой выделяется скрытая теплота пара, частично тратящаяся на превращение тепловой энергии в движущую, большая же часть тепла тратится на подогрев воды. На механическую работу расходуется 18—20% тепла, заключенного в паре, а 80—82% — на подогрев воды, посту-



Фиг. 54

падающей из тендера. 1 кг пара подогревает около 14 кг воды до температуры 40—50°. Вода, выходящая из конуса *в* в конус *г*, далее по трубе *Е* входит в котел, преодолевая давление со стороны котла на питательный клапан. Если живая сила воды будет недостаточна для преодоления сопротивления питательного клапана, то вода попадет в камеру *Г* и по вестовой трубе будет выходить наружу. Скорость струи пара, вылетающей из конуса *б* при давлении 10 ат, примерно равна 452—457 м/сек, а скорость горячей воды — 30—35 м/сек.

Инжекторы подразделяются на всасывающие и нагнетательные. Всасывающие инжекторы располагаются на лобовом листе кожуха топки выше уровня воды в тендере, а нагнетательные — под будкой машиниста, и вода в них поступает самотеком.

На узкоколейных паровозах применяются исключительно всасывающие инжекторы.

Инжекторы различают друг от друга по номерам. Номера инжекторов определяются диаметром отверстия водяного конуса. Если диаметр отверстия водяного конуса равен 6 мм, то инжектор считается № 6. Подача воды зависит не только от номера инжектора, но и от давления пара в котле.

Паровозный котел снабжается двумя инжекторами, причем каждый из них должен обеспечивать наибольшую подачу воды при максимальной форсировке котла. На паровозах узкой колеи преобладающее распространение получили всасывающие инжекторы системы Фридмана, которые подразделяются в зависимости от их расположения на котле на вертикальные и горизонтальные. Горизонтальность этих инжекторов при-

Данные о размерах и производительности этих аппаратов  
водятся в табл. 7.



Таблица 7

№ инжектора	Размеры в мм			
	5	6	7	8
Внутренний диаметр паровой трубы . . . . .	25	30	30	35
Внутренний диаметр питательной трубы . . . . .	30	35	35	40
Внутренний диаметр всасывающей трубы . . . . .	25	35	35	40
Количество воды, подаваемое в 1 мин. при 13 ат (в л) . . . . .	60	83	106	146

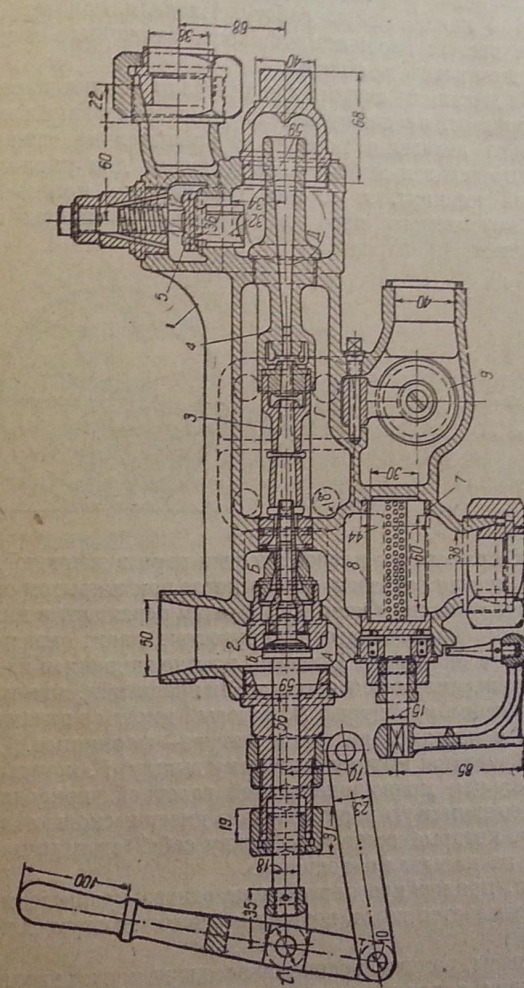
На паровозах 157 и 159 типов поставлены инжекторы Фридмана № 6, класса АТНК, которые подают в котел 83 л воды в 1 мин. Инжектор (фиг. 55) состоит из следующих главнейших деталей: корпуса 7, по оси которого расположены конусы — паровой 2, водяной 3 и нагнетательный 4, — питательного клапана 5, закачивающего клапана 6, делительной пробки 7, сетки 8 и вестового клапана 9.

Пар из пароразборной колонки подводится по трубе в паровую камеру А. В паровом конусе 2 кроме большого центрального отверстия имеется четыре отверстия диаметром по 2,5 мм, расположенные по окружности. При пуске инжектора в действие за рукоятку немного поднимают закачивающий клапан 6 так, чтобы его хвостовик вышел из центрального отверстия, тогда пар из паровой камеры А устремится в маленькие отверстия и пойдет в конус 3, произведет разрежение в водяной камере Б, вследствие чего вода из тендера через резиновый рукав, всасывающую трубу, водораздельную пробку и сетку 8 всасывается в водяную камеру Б. Из камеры Б она гонится паром в конус 3, попадает в водоотводную камеру Г и вытекает через вестовой клапан 9 и вестовую трубу наружу под будку машиниста. После этого рукоятку закачивающего клапана 6 поднимают до упора, причем хвостовик его открывает полностью центральное отверстие парового конуса 2, и пар поступает в водяной конус 3, где, смешиваясь с водой, конденсируется. Образовавшаяся при конденсации пароводвижущая сила гонит воду в водяной конус. Вода, приобретая большую скорость и живую силу, уже не вытекает через вестовую трубу, а поступает через нагнетательный конус 4 в питательную камеру Д. Поднимает питательный клапан 5 и проходит в нагнетательную трубу. По этой трубе вода достигает питательного обратного клапана, поднимает его и поступает в котел.

При неправильном питании котла получается быстрое падение температуры воды, что может вызвать течь труб.

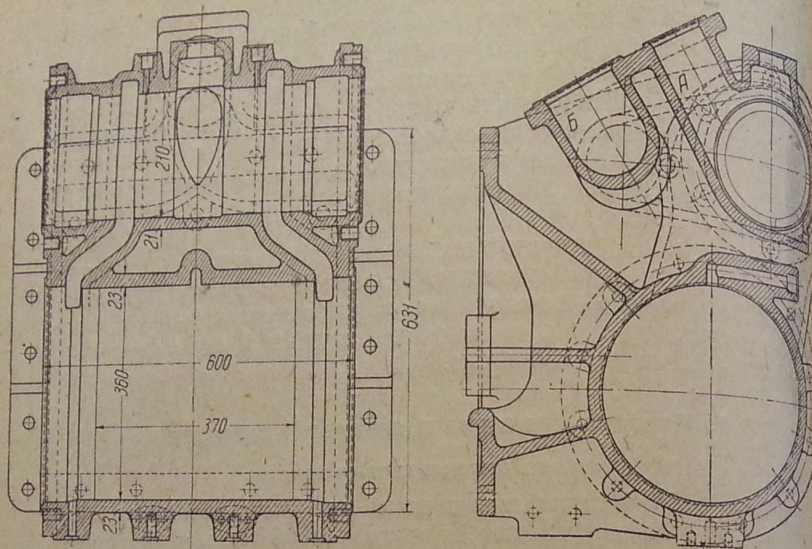
Для того чтобы этого не было, необходимо подкачивать воду малыми порциями. Безусловно воспрещается качать воду после того, как огонь в топке потушен, так как это неминуемо повлечет за собой течь труб и даже трещины в топочных листах.

Для набора воды в тендер на полевых железных дорогах паровозы 159 типа имеют паровой эжектор, устанавливаемый с правой стороны котла ниже питательной коробки. Пар для работы эжектора подводится из сухопарника.

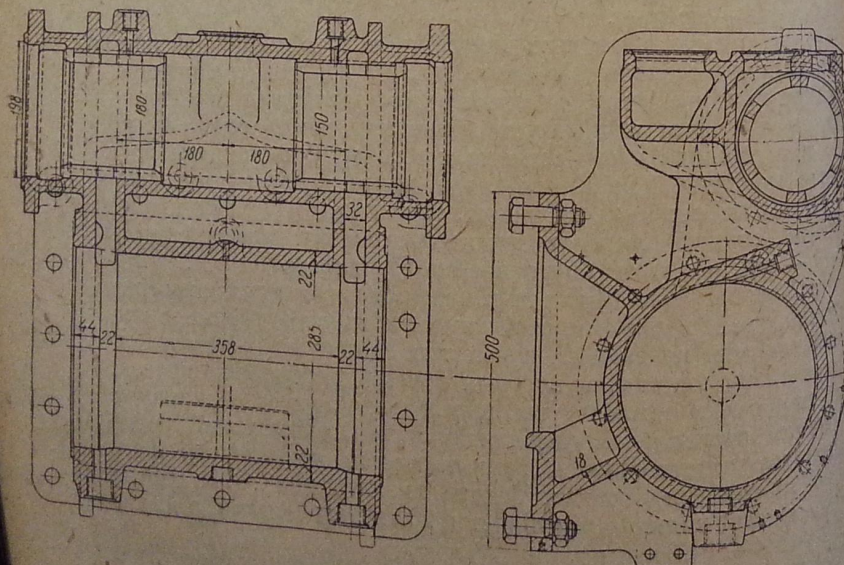


Фиг. 55.





Фиг. 57



Фиг. 58

(фиг. 58). Толщина стенок цилиндра на паровозе 157 типа 23 мм, а на паровозе 159 типа — 22 мм. По мере износа рабочей поверхности цилиндров они растачиваются. При достижении предельной толщины стенок в цилиндры запрессовываются чугунные втулки.

Паровые цилиндры отливаются из чугуна марки ЧЛ-1. Призонные болты изготавливаются из стали марки Ст-2 и перед постановкой цементируются.

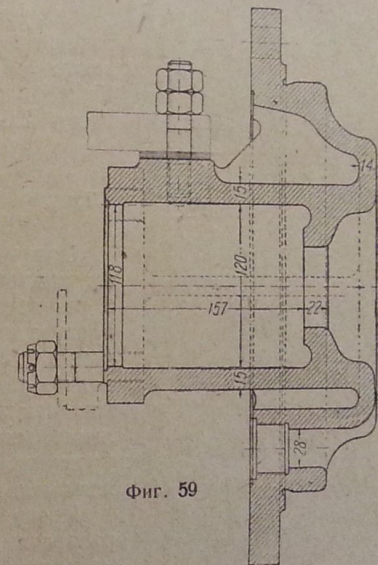
Цилиндр с обоих концов закрывается крышками, форма которых зависит от очертания поршня. На фиг. 59 представлена задняя крышка цилиндра паровоза 159 типа.

Для удобства и точности постановки крышки она своим кольцевым выступом входит в цилиндр. Диаметр цилиндра в этом месте несколько больше, чем в рабочей части. Чтобы предупредить утечку пара, крышка притирается к кольцевому выступу на торцах цилиндра. Ширина притирочной поверхности 14 мм. Крышки закрепляются двенадцатью шпильками диаметром  $\frac{7}{8}$ ", ввернутыми в торец цилиндра. Задняя крышка в центре имеет отверстие для прохода штока. Чтобы устранить утечки пара по штоку, в приливе к крышке ставится сальник. К приливу задней крышки укрепляется двумя шпильками передний конец параллели. Внизу крышки сделан прилив с отверстием для постановки предохранительного клапана.

Передняя крышка паровоза 159 типа сделана глухой, так как контршток отсутствует.

У паровоза 157 типа задняя крышка аналогичной конструкции и отличается только размерами. Передняя крышка имеет отверстие и прилив для сальника (фиг. 60). Отверстие и прилив для предохранительного клапана также предусмотрены. К цилиндру крышка прикрепляется двенадцатью шпильками диаметром  $\frac{7}{8}$ ".

Предохранительные клапаны начинают работать при превышении предельного давления во вредном пространстве на 1 ат против котлового. Превышение давления может быть вызвано скоплением воды в цилиндре. Объем, заключенный между крышкой и поршнем при мертвом положении последнего, плюс объем парового канала от цилиндра до окон золотниковой втулки, называется вредным пространством, а расстояние между поршнем в его мертвом пространстве крышкой называется линейной величиной вредного пространства. На практике сокращенно, хотя и принципиально неправильно, ли-

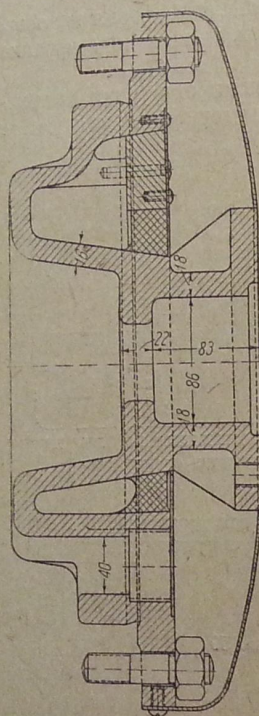


Фиг. 59



нейную величину вредного пространства называют просто вредным пространством. Неправильность подобной терминологии очевидна: вредное пространство измеряется в кубических сантиметрах, а линейная величина — в сантиметрах или миллиметрах.

Вредное пространство является необходимым для цилиндра паровозной машины, так как: 1) оно является местом для помещения паровой подушки, нужной для спокойной работы машины; 2) им предо-



Фиг. 60

#### Продувательные клапаны, краны и предохранительные клапаны цилиндров

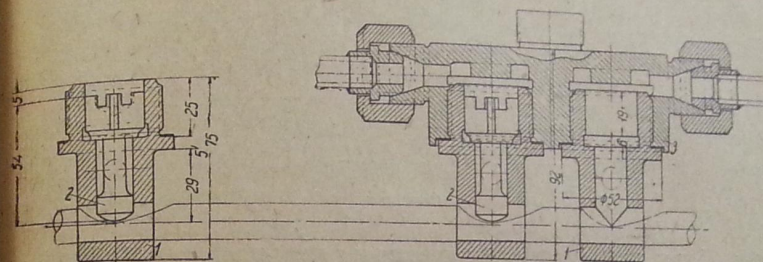
Для удаления воды из цилиндров золотниковой коробки, которая образуется в результате конденсации пара, служат продувательные клапаны или краны. Вода может попасть в цилиндры и при быстром полном открытии регулятора, что на практике называется «бросание воды». Это явление особенно вероятно при высоком уровне воды в котле, при грязном состоянии котла и воде, склонной к вспениванию.

Продувательные клапаны или краны расположены внизу цилиндра. На фиг. 61 представлены продувательные клапаны паровоза 159 типа. Слева показан клапан для продувки цилиндра. Корпус 1 со встав-

ленным в него клапаном 2 вворачивается в прилив цилиндра. Корпуса клапанов для продувки золотниковой камеры вворачиваются в специальную коробку 3, свернутую в прилив по середине цилиндра. Пар из золотниковой камеры подводится к коробке по трубкам. Одна из трубок идет из пространства между дисками золотников (как уже упоминалось выше при описании цилиндра), а другая сверху разветвляется на две трубки, ведущие пар из паровых камер золотниковой коробки. Клапаны поднимаются при помощи планки, проходящей через отверстия корпуса. Против хвостовиков клапанов планка имеет косые вырезы, поэтому при ее перемещении назад хвостовик упирается на планку, и клапан поднимается. При постановке планки в нерабочее положение, как показано

фигуре, клапаны под действием пара прижимаются к своим гнездам.

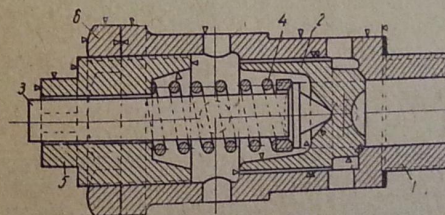
У паровоза 157 типа до недавнего времени ставились продувательные краны. В отличие от паровоза 159 типа краны для золотниковой коробки устанавливаются непосредственно на приливах внизу цилиндра



Фиг. 61

на фланцах с асбестовой прокладкой (промежуточная коробка отсутствует). В настоящее время у паровоза 157 типа продувательные краны заменены клапанами.

При круглых золотниках, которые не поднимаются от зеркала, при чрезмерном повышении давления в цилиндре может произойти поломка машины — вышибание крышек, излом дышел, пальцев кривошипов и т. д. Для предотвращения этого явления ставят в нижней



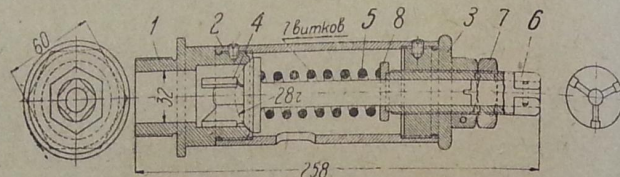
Фиг. 62

части крышек предохранительные клапаны. На фиг. 62 показан предохранительный клапан паровоза 159 типа, который состоит из корпуса 1, вворачиваемого в крышку цилиндра на асбестовой прокладке, клапана 2, прижимаемого стержнем 3, и пружины 4. Для сжатия пружины и направления стержня служит направляющая пробка 5, оканчивающаяся квадратом. После установки на нужное сжатие пружины пробка закрепляется контргайкой 6. При повышении давления в цилиндре вверх установленного клапана приподнимается пар и вода удаляются из цилиндра через отверстия в корпусе клапана.



Конструкция предохранительного цилиндрического клапана у локомотива 157 типа несколько иная (фиг. 62а).

На бронзовый штуцер 1, ввернутый в привал цилиндрической крышки, навариывается стальная трубка 2, закрываемая с другого конца винтовой пробкой 3. Бронзовый клапан 4 составляет одно целое со стержнем.

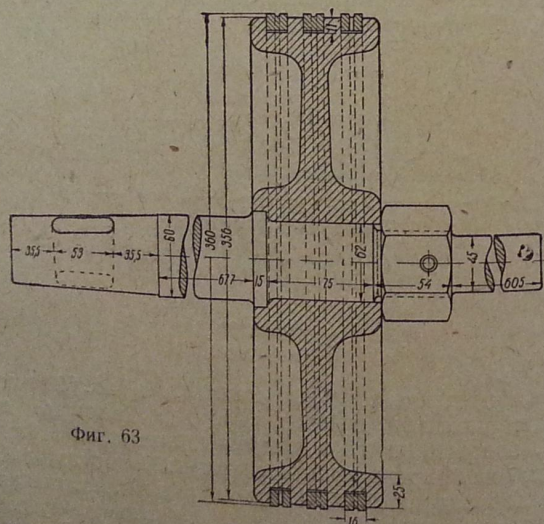


Фиг. 62а

нем. Конический клапан притирается к гнезду в штуцере 7. Для направления стрелы клапана и нажима пружины 5 служит нажимной винт-штулка 6, закрепляемый контргайкой 7. Между винтом 6 и пружиной поставлена упорная шайба 8. Выпущенный пар уходит через отверстие в трубке.

### Поршень и шток

Поршень является подвижной деталью внутри цилиндра. В каждый данный момент своего движения поршень делит цилиндр на две полости:

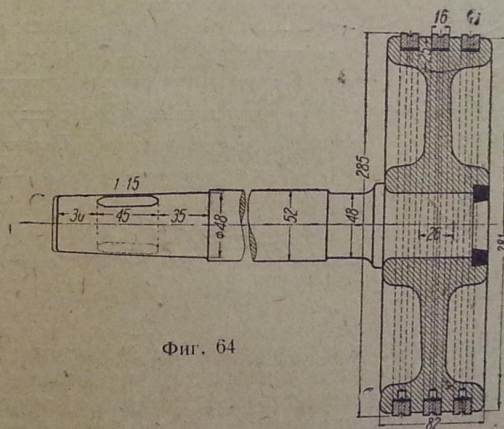


Фиг. 63

переднюю и заднюю. Все движущее усилие пара воспринимается поршнем. Устройство поршня состоит из поршневого диска и пружинящих колец. Поршень паровоза 157 типа (фиг. 63) напрессовывается на ц

цилиндрическую заточку штока под давлением 15 т и упирается в заплечик. Так как усилие пара передается на поршень в обе стороны попеременно, то кроме укрепления запрессовкой предусмотрена гайка, сидящая на нарезанной части контрштока. Против отвертывания гайка предохранена заклепкой, проходящей сквозь тело гайки и контрштока.

Для создания герметичности в ручьи поршня поставлены три упругих чугунных кольца сечением  $16 \times 12$  мм. Замки колец поставлены вразбежку под углами  $60$  и  $150^\circ$  друг к другу. Замок представляет собой прямой разрез, перекрытый медной пришурупленной пластинкой с выступом посредине. Этот выступ входит в соответствующее углубление ручья диска и тем предохраняет кольцо от поворота в ручье. Для удержания смазки на поверхности колец снаружи проточены канавки. Задняя головка штока в месте ее соединения с крейцкопфом делается



ФИГ. 64

конусной с наклоном по образующим в  $1/15$ . Соединение штока с крейц-копфом производится односторонним клином с уклоном 1 : 20.

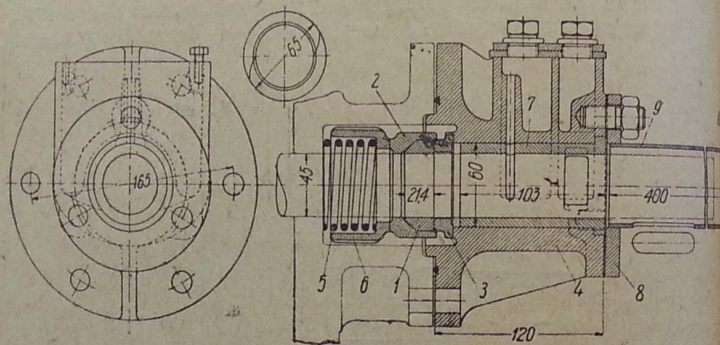
У паровоза 159 типа контршток отсутствует (фиг. 64), поэтому поршень после его запрессовки на шток приваривается к нему по торцу. Такая конструкция является не единственной. При отсутствии контрштока крепление гайкой может быть сохранено. Диск поршня отлива-ется из стали марки ЛСт-1. Шток поршня изготавливается из стали марки Ст-5, а поршневые кольца — из чугуна марки ЧЛ-2, клин — из стали Ст-2 (цементируется).

### Поршневой сальник

У паровозов 157 типа Сормовский завод применил сальники поршневого штока системы Кинга. Эта конструкция отличается наибольшей простотой и надежностью в эксплуатации. На фиг. 65 представлен в собранном виде сальник передней крышки цилиндра.



Устройство сальника следующее: уплотняющее кольцо 1 трапециевидного сечения, состоящее из двух половин, помещено внутри нажимного кольца 2, к которому оно приточено по внешней поверхности. Уплотняющее кольцо 1 торцом упирается в упорное кольцо 3, а последнее другой стороной притерто к выступу фланца сальника (коробки) 4. К заднему торцу кольца 2 под действием сильной пружины 5 прижимается стакан 6. Уплотняющее кольцо разделено на две равные части косыми разрезами по дугам окружности. При сработке внутренней поверхности уплотняющего кольца косые разрезы позволяют одной половинке кольца скользить по другой, поэтому кольцо всегда плотно прижато к скалке. Пропуск пара из камеры сальника устраняется притиркой торцов стакана 6 и кольца 2 и колец 1 и 3, а также при-



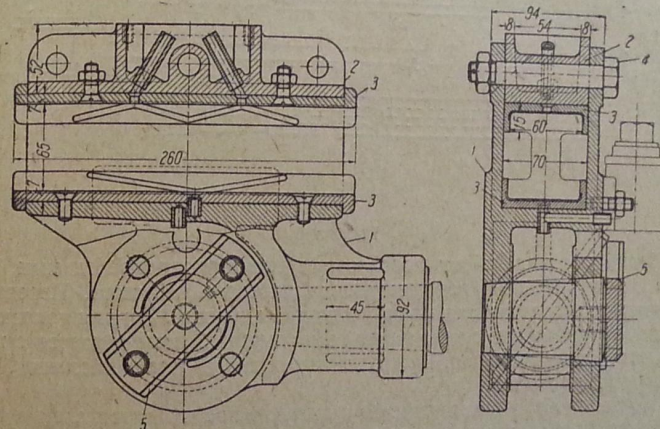
Фиг. 65

тировкой последнего кольца к выступу коробки 4. Контршток поджимается втулкой 7. Для защиты контрштока к внешнему торцу коробки 4 прикрепляется на фланце 8 труба 9, закрытая приварной крышкой 10. Для смазки контрштока устроены масленки в корпусе коробки 4. Особо важное значение для исправной работы сальника имеют тщательность изготовления кольца 1 и его материал. Как торцовое кольцо, так и его притирка по линии разреза и к штоку должны быть выполнены особенно внимательно и аккуратно. В качестве материала для кольца можно рекомендовать свинцовистую бронзу примерно такого состава: меди—40%, свинца—57,5% и никеля—2,5%. Сплав обладает хорошими антифрикционными свойствами и сравнительно высокой температурой плавления.

#### Крейцкопф и параллели

Крейцкопф служит для шарнирного соединения поршневого штока с ведущим дышлом. Форма крейцкопфа зависит от типа параллели. На фиг. 66 представлен крейцкопф паровоза 159 типа, который состоит из корпуса 1, отливаемого из стали, и крышки 2. Чтобы предотвратить быстрый износ параллелей, ставятся бронзовые вкладыши 3, называемые поползушками. Нижняя поползушка прикрепляется шурупами

корпусу крейцкопфа, а верхняя—болтами к крышке. Поползушки охватывают все рабочие поверхности параллели. Верхняя крышка ставится после подвески крейцкопфа к параллели и укрепляется с ней тремя болтами 4. На трущихся частях поползушки сделаны канавки шириной 4 мм и глубиной 2 мм для удержания смазки. Передняя головка ведущего дышла соединяется с крейцкопфом при помощи валика 5. Для того чтобы валик не выскочил из своего гнезда, он укрепляется планкой на двух шпильках. На паровозе 157 типа укрепление валика произведено одной планкой, но на четырех шпильках. Крейцкопфный валик изготавливается из стали марки Ст-2 и перед постановкой цементируется.



Фиг. 66

Для подвода смазки к трущимся поверхностям параллели на крышке крейцкопфа устроена фитильная масленка, из которой по трубочкам смазка проходит к параллелям. Смазка крейцкопфного валика обеспечивается из отдельной масленки, прикрепленной сбоку крейцкопфа.

Параллель, по которой перемещается крейцкопф, передним концом укрепляется двумя шпильками к приливу на задней цилиндрической крышке (фиг. 67), а задним концом прикрепляется к параллельной раме одним болтом. Рабочие поверхности параллели шлифуются. Рабочая часть параллели изготавливается с выступами, что позволяет прострагивать ее при ремонте, не задевая концов.

Чтобы обеспечить точную установку параллели по отношению к оси цилиндра, она крепится не непосредственно к приливу крышки цилиндра и к параллельной раме, а между ними устанавливаются несколько железных прокладок. Вынимая прокладки у одного конца и подкладывая их под другой, можно установить параллель желаемым образом.

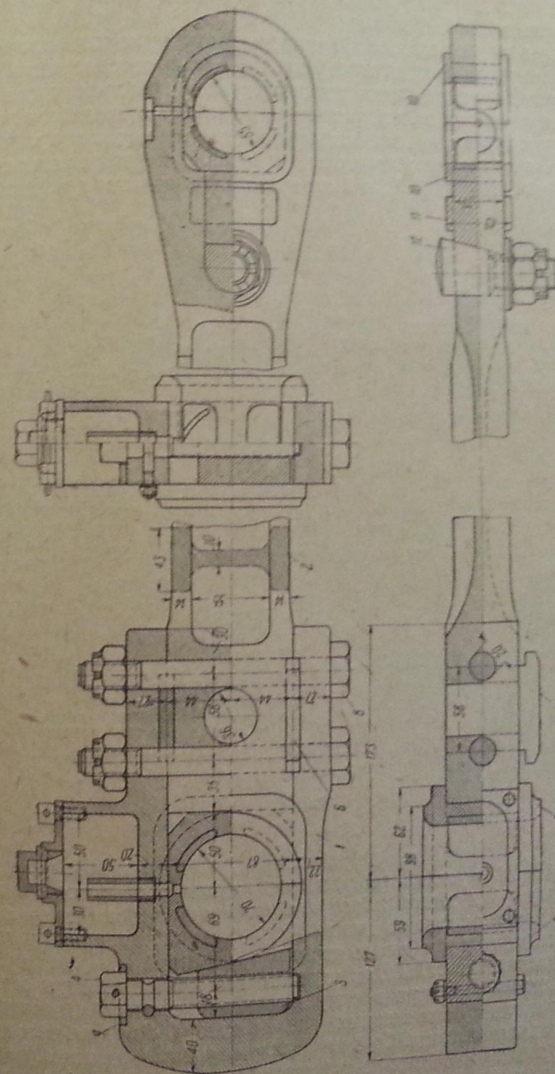
Параллель изготавливается из стали марки Ст-5.



Дышла

Сборка скобы и соединение ее с дышлом производится следующим порядком: предварительно в головку вставляется клин 3 и в него вворачивается натяжной болт 4, затем вставляется клиновья половинки подшипника 5, и скоба надевается на палец кривошипа. После этого в скобу вставляется лобовая половинка и дышло, затем закладываются обе шпонки 6 и наконец ставятся болты 8. Шпонки нужны для того, чтобы разгрузить от среза болты 8 продольными силами, которые стремятся сдвинуть дышло по отношению скобы. Чтобы шпонки не вываливались, болты входят в углубления, сделанные по бокам шпонок. Для удобства разборки шпонки имеют головки с закраинами. Болты 8 плотно притачиваются к отверстиям в скобе и дышле.

70

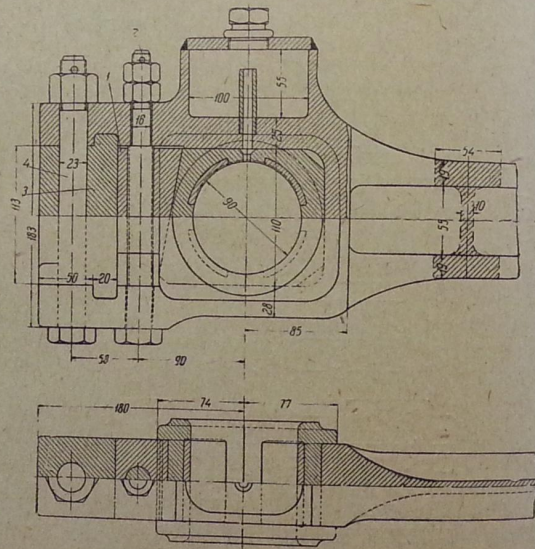


dur. 62



от выпадения. Затяжка клина производится гайкой. Подшипники  
дышла заливаются баббитом.

Ведущее дышло паровоза 151 типа имеет открытую заднюю головку, изготовленную заодно с дышлом (фиг. 69). Соединение ведущего дышла с пальцем кривошипа производится следующим образом: перед навешиванием дышла на палец кривошипа в головку вставляется лобовая половинка подшипника, а затем дышло надевается на палец кривошипа. После этого складывается клиновья половинка подшипника и вставляются клин 1 и натяжной болт 2, которыми производится прижатие кон-

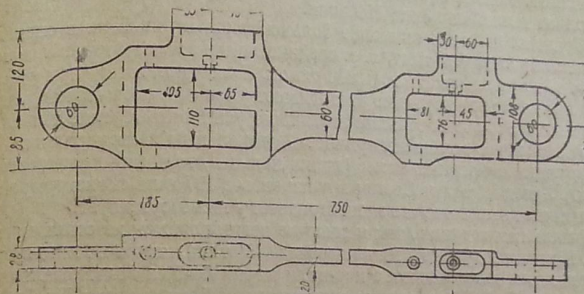


Фиг. 69

новой половинки к пальцу кривошипа. Для того чтобы разгрузить натяжной болт от усилий, передаваемых на дышло, ставится в пазы головки сухарь 3 и точеный болт 4, проходящий через сухарь и тело головки. Передняя головка дышла этого паровоза по конструкции отличается от головки дышла паровоза 159 типа.

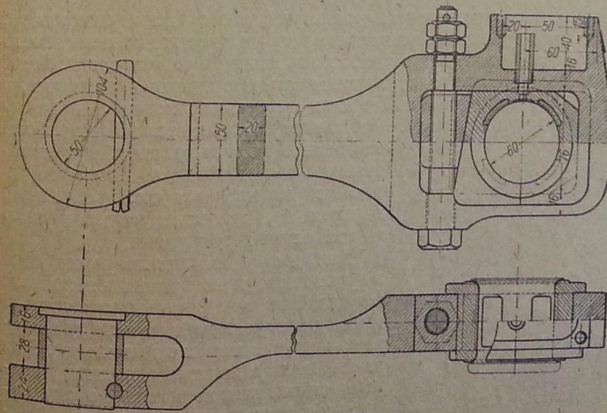
Для увеличения силы тяги паровоза его колесные пары соединяются сцепными дышлами в одну движущую систему. Описываемые паровозы имеют по три сцепных дышла с каждой стороны. Все дышла прямоугольного сечения. Среднее дышло паровоза 159 типа (фиг. 70) задней головкой одевается на палец кривошипа ведущей оси, а передней — на палец кривошипа второй сцепной оси. Переднее дышло (фиг. 71) имеет одну головку, которой одевается на палец кривошипа передне-

оси. Задняя часть дышла оканчивается вилкой для соединения со средним дышлом. Заднее дышло своей головкой одевается на палец кривошипа четвертой оси. Передняя часть дышла имеет вилку для соединения его с хвостовиком среднего дышла.



Фиг. 70

Соединение переднего и заднего дышел со средним производится следующим образом: вилки переднего и заднего дышел надеваются на хвостовики среднего дышла и соединяются дышловым валиком. Для



Фиг. 71

того чтобы валик не выскочил, ставится шплинт, который заходит в выточку валика, поэтому удерживает его от выскакивания и поворачивания. В хвостовики среднего дышла для предупреждения их от выработки вставляются втулки.



Подшипники всех дышел состоят из двух половинок, заливаемых баббитом; натяг подшипников осуществляется клином и натяжным болтом.

Сцепные дышла паровоза 157 типа по конструкции почти не отличаются от дышел паровоза 159 типа.

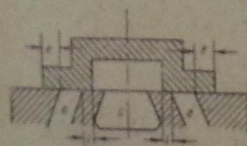
Обращают на себя внимание большие эксцентриситеты в сцепных дышлах паровоза 159 типа, т. е. средние линии головок или головок вилок в плане не лежат на одной прямой. Благодаря этому при работе дышла испытывают не только растягивающую и сжимающую нагрузку, но и изгиб. Это обстоятельство заставляет усиливать сечение дышел, стало быть и вес их. Эксцентрисичность дышел вызывается разницей в конструкции спаренных колес (длина пальцев, толщина противовесов и т. п.). Завод «Красное Сормово» у паровозов 157 типа сконструировал все сцепные дышла так, что эксцентриситет у них отсутствует.

Дышла как ведущие, так и сцепные изготавливаются из стали марки Ст-5. Шпонки ведущего дышла паровоза 159 типа, камни и клинья всех дышел также изготавливаются из стали марки Ст-5, а болты, валики и втулки — из Ст-2. Подшипники отливаются из бронзы марки Бр-4 и заливаются баббитом — кальциевым или оловянистым (Б-16).

### § 3. Парораспределение и парораспределительный механизм

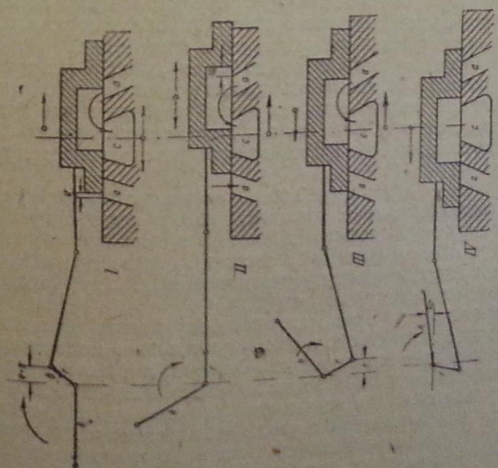
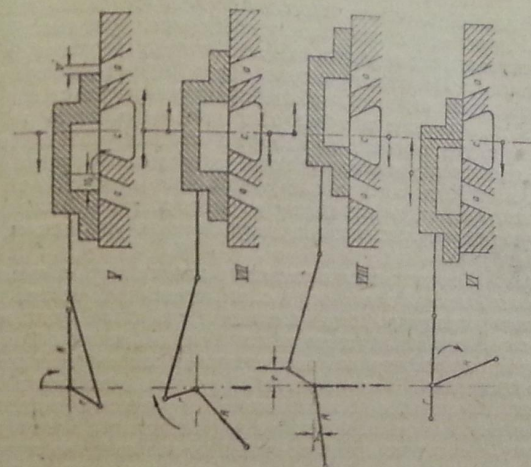
#### Понятие о работе золотника

Паровые машины паровоза всегда работают с расширением пара, т. е. так, что поршень передвигается в цилиндре под давлением свежего пара не на всей длине своего хода, а лишь на некоторой его части. После этого прекращается выпуск пара в цилиндры, т. е. происходит отсечка, и остальной путь до конца своего хода поршень проходит под давлением расширяющегося пара. Чем больше расширение пара при работе, тем меньше будет его расход, а следовательно и расход топлива. Отсечкой называется отношение пути, пройденного поршнем под давлением свежего пара, ко всей длине хода поршня.



Фиг. 72

Для достижения расширения пара в цилиндре конструкция золотника должна быть такой, чтобы он закрывал канал для впуска пара раньше, чем поршень придет в мертвое положение. Для этой цели ширина полей золотника, которыми он скользит по золотниковому зеркалу, делается всегда больше ширины паровых окон. На фиг. 72 указана схема такого плоского золотника при нахождении его в среднем положении, где  $e$  — расстояние от наружной кромки золотника до кромки окна — называется перекрышей впуска. При работе пара в машине необходимо, чтобы выпуск отработавшего пара из цилиндра прекращался раньше, чем поршень дойдет до своего мертвого положения. При этом давление в цилиндре повышается, и создается во вредном



Фиг. 73



пространстве так называемая паровая подушка, о назначении которой сказано выше. Прекращение выпуска отработавшего пара, ранее чем поршень придет в мертвое положение, осуществляется выступом внутренней кромки золотника от кромки окна на величину  $i$ , называемую пере-  
крышей выпуска. Перекрыша выпуска всегда меньше, чем перекрыша впуска; это делается для того, чтобы избежать чрезмерного сжатия пара в конце хода поршня и, кроме того, чтобы обеспечить заблаговременный выпуск пара еще до момента прихода поршня в мертвую точку. Для облегчения вывода поршня из его мертвого положения необходимо, чтобы впуск пара начался раньше этого момента, а следовательно золотник должен быть сдвинут из своего среднего положения на некоторую величину так, чтобы паровпускное окно уже было открыто для впуска пара.

На фиг. 73 представлены характерные положения золотника при его работе. Движение золотника рассматривается как происходящее от простого эксцентрика. Теория показывает, что любой кулисный механизм сообщает золотнику такое же движение, как некоторый простой эксцентрик, характеризуемый определенными эксцентриситетом  $r$  и углом опережения  $\delta$ . В силу этого любой кулисный механизм в конечном счете теоретически рассматривается как простой эксцентрик.

При первом положении поршень пришел в левую мертвую точку, а золотник движется вправо по направлению стрелки и открыл окно для впуска на величину  $u$ , которая называется линейным предварением впуска и обычно на узкоколейных паровозах принимается равной 3 мм. Из правой полости цилиндра через открытое окно отработавший пар уходит в атмосферу. При нахождении поршня в мертвом положении кривошип расположен горизонтально, а эксцентриситет отклонен от вертикальной оси на угол  $\delta$  опережения.

Золотник будет двигаться вправо до тех пор, пока эксцентриситет не станет горизонтально, как показано во втором положении и, при этом золотник откроет окна как для впуска, так и для выпуска на наибольшую величину. Поршень под давлением свежего пара будет также двигаться вправо. Из правой полости цилиндра продолжается выпуск пара.

При третьем положении эксцентриситет еще не достиг вертикального положения: золотник, двигаясь влево, закрыл окно для впуска пара своей наружной кромкой. Поршень еще не достиг мертвой точки. Пар, впущенный в цилиндр, начинает расширяться, понижая свое давление за счет увеличения объема. С другой стороны поршня еще продолжается выпуск пара.

При четвертом положении и внутренняя кромка золотника совпала с кромкой окна: в этот момент должно окончиться расширение пара и начаться его выпуск. С правой стороны золотник перекрыл окно, оставшийся в цилиндре пар поршнем, движущимся вправо, будет сжиматься. В этот момент кривошип еще не достиг до правого горизонтального положения на угол  $\gamma$ , называемый углом опережения выпуска, а эксцентриситет отклонился влево от вертикальной оси.

В пятом положении поршень пришел в мертвую точку. Золотник в этот момент уже открыл правое окно для впуска пара на

величину линейного предварения впуска. С левой стороны золотник открыл окно для впуска отработавшего пара на величину  $u$ , называемую линейным предварением выпуска.

Шестое положение одинаково со вторым, но действие пара в цилиндре происходит обратное: впуск в правое окно и выпуск из левого. В этот момент золотник меняет направление своего движения и начинает идти вправо.

Положение седьмое соответствует моменту начала сжатия в левой половине цилиндра. С правой стороны поршня идет расширение пара.

Сжатие закончится при восьмом положении, когда левая наружная кромка золотника подойдет к наружной кромке окна. Кривошип в этот момент не дойдет до линии мертвых точек на угол  $\gamma$ , называемый углом опережения впуска, а эксцентриситет отклонится от вертикальной оси вправо. Поршень еще не дошел до левой мертвой точки на незначительную величину. В этот момент начнется предварение впуска пара, которое продлится до прихода поршня в мертвую точку, а следовательно до открытия золотником окна на величину линейного предварения впуска, как показано на первом положении.

Таким образом мы проследили за работой пара в обеих полостях цилиндра за два хода поршня во время одного полного оборота ведущей колесной пары.

После ознакомления с работой золотника рассмотрим, какое влияние оказывает изменение отдельных его элементов на работу пара в машине.

Если увеличить перекрышу впуска, то при движении золотника вправо левое окно откроется позже, а следовательно выпуск пара начнется также позже. Это объясняется тем, что золотник до начала открытия окна должен пройти больший путь на прибавленную величину перекрыши. Величина линейного предварения впуска уменьшится. Начало впуска пара произойдет позже, а прекращение впуска пара окончится раньше, следовательно и расширение пара начнется раньше. Период предварения выпуска отработавшего пара останется без изменения, так как перекрыша выпуска остается постоянной. Вследствие того, что при увеличении перекрыши впуска выпуск пара начинается позже, период сжатия пара увеличится, возрастет и конечное давление сжатия.

При уменьшении перекрыши впуска произойдет обратное явление, т. е. выпуск пара произойдет раньше и окончится позже, периоды расширения и сжатия уменьшатся, а величина линейного предварения впуска увеличится.

При изменении перекрыши выпуска пара подвергнутся изменению периоды расширения, выпуска и сжатия пара. Для примера увеличим перекрышу выпуска, тогда при движении золотника окно для выпуска пара начнет открываться позже, и момент закрытия окна наступит раньше, следовательно периоды предварения впуска и выпуска будут короче. Периоды расширения и сжатия будут длиннее. При уменьшении перекрыши выпуска произойдет обратное.



Необходимо отметить, что если сжатие пара начнется слишком рано, то до начала предварения впуска пара давление сжимаемого пара может в конце хода поршня превысить давление даже свежего пара, отчего получится значительная отрицательная работа. Для уменьшения периода сжатия, а следовательно улучшения работы машины иногда перекрывают выпуск совершенно не делают или делают их отрицательными.

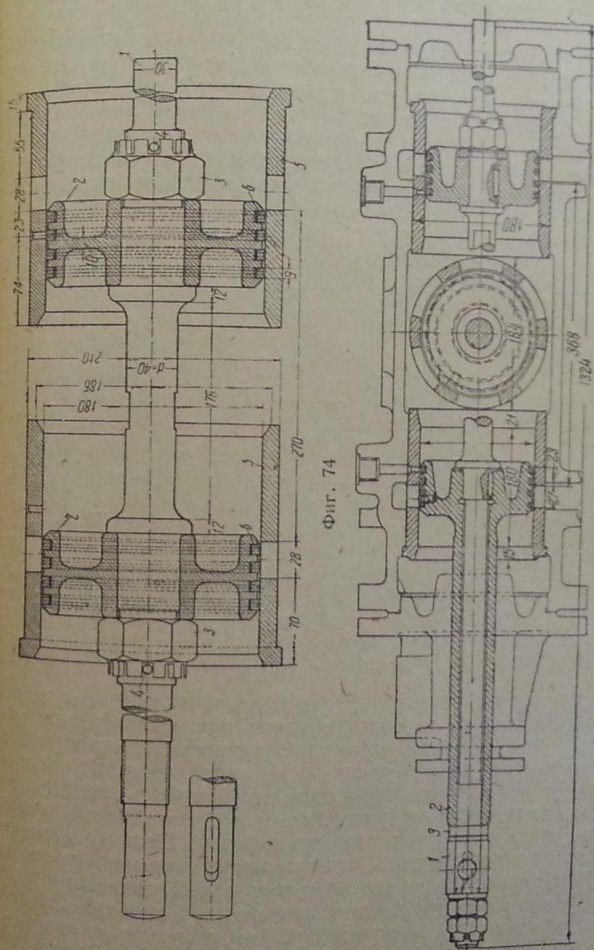
### Конструкция золотников

По устройству золотники разделяются на плоские и круглые. Плоскими золотниками оборудованы старые узкоколейные паровозы, в том числе 86 и 63 типы. При плоских золотниках применяется наружный выпуск пара, т. е. выпуском управляют наружные крошки золотника, как уже упоминалось выше. Золотник под действием пара, выпускаемого в золотниковую коробку, прижимается к зеркалу, поэтому на его передвижение по зеркалу затрачивается около 3% всей мощности, развиваемой паровозом. Кроме того большая сила трения вызывает износ золотников и зеркал, по которым они передвигаются. Для устранения быстрого износа золотника и уменьшения потери мощности паровоза на его трение были вынуждены перейти к так называемым уравнивающим золотникам. При таком золотнике пар давит не на всю поверхность золотника, отчего уменьшается сила трения между золотником и зеркалом примерно на 50—75%. На узкоколейных паровозах, работающих с наружным выпуском пара, золотники применялись с разгрузочными кольцами системы Бориса.

Плоские золотники, удовлетворительно работающие при насыщенном паре и оправдавшие себя на практике в течение многих десятилетий, для работы с перегретым паром оказались негодными благодаря тому, что при высокой температуре пара золотник коробится и плотность стыка его с зеркалом нарушается. Текучесть перегретого пара увеличивает утечку через образовавшиеся неплотности, и расход пара становится непомерно большим. Кроме того применяемый при насыщенном паре наружный выпуск пара для перегретого пара нецелесообразен, так как этот пар разрушает мягкую набивку обыкновенных сальников золотниковых коробок. Поэтому от применения плоских золотников и наружного впуска отказались и сделали золотники цилиндрической формы с внутренним выпуском. Так как оба диска круглого золотника одинакового диаметра, то пар, находящийся между дисками, давит на них с одинаковой силой. Поэтому, поскольку две силы, направленные противоположно друг другу, взаимно уравновешиваются, и золотник называется уравновешенным. На перемещение такого золотника затрачивается небольшое усилие. При круглом золотнике легко осуществляется внутренний выпуск пара. Различают обыкновенные круглые золотники с дисками, жестко закрепленными на штоке, и золотники-байпассы, или золотники Трофимова.

На паровозах 157 и 159 типов установлены обыкновенные цилиндрические золотники.

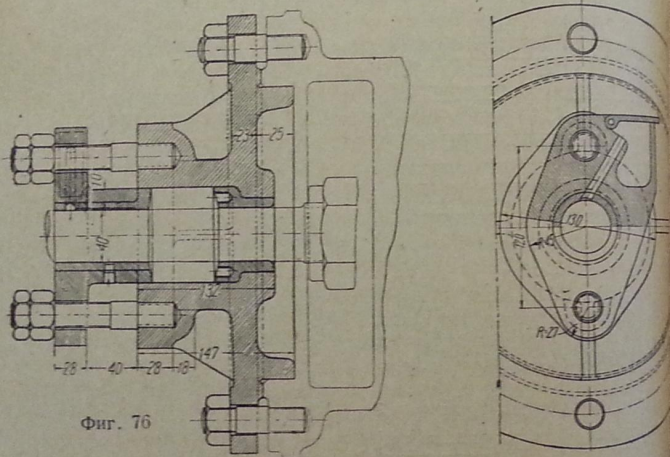
На фиг. 74 представлен золотник паровоза 157 типа; он состоит из золотникового штока 7, на заточки которого под давлением насажены





ваются диски 2. Для того чтобы диски не соскочили с заточек под действием пара изнутри, они закрепляются гайками 3 со шплинтом 4. Диаметр дисков на 4 мм меньше внутреннего диаметра втулки 5. Это сделано для того, чтобы диски при работе не изнашивались и не заедали в втулках.

В первых по времени конструкциях круглых золотников пытались добиться герметичности плотной пригонкой дисков ко втулкам. Однако эта кропотливая, трудоемкая и очень дорогая работа не давала и не могла дать удовлетворительных результатов. Если новый диск в новой втулке, пригнанный самым тщательным образом, и не давал вначале заметного пропуска, то эта герметичность существовала крайне ограниченное время: при первых же признаках неизбежного износа



Фиг. 76

начинался пропуск, усиливающийся буквально не по дням, а по часам, и золотник как орган парораспределения оказывался абсолютно непригодным. Этот коренной недостаток золотника пытались устранить постановкой на каждый диск по одному очень широкому кольцу. Однако очень скоро практика показала на нецелесообразность такой конструкции. Оказалось, что более узкие кольца работают гораздо лучше, и золотник долгое время сохраняет герметичность. Поэтому в настоящее время делают диски с тремя и более кольцами относительно очень тонкими. Так, у описываемого золотника паровоза 157 типа ширина каждого всего 9 мм. В каждом диске поставлено по 4 кольца. Внутреннее (впускная) перекрышка золотника  $e=27$  мм, а наружная (выпускная)  $i=+2$  мм. Для удержания штока при наворачивании и свертывании гайки 3 в середине его сделаны два запила на плоскость. Задний конец золотникового штока клином соединяется с кулачком.

Устройство золотника паровоза 159 типа несколько отличается от описанного (фиг. 75).

Задний диск состоит из собственно диска и длинного патрубка. Золотниковый шток проходит внутри этого патрубка. Передний диск — обычной конструкции. Оба диска сидят на шпонках и упираются в бурты штока: передний диск непосредственно, задний — через прокладную шайбу. На заднем конце штока насажен на шпонке кулачок 1 для маятника, закрепляемый гайкой и контргайкой. Между патрубком диска 2 и кулачком сидит шайба 3. Диски снабжены каждый четырьмя кольцами шириной 7 мм и высотой 5 мм.

Конструкцию золотника следует признать достаточно громоздкой и тяжелой. Вызвана она желанием упростить узел связи маятника со штоком и обойтись без специального золотникового направления.

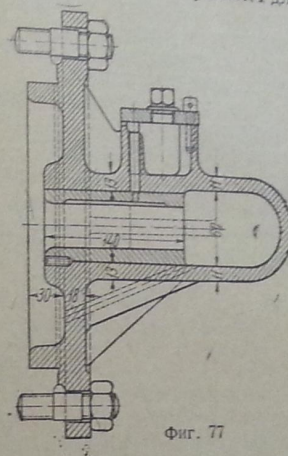
Золотниковая втулка запрессовывается под давлением 8—10 т. При износе втулок до установленных размеров они заменяются новыми. Золотниковая камера закрывается с обеих сторон крышками. На фиг. 76 и 77 представлены задняя и передняя крышки золотниковой камеры паровоза 157 типа. Для устранения пропуска пара крышки ставятся на притирке и укрепляются шпильками, ввернутыми в тело золотниковой камеры. В задней крышке имеется сальник обычной конструкции с мягкой набивкой. Смазка фитильная из масленки в теле сальника.

Передняя крышка изготовлена глухой с колпачком. Для направления переднего конца золотникового штока в крышку поставлена втулка. Смазка фитильная из масленки, отлитой в крышке. Устройство передней крышки золотниковой камеры паровоза 159 типа по конструкции не отличается от описанной крышки.

Золотниковые диски и штоки изготавливаются из стали Ст-5. Втулки, запрессовываемые в золотниковую камеру, отливаются из чугуна марки ЧЛ-1. Золотниковые кольца и крышки отливаются из чугуна марки ЧЛ-2. Сальники и втулки передней крышки изготавливаются из бронзы, шпильки и гайки — из Ст-2.

#### Устройство и работа кулисного механизма Гейзингера

Парораспределительный механизм должен быть приспособлен к разным условиям работы паровоза. Назначение кулисного механизма заключается в следующем: 1) изменять направление движения паровоза и 2) изменять отсечку, т. е. величину наполнения пара в цилиндрах, в зависимости от работы паровоза. Так например, для трогания поезда с места и быстрого развития скорости машинист должен дать большее наполнение, а затем уменьшить его и регулировать в зависи-



Фиг. 77

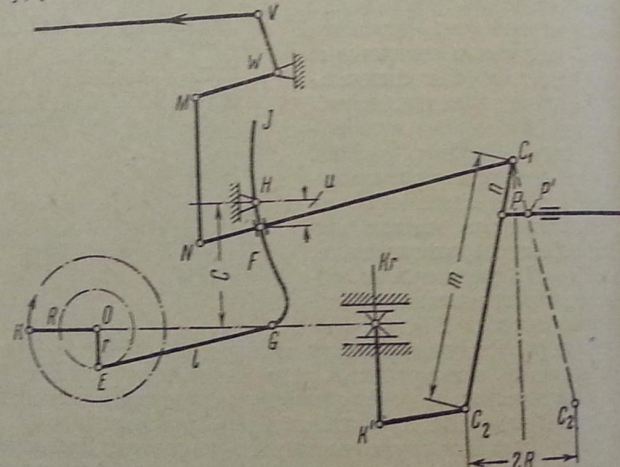


мости от профиля пути, используя по возможности большее расстояние пара.

В паровой практике получили распространение две группы кулисных механизмов:

1) эксцентриковые—Стефенсона, Аллана и Гука и 2) безэксцентриковые—Гейзингера и Джоя. Кулисные механизмы первой группы значительно устарели и применялись на старых узкоколейных паровозах до девятисотых годов. Эти кулисные механизмы имеют ряд существенных недостатков:

а) вследствие неудобного расположения механизма снаружи паровоза листов его располагают между рамными листами, что затрудняет смазку, ремонт и наблюдение за ним;



Фиг. 78

б) наличие двух эксцентриков с каждой стороны делает механизм громоздким и сложным, отчего увеличивается потеря мощности паровоза на трение. Кулисный механизм Гейзингера вследствие лучшей его конструкции и работы получил широкое распространение во всем мире. Кулисный механизм Джоя, хороший по своей идее, но имеющий ряд крупных недостатков, широкого распространения не получил, вновь не строится.

Работа кулисных механизмов первой группы здесь не рассматривается, так как эти механизмы на современных узкоколейных паровозах более не ставятся.

Кулисный механизм Гейзингера применяется для паровозов, работающих как с наружным, так и внутренним впуском пара. В механизме Гейзингера для внутреннего впуска пара (фиг. 78) на ведущей оси паровоза устанавливаются кривошип ОК и контркривошип ОЕ, называемый эксцентрисетом. Палец контркривошипа соединяется при помощи эксцентрикового

триковой тяги EG с хвостовиком кулисы ЖГ. Кулиса укрепляется в точке Н своими цапфами и при вращении ведущей оси совершает качания в ту и другую стороны. В кулисе помещается камень F, который можно поднимать и опускать из будки машиниста помощью реверса, который тягами соединен с кривошипом WM переводного вала, а последний—подвеской MN с радиальной тягой NC<sub>1</sub>. Кулиса описана радиусом, равным C<sub>1</sub>F, и своей выпуклостью обращена в сторону кривошипа. При помощи тяги NC<sub>1</sub> движение камня при качании кулисы передается точке C<sub>1</sub> маятника C<sub>1</sub>C<sub>2</sub>. Кроме того маятник получает еще движение от крейцкопфа через серьгу K<sub>1</sub>C<sub>2</sub>. Путь, проходимый нижним концом маятника C<sub>2</sub>, можно считать равным ходу поршня. Эти оба движения от кулисы и крейцкопфа складываются в точке Р маятника и передаются золотниковому штоку. Кулисный камень может находиться в верхней и нижней частях кулисы. Большинство существующих механизмов устроено так, что при нахождении камня внизу паровоз имеет передний ход, а при нахождении камня вверху—задний. При нахождении камня в центре кулисы качание последней никакого влияния на перемещение золотника не оказывает.

Известно, что при нахождении поршня в мертвом положении золотник открывает окно на величину линейного предварения впуска.

Смещение золотника от его среднего положения на величину перекрыши впуска и линейного предварения обеспечивается передачей движения от кривошипа через ведущее дышло—крейцкопф и маятник—золотнику. Величина линейного предварения зависит исключительно от плеч маятника  $m$  и  $n$  и от радиуса кривошипа. Радиус кривошипа и плечи маятника являются величинами постоянными, поэтому и величина линейного предварения остается постоянной при всех отсечках.

Из рассмотренного ясно, что контркривошип, эксцентриковая тяга, кулиса и радиальная тяга сообщают золотнику переменный ход в зависимости от положения камня в кулисе, т. е. изменяют отсечку и направление хода.

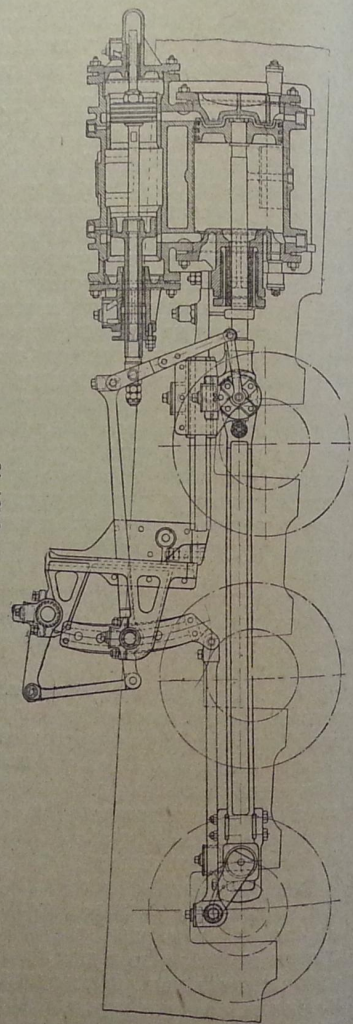
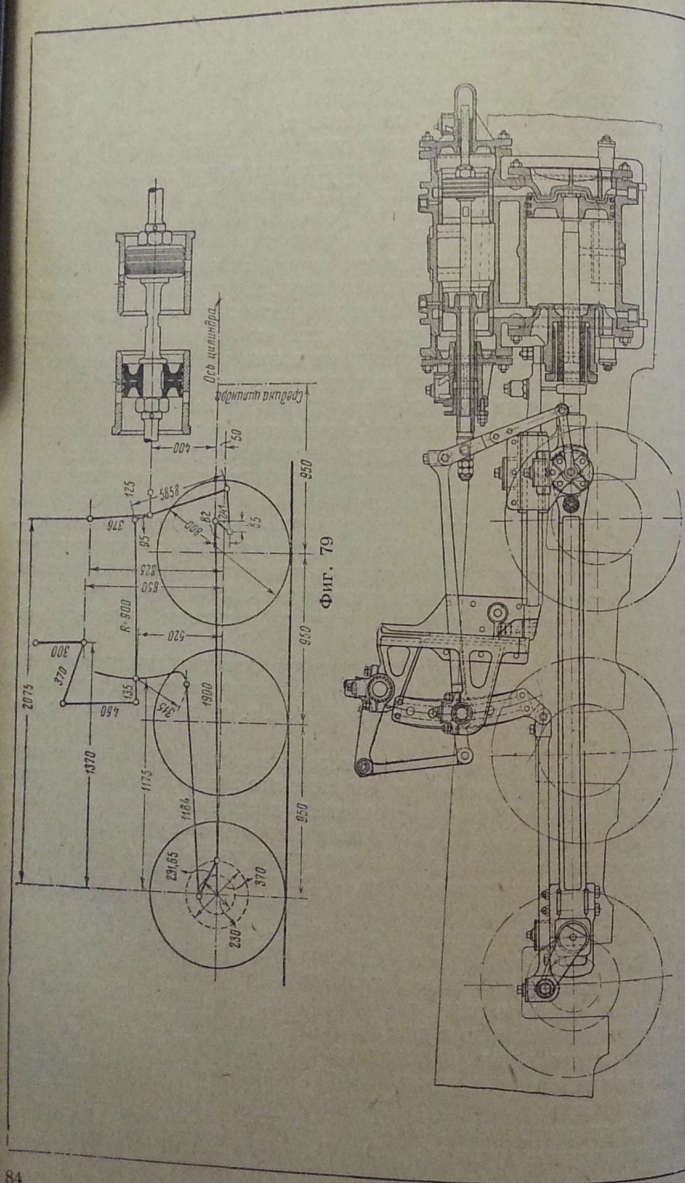
На фиг. 79 показана схема парораспределительного механизма паровоза 157 типа постройки Коломенского завода с основными размерами. Золотник этого паровоза имеет перекрышу впуска  $l=27$  мм, перекрышу выпуска  $i=0$  мм и линейное предварение впуска  $v=3$  мм.

Парораспределительный механизм паровоза 159 типа с разрезом парового цилиндра приведен на фиг. 80. Элементы золотника этого паровоза следующие:  $l=23$  мм,  $i=0$ ; линейное предварение впуска  $v=3$  мм.

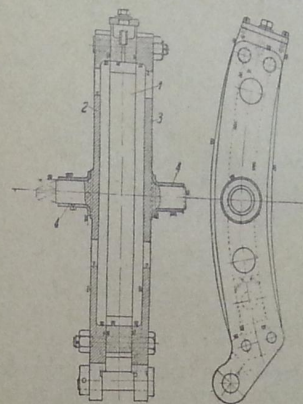
На фигуре виден сальник задней цилиндрической крышки типа Шмидта. Сравнявая этот сальник с описанным выше сальником Кинга, видно, насколько последний проще и компактнее.

На фиг. 81 показана кулиса паровоза 157 типа. Она состоит из собственно кулисы 1, двух щек 2 и 3 с цапфами, которыми кулиса опирается на подшипники. Щеки в кулисе прикрепляются точечными болтами. Нижний выступ щеки при помощи валика соединяется с эксцентриковой тягой. В верхней части кулисы устроена масленка для смазки кулисного камня. На цапфы кулисы туго одеваются стальные цементированные втулки 4. При износе этих втулок они легко заме-

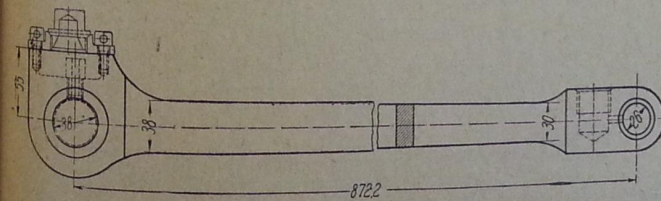




няются новыми, а более дорогая деталь—щека с цапфой—остается для дальнейшей работы. Тело кулисы и камень изготавливаются из стали марки Ст-2 с последующей цементацией, а щеки кулисы—из стали марки Ст-5. Конструкция кулисы паровоза 159 типа аналогична Эксцентриковая тяга паровоза (рис. 89) заводской разработки.



Для смазки трущихся поверхностей как в передней, так и в задней головках тяги устроены углубления для масленок.



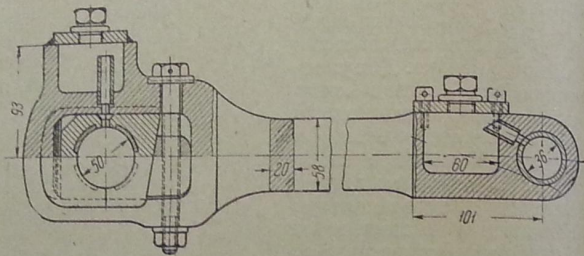
подшипника подложены четыре медные прокладки толщиной по 2 мм. Подшипник бронзовый с баббитовой заливкой. В передней головке запрессована стальная цементированная втулка.

Эксцентрикковые тяги изготавливаются из стали марки Ст-5.  
Маятник 1 у паровоза 157 типа (фиг. 84) соединен внизу с тягой от поводка крейскопфа 2 верхним концом с радиальной тягой, а промежуточной точкой—помощью двух боковых серег 3 с кулачком 4 зожуточной точкой.

85

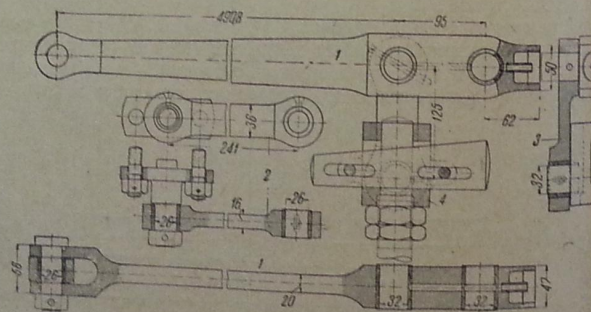


лотникового штока. Кроме того маятник в той же точке шарнирно связан с рамой паровоза помощью подвески (фиг. 85). В сквозное отверстие кулачка входит задний конец золотникового штока и здесь может перемещаться в продольном направлении в обе стороны помощью клина и гайки с контргайкой. В теле штока сделан прорез для клина с уклоном одной поперечной стороны в 1 : 9. К корпусу кулачка при-



Фиг. 83

варены два ушка для пропуска болтиков, закрепляющих клин. В самом клине болтики пропущены в сквозные прорезы. По бокам кулачка приварены цапфы, на которые одеваются передние головки серег (фиг. 84). Описанное устройство дает возможность обойтись без специ-



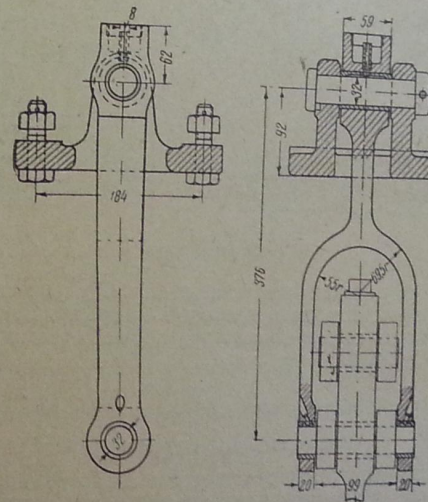
Фиг. 84

альной золотниковой параллели, но в то же время является более сложным и дорогим.

Материал маятника—Ст-5, втулок—Ст-2, цементированного кулачка—Ст-5, клина—Ст-2, цементированных серег—Ст-5, гайки и контргайки—Ст-2, валиков маятника—Ст-2, цементированных подвесок—Ст-5.

У паровоза 159 типа узел соединения маятника со штоком золотника выполнен гораздо проще (фиг. 85). Подвеска маятника совершенно отсутствует. Самый маятник составной из двух частей подобно тому, как

паровоза серии Э. Вместо подвески у маятника и золотникового направления сильно развиты опорные поверхности сальника задней крышки золотниковой коробки. Сквозь сальник проходит своей трубчатой втулкой задний диск золотника. На выступающий сзади из втулки конец золотникового штока одет золотниковый кулачок с цапфами, на который одевается маятник. Для проверки золотника служат прокладные шайбы между диском и заплечиком штока и между кулачком и концом втулки заднего диска. Закрепление кулачка делается гайкой, накрученной на нарезанный хвостовик штока, и контргайкой. При постоянной хорошей смазке эта конструкция может работать удовлетворительно, в противном случае неизбежен быстрый износ втулки диска и сальника.



Фиг. 85

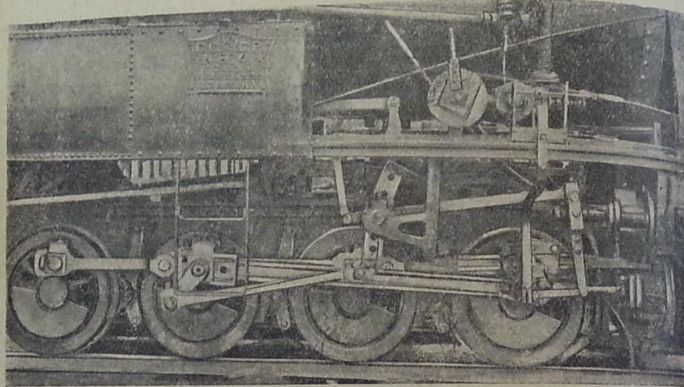
Переводный винт по конструкции подобен таковому для паровозов нормальной колеи. К боковой стенке кожуха топки на шпильках прикрепляется стойка винта, отлитая из стали. По концам стойки на шпильках укрепляются скобы с подшипниками для винта. Подшипники цельные чугунные. Винт стальной трехоборотный, внутреннего диаметра 45 мм. Гайка бронзовая, свернутая из двух половинок, между ними стальная прокладка. Ход гайки ограничивается накладками, привернутыми к гайкам.

На задний конец винта на заточке насажена зубчатка с рукояткой. Во впадины между зубцами входит собачка, нажимаемая пружиной. Шкала отсечки укреплена на стойке шурупами.

От гайки винта идут тяги к рычагу переводного вала (контрвала). Между гайкой винта и контрвалом помещен промежуточный



ный рычаг, благодаря чему при вращении рукоятки винта по часовой стрелке гайка движется также вперед, а рычаг контрвала отклоняется назад, при этом камень опускается в нижнюю часть кулисы, что соответствует переднему ходу паровоза.



Фиг. 86

Для лучшего уяснения расположения деталей парораспределительного и движущего механизмов паровоза 159 типа приводится фиг. 86, из которой видны конструктивное оформление отдельных деталей и их связь между собой.

#### § 4. Работа машины без пара и контрпар

Езда с закрытым регулятором

В практических условиях эксплуатации паровоза часто приходится прибегать к изменению режима его работы в зависимости от профиля пути. На перегоне при длительных спусках, а также при подходе к остановочному пункту машинист закрывает регулятор, и поезд под действием силы инерции или под действием слагающей веса на спуске продолжает двигаться. Работа машины без пара называется холостой работой.

Из разбора работы паровой машины установлено, что цилиндры с одной стороны сообщаются с дымовой коробкой через паровпускной канал и конус и с другой — с котлом через паровпускные трубы, перегреватель и регуляторный клапан. Работа машины с паром изображается в виде индикаторной диаграммы, представленной на фиг. 87. Если будет закрыт регулятор и величина наполнения пара 1—2 останется без изменения, то через несколько оборотов колес работа машины будет приблизительно изображена диаграммой II фиг. 87. При движении поршня вправо из крайней левой мертвой точки вместо впуска пара при нормальной работе машины будет происходить

засасывание в цилиндры остатков пара из золотниковой камеры и паровпускных труб по линии 1'—2', в золотниковой камере и в паровпускных трубах произойдет разрежение.

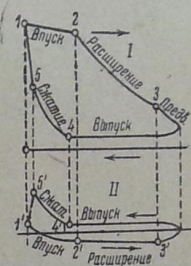
В точке 2' произойдет закрытие золотником окна, и вследствие увеличения объема цилиндра перед поршнем будет происходить понижение давления или разрежение. В точке 3' золотник начнет открывать окно для выпуска пара, но так как в цилиндре в этот момент разрежение ниже, чем в дымовой коробке, то из дымовой коробки горячие газы попадут в цилиндр. При обратном ходе поршня до точки 4' часть газа и пара будет выталкиваться обратно через конус в дымовую коробку. В точке 4' золотник закроет окно, и остаток смеси газа и пара будет сжиматься, при этом будет происходить повышение давления и температуры.

В точке 5' золотник начнет открывать окно на предварение впуска, но так как в золотниковой камере в этот момент давление гораздо ниже, чем в цилиндре, то из цилиндра через открываемое паровпускное окно смесь газа и пара будет вытолкнута в золотниковую камеру и паропровод — давление упадет до точки 1'.

Из рассмотрения индикаторной диаграммы работы машины при закрытом регуляторе видно, что в цилиндрах происходит торможение, которое достигает иногда таких размеров, что приходится прибегать к открытию регулятора. Кроме того вместе с газами в цилиндры и в золотниковую камеру попадает сажа и даже мелкие кусочки изгари, которые вызывают быстрый износ втулок и колец и задиры трущихся поверхностей. При сжатии газов в цилиндре их температура повышается настолько, что вызывает сгорание смазки и образование нагара, отчего сильно увеличиваются трение и износ колец.

#### Паровоздушные клапаны

Для уменьшения отрицательной работы машины при закрытом регуляторе и устранения перечисленных недостатков на паровозах 157 и 159 типов установлены паровоздушные клапаны (фиг. 88). Корпус клапана 1 прикрепляется к трубе, сообщаемой с камерой насыщенного пара коллектора пароперегревателя. В корпус вставляется крышка 2 и прижимается к нему помощью двух болтов. В нижней части корпуса устанавливается воздушный клапан 3, который для обеспечения плотности прилегания притирается к своему седлу. Воздушный клапан имеет хвостовик 4, который проходит через направляющую клапана 5, ввернутую в нижнюю часть крышки корпуса. В верхней части крышки поставлен паровой клапан 6 в запрессованную втулку. Для подвода свежего пара к паровоздушному клапану в его крышку вворачивается конусный штуцер, к которому

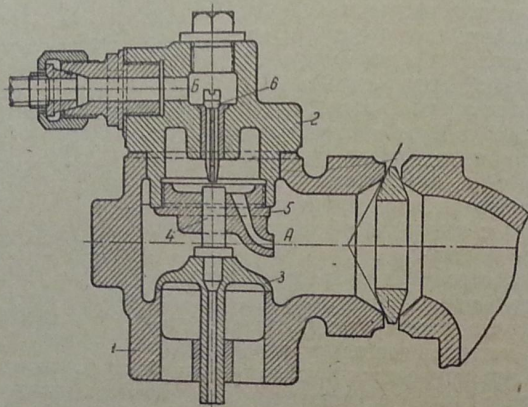


Фиг. 87



присоединяется паропровод. Для постановки и притирки парового клапана крышка имеет отверстие, закрываемое пробкой.

При закрытии регулятора, как было установлено выше, в цилиндре, золотниковой коробке, в пароподводящей трубе, а следовательно и в элементах пароперегревателя, коллекторе и в паровоздушном клапане, в камере А будет происходить разрежение. Под давлением атмосферы воздушный клапан 3 поднимется кверху и своим хвостовиком 4 упрется в паровой клапан 6 и приподнимет его, тогда в камере А будет засасываться воздух, а из паровой камеры В будет поступать пар. Смесь пара и воздуха поступает через перегреватель в золотниковую камеру и в цилиндры.



Фиг. 88

Применение паровоздушного клапана дает следующие преимущества:

- 1) предупреждает преждевременное перегорание элементов перегревателя вследствие поступления в них смеси пара и воздуха при закрытом регуляторе,
- 2) нагретая смесь пара и воздуха в перегревателе не охлаждает цилиндры, поэтому при открытии регулятора пар не конденсируется;
- 3) уменьшается отрицательная работа машины.

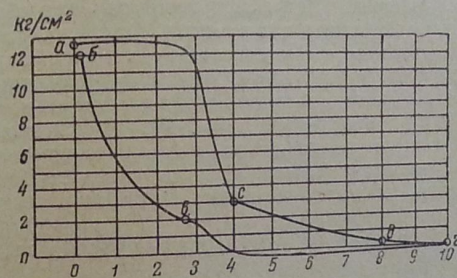
Кроме положительных сторон паровоздушный клапан имеет и недостатки, к которым нужно отнести выхлоп засосанной смеси пара и воздуха в конус, что ведет к увеличению расхода топлива и спуску излишнего пара через предохранительные клапаны.

#### Контрпар

Иногда встречается необходимость быстро остановить поезд вследствие угрожающей ему опасности или внезапного требования остановки. В таких случаях в дополнение к тормозам прибегают к контрпару

Действие контрпара заключается в том, что свежий пар из котла выпускают в цилиндры навстречу движению поршня, поэтому пар своей упругостью тормозит движение поршня, а следовательно паровоза и поезда.

Применение контрпара осуществляется постановкой реверса, а следовательно и кулисного механизма на обратный ход. При этих условиях поезд продолжает по инерции движение вперед, но тормозящее действие пара на поршень быстро понижает скорость поезда и через некоторое время приводит к его остановке. В этом случае при нахождении поршня в мертвом положении золотник открывает окно на величину линейного предварения впуска. При движении поршня направо золотник вследствие перевода кулисного механизма на обратный ход будет перемещаться назад и закроет окно в точке б (фиг. 89). На этой фигуре показана диаграмма работы контрпара при постановке вилка на четвертый зуб. После закрытия окна пар будет расширяться, но так



Фиг. 89

как пара в цилиндр поступило мало, то к концу расширения давление быстро упадет. Вслед за открытием окна на выпуск давление упадет даже ниже атмосферного, и будет происходить всасывание газов из дымовой коробки от а до г. При обратном движении поршня из цилиндра незначительная часть смеси пара и газов выталкивается, что отмечено на диаграмме линией гд. В точке д золотник закрывает окно на выпуск пара, поэтому оставшаяся смесь пара и газов будет сжиматься до точки с, когда золотник начнет открывать окно на впуск пара. Впуск пара будет происходить по линии са. Вследствие того что поршень движется навстречу впускаемому пару, будет происходить торможение, которое в конечном счете вызовет остановку поезда.

Вся площадь индикаторной диаграммы представляет отрицательную работу, вызванную контрпаром. При контрпаре засасываемые из дымовой коробки газы нагнетаются в котел, поэтому давление в нем быстро повышается, но так как регуляторный клапан поднимается на незначительную величину, то при большой скорости движения паровоза сжатые газы могут не успеть пройти в котел, отчего давление в пароподводящих трубах и золотниковой камере значительно увеличится и может их разорвать. Нагнетание газов в котел опасно



не только тем, что при нем может возрасти давление до опасных размеров, но оно нарушает правильную работу инжекторов, так как вместо пара в инжектор будет попадать воздух. Кроме того сжимается смесь газов и пара сильно нагревается и вызывает порчу сальников, а попадающие вместе с газами твердые частицы угля и золы портят кольца и стенки золотниковой камеры и цилиндров, производя на них задиры и риски.

Для устранения перечисленных недостатков при действии контрпара на паровозах 157 и 159 типов поставлен кран ле-Шателье.

При открытии крана ле-Шателье горячая вода из котла поступает в пароотводные каналы, откуда при открытии окон попадает в цилиндры вместо горячих газов. За время прохождения воды по трубкам вследствие понижения давления она частично испаряется, образуя смесь воды с паром. Эта смесь, поступая в цилиндры, соприкасается с нагретыми стенами, обращается полностью в сырой пар и тем несколько охлаждает цилиндры. Этот сырой пар при обратном ходе поршня выталкивается из цилиндров в котел. Открытие крана ле-Шателье должно быть таковым, чтобы подсос газов из дымовой коробки совершенно был устранен. Для того чтобы убедиться в достаточном открытии крана ле-Шателье, можно проследить следующие признаки: если кран ле-Шателье открыт недостаточно, то будут происходить частичное подсосывание газов и нагнетание их в котел, отчего в котле будет происходить повышение давления. Если же кран ле-Шателье будет открыт так, что будет излишний подвод смеси, то из дымовой трубы понесет воду.

«Применение контрпара должно производиться в следующей последовательности:

- 1) закрыть регулятор, если он был открыт;
- 2) дать тормозные свистки и затормозить тендер;
- 3) открыть кран ле-Шателье;
- 4) перевести реверс на первый зуб по ходу поезда;
- 5) открыть продувальные краны;
- 6) перевести реверс на первый зуб обратного хода;
- 7) открыть регулятор на большой клапан;
- 8) переводить реверс до полной выкладки на обратный ход.

Для усиления торможения необходимо привести в действие песочницу.

Если при контрпаре происходит боксование колес, необходимо закрыть регулятор и реверс подвести ближе к центру, а после прекращения боксования вновь осторожно открыть регулятор и усилить торможение реверсом.

Для прекращения контрпара необходимо подвести реверс к центру, закрыть регулятор, закрыть кран ле-Шателье, открыть продувальные краны и медленно перевести реверс до последнего зуба по ходу поезда.

Необходимо отметить, что контрпар даже при правильном его применении оказывает вредное воздействие на движущий механизм и экипажную часть паровоза, поэтому неправильные действия при контрпаре неизбежно приводят к порче паровоза. К контрпару прибегать только при крайней необходимости.

### ГЛАВА III

#### ЭКИПАЖ

##### § 1. Рама и ее детали

Экипажная часть паровоза состоит из рамы, которая служит опорой для парового котла и паровых цилиндров, из буек с подшипниками, колесных пар и рессорного подвешивания.

На раму паровоза действуют силы:

а) вертикальные от веса котла, опирающегося на раму, от веса самой рамы и цилиндров, от действия рессор при движении паровоза и от действия слагающей давления пара на параллели;

б) продольные горизонтальные от давления пара в цилиндрах, от сил инерции движущего механизма и от давления на буфера;

в) боковые, возникающие при движении паровоза по кривым. Из сказанного видно, что на раму действуют разнообразные силы, поэтому она должна быть очень прочной и жесткой во всех направлениях.

Рамы бывают двух типов: листовые и брусковые. Брусковые литые и катаные рамы применяются на новых узкоколейных паровозах в Америке и Германии. На наших узкоколейных паровозах исключительное распространение имеют листовые рамы.

По расположению рамы относительно колес различают: рамы внутренние (паровозы 159 типа и др.) и рамы наружные (паровозы серий К, О и 157 типа).

На фиг. 90 представлена рама паровоза 159 типа, которая состоит из двух продольных листов толщиной 11 мм. Рамные листы имеют вырезы в передней части в области расположения цилиндров и сзади для размещения клапанов зольника. Кроме того в нижней части листов рамы сделаны вырезы по числу колесных пар для размещения буек.

Для придания раме жесткости в продольном и поперечном направлениях оба листа ее связаны следующими поперечными креплениями, начиная спереди:

1. По переднему вертикальному обрезу рамные листы 1 связаны четырехугольной рамкой 2 из углового железа сечения  $75 \times 75 \times 10$  мм. К этой рамке спереди приклепан фронтальный лист 3 толщиной 11 мм. По верхнему горизонтальному обрезу этот лист укреплен угольником жесткости 4. Второй угольник жесткости 5 сечения  $75 \times 75 \times 10$  мм помещен горизонтально ниже угольника 4 изнутри фронтального листа и своими боковыми частями скреплен с рамными листами. Благодаря наличию угольников 2 и 5 усиливается жесткость фронтального листа в его верхней части и создается как бы подобие буферного бруса. Под угольником 4, частично заходя в вырез его вертикальной полки, прикреплен к листу буферная розетка 6 с отверстием для буферного стержня. Спереди у фронтального листа сделан большой прямоугольный вырез, закрываемый тонким листом 7. Внизу по бокам фронтального листа приварены державки 8 из толстого полосового железа, к которым приварен путеочиститель 9 из углового железа сечения  $75 \times 75 \times 10$  мм.



Выступающие за раму края фронтального листа сверху укреплены подклепками из листового железа 10. К боковым выступам листа приклепаны угольники 3а для упора домкратом при подъеме.

2. На расстоянии 650 мм от переднего обреза рамы рамные листы скреплены жесткой четырехугольной рамкой 11 из углового железа сечения  $100 \times 100 \times 15$  мм. К вертикальной полке угольника спереди прикреплен поперечный сплошной лист 12 толщиной 9 мм. Между рамками 2 и 11 сверху и снизу вдоль кромок рамных листов приклепаны угольники 13 и 14 сечения  $100 \times 100 \times 15$  мм.

Рамки, угольники и листы, вместе взятые, образуют спереди рамы достаточно жесткое междуцилиндровое крепление. В прорезы рамных листов входят закраины фланцев цилиндров.

По нижнему обрезу рамных листов к рамкам 2 и 11 и угольникам 14 приклепывается еще лист жесткости 15 с большим прямоугольным вырезом по середине.

3. Впереди первой сцепной оси внизу рамные листы соединены железной полосой 16 шириной 150 мм с отогнутыми краями.

4. Между первой и второй сцепными осями поставлена четырехугольная рамка 17 из углового железа сечения  $60 \times 60 \times 10$  мм, к которой сзади приклепан железный поперечный лист 18 толщиной 9 мм. Кроме того сзади к листу 18 и рамным листам приклепаны еще короткие угольники 19 и внизу по обрезу листа 18 поперек рамы пропущен угольник 20.

5. Крепление между второй и третьей осями аналогично предыдущему, отсутствуют лишь короткие угольники 19.

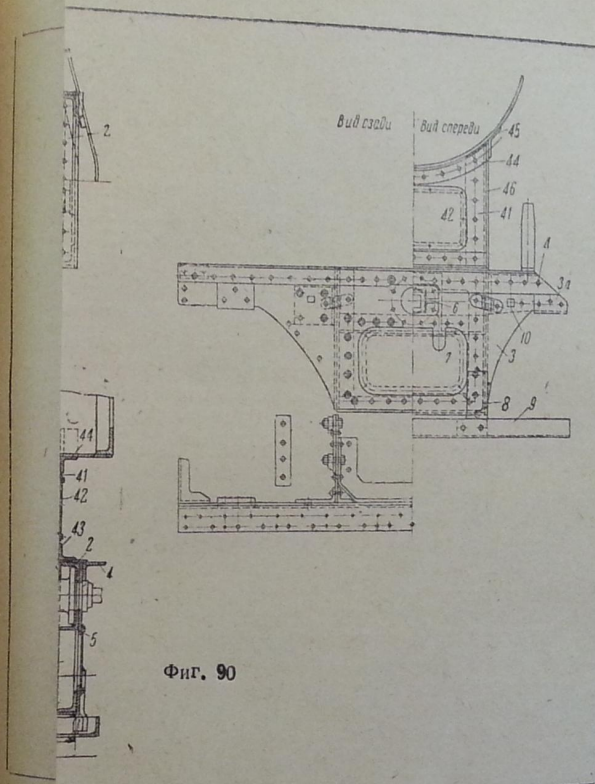
6. Между третьей и четвертой осями помещена поперек рамы горизонтальная четырехугольная рамка 21, к которой снизу приклепан сплошной лист 22 толщиной 12 мм.

7. Сзади четвертой оси перед зольником помещена вертикальная поперечная рамка 23 с приклепанным к ней сплошным листом 24.

8. Сзади зольника поперек рамы скрепляются поперечной П-образной рамкой 25, к которой приклепан сплошной поперечный лист 26 и сверху угольник 27. Внизу по горизонтальным кромкам рамных листов, начиная от листа 24 и до рамки 29 (см. ниже), пропущены угольники 28, скрепленные по концам с рамками 23 и 29 косынками 30.

9. По вертикальному обрезу рамных листов сзади помещена рамка U-образной формы 29, к которой приклепан задний фронтальный лист 31, по форме похожий на передний лист 3. По верхнему горизонтальному обрезу последнего пропущен неравнобокий уголок жесткости 32 сечения  $100 \times 65 \times 10$  мм. Несколько ниже с внутренней стороны листа 31 приклепан уголок жесткости 33, расположенный горизонтально в форме буквы П; боковыми частями этот уголок склепан с рамными листами. Между угольниками 32 и 33 к фронтальному листу приклепана розетка для пропуска буферного стержня. Таким образом, образован задний буферный брус. Снизу к фронтальному листу приварены державки 34 и к ним — путеочиститель 35.

10. По верхнему обрезу рамных листов вдоль снаружи приклепаны угольники 36 и 37. К этим угольникам приклепан большой горизонтальный лист 38, перекрывающий раму сверху и проходящий впе-



Фиг. 90

На нижнем поперечном креплении между третьей и четвертой осями лежит передняя опора топki обычного скользящего типа. Под зольником рама укрепена широкой (250 мм) поперечной полосой, приваренной к угольникам, скрепленным с рамой точеными болтами 14. Задний конец рамы укреплен сварным стяжным ящиком, на котором лежит настил под будку. Стяжной ящик по типу ширококолейных паровозов. Сцепление между паровозом и тендером производится винтовой стяжкой с двумя запасными тягами. Для укрепления рамных листов в слабых местах над вырезами для букс и регулирования буксовых клиньев поставлены подбуксовые струнки.



ред до кромки фронтального листа. В передней части рамы лист 38 склепан с рамкой 11, угольниками 13 и рамкой 2.

Лист 38 снабжен вырезами для облегчения пропуска рессорных шпунтов и державок рессорных подвесок. Над третьей осью к листу приклепан угольник жесткости 39. Кроме того по близости от задней кромки листа 38 приклепана поперек полоса жесткости 40.

Наличие верхнего горизонтального листа 38 придает конструкции рамы жесткость в продольном и поперечном направлениях.

На горизонтальном листе впереди расположена передняя подвижная опора котла. Она представляет собой железную клепаную коробку, состоящую из переднего листа 41 с заглушкой 42, угольников 43, 44 и 45, двух боковых листов 46, угольников 47, 48, 49 и 51 и задней стенки 50. К угольникам 44 и 45 крепится болтами дымовая коробка.

Между второй и третьей колесными парами помещена на горизонтальном листе дополнительная опора котла, которая создает большую жесткость рамы в вертикальном направлении, так как связывает раму с котлом. Это укрепление состоит из окаймляющей рамки 52, поперечного листа 53, угольников 54 и 55. К этой опоре приварены кронштейны для установки на них боковых дополнительных баков.

У паровозов 157 типа рама наружная. Толщина рамных листов 20 мм. Междурамные крепления стальные литые. Над буксовыми вырезами первой, третьей и четвертой осей рама усилена внутренними накладками, склепанными с основными листами рамы.

Буферный брус образован передним фронтальным листом, усиленным внутренней упорной плитой толщиной 20 мм и двумя параллельными вертикальными планками сечения  $150 \times 15$  мм, приваренными к упорной плите и к обоим поперечным угольникам — верхнему и нижнему.

Коробка буферного бруса сверху накрыта листом толщиной 10 мм с вырезом посредине, а снизу к угольникам, привернутым к раме, приварен нижний лист шириной 340 мм, к которому привернут болтами путеочиститель из угольника сечения  $120 \times 80 \times 10$  мм. Лист кроме того дополнительно скреплен болтами с нижним поперечным угольником буферного бруса.

Сверху по бокам рамы в промежутке от опоры дымовой коробки и до передней опоры топки приболчены вдоль угольники и к их горизонтальным полкам приварен большой горизонтальный лист шириной 970 мм, перекрывающий пространство между рамными листами. В листе сделаны три больших выреза.

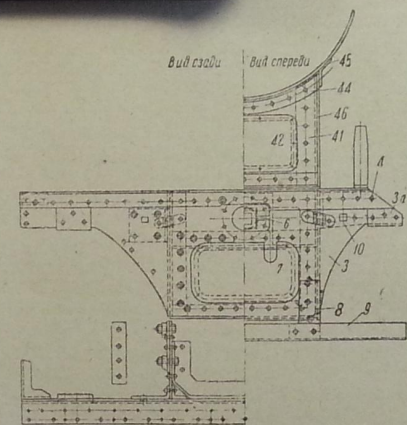
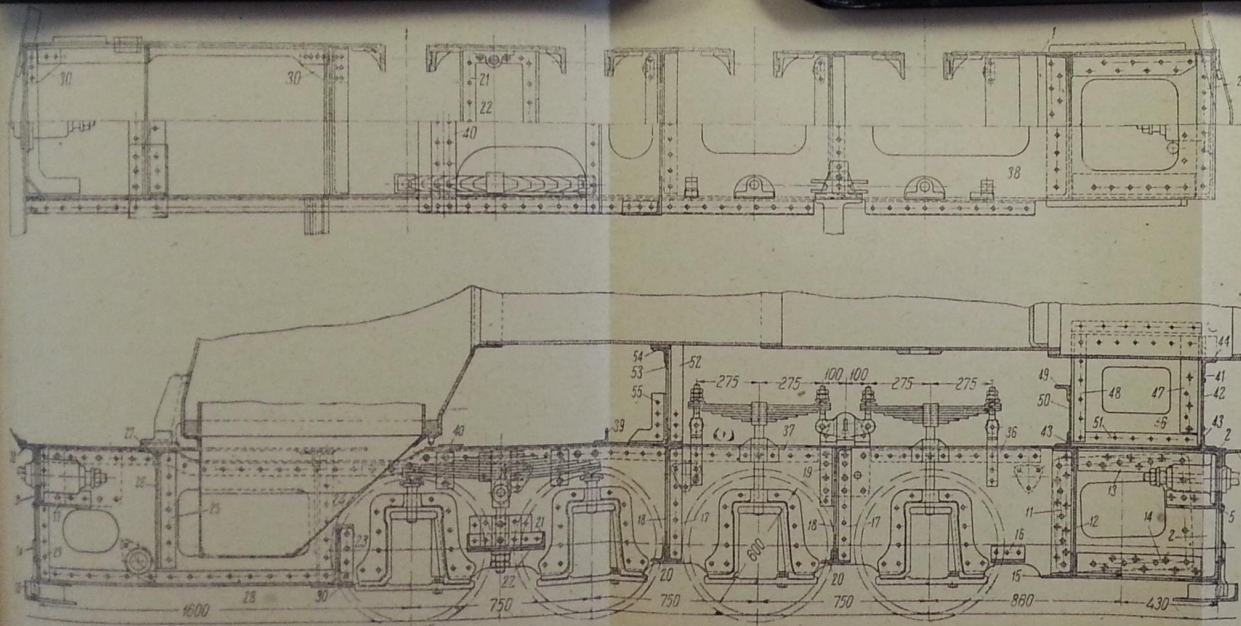
На заднем поперечном креплении между третьей и четвертой осями лежит передняя опора топки обычного скользящего типа. Под угольником рама укреплена широкой (250 мм) поперечной полосой, приваренной к угольникам, скрепленной с рамой точеными болтами  $\frac{3}{4}$ ". Задний конец рамы укреплен сварным стяжным ящиком, на котором лежит настил под будку. Стяжной ящик по типу ширококолейных паровозов. Сцепление между паровозом и тендером производится винтовой стяжкой с двумя запасными тягами.

Для укрепления рамных листов в слабых местах над вырезами для букс и регулирования буксовых клиньев поставлены подбуксовые струнки.

Лист 31 приклепан уголок жесткости 33, расположенный горизонтально в форме буквы П; боковыми частями этот уголок склепан с рамными листами. Между угольниками 32 и 33 к фронтальному листу приклепана розетка для пропуска буферного стержня. Таким образом образован задний буферный брус. Снизу к фронтальному листу приварены державки 34 и к ним — путеочиститель 35.

10. По верхнему обрезу рамных листов вдоль снаружи приклепаны угольники 36 и 37. К этим угольникам приклепан большой горизонтальный лист 38, перекрывающий раму сверху и проходящий в



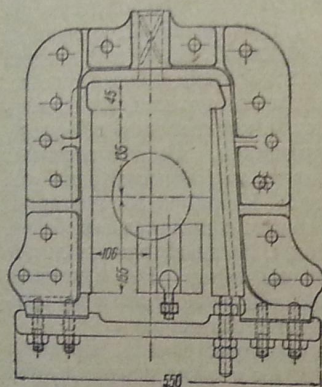


Фиг. 90

На за-  
даче ле-  
жит зольн-  
шваренн-  
е. Зада-  
чей л-  
ных п-  
еся ви-  
Для укреп-  
и регули-  
рования  
буксовых  
клиньев  
поставле-  
ны подбук-  
совые



Во время движения паровоза под паром буксы попеременно прижимаются то к одной, то к другой стороне буксового выреза рамы и кроме того двигаются по отношению к раме в вертикальном направлении. Так как усилия, действующие на буксы в горизонтальном направлении, очень велики, то во избежание большого износа буксовых лиц они скользят по широким плоскостям буксовых направляющих и буксовых клиньев. Буксовые направляющие кроме того укрепляют раму в ее слабом месте над буксовым вырезом и делают рамный лист более жестким. Для точной установки оси по отношению к раме и



Фиг. 91

компенсации неизбежных износов буксовых лиц и направляющей одна из сторон буксового выреза делается наклонной, и между нею и буксой ставится клин, положение которого регулируется по высоте в зависимости от износа трущихся поверхностей.

На фиг. 91 показана буксовая направляющая паровоза 157 типа. Она представляет собой массивную стальную отливку П-образной формы с ребрами жесткости. Строганной плоскостью направляющие накладываются на раму с наружной стороны последней. Выступом направляющая плотно входит в вырез рамы и прикрепляется точеными болтами диаметром 23 мм. На наклонной стороне буксовой направляющей простроган паз шириной 42 мм, в который своим соответствующим выступом входит буксовый клин. В верхней горизонтальной части направляющей имеется прилив с квадратным отверстием для пропуска рессорного шпингона. Внизу по бокам у направляющей отлиты фланцы, в которые ввернуты шпильки для удержания буксовой струнки. Клин перемещается в пазу помощью натяжного болта, головка которого плотно входит в соответствующее гнездо в теле клина. Натяжной болт проходит сквозь отверстие подбуксовой струнки и закрепляется в нужном положении гайками с контргайкой.

Клиновое устройство у паровозов 157 и 159 типов располагается впереди буксы. Буксовые направляющие отливаются из стали марки ЛСт-1, клин — из стали Ст-5, а натяжной болт — из Ст-2 с цементацией и струнка — из Ст-3. Болты для прикрепления направляющей изготавливаются из Ст-2 (цементованные), шпильки — из Ст-2, все гайки — из Ст-2 (цементованные).

Подбуксовая струнка представляет собой массивную стальную поковку, которая прикрепляется снизу к направляющей. Для того чтобы воспринимать на себя растягивающие усилия, возникающие при работе паровоза и особенно при подъеме его на дократях, в струнке сверху простроганы поперечные пазы с наклоном наружной

стороны. Этими пазами струнка плотно входит на выступы буксовой направляющей и притягивается к ней четырьмя шпильками с обязательным зазором на натяг.

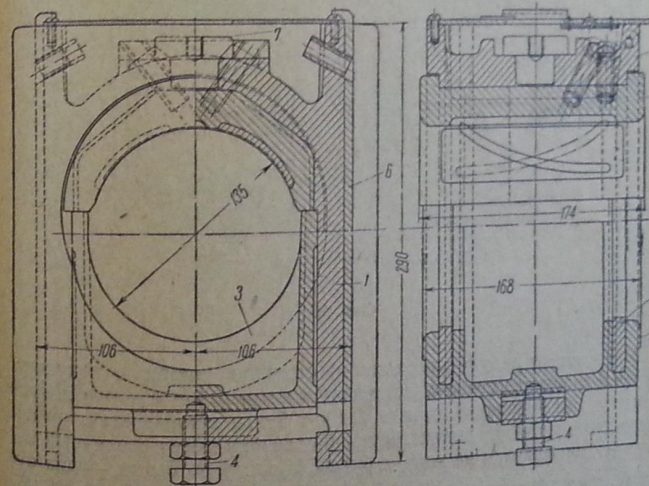
У паровоза 159 типа устройство буксовых направляющих аналогично, но расположены они не с наружной, а с внутренней стороны рамы, чтобы дать меньший зазор между колесами и рамой.

## § 2. Буксы и колесные пары

### Буксы

Буксы воспринимают на себя нагрузку от веса надрессорной части паровоза и передают ее через подшипник на оси колесных пар, кроме этого через буксы происходит передача силы тяги от колес к раме паровоза и далее через упряжные приборы к составу.

На фиг. 92 показана букса для ведущей и передней сцепной оси паровоза 157 типа. Она состоит из стального корпуса 1, бронзового

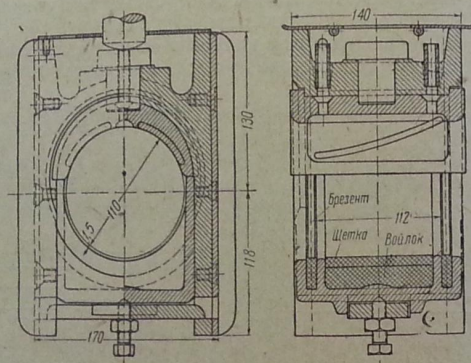


Фиг. 92

подшипника 2 и буксовой коробки 3. Подшипник от вращения в буксе удерживается гранями, а от перемещения в продольном направлении — буртиками. Колодцы подшипника заливаются баббитом. Буксовая коробка вставляется в буксу после навешивания болтом 4, проходящего через закладку. Закладка вставляется концами в отверстия в нижней части буксы. В буксовую коробку кладут промасленную шерстяную подбивку. Буксовая коробка служит для предохранения



шейки оси от попадания на нее пыли, песку и сырости, для сбора стекающей сверху смазки и для смазывания шейки снизу прижимающейся подбивкой. Для удержания смазки в буксовой коробке в углубления ее с обеих сторон вставляются войлочные манжеты 5. Для уменьшения трения и износа буксовых направляющих к отвесным граням буксы прикрепляют шурупами бронзовые наливники 6, которые по наружной поверхности имеют канавки для лучшего удержания смазки. Корпус буксы в верхней части имеет углубление для помещения смазки. Смазка к шейке подается по двум трубочкам, проходящим через корпус буксы и отверстия в подшипнике. Смазка к наливникам подается через боковые трубочки. Для равномерной и экономной подачи смазки к трущимся поверхностям в трубочки вставляются шерстяные фитили.



Фиг. 93

Нагрузка от рессор передается на стальную опорную подушку 7, которая своим хвостовиком вставляется в отверстия в корпусе буксы, а выступами опирается на него. Сверху буксы накрывается крышкой с откидной частью на петлях. Наличник сверху имеет отогнутый борт, которым он ложится на корпус буксы, а снизу по бокам — два зуба, входящие в соответствующие гнезда корпуса. Помощью борта и зубьев наливник точно устанавливается на буксе, и шурупы полностью погружены от среза. Материал: букса — ЛСт-1, коробки — ЛСт-1 (или железная сварная), подшипника и наливника — бронза по ГОСТ 6240, нажимной болт — Ст-2, закладка — Ст-3, опорные подушки — Ст-2 (цементованная). Буксы других осей рассматриваемого паровоза отличаются от описанной тем, что у них наливники без боковых бортов, так как буксы эти имеют поперечное перемещение в направляющих.

У паровоза 159 типа буксы несколько иной конструкции (фиг. 93). На фигуре показана букса для первой, третьей и четвертой осей. Под-

шипник круглой формы и удерживается от вращения, во-первых, буксовой коробкой, прижимаемой снизу, и, во-вторых, хвостовиком опорной подушки, который частично заходит в гнездо, проточенное в теле подшипника. Боковые наливники бронзовые, гладкие, без бортов и зубьев. Каждый из них удерживается на месте шестью шурупами. Смазка наливников происходит через боковые дырочки в корпусе буксы, входящие в масленку.

Букса второй оси с поперечным перемещением. Для того чтобы это было возможно, ширина буксовых направляющих сделана у этой оси меньше, чем у остальных осей, на 10 мм—102 мм против 112 мм.

Поэтому рессорный шпиринтон упирается на вкладыш, а этот последний скользит по опорной подушке, имеющей боковые закраины. В гнезда по бокам нижней коробки заложен промасленный брезент для защиты шейки от пыли. На дно коробки положена войлочная набивка, а поверх нее — щетка для очистки и смазки шейки снизу. Сверху буксы накрывается крышкой с откидной створкой (вторая ось) или с двумя таковыми (первая, третья и четвертая оси).

Материалы соответствующих частей буксы те же, как и у буксы паровоза 157 типа.

#### Колесные пары

Колесная пара паровоза 157 типа состоит из оси, колесных центров, бандажей и кривошипов, а ведущая колесная пара кроме того имеет еще контркривошипы. У паровоза 159 типа кривошип составляет одно целое с колесным центром.

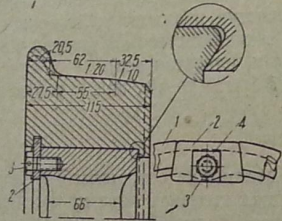
Форма паровозных колесных осей зависит от их назначения и типа рамы; так, например, при внутренней раме, как у паровоза 159 типа (фиг. 90) шейки оси расположены между колесами, а при наружной раме (паровоз 157 типа) шейки оси находятся с внешней стороны колес. Переходы от шейки к буртикам и подступичной части не должны иметь подрезов во избежание излома оси. Колесные оси изготавливаются поковкой из стали марки Ст-5. Колесный центр состоит из ступицы с приливом, в который запрессовывается палец кривошипа, из спиц и обода. Спицы имеют эллиптическую форму и большей осью расположены перпендикулярно к продольной оси паровоза.

Колесные пары насаживаются на ось под прессовым давлением, величина которого в основном зависит от диаметра подступичной части. Для узкоколейных паровозов давление насадки колеблется от 65 до 90 т. Колесо удерживается на оси за счет натяга. Величина этого последнего берется опытным путем. Для увеличения надежности запрессовки подступичная часть оси и отверстие в ступице должны быть шлифованными, так как только при этом условии ступица и ось получат требуемые упругие деформации. При грубой же обработке ступицы и оси усилие пресса будет расходоваться на срезание неровностей, и насадка получится слабой. Для предупреждения проворачивания оси ставятся прямоугольные шпонки, изготавливаемые из стали марки Ст-5.



Колесный центр отливается из стали марки ЛСт-1. На ободе колесных центров насаживаются бандажки. В целях безопасности движения бандажки должны плотно прилегать к наружной поверхности обода.

Проверка плотности насадки бандажей проверяется по звуку от удара молотком. При слабой насадке бандаж звук при ударе получается глухой, а при плотной насадке — чистый. Для создания плотного прилегания бандаж к ободу внутренний диаметр бандаж делается меньше примерно на  $\frac{1}{1000}$  от наружного диаметра бандаж. Перед насадкой бандаж нагревают до температуры 300—350° и затем насаживают его на обод до упора в запячлик (фиг. 94). Чтобы бандаж при ослаблении не соскочил, в проточенную по окружности его канавку вставляется кольцо 7 с разрезом. Края разреза скошены. После того как кольцо заведено в канавку бандаж в его разрез закла-



Фиг. 94

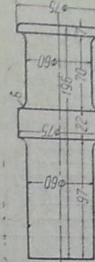
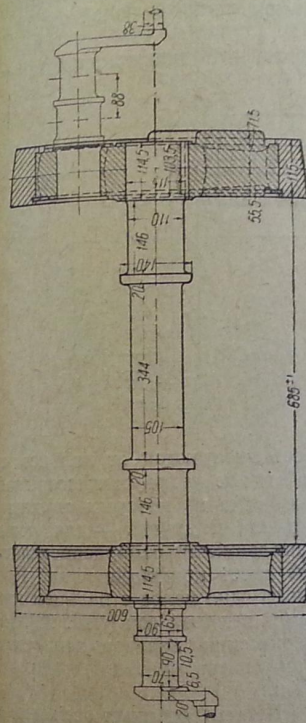
бандажа облегчает прохождение по кривым. Наружный конус (1:10) делается для более спокойного движения по стрелкам. У края бандажа снаружи снята фаска  $3 \times 3$  мм.

У ведущей оси паровозов 157 и 159 типов бандажи безреборные. У паровозов 159 типа вторая сцепная ось имеет бандажи с уменьшенным гребнем, как показано на фиг. 94 пунктиром. Разность диаметров спаренных колес по кругам катания должна быть не более 0,5 мм, так как в противном случае будет происходить проскальзывание колес, что вызовет большой износ бандажей и порчу движущего механизма.

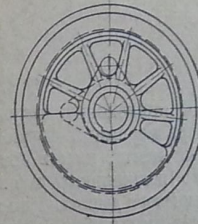
Расстояние между внутренними гранями бандажей у паровозов колеи 750 мм равно  $685 \pm 1$  мм. Основные размеры колесных пар приведены на чертежах.

На фиг. 95 показана ведущая колесная пара паровоза 159 типа Косельные пары паровоза 157 типа отличаются от описанных выше тем, что шейки оси расположены с наружных сторон колес и вместо запоросовки пальцы кривошипа в приливы колесного центра охватываются насаживаются на концы осей (фиг. 96).

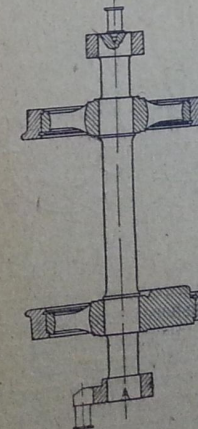
Пальцы кривошипов паровоза 159 типа запрессовываются в отверстие специального прилива на колесном центре, называемого иногда мотылем.



Фиг. 97



Фиг. 95



Фиг. 96



Палец кривошипа сцепной оси паровоза 159 типа показан на фиг. 97

Фиг. 98

Фиг. 98

Фиг. 99

Палец ведущей оси отковывается также вместе с кривошипом, который служит одновременно противовесом (фиг. 100). Контр-

У паровоза мы имеем дело с вращающимися частями: кривошипы, пальцы кривошипов, сцепные дышла и часть поршневых дышл, поступательно-движущимися: шток, контршток, поршень, крейцкоф.

[illegible]

ФИГ. 100

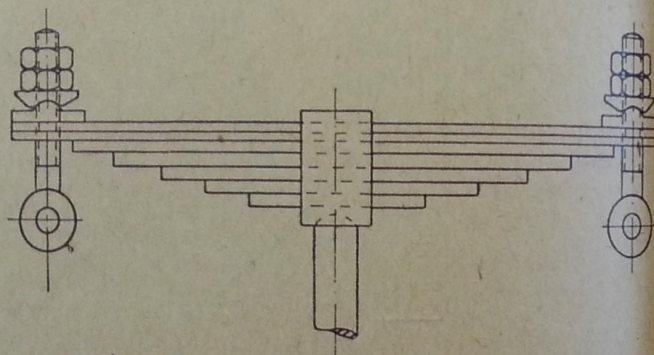
Центробежная сила, развиваемая противовесом, направлена прямо противоположно центробежным силам вращающихся масс данного колеса и потому полностью уравнивает эти последние. Но вес противовеса умышленно делают большим, чем требуется для уравнивания центробежных сил. Этот избыточный вес развивает центробежную силу, за счет которой частично уравниваются силы инерции поступательно-движущихся масс. Наличие избыточного противовеса вызывает разгруз и перегруз колеса при вертикальных положениях кривошипа. По мере увеличения скорости резко увеличиваются колебания в нагрузке колеса и может даже наступить такой момент, когда за счет разгрузки нагрузка колеса на рельс делается равной нулю или даже отрицательной. Это может вызвать сход с рельсов, особенно в кривой. Поэтому избыточный вес противовеса делают меньшим, чем требуется для уравнивания сил инерции поступательно-движущихся масс. Расчеты показывают, что «уравненных» полностью двухцилиндровых паровозов не существует. Новейшие лучше уравновешены паровозы трех- и четырехцилиндровые.



Противовес (фиг. 95, 96 и 100) отливается за одно целое с колесным центром или помещается на кривошипе, как это сделано у ведущей оси паровоза 157 типа.

### § 3. Рессорное подвешивание

Для смягчения ударов между рамой и буксами, возникающих при движении паровоза, на стыках, крестовинах и других неровностях пути ставят рессоры. В паровозе различают надрессорное строение и подрессорное. К подрессорному строению относятся: колесные пары с буксами, дышловый механизм и часть веса рессор. Рессоры на узкоколейных паровозах применяются исключительно листовые, которые изготавливаются из стальных полос и имеют с одной стороны



Фиг. 101

выступ, а с другой — канавку; благодаря этому наложенные друг на друга листы не могут иметь бокового перемещения.

Листы скрепляются между собой помощью рессорного хомута, насаживаемого в горячем состоянии (фиг. 101). Верхние два листа первой и второй рессоры паровоза 159 типа имеют круглые отверстия для прохода рессорных подвесок, которые шайбой опираются на полку.

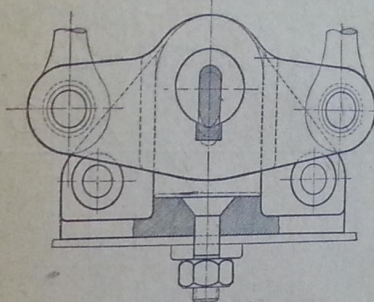
По способу подвешивания рессор различают верхнее и нижнее подвешивание. Паровозы 157 и 159 типов имеют исключительно верхнее подвешивание.

Передача нагрузки от рамы на буксу осуществляется следующим образом: со стойкой, прикрепленной к рамному листу, соединяется рессорная подвеска помощью валика, верхний конец рессорной подвески проходит через отверстие в листах рессоры. Регулирование нагрузки на рессору осуществляется гайками (фиг. 101). Нагрузка от рессоры передается через шпинтон на буксу. Верхний конец шпинтона упирается в хомут рессоры, а нижний опирается на опорную

подушку буксы. Для направления шпинтона служит особая скоба, прикрепленная к раме.

У паровоза 157 типа вторая и четвертая сцепные оси имеют поперечное перемещение, для чего расстояние между крайними корытами буксы сделано большим на 26 мм против ширины буксовой направляющей, которая равна 102 мм. Для передачи нагрузки на рессорный шпинтон здесь применено следующее устройство: на опорную подушку в буксе опирается стальной сектор. На узкую грань сектора опирается рессорный шпинтон, в который вставлен стальной цементованный камень.

При такой конструкции буксы имеет возможность поперечного перемещения, причем сектор перекачивается по плоскостям опорной подушки. Следует особо отметить, что описываемое устройство создает еще так называемую возвращающую силу, которая стремится всегда поставить отклоненную ось в ее среднее нормальное положение. Поэтому это устройство можно назвать возвращающим аппаратом. У паровоза 157 типа возвращающий аппарат дает возвращающую силу около 400 кг. Наличие секторов обеспечивает спокойный ход второй и четвертой осей паровоза как в прямых, так и в кривых.



Фиг. 102

В тех случаях, когда каждая рессора соединяется рессорными подвесками непосредственно с рамой, подвешивание называется независимым. При таком подвешивании толчки от неровностей пути воспринимаются только одной рессорой.

Для более равномерного распределения нагрузки на оси и уменьшения деформации рессор две соседние рессоры соединяются между собой двуплечим рычагом, называемым балансиром. Балансир имеет точку вращения на раме паровоза. Такое соединение рессор называется простым сопряженным подвешиванием.

На фиг. 102 представлен балансир паровоза 159 типа, который устанавливается в особой стойке, прикрепленной к раме болтом. Своими концами балансир при помощи валиков соединяется с рессорными подвесками. Для большей чувствительности балансира в регулировании нагрузок на рессоры в среднюю его часть ставится балансирный клин (нож), который опирается на камень. Клин и камень перед постановкой цементируются.

Рессорные листы паровоза 157 типа не имеют по концам отверстий, поэтому рессорная подвеска надевается на концы листов хомутом. В отверстие хомута сверху вставлена шайба, которая опирается на





Рессорные листы — изготавливаются из специальной рессорной стали; рессорные хомуты — из стали марки Ст-3, рессорные подвески — из стали марки Ст-5, а шайбы — из Ст-2 с предварительной перед постановкой цементацией; балансиры стальные литые — ЛСт-1.

На фиг. 105 представлен упругий прибор паровоза, состоящий из буферного стакана, прикрепленного болтами к фронтальному листу



внутренней стороны, муфты, прикрепленной с наружной стороны листа, и втулки, вставленной в стакан. Внутри стакана помещается листовая спиральная пружина, которая одним концом опирается на шайбу, а другим — на втулку. Через отверстия муфты, шайбы, пружины, находящейся в буферном стакане, и втулки вставляется буферный стержень, который впереди имеет утолщение для приварки муфты буферной тарелки (ранее тарелка прикреплялась шестью

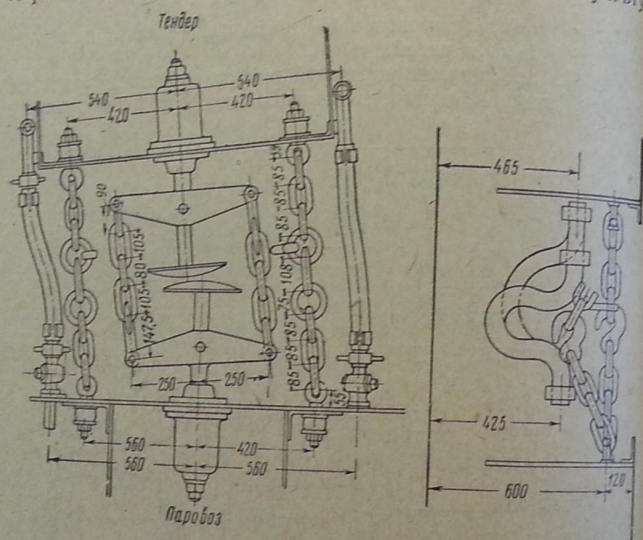
107



заклепками). На хвостовик буферного стержня одевается шайба и навинчивается гайка. При нажатии на буфер стержень своим выступом упирается на шайбу, которая передает нагрузку на пружину, а последняя через втулку и буферный стакан передает ее фронтному листу и раме.

Буфер паровоза одновременно является тяговым прибором. Для этой цели на стержне буфера укрепляется помощью валика коромысло, на одном конце которого укреплен крюк, а на другом — цепь.

Работа упряжного аппарата осуществляется следующим образом: стержень под действием силы тяги нажимает гайкой на шайбу и втулку,



Фиг. 106

втулка, сжимая пружину, входит в буферный стакан. Пружина через шайбу передает усилие на фронтный лист. При сжатии пружины на 30 мм усилие тяги будет передаваться непосредственно через буферный стакан, так как шайба, находящаяся на хвостовике стержня, упрется в стакан.

При обрыве основной цепи поезд можно вести на запасных цепях, которые также укрепляются на фронтном листе (фиг. 106).

#### ГЛАВА IV МОДЕРНИЗАЦИЯ ПАРОВОЗА 159 ТИПА

Эксплуатация и испытания показали, что паровоз 159 типа постройки Коломенского завода имеет целый ряд весьма существенных недостатков как с точки зрения выбора его основных размеров, глав-

ным образом по котлу, так и конструктивных. Все эти недостатки были подробно рассмотрены на техническом совещании при Главтрансмаше, которое поручило Новочеркасскому заводу «Произвести коренной пересмотр всей конструкции паровоза, особенно в части котла, в сторону увеличения его мощности, предусматривая отопление низкосортным топливом при условии нагрузки на ось равной примерно 4 т».

Коренными недостатками паровоза, которые, безусловно, должны быть устранены (что и предусмотрено эскизным проектом Новочеркасского завода), являются следующие:

- 1) малая площадь колосниковой решетки, рассчитанной на сжигание высокосортных топлив;
- 2) малый объем топочного пространства, влекущий большую неполноту сгорания, особенно при форсировках выше средних;
- 3) малый объем парового пространства, что влечет за собой получение весьма влажного пара даже при средних форсировках;
- 4) недостаточная поверхность нагрева перегревателя, малый диаметр элементных трубок и недостаточный диаметр жаровых труб. Эта совокупность недостатков не дает возможности получить высокого перегрева. Трубки перегревателя быстро зарастают накипью, резко увеличивается потеря давления пара при проходе через перегреватель. Жаровые трубы засоряются несгоревшими угольками и золой, доступ горячих газов из топки к перегревателю мал;
- 5) конструкция котла очень тяжела и может быть существенно облегчена без увеличения его веса;
- 6) плохая работа конуса, вызывающая необходимость частого пользования сифоном;
- 7) из наблюдений над ремонтом паровозов 159 типа можно вывести заключение, что толщина листов рамы в 11 мм является совершенно недостаточной: во время приклейки междурамных креплений к раме и при работе паровоза рама заметно деформируется в горизонтальной плоскости;
- 8) конструкция дышел с разъемными клиновыми подшипниками является устаревшей и очень тяжелой.

Из этого неполного перечня недостатков паровоза уже ясно, в какой серьезной модернизации он нуждается.

Новочеркасский завод разработал соответствующий проект, в результате чего выявлены главнейшие размеры паровоза, приведенные в табл. 8.

Таблица 8

Машина		2
Число цилиндров		290
Диаметр » в мм		300
Ход поршня » »		600
Диаметр колес » »		
Парораспределение Вальсхарта		150
Диаметр золотников в мм		23
Перекрышка впуска » »		0
» выпуска » »		3
Линейное предварение впуска в мм		



## Котел

Давление в котле в ат . . . . .	14
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup> . . . . .	1,04
Объем топki в м <sup>3</sup> . . . . .	1,0
» парового пространства в м <sup>3</sup> . . . . .	0,8
Площадь зеркала испарения в м <sup>2</sup> . . . . .	3,5
Количество дымогарных труб . . . . .	42
Диаметр дымогарных труб в мм . . . . .	39,5/44,5
Количество жаровых труб . . . . .	12
Диаметр жаровых труб в мм . . . . .	113/121

## Испаряющая поверхность нагрева в м<sup>2</sup>

Топки . . . . .	5,05
Дымогарных труб . . . . .	15,26
Жаровых » . . . . .	11,85
Полная испаряющая поверхность в м <sup>2</sup> . . . . .	32,16
Диаметр перегревательных трубок в мм . . . . .	24/30
Поверхность нагрева пароперегревателя в м <sup>2</sup> . . . . .	11,76
Расстояние между решетками в мм . . . . .	2600

## Общие данные

Тормоз паровой	
Высота паровоза в мм . . . . .	2870
Полная длина паровоза с буферами в мм . . . . .	6710
Полная база паровоза с буферами в мм . . . . .	2250
Жесткая база паровоза с буферами в мм . . . . .	2250
Вес паровоза в рабочем состоянии в т . . . . .	16
» » » порожнем » » » . . . . .	14
Сцепной вес в т . . . . .	16
Конструктивная скорость в км/час . . . . .	30
Наименьший радиус кривой в м . . . . .	40
Тендер . . . . .	трехос- ный

Запасы топлива и воды такие же, как у паровоза 157 типа.

В связи с увеличением объема парового пространства диаметр котла увеличен на 80 мм. Отношение высоты парового пространства

к диаметру котла в проектном паровозе равно  $\frac{h_1}{d_k} = 1/6$  вместо существующего у паровоза 159 типа  $1/9$ . Это мероприятие должно резко уменьшить влажность пара.

Паровозный котел должен изготавливаться цельносварным с сварными связями.

Для осмотра и лучшей промывки котла дополнительно устраивается лаз и подбрюшный люк. Вкладные люки заменяются пробковыми.

Размеры шуровочного отверстия увеличены для того, чтобы можно было через него пролезть в огневую коробку для производства ремонта. Дверки топki устраиваются по типу Франклина с паровым ручным приводами для открытия.

Скользкая задняя опора котла заменена гибкой опорой. Подвод воздуха к колосниковой решетке осуществлен через верхние клапаны, расположенные по бокам вместо существующих нижних клапанов, через которые производилась и очистка зольника. Для усиления рас-

режения в дымовой коробке и уменьшения противодействия в цилиндре устанавливается конус с раздельным выхлопом с нижним расположением.

Увеличение диаметра жаровых труб и перегревательных трубок, безусловно, повысит температуру перегрева пара и уменьшит мятие пара при прохождении его по трубкам пароперегревателя.

Увеличение диаметра цилиндров и повышение давления пара в котле увеличит силу тяги паровоза.

Клиновые подшипники дышел заменяются круглыми подшипниками по типу нормального паровоза серии ЭУ. Задняя головка ведомого дышла имеет плавающую втулку. Контркривошип запроектирован съемным. Переднее сцепное дышло взаимозаменяемо с задним дышлом другой стороны.

Диски золотников облегчены. Раму паровоза предполагается изготовить цельносварной. Вследствие увеличения силы тяги паровоза и отмеченной в эксплуатации зыбкости рамы толщина рамных листов увеличена до 14 мм вместо 11 мм, но по высоте рамные листы несколько уменьшены.

Прочность рамы в вертикальном направлении компенсирована постановкой гибкого подбрюшника между второй и третьей осями. Поставлены жесткие корытные междурамные крепления, что крайне упрощает конструкцию с увеличением прочности рамы в целом.

Подшипники в корпус буксы запрессовываются и от радиального смещения удерживаются своими кромками, опирающимися на вырезы в корпусе буксы. От продольного перемещения по оси внутри рамы подшипники удерживаются бортом. Перемещение подшипников в сторону ступицы устраняется защитным кольцом, поставленным на корпус буксы таким образом, что оно закрывает борт подшипника. Вместо бронзовых буксовых наличников к корпусу буксы приварены наличники из стали марки Ст-2.

Буксовые челюсти сварные. Укрепление их с рамой осуществляется помощью сварки.

Модернизируемый паровоз оборудован прибором для продувки труб, который устанавливается на лобовом листе кожуха топки и выходит в огневую коробку. Постановка этого прибора даст возможность паровозным бригадам производить продувку труб на ходу.

Большое внимание уделено устройству будки с целью улучшения условий работы паровозной бригады. Ящики, установленные на площадках паровоза для запаса топлива и воды при работе паровоза без тендера, предполагается снять. Это мероприятие необходимо считать вполне оправданным, так как запас топлива и воды в этих ящиках недостаточен, чтобы направлять паровоз в поезд. Опыт пятилетней эксплуатации паровозов 159 типа показал, что эти ящики никогда не используются и возятся как мертвый груз. Снятие ящиков освобождает площадки и будку машиниста. Вносимые изменения, безусловно, увеличат экономичность и мощность паровоза, обеспечат лучшую работу отдельных деталей и облегчат труд паровозных бригад.

Для сравнения различных паровозов в табл. 9 приводятся данные о главных размерах паровозов 63, 157 и 159 типов.



Таблица 9

Характеристика	Заводские типы паровоза		
	63 серии О	157	159
Система машины	Однократного расширения	2	2
Число цилиндров	355	360	285
Диаметр цилиндров в мм	—	60	52
» штоков в мм	—	40	—
» контрштоков в мм	плоские	180	150
» золотников » »	300	370	300
Ход поршней в мм	750	800	600
Диаметр движущих колес в мм	12	13	13
Давление пара в котле в кг/см <sup>2</sup>	1 024—	1 060—	900—920
Внутренний диаметр котла в мм	— 1 050	— 1 100	—
Высота оси котла над уровнем головки рельса в мм	1 800	1 910	1 615
Расстояние между решетками в мм	2 700	2 700	2 530
Число дымогарных труб	136	81	57
Диаметр » » в мм	38/43	40/45	40/45
Число жаровых труб	—	12	12
Диаметр » » в мм	—	113/121	82,5/89
» перегревателей трубок в мм	—	27/34	18/24
Испаряющая поверхность нагрева в м <sup>2</sup> :			
Котла топки	6	35,4	3,23
Дымогарных труб	49,57	10,92	20,38
Жаровых »	—	42,32	8,49
Полная »	55,57	18,64	32,1
Поверхность нагрева перегревателя (газовая) в м <sup>2</sup>	—	62,85	8,35
Общая поверхность нагрева в м <sup>2</sup>	55,57	1,47	40,45
Площадь колосниковой решетки в м <sup>2</sup>	1,15	1,325	0,718
Объем топочного пространства в м <sup>3</sup>	1,16	1,3	0,6
Вес паровоза порожний в т	19	23,5	14,1
» » в рабочем состоянии в т	21	26	16
» » сцепной в т	21	26	16
Длина паровоза в мм	6 451	6 970	5 916
Полная база колес в мм	2 700	2 850	2 250
Высота в мм	3 650	3 300	2 870
Тендер			
Число осей тендера	3	3	2
Диаметр колес в мм	600	600	550
База тендера » »	1 900	1 900	1 500
Длина » » »	4 630	4 650	3 495
Общая длина паровоза и тендера (между буферами) в мм	—	—	—
Запас воды в тендере в м <sup>3</sup>	11 081	11 790	9 411
» угля » » т	5,84	5,7	3,5
Расчетный вес паровоза с <sup>2</sup> / <sub>3</sub> запаса воды и топлива в т	2,5	2,6	0,8
	—	40	23

## ГЛАВА IV

## СМАЗКА И СМАЗОЧНЫЕ ПРИБОРЫ

Для уменьшения трения в движущихся частях паровоза и тендера необходимо вводить слой смазывающего вещества. Введенная между трущимися поверхностями смазка разделяет их тонким непрерывным слоем, поэтому трение будет происходить не между металлическими поверхностями, а между слоем смазки и металлической поверхностью, что значительно уменьшит трение и износ трущихся поверхностей. Нарушение целостности масляного слоя приводит к соприкосновению трущихся поверхностей, отчего возрастает трение, в результате которого происходят нагревание и задиры, а иногда даже излом этих поверхностей.

Во избежание разрыва смазывающего слоя смазка должна быть настолько вязкой, чтобы она не выдавливалась с трущейся поверхности. Она должна быть текучей, чтобы легко проникала в незначительные зазоры между трущимися поверхностями и хорошо их смазывала. При изменении температуры смазка должна сохранять свои смазывающие качества. Смазка не должна содержать в своем составе веществ, могущих разъедать смазываемые поверхности, т. е. она должна быть нейтральной. Кроме того смазка не должна содержать в себе воды и загрязняющих ее примесей, так как вода уменьшает всасывающую способность фитиля.

Смазки, применяемые для смазывания цилиндров у паровозов, оборудованных пароперегревателем, должны выдерживать высокую температуру перегретого пара без разложения.

Фитили для подачи смазки к трущимся поверхностям изготавливаются из шерстяной пряжи. Фитиль, связываемый проволокой, должен ставиться в трубочку таким образом, чтобы его конец не доходил на 5—7 мм до трущихся поверхностей, а другой конец фитиля, выходящий из трубочки, должен доходить до дна масленки. Это необходимо для того, чтобы даже при минимальном количестве смазки фитиль мог еще тянуть ее. В масленках дышлового подшипников при движении паровоза смазка все время расплескивается, поэтому здесь ставят короткие фитили, концы которых не опускают до дна масленки. При коротких концах смазка на стоянке не подается.

Смазка поршней, цилиндров и золотников должна производиться постоянно и равномерно во все время работы паровоза, так как при перегретом паре даже кратковременный перерыв в подаче смазки неизбежно приводит к задирам поршней и золотников. Однако и излишняя подача смазки не приносит пользы и способствует лишь образованию нагара, порче трущихся поверхностей и пропуску пара вследствие потери кольцами упругости.

Смазка цилиндров и золотников у паровозов, работающих насыщенным паром, производится помощью масленок, устанавливаемых в будке машиниста на лобовом листе кожуха топки. Смазка из этих масленок производится только при закрытом регуляторе. На паровозах 63 типа, работающих на Юго-западной ж. д., для смазки цилиндров применяются лубрикаторы, что гораздо рациональнее.



Для смазки цилиндров и золотников устанавливаются аппараты Фридмана, Боша, Натана и др., которые механически нагнетают смазку в смазочные трубки во время движения паровоза.

На паровозе 157 типа устанавливается нагнетательная масленка Фридмана с невидимой подачей смазки, а на паровозе 159 типа — с видимой подачей.

Устройство этих приборов описывается во всех руководствах и пособиях паровозных машинистов и в специальных инструкциях, поэтому здесь мы не будем касаться этого вопроса, а только напомним основные правила ухода за масленкой.

Во время приемки паровоза паровозная бригада должна убедиться в исправности состояния и действий смазочного прибора, для чего необходимо:

1. Спустить воду из резервуара через спускной кран.
2. Наполнять резервуар смазкой обязательно через сетку.
3. При наличии в резервуаре смазки ее необходимо предварительно подогреть. Перед наполнением резервуара новой смазкой ее надо сперва подогреть до  $40-50^{\circ}$ .
4. Подача смазки в маслопроводы должна быть проверена по контрольным винтам при вращении маховичка рукой. Появление смазки из отверстий каждого штуцера контрольного винта показывает на исправное действие масленки.
- Исправная работа насосиков у прибора с маслоуказательным стеклом проверяется путем сообщения маслоуказательного стекла поочередно с каждым насосиком. Если при вращении маховичка от руки уровень в стекле будет понижаться, следовательно насосики работают исправно.
5. После продолжительной стоянки необходимо сделать 15—20 оборотов маховичка масленки.
6. Подачу смазки можно регулировать путем изменения длины плеча рычага.
7. Привод и передаточный механизм рукоятки необходимо смазывать один или два раза в декаду жидким маслом. В холодное время необходимо к маслу добавлять керосин.
8. При возвращении паровоза из поездки необходимо из масленки спускать воду.
9. Появление сухости или черноты на штоках поршней и золотников при исправных сальниках показывает на недостаточную подачу смазки, поэтому необходимо увеличить подачу ее.
10. Надо следить, чтобы:
  - а) смазка не была застывшей или сгущенной,
  - б) масленка была всегда чистой,
  - в) движущиеся детали не были разработаны.

## ЧАСТЬ ВТОРАЯ

# ТЕПЛОВОЙ ПРОЦЕСС И СИЛА ТЯГИ ПАРОВОЗА

## ГЛАВА I

### РАБОТА ПАРОВОЗНОГО КОТЛА

#### § 1. Теплосодержание газового потока

Известно, что паровоз получает движение за счет сжигания топлива в его огневой коробке, и чем больше будет работа паровоза, тем больше необходимо сжечь топлива. Мощность топki зависит от целого ряда факторов, как то: количества и качества сжигаемого топлива, способа сжигания его, конструкции топki и т. д.

Для определения количества тепла  $Q$  кал, выделяемого при сгорании топлива в течение 1 часа, необходимо знать:

- 1) количество действительно сожженного топлива в 1 час в килограммах —  $B_h$ ;
- 2) количество газов в килограммах, получаемых при сгорании 1 кг топлива, —  $G_b$ ;
- 3) элементарный состав топлива и газов сгорания;
- 4) теплоемкость газов сгорания  $C_p$  и
- 5) температуру газов  $t^{\circ}$ .

Зная эти величины, можно определить тепло, заключенное в газовом потоке, по формуле:

$$Q = B_h \cdot G_b \cdot C_p \cdot t. \quad (1)$$

Средняя теплоемкость газов  $C_p$  при постоянном давлении имеет вполне определенное значение для каждого химического элемента газовой смеси и зависит от температуры.

Средняя теплоемкость газовой смеси определяется следующим выражением:

$$C_p = c + \delta \cdot t.$$

Подставляя в уравнение (1) выражение средней теплоемкости газов  $C_p$ , получим:

$$Q = B_h \cdot G_b \cdot (c + \delta \cdot t) = B_h \cdot G_b \cdot c \cdot t + B_h \cdot G_b \cdot \delta \cdot t^2. \quad (2)$$

Обозначая  $B_h \cdot G_b \cdot c$  через  $M$  и  $B_h \cdot G_b \cdot \delta$  через  $N$ , получим:

$$Q = Mt + Nt^2. \quad (3)$$

Это уравнение называется уравнением тепла и устанавливает зависимость между температурой газов и их теплосодержанием. Проф.



С. П. Сыромятников дает следующие значения для  $G_b \cdot c$  и  $G_b \cdot \delta$  для полного сгорания углерода:

$$G_b \cdot c = 0,549 \frac{C}{CO_2} + 0,0021 \cdot C + 0,0406 \cdot H + 0,0045 \cdot W; \quad (4)$$

$$G_b \cdot \delta = 0,0000445 \frac{C}{CO_2} + 0,0000013 \cdot C + 0,0000044 \cdot H + 0,0000005 \cdot W. \quad (5)$$

При неполном сгорании углерода необходимо вместо  $CO_2$  подставлять  $CO_2 + CO$ .

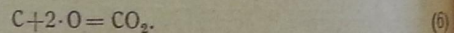
Для практического пользования уравнением тепла необходимо знать:

- 1) расход топлива в 1 час в килограммах,
- 2) химический состав топлива и
- 3) состав отходящих газов.

## § 2. Количество воздуха, необходимого для горения, и коэффициент избытка воздуха

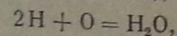
Для сжигания топлива необходимо к нему подвести воздух, кислород которого будет соединяться с горючими элементами топлива, образуя новые газообразные соединения.

Полное сгорание углерода  $C$  в углекислоту  $CO_2$  происходит по формуле:



Так как молекулярный вес углерода 12, а кислорода—16, то следовательно на 12 весовых частей углерода необходимо подвести кислорода 32 весовых части, или на каждую весовую часть углерода  $\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$  весовых частей кислорода. На  $\frac{C}{100}$  кг, входящего в состав 1 кг топлива, необходимо подвести  $\frac{8}{3} \frac{C}{100}$  кг кислорода.

Реакция горения водорода имеет вид:



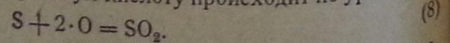
или в весовых частях:

$$2 \cdot 1 + 16 = 18,$$

т. е. для сжигания одной весовой части водорода необходимо подвести  $\frac{16}{2} = 8$  весовых частей кислорода.

Для сгорания  $\frac{H}{100}$  кг водорода нужно будет  $8 \frac{H}{100}$  кг кислорода.

Полное сгорание серы в сернистую кислоту происходит по уравнению:



Молекулярный вес серы равен 32, следовательно для полного сгорания одной весовой части серы необходимо подвести  $\frac{32}{32} = 1$  весовую

часть кислорода. Для сжигания серы, содержащейся в 1 кг топлива, нужно подвести  $\frac{S}{100}$  кг кислорода.

Количество кислорода, необходимое для полного сгорания 1 кг топлива, выразится в виде суммы:

$$\frac{8}{3} \frac{C}{100} + \frac{8 \cdot H}{100} + \frac{S}{100} = \frac{1}{100} \left( \frac{8}{3} C + 8H + S \right) \text{ кг.} \quad (9)$$

Обычно в составе топлива имеется некоторое количество кислорода, который примет участие в горении, поэтому приходится подводить в топку кислорода несколько меньше, чем приведено выше, а именно:

$$\frac{1}{100} \left( \frac{8}{3} C + 8 \cdot H + S - O \right). \quad (10)$$

В действительности в топку вводится воздух, в котором кислород составляет 0,236 части по весу, поэтому теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива будет равно:

$$L_0 = \frac{1}{0,236} \cdot \frac{1}{100} \left( \frac{8}{3} C + 8 \cdot H + S - O \right). \quad (11)$$

Вес 1 м<sup>3</sup> воздуха при 0° и 760 мм давления равен 1,29 кг, поэтому объем воздуха, необходимый для сгорания 1 кг топлива, будет равен:

$$V_0 = \frac{L_0}{1,29} \text{ м}^3. \quad (12)$$

В практических условиях работы топки количество воздуха подводится несколько больше, чем определяемое по формуле (11), и равно:

$$L_g = L_0 \alpha, \quad (13)$$

где  $\alpha$ —коэффициент избытка воздуха, всегда больший единицы. Подвод большего количества воздуха по сравнению с теоретически необходимым обуславливается тем, что на практике не достигается полное и достаточно быстрое перемешивание поступающего воздуха в топку с частицами топлива. Следовательно чем лучше воздух перемешивается с частицами топлива, тем меньше должен быть избыток воздуха.

При нормальном протекании топочного процесса можно считать, что колебание  $\alpha$  происходит в следующих пределах:

Для жидкого топлива . . . . .	$\alpha = 1,15 - 1,3$
„ углей . . . . .	$\alpha = 1,2 - 1,6$
„ дров и торфа . . . . .	$\alpha = 1,5 - 2,0$

Коэффициент избытка воздуха зависит не только от химических и физических свойств топлива, но и от конструкции топки, умения топить, требуемой форсировки топки и т. д.

Коэффициент избытка воздуха определяется на основании данных о составе топочных газов, которые получают опытным путем при помощи



газоанализаторов. При анализе 100 объемных частей газа получается  $\text{CO}_2$  объемных частей углекислоты,  $\text{CO}$  объемных частей окиси углерода,  $\text{O}_2$  объемных частей кислорода и  $\text{N}$  объемных частей азота.

Так как в воздухе количество азота по объему равно 79%, то объемное количество азота, вводимое в топку при сжигании 1 кг топлива, будет равно:

$$\text{N} = 0,79 \cdot V_0 \cdot \alpha, \quad (1)$$

где  $V_0$ —объем воздуха, теоретически необходимый для сгорания 1 кг топлива в кубических метрах;

$\alpha$ —коэффициент избытка воздуха.

Количество кислорода, вводимое в топку, равно:

$$0,21 \cdot V_0 \cdot \alpha. \quad (15)$$

При условии полного сгорания на горение расходуется  $0,21 \cdot V_0 \cdot \alpha$  кислорода.

Так как углерод топлива не полностью сгорает в углекислоту, а частично в окись углерода, то расход кислорода будет меньше на величину  $\frac{\text{CO}}{2}$ . Следовательно расход кислорода на сжигание топлива будет равен:

$$0,21 \cdot V_0 - \frac{\text{CO}}{2}. \quad (16)$$

Избыток кислорода в газах определится как разность выражений (15) и (16), т. е.

$$\text{O}_2 = 0,21 \cdot V_0 \cdot \alpha - \left( 0,21 \cdot V_0 - \frac{\text{CO}}{2} \right),$$

откуда:

$$\text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2} = 0,21 \cdot V_0 (\alpha - 1). \quad (17)$$

Разделив почленно выражение (14) на выражение (17), получим:

$$\frac{\text{N}}{\text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2}} = \frac{0,79 \cdot V_0 \cdot \alpha}{0,21 \cdot V_0 (\alpha - 1)}.$$

Решая это уравнение относительно  $\alpha$ , получим:

$$\alpha = \frac{1}{\frac{\text{O}_2 - \frac{\text{CO}}{2}}{\text{N} - 3,76}}$$

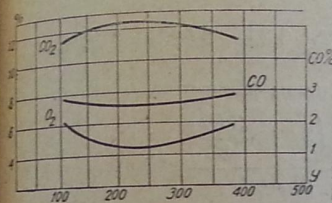
Количество окиси углерода может быть определено по формуле:

$$\text{CO} = \frac{21 - \beta \cdot \text{CO}_2 - (\text{CO}_2 + \text{O}_2)}{0,606 + \beta}, \quad (19)$$

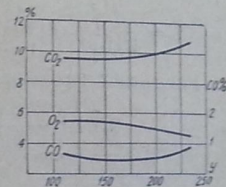
$$\beta = \frac{2,37 \left( \frac{\text{H} - \text{O}}{8} \right)}{\text{C}} \text{ химическая характеристика топлива.}$$

Количество азота определяется из выражения:

$$100 = \text{CO}_2 + \text{CO} + \text{O}_2 + \text{N}_2. \quad (20)$$



Фиг. 107



Фиг. 108

При проектировании паровоза ожидаемый состав продуктов сгорания можно получить из выражений (18), (19) и (20). В этих уравнениях являются неизвестными  $\alpha$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  и  $\text{N}_2$ . Химическая характеристика топлива  $\beta$  может быть определена по известному элементарному составу топлива.

Для решения этих уравнений обычно задаются величинами  $\alpha$  и  $\text{CO}$ .

Опытные данные анализа газов для паровоза 63 типа, испытывавшегося на угле, приведены на фиг. 107, для паровоза 157 типа на нефтяном отоплении — на фиг. 108, а для паровоза 159 типа на угольном отоплении по опытам 1931 г. на фиг. 109.

Количество газов, получаемое от сгорания 1 кг топлива, определяется по формуле:

$$G_g = \alpha L_0 + (1 - A), \quad (21)$$

где  $A$ —количество золы, получаемое при сгорании 1 кг топлива. При нефтяном отоплении  $A = 0$ .

Пример. Дан уголь марки ПС следующего элементарного состава (по рабочему топливу):

Углерод	$\text{C}_p = 70,20\%$	Влага	$W_p = 5,11\%$
Водород	$\text{H}_p = 3,62\%$	Зола	$A_p = 13,55\%$
Азот	$\text{N}_p = 1,21\%$	Сера	$S_p = 3,29\%$
Кислород	$\text{O}_p = 3,02\%$		



Во время опыта над паровозом 159 типа получены продукты сгорания:

$$\text{CO}_2 = 11,2\% \text{ и } \text{O}_2 = 7,6\%.$$

Определить: 1) Теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 кг топлива  $L_0$ .  
 2) Количество окиси углерода CO.  
 3) Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ .  
 4) Количество газов, получаемых при сгорании 1 кг топлива  $G_b$ .  
 Количество теоретически необходимого воздуха для сгорания 1 кг топлива определяем по формуле (11), подставляя соответствующие числовые значения элементов из состава топлива:

$$L_0 = \frac{1}{23,6} \left( \frac{8}{3} \cdot 70,20 + 8 \cdot 3,62 + 3,29 - 3,02 \right) = 9,18 \text{ кг.}$$

Химическая характеристика топлива равна:

$$\beta = \frac{2,37 \left( \text{H} - \frac{\text{O}}{8} \right)}{\text{C}} = \frac{2,37 \left( 3,62 - \frac{3,02}{8} \right)}{70,20} = 0,109.$$

Подставляя значение  $\beta$  в уравнение (19), получим:

$$\text{CO} = \frac{21 - 0,109 \cdot 11,2 - (11,2 + 7,6)}{0,605 + 0,109} = 1,37\%.$$

Количество азота, заключенное в составе продуктов сгорания, равно:

$$\text{N}_2 = 100 - \text{CO}_2 - \text{CO} - \text{O}_2 = 100 - 11,2 - 1,37 - 7,6 = 79,83\%.$$

Имея все данные, определяем  $\alpha$  из выражения (18):

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{7,6 - 0,5 \cdot 1,37}{79,83}} = 1,48.$$

Вес газов, получаемых при сгорании 1 кг топлива:

$$G_b = \alpha \cdot L_0 + (1 - A) = 1,48 \cdot 9,18 + (1 - 0,1355) = 14,43 \text{ кг.}$$

### § 3. Располагаемое тепло и теоретическая температура горения

Для определения располагаемого тепла необходимо знать теплотворную способность топлива, которая для приведенного выше состава топлива согласно лабораторному анализу равна:

$$Q_p^p = 6880 \text{ кал/кг.}$$

Количество топлива, сжигаемое на 1 м<sup>2</sup> площади колосниковой решетки в 1 час, по вышеприведенному опыту равно:

$$Y = 300 \text{ кг/м}^2/\text{час.}$$

Паровоз 159 типа имеет площадь колосниковой решетки  $R = 0,718 \text{ м}^2$ ; следовательно часовой расход топлива будет:

$$B_h = Y \cdot R = 300 \cdot 0,718 = 215,4 \text{ кг,}$$

принимая 216 кг.

Количество тепла, выделяемого в 1 час при сжигании топлива, определяется из выражения:

$$Q_0 = B_h \cdot Q_p^p.$$

Для нашего конкретного случая тепло, выделенное топливом, будет равно:

$$Q_0 = 215,4 \cdot 6880 = 1\,486\,000 \text{ кал/час.}$$

Строго говоря, к этому теплу следует прибавить тепло, вносимое с воздухом, необходимым для горения. Однако даже при очень высокой наружной температуре это тепло по сравнению с  $Q_0$  ничтожно мало, и потому при обычных расчетах им пренебрегают; иными словами, температуру наружного воздуха принимают равной 0°.

При отсутствии в топке тепловых потерь все располагаемое тепло пошло бы на повышение температуры газов. Наибольшая температура, которая бы устанавливалась в огневой коробке, может быть определена из уравнения тепла:

$$Q_0 = B_h \cdot Q_p^p = MT_0 + NT_0^2, \quad (22)$$

откуда:

$$T_0 = \frac{-M \pm \sqrt{M^2 + 4NQ_0}}{2N}.$$

Эту температуру называют теоретической температурой горения. Теоретическая температура горения не зависит от расхода топлива, так как расход топлива входит множителем в обе части уравнения, т. е.

$$Q_0 = B_h \cdot Q_p^p = B_h \cdot G_b \cdot c \cdot T_0 + B_h \cdot G_b \cdot \delta \cdot T_0^2.$$

Теоретическая температура горения, как установлено, зависит от избытка воздуха, т. е. с увеличением его она падает. Для нашего примера коэффициенты уравнения кривой тепла будут иметь следующие значения:

$$G_b \cdot c = 0,5499 \frac{70,2}{11,2 + 1,37} + 0,0021 \cdot 70,2 + 0,0406 \cdot 3,62 + 0,0045 \cdot 5,11 = 3,387;$$

$$G_b \cdot \delta = 0,0000445 \frac{70,2}{11,2 + 1,37} + 0,0000013 \cdot 70,2 + 0,0000044 \cdot 3,62 + 0,0000005 \cdot 5,11 = 0,0003666.$$

Коэффициенты:

$$M = B_h \cdot G_b \cdot c = 216 \cdot 3,387 = 732;$$

$$N = B_h \cdot G_b \cdot \delta = 216 \cdot 0,0003666 = 0,0792.$$



Подставляя полученные значения в уравнение (22), будет иметь:  
 $1\,486\,000 = 732 T_0 + 0,0792 T_0^2$ ,

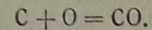
откуда температура горения:

$$T_0 = \frac{\sqrt{732^2 + 4 \cdot 0,0792 \cdot 1\,486\,000} - 732}{2 \cdot 0,0792} \approx 1680^\circ.$$

У ширококолейных паровозов теоретическая температура горения при нормальных рабочих условиях на угольном отоплении колеблется в пределах  $T_0 = 1450-1700^\circ$ . Теоретическая температура горения для нефти будет несколько выше подсчитанной нами, а при дровах и торфяном отоплении она будет ниже.

#### § 4. Потери тепла от химической неполноты сгорания и механические потери

При неполном сгорании углерода реакция горения происходит по уравнению:



Кроме этого продуктами неполного сгорания углерода является сажа (С), но образование сажи при нормальных условиях работы является незначительным, поэтому при расчетах она не принимается во внимание.

При определении потери тепла от химической неполноты горения исходят из следующего. Объем сухих газов, образующихся в топке при сжигании 1 кг топлива, равен:

$$\frac{C}{0,54(CO_2 + CO)} \cdot M^3,$$

где 0,54 — вес углерода, содержащегося в 1 м<sup>3</sup> углекислоты, или окиси углерода.

Так как количество окиси углерода в 1 м<sup>3</sup> составляет  $\frac{CO}{100}$  объемных частей, то содержание ее в продуктах сгорания 1 кг топлива будет равно:

$$\frac{C}{0,54(CO_2 + CO)} \cdot \frac{CO}{100} \cdot M^3.$$

Вес 1 м<sup>3</sup> окиси углерода равен 1,251 кг, поэтому вес окиси углерода при сжигании 1 кг топлива будет равен:

$$\frac{1,251}{0,54} \cdot \frac{C}{(CO_2 + CO)} \cdot \frac{CO}{100} = 2,34 \cdot \frac{C}{CO_2 + CO} \cdot \frac{CO}{100} \text{ кг.}$$

Теплотворная способность окиси углерода равна 2453 кал, поэтому количество тепла, недовыделенного топливом вследствие неполного сгорания углерода, будет равно:

$$2,34 \cdot \frac{C}{CO_2 + CO} \cdot \frac{CO}{100} \cdot 2453 = 56,9 \cdot C \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} \text{ кал/кг.} \quad (23)$$

Полная потеря тепла при сгорании в 1 час  $B_h$  кг топлива будет:

$$Q'_2 = 56,9 \cdot C \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} \cdot B_h \text{ кал/час.}$$

Для определения потери от химического недогорания топлива в процентах от располагаемого тепла, будем иметь:

$$q'_2 = \frac{Q'_2}{Q_0} \cdot 100 = \frac{56,9 \cdot C}{B_h \cdot Q_n^p} \cdot \frac{CO}{CO_2 + CO} \cdot B_h. \quad (24)$$

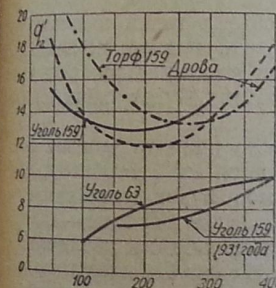
Часовой расход топлива, входящий в числитель и знаменатель, сокращается.

Для нашего примера потери тепла от химического недогорания топлива будут:

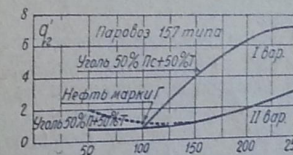
$$Q'_2 = 56,9 \cdot 70,2 \cdot \frac{1,37}{11,2 + 1,37} \cdot 216 = 94\,264 \text{ кал,}$$

или в процентах от располагаемого тепла:

$$q'_2 = \frac{Q'_2}{Q_0} \cdot 100 = \frac{94\,264}{1\,486\,000} \cdot 100 = 6,23\%.$$



Фиг. 110



Фиг. 110а

На фиг. 110 приведены кривые потерь от химического недогорания топлива в зависимости от напряжения колосниковой решетки для паровозов 159 типа по опытам 1931 и 1936 гг. и для паровоза 63 типа. Для паровоза 157 типа эти потери приводятся на фиг. 110а, где обозначения I и II варианты соответствуют различным формам насадок конуса, его различной высоте по отношению к оси котла и с различными искроудержательными приборами.

Огромное влияние на удовлетворительную работу котла играет объем топочного пространства. Для сравнения узкоколейных паровозов с ширококолейными приводится табл. 10 основных соотношений. Из приведенной таблицы видно, что паровоз колосниковой решетки. Этот паровоз во время испытания вследствие малого объема топки и плохой конфигурации зольника давал высокие потери от химического недогорания топлива, доходившие до 15% от располагаемого тепла вместо 5%, полученных у паровоза серии С<sup>у</sup> при тех же условиях работы.



Таблица 10

Тип и серия паровоза	Ширина колеи в мм	Объем топki в м³ V <sub>m</sub>	Площадь колосниковой решетки в м² R	V <sub>m</sub> /R	Поверхность нагрева топki в м² H <sub>m</sub>	Испар. поверхность нагрева в м² H <sub>1</sub>	H <sub>1</sub> /V <sub>m</sub>	H <sub>m</sub> /R	H <sub>1</sub> /R
0-4-0 O° . . . . .	1524	2,9	1,85	1,57	10,7	152,6	52,5	5,8	82,5
0-4-0 B1ч . . . . .	1524	4,1	2,55	1,61	11,7	147,4	36,0	4,6	47,8
0-4-0 Ц . . . . .	1524	5,5	2,80	1,96	15,2	205,1	31,0	5,42	73,6
0-5-0 Э . . . . .	1524	6,6	4,46	1,48	18,1	207,1	38,0	4,05	46,5
2-4-0 М . . . . .	1524	8,87	5,95	1,49	18,4	251,1	29,4	3,1	44,0
159 . . . . .	750	0,60	0,718	0,835	3,23	32,1	53,5	4,5	44,7
159 тип Модерн¹ . . . . .	750	1,0	1,04	0,961	5,05	32,16	32,16	4,85	30,9
157 . . . . .	750	1,3	1,325	0,981	5,40	43,64	37,5	4,07	35,8
63 . . . . .	750	1,16	1,15	1,0	6,0	55,57	48,0	5,21	48,4

В узкоколейных паровозах отношение объема топki к площади колосниковой решетки значительно меньше, чем в ширококолейных, следовательно при одинаковых напряжениях колосниковой решетки количество топлива, приходящееся на 1 м³ объема, будет значительно больше.

Если напряжение колосниковой решетки принять равным 300 кг/м²/час, то количество топлива, приходящееся на 1 м³ объема, для вышеприведенных ширококолейных паровозов будет колебаться в пределах 191—202 кг, а для узкоколейного паровоза 159 типа—416 кг, что ведет к неполному сгоранию, а следовательно и к увеличению потерь от химического недогорания топлива. На фиг 111 представлены потери от химического недогорания топлива в зависимости от расхода топлива на 1 м³ объема топki.

Модернизируемый паровоз 159 типа должен иметь меньшую потерю от химического недогорания топлива вследствие увеличения отношения  $\frac{V_m}{R}$ .

Кроме потерь тепла от химического недогорания топлива существуют еще так называемые механические потери, которые разделяются на:

- 1) потери в шлаках, остающихся на колосниковой решетке;
  - 2) потери от провала несгоревших частиц топлива, шлаков, кокса и золы в зольник;
  - 3) потери от несгоревшего топлива, унесенного в дымовую коробку;
  - 4) потери от несгоревшего топлива, унесенного в дымовую трубу.
- Так как значительная часть более мелких угольков уносится, несмотря на предохранительные сетки, вместе с дымом в трубу, то оче-

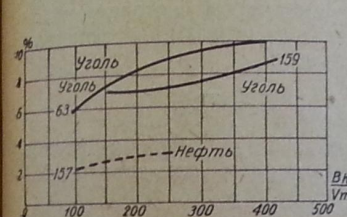
¹ Вновь строящийся паровоз.

видно, что даже самый точный метод учета и взвешивания несгоревших остатков у паровозов не достигает цели.

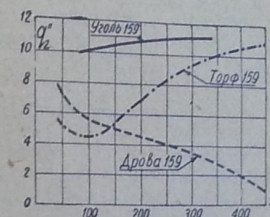
Поэтому при подсчете теплового баланса котла всегда получается невязка, достигающая в зависимости от качества топлива и тщательности учета от 7 до 15%.

Если веса уноса, провала и остатка на колосниковой решетке, отнесенные к 1 часу работы котла, обозначить через  $B_y$ ,  $B_n$  и  $B_0$ , а теплоотворную способность шлаков в зольнике — через  $K_n$ , кокса — через  $K_0$  и унесенного топлива в дымовую коробку — через  $K_y$ , то общая потеря от механического недогорания топлива в процентах от располагаемого тепла может быть определена следующим образом:

$$q_2'' = \frac{B_y \cdot K_y + B_n \cdot K_n + B_0 \cdot K_0}{B_h \cdot Q_h^p} \cdot 100.$$



Фиг. 111



Фиг. 112

На основании опытов установлено, что механические потери возрастают:

- 1) с увеличением напряжения колосниковой решетки  $U$ ,
- 2) с увеличением коэффициента избытка воздуха  $a$ ,
- 3) с уменьшением влаги в топливе,
- 4) с увеличением мелочи в топливе,
- 5) с уменьшением содержания летучих в топливе.

На фиг. 112 даны кривые механических потерь для паровоза 159 типа. Характер кривой для дров объясняется тем, что с повышением форсировки толщина слоя дров на решетке резко возрастает, и горение происходит внутри слоя. Лежащие поверх слоя еще не горящие поленья затрудняют унос мелких угольков. Известно, что при меньшем сечении конуса, но при одном и том же режиме работы, скорость струи пара, вылетающего из конуса, увеличивается, вызывая возрастание разрежения в дымовой коробке и скорости протекания газов по трубкам, а следовательно и увеличение уноса частиц топлива. Это предположение очевидно, так как провал в зольник остается почти постоянным величиной по отношению к часовому расходу топлива.

Для уменьшения уноса, как показала практика, необходимо прибегать к смачиванию угля, однако нужно иметь в виду, что при этом понижается температура в топке. Кроме того для борьбы с уносом могут быть использованы топочные своды, которые помимо основного



своего назначения — аккумуляции тепла и поддержания в топке более равномерной температуры — способствуют догоранию мелких частиц в пределах топочного пространства.

При дровяном отоплении механические потери гораздо меньше, чем при угольном, а при нефтяном отоплении эти потери принимают равные нулю. Иногда при очень слабой интенсивности горения имеет место утечка нефти в поддувало.

Если учесть химические и механические потери сгорания, обозначаемые через  $Q'_1$  и  $Q''_1$ , то действительно реализуемое в топке тепло может быть выражено следующим уравнением:

$$Q = Q_0 - (Q'_1 + Q''_1). \quad (25)$$

При подстановке этой величины в общее уравнение тепла можно определить так называемую действительную температуру горения  $T_1$ .

На угольном, дровяном и торфяном отоплении, которому присущи механические потери, уравнение тепла для определения действительной температуры горения будет иметь вид:

$$Q = Q_0 - (Q'_1 + Q''_1) = \mu(MT_1 + NT_1^2). \quad (26)$$

Подстановка  $\mu$  необходима потому, что в состав коэффициентов  $M$  и  $N$  должно входить только фактически сгоревшее топливо, т. е.

$$\mu \cdot B_n,$$

где  $\mu$  — коэффициент механической полноты горения. Цифровые значения коэффициента  $\mu$  можно получить из приведенных кривых механических потерь следующим образом:

$$\mu = 1 - q_2.$$

Для нашего примера коэффициент  $\mu$  будет равен:

$$1 - 0,112 = 0,888.$$

Потеря тепла от механического недогорания топлива может быть определена из уравнения:

$$Q'_1 = (1 - \mu)Q_0 = (1 - 0,888) \cdot 1486000 = 166432 \text{ кал/час.}$$

Действительно реализованное тепло в топке для нашего примера будет равно:

$$Q = 1486000 - (94264 + 166432) = 1225300 \text{ кал/час.}$$

Подсчитав  $Q$ , можно определить действительную температуру горения:

$$1225300 = 0,888(732T_1 + 0,0792T_1^2),$$

откуда

$$T_1 = \frac{-639 + \sqrt{639^2 + 4 \cdot 1225300 \cdot 0,0703}}{2 \cdot 0,0703} = 1620^\circ.$$

Температура  $T_1$  зависит от величины тепловых потерь, которые изменяются в зависимости от коэффициента избытка воздуха и напряжения колосниковой решетки  $Y$ , следовательно

$$T_1 = f(Y, \alpha).$$

Этот вывод подтверждается опытными данными о химических и механических потерях.

### § 5. Потери тепла с уходящими газами, на внешнее охлаждение котла и на служебные нужды

Потери тепла с отходящими газами легко определяются по известному уравнению тепла:

$$Q_2 = \mu(MT_2 + NT_2^2), \quad (27)$$

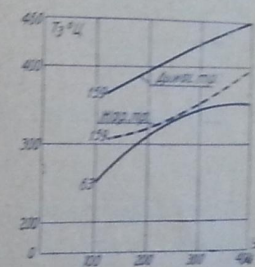
где  $T_2$  — температура уходящих газов в дымовой коробке. Эта температура у паровозов довольно сильно колеблется в зависимости от форсировки решетки, качества топлива и избытка воздуха. Существенную роль играет отношение трубчатой поверхности нагрева к поверхности нагрева огневой коробки: чем меньше это отношение, тем выше температура уходящих газов, и наоборот.

У паровозов узкоколейных вследствие меньшей длины труб это отношение получается меньшим, чем у ширококолейных, а потому и температура уходящих газов при одном и том же давлении у них несколько выше. Проф. С. П. Сыромятников указывает также, что играет роль и сама длина труб: при одной и той же поверхности нагрева, но при более коротких трубах,  $T_2$  получается выше.

На фиг. 113 представлены температуры отходящих газов для паровозов 159 и 63 типов в зависимости от напряжения колосниковой решетки, а на фиг. 114 — для паровоза 159 типа по опытам 1936 г.<sup>1</sup> Судить о величине потерь тепла  $Q_2$  с уходящими газами в процентах от располагаемого тепла для паровоза 159 типа по опытам 1936 г. и паровоза 63 типа можно по диаграмме фиг. 115, а для паровоза 157 типа — по фиг. 116.

Воспользуемся температурой уходящих газов из фиг. 113 при  $\alpha = 300 \text{ кг/м}^2/\text{час}$  и определим потери с уходящими газами в процентах от располагаемого тепла. Для нашего примера температура отходящих газов из дымогарных труб равна  $420^\circ$ , а из жаровых труб  $360^\circ$ .

Средняя температура отходящих газов зависит от того, как разделяется газовый поток между дымогарными и жаровыми трубами. Доля газов, идущих в жаровые трубы, на паровозе 159 типа  $\beta = 0,352$ ,



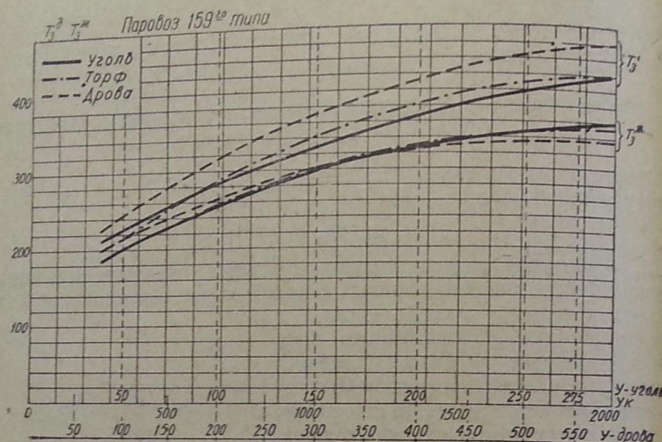
Фиг. 113

<sup>1</sup> Опыты производились ВНИИПТ.



а в дымогарные  $1-\beta=1-0,352=0,648$ , поэтому средневзвешенная температура уходящих газов будет:

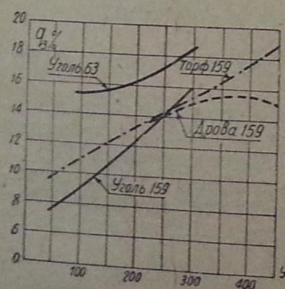
$$T_3 = 0,352 \cdot 360 + 0,648 \cdot 420 = 399^\circ.$$



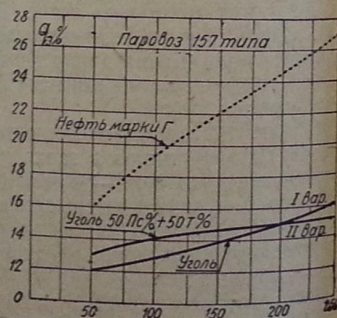
Фиг. 114

Потеря тепла с уходящими газами определится из уравнения:

$$Q_3 = \mu(MT_3 + NT_3^2) = 639 \cdot 399 + 0,0703 \cdot 399^2 = 265\,350 \text{ кал/час.}$$



Фиг. 115



Фиг. 116

В процентном выражении от располагаемого тепла это будет равно:

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_0} \cdot 100 = \frac{265\,350}{1\,486\,000} \cdot 100 = 17,8\%,$$

что отличается от приведенных потерь только на 1,8%. На диаграмме фиг. 115 при  $y=300$  потеря  $q_3=16\%$ .

Ознакомившись с потерей от уходящих газов, рассмотрим потерю на внешнее охлаждение котла. Анализ этой потери на основе многих специальных опытов с достаточной полнотой произведен проф. С. П. Сыромятниковым, который предложил пользоваться формулой:

$$Q_4 = \psi \cdot H_0(2,20 + 0,21 \cdot V^{0,7}) (t_k - t_0)^{\frac{4}{3}}, \quad (28)$$

где  $\psi$  — коэффициент, зависящий от качества изоляции 1:

Для хорошей асбестовой изоляции	$\psi = 0,40$
" изоляции стеклянной ватой	$\psi = 0,48$
" частичной изоляции	$\psi = 0,61$
" неизолированного котла	$\psi = 1,00$

$H_0$  — поверхность охлаждения в квадратных метрах;

$V$  — скорость движения паровоза в км/час;

$t_k$  — температура воды в котле в градусах Цельсия;

$t_0$  — температура окружающего воздуха в градусах Цельсия.

Как видно из формулы, потеря на внешнее охлаждение зависит от качества изоляции, скорости движения и разности температур между котловой водой и окружающим воздухом.

Эта потеря тепла в процентном отношении к располагаемому теплу топлива выразится следующим образом:

$$q_4 = \frac{Q_4}{Q_0} \cdot 100.$$

Специальных испытаний над узкоколейными паровозами для выявления потерь  $Q_4$  не производилось, но можно предполагать, что формула (28) даст результаты, близкие к действительности, поскольку она справедлива для паровозов нормальной колеи.

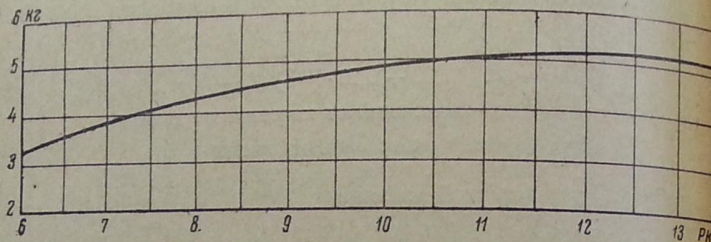
Кроме рассмотренных потерь, обуславливаемых сущностью теплового процесса, имеются еще потери тепла на устройства для обслуживания самого паровоза. К этим потерям относятся расход пара на сифон, паровой тормоз, если паровоз им оборудован, свисток, подогрев пресс-масленки.

При нефтяном отоплении необходимо учесть расход пара на форсунку.

Все перечисленные потери определяют опытным путем, каждую в отдельности, предварительно до начала теплотехнических опытов над паровозом. Вследствие того что расход пара в единицу времени на действие того или иного прибора зависит от давления пара в котле, то для облегчения дальнейших подсчетов строят вспомогательные кривые. Такая кривая для сифона паровоза 159 типа представлена на фиг. 117. Расход пара определяется следующим образом: во время испытания паровоза отмечают продолжительность работы сифона и давление пара в котле во время работы сифона. Зная давление пара



в котле, по кривой определяется расход пара на сифон в 1 мин., а затем, умножая эту величину на время действия сифона, получим общий расход пара. Таким же образом определяется расход пара и на другие потребности.

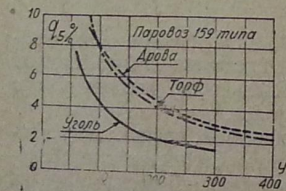


Фиг. 117

Если обозначить общий расход пара на служебные нужды через  $\Sigma b$ , а теплосодержание пара — через  $\lambda_k$ , то часовой расход тепла из котла на служебные нужды можно определить следующим образом:

$$Q_5 = \frac{\Sigma b (\lambda_k - \tau)}{t_x} \text{ кал/час}, \quad (29)$$

где:  $\tau$  — температура воды в тендере.  
 $t_x$  — время опыта в часах.



Фиг. 118

Если известно количество пара, приготовляемого котлом в 1 час  $B_k$ , и часовой расход пара машиной  $B_m$ , то потери тепла на служебные нужды будут:

$$Q_5 = (B_k - B_m) (\lambda_k - \tau) \text{ кал/час}. \quad (30)$$

Потери тепла на служебные нужды в процентах от располагаемого тепла:

$$q_5 = \frac{Q_5}{Q_0} \cdot 100. \quad (31)$$

Величины служебных потерь для паровозов 159 и 157 типов представлены на фиг. 118 и 119.

Можно считать, что потери на служебные нужды при нормальных условиях работы на угольном отоплении колеблются в пределах от 1 до 2% от располагаемого тепла.

## § 6. Определение полезно использованного тепла и коэффициент полезного действия котла

То тепло, которое идет на образование насыщенного пара в паровом котле, на осушку пара и перегрев, если котел снабжен пароперегревателем, называется полезным теплом.

При одинаковом давлении пара в котле за время опытной поездки и при одном и том же уровне воды в стекле перед началом работы и в конце количество испаренной воды будет равно расходу ее из тендера при условии отсутствия утечки воды при закатках инжекторов.

Обозначая расход воды через  $A$  килограммов, теплосодержание 1 кг пара — через  $\lambda_k$  и питательной воды — через  $\tau$ , можем получить полезно использованное тепло из следующего простого выражения:

$$Q_1 = \frac{A(\lambda_k - \tau)}{t_x} \text{ кал/час}.$$

При питании котла водой происходит ее потеря через вестовые трубы инжекторов. Это необходимо учесть при определении полезно использованного тепла. Количество пара, приготовленное котлом, не все реализуется на работу паровой машины, так как часть пара из котла расходуется на служебные нужды, поэтому с точки зрения работы паровой машины полезно использованным теплом будет называться то тепло, которое попало в машину.

Количество пара, приготовленное котлом для работы машины, будет равно:

$$V = A - a_i - \Sigma b,$$

где  $a_i$  — потеря воды инжекторами,

$\Sigma b$  — сумма служебных расходов пара.

Во время испытания паровоза часто бывает, что за время опытной поездки уровень воды в стекле понижается против первоначального, поэтому к расходу воды по тендеру необходимо прибавить весовое количество котловой воды, превращенной в пар, что подсчитывается по уровням воды в стекле.

Если обозначить количество воды в котле перед началом опыта через  $h_0$  килограммов и в конце опыта — через  $h_1$  килограммов, то количество воды, превращенной в пар, будет равно:

$$h_0 - h_1.$$

Количество тепла, пошедшее на превращение 1 кг котловой воды в пар, будет равно:

$$\lambda_k - q_k,$$

а за время опыта:

$$(h_0 - h_1) \cdot (\lambda_k - q_k),$$



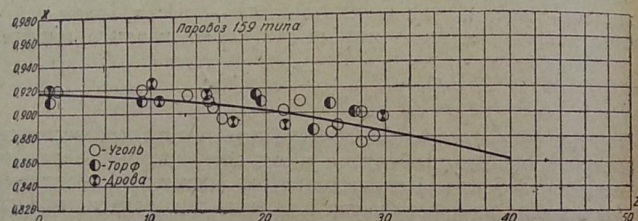
где  $\lambda_k$  — теплосодержание 1 кг пара в калориях,  
 $q_k$  — теплосодержание 1 кг котловой воды в калориях.  
 Принимая во внимание все поправки, уравнение (31) примет следующий вид:

$$Q_1 = \frac{(A - a_t - \Sigma b)(\lambda_k - \tau) + (h_0 - h_1)(\lambda_k - q_k)}{t_x} \quad (32)$$

При подсчетах по паспортным данным и проектировании новых паровозов полезное тепло определяется по формуле:

$$Q_1 = B_m(\lambda_a - \tau) + (B_k - B_m)(\lambda_k - \tau), \quad (33)$$

где  $B_m$  — расход пара на машину в 1 час,  
 $B_k$  — полный часовой расход пара в килограммах,  
 $\lambda_a$  — теплосодержание перегретого пара.



Фиг. 120

Теплосодержание 1 кг сухого пара можно определить по формуле:

$$\lambda = q_k + r = 608 + 0,311 \cdot t_k, \quad (34)$$

где  $t_k$  — температура пара в котле,  $q_k$  — теплота жидкости, при данном давлении,

$r$  — полная скрытая теплота парообразования. Значение  $r$  может быть определено из равенства:

$$r = 610,2 - 0,712 \cdot t_k. \quad (35)$$

Обе приведенные формулы справедливы только для паров с температурами от 100 до 200°, т. е. вполне применимы для паровозных котлов, давление пара в которых не превышает 17 ат.

Все эти величины можно брать непосредственно из таблиц или диаграммы I—S.

При различных подсчетах необходимо иметь в виду, что получаемый пар в котле не является сухим, а имеет определенный процент влажности, который необходимо учесть.

Сухость пара зависит от объема парового пространства котла и от специальных устройств для осушки пара. Нормально степень сухости колеблется в пределах 0,92—0,95; в паровозе 159 типа, имеющего недостаточный объем парового пространства, степень сухости, по опытам ВНИИПТ, при форсировке котла  $Z_k = 40$  кг/м²/час снижается до 0,86 (фиг. 120).

Пренебрежение степенью сухости может привести к неверным выводам.

Если обозначить степень сухости пара через  $x$ , то теплосодержание 1 кг влажного пара может быть определено из выражения:

$$\lambda_k' = q_k + x \cdot r. \quad (36)$$

Теплосодержание перегретого пара можно определять по формуле:

$$\lambda_a = q_k + r + C_p(t_a - t_k), \quad (37)$$

где  $C_p$  — средняя теплоемкость перегретого пара,

$t_a$  — температура перегретого пара.

Значения средних теплоемкостей по Кноблауху и Райшу приведены в табл. 11.

Таблица 11

$P$ в кг/см²	2	4	6	8	10	12	14	16
$t_k$ °C	119,6	142,9	158,1	169,6	179,1	187,1	194,1	200,4
$t_a = 140$	0,490	—	—	—	—	—	—	—
$t_a = 180$	0,487	0,512	0,538	0,569	—	—	—	—
$t_a = 200$	0,485	0,507	0,530	0,556	0,584	0,615	0,653	—
$t_a = 240$	0,482	0,500	0,519	0,539	0,559	0,581	0,605	0,631
$t_a = 280$	0,480	0,496	0,512	0,527	0,544	0,562	0,579	0,597
$t_a = 300$	0,480	0,495	0,510	0,524	0,539	0,555	0,570	0,585
$t_a = 340$	0,481	0,493	0,507	0,518	0,532	0,545	0,557	0,570
$t_a = 380$	0,482	0,494	0,505	0,515	0,527	0,538	0,548	0,560
$t_a = 400$	0,483	0,494	0,505	0,514	—	—	—	—

Чтобы иметь представление о температуре перегретого пара на узкоколейных паровозах, заметим, что при испытании паровоза 159 типа в 1931 г. температура пара в коллекторе была получена не выше 225°. Во время испытания этого же паровоза в 1936 г. при измененной конусной установке температура пара в коллекторе была получена несколько выше: около 310° (фиг. 121).

На фиг. 122 представлены температура пара в золотниковой коробке и отношение теплосодержания перегретого пара к нормальному в зависимости от форсировки котла  $Z_k$  кг/м²/час для паровоза 157 типа.

Для нахождения теплосодержания перегретого пара в золотниковой коробке для паровоза 157 типа можно воспользоваться данными той же фиг. 122, из которой

$$\lambda' = \gamma \cdot \lambda_n,$$

где  $\lambda_n$  — теплосодержание 1 кг пара, приведенного к давлению 1 ат, равное 640 ккал/кг.

Из приведенных графиков температуры перегретого пара видно, что она несколько ниже, чем у ширококолейных паровозов, что указывает на несовершенство рабочего процесса пароперегревателей



и на необходимость срочно заняться вопросами их модернизации.

В практике теплотехнических расчетов пользуются двумя коэффициентами полезного действия котла  $\eta_k$  нетто,  $\eta_k$  брутто, т. е.

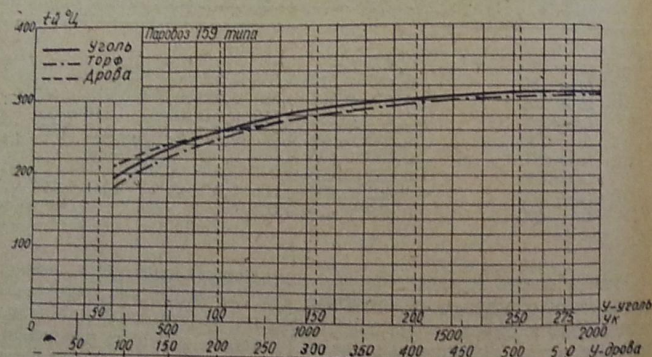
$$\eta_k^{бр} = \frac{Q_1 + Q_5}{Q_0}; \quad (38)$$

$$\eta_k^{нетто} = \frac{Q_1}{Q_0} \quad (39)$$

или для паровоза с перегревателем:

$$\eta_k^{бр} = \frac{B_m(\lambda_a - \tau) + (B_k - B_m)(\lambda_k - \tau)}{B_h \cdot Q_n^p}; \quad (40)$$

$$\eta_k^{нетто} = \frac{B_m(\lambda_a - \tau)}{B_h \cdot Q_n^p}. \quad (41)$$



Фиг. 121

Рассмотрев все тепловые потери в котле и полезно использованное тепло, можно написать тепловой баланс котла в виде уравнения:

$$Q_0 = Q_1 + Q'_2 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5. \quad (42)$$

По условиям нашего примера, для определения полезного тепла будем иметь следующие цифровые данные:  $B_k = 1199$  кг в час;  $B_m = 1165$  кг в час;  $\lambda_a = 732$  кал/кг при  $t_a = 310^\circ$ ;  $\lambda_k = 606$  кал/кг при степени сухости  $x = 0,87$ ;  $\tau = 17^\circ$  (вода в тендере). Полезное тепло за вычетом служебных потерь будет:

$$Q_1 = B_m(\lambda_a - \tau) = 1165(732 - 17) = 834000 \text{ кал/час.}$$

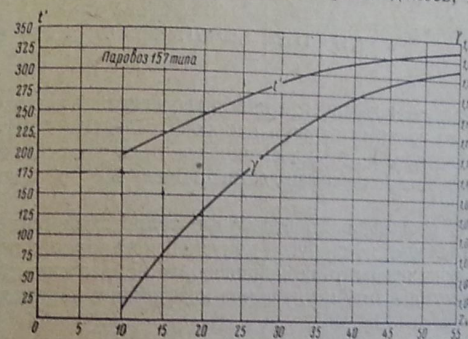
Потеря от химического недогорания топлива нами определена выше, но без учета коэффициента механической полноты горения топлива  $\mu$ .

Вводя поправку на коэффициент  $\mu$ , эта потеря будет равна:

$$Q'_2 = 0,888 \cdot 94264 = 83500 \text{ кал/час;}$$

$$\left. \begin{aligned} Q_2'' &= 166432 \text{ кал/час;} \\ Q_3 &= 265350 \text{ кал/час.} \end{aligned} \right\} \text{ подсчет см. выше.}$$

Вследствие того что потери тепла на внешнее охлаждение в зависимости от скорости движения не производилось, поэтому их



Фиг. 122

придется взять из паспортных данных равным  $1,75\%$  от располагаемого тепла. При этих условиях

$$Q_4 = \frac{1,75 \cdot Q_0}{100} = \frac{1,75 \cdot 1486000}{100} = 26000 \text{ кал/час.}$$

$$Q_5 = \Sigma b \cdot (\lambda_k - \tau) = (B_k - B_m)(\lambda_k - \tau) = (1199 - 1165)(606 - 17) = 20000 \text{ кал/час.}$$

Данные теплового баланса сведены в табл. 12.

Таблица 12

Располагаемое тепло	1486000 кал/час	100%
Полезное тепло	834000 кал/час	56,1%
Потери от химического недогорания	83500 "	5,63%
Потери от механического недогорания	166432 "	11,2%
Потери с уходящими газами	265350 "	17,8%
Потери на внешнее охлаждение	26000 "	1,75%
Потери на служебные нужды	20000 "	1,35%
Невязка теплового баланса	90718 "	6,17%
		100%



Таблица 13

Резкое падение коэффициента полезного действия котла объясняется тем, что во время испытания паровоза вследствие плохой работы конусной установки приходилось пользоваться во все время опытов сифоном. Расход пара на сифон достигал более 20% от приготавливаемого котлом пара.

Для частичного улучшения работы паровозов этого типа, выпущенных с конусной установкой по первоначальному проекту Коломенского завода и выпускаемых сейчас другим заводом, необходимо произвести замену конусной установки.

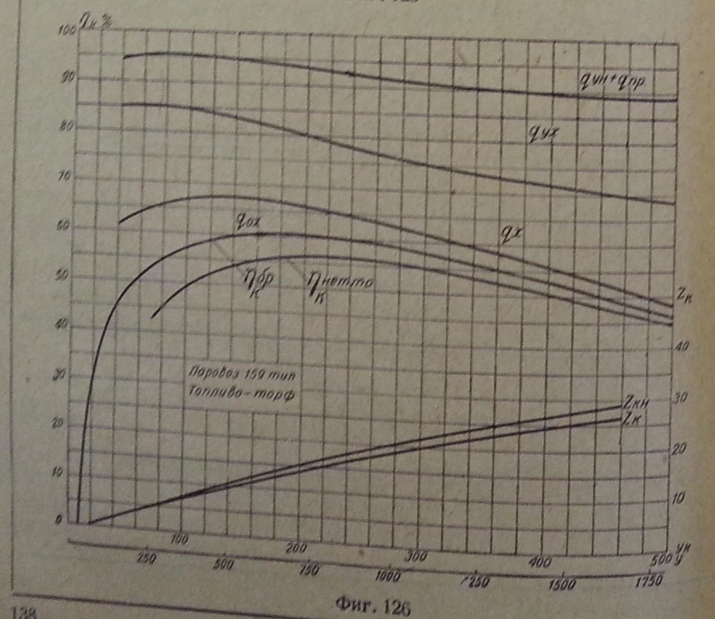
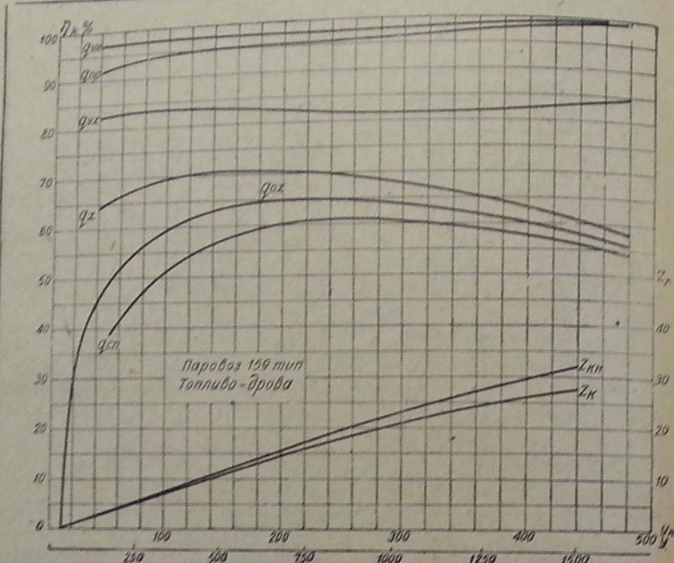
Таблица 14

Коэффициенты полезного действия котла паровоза 157 типа на различных видах топлива представлены на фиг. 127 и 128.

136

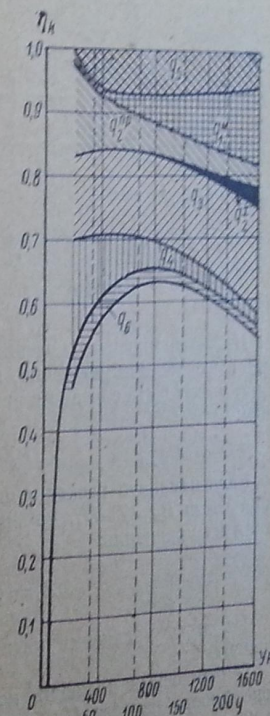
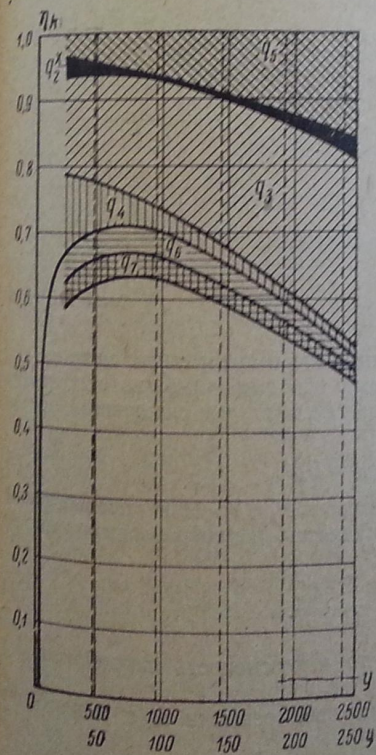






Рабочий состав топлива при испытаниях приводится в табл. 15.

Вид топлива	W %	A %	S %	C %	H %	N %	O %	O + H %	Содержа- ние пара- фина	Q <sub>н</sub> в ккал/кг
Парафинистый мазут марки Г . . . . .	3,94	0,03	—	83,08	12,03	—	—	0,92	5,9	9500
Уголь — смесь 50% мар- ки Т + 50% марки ПС . . . . .	1,49	15,71	2,19	73,46	3,77	1,51	1,88	—	—	6793





## § 7. Паропроизводительность котла

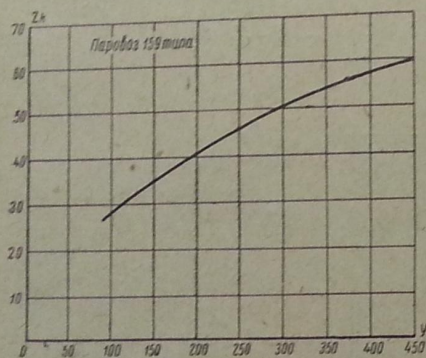
Коэффициент полезного действия котла дает ясное представление об экономичности паровозного котла, но по нему нельзя судить о паропроизводительности котла в 1 час. Обычно для решения ряда практических задач пользуются диаграммами:

$$Z_k = f(Y),$$

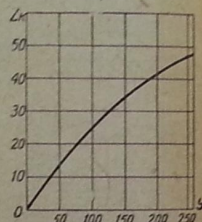
где  $Y$  — напряжение колосниковой решетки, т. е. количество килограммов пара, снимаемого с 1 м<sup>2</sup> испаряющей поверхности в 1 час.

Эту величину в практике называют форсировкой котла. Количество приготавливаемого пара котлом в 1 час можно выразить уравнением:

$$B_k = Z_k \cdot H_1,$$



Фиг. 129



Фиг. 130

где  $H_1$  — испаряющая поверхность котла в квадратных метрах. Очевидно, что количество тепла, полезно использованное на образование пара, может быть связано с располагаемым теплом следующим уравнением:

$$B_k \cdot Q_k^p \cdot \eta_k = B_k \cdot \lambda. \quad (43)$$

Если заменить расход топлива через  $B_k = Y \cdot R$  и часовой расход пара через  $B_k = Z_k \cdot H_1$ , то интенсивность парообразования определится из уравнения:

$$Z_k = \gamma \cdot \eta_k \cdot \frac{R}{H_1} \cdot \frac{Q_k^p}{\lambda}. \quad (44)$$

Из этого уравнения видно, что интенсивность парообразования зависит от:

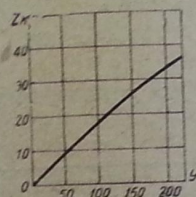
- 1) отношения площади колосниковой решетки  $R$  к испаряющей поверхности нагрева  $H_1$ ;
- 2) теплотворной способности топлива  $Q_k^p$ ;
- 3) теплосодержания пара  $\lambda$  и

4) коэффициента полезного действия котла, т. е. от степени использования топлива  $\eta_k$ .

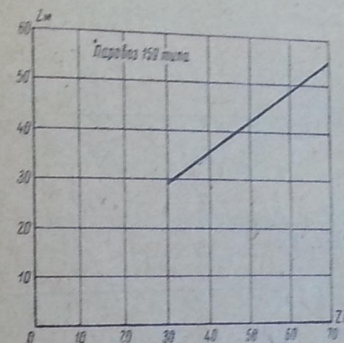
На фиг. 129 представлена зависимость  $Z_k = f(Y)$  для паровоза 159 типа, испытывавшегося на угольном отоплении, а на фиг. 130, 131 для паровоза 157 типа; первая кривая для нефтяного отопления, вторая — для угольного отопления. Форсировки котла для различных видов топлива для паровоза 159 типа по опытам 1936 г. представлены на фиг. 124, 125 и 126.

При разработке опытных материалов форсировка котла определяется из следующего выражения:

$$Z_k = \frac{B_k}{H_1}.$$



Фиг. 131



Фиг. 132

В большинстве случаев в эксплуатационных расчетах пользуются форсировкой котла по машине  $Z_m$ , которая в паспортах дается в зависимости от форсировки котла  $Z_k$ . Форсировка котла по машине определяется из выражения:

$$Z_m = \frac{B_m}{H_1}.$$

Связь между форсировками  $Z_k$  и  $Z_m$  для паровоза 159 типа по опытам 1931 г. представлена на фиг. 132. Резкое расхождение  $Z_k$  от  $Z_m$  объясняется, как было замечено выше, неудовлетворительной конусной установкой, так как на действие сифона, усилившего тягу, расходовалось при некоторых поездках до 20—25% пара, приготавливаемого котлом. На фиг. 133 и 134 приведены форсировки  $Z_m = f(Z_k)$  для паровоза 157 типа соответственно на нефтяном и угольном отоплении.

Если обратиться к величинам форсировок, которые ранее устанавливались для производства тяговых расчетов, то можно отметить, что они давались на много заниженными; так например, для паровоза 159 типа расчетная форсировка котла на хорошем донецком угле была установлена  $Z_m = 35 \text{ кг/м}^2/\text{час}$ , но в действительности на паровозе 159 типа при всех его недостатках при  $\gamma = 300 \text{ кг/м}^2/\text{час}$ , т. е. на 7 котла реализовалась  $Z_k = 50 \text{ кг/м}^2/\text{час}$ , а  $Z_m = 42 \text{ кг/м}^2/\text{час}$ , проведенных в  $\text{кг/м}^2/\text{час}$  больше установленной. На основе опытов, проведенных в



где  $d$  — диаметр цилиндра в м;

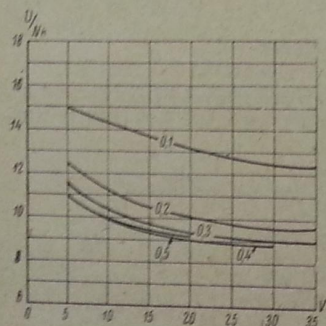
$P_i$  — среднее индикаторное давление в цилиндрах за один оборот колеса в кг/см<sup>2</sup>.

Из приведенных выводов полезно использованное тепло будет равно:

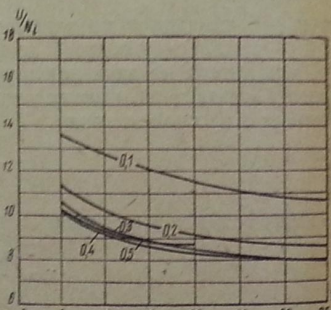
$$Q_1 = A \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} P_i 10\,000 \cdot L \quad (50)$$

С другой стороны, известно, что из тепла, поступившего в машину,  $B_m \cdot \lambda$  кал, превращается в работу только число калорий, соответствующее работе  $N_i$  лошадиных сил. Известно также, что 1 л. с. равна 75 кг/м/сек или  $75 \cdot 3600 = 270\,000$  кг/м в 1 час. Механический эквивалент тепла равен  $I = 427$ . Следовательно полезно использованное тепло будет равно:

$$Q_1 = \frac{270\,000 \cdot N_i}{I} = \frac{270\,000 \cdot N_i}{427} = 632 \cdot N_i.$$



Фиг. 135



Фиг. 136

Зная располагаемое и полезно использованное тепло, можно определить коэффициент полезного действия машины:

$$\eta_m = \frac{Q_1}{Q_0} = \frac{632 \cdot N_i}{\lambda' \cdot B_m}, \text{ или } \frac{632}{\lambda'} \cdot \frac{1}{B_m/N_i}. \quad (51)$$

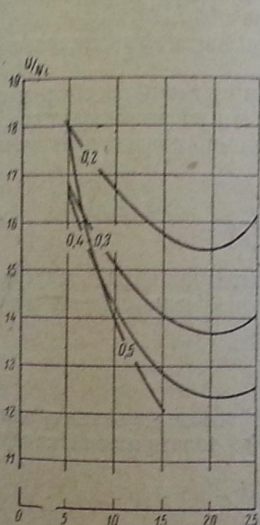
Следовательно расход пара на 1 л. с. в 1 час характеризует степень совершенства машины.

В современных паровозах расход пара на 1 л. с. в 1 час доходит до 6 кг. Для паровоза 157 типа расход перегретого пара на индикаторную и касательную силу в 1 час в зависимости от отсечки приведен на фиг. 135 и 136, а для паровоза 159 типа — соответственно на фиг. 137 и 138.

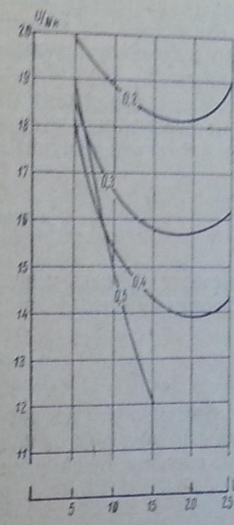
Из приведенных кривых видно, что расход пара на индикаторную лошадиную силу в 1 час у паровоза 157 типа доходит до 8 кг, а у паровоза 159 типа при отсечке 0,4 до 12,3 кг. Последняя цифра указывает

на сравнительную неэкономичность работы паровоза 159 типа. Коэффициент полезного действия машины у современных ширококолейных паровозов достигает 14—15%, если же обратиться к паровозам 157 и 159 типов, то у них этот коэффициент при наименьшем расходе пара на индикаторную лошадиную силу в 1 час соответственно будет 10,5 и 7,55%.

На основании специальных разработок опытных данных над ширококолейными паровозами проф. С. П. Сыромятниковым приводятся следующие данные о потерях на теплообмен между паром и стенками цилиндров в зависимости от скорости движения <sup>1</sup>.



Фиг. 137



Фиг. 138

- 1) для паровозов с машиной однократного расширения, работающей насыщенным паром, — от 26 до 40% от располагаемого тепла; первая цифра относится к большой скорости, вторая — к малой;
  - 2) для паровозов с машиной однократного расширения со средним перегревом (степень перегрева в золотниковой коробке — 70°) — от 14 до 30%;
  - 3) для машины с однократным расширением пара с высоким перегревом (180°) — от 7 до 20%.
- Установлено, что эти потери уменьшаются с увеличением скорости, отсечки и температуры перегретого пара. Следовательно, чтобы уменьшить эти потери, более выгодно ездить с большими скоростями, высокими форсировками и высокой температурой перегрева.



Анализ этих потерь для узкоколейных паровозов не производился, поэтому трудно сказать об их величине. Потери от утечек пара достигают также большой величины. На основании опытов, проведенных в 1915 г. над паровозом серии Э, были получены следующие цифры: при  $Z_m = 20$  потери от утечек составляли 21,9% от часового расхода пара и соответственно при  $Z_m = 30$  утечки составляли 14,6%, при  $Z_m = 40$  утечки — 10,9%.

Из приведенных значений приходим к выводу, что при больших форсировках эта потеря уменьшается, следовательно гораздо целесообразнее ездить на высоких форсировках. При внимательном уходе за машиной эта потеря может быть на много уменьшена и доведена до незначительной величины (менее 5%).

Потери с отходящим паром являются основными потерями и достигают иногда 50—60% и даже больше.

После рассмотрения отдельных потерь можно перейти к оценке паровоза с точки зрения экономичности его рабочего процесса.

Ранее было определено, что коэффициент полезного действия котла равен:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{кето}} = \frac{B_m \cdot \lambda_d}{B_h \cdot Q_n^p}.$$

Здесь сделано предположение, что температура воды в тендере  $\tau = 0^\circ$ . Коэффициент полезного действия паровозной машины (индикаторный):

$$\eta_m = \frac{632 \cdot N_l}{\lambda' B_m}.$$

Коэффициент, учитывающий падение теплосодержания пара при прохождении по трубам от коллектора до золотниковой камеры, может быть выражен отношением:

$$\eta_{\text{мп}} = \frac{\lambda'}{\lambda_d}.$$

Механический коэффициент полезного действия машины равен отношению касательной к индикаторной мощности:

$$\eta_m = \frac{N_k}{N_l}.$$

Коэффициент полезного действия паровоза как повозки:

$$\eta_p = \frac{N_n}{N_k}.$$

где  $N_n$  — мощность на крюке тендера или паровоза. Подсчитав отдельные коэффициенты, можно определить общий коэффициент полезного действия паровоза в целом как теплосиловой установки в таком виде:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_m \cdot \eta_{\text{мп}} \cdot \eta_m \cdot \eta_p = \frac{632 \cdot N_n}{B_h \cdot Q_n^p}. \quad (52)$$

В числителе этого выражения мы имеем использованное тепло, а в знаменателе — располагаемое, что и должно быть по самому определению понятия коэффициента полезного действия.

Полный коэффициент полезного действия паровоза по опытным данным для паровоза 157 типа колеблется в пределах от 2,6 до 5,9%, а для паровоза 159 типа — от 2,2 до 5,5%.

Полный коэффициент полезного действия у ширококолейных паровозов гораздо выше и доходит до 9%.

### ГЛАВА III.

## СИЛА ТЯГИ ПАРОВОЗА И СОПРОТИВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЮ

### § 1. Сила тяги паровоза

В практике эксплуатационных расчетов различают три понятия о силе тяги паровоза: 1) индикаторная сила тяги  $F_i$ ; 2) касательная сила тяги  $F_k$ ; 3) сила тяги на крюке тендера.

Индикаторная сила тяги есть фиктивная сила тяги, т. е. та сила, которая была бы приложена на ободу колес при отсутствии потерь на трение в механизме паровой машины.

Если из индикаторной силы тяги вычесть силу трения в частях машины, то получим действительную силу тяги, приложенную на ободу колес, каковая меньше индикаторной и называется касательной силой тяги. Потери на трение в механизме паровой машины зависят от скорости движения и конструкции движущего и парораспределительного механизма и оцениваются механическим коэффициентом полезного действия  $\eta_m$ . Этот коэффициент всегда меньше 1. Следовательно касательная сила тяги может быть выражена через индикаторную так:

$$F_k = \eta_m \cdot F_i. \quad (53)$$

Сила тяги на крюке тендера равна касательной силе тяги за вычетом той силы, которая расходуется на передвижение самого паровоза и тендера, т. е.

$$F_n = F_k - P(w'_0 + i_k), \quad (54)$$

где  $P$  — вес паровоза и тендера в рабочем состоянии в тоннах;  $w'_0 + i_k$  — удельная сила сопротивления движению в кг/т, которая состоит из так называемого основного сопротивления паровоза как повозки и из сопротивления от приведенного подъема (или уклона)  $i_k$ .

Основное сопротивление всегда берется на прямом и горизонтальном пути при постоянной скорости.

Приведенным подъемом (или уклоном) называется фиктивный подъем (или уклон), в котором учтено влияние кривых, находящихся на нем.

Сила тяги паровоза ограничивается: по котлу — в зависимости от его паропроизводительности, по машине — в зависимости от ее мощ-



ности и по силе сцепления колес с рельсами. Эти три фактора, ограничивающие силу тяги, должны быть увязаны между собой, а именно: паропроизводительность котла должна быть достаточной для обеспечения машины паром в наиболее неблагоприятных условиях работы, соответствующих наибольшему расходу пара  $B_m$ .

Размеры машины должны быть подсчитаны так, чтобы была возможность полного использования силы сцепления колес с рельсами.

Следует здесь же отметить, что паровозы 159 и 157 типов не могут быть приняты за образцы в этом отношении: у обоих паровозов сила машины не соответствует сцепному весу. Относительно слабости котла паровоза 159 типа уже упоминалось выше.

Индикаторная сила тяги по машине определяется из условия равенства работы этой силы за один оборот движущих колес и работы пара в цилиндрах за этот же оборот. Оценивая приближенно уменьшение площади поршня штоком в 3%, получим следующие формулы для индикаторной силы тяги при машине однократного расширения:

$$F_i = 0,97 \frac{n \cdot d^2 \cdot l \cdot P_i}{200 \cdot D} = 0,97 \frac{n \cdot d^2 \cdot l}{200 \cdot D} \cdot P_k \xi = M \xi, \quad (55)$$

где  $n$  — число цилиндров у машины однократного расширения;  
 $d$  — диаметр цилиндра в мм;  
 $D$  — диаметр движущих колес по кругу катания в миллиметрах;  
 $l$  — ход поршня в миллиметрах;  
 $P_k$  — давление пара в котле манометрическое в кг/см<sup>2</sup>;  
 $P_i$  — среднее индикаторное давление пара в цилиндрах в кг/см<sup>2</sup>;  
 $M$  — модуль машины паровоза, зависящий от размеров машины и давления пара в котле;

$\xi$  — индикаторный коэффициент, равный отношению среднего индикаторного давления к котловому давлению.

На фиг. 139 и 140 представлены диаграммы касательной силы тяги  $F_k$  для паровозов 157 и 159 типов при вполне открытом регуляторе.

Механический коэффициент полезного действия  $\eta_m$  для этих же паровозов при вполне открытом регуляторе представлен на фиг. 141 и 142. Значение индикаторных коэффициентов  $\xi$  для паровозов 157 и 159 типов представлено на фиг. 143 и 144.

На всех диаграммах значение  $F_k$ ,  $\eta_m$  и  $\xi$  нанесены только для отсечек до 0,5, но для максимального использования мощности паровоза требуется прибегать иногда к большим отсечкам, поэтому необходимо дополнительно опытным путем установить значение указанных величин для этих отсечек. Для существующих паспортных данных кривые могут быть графически перестроены.

Ограничение силы тяги по котлу заключается в том, что фактическая реализация силы тяги по машине может быть только при условии, если котел вырабатывает достаточное количество пара любое продолжительное время. Количество пара, приготовляемого котлом для машины, зависит от испаряющей поверхности нагрева  $H_1$  и интенсивности парообразования  $Z_m$ . Расход пара из котла зависит от мощности, развиваемой машиной, и от расхода пара машиной на 1 л. с., который в свою очередь зависит от скорости, отсечки и величины открытия

регулятора. Следовательно при заданной отсечке ограничение силы тяги по котлу зависит от  $V$  и  $Z_m$  и открытия регулятора. Механическая работа, выполняемая паровозом в 1 сек., равна:

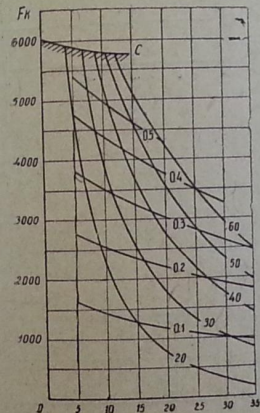
$$\frac{F \cdot V \cdot 1000}{3600} \text{ — кг/м,}$$

а мощность в лошадиных силах:

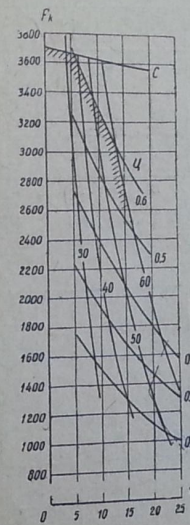
$$N = \frac{F \cdot V \cdot 1000}{3600 \cdot 75} = \frac{F \cdot V}{270} \text{ л. с.} \quad (56)$$

Мощность паровоза в зависимости от паропроизводительности котла можно выразить формулой:

$$N = \frac{Z_m \cdot H_1}{B_m / N}, \quad (57)$$



Фиг. 139



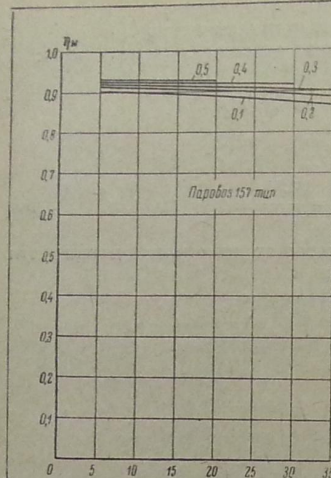
Фиг. 140

где  $B_m / N$  — расход пара машиной на 1 л. с. в 1 час. Из формул (56) и (57) будем иметь силу тяги:

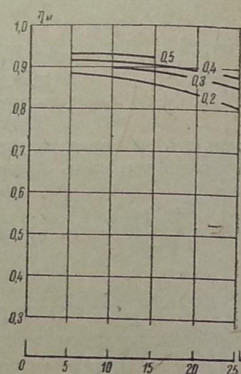
$$F = \frac{270 \cdot Z_m \cdot H_1}{B_m / N} \cdot \frac{1}{V}. \quad (58)$$

Ограничение силы тяги по котлу для паровозов 157 и 159 типов при различных форсировках в зависимости от скорости приведено на фиг. 139 и 140. Сила тяги по сцеплению не может быть больше той силы, при которой нарушается сцепление колес с рельсами.

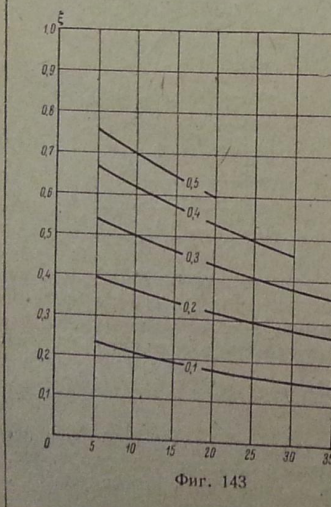




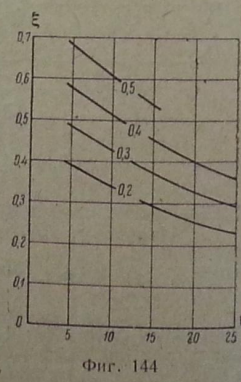
Фиг. 141



Фиг. 142



Фиг. 143



Фиг. 144

Сила тяги по сцеплению имеет следующее выражение:

$$F_k \leq 1000 \cdot \psi_k P_{сч}, \quad (59)$$

где  $\psi_k$  — коэффициент сцепления;  
 $P_{сч}$  — сцепной вес паровоза, т. е. вес, приходящийся на движущие колеса в тоннах.

Коэффициент сцепления зависит от ряда факторов, как то: 1) от типа паровой машины и степени ее уравновешенности; 2) от скорости движения; 3) состояния бандажей и рельсов.

Коэффициенты сцепления для большинства ширококолейных паровозов раньше принимались в пределах от 1/5,2 до 1/6. В Америке коэффициенты сцепления принимаются значительно выше; примерно 1/4—1/4,5. Утверждения предельщиков о невозможности повышения коэффициентов сцепления опрокинуты стахановско-кривоносовским движением. На основе их достижений коэффициенты сцепления пересмотрены и значительно повышены; так например, для паровоза ФД коэффициент сцепления повышен до 1/4,6. Для паровозов узкой колеи 750 мм, которые прошли через опыты в 1931—1933 гг., коэффициенты сцепления принимались такие же, как и для ширококолейных паровозов. Для паровоза 0-4-0 159 типа в паспортах были даны коэффициенты сцепления 1/5,5 и 1/5,85, а для паровоза 157 типа — 1/5,2.

В настоящее время Всесоюзным научно-исследовательским институтом промышленного транспорта (ВНИИПТ) пересмотрены и установлены новые коэффициенты сцепления — от 1/4,8 до 1/4,5 с применением песка. Соответствующие  $F_k$  нанесены на диаграммах фиг. 139 и 140.

## § 2. Сопротивление движению поезда

Развиваемая паровозом сила тяги расходуется на преодоление сил сопротивления движению поезда. Силы сопротивления обычно относят к единице веса — 1 т. Сопротивления в килограммах, приходящиеся на 1 т веса, называют удельным сопротивлением. Удельное сопротивление вагонов, помноженное на вес вагонов брутто в тоннах, дает полное сопротивление:

$$W = w \cdot Q \text{ кг.}$$

Определение удельного сопротивления для ширококолейного подвижного состава с достаточной полнотой освещено в нашей технической литературе; что же касается узкоколейного подвижного состава, то надлежащих опытов в этой области почти не производилось.

Исходя из этого, для определения удельного сопротивления вагонов пользовались германскими формулами: 1) для колеи 1000 мм  $w'_0 = 2,6 + 0,0003 \cdot V^2$ ; 2) для колеи 750 мм,  $w''_0 = 2,7 + 0,0002 \cdot V^2$  и 3) для колеи 600 мм  $w'''_0 = 2,8 + 0,0002 \cdot V^2$ .

Опыты, проводившиеся ВНИИПТ в 1935 г. над узкоколейными вагонами, показали, что германские формулы дают заниженное сопротивление, поэтому пользование этими формулами приводит к неверным результатам.

На фиг. 145 представлены кривые по опытам ВНИИПТ, изображающие изменение удельного сопротивления двухосных вагонов (взвешенные)



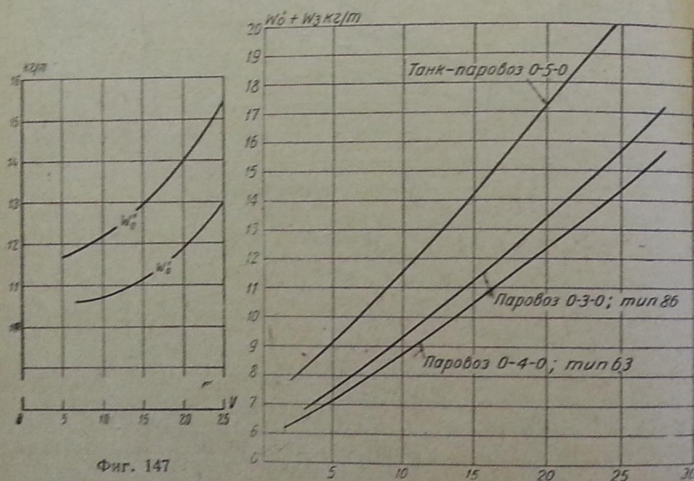
1931 г. Сопротивление движению паровоза 159 типа колеи 750 мм как повозки  $w'_0$  и с надетыми дышлами при закрытом регуляторе  $w'_0 + w'_s$  представлены на фиг. 147.

Сопротивление паровоза как повозки может быть выражено формулой:

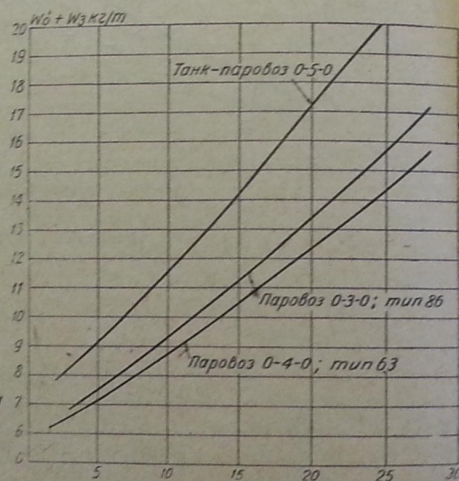
$$w'_0 = 10,31 + 0,00415 \cdot V^2.$$

Удельное сопротивление этого же паровоза как повозки и машины с надетыми дышлами при закрытом регуляторе может быть выражено формулой:

$$w_0 + w_s = 11,51 + 0,00623 \cdot V^2.$$



Фиг. 147



Фиг. 148

Полученные ВНИИП опытным путем удельные сопротивления движению паровозов как повозки и машины (с навешанными дышлами) при закрытом регуляторе приведены на фиг. 148. Эти кривые с незначительным отклонением для скоростей — от 5 до 25 км/час — укладываются в следующие формулы:

Для паровоза 0-4-0 63 типа  $w'_0 + w_s = 7,475 + 0,0115 \cdot V^2$ ,  
 „ „ 0-3-0 86 „  $w'_0 + w_s = 7,8 + 0,0132 \cdot V^2$ ,  
 „ танк-паровоза 0-5-0  $w'_0 + w_s = 9,55 + 0,018 \cdot V^2$ .

В паспорте паровоза 0-4-0 157 типа приведено удельное сопротивление, подсчитанное по формуле:

$$w'_0 = 4,85 + 0,001 \cdot V^2 \text{ кг/м}.$$

Сравнивая эту формулу с приведенными выше, полученными на основании опытов, можно считать ее довольно сомнительной, и поэтому для этого паровоза впредь до его испытания, повидимому, следует пользоваться результатом опытов над паровозами 159 и 63 типов.

Для определения удельного сопротивления движению паровоза как повозки для паровозов 63, 86 типов и танк-паровоза 0-5-0 до получения опытных данных можно руководствоваться такими соображениями: для паровоза 159 типа имеем отношение:

$$\frac{w'_0}{w'_0 + w_s} = \alpha.$$

Если принять это отношение постоянным и справедливым для других паровозов, то вообще

$$w'_0 = \alpha (w'_0 + w_s),$$

а потому, поскольку для упомянутых выше паровозов  $w'_0 + w_s$  известны, можно по значению  $\alpha$  определить и  $w'_0$  для любой скорости.

Формулы, принятые в различных странах для определения удельного сопротивления движения поезда по кривым  $w_c$ , приведены в табл. 18.

Таблица 18

Страны	Ширина колеи в мм		
	1000	750	600
Германия			
а) Формула Хаармана . . . . .	$\frac{400}{R-25}$	$\frac{250}{R-10}$	$\frac{200}{R-5}$
б) „ Рокля . . . . .	$\frac{400}{R-20}$	$\frac{300}{R-10}$	$\frac{200}{R-5}$
Франция			
Формула Дедуи . . . . .	$\frac{500}{R}$	$\frac{375}{R}$	$\frac{300}{R}$
США			
Для колеи 915 мм . . . . .	$\frac{525}{R}$	—	—
СССР			
а) в зависимости от R . . . . .	$\frac{525}{R}$	$\frac{425}{R}$	—
б) „ „ от L и $\alpha$ . . . . .	$\frac{9\alpha}{L}$	$\frac{7,5\alpha}{L}$	—

В приведенных формулах:

R — радиус закругления в м;

L — длина закругления в м;

$\alpha$  — число градусов центрального угла кривой.



В этих формулах дана зависимость только от радиуса кривой, но на основании произведенных ВНИИПТ опытов следует, что в кривой с увеличением скорости возрастает и сопротивление, поэтому эти формулы не дают точного отражения действительности, тем более, что в них не нашли отражения такие факторы, как уширение пути в кривой и жесткая база экипажа<sup>1</sup>.

Для определения сопротивления движению узкоколейных вагонов от кривой  $w$ , в  $кг/т$  приводятся данные в табл. 19 по опытам ВНИИПТ.

Таблица 19

Скорость в км/час	Двухосные груженные вагоны						Двухосные порожние вагоны					
	Радиус закругления в м											
	40	60	80	100	150	200	40	60	80	100	150	200
5	7,35	5,9	4,85	3,9	2,5	1,4	7,6	6,6	5,85	5,2	4,0	3,1
10	7,80	6,3	5,10	4,2	2,65	1,5	8,5	7,5	6,7	6,0	4,85	3,8
15	8,20	6,6	5,35	4,4	2,80	1,6	9,5	8,4	7,6	6,9	5,55	4,6
20	8,70	6,9	5,6	4,65	3,0	1,75	10,4	9,3	8,5	7,75	6,35	5,3
25	9,1	7,15	5,85	4,9	3,15	1,9	11,3	10,2	9,35	8,6	7,15	6,0
30	9,5	7,5	6,1	5,1	3,35	2,0	12,2	11,1	10,2	9,5	7,95	6,7

Четырехосные полувагоны груженные

Скорость в км/час	40	60	80	100	150	200	40	60	80	100	150	200
5	5,95	4,75	3,7	3,05	2,15	1,65	7,8	6,7	5,8	5,0	3,4	2,15
10	6,45	5,2	4,2	3,5	2,55	2,0	8,45	7,25	6,3	5,45	3,7	2,35
15	7,0	5,7	4,65	3,95	2,95	2,4	9,15	7,85	6,8	5,9	4,0	2,6
20	7,5	6,2	5,1	4,4	3,35	2,75	9,8	8,4	7,3	6,35	4,35	2,8
25	8,0	6,65	5,6	4,85	3,75	3,1	10,45	8,95	7,75	6,8	4,65	3,0
30	8,5	7,1	6,1	5,25	4,0	3,45	11,15	9,55	8,3	7,25	5,0	3,2

Четырехосные платформы груженные

Скорость в км/час	40	60	80	100	150	200	40	60	80	100	150	200
5	6,0	5,4	4,7	4,1	2,95	2,1	—	—	—	—	—	—
10	2,75	5,9	5,1	4,45	3,2	2,3	—	—	—	—	—	—
15	7,3	6,4	5,6	4,8	3,4	2,5	—	—	—	—	—	—
20	8,1	6,85	5,9	5,1	3,65	2,6	—	—	—	—	—	—
25	8,8	7,35	6,3	5,4	3,85	2,8	—	—	—	—	—	—
30	9,5	7,85	6,7	5,7	4,1	2,9	—	—	—	—	—	—

<sup>1</sup> Вопрос о сопротивлении в кривых пересматривается ВНИИПТ.

По опытным данным того же института приводятся табл. 20 значений сопротивлений движению узкоколейных паровозов в кривых различных радиусов в зависимости от скорости.

Таблица 20

Радиус кривых R м	Паровоз 0-4-0 63 типа						Паровоз 0-3-0 86 типа						Танк-паровоз 0-5-0					
	Скорости V км/час						Скорости V км/час						Скорости V км/час					
	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30	5	10	15	20	25	30
40	6,05	6,6	7,1	7,6	8,1	8,6	3,3	3,8	4,25	4,7	5,2	5,7	5,95	6,7	7,40	8,18	8,9	9,5
60	5,15	5,66	6,0	6,5	6,9	7,3	2,65	3,1	3,5	3,9	4,3	4,8	4,85	5,45	6,05	6,77	7,3	7,85
80	4,44	4,85	5,2	5,6	6,0	6,4	2,1	2,45	2,85	3,25	3,65	4,0	4,0	4,55	5,1	5,76	6,3	6,85
100	3,74	4,14	4,5	4,85	5,2	5,6	1,7	2,1	2,4	2,75	3,1	3,45	3,4	3,95	4,5	5,0	5,56	6,1
150	2,93	3,23	3,5	3,7	3,95	4,2	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7	2,4	2,85	3,3	3,80	4,34	4,8
200	2,52	2,72	2,9	3,2	3,4	3,6	0,95	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	1,85	2,3	2,7	3,13	3,54	3,9

Сопротивление от подъемов и спусков одинаково с ширококолейным подвижным составом и равно  $\pm i_k кг/т$ , где  $i_k$  — уклон в тысячных.

Другие вопросы, относящиеся к тяговым расчетам, в настоящей книге не рассматриваются.

Ц. 1938

Видео