НКПС
ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ

КУРС ПАРОВОЗОВ

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПАРОВОЗОВ И ТЕХНИКА ИХ РЕМОНТА

I

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ 1937

НТБ ДНУЖТ

НКПС
ЦЕНТРАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УЧЕБНЫМИ ЗАВЕДЕНИЯМИ

621.1
К 92

21542

КУРС ПАРОВОЗОВ

УСТРОЙСТВО И РАБОТА ПАРОВОЗОВ И ТЕХНИКА ИХ РЕМОНТА

ТОМ I

КОТЕЛ

СОСТАВЛЕНО КОЛЛЕКТИВОМ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ МЭМИИТ
ПОД РЕДАКЦИЕЙ ДОКТОРА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
ПРОФЕССОРА С. П. СЫРОМЯТНИКОВА

УЧЕБНАЯ БИБЛИОТЕКА
Инв. №

Утверждено Центральным управлением учебными заведениями Народного комиссариата путей сообщения в качестве стабильного учебника для втузов железнодорожного транспорта

Библиотека
№ 21542

ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ТРАНСПОРТНОЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА ★ ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ ★ 1937

НТБ
ДНУЖТ

В томе первом книги изложены основные данные о паровозах и проблемы их реконструкции.

Подробно рассмотрены устройство, конструкция и работа паровозных котлов, даны тепловой расчет и расчеты на прочность частей котла и техника его ремонта.

Книга предназначается в качестве стабильного учебника для студентов втузов жел.-дор. транспорта.

Цена 6 р. 50 к.
Переплет 1 р. 50 к.

Отв. редакторы: В. А. Умнов и Л. Я. Дачук.
Техн. редактор Н. Фомин.
Отв. корректор Р. Б. Кацнельсон
Сдано в набор 1/VII 1937 г.
Подписано к печати 10/X 1937 г.
Формат бумаги $72 \times 105^{1}/_{16}$ д. л. Тираж 15 230 экз.
21 п. л. 36 авт. л. 68912 зн. в п. л.
ЖДИЗ 3544 Ж 11 Зак. 18635
Уполномоч. Главлита Б—18274

1-я тип. Трансжелдориздата, Б. Переяславская, 46.

НТБ
ДНУЖТ

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

ГЛАВА I

ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ О ПАРОВОЗАХ

§ 1. Роль паровоза на жел.-дор. транспорте

Роль паровоза на нашем жел.-дор. транспорте велика и чрезвычайно ответственна. В приказе за № 183/Ц от 7 августа 1935 г. «Об улучшении использования паровозов и организации движения поездов» народный комиссар путей сообщения говорит: «От паровозного хозяйства и паровозников зависит очень многое, ибо локомотив является основной двигательной силой железнодорожного транспорта». Этими словами четко сформулировано ведущее место локомотива и в частности паровоза на транспорте. Паровоз является наиболее распространенным видом локомотива и удержит за собой первенствующее значение в течение еще долгого ряда лет. Другие виды тяги поездов, и в частности электровозная тяга, развиваются на нашем транспорте параллельно с развитием паровой тяги. «Электрификация является ведущим звеном реконструкции жел.-дор. транспорта» (из резолюции XVII партконференции); отдельные линии и участки переоборудуются с паровой тяги на электрическую, в то же время целый ряд дорог строится в расчете на паровую тягу, имеющую пока превалирующее значение.

Безаварийное и бесперебойное обслуживание всего пассажиро- и грузооборота строго по графику—вот основные условия, характеризующие роль паровоза.

Прочное место и ответственнейшая роль паровоза на транспорте обязывают каждого паровозника и в особенности инженера-паровозника жел.-дор. транспорта основательно изучить и освоить паровоз в целом и в отдельных его частях.

Стахановское движение на транспорте, поднятое впервые паровозным машинистом т. Кривоносом и получающее все более и более широкое развитие среди паровозников, показало, насколько можно улучшить использование паровоза путем повышения форсировок и скоростей движения, увеличения силы тяги, увеличения месячных, межпромывочных и межподъемочных пробегов паровоза и других показателей его работы. Первые рекорды лучших людей транспорта, достижения машинистов-кривоносовцев—постепенно становятся достоянием масс передовых машинистов, поднимают общий уровень работы паровозов. Эти достижения не случайны. Они получены на основе любовного отношения к своему делу и глубокого изучения техники этого дела. Горячее, искреннее желание отдать свой опыт социалистическому транспорту и содействовать тем самым дальнейшему его росту—руководит машинистами-кривоносовцами в деле борьбы за улучшение эффекта работы паровозов. Углубленно разобравшись в теории и конструкции паровоза, в принципах его использования и ремонта, пересмотревши в нужных случаях устройство ответственных частей паровоза и его использование, передавая свои знания и опыт массам паровозников, организуя их для достижения еще лучших результатов работы,—такой командир-паровозник сам будет работать по-стахановски. Осветив теорией практическую работу стахановцев-паровозников, наметив новые пути по значительному улучшению работы паровозов, такой командир-стахановец будет не только итти нога в ногу с массами стахановцев, но поведет их вперед. При организованной и

НТБ ДНУЖТ

дружной работе всех преданных своему долгу паровозников паровоз еще более улучшит показатели своей работы, еще лучше будет отвечать растущим требованиям, предъявляемым к нему. В паровозе заложено еще много не вскрытых возможностей по улучшению его работы; те или иные переделки устройства, изменение методов его использования — позволяют усовершенствовать паровоз в целом. Эволюция паровоза должна итти в ногу с общим прогрессом техники. То внимание, которое уделяется на социалистическом жел.-дор. транспорте паровозам, работа стахановцев-кривоносовцев и их инициатива и являются залогом выполнения паровозами и паровозниками своей роли — полного обслуживания растущих перевозок жел.-дор. транспорта.

§ 2. Требования, предъявляемые к паровозу

Безаварийная работа паровоза; обусловливаемая его рациональным устройством, хорошим уходом за ним и умелым управлением ходом поезда в целом, — является важнейшим фактором безотказной работы транспортного конвейера. Безаварийной работы транспорта в целом и в частности паровозов — требует нарком в своем приказе за № 83/Ц «О борьбе с крушениями и авариями».

Современный паровоз должен удовлетворять целому комплексу предъявляемых к нему основных требований. Во-первых, паровоз должен быть совершенно н а д е ж н ы м тяговым двигателем. Это — первое и основное требование, предъявляемое к паровозу. Во-вторых, паровоз должен обладать достаточной с и л о й т я г и и б ы с т р о х о д н о с т ь ю, обеспечивающими передвижение поездов с наибольшими скоростями не только на площадках, но и на подъемах. Требования все большей и большей м о щ н о с т и паровоза являются характерными для современного паровозостроения. Рассматривая все развитие паровоза, мы видим, что у более современных паровозов растет не только сцепной вес, характеризующий величину силы тяги паровоза по сцеплению, но растет и число бегунковых и поддерживающих колес. Увеличение числа последних является характерным признаком увеличения мощности и быстроходности паровоза. Бегунки позволяют поставить на паровоз более мощный котел с увеличенным парообразованием. Сравнивая например паровозы типа 0-5-0 серии «Эу» (85 *т* сцепного веса) с паровозами типа 1-5-1 серии «ФД» (100 *т* сцепного веса), мы видим, что сцепной вес паровоза серии «ФД» лишь на $\frac{100-85}{85} \cdot 100 = 17{,}6\%$ больше, чем серии «Эу», но мощный котел, размещаемый у паровоза серии «ФД» на с е м и осях, обусловливает мощность его, в д в о е большую, чем у паровоза серии «Эу».

В-третьих, паровоз должен быть достаточно экономичным по расходу топлива. Это требование является также весьма существенным. Повышение теплового к. п. д. паровоза лишь на 1% в масштабе всего паровозного парка — даст стране годовую экономию топлива в сотни тысяч тонн.

§ 3. Составные части паровоза

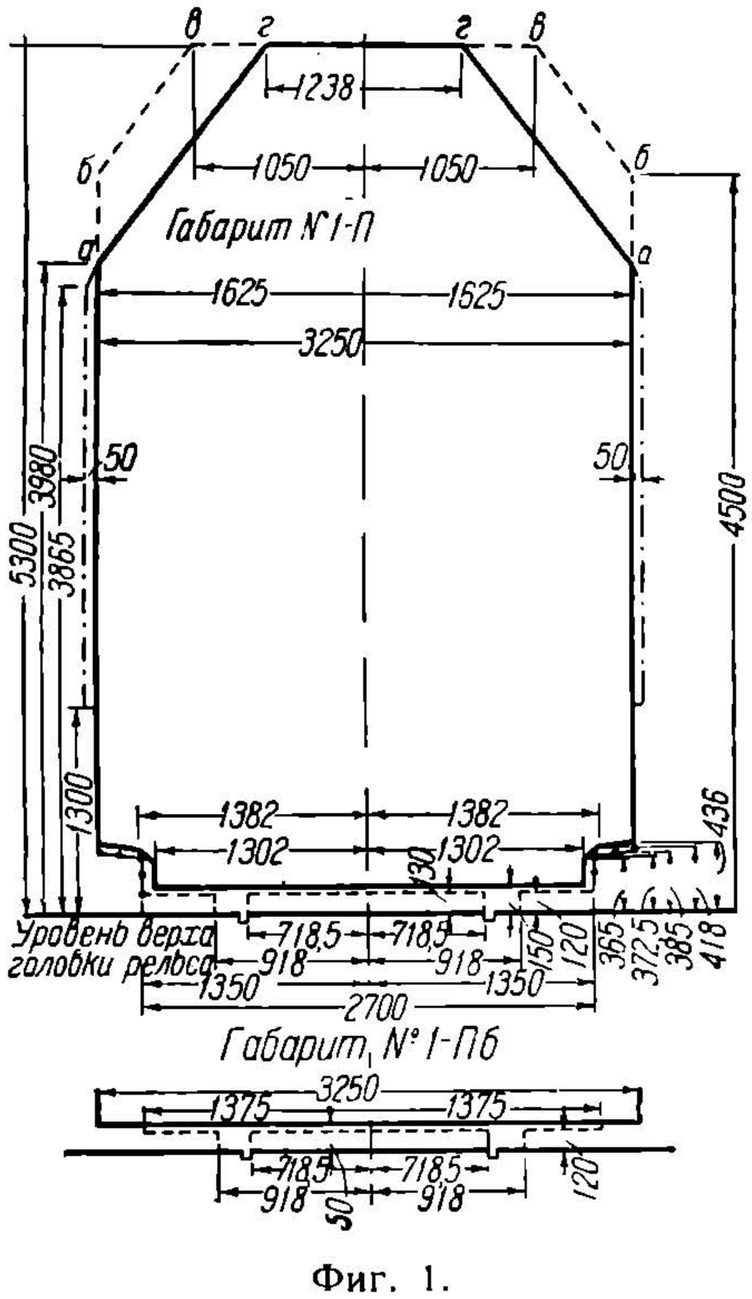
Паровоз состоит из трех основных частей: 1) котла, 2) машины и 3) экипажа. Кроме того, имеется ряд вспомогательных и обслуживающих частей — будка, песочница, площадка, тендер, и принадлежностей — тормоз, электрооборудование.

Паровоз всеми своими частями должен вписываться в габарит подвижного состава (ОСТ 6435) (фиг. 1 и 1а).

Котел является первичным источником энергии на паровозе. Это — главнейшая часть паровоза. Эффект работы паровоза в большой степени зависит от рациональной конструкции котла. Рационально построенный мощный котел является залогом хорошей работы паровоза в целом. Имеются примеры, когда неудовлетворительный котел даже при вполне хорошем качестве машины и экипажа резко снижает качество паровоза. Наоборот, хороший котел — надеж-

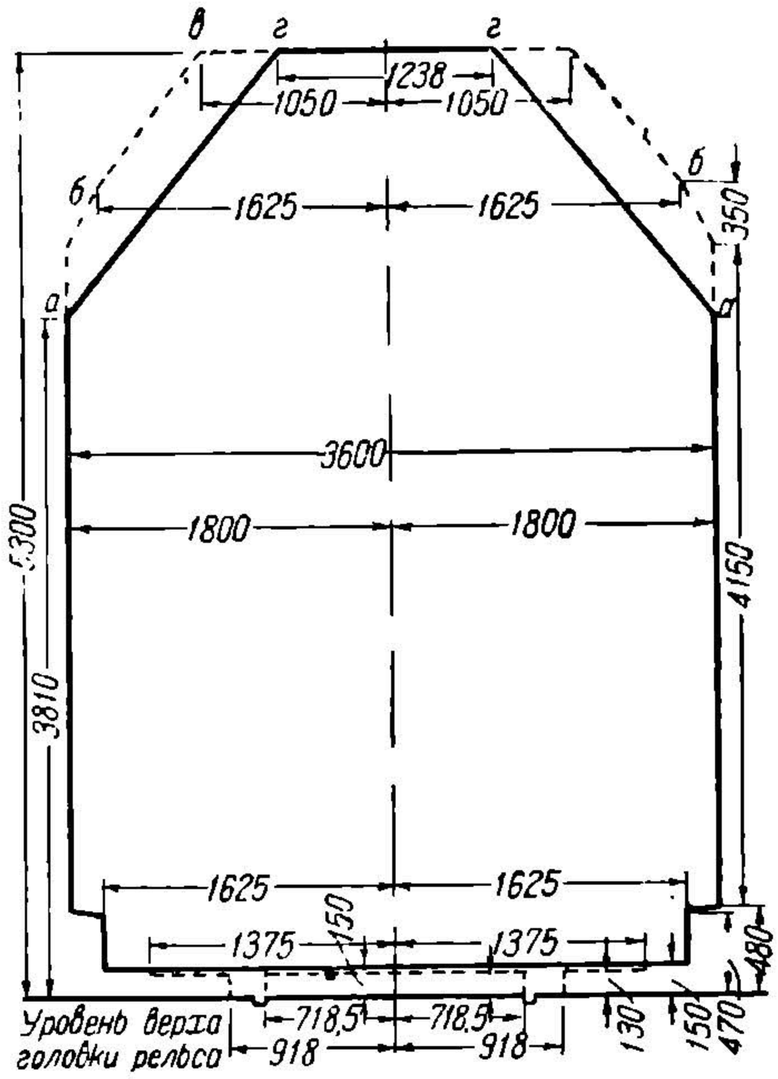
НТБ ДНУЖТ

ный, простой, удобный для обслуживания — даже при тех или иных недостатках машины и экипажа дает все же удовлетворительные качества работы паровоза в целом. Например, паровоз серии «С», обладающий хорошим котлом и значительными недостатками экипажа, получил в 1910—1917 гг. большое распространение.



Фиг. 1.

1. Габарит *№ 1-П* предназначается для локомотивов, допускаемых к обращению по всей сети.
2. Сплошная линия в нижней части габарита относится к подрессоренным частям, а пунктирная—к неподрессоренным.
3. Линия с черными кружками—только для пальцев.
4. Вертикальный наносный пунктир с боков габарита—только для неответственных выступающих частей: подлокотников, козырьков и т. д.
5. По очертанию *а-б-в-г* подвижной состав может строиться только после удаления подкосов стропил и свесов крыш на всех станциях.
6. Габарит *№ 1-Пб* предназначается для паровозов с бустерами.
7. Очертание габарита *№ 1-П* является предельным и должно уменьшаться по ширине по соответствующему расчету в зависимости от длины локомотива и его жесткой базы при проверке прохождения по кривым частям пути.



Фиг. 1а.

1. Изображенный на чертеже габарит *№ 2-П* предназначается для мощных паровозов, допускаемых к обращению на реконструированных участках железных дорог.
2. Сплошная горизонтальная линия в нижней части габарита относится к подрессоренным частям, а пунктирная—к неподрессоренным.
3. По очертанию *а-б-в-г* паровозы могут строиться лишь после удаления подкосов стропил и свесов крыш на всех станциях.
4. Очертание габарита *№ 2-П* является предельным и должно уменьшаться по ширине по соответствующему расчету в зависимости от длины паровоза и его жесткой базы при проверке прохождения его по кривым частям пути.
5. Постройка паровозов по габариту *№ 2-П* может производиться только в том случае, если предназначаемые для их обращения участки железных дорог полностью подготовлены по габариту приближения строений *№ 2-С*

(см. ОСТ ВКС 6435).

Паровой котел преобразовывает химическую энергию вводимого в топку топлива в тепловую энергию пара. Тепловая энергия пара в цилиндрах машины превращается в механическую работу по передвижению поршня и связанного с ним шатунно-кривошипного механизма. Передвижение поршня дает вращение движущих колес паровоза.

Паровая машина получает острый пар от установленного на паровозе котла и выбрасывает отработавший пар или в конус, создающий искусственную тягу газов сгорания котла, или через дымососную установку (турбо-вентилятор) в холодильник на тендере. Таким образом работа машины органически связы-

НТБ ДНУЖТ

вается с работой котла; большие форсировки поверхности нагрева котла и колосниковой решетки оказываются возможными именно благодаря искусственной тяге газов сгорания отработавшим в машине паром.

Экипаж паровоза составляется рамой и ходовыми частями. Рама является остовом всего паровоза, как бы передвижным «фундаментом», на котором монтируется и котел и машина. Ходовые части паровоза — колесные пары с буксами, рессорное подвешивание и тележки — обеспечивают безопасное передвижение паровоза по рельсовому пути с наибольшими скоростями.

Вспомогательные части паровоза вместе с основными частями дают ему законченное оформление, обеспечивают удобное управление паровозом и его обслуживание, облегчают достижение бригадой лучших эксплуатационных измерителей. Несколько особняком стоит т е н д е р, на котором размещены запасы воды и топлива (у мощных паровозов — и части стокера), инструмент и различные принадлежности паровоза.

§ 4. Классификация паровозов

Существующие паровозы чрезвычайно многообразны по своему типу и назначению. Паровозы возможно классифицировать по семи признакам:

Во-первых, по числу движущих, бегунковых и поддерживающих осей (или колес).

Во-вторых, по назначению (роду службы) – существуют паровозы п а с с а ж и р с к и е, т о в а р н ы е и м а н е в р о в ы е.

В-третьих, по числу цилиндров—существуют паровозы двух- и многоцилиндровые. Подавляющее большинство наших паровозов имеют два цилиндра, расположенные снаружи, с боков рамы. Многоцилиндровые паровозы, отличающиеся от двухцилиндровых своими лучшими динамическими качествами (лучшее уравновешивание паровоза), имеют три или, чаще, четыре цилиндра. Трехцилиндровые паровозы у нас были представлены паровозом серии «М», неудачным по целому ряду отдельных моментов и в частности неудачным расположением третьего (внутреннего) цилиндра. Машина паровоза серии «М» переделана с трех цилиндров на два. Все же не следует считать самую идею трехцилиндровой машины полностью скомпрометированной — конкретное выполнение такой машины на паровозе серии «М» было неудачным.

Четырехцилиндровые машины имеют обычно два цилиндра снаружи рам и два между рамами. Лучшее уравновешивание таких машин в эксплуатации паровоза не окупается их значительной сложностью, относительно сложным уходом, дорогим и относительно частым ремонтом. Четырехцилиндровые паровозы представлены у нас сериями «Л» (2-3-1), «У» (2-3-0) и «Ф» (1-5-0). Четыре цилиндра, расположенные попарно с н а р у ж и рам, имеют и старинные паровозы серии «Р» (1-4-0).

В настоящее время и в перспективе дальнейшего паровозостроения получают все большее и большее распространение д в у х ц и л и н д р о в ы е паровозы — простые надежные машины. Динамическое воздействие таких паровозов на путь, хотя и большее, чем у многоцилиндровых паровозов, все же не достигает опасных значений даже при очень значительных скоростях движения, превышающих 140—160 *км/час*. Подчеркнем, что разрабатываемые у нас скоростные паровозы имеют все же д в а цилиндра.

В-четвертых, паровозы можно разделить на две больших группы — по роду применяемого пара. Старинные паровозы работают насыщенным паром; они неэкономичны и маломощны. В начале этого столетия получил применение перегретый пар. Повышение мощности, экономия топлива, уменьшенный расход воды паровозами с перегревом пара обусловили чрезвычайно широкое их распространение, и все современные паровозы, строящиеся для обслуживания жел.-дор. транспорта, работают исключительно перегретым паром.

НТБ ДНУЖТ

В-пятых, паровозы возможно классифицировать по кратности расширения пара в цилиндрах машины. Самые старые паровозы строились с простым расширением пара в цилиндрах — от котлового давления до давления выхлопа в конус. Чрезвычайно низкая экономичность таких паровозов побудила применить по примеру стационарных паровых машин последовательное расширение пара, как правило, в двух цилиндрах[1]. Паровозы с такими машинами-компаунд[2] оказались в свое время достаточно жизнеспособными, давая в среднем около 13% экономии топлива по сравнению с простыми машинами, работающими также насыщенным паром.

Вплоть до начала применения перегретого пара паровозы строились почти исключительно с машинами-компаунд. В нашем старом паровозном парке имеется большое количество паровозов с машинами-компаунд, работающими насыщенным паром. Это — паровозы серий: «А», «Ж», «Н» (кроме «Нп»), «О» (кроме «Оч»), «Р», «У», «Ц», «Ш», «Щ» (кроме «Щч»), «Ы» (кроме «Ычи») и «О» (кроме «Оп»).

Заметим, что некоторые старые паровозы имеют машины-компаунд, работающие перегретым паром (серии «Уу», «Ф», «Ычи», «Оч»). Некоторые другие старые паровозы в настоящее время, проходя капитальный ремонт, модернизируются — путем постановки перегревателя. Так, товарные паровозы серии «Ов» модернизируются в «Оч», паровозы серии «Щ» модернизируются в «Щч».

Пассажирские паровозы серии «Нв» модернизируются постановкой перегревателя и заменой машины-компаунд простой машиной. Ускорение движения (разгон) несколько больше у паровозов с простой машиной. Поэтому машины-компаунд старых пассажирских паровозов серии «Нв», обслуживающих в основном пригородные поезда, имеющие частые остановки, и переделываются на простые машины.

Машины-компаунд в настоящее время почти не имеют шансов на распространение, так как вытеснившие их простые машины с перегревом пара позволяют добиться значительно лучших результатов более простыми средствами. В среднем можно считать, что постановка перегревателя на паровоз с простой машиной, работающей насыщенным паром, дает экономию топлива на 19%, т. е. значительно бóльшую, чем постановка машины-компаунд на тот же паровоз. Следует отметить, что постановка на паровоз и перегревателя и машины-компаунд дает среднюю экономию топлива на 24—25%, но получающееся усложнение паровоза не оправдывает себя в эксплуатации. Такие паровозы тоже нет смысла строить. Лишь модернизированные паровозы серий «Оч» и «Щч» имеют и перегрев пара и машины-компаунд.

В-шестых, паровозы делятся на несколько групп по числу экипажей, размещенных под котлом. Наиболее современные и удачные паровозы имеют один экипаж, т. е. одну жесткую раму. Стремясь не увеличивать нагрузки на движущую ось и получить увеличенную мощность паровоза, иногда строили очень громоздкие четырехцилиндровые сочлененные паровозы, когда под котлом устанавливались две самостоятельных поворотных движущих тележки. Громоздкость экипажа в целом, большая стоимость и сложность (шарнирные паропроводы, потери в длинных паропроводах на мятие, охлаждение и утечку в шарнирах) являются существенными недостатками таких паровозов. Подобные паровозы представлены у нас только устаревшими паровозами «Ферли» 0-3-0+0-3-0 и паровозом серии «Я» Гаррат 2-4-1+1-4-2.

Промежуточное место занимают старинные полусочлененные четырехцилиндровые паровозы дуплекс-компаунд, задняя группа цилиндров которых (ц. в. д.[3]) установлена на жестко соединенной с котлом раме, а передняя группа (ц. н. д[4].) установлена на поворотной тележке. Здесь гибкой является только ресиверная труба, отводящая пар от ц. в. д. к ц. н. д. Большим недо-

---

[1] Имелись попытки построить паровозы с тройным расширением пара, но такие паровозы оказались неудачными.

[2] Точный перевод—составной, соединенный.

[3] Цилиндры высокого давления.

[4] Цилиндры низкого давления.

НТБ ДНУЖТ

статком таких паровозов являются та же громоздкость и худшее использование сцепного веса из-за склонности паровозов к боксованию. У нас полусочлененные паровозы представлены малоудачными и относительно маломощными паровозами серий «Θ» и «Θ^{ч}».

В-седьмых, паровозы можно классифицировать по величине давления пара в котле. Все существующие паровозы работают с давлением пара в узких пределах 12—15 *ат*. У старинных паровозов давление было ниже 12 *ат*, проектируются паровозы с давлением пара в 16—18 *ат*. Отдельные паровозы уже сейчас имеют 17 *ат*, например паровозы серии «Т^{А}», купленные нами в США в 1931 г. Можно назвать давление пара ниже 20 *ат* — н и з к и м давлением.

В отличие от паровозов н и з к о г о давления — за границей существуют отдельные паровозы в ы с о к о г о давления в 60—120 и более *ат*. Высокое давление пара позволяет получить огромную экономию в расходе топлива, уже при 60 *ат* достигающую 30%. При еще большем давлении экономия становится тем более ощутительной, так как по мере увеличения давления пара его теплосодержание уменьшается.

Если в стационарной практике пар высокого давления себя вполне оправдал и получает все большее распространение, то применение пара высокого давления в п а р о в о з а х сопряжено с известными трудностями как из-за недостаточного исследования свойств паров высокого давления, так и из-за резко переменного режима работы паровой машины в условиях паровозной практики.

Заметим, что у паровозов высокого давления имеют наибольшие шансы для применения машины-компаунд, так как в одном цилиндре затруднительно реализовать значительное расширение пара — до практически рентабельных величин.

§ 5. Краткие сведения о старом паровозном парке

Характерными признаками наших старинных паровозов являются, во-первых, работа их насыщенным паром и, во-вторых, поставленные на паровозы двухцилиндровые машины-компаунд. Некоторые старинные паровозы имеют четырехцилиндровые сложные машины.

Применение перегретого пара в начале текущего столетия позволило упростить паровоз, отказавшись от постройки компаунд-паровозов.

Наш старый паровозный парк чрезвычайно многосериен. Капиталистическое хозяйство России обусловило появление десятков различных серий паровозов, строившихся заводами по заказам отдельных дорог. Были попытки нормализовать типы паровозов, но в условиях капитализма они дали ничтожные результаты: лишь паровозы типа 0-4-0 серии «О» были построены в большом количестве для целого ряда дорог. Но как раз эти, относительно простые паровозы и в период их постройки считались слабосильными и тихоходными и мало отвечавшими даже старым требованиям. Поэтому в противовес этим паровозам дороги и заводы проектировали и строили более крупные паровозы — с более мощным котлом, требовавшие постановки бегунка (паровозы типа 1-4-0 серий «Р», «Ц», «Ш», «Щ»).

В 1910 г. были построены первые товарные паровозы с пятью движущими осями (серии «Э»). Они получили большое распространение и почти без перерывов строились в различных модификациях до 1935 г.

Что касается пассажирских паровозов, то старинные типы их имеют колесные формулы 1-3-0 и 2-3-0. Более современные имеют формулы 1-3-1, 2-3-1 и 2-4-0. Последние два у нас представлены только паровозами серий «Л» (2-3-1) и «М» (2-4-0), нехарактерными и малоудачными.

Знакомство со старыми паровозами, хотя бы с наиболее распространенными из них, необходимо. Просмотрим вкратце находящиеся в эксплуатации старые серии паровозов, придерживаясь порядка букв алфавита.

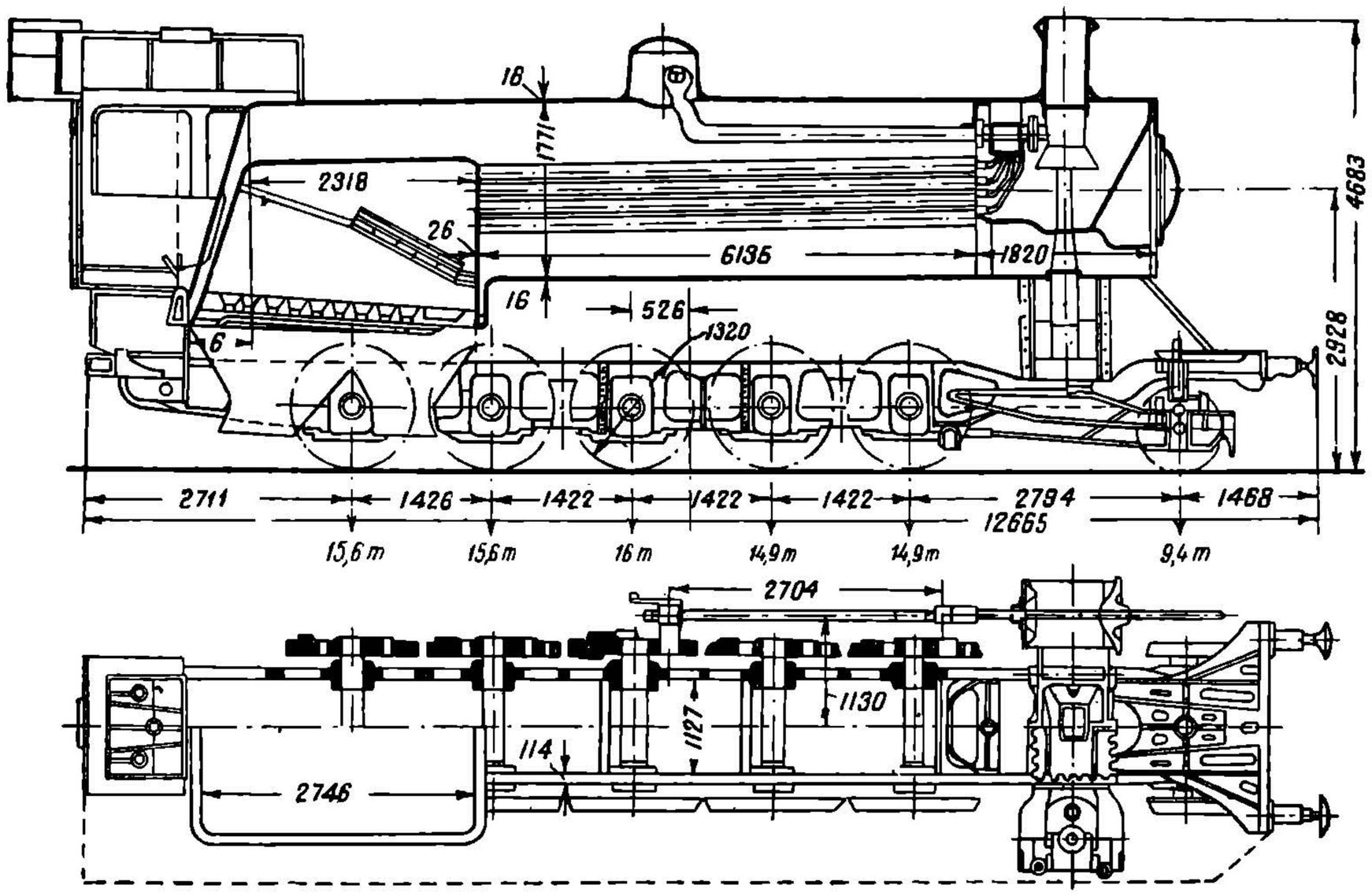
Серия «А^{в}», тип 2-3-0 — старинные двухцилиндровые пассажирские паровозы-компаунд, работающие насыщенным паром; весьма устаревшие паровозы, отжившие свой век.

НТБ
ДНУЖТ

Серия «Б», тип 2-3-0 — устаревшие двухцилиндровые паровозы с перегревом пара. Здесь буква «Б» присвоена этой серии по первой букве названия Брянского завода[1], который спроектировал и построил этот паровоз.

Серия «Г», тип 2-3-0 — устаревшие двухцилиндровые паровозы; простая машина, часть паровозов (серия «Г^{п}») оборудована пароперегревателями; мало распространенная серия.

Серия «Е», тип 1-5-0—так называемые «американские декаподы», современные (по типу) товарные паровозы нормальной мощности, заказанные в Америке в 1915—1916 гг. Паровоз серии «Е» может считаться прототипом современных мощных паровозов. Серия «Е» имеет несколько разновидностей, так как эти паровозы строились на нескольких американских заводах. Паровоз серии «Е» представляет для нас и теперь определенный интерес. На фиг. 1б дан схематический чертеж (продольный разрез) этого паровоза.



Фиг. 16.

Серия «З», тип 2-3-0 — старинный тип пассажирского паровоза, выпускавшегося с простой машиной, работающей перегретым паром; мало распространенная серия.

Серия «И», тип 1-4-0 — товаро-пассажирский (диаметр движущих колес 1500 *мм*) паровоз с перегревом пара и машиной простого расширения; мало распространенный тип.

Серия «К», тип 2-3-0 — относительно современный пассажирский двухцилиндровый паровоз,[а]работающий перегретым паром. Буква присвоена по названию Коломенского завода [2]—автора паровоза. Серия «К^{у}» представляет собой усиленный паровоз серии «К»; отличается от последнего несколько большим давлением пара (13 *ат* вместо 12 *ат* у паровоза серии «К»), более развитыми поверхностями нагрева и перегрева и большим диаметром движущих колес (1900 *мм* вместо 1700 *мм*).

Эти паровозы имеют топку, вдвинутую в пространство между задними сцепными колесами, но не заходящую в междурамный промежуток. Большого распространения эти паровозы не получили.

---

[1] Теперь—Орджоникидзеградский завод им. Красного Профинтерна.
[2] Теперь—Коломенский завод им. В. В. Куйбышева.

НТБ ДНУЖТ

Серия «Л», тип 2-3-1 — относительно современный быстроходный четырехцилиндровый паровоз простого расширения, работающий перегретым паром. Паровоз спроектирован Путиловским заводом (теперь—Кировский) по заданию, разработанному инж. Лопушинским; по первой букве этой фамилии паровозу и присвоена буква «Л». Паровоз очень сложен (четыре цилиндра, двухколенчатая ось), дорог; большого распространения не получил.

Серия «М», тип 2-4-0 — по своему типу относительно современный трехцилиндровый (по первоначальному выполнению) пассажирский паровоз для тяжелых поездов. Паровоз имеет целый ряд конструктивных дефектов. Все паровозы этой серии переделаны на двухцилиндровые с заглушением среднего (внутреннего) цилиндра. При такой переделке цилиндровая мощность не является еще лимитирующей, так как цилиндры на этом паровозе поставлены несколько большего размера, чем это требуется по размерам котла и величине сцепного веса. Кроме того, оказалось возможным (по условиям прочности котла) поднять давление в котле с 13 до 14,5 *ат*, а это, естественно, увеличило цилиндровую мощность паровоза, переделанного на два цилиндра.

Постройка новых паровозов этой серии вовсе прекращена вскоре после начала их выпуска (1927 г.).

Серия «Н», тип 1-3-0 — весьма распространенный старинный тип пассажирского двухцилиндрового паровоза системы «компаунд». Этот паровоз, работающий насыщенным паром, считался в свое время удовлетворительным, и целый ряд дорог ввел у себя эту серию.

Существует несколько модификаций паровозов серии «Н», характеризуемых теми или другими конструктивными особенностями, а именно:

«$Н^{д}$» — кулиса Джоя; диаметр движущих колес 1700 *мм* (почти все паровозы этой разновидности списаны с инвентаря дорог);

«$Н^{д}$» — кулиса Джоя, диаметр колес 1900 *мм*;

«$Н^{в}$» — кулиса Вальсхерта (Гейзингера), диаметр колес 1700 *мм*;

«$Н^{в}$» — кулиса Вальсхерта, диаметр колес 1900 *мм*;

«$Н^{у}$» — кулиса Вальсхерта, увеличенный котел, диаметр колес 1700 *мм*;

«$Н^{У}$» — то же, диаметр колес 1900 *мм*;

«$Н^{п}$» — кулиса Вальсхерта, простая машина, перегрев пара. За последние годы ряд паровозов серии «$Н^{в}$» переделан (модернизирован) на серию «$Н^{п}$».

Серия «О», тип 0-4-0 — наиболее распространенный старинный двухцилиндровый товарный компаунд-паровоз, работающий насыщенным паром. Самое наименование серии «О» обозначает «основной». Этих паровозов на нашей сети имелось свыше 6000. Здесь также имеется ряд модификаций.

Большое количество паровозов серии «О» уже списано с инвентаря; укажем лишь сохраняющиеся пока разновидности этих паровозов:

«$О^{д}$» — паровоз с колесами 1200 *мм* и кулисой Джоя;

«$О^{в}$» — то же с кулисой Вальсхерта;

«$О^{п}$» — то же, переделанный на простую машину с перегревом пара;

«$О^{к}$» — паровозы с изменениями парораспределения, внесенными Коломенским заводом;

«$О^{ч}$»—модернизированный паровоз серии «$О^{в}$» (с машиной-компаунд), оборудованный перегревателем.

Серия «Р», тип 1-4-0 — старинный четырехцилиндровый паровоз тандем-компаунд. Название серии присвоено по второй букве дороги (бывш. Виндаво-Рыбинская ж. д.), которая впервые ввела в эксплуатацию эти паровозы. Обслуживание и ремонт этих паровозов очень неудобны (золотники машины расположены в тесном междурамном промежутке); большого распространения они не получили.

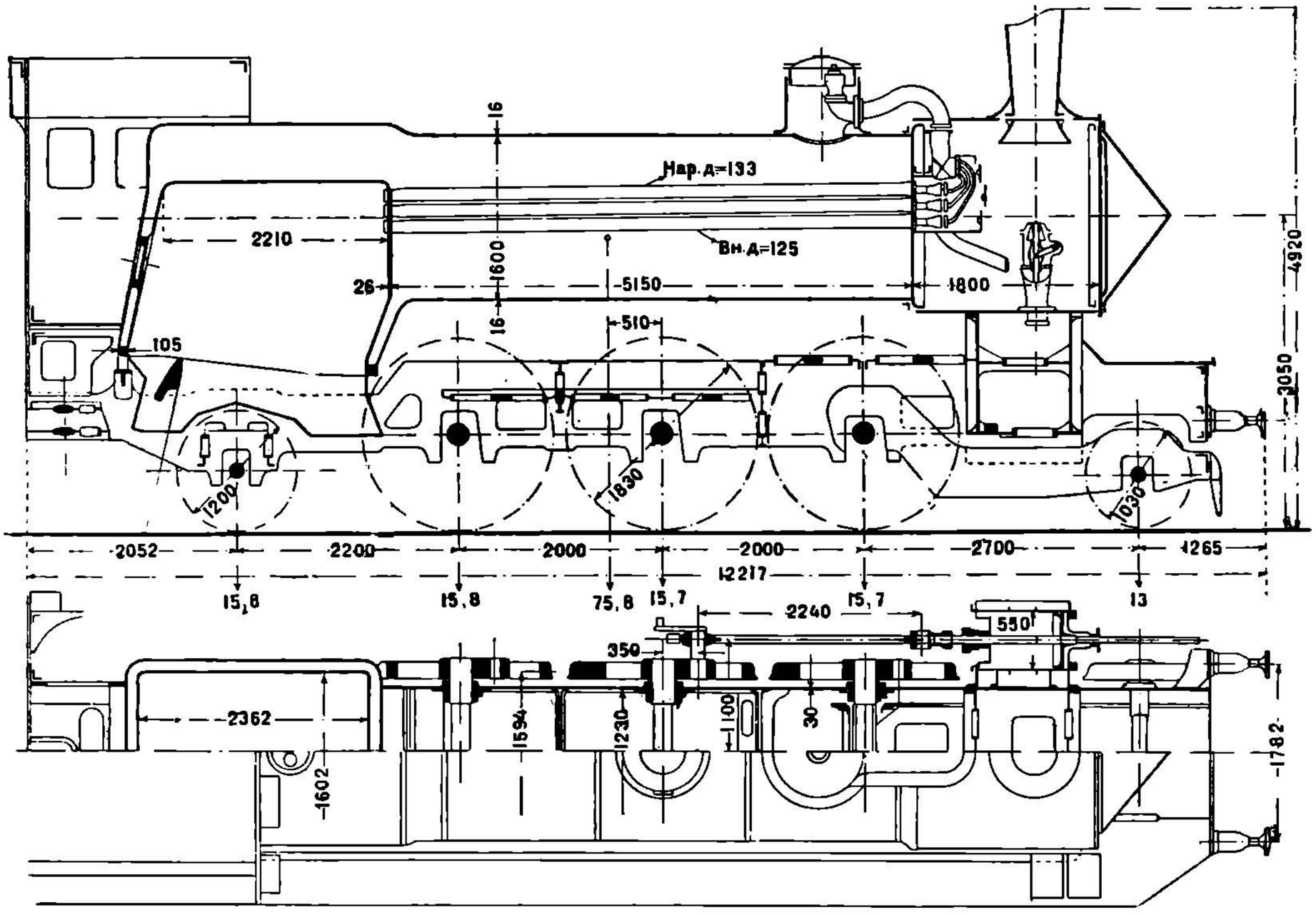
Серия «С», тип 1-3-1 — относительно современный двухцилиндровый пассажирский паровоз, работающий перегретым паром. Этот паровоз имеет широкую топку, расположенную над рамой. Спроектирован и построен Сормовским заводом; по названию завода паровозу и присвоена буква «С». Относительная мощность, простота устройства, невысокая стоимость постройки и ремонта паровоза

НТБ ДНУЖТ

наряду с хорошим котлом обусловили широкое распространение паровозов этой серии на наших дорогах.

Паровоз серии «С», как прототип весьма распространенного паровоза «С^{У}», представляет определенный интерес. На фиг. 2 дан схематический продольный разрез паровоза серии «С». В настоящее время решен в положительном смысле назревший вопрос о модернизации паровозов серии «С» путем увеличения поверхности перегрева (вместо 24 жаровых труб — 32).

Серия «С^{У}», тип 1-3-1 — однотипный с предыдущим; усиленный паровоз той же серии, являющийся относительно современным типом пассажирского паровоза нормальной мощности.



Фиг. 2.

Когда в 1924 г. НКПС встал перед необходимостью срочно перейти на выпуск пассажирских паровозов повышенной по сравнению с сериями «Б», «К^{У}» и «С» мощности, его выбор остановился на разновидности паровоза серии «С», на паровозе серии «С^{В}», спроектированном Коломенским заводом по заказу бывш. Варшаво-Венской ж. д. Коломенский завод ввиду срочности проектирования пассажирского паровоза для этой дороги взял котел целиком от паровоза серии «С», как удачно разработанный, надежный и дешевый, но машину и экипажную часть паровоза спроектировал заново, оставив ту же, что и у серии «С», колесную формулу 1-3-1.

Относительно серьезными дефектами паровоза серии «С» нужно считать слабые междурамные скрепления и, главное, слишком длинную жесткую базу паровоза, неудачно, кроме того, и расположенную. Жесткая база паровоза серии «С» представляет собой расстояние между средней движущей (ведущей) и задней поддерживающей осями. Ведущая колесная пара, и без того работающая в особенно тяжелых условиях, имеет бандажи с ребордами; это обусловливает наличие боковых ударов, еще более перегружающих части ведущей колесной пары. Задняя сцепная колесная пара у паровоза серии «С» сделана безребордной.

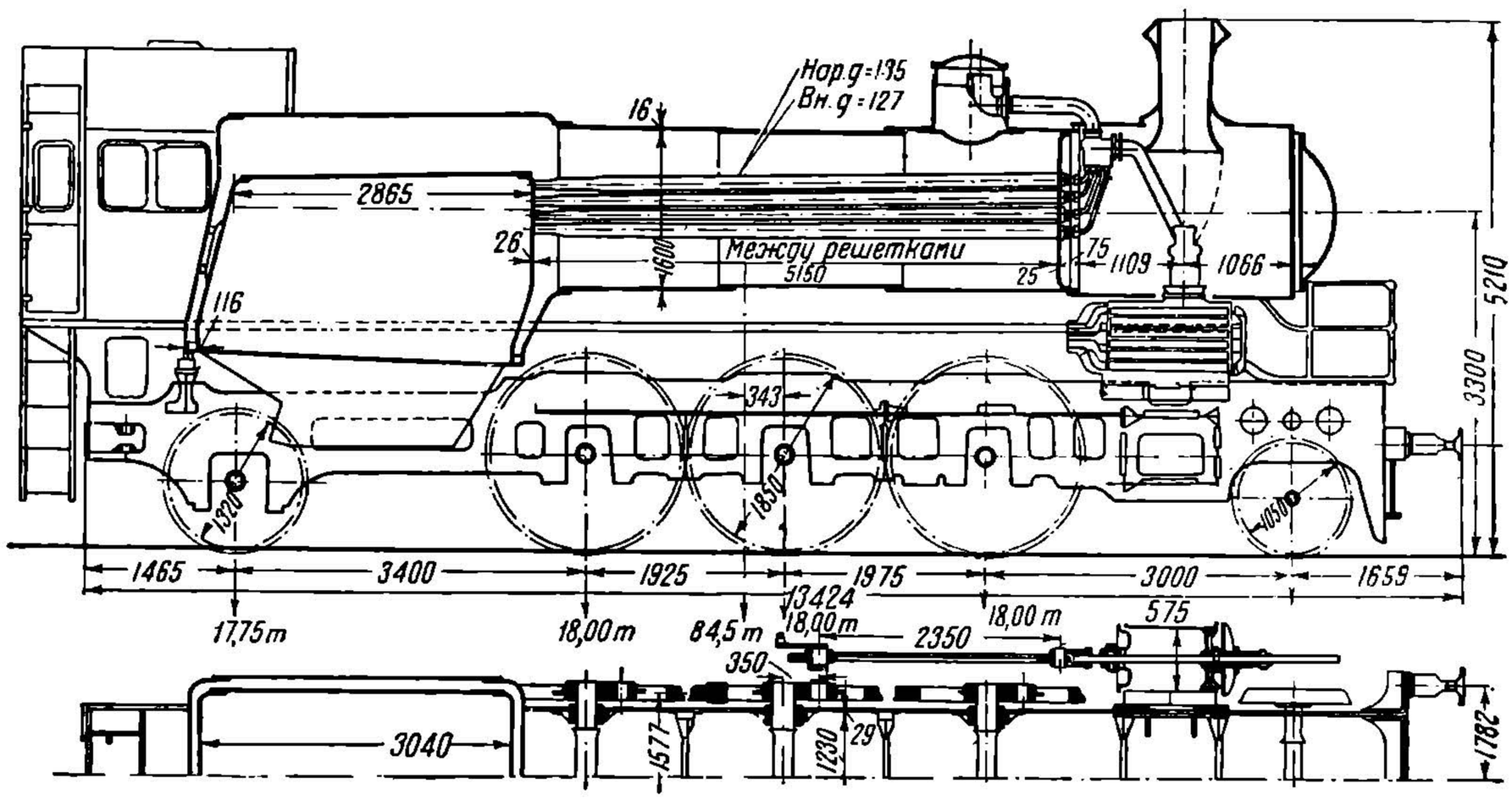
В паровозе серии «С^{В}» Коломенский завод применил заднюю тележку (типа Бисселя), и это позволило значительно укоротить жесткую базу паровоза, сде-

НТБ ДНУЖТ

лав ее равной расстоянию между второй и третьей движущими осями. Вписывание паровоза в кривые облегчилось, динамические качества улучшились. Рама для паровоза серии «Св» также была перепроектирована. Вообще нужно сказать, что паровоз серии «Св» по своим качествам выше паровоза серии «С».

Приняв за основу паровоз серии «Св», Коломенский завод в 1924—1925 гг. разработал чертежи усиленного паровоза серии «Св», которому и была присвоена серия «Су». На фиг. 3 дан схематический продольный разрез этого паровоза.

Наиболее существенными признаками, отличающими паровоз серии «Су» от серии «С», являются значительно более мощный котел, более мощный перегреватель, несколько больший диаметр цилиндров, а также большая нагрузка на сцепную ось: 17,6 — 18 *т* вместо 15,7 *т* у паровоза серии «С». Паровозы серии «Су» выпущены впервые в 1925 г. Они сразу же показали свои относительно хорошие качества. С тех пор Коломенский завод почти без перерыва строит эти паровозы— до 1937 г. включительно. Одно время и другие наши паровозостроительные заводы (Сормовский, Брянский, бывш. Луганский) были заняты постройкой этих



Фиг. 3.

паровозов. Отметим, что эти паровозы не свободны от целого ряда конструктивных дефектов; кроме того, они не вполне отвечают современным требованиям в части мощности. Постройка этих паровозов прекращается в ближайшем будущем.

Серии «У» и «Уу», тип 2-3-0 — быстроходные четырехцилиндровые пассажирские паровозы-компаунд; первые работают насыщенным паром, вторые — перегретым. Название серии присвоено этим паровозам по первой букве названия дороги «Уральская», применившей эти паровозы (бывш. Рязано-Уральская ж. д.). Паровозы сложны, дороги, маломощны; распространены в незначительной степени.

Серия «Ф», тип 1-5-0 — товарный четырехцилиндровый паровоз простого расширения, работающий перегретым паром (бельгийской постройки). Паровоз сложен, дорог; распространен очень мало (Сталинская ж. д.). Название серии присвоено по первой букве фамилии автора этих паровозов, Фламма.

Серия «Ц», тип 1-4-0 — старинный двухцилиндровый паровоз-компаунд, работающий насыщенным паром; отживший и мало распространенный тип.

Серия «Ч», тип 0-4-0 — старинные четырехосные товарные паровозы, простые машины, работающие насыщенным паром; этих паровозов имеется несколько разновидностей; все уже выслужили свой амортизационный срок.

НТБ ДНУЖТ

Серия «Ш», тип 1-4-0 — старинный тип товарного паровоза-компаунд, работающего насыщенным паром. Этот паровоз распространен незначительно; он является прототипом паровоза серии «Щ».

Серия «Щ» — старый тип товарного двухцилиндрового паровоза, пользующегося сравнительно большим распространением. Паровоз спроектирован проф. Щукиным, и по первой букве этой фамилии паровозу присвоена серия «Щ». Паровозов этой серии имеется несколько разновидностей:

серия «Щ» — машина-компаунд, насыщенный пар;

серия «Щ^{п}» — машина простого расширения, перегретый пар (мало распространенная разновидность).

За последние годы ряд паровозов серии «Щ» переделан (модернизирован) в паровозы серии «Щ^{ч}» с сохранением системы компаунд.

Серии «Ы» и «Ы^{ч}», тип 0-4-0 — товарные паровозы-компаунд небольшой мощности. Паровозы с индексом «ч» снабжены пароперегревателем. Паровозы обеих модификаций не получили большого распространения ввиду своей недостаточной для магистральных дорог мощности.

Серия «Э» (с различными индексами) — распространенные современные товарные паровозы типа 0-5-0 нормальной мощности. Простота устройства, надежность работы, несложный ремонт наряду с достаточной (сравнительно) экономичностью работы обусловили значительное распространение этих паровозов, более мощных, чем все другие наши товарные паровозы старых типов (за исключением паровозов серий «Е» и «Ф»). Паровозы серий «Э^{м}» и «Э^{р}» строились нашими старыми паровозостроительными заводами до 1936 г.

Паровозы серии «Э» введены в эксплуатацию еще 25 лет назад и сразу же зарекомендовали себя с положительной стороны.

В 1926 г. заводы перешли на выпуск усиленных паровозов серии «Э^{у}», в которых число жаровых труб было увеличено с 25 (серия «Э») до 32 при соответствующем увеличении поверхности перегрева. В 1931 г. паровозы серии «Э^{у}» подверглись дальнейшей модернизации и стали выпускаться под названием серии «Э^{м}».

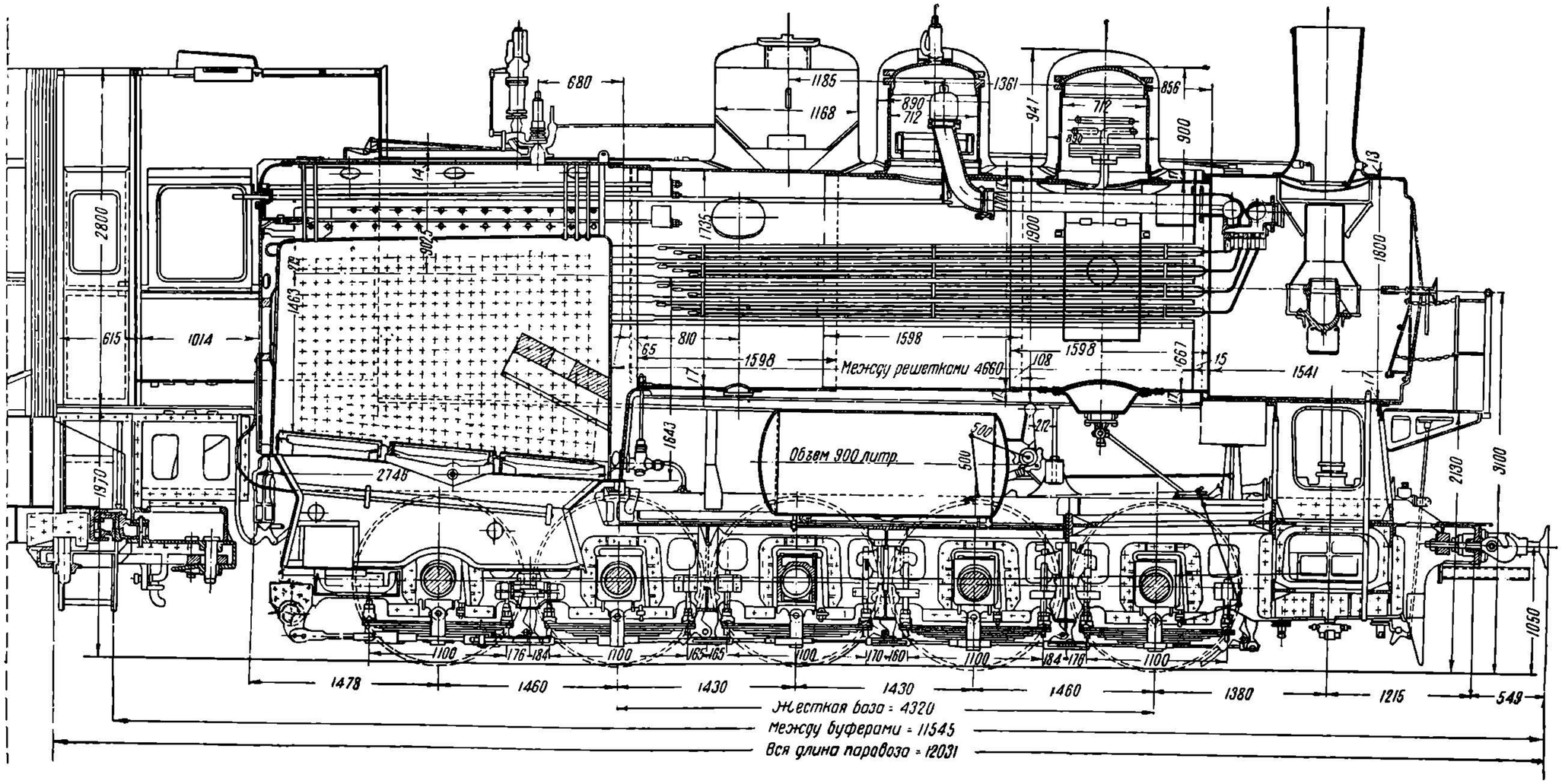
Продольный разрез паровоза серии «Э^{м}» показан на фиг. 4. Паровозы серии «Э^{м}» имеют повышенное до 14 *ат* давление пара (вместо 12 *ат* у паровозов серий «Э» и «Э^{у}»), медная топка заменена стальной. Повысить давление пара представилось возможным без всяких переделок котла (за исключением части швов). Последний при давлении в 12 *ат* обладает значительным избытком прочности.

Что касается частей движущего механизма, то увеличение давления на поршень в паровозах серии «Э^{м}» примерно на 16% заставило при разработке чертежей паровоза серии «Э^{м}» несколько усилить основные части движущего механизма. Увеличение веса последних не сказалось на изменении веса всего паровоза, так как вес стальной топки значительно меньше медной. Больше того: вес паровоза серии «Э^{м}» оказался даже меньшим веса паровоза серии «Э^{у}»; это объясняется отсутствием подогревателя (вес которого около 2,6 *т*) на паровозах серии «Э^{м}» (паровозы серии «Э^{у}» имеют водоподогреватели) и, главное, большим внедрением сварки частей в конструкции этих паровозов. Уменьшение веса паровозов серии «Э^{м}» отозвалось несколько неблагоприятно на работе паровоза из-за большего усилия пара на поршень. Когда по сути дела требовалось соответственное увеличение и сцепного веса, последний, наоборот, уменьшился; паровозы серии «Э^{м}» более склонны к боксованию, чем паровозы серий «Э» и «Э^{у}» (при прочих равных условиях).

Недостаток сцепного веса паровозов серии «Э^{м}» и желательность хотя бы некоторого увеличения веса обусловили переконструирование котла паровоза серии «Э^{м}» в части удлинения топки; штампы топочных листов остались при этой переделке котла без всякого изменения. Удлинение топки примерно на 540 *мм* позволило увеличить площадь колосниковой решетки до 5,09 *м*^{2} (вместо 4,46 *м*^{2} у паровозов серий «Э», «Э^{у}» и «Э^{м}»), котел получился более мощным, тяжелым, и недостаток сцепного веса паровозов серии «Э^{м}» был частично устранен.

Постройка паровозов серии «Э^{м}» в 1935 г. прекращена на всех заводах, и наши старые заводы перешли к выпуску других паровозов, в частности

НТБ ДНУЖТ



Фиг. 4.

НТБ ДНУЖТ

паровозов 1-5-0 серии «СО» (Серго Орджоникидзе), о которых речь будет дальше.

Серии «Θ» и «$Θ^{ч}$», тип 0-3 + 3-0 — громоздкий и мало рациональный четырехцилиндровый полусочлененный паровоз дуплекс-компаунд, системы Маллета. Первый из этих паровозов работает насыщенным, второй — перегретым паром. Паровозы Маллета громоздки, сложны, тихоходны, дороги в постройке и ремонте.

Серии «V» (ижица) и «$V^{с}$», тип 0-4-0 — товарные двухцилиндровые паровозы малой мощности, работающие перегретым паром. Большого распространения эти паровозы не получили ввиду своей маломощности; они далеко не отвечают требованиям, предъявленным к современным магистральным товарным паровозам.

В заключение перечня паровозов старых типов заметим, что индекс «п» у серии обозначает простая машина, работающая перегретым паром; индекс «ч»— машина-компаунд, работающая перегретым паром; эта буква «ч» выбрана по первой букве фамилии проф. Чечетта, сторонника применения в паровозах одновременно и принципа «компаунд» и перегретого пара.

§ 6. Паровозы серий «ФД» и «ИС» как основные единицы товарного и пассажирского парков

Согласно постановлениям XVII партсъезда мощные паровозы серий «ФД» и «ИС» за вторую пятилетку стали основными единицами паровозов товарного и пассажирского парков. Введение мощных паровозов серий «ФД» и «ИС» является одним из звеньев проводящейся технической реконструкции на транспорте.

При разработке проекта паровоза серии «ФД» была принята нагрузка на сцепную ось в 20 *т*, позволяющая этому паровозу работать на рельсах типа IIIа, имеющихся на 70—75% протяжения жел.-дор. сети. При разработке чертежей этих паровозов был учтен американский опыт мощного паровозостроения. Конструктивно американские паровозы во многом отличаются от наших паровозов прежней постройки; по своим размерам и силе тяги; первые вполне отвечают нашим требованиям, предъявленным к мощным паровозам.

Для детального ознакомления с американскими паровозами нами в 1931 г. в США были заказаны 10 крупных паровозов: пять паровозов типа 1-5-2 были заказаны фирме АЛКО (Американская локомотивная компания) и пять паровозов типа 1-5-1 — фирме Балдвин. Паровозы имеют нагрузку на сцепную ось в 23 *т*. Первым пяти паровозам была присвоена серия «$Т^{А}$», вторым — «$Т^{Б}$». Паровозы серий «$Т^{А}$» и «$Т^{Б}$» пришли в СССР в октябре 1931 г.

К 7 ноября 1931 г. Луганским (теперь - Ворошиловградский) заводом был выпущен первый товарный паровоз типа 1-5-1, которому была присвоена серия «ФД», с самого начала своей эксплуатации показавший хорошие качества как мощный быстроходный паровоз.

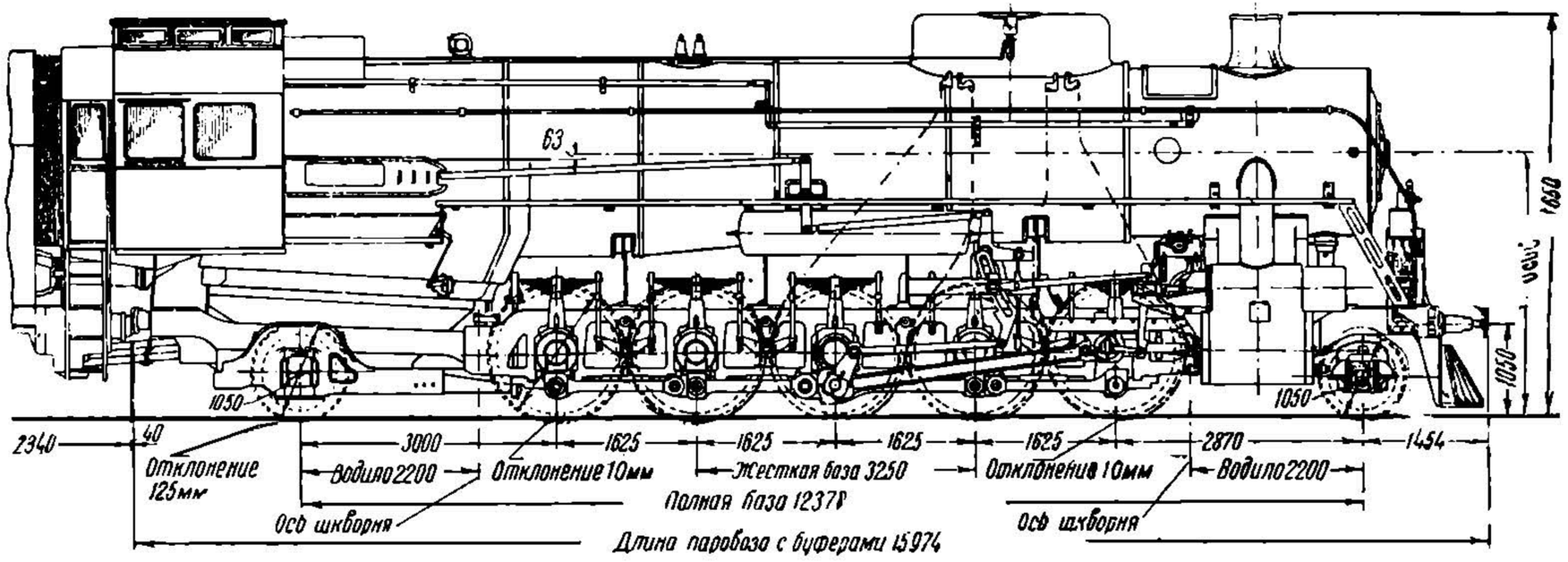
Сила тяги паровоза серии «ФД» по сцеплению на 17—20% больше, чем у паровоза серии «Э», но, имея значительно более мощный котел, паровоз серии «ФД» ведет поезд на расчетном подъеме со скоростью в 1,5 раза с лишним большей, чем паровоз серии «Э». Общий вид паровоза серии «ФД» показан на фиг. 5. Качества паровоза серии «ФД» чрезвычайно высоки. Достаточно простой в обслуживании и ремонте, вполне отвечающий по своей мощности требованиям, предъявляемым к современному мощному товарному паровозу, — в руках машинистов-кривоносовцев паровоз серии «ФД» обнаруживает резервы дальнейшего увеличения мощности и улучшения эксплуатационных измерителей. Паровоз серии «ФД» завоевал прочное место на жел.-дор. транспорте и еще долгий ряд лет будет являться основным наиболее распространенным товарным мощным паровозом. Удельный вес паровозов серии «ФД» в нашем товарном паровозном парке будет все увеличиваться; Ворошиловградский завод является основным поставщиком этих паровозов. Дальшейший ма-

НТБ ДНУЖТ

териал учебника во многих конкретных случаях иллюстрируется примерами устройства и ремонта этих, чрезвычайно характерных паровозов.

Здесь нужно заметить, что в свое время отдельными работниками ИРТ предлагались своеобразные, совершенно нежизнеспособные методы овладения огромными грузопотоками, в частности путем внедрения крупнейших многоосных так называемых сверхмощных паровозов, не требующих тяжелой реконструкции пути (замены легких рельсов тяжелыми).

Построить мощный паровоз с очень большим сцепным весом и небольшой нагрузкой на сцепную ось можно, применив например сочлененные или полусочлененные паровозы типа Гаррат, Маллет.



Фиг. 5.

На нашей сети работает один опытный паровоз системы Гаррата, купленный нами в Англии. Этому паровозу присвоена серия «Я». Котел установлен на особой массивной раме, своими концами опирающейся на две поворотных тележки. На каждой из этих тележек размещена двухцилиндровая машина, работающая свежим паром. Запасы воды и топлива размещены на этих же тележках.

Достоинствами паровоза Гаррата являются хорошее вписывание в кривые, небольшая нагрузка на ось, низкое расположение котла, обусловливающее хорошую устойчивость паровоза при движении по плохому пути, возможность размещения глубокой топки и емкого зольника, а также и симметричность устройства экипажа, позволяющая эксплуатировать паровоз без повертывания его на кругах или треугольниках.

Большими недостатками паровоза Гаррата являются громоздкость, высокая стоимость изготовления и ремонта, потери энергии в длинных паропроводах от котла к цилиндрам.

Наряду с введением мощных товарных паровозов серии «ФД» наш транспорт получает и мощные пассажирские паровозы типа 1-4-2, серии «ИС». Нагрузка на движущие оси этих паровозов — 20 *т*. Первый паровоз серии «ИС» был выпущен Коломенским заводом к 7 ноября 1932 г.

Что касается мощных пассажирских паровозов, то большое динамическое воздействие их на путь не позволяет применить их для эксплуатации на тех участках, где как наиболее тяжелые допускаются товарные паровозы с той же статической нагрузкой на сцепную ось. Если паровозы серии «ФД» могут работать на путях с рельсами IIIа, то для пропуска паровозов серии «ИС» желателен путь, имеющий рельсы не ниже типа IIа. На фиг. 6 показан схематический продольный разрез паровоза серии «ИС», колесная формула которого 1-4-2.

При постройке пассажирских паровозов нет надобности увеличивать число движущих осей свыше четырех (по условиям получения необходимой силы тяги), но в целях достижения больших скоростей ставят мощный и тяжелый котел, т. е. идут на соответствующее увеличение числа бегунковых и поддерживающих колес. Так, например у паровоза серии «ИС» имеются три поддерживающих оси из общего числа семи. Паровоз серии «ИС» так же, как и паровоз серии «ФД», показал свои отличные качества. Он мощен, быстроходен, прост в управлении

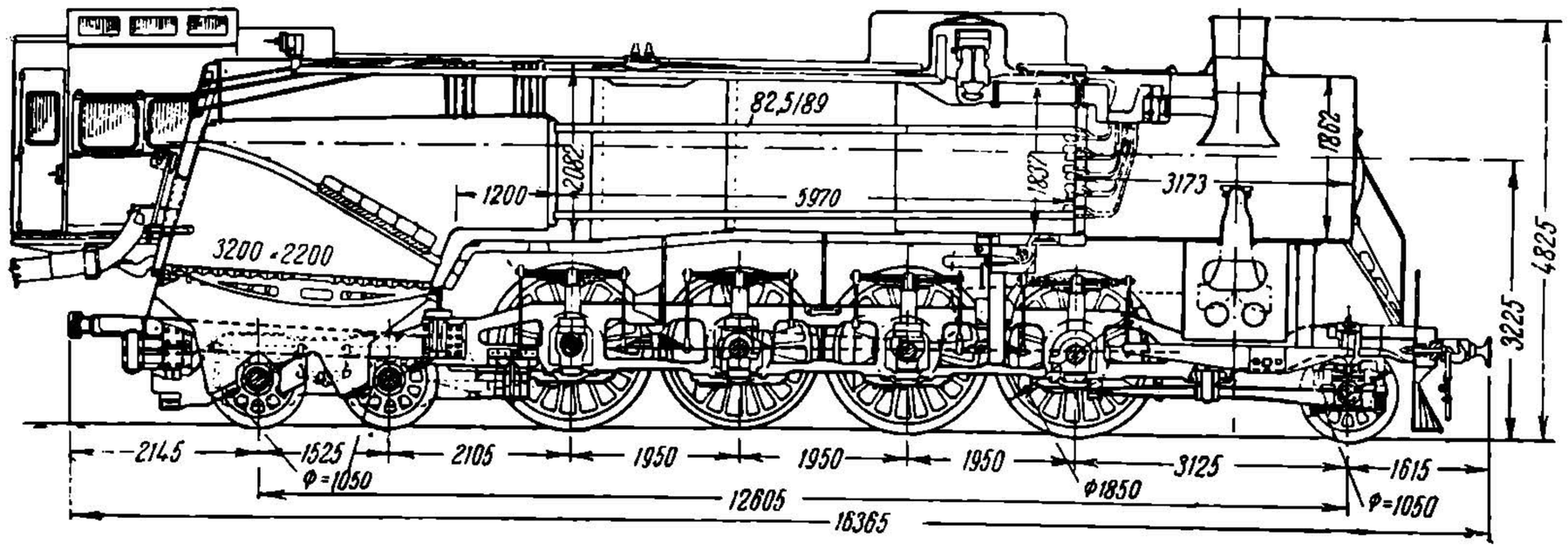
НТБ ДНУЖТ

и в ремонте, надежен в работе. Тяжелые быстроходные пассажирские поезда наиболее рационально обслуживать паровозами серии «ИС».

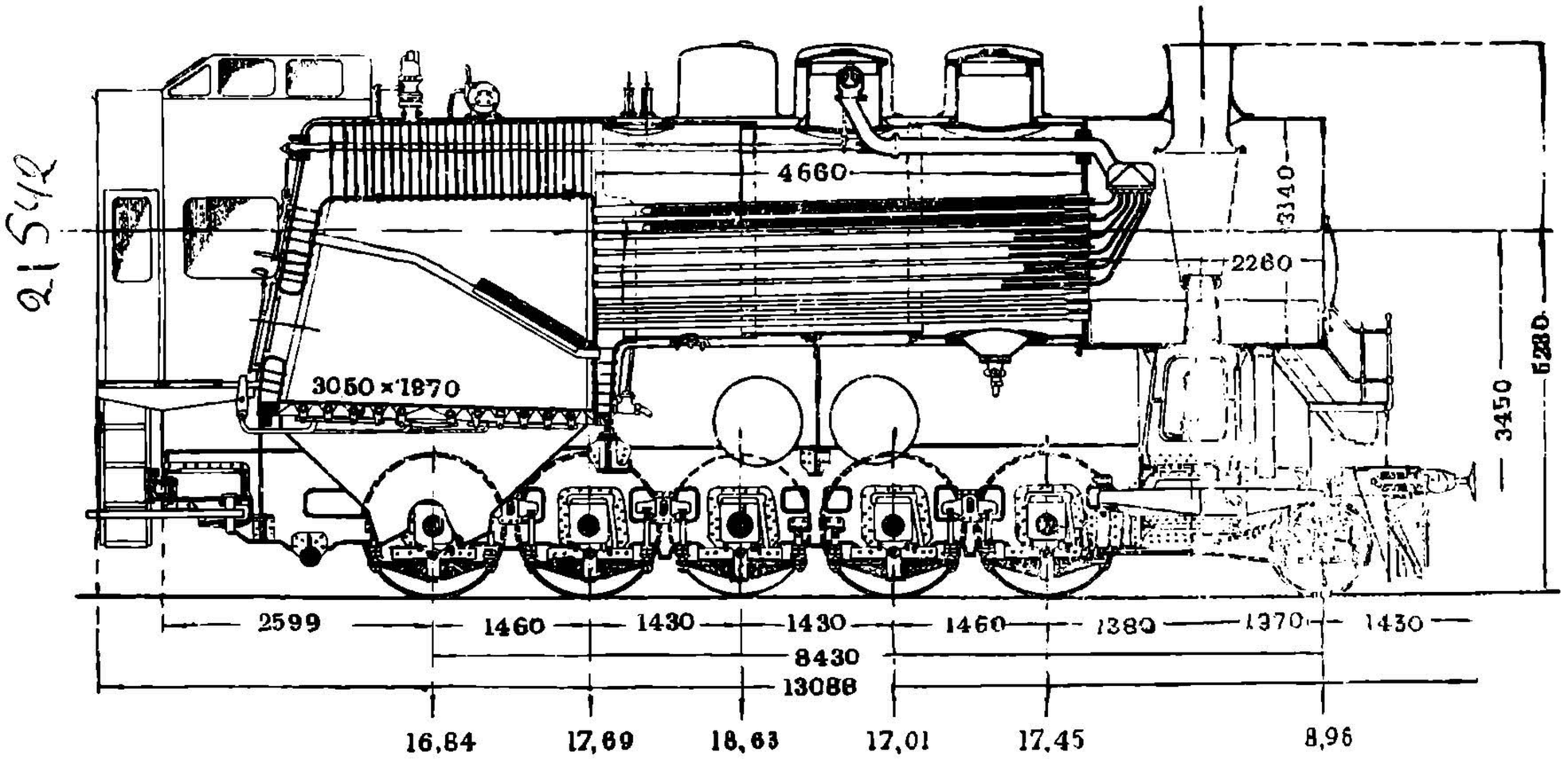
В 1937 г. приступлено к серийной постройке паровозов серии «ИС» на Ворошиловградском заводе. В последующие годы эти паровозы должны будут получать все большее применение для обслуживания тяжелых пассажирских поездов.

Во многом дальнейший материал учебника ориентируется и на эти паровозы

Несколько особняком стоят товарные паровозы типа 1-5-0 серии «СО». Уже в 1932—1933 гг. наш товарный паровозный парк имел большой процент паровозов типа 0-5-0, относительно слабосильных и уже не отвечающих требованиям, предъявляемым к современным товарным паровозам



Фиг. 6.



Фиг 7.

Необходимые для нашего жел.-дор. транспорта мощные паровозы с их значительными конструктивными изменениями строятся Ворошиловградским заводом. Рационально организовать производство мощных паровозов на наших старых заводах оказалось затруднительным. Поэтому Харьковский завод построил на базе паровоза серии «Э^{м}» новый паровоз, значительно более крупный, чем паровоз серии «Э» во всех ее модификациях, но имеющий однотипные с ним основные части — раму (тонкую листовую), паровые цилиндры (старого типа) и т. д.

УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА
НТБ ДНУЖТ

Значительно увеличенные размеры котла обусловили его больший вес и применение в связи с этим бегунковой оси. Тип паровоза получился 1-5-0; паровозу присвоены инициалы Серго Орджоникидзе (серия «СО»). Старые заводы (Харьковский им. Коминтерна, Орджоникидзеградский им. Красного Профинтерна) без труда перешли с выпуска паровозов серий «Э^{м}» и «Э^{р}» на выпуск серии «СО». Паровозы серии «Э» в настоящее время считаются паровозами нормальной мощности, паровозы серии «ФД»—мощными; паровозы серии «СО» можно считать паровозами повышенной мощности. Основным и первичным критерием мощности паровоза является колосниковая решетка. У паровозов серии «Э» колосниковая решетка равна 4,46 *м*^{2}, у паровозов серии «СО» — 6 *м*^{2}, у серии «ФД» — 7,04 *м*^{2}.

Паровозы серии «СО» (фиг. 7) показали свои вполне удовлетворительные качества. Они достаточно мощны, очень просты в уходе и ремонте (однотипность с серией «Э»), надежны. Их эксплуатационные измерители значительно выше чем у серии «Э».

Таблица 1

Главнейшие размеры некоторых характерных паровозов

Веса в *т*, площади и поверхности в *м*^{2}, размеры в *мм*

	Товарные паровозы						Пассажирск. паровозы		
Серия паровоза	„Э"	„Э^{у}"	„Эм"	„Э^{р}"	„СО"	„ФД"	„С"	„С^{у}"	„ИС"
Тип паровоза	0—5—0	0—5—0	0—5—0	0—5—0	1—5—0	1—5—1	1—3—1	1—3—1	1—4—2
Общие сведения									
Нагрузка на сцепную ось	16,1	17,0	16,0	16,5	17,0	20,1	15,7	18.0	20,2
Порожний вес паровоза	72,0	76,5	71,5	74,0	85 0	120,0	67,5	74,9	118,6
Рабочий вес паровоза	80,5	85,0	80,0	82,5	95,0	134,4	75,3	83.3	133,0
Сцепной вес паровоза	80,5	85.0	80.0	82,5	85,0	100,5	47,1	54,0	80,7
Порожний вес тендера	24,0	24.0	24,0	24,0	24,0	54,0	24,0	24,0	57,0
Рабочий вес тендера	62,0	62,0	62,0	62,0	62,0	120,0	62.0	62.0	128,5
Запас воды в тендере	23,0	23 0	23,0	23,0	23,0	44,0	23,0	23,0	49,0
Запас угля	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	22,0	15,0	15,0	22,5
Котел									
Давление пара в *ати*	12	12	14	14	14	15	13	13	15
Площадь колосниковой решетки	4,46	4.46	4,46	5,09	6,00	7,04	3,8	4,73	7,04
Число дымогарных труб	184	157	151	151	147	43	170	137	43
Число жаровых труб	25	32	32	32	50	130	24	32	130
Расстояние между решетками	4660	4660	4660	4660	4660	5970	5150	5150	5970
Поверхность нагрева котла: Топки	18,1	18,1	18,1	20,5		31,2	15,4	18,5	31,2
Циркуляционных труб	—	—	—	2,4	229,5	—	—	—	—
Дымогарных труб	137,3	117,2	113,6	113,6		47,1	146,3	109,2	47,1
Жаровых труб	52,6	62,2	62,2	62,2		216,8	51,5	68,9	216,8
Полная испаряющая	208,0	197,5	193,9	198,7	229,5	295,1	207,2	196,6	295,1
Перегревательная	49,7	66,4	66,4	66,4	93,6	148,4	51,5	72,6	148,4
Общая	257,7	263,9	260,3	265,1	323,1	443,5	258,7	269,2	443,5
Машина									
Диаметр цилиндров (2 шт.)	650	650	650	650	650	670	550	575	670
Ход поршня	700	700	700	700	700	770	700	700	770
Диаметр сцепных колес	1320	1320	1320	1320	1320	1500	1830/1850	1850	1850
Средняя сила тяги по машине в *т*	16,0	16,0	18,6	18,6	18,6	20,7	9,0	9,7	16,8

НТБ ДНУЖТ

§ 7. Главнейшие размеры некоторых характерных паровозов

В табл. 1 приведены основные размеры и данные о наиболее характерных типах паровозов. Сначала даны сведения о товарных паровозах серий «Э», «СО» и «ФД». Цифры наглядно показывают эволюцию товарных паровозов за последние 25—26 лет — со времени начала постройки паровозов серии «Э». Обращаем внимание как на постепенное увеличение площади колосниковой решетки, так и на увеличение поверхности перегревателя котла. Последняя растет не только абсолютно, но и относительно (по отношению к поверхности испарения). Что касается пассажирских паровозов, то сведения даны только для наиболее характерного и распространенного из старых паровозов серии «С», затем даны сведения о «С^{У}» и, наконец, о «ИС», показывающие развитие пассажирских паровозов.

В отношении табл. 1 следует заметить что: 1) веса тендера серии «ИС» предусматривают новый объединенный для паровозов серий «ФД» и «ИС» 6-осный тендер; первые паровозы серии «ИС» (постройки Коломенского завода) имели небольшие 4-осные тендеры; паровозы серии «ФД» выпускаются пока с 6-осными тендерами, имеющими запасы в 44 *т* воды и 22 *т* угля; 2) средняя сила тяги паровоза по машине подсчитана по формуле

$$F = 0{,}6\,\frac{d^2 \cdot l \cdot p_k}{1000 \cdot D} \qquad (1)$$

где F — сила тяги в *т*,
d — диаметр цилиндра в *см*,
l — ход поршня в *см*,
$p_к$ — рабочее давление пара в котле по манометру в *ат*,
D — диаметр движущих колес в *см*.

ГЛАВА II

РЕКОНСТРУКЦИЯ ПАРОВОЗА

§ 1. Основные данные

Паровоз в его современном виде не совершенен; обладая огромными преимуществами по сравнению с другими видами локомотивов (тепловозы, турбовозы), имея большие эксплуатационные достоинства (простота, надежность, способность к длительному напряженному режиму работы), — паровоз все же по целому ряду признаков требует усовершенствования.

Проведение в жизнь отдельных реконструктивных мероприятий повысит мощность паровоза, скорости его движения, увеличит пробеги между пунктами набора воды, средне-суточные пробеги, пробеги между подъемочными ремонтами (обточка бандажей), сократит простои в ремонте, на промывках, поднимет экономичность паровоза. Сейчас основное стремление паровозников — взять от паровоза максимум работоспособности. Одновременно встала другая очередная задача — проблема значительного повышения экономичности паровоза. До прихода Л. М. Кагановича на транспорт предельщики утверждали о недопустимости увеличения форсировок поверхности нагрева котла и колосниковой решетки за «предельные» величины потому, что при превышении их коэфициент полезного действия котла начинал постепенно падать и как будто ухудшалась в связи с этим общая работа паровоза. Это неверное и вредное рассуждение. Пусть при больших форсировках увеличивается температура уходящих газов, пусть тепловой к. п. д. котла несколько упадет, все равно ни о каком ухудшении измерителей работы паровоза не может быть и речи, так как неправильно оценивать использование паровоза только с точки зрения одной его тепловой работы. Паровоз является т я г о в ы м д в и г а т е л е м, экономичность работы паровоза должна рассматриваться с точки зрения его конечного эффекта. Повышая форсировки, мы, во-первых, увеличиваем скорости движения паровоза на площадке и расчетном подъеме, а сокращая время

НТБ ДНУЖТ

хода по подъему не только за счет большей установившейся скорости на подъеме, но и за счет использования живой силы поезда в начале подъема, мы в итоге уменьшаем расход топлива на данном подъеме; во-вторых, повышая форсировки и скорости движения, мы сокращаем необходимый для освоения заданного грузооборота паровозный парк, или наличным парком можем обслужить значительно больший грузооборот, т. е. «высвобождаем» значительные транспортные ресурсы; в-третьих, с увеличением форсировки мы лучше используем и вагонный парк, ускоряя оборот вагонов, содействуя росту погрузки, общего эффекта работы транспорта; в-четвертых, увеличивая форсировки, мы увеличиваем пропускную способность перегонов и участков, наконец, в-пятых, увеличивая форсировки и тем самым ускоряя товарооборот, мы высвобождаем колоссальные народные средства, вложенные в стоимость перевозимых грузов; эти огромные средства в процессе перевозки грузов являются как бы омертвленными. Ускоряя товарооборот, мы высвобождаем дополнительные оборотные средства народного хозяйства и тем содействуем более быстрому его росту.

Заслуга Петра Кривоноса — первого инициатора стахановского движения на жел.-дор. транспорте — огромна.

Умело ухаживая за паровозом, умело им управляя, добиваясь высококачественного ремонта, машинисты улучшают измерители работы паровоза.

Командир-паровозник наряду с созданием для машинистов и других работников паровозного хозяйства наилучших непосредственных условий их работы должен смотреть и вперед, совершенствуя паровоз. Здесь можно сделать очень многое. Ряд моментов может быть разрешен непосредственно самим жел.-дор. транспортом, ряд — при содействии заводов Наркомтяжпрома. Но и в последнем случае ведущая инициативная роль должна оставаться за транспортниками, непосредственно эксплуатирующими паровозы, хорошо знающими их слабые места, могущими дать установки для дальнейшего совершенствования паровоза.

К выполнению некоторых работ по реконструкции паровоза уже приступлено. Часть из них уже проводится в жизнь.

Весь большой комплекс проблем реконструкции паровоза можно разбить на две основных группы. К первой относим те из них, которые не требуют глубоких исследовательских или конструкторских разработок, ко второй — более сложные проблемы.

Обе группы являются одинаково актуальными и предусматривают наиболее полное использование и дальнейшее увеличение мощности паровоза, а также повышение его экономичности.

§ 2. Проблемы первой группы

Увеличение форсировок

Для дальнейшего увеличения форсировок паровозов, работающих на любых углях, следует в первую очередь улучшить работу форсового конуса. Существующие сейчас на наших даже современных паровозах конусные установки далеки от совершенства. Во-первых, необходимо сконструировать конус с переменным выхлопным сечением, но не по старому типу простых переменных конусов, а сохраняя принцип так называемого раздельного выхлопа пара, когда он выбрасывается из каждого цилиндра в свои выхлопные насадки. Во-вторых, нужно усовершенствовать самую конфигурацию выхлопных насадок. Улучшение конуса даст, помимо понижения противодавления пара в цилиндрах, повышенное разрежение в дымовой коробке и более энергичное парообразование. В-третьих, следует форсировать внедрение турбо-вентиляторной тяги газов сгорания, когда газы высасываются из котла за счет работы турбо-вентилятора. Такая дымососная установка применяется в настоящее время при оборудовании паровозов конденсационной установкой.

Повышение форсировок дают и регулярная продувка и очистка от сажи жаровых и дымогарных труб котла.

НТБ ДНУЖТ

Увеличение коэфициента сцепления колес с рельсами

Наряду с умелым управлением паровозом и хорошим состоянием движущего механизма и экипажа паровоза достичь большего коэфициента сцепления колес с рельсами позволяет применение песка. Косвенно тяговый эффект паровоза возможно улучшить применением приборов для сдувания или, лучше, смывания с рельсов использованного песка. Стертый песок, остающийся на рельсах, затрудняет передвижение вагонов, и иногда хорошо работающая песочница не достигает цели. Подобные приборы уже получают распространение в США.

Увеличивая силу тяги паровоза по сцеплению, машинист ни в коем случае не должен допускать боксования колес, так как это, во-первых, дает резкое уменьшение силы тяги (трение скольжения значительно меньше трения покоя), во-вторых, приводит к быстрому истиранию бандажей и росту проката и, в-третьих, что самое важное, вызывает опасность обрыва поезда — из-за резко меняющихся величин силы тяги паровоза.

Опытный машинист «чувствует» («слышит») приближение момента начала боксования по характерным легким вздрагиваниям отдельных, начинающих пробоксовывать на 1—2 *мм* колес и, пуская песочницу или уменьшая на время отсечку, предупреждает боксование. Для того чтобы лучше «слышать» работу машины, следует содержать в хорошем состоянии все ходовые части паровоза, и, кроме того, принимать все меры для уменьшения шума в будке: укреплять ее стенки, уменьшая тем самым ее дрожание, заботиться об отсутствии парения сальников арматуры и т. д.

Увеличение безостановочных пробегов паровоза

Увеличение безостановочных пробегов паровоза повышает в основном коммерческую скорость движения (частично и техническую), значительно улучшая измерители работы паровоза. Основным мероприятием для увеличения этих пробегов следует считать широкое внедрение твердой смазки паровоза, запаса которой в масленках подшипников дышел хватает на несколько сотен километров безостановочного пробега, а в осевых буксах — на несколько тысяч. В настоящее время уже производится переоборудование наших паровозов с жидкой смазки на твердую.

Увеличение безостановочных пробегов достигается и увеличением запаса воды на тендере или лучшим использованием существующих запасов.

Радикальным мероприятием по увеличению безостановочных пробегов является и введение конденсации отработавшего пара, рассматриваемой во второй группе проблем.

Увеличение межпромывочных пробегов паровоза

Увеличение межпромывочных пробегов паровоза значительно улучшает эксплуатационные измерители работы паровозов (средне-месячные пробеги). Машинист А. Огнев добился огромных результатов своей работы (40 800 *км* пробега между промывками), и по нему сейчас равняются другие лучшие машинисты; все же средний пробег между промывками по сети, равный 10—15 тыс. *км*, является недостаточным и его надо повысить. Его можно повысить, во-первых, путем правильного применения и дозировки антинакипинов (смесь тринатриумфосфата с каустической содой). Этот химический реактив вместе с питательной водой вводится в котел. Антинакипины химически воздействуют на накипеобразующие соли, переводя их в фосфорнокислые соединения, выпадающие в виде ила. Горячие стенки поверхности нагрева остаются чистыми и уже не зарастают накипью, как известно, очень нетеплопроводной и обусловливающей резкое ухудшение работы котла. Массы накипи, скопившейся в нижней части котла в виде ила, периодически должны удаляться «нижней

НТБ ДНУЖТ

продувкой». Необходимо улучшить продувочные устройства наших старых паровозов. Это второй момент, обусловливающий увеличение межпромывочных пробегов.

Третий вопрос — введение «верхней продувки». Часть накипи собирается в виде грязной «омыленной» пены на поверхности воды и также периодически подлежит удалению. Слой этой пены дает неспокойное парообразование, увеличивает влажность пара, облегчает бросание воды котлом. На наших паровозах приборы верхней продувки пока почти не применяются. Инициатива машиниста Пиджакова (Томская ж. д.), предложившего прибор для верхней продувки, очень ценна.

Увеличение межподъемочных пробегов:

Для увеличения межподъемочных пробегов можно и должно сделать многое. Нормальный прокат бандажей паровозы имеют после пробега в среднем 50—60 тыс. *км*. Правда, отдельные машинисты добиваются значительно больших пробегов между подъемками и в современных условиях эксплуатации, но средние цифры все же низки. Уменьшить износ бандажей возможно следующим образом: 1) устранением боксования, а также и остановки колес движущегося паровоза (неумелое или неосторожное торможение), 2) правильной регулировкой рессорного подвешивания у старых паровозов (регулировки подвешивания у мощных паровозов не требуется), 3) применением для ведущих колесных пар бандажей повышенной твердости по сравнению с бандажами сцепных колесных пар, 4) улучшением уравновешивания паровоза; кроме того, необходимо поставить вопрос перед промышленностью об общем улучшении качества бандажной стали, в первую очередь об увеличении твердости стали (временное сопротивление) — без уменьшения ее вязкости (удлинение).

Добиться значительного увеличения межподъемочных пробегов возможно также применением гребневых тормозных колодок, охватывающих не только круг катания бандажа, но и гребень последнего. У гребневых колодок делается глубокая выемка в средней части рабочей поверхности колодки. Таким образом тот участок бандажа, который подвержен наибольшему истиранию рельсом, колодкой почти не истирается. К введению таких колодок уже приступлено.

Наконец, огромного увеличения межподъемочных пробегов возможно добиться, применяя новый тип тормозных колодок с залитыми в колодку кусками твердой стали в тех местах, которые прижимаются к мало изнашивающимся участкам бандажа. Здесь получается «соскабливание» бандажа в нужных местах, и нормальный профиль бандажа сохраняется на более продолжительный срок.

§ 3. Проблемы второй группы

Проблемы второй группы составляются следующими шестью основными вопросами: введением конденсации отработавшего пара, применением пылеугольного отопления, введением клапанного парораспределения, применением воздухоподогрева, применением обтекаемых кожухов для быстроходных паровозов и применением в паровозах пара высокого давления.

Конденсация отработавшего пара

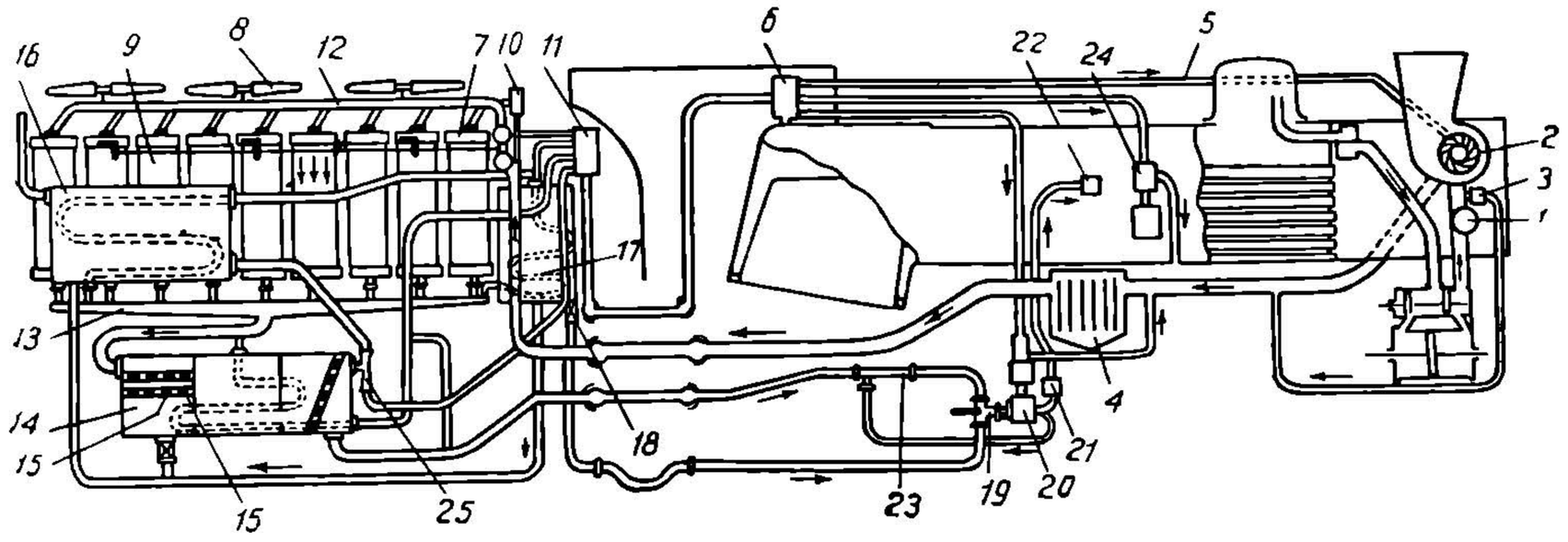
Конденсация отработавшего пара может быть или атмосферная («безвакуумная») или вакуумная. Первая преследует цель резкого улучшения эксплуатационных измерителей работы паровоза, вторая, кроме того, — и повышение теплового к. п. д. паровоза. Пока в паровозах применяется только атмосферная конденсация, как значительно более простая по своему конструктивному выполнению и по уходу и регулировке. Ведутся разработки и вакуумной конденсации.

Паровоз с конденсацией пара имеет колоссальные преимущества перед обычными. Л. М. Каганович на декабрьском пленуме ЦК ВКП(б) в 1935 г.,

НТБ ДНУЖТ

говоря о введении конденсаторных паровозов, подчеркнул, что «Этот паровоз совершит целую революцию в паровозном хозяйстве».

Конденсация пара во много раз позволяет увеличить пробеги между пунктами набора воды (до 800—1000 *км* вместо существующих 80—130 *км*), поднять форсировки (из-за более совершенной дымососной тяги газов сгорания) и скорости движения, увеличить пробеги между промывками, улучшить условия работы котла (питание дистиллированной водой, резкое уменьшение уноса топлива при дымососной тяге) и т. д.



Фиг. 8.

На фиг. 8 показана схема конденсационной установки. Отработавший в машине пар проходит через водоотделитель *1* и поступает в турбину дымососа *2*; на одном валу с рабочим колесом турбины насажено рабочее колесо центробежного вентилятора. Разрежение изменяется в широких пределах вентилем *3*, пропускающим большую или меньшую часть пара, минуя турбину, непосредственно в трубопровод мятого пара, идущий к тендеру. При отсутствии мятого пара (на стоянке и при езде с закрытым регулятором) турбина может быть пущена на любую мощность (в том числе и на полную в 60 *л. с.*) свежим паром, подводимым к ней от пароразборной колонки *6* по паропроводу *5*. Такое устройство позволяет ускорить подготовку паровоза к поезду (поднять пар).

В трубопровод мятого пара включен маслоотбойник *4*, назначение которого — отделить от мятого пара частицы масла, в нем содержащиеся. Масло, попадая в котел вместе с конденсатом, резко ухудшает работу котла, так как оно очень нетеплопроводно и, покрывая стенки топки и труб, ухудшает парообразование. Стенки же котла при этом имеют высокую температуру. На маслоотделение обращается самое серьезное внимание, и наряду с маслоотбойником *4* применены и другие маслоотделители. По шарнирному паропроводу пар переходит на тендер и вращает ротор турбины *10* (мощность до 160 *л. с.*), приводящей в движение рабочие колеса *8* трех вентиляторов холодильников *7* и *9*. Вентиляторы гонят воздух через радиаторы, по трубкам которых движется пар, отработавший в турбине и попавший в радиаторы по разводящим трубам *12*. Охладившийся до 85—90° конденсат стекает по сборным трубам *13* в бак конденсата *14*, подвешенный к раме тендера. В баке помещены маслоотделительные устройства (перегородки) — матрацы *15*. Горячая вода из бака по шарнирному водопроводу поступает к насосу *20* (насосов — две штуки), проходит еще через маслоотделитель *21* и поступает в котел через питательный клапан *22*. Запас сырой воды, необходимый для пополнения убыли воды из этого «замкнутого цикла», помещается в основном баке *16* и дополнительных *17*, которые соединены друг с другом. Из бака *17* вода по водопроводу поступает к насосу *20*. Перед последним помещен переключательный трехходовый кран *19*.

Применение пылеугольного отопления

В условиях нашего планового хозяйства, при характерном размещении в определенных районах нашего Союза угольных месторождений, поставляющих уголь для паровозов, отопление угольной пылью имеет большие перспективы.

НТБ ДНУЖТ

Сейчас наш жел.-дор. транспорт в большой доле своей пропускной способности занят служебными перевозками топлива для обслуживания своих нужд и в первую очередь для паровозов, потребляющих до 80% топлива, расходуемого на нужды жел.-дор. транспорта. Между тем эти дальние перевозки топлива можно резко сократить, если не устранить вовсе, переоборудовав паровозы на отопление угольной пылью. Любые сорта малокалорийных углей, например подмосковные, в пылевидном состоянии хорошо сжигаются в паровозных топках, и форсировки при этом без труда могут быть повышены до больших значений, чем это имеет место сейчас, когда паровозы работают на дальнепривозных углях. Не приходится и говорить, насколько важна эта проблема перевода паровозов на местные угли, залежи которых разбросаны почти по всем районам Союза. Внедрение пылеугольного отопления «освобождает» колоссальные транспортные средства, занятые сейчас большими перевозками угля, потребляемого самим транспортом.

Введение клапанного парораспределения

Клапанное парораспределение позволяет увеличить полноту индикаторной диаграммы, уменьшив мятие пара при впуске. Если в стационарной практике клапанное парораспределение себя вполне зарекомендовало и почти целиком вытеснило золотниковое, то в условиях паровозной службы оказались необходимыми значительные переделки клапанов и их приводов. Объясняется это спецификой работы паровоза — переменный режим, большая быстроходность, худшие общие условия работы. За границей ряд систем клапанного парораспределения для паровозов частично уже получает распространение.

В 1934 г. мы также установили на двух паровозах серии «Су» клапанное парораспределение системы Ленца. Испытания этих паровозов и их эксплуатация показали необходимость переделок, лишь после чего возможно будет поставить вопрос о более широком применении клапанного парораспределения данной конструкции.

Применение воздухоподогрева

Подогрев воздуха, поступающего в зольник, — еще не разрешенная практически задача. Опытные воздухоподогреватели вполне себя зарекомендовали с теплотехнической стороны, хотя и требовали значительного улучшения своей конструкции (габариты, малый вес, долговечность и т. д.).

Температура уходящих газов в паровозах достигает 400 и более градусов. Заставляя газы проходить через воздухоподогреватель, мы без труда подогреваем воздух примерно на 100°. Настолько же поднимается и температура топки, даже еще несколько выше из-за уменьшения химической неполноты сгорания углерода в топочном пространстве, имеющем высокую температуру. Эта частичная утилизация тепла уходящих газов дает 5—6% экономии топлива, или на столько же увеличивает мощность паровоза при том же расходе топлива. Проблема имеет огромное значение и ждет своего практического разрешения.

Применение обтекаемых кожухов для быстроходных паровозов

Сопротивление среды быстро движущемуся паровозу возрастает прямо пропорционально к у б у скоростей. Уже при скоростях движения порядка 130—140 *км/час* постановка на паровоз обтекаемого кожуха, схематически показанного на фиг. 9, изображающей проект разработанного Коломенским заводом паровоза 2-3-2, может дать выигрыш в мощности порядка 200—250 *л. с.* На фиг. 10 показан обтекаемый кожух паровоза серии «ИС» [1], начинающий применяться для этих паровозов (выпуск Ворошиловградского завода).

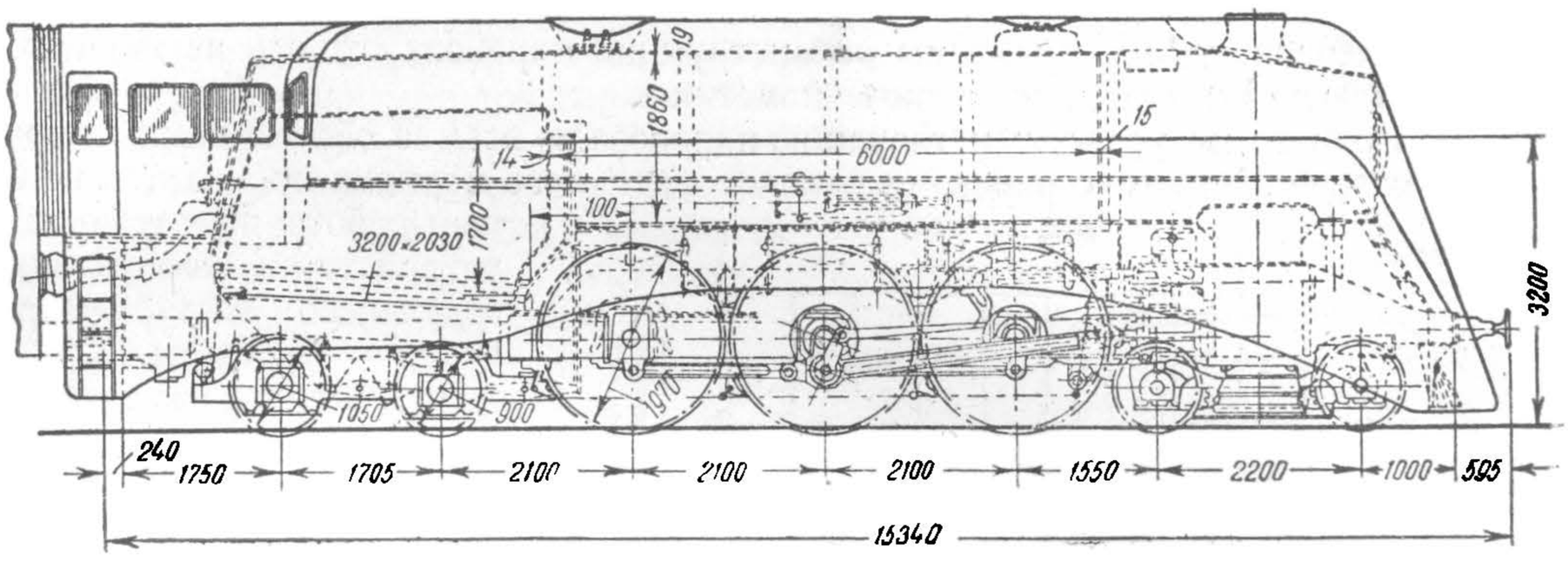
---

[1] Подробнее об обтекаемых кожухах паровозов см. журнал «Жел.-дор. техника» № 9 за 1936 г. и сборник «Транспортное машиностроение» № 2 за 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

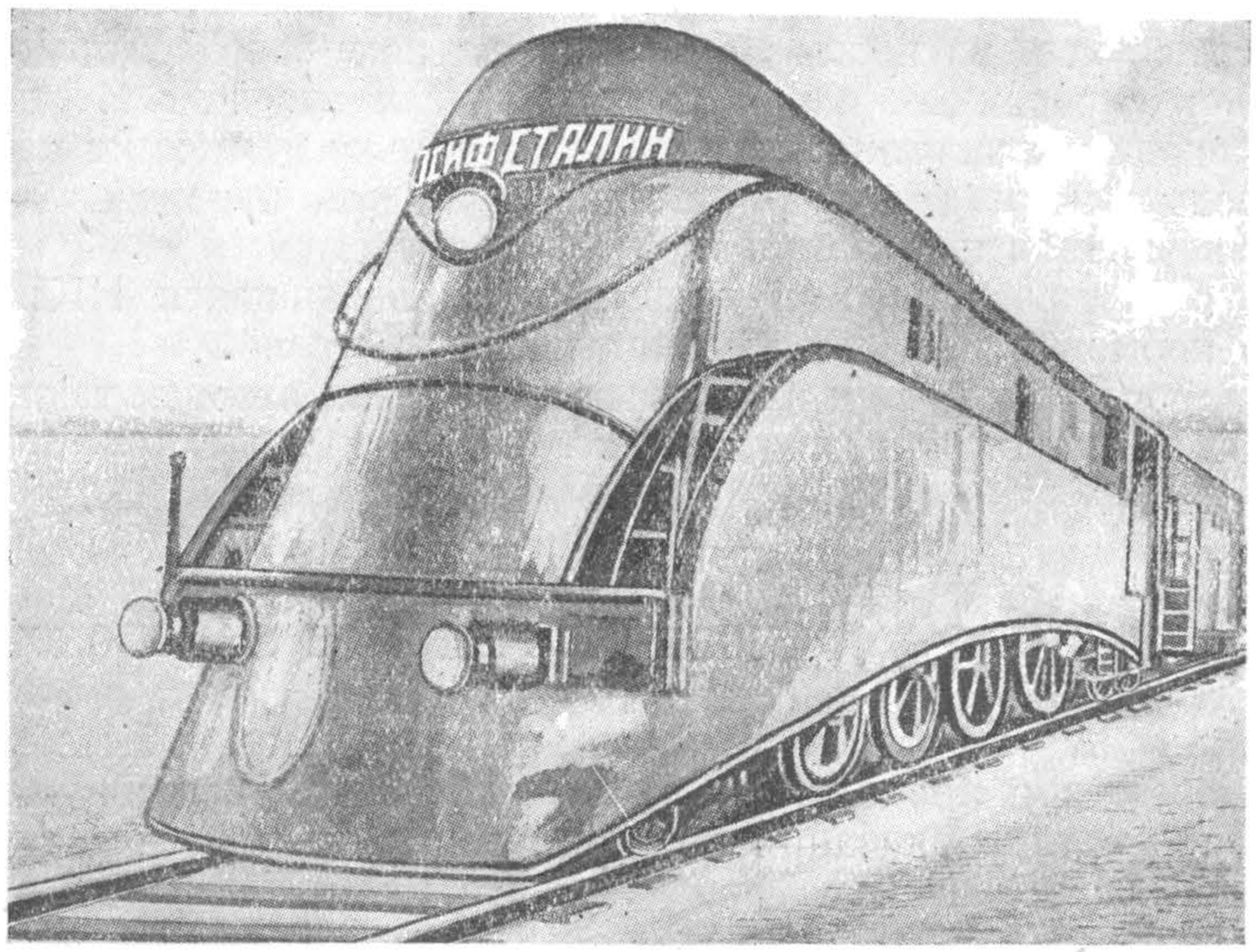
Применение пара высокого давления

Пар высокого давления (до 100 *ат* и больше) уже получил широкое применение в стационарной теплотехнике и полностью доказал большие преимущества перед обычным паром «низкого» давления. Применение пара высокого давления стоит одной из проблемных задач в паровозном деле. Первое и основное преимущество паровозов высокого давления — их значительная экономичность; здесь можно получить экономию топлива до 30 и более процентов по сравнению с существующими паровозами.



Фиг. 9.

Водяной пар обладает, как известно, тем характерным свойством, что скрытая теплота парообразования уменьшается по мере повышения давления. Правда, теплота жидкости (воды) при увеличении давления увеличивается, но это увеличение идет медленнее, чем падает скрытая теплота парообразования. В итоге мы имеем уменьшение теплосодержания пара при давлениях, превышающих уже 24 — 26 *ат*.



Фиг. 10.

На фиг. 11 дана зависимость между теплосодержанием и давлением пара. Нижняя кривая дает величины теплоты жидкости, расположенная выше — теплосодержание пара. Рассмотрение кривых показывает, что теплота испарения уменьшается значительно быстрее, чем увеличивается теплота жидкости. Наибольшее теплосодержание сухого насыщенного пара (669 *кал/кг*) соответствует давлению 24—26 *ат*.

НТБ ДНУЖТ

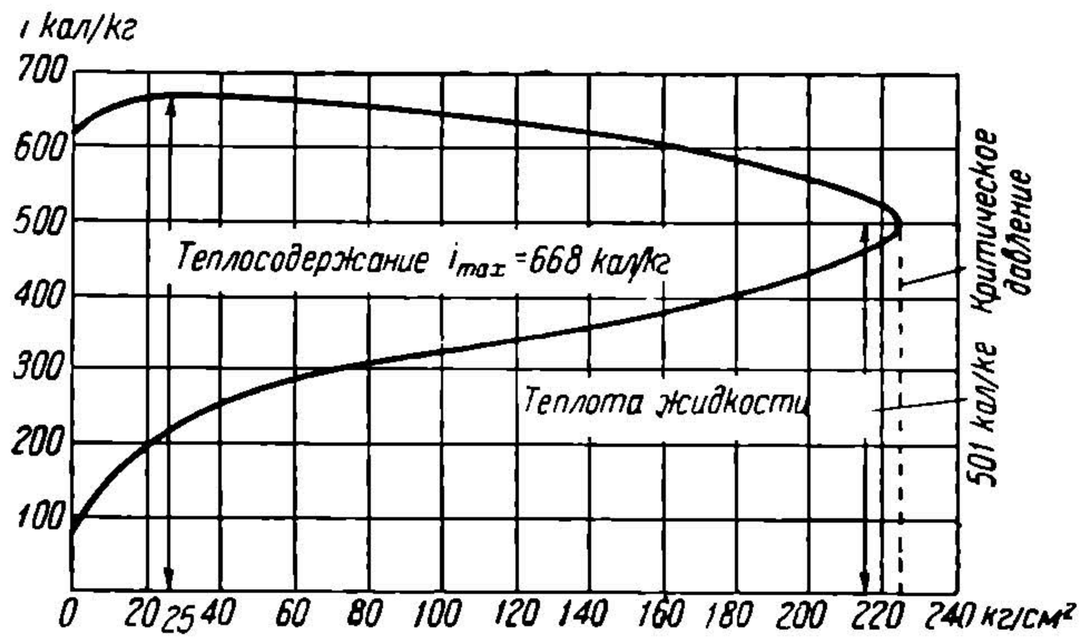
Если часовой расход пара на 1 *л. с.* в наших обычных паровозах колеблется в пределах 6,5—8 *кг*, то в паровозах высокого давления этот расход падает до 5 и даже до 4,5 *кг* при одинаковом в обоих случаях перегреве. Это и дает значительную экономию топлива, достигающую 25—30%.

За границей имеется несколько опытных паровозов повышенного и высокого давлений (Делавар-Гудзонской ж. д. в США, Шмидта, завода Винтертур, Леффлера, Балдвина и др.).

Основные вопросы при проектировании паровозов высокого давления — устройство котла и машины. В этих паровозах большое значение приобретают воздухо-и водоподогрев.

Все перечисленные проблемы реконструкции паровоза отнюдь не являются исчерпывающими: это лишь первые наметки.

Вся работа по усовершенствованию паровоза во всем ее объеме нами отнюдь не изложена. Наряду с работами реконструктивного порядка проводится большая работа по улучшению устройства и эксплуатации отдельных частей паровоза — арматуры, гарнитуры, пароперегревателя, паросушителя, частей машины и экипажа.



Фиг. 11.

Реконструировать следует не только самый паровоз, но и методы его постройки и в особенности ремонта. Во-первых, следует улучшить качество металла, идущего на паровозостроение, повысить точность обработки и сборки частей паровоза — введением взаимозаменяемости, предельных калибров. Эта работа сейчас развертывается на новом Ворошиловградском заводе и частично на старых нереконструированных паровозостроительных заводах. Не приходится и говорить об огромном значении этих работ не только для самих паровозостроительных заводов, но и для эксплуатации и ремонта паровозов — в условиях депо и паровозоремонтных заводов.

Наряду с этим огромное значение имеет проводящаяся НКПС работа по составлению нормалей и стандартов паровозных деталей.

Ремонт паровозов в депо и на паровозоремонтных заводах также перестраивается на новых индустриальных началах.

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ УСТАНОВКИ В РЕМОНТЕ ПАРОВОЗОВ

Весь ремонт паровоза необходимо выполнять так, чтобы показатели по качеству, стоимости и продолжительности ремонта были наилучшими.

Совершенно четкие указания по организации технологического процесса ремонта паровозов в депо и на заводах дал Л. М. Каганович в своих приказах за № 94/Ц от 28/V 1936 г., № 78/Ц от 10/VI 1936 г., № 96/Ц от 14/V 1937 г. и № 148/Ц от 12/VII 1937 г.

Для выполнения приказов наркома мы должны проводить в ремонте паровозов следующие мероприятия:

1. Проведению ремонта паровозов должно предшествовать глубокое изучение состояния паровозного парка в депо с целью определения предстоящего объема ремонта и соответствующей подготовки необходимых запасных частей.

2. Введение в депо для текущего и подъемочного ремонтов системы предварительной записи ремонта не менее, как за 24 — 36 часов.

НТБ ДНУЖТ

3. Содержание ремонта в депо должно включать в себя не ремонт деталей паровоза, а замену неисправных частей запасными, имеющимися всегда в наличии кладовой.

4. Прикрепление к ремонтным заводам определенных обслуживаемых ими районов с минимальным количеством серий.

5. Введение в систему работы по градациям и допускам, дающим возможность в большем масштабе применять взаимозаменяемость деталей и сократить до минимума необходимость ручной пригонки. Взаимозаменяемость в первую очередь должна быть введена по дышловому движению, котловой арматуре, рессорному подвешиванию, автоматическому тормозу, пресс-масленкам, поршневым и золотниковым кольцам.

6. Применение методов серийного и поточного производства, как более прогрессивных.

Серийное производство например может иметь место в изготовлении запасных частей. Необходимо заметить, что дело с изготовлением запасных частей заводами для депо коренным образом должно быть изменено. Мы должны не только резко повысить количество выпускаемых запчастей, что прекратит в депо развитие кузниц, литейных, работающих кустарно и непроизводительно, но и повысить их качество. Запасные части, изготовленные по градациям и допускам, устранят необходимость ручной пригонки и сократят сроки простоя.

Поточное производство может иметь место при ремонте дымогарных и жаровых труб, при ремонте колесных пар, при сборке паровоза после подачи котла, колесных пар и ремонта рамы.

7. Организация ремонта на сжатом фронте ремонтируемых паровозов с максимальным проведением параллельности и плотности в работе.

8. Выполнение промывочного и подъемочного ремонтов в депо комплексными бригадами, а ремонта на заводах бригадами: разборочной, комплексными ремонтно-монтажными бригадами, выполняющими ремонт деталей, сборку узлов и монтаж паровозов, котлов и тендеров.

9. Проведение ремонта как в депо, так и по заводам на основе полного хозяйственного расчета с передачей в ведение начальника завода, начальника депо средств производства, материальных ценностей и кредитов.

Остановимся несколько подробнее на одних из главнейших факторов в ремонте, которые мы должны проводить, — это на взаимозаменяемости деталей и на точности изготовления, измерения и монтажа деталей и узлов.

§ 1. Взаимозаменяемость деталей

При ремонте должна быть восстановлена геометрическая форма деталей и их элементов и восстановлено проектное расположение геометрических осей и плоскостей механизма.

Точность изготовления, составляя одно из условий длительной работы машины и минимального ее износа, позволит осуществить взаимозаменяемость деталей. Осуществление взаимозаменяемости деталей даст возможность: а) сократить продолжительность ремонта паровоза, б) заменить дорогую, непостоянную по качеству ручную работу машинной, в) сократить время на обработку деталей, г) улучшить качество работы, д) осуществить экономию материала и инструмента, е) добиться равномерности работы в цехах.

Точность изготовления, как известно, определяется допусками или пределами допускаемых отступлений от номинальных размеров. Каждая деталь имеет свободные и соприкасающиеся с другими деталями поверхности; последние можно разделить на поверхности неработающие и поверхности, сочлененно работающие (валики и втулки, параллели и крейцкопфные вкладыши и т. п.). Поверхности свободные и поверхности, хотя и сочлененные с другими, но неработающие, могут быть с допусками, значительно более свободными, чем сочлененно работающие. Для первых будут достаточны допуски 4—7-го классов точности, для вторых, как увидим, потребуются 3-й и 2-й классы точности. Сочлененно работающие поверхности двух деталей могут иметь один номинальный размер, но допуски для

НТБ ДНУЖТ

обработки их будут определяться характером работы, на основании которого устанавливается необходимый зазор или натяг для обработки деталей в местах сочленения. Все главнейшие допуски определялись на основе опыта длительной эксплуатации. Это было необходимо не только в целях безопасной работы машины, но и в целях избежания чрезмерной точности, которая дорого обходится производству. Впервые допуски получили распространение в производствах массового характера и крупносерийных: автомобильном, тракторном, авиационном и станкостроительном. Опыты по изготовлению взаимозаменяемых деталей при постройке паровозов начаты в части некоторых деталей около 15 лет назад, но применение принципа взаимозаменяемости устанавливается лишь в последнее время. К ремонту паровозов по допускам приступлено значительно позднее, так как в организации его имелись затруднения вследствие значительных затрат на приобретение нужного инструмента. Однако найдена возможность избежать эти затруднения, о чем будет сказано ниже.

Как известно, обе допущенные ОСТ системы допусков, т. е. система вала и система отверстия, являются независимыми одна от другой и в одинаковой мере достигают намеченной точности обработки.

При сравнении обеих систем решающими факторами являются: при системе отверстия — меньшие затраты на обзаведение необходимым режущим и мерительным инструментом, при системе вала — сбережения в расходах как при обработке гладких валов, так и при выполнении ходовых посадок, имеющих большие зазоры в этой системе по сравнению с системой отверстия. Что касается прочих преимуществ и недостатков, присущих обеим системам, то они не столь существенны и часто взаимно компенсируются. Практика показала, что в станкостроении, автомобильной, тракторной и авиационной промышленностях предпочитают пользоваться системой отверстия, в то время как система вала применяется в производствах частей трансмиссий, сельскохозяйственных и текстильных машин и изделиях точной механики. Что касается паровозостроения, то имеющийся опыт изготовления деталей по допускам заставляет предпочесть почти исключительно систему отверстия. Эта система принята и при ремонте паровозов.

Так как основным доводом при выборе системы отверстия явились сравнительно меньшие затраты на измерительный и режущий инструмент, остановимся на его характеристике. Измерительный инструмент разделяется на две главные группы: инструмент, дающий лишь одну постоянную, определенную меру, и раздвижной инструмент, устанавливаемый в определенных пределах на любую желаемую меру. К первой группе относятся: предельные внутренние калибры для отверстий, калибровые скобы для валов, пластинки Иогансона и мерные стержни. Ко второй группе относятся: раздвижные калибры с ноииусами, микрометры, микрометренные штикмасы, штикмасы с микрощупами, нутромеры с микрощупами и седловые микрощупы для наружных диаметров, миниметры и ряд других.

Как внутренние предельные калибры, так и калибровые скобы по чрезвычайной простоте пользования ими, сохранению первоначальных приданных им мер, а главное по присущей им точности обмеров, являются единственными мерительными инструментами, с помощью которых возможна обработка изделий с допусками двух первых классов точности. Но наряду с этими качествами они обладают и весьма серьезными недостатками. К числу таковых относится необходимость иметь весьма большое число мерительного инструмента.

Возникающие затруднения могут быть преодолены посредством применения раздвижного мерительного инструмента, который при принятых для постройки и ремонта паровозов 3-х, 4-х и низших классах точности явится преобладающим типом мерительного инструмента. Основной режущий инструмент для отверстий (сверла, расточные пластины, развертки) должен быть нормирован соответственно установленным градациям ремонтных размеров и допускам.

Для получения на имеющихся станках заданной точности обработки станки должны быть проверены на точность и поддерживаться в надлежащем состоянии, Помимо того, должны иметься приспособления обеспечивающие точность и надежность установки деталей на станках.

НТБ
ДНУЖТ

Детальное изучение последовательных процессов обработки паровозных деталей в мастерских показало, что не взирая на большое количество разнородных типов этих частей, громадное большинство работ, производимых над ними в цехах мастерских, сводится к сравнительно небольшому числу повторяющихся однообразных работ над основными составными элементами этих деталей. К таким основным элементам относятся: валики, цапфы и втулки в шарнирных соединениях тормозной, рычажной передач, рессорного подвешивания и пароораспределения, клинья, болты и сухари в дышловых головках и т. п. Отсюда, естественно, явился вывод, что в запасе надо иметь не самые детали, а их указанные основные элементы, которые должны быть взаимозаменяемыми, причем в тех случаях, когда по конструкции деталей такие элементы не предусмотрены, например, когда в шарнирных сочленениях не имеется втулок, т. е. когда валики работают непосредственно в теле сопряженных деталей, — целесообразно вводить втулки, расширяя соответственно ушки в деталях. Мера эта проведена за границей в широком масштабе, и основной фонд запасных деталей в мастерских для обмена при ремонте состоит в значительной части именно из таких, сравнительно небольших и недорогих деталей, как валики, цапфы, втулки, болты, винты, клинья, подшипники, трубы, трубные соединения, гайки, фланцы, ввертыши и т. п.

На практике взаимозаменяемость вылилась в следующие формы:

1) Полная взаимозаменяемость, применяющаяся к нормированным деталям, отремонтированным с точным соблюдением установленных предельных размеров и допусков.

2) Условная взаимозаменяемость. Сюда относится обмен таких деталей, которые для постановки их на место на любом паровозе данного типа требуют лишь незначительной пригонки какого-либо одного размера.

3) Временная взаимозаменяемость. Здесь главным образом имеется в виду взаимозаменяемость таких старых и непроведенных через нормировку деталей мелкой арматуры, для которых не установлены предельные нормы и допуски и которые поэтому хранятся в кладовых в обработанном по таким нормам виде. Части эти заменяются по мере возможности такими же частями с других паровозов, находящимися в мастерских, в процессе исправления или уже исправленными.

§ 2. Точность измерения, изготовления и сборки деталей

Допуски, принятые для изготовления механизма, должны обеспечивать минимальное нарушение правильности его элементов, их взаимного расположения и работы механизма, например правильности работы золотника. Зазоры одного класса точности будут тем меньше, чем меньше диаметр или толщина детали. Наименьшие зазоры дадут наименьшие удары при работе сочленения. От зазоров в сочленениях зависит не только правильность работы механизма, но и длительность службы сочленения до предельного износа, превышение которого уже создает недопустимую неправильность в работе механизма. Малые зазоры легче осуществить для небольших диаметров и толщин, но эти диаметры имеются при незначительных передаваемых усилиях, как например в пароораспределении.

Отсюда часто делают заключения, что при значительных усилиях (например передаваемых ведущим дышлом на буксы и буксовые направляющие) можно обойтись без большой точности изготовления. Это ошибочное заключение: именно здесь должна быть соблюдена особая точность при ремонте отдельных сочленно работающих элементов, сборке сочленения и установке, так как, чем более зазор, тем сильнее будут удары в сочленении и износ его; а чем значительнее неправильность установки (например в сочленении буксы с буксовыми направляющими — неперпендикулярность широкой плоскости буксовой направляющей главной оси рамы), тем скорее появится износ и увеличится зазор, вызывая значительные удары, еще больший износ и полное расстройство механизма. Поэтому в практике английских и германских заводов особое внимание при ремонте паровоза обращается на проверку рамы и букс и в частности положения

НТБ ДНУЖТ

лобовых плоскостей буксовых направляющих, их отделку, правильное положение соответствующих граней буксовых наличников и их обработку. Изготовление и ремонт сложных паровозных деталей до настоящего времени осуществляются в большинстве случаев при помощи разметки. При изготовлении размеры для разметки берут с альбома (проектные). При ремонте эти размеры (размеры изношенных элементов детали) берут по месту посредством измерения различными мерительными инструментами после того, как будет установлено правильное положение плоскостей и осей сочленяемых деталей, т. е. после предварительной проверки и ремонта основных деталей, от которых зависят соответствующие размеры (например положение плоскостей буксовых направляющих, осей цилиндров, осей колесных пар, осей переводного вала, кулисных цапф и т. п.). В существующей у нас практике установление правильного (проектного) положения плоскостей и осей основных деталей производится путем предварительной проверки их, затем ремонта и контрольной проверки. Эти проверки совершаются способами, не дающими необходимой точности, при помощи линеек, ниток и простейших концевых мер. Тем не менее эти проверки служат для определения основных размеров некоторых сочленяемых деталей. Здесь необходимо значительное уточнение основных проверок — применение новых способов. Изготовление и ремонт деталей по допускам, т. е. с установленной степенью точности, приводят к необходимости избегать разметки там, где она не может дать этой точности, так как фиксирует ремонтные размеры рисками и кернами. С этой целью устанавливают для сочленяемых деталей градации ремонтных размеров (по диаметрам, толщине, длине, ширине), что позволит одновременно, а не последовательно, обрабатывать эти детали. Основным правилом изготовления и ремонта деталей должно быть полное соответствие точности обработки точности измерения.

В описании ремонта паровозных деталей, сборки их в узлы и монтажа приведены как старые способы ремонта, так и современные, дающие заранее установленную точность отдельных деталей и сборки.

НТБ
ДНУЖТ

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПАРОВОЙ КОТЕЛ

ГЛАВА I

ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО КОТЛА И ЕГО РАБОТА

§ 1. Основные требования, предъявляемые к котлу

Паровой котел современного паровоза должен отвечать целому ряду предъявляемых к нему требований. Во-первых, котел должен быть безопасным в работе, обеспечивающим полную надежность работы паровоза.

Во-вторых, котел должен быть максимально удобным в управлении его работой, уходе, обслуживании и ремонте. Эти эксплуатационные качества паровоза имеют чрезвычайно большое значение.

В-третьих, котел должен быть максимально мощным, т. е. при данном весе котла его поверхность нагрева должна быть наибольшей. Характерный показатель паровоза — его «строительный коэфициент» — представляет собой отношение веса паровоза в рабочем состоянии (в *т*) к общей поверхности нагрева котла (в $м^2$). Удачно выполненные паровозы имеют этот коэфициент в пределах 0,30 — 0,31.

В-четвертых, паровой котел должен иметь возможность оборудования его под любой вид топлива. Отапливая наши паровозы любыми, в том числе и мало калорийными углями, мы должны, естественно, предусматривать большие размеры топок и колосниковых решеток для получения нужного теплового режима котла. При отоплении паровозов одними высококалорийными углями, естественно, колосниковые решетки делаются меньше. Так, например паровозы серий «Э», «$Э^У$» и «$Э^М$» при 80—85 *т* сцепного веса имеют колосниковую решетку 4,46 $м^2$; паровозы серии «ФД» при 100 *т* сцепного веса имеют решетку 7,04 $м^2$, а немецкий стандартный паровоз 1-5-0 при 100 *т* сцепного веса имеет решетку площадью всего 4 $м^2$. В условиях нашего планового хозяйства высокосортные и коксующиеся угли должны итти для нужд металлургии; паровозы же следует отапливать любыми углями; поэтому колосниковые решетки наших паровозов имеют относительно большие площади. Большие колосниковые решетки облегчают достижение кривоносовцами больших форсировок поверхности нагрева.

В-пятых, котел должен быть достаточно экономичным, т. е. иметь наибольший к. п. д. Выполнение этих пяти главнейших требований к котлу наряду с высококачественной работой паровозной бригады и обслуживающего паровоз деповского персонала — является залогом выполнения приказов Л. М. Кагановича за № 83/Ц от 19 марта 1935 г. «О борьбе с крушениями и авариями» и за № 183/Ц от 7 августа 1935 г. «Об улучшении использования паровозов и организации движения поездов».

§ 2. Составные части котла

Существующие паровозы имеют котлы с дымогарными трубами и коробчатыми плоскостенными топками. Отдельные опытные паровозы, например высокого давления, строятся с котлами иного типа, например с водотрубными, но

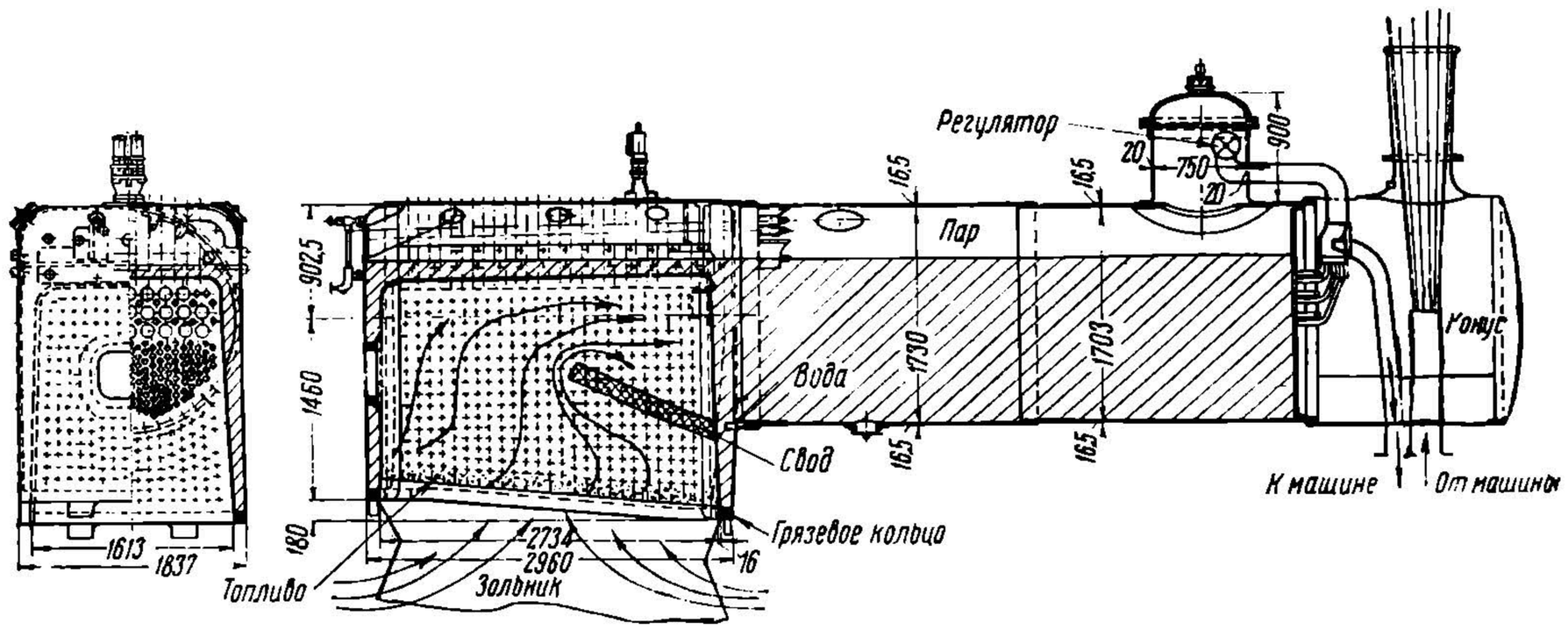
НТБ ДНУЖТ

распространения подобные типы котлов пока не получают и здесь не рассматриваются [1].

Паровой котел представляет собой достаточно сложный комплекс основных частей паровоза. Рассматривая общее устройство котла, разделяем его на пять больших групп деталей: 1) основные части котла, 2) принадлежности или гарнитура котла, 3) арматура котла, 4) паропровод и перегреватель и 5) вспомогательное (дополнительное) оборудование котла.

На фиг. 12 схематически показан паровозный котел. О с н о в н ы е ч а с т и к о т л а: а) топка, б) кожух топки, в) цилиндрическая часть с дымогарными трубами (часть дымогарных труб делается увеличенного диаметра для размещения в них перегревательных элементов, такие трубы называются жаровыми трубами), передней решеткой и сухапарным колпаком и г) дымовая коробка (камера).

Вода в котле должна стоять на таком уровне, чтобы слой ее над наивысшей точкой потолка топки был бы не меньше 100—110 *мм*.



Фиг. 12.

Г а р н и т у р у котла составляют принадлежности, необходимые для рационального ведения тепловой работы котла и достижения больших форсировок. Гарнитура составляется из: а) колосниковой решетки, на которой сжигается топливо, б) свода, служащего для удлинения пути газов сгорания и выравнивания температуры топки, в) зольника, в котором собираются шлак и зола и устраиваются дверки поддувала, регулирующие подвод воздуха в топку, г) искроудержателя, задерживающего внутри дымовой коробки горячие угольки, унесенные из топки, д) дверок дымовой коробки и е) дымовытяжной установки, состоящей из конуса и дымовой трубы или же турбо-вентилятора. Работа конуса основана на том, что сильная струя отработавшего пара, выбрасываемого из машины, пролетая внутри дымовой коробки (как показано на фиг. 12), вследствие трения между соприкасающимися частицами пара и частицами газов сгорания выбрасывает последние в дымовую трубу; тем самым создается р а з р е ж е н и е в дымовой коробке. Воздух за счет этого разрежения устремляется через зольник и слой топлива в топку, обусловливая тем самым интенсивное горение топлива.

А р м а т у р у котла составляют приборы, обеспечивающие безопасную работу котла и служащие для наблюдения за работой котла, необходимые для рационального ухода за ним. Арматуру котла составляют: манометр, предохранительные клапаны, водомерные стекла и водопробные краны, приборы для питания котла (инжекторы), для ухода за котлом — продувательные (спускные) клапаны, приборы для продувки жаровых и дымогарных труб. К арматуре отно-

[1] Особые типы паровозных котлов вкратце рассмотрены в труде И. М. С т р у ж е н ц о в а, Конструкции паровозов, изд. 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

сятся также и свисток и пароразборная колонка, на которой укреплены многочисленные у современных паровозов паровые вентили для различных приборов.

Паропровод и перегреватель состоят из устройств, служащих для отвода из котла пара, перегрева его и подведения перегретого пара к машине. В сухопарном колпаке размещается паросушительное устройство, назначение которого отделить влагу от выходящего из котла сырого пара, и регулятор или запорный вентиль. Регулятор является важнейшим органом управления паровозом. У наших старых паровозов и у паровозов серии «СО» в сухопарном колпаке размещен регулятор, привод к нему идет из будки машиниста. У мощных паровозов серий «ФД» и «ИС» в сухопарном колпаке размещен лишь парозапорный вентиль, который во все время поездки остается полностью открытым. Из колпака пар по регуляторной трубе идет к пароперегревателю и попадает в камеру насыщенного пара коллектора перегревателя. Раздробившись на ряд мелких струй, пар движется по элементам перегревателя, расположенным в жаровых трубах, перегревается в них и поступает снова в коллектор перегревателя, но уже в камеру перегретого пара. У мощных паровозов камера перегретого пара непосредственно соединяется с регуляторной камерой. По пароработочим трубам пар уходит далее к цилиндрам.

Специальное оборудование котла состоит из: а) стокера, подающего уголь с тендера на паровоз и разбрасывающего его по всей колосниковой решетке, и б) приборов для питания котла подогретой водой — водоподогревателя (поверхностного типа или типа смешения) или инжектора мятого пара.

§ 3. Работа котла

Топливом для котла является в основном каменный уголь, иногда — дрова. Отапливать нефтяными остатками (мазутом) нерационально с точки зрения нашего народного хозяйства в целом. В 1936 г. значительное количество паровозов переведено с отопления мазутом на угольное отопление.

Топливо забрасывается в топку через шуровочное отверстие (фиг. 12), расположенное в лобовой части кожуха, и равномерно распределяется по всей колосниковой решетке. При сжигании топлива химическая его энергия превращается в тепловую. Последняя затрачивается на испарение воды. Тепловой процесс топки таким образом распадается на два этапа: сжигание топлива и процесс теплопередачи. Сгоревшие газы, отдавшие свое тепло котельной воде, отсасываются наружу за счет работы дымовытяжной установки.

При сжигании угля образуется шлак, могущий при неумелом или небрежном ведении топки залить щели колосниковой решетки для прохода воздуха. Процесс отопления требует известной сноровки, в особенности при отоплении тощими углями. Передовые машинисты первыми доказали полную возможность отопления паровозов любыми углями с большими форсировками [1].

Тепло газов сгорания передается котельной воде как за счет прямой отдачи тепла (лучеиспусканием) стенкам топки, так и за счет теплопередачи от газов к стенкам топки и трубам. Чем больше разница в температурах газов и воды, тем, естественно, больше и коэфициент теплопередачи. Поэтому топочная поверхность нагрева работает более интенсивно, чем трубчатая.

Образовавшиеся на горячих стенках топки и труб паровые пузырьки выходят из водного пространства в паровое через поверхность уровня воды — так называемое «зеркало испарения».

Вода содержит в себе целый ряд примесей (у бесконденсаторных паровозов) и, испаряясь, обусловливает постепенное загрязнение котла накипью. Последняя должна периодически удаляться продувкой и промывками котла.

Из парового пространства пар проходит к сухопарному колпаку и далее в перегреватель. В перегревательных элементах, обогреваемых газами сгорания,

---

[1] См. Пямятку по отоплению паровозов любыми углями, составленную машинистами тт. Огневым, Катшеном, Рейдиком и Михайловым, опубликованную в «Гудке» от 31 декабря 1936 г. и журнале «Паровозник» № 1 за 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

движущимися по жаровым трубам, пар сперва осушается, т. е. происходит испарение остатков влаги, прошедшей через паросушительное устройство. Процесс подсушки пара в элементах перегревателя происходит, естественно, при постоянной температуре. После осушения пара начинается процесс перегрева. Влажный пар обусловливает ухудшение работы котла не только из-за понижения конечной температуры перегрева и связанного с этим уменьшения мощности и к.п.д. паровоза. но и из-за более частых простоев паровоза в ремонте, необходимости частой смены элементов и т. д. Накипеобразующие вещества, содержавшиеся в воде, унесенной паром из котла, осаждаются на стенках элементных трубок, а так как накипь очень нетеплопроводна, то трубки перекаливаются, горят и выходят из строя.

В заключение заметим, что критерием работы парового котла является его парообразование, т. е. полное количество пара в *кг* за 1 час, снимаемое с его поверхности нагрева. Парообразование зависит как от абсолютных размеров испаряющей поверхности нагрева котла, так и от форсировки ее работы. Все современные котлы имеют пароперегреватели, и, говоря, что котел дает то или иное количество пара, мы подразумеваем именно перегретый пар.

§ 4. Отопление котла ручное и стокерное

Человек средней физической силы без большого переутомления за 1 час может перебросать в топку до 2,5 *т* угля. Имея величину колосниковой решетки, например в 6 $м^2$ (паровозы серии «СО»), получим форсировку решетки:

$$У = \frac{2500}{6} \cong 420 \ кг/м^2 \ час.$$

Это — очень небольшая форсировка решетки, обусловливающая значительное недоиспользование мощности паровоза. Кривоносовцы доказали полную рентабельность повышения вдвое (и еще более) приведенных цифр. Паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют часовой расход угля до 4—5 и более тонн. Единственная возможность улучшения использования мощности паровоза — механизация отопления, достигаемая применением с т о к е р а. Уже паровозы серии «СО», как это видно из приведенных значений форсировок, нуждаются в постановке стокера. Форсировки при стокерном отоплении у крупных паровозов могут быть значительно увеличены; при этом форсировки ограничиваются лишь с к о р о с т ь ю г о р е н и я угля. На паровозах серии «ФД» отдельными машинистами достигнуты огромные форсировки порядка 900—1000 *кг/м² час*.

Устройство и работа стокера рассматриваются в дальнейшем; здесь укажем лишь, что подача угля на решетку стокером осуществляется за счет использования энергии небольшой части пара (до 3—5%), готовящегося котлом. На тендере устанавливается небольшая паровая машина (мощностью до 20 *л. с.*), вращающая конвейерный винт (шнек), подающий уголь к шуровочному отверстию. В топке у шуровочного отверстия располагается распределительная плита стокера, на которую поступает уголь. Струями пара, вытекающими из сопловых камер распределительной плиты, куски угля разбрасываются по решетке. Регулируя вентилями количество пара, подводимого к соплам, можно обслужить как передние, так и задние участки колосниковой решетки. Для достаточно равномерного поступления угля по всей ширине решетки сопловые отверстия расположены веерообразно (в горизонтальной плоскости).

При стокерном отоплении почти невозможно иметь такой же равномерный слой топлива по всей решетке, как и при ручном отоплении. Поэтому необходимо применять «комбинированный» метод отопления, при котором до 20—25% топлива и у стокерных паровозов забрасывается вручную. Забрасывая уголь в топку вручную, мы получаем равномерный слой топлива и ровное горение его. При заправке топки на стоянках, при езде с закрытым регулятором следует забрасывать топливо только вручную. При отоплении тощими углями, сжигаемыми, как известно, тонким слоем, при наличии под горящим углем шлаковой подушки процент подброски угля вручную еще несколько повышается.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА II

ТЕПЛОВАЯ РАБОТА КОТЛА

§ 1. Схема тепловой работы паровоза

Рабочий процесс паровоза протекает, как известно, по следующей схеме. Первоисточником совершаемой паровозом работы является химическая энергия сжигаемого в топке его котла топлива. При сгорании топливо выделяет определенное количество тепла, носителем которого являются газообразные продукты сгорания. Таким образом химическая энергия топлива превращается в тепловую энергию газового потока.

Омывая стенки огневой коробки, а затем протекая по дымогарным и жаровым трубам, газы постепенно передают свое тепло через поверхность нагрева заполняющей котел воде, превращая ее в пар: тепловая энергия газов переходит в новую форму — потенциальную энергию пара. Будучи впущен из котла в паровые цилиндры, пар силой своего давления приводит в движение поршни и связанный с ними движущий механизм: потенциальная энергия пара переходит в энергию движения паровоза.

§ 2. Зависимость между теплосодержанием газового потока и его температурой

Развиваемая паровозом мощность зависит прежде всего от количества и качества сжигаемого на колосниках горючего.

Пусть в огневой коробке сжигается в течение 1 часа B_h *кг* топлива. Подводя к топливу извне потребное для его сгорания количество воздуха, мы получим в результате соединения элементов топлива и воздуха некоторое вполне определенное количество продуктов сгорания — G_b *кг* на каждый *кг* сжигаемого топлива. Если обозначить среднюю теплоемкость продуктов сгорания (при постоянном давлении) через c_p, а температуру их в том или ином сечении газохода через T, то, очевидно, что часовое теплосодержание газового потока в течение газохода с температурой газов T может быть выражено следующим образом:

$$Q = B_h \cdot G_b \cdot c_p \quad T. \tag{2}$$

Если веса отдельных слагающих, входящих в состав продуктов сгорания, будут G_1, G_2, ..., а теплоемкости их c'_p, c''_p, ..., причем, как известно из термодинамики,

$$c_p = a' + b' \quad T;\ c''_p = a'' + b'' \quad T \text{ и т. д.},$$

то

$$Q = B_h \cdot G_1 (a' + b' \quad T)\, T + B_h \cdot G_2 (a'' + b'' \quad T)\ T + \quad .. =$$

$$= B_h \Sigma (G \cdot a) \cdot T + B_h \Sigma (G \cdot b)\, T^2. \tag{3}$$

Обозначая

$$\frac{\Sigma (G \cdot a)}{\Sigma G} = \frac{\Sigma (G \cdot a)}{G_b} = c;$$

$$\frac{\Sigma (G \cdot b)}{\Sigma G} = \frac{\Sigma (G \cdot b)}{G_b} = \delta,$$

имеем

$$Q = B_h \quad G_b \cdot c \cdot T + B_h \cdot G_b \delta T^2. \tag{4}$$

Вводя обозначения: $B_h \cdot G_b \cdot c = M$ и $B_h \cdot G_b \delta = N$, получаем:

$$Q = M \cdot T + N \cdot T^2. \tag{5}$$

НТБ ДНУЖТ

Произведения $G_b \cdot c$ и $G_b \quad \delta$ могут быть подсчитаны по формулам:

$$G_b \cdot c = 0{,}55 \frac{C}{CO_2 + CO} + 0{,}0021 \cdot C + 0{,}0406\,H + 0{,}0045\,W^*.$$

$$G_b \quad \delta = 0{,}0000445 \frac{C}{CO_2 + CO} + 0{,}0000013 \cdot C + 0{,}0000044\,H + \\ + 0{,}0000005\,W. \qquad (6)$$

Выражения эти выведены в предположении, что продукты сгорания топлива состоят из: углекислоты (CO_2), окиси углерода (CO), водяного пара (H_2O), свободного кислорода (O_2) и азота (N_2), каковой состав и принимается обычно во всех технических расчетах, связанных с тепловым расчетом паровозного котла.

Уравнение (5), называемое уравнением тепла, устанавливает функциональную зависимость между температурой T газового потока и количеством тепла Q, которое в течение 1 часа проходит через то сечение газохода, в котором температура газов равна T^{**}. Эта зависимость является первым основным уравнением, необходимым для исследования тепловой работы котла.

§ 3. Процесс горения

Процесс сгорания любого топлива заключается в том, что отдельные элементы топлива (C, H, S) соединяются в некоторых вполне определенных пропорциях с кислородом подводимого в топку воздуха (O_2), в результате чего образуются новые газообразные соединения, являющиеся носителями того тепла, которое выделяется при соответствующих химических реакциях и утилизируется в паровом котле.

На основании анализа элементарных химических реакций соединения углерода, водорода и серы топлива с кислородом подводимого в топку воздуха легко выводится выражение для минимального, теоретически необходимого весового количества воздуха, для сжигания 1 *кг* топлива. Выражение это имеет следующий вид:

$$L_0 = \frac{1}{23{,}6}\left(\frac{8}{3}\,C + 8\,H + S - O\right)^{***} \qquad (7)$$

Действительные условия сгорания топлива в топках паровых котлов более или менее значительно отклоняются от идеальных, для которых выведена предыдущая формула: распределение подводимого в топку воздуха по площади колосниковой решетки никогда не бывает равномерным, перемешивание частиц топлива с частицами воздуха происходит недостаточно быстро, скорость протекания реакций сгорания вследствие местных понижений температуры топочного пространства иногда сильно замедляется и т. д.

Поэтому на практике, чтобы достичь достаточно полного и быстрого сгорания топлива, приходится подводить к топливу воздух в количестве, большем теоретически необходимого, определяемого формулой (7).

Обозначая действительное количество воздуха, участвующего в процессе, через $L_в$. имеем соотношение:

$$L_в = \alpha \cdot L_0,$$

где α — коэфициент избытка воздуха, всегда больший единицы.

Чем отдельные частицы топлива мельче и удобоподвижнее друг относительно друга, чем слабее связь между ними, тем легче они перемешиваются в топке с воздухом и тем, следовательно, ближе к единице может быть осуществлена величина коэфициента α

---

* Подробный вывод выражений приведен в книге проф. С. П. Сыромятникова «Тепловой процесс паровозов», изд. 1933 г. Трансжелдориздата.

** При этом предполагается, что во всех точках любого поперечного сечения газохода температура газов одинакова.

*** Подробный вывод-в книге проф. С. П. Сыромятникова «Тепловой процесс паровоза».

НТБ ДНУЖТ

В практике современных котельных, а в частности и паровозных установок выработаны следующие пределы колебаний α, соответствующие нормальному протеканию топочного процесса:

для газообразных горючих. .	$\alpha=1{,}1$ —1,2
« жидкого топлива (сжигание в форсунке).	$\alpha=1{,}15$—1,30
« углей. .	$\alpha=1{,}30$—1,60
« дров и торфа .	$\alpha=1{,}50$—2,0

и более [1].

Указать здесь точно и определенно наивыгоднейшие значения α для разных сортов горючего не представляется возможным, так как величина эта зависит, помимо химических и физических свойств топлива, от целого ряда конструктивных и эксплуатационных факторов, характеризующих работу котла.

Укажем только, что от реализации чрезмерно больших значений коэфициента избытка воздуха приходится отказаться, так как необходимость нагревания этого воздуха за счет тепла, освобождающегося при реакции горения, приводит к значительному понижению температур топочного пространства и ухудшает протекание процесса. Таким образом, теоретически говоря, для каждого сорта топлива и режима работы должен существовать какой-то наивыгоднейший избыток воздуха, величина которого может быть выяснена только специальными опытами.

В неразрывной связи с вопросом об избытке воздуха, обеспечивающим достаточно полное сгорание, находится вопрос о наивыгоднейшей толщине слоя топлива на решетке.

При установившемся режиме топки притекающий из поддувала воздух, встречая на своем пути отдельные куски топлива, распыливается на массу отдельных струек, наружная оболочка которых соприкасается с раскаленным топливом, быстро науглероживается и переходит в углекислоту; при слишком толстом слое дальнейшее действие углерода на эту внешнюю оболочку вызывает реакцию восстановления:

$$CO_2 + C = 2CO$$

и приводит к значительной неполноте сгорания. Что же касается внутреннего ядра такой струйки, состоящего из кислорода и азота, то при недостаточной толщине слоя, состоящего из крупных кусков, этот кислород может выйти из слоя неиспользованным. В действительности каждая воздушная струйка претерпевает на своем пути через слой топлива целый ряд ударов и отклонений, что в значительной степени улучшает условия перемешивания.

Помимо высказанных общих соображений, необходимо заметить, что при тонком слое быстро образуются отдельные «прохваты»— незаполненные промежутки между кусками топлива, через которые врывается в топку холодный воздух, понижающий температуру топочного пространства и вредно действующий на топочную решетку; ведение топки при тонком слое требует особенного внимания и навыка со стороны топильщика.

Как общее правило, можно рекомендовать держать слой на решетке тем тоньше, чем из более мелких отдельных кусков состоит топливо, так как при этом число отклонений воздушных струек будет больше.

С этой же точки зрения влияет на толщину слоя и скорость поступающего в топку воздуха, от которой зависит интенсивность ударов воздушных струй о куски топлива.

Чтобы заставить воздух притекать к топливу, а газы — двигаться по дымоходам, или, как говорят, чтобы создать тягу, надо устроить так, чтобы давление в конце дымохода (в дымовой коробке) было меньше давления окружающего воздуха (перед поддувалом). Для этой цели в стационарных котлах устраивается обычно дымовая труба, вызывающая тягу вследствие разности весов холодного наружного воздуха и нагретого — внутри трубы.

В паровозах же габарит не позволяет ставить трубу достаточных размеров, и для получения весьма энергичной тяги, которая требуется при форсированной

[1] В «шахтных» топках удается сжигать дрова и торф с $\alpha=1{,}1$—1,4.

НТБ ДНУЖТ

работе, прибегают к искусственной тяге: с этой целью струя пара, отработавшего в цилиндрах машины, выпускается с громадной скоростью в дымовую коробку через особый насадок, называемый «конусом», и, увлекая с собой газы, выталкивает их в трубу; благодаря этому в дымовой коробке, как уже указано раньше, реализуется весьма значительное разрежение и создается непрерывный ток воздуха и газов. Получаемая описанным способом в паровозах тяга во много раз интенсивнее, чем в стационарных установках, и скорость воздуха в толще топлива настолько значительна, что приходится увеличивать толщину слоя, исходя из того соображения, что для действия кислорода на уголь нужно известное время. Так как паровозу приходится работать в весьма изменчивых условиях, в зависимости от различного профиля пути и веса составов, то и паровозный котел работает обычно с самыми разнообразными форсировками; а так как для каждого сорта топлива и форсировки существует, как увидим ниже, свой наивыгоднейший избыток воздуха, то в целях достижения более экономичной работы котла необходимо иметь возможность быстро в любой момент менять тягу в довольно широких пределах. Для этой цели прибегают к устройству конусов с переменным выходным сечением, которое можно увеличивать или уменьшать от руки при помощи механического привода. При уменьшении сечения («подтягивание» конуса) увеличивается скорость пара, вылетающего из конуса, а следовательно и величина разрежения в дымовой коробке, за счет чего возрастает тот напор, под которым воздух поступает из поддувала в топочную камеру, а также и количество его; все это ведет к увеличению коэфициента избытка α. При увеличении сечения конуса происходит обратное явление. В особенности важно иметь переменный конус при угольном отоплении, когда находящийся на колосниках слой топлива представляет, в зависимости от толщины его, большее или меньшее сопротивление притоку воздуха из поддувала и требует, следовательно, переменной тяги: более сильной — непосредственно после загрузки свежего угля и относительно слабой — при прогорании и оседании слоя.

При правильном ведении паровозной топки в ней рекомендуется держать толщину угольного слоя от 75 до 250 *мм* и более — в зависимости от сорта угля и величины отдельных кусков.

На практике коэфициент избытка воздуха α определяется на основании объемного анализа продуктов сгорания в приборе Орса или иной системы. Объемный баланс сухих продуктов сгорания по данным анализа выражается следующим уравнением:

$$CO_2 + CO + O_2 + N_2 = 100. \tag{8}$$

Величину недогорания (CO) чаще определяют не путем газового анализа, а по формуле:

$$CO = \frac{21 - \beta_0 CO_2 - (CO_2 + O_2)}{0{,}605 + \beta_0} \tag{9}$$

где β_0 — так называемая химическая характеристика топлива:

$$\beta_0 = 2{,}37\,\frac{H - \frac{O}{8}}{C}. \tag{10}$$

Коэфициент избытка воздуха α подсчитывается по формуле:

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3{,}76\,\frac{O_2 - 0{,}5 \cdot CO}{N_2}}. \tag{11}$$[1]

Характер зависимости компонентов объемного состава продуктов сгорания от величины α представлен для паровозного котла на фиг. 13 и 14.

При проектировании вновь строящихся паровозов бывает необходимо наметить вероятный ожидаемый состав продуктов сгорания для возможности состав-

[1] Подробный вывод уравнений (9) и (11), а также выражения (10) помещены в книге проф. С. П. Сыромятникова «Тепловой процесс паровоза».

НТБ ДНУЖТ

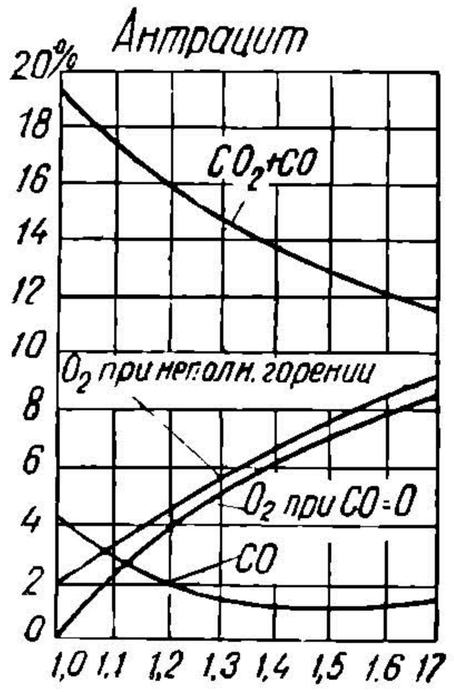
ления теплового баланса котла и проверки величины его к. п. д. Для этой цели служат уже выведенные нами ранее уравнения (8), (9) и (10):

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3{,}76 \cdot \frac{O_2 - 0{,}5\ CO}{N_2}};$$

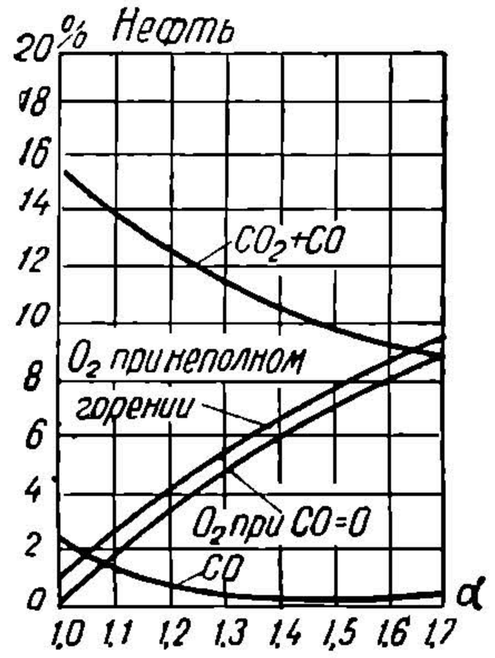
$$CO = \frac{21 - \beta_0 \cdot CO_2 - (CO_2 + O_2)}{0{,}605 + \beta_0};$$

$$100 = CO_2 + CO + O_2 + N_2.$$

Неизвестными в этих уравнениях являются величины: α, CO, CO_2, O_2, N_2, величина же химической характеристики β_o определяется по заранее известному химическому составу топлива, как было указано выше. Для возможности решения приведенных трех уравнений необходимо задаться двумя из пяти неизвестных величин. Наиболее удобно задаться величинами α и CO. В самом деле, выше мы видели, что при нормальной работе топки каждому сорту топлива соответствует определенная, выработанная практикой величина α (обычно при расчете нефтяной топки задаются $\alpha = 1{,}2$, для угольной — от 1,3 до 1,6). Величина CO в правильно сконструированной и эксплуатируемой паровозной топке может быть принята с запасом от 1 до 1,5%. Решая при этих условиях предыдущую систему уравнений, находим из них все компоненты газового состава.



Фиг. 13



Фиг. 14.

§ 4. Уравнение теплового баланса котла. Располагаемое тепло. Температура горения

Уравнение теплового баланса котла имеет следующий вид:

$$Q_0 = Q_1 + Q_2' + Q_2'' + Q_3 + Q_4 + Q_5. \qquad (12)$$

Все слагаемые выражены в калориях и отнесены к 1 часу работы котла. Q — располагаемое тепло; Q_1 — используемое тепло; Q'_2 и Q''_2 — химические и механические потери тепла; Q_3 — потеря тепла с уходящими газами; Q_4 — потеря в окружающую среду; Q_5 — потеря на служебные нужды.

Располагаемое тепло состоит из двух слагаемых:

1) тепла, выделяемого при сгорании B_h *кг* топлива в идеальных условиях:

$$Q_0' = B_h \cdot K, \qquad (13)$$

где K — теплопроизводительность 1 *кг* топлива (рабочая низшая);

2) тепла, вносимого в топку с топливом и воздухом (Q''_0), температура которых, вообще говоря, отличается от нуля.

В обычных технических расчетах слагаемым Q''_0 обычно пренебрегают ввиду его незначительной величины. В случае надобности величину Q''_0 можно с вполне достаточным для практических целей приближением подсчитать, пользуясь схемой уравнения (5):

$$Q_0'' = M \cdot t_в + N \cdot t_в^2,$$

где $t_в$ — температура наружного воздуха.

НТБ ДНУЖТ

Если бы сгорание топлива протекало без каких бы то ни было тепловых потерь и если бы отсутствовала передача тепла стенками огневой коробки путем непосредственного лучеиспускания, — то все располагаемое тепло утилизировалось бы на нагревание топочных газов. В этом идеальном случае в топке установилась бы некоторая максимальная температура T_o, которую принято называть теоретической температурой горения. Величину T_o нетрудно подсчитать из уравнения тепла (5), подставляя в него $Q=Q_o=B_h$. K и $T=T_o$:

$$B_h \cdot K = M \cdot T_0 + N \cdot T_0^2 = B_h \cdot G_b \cdot c \cdot T_0 + B_h \cdot G_b \delta T_0^2. \qquad (14)$$

Сокращая обе части уравнения (14) на B_h, получим:

$$K = G_b \cdot c \cdot T_0 + G_b \delta T_0^2. \qquad (15)$$

Уравнение показывает, что T_o не зависит от B_h, т. е. от степени форсировки котла.

Основным фактором влияния на величину температуры горения T является коэфициент избытка воздуха α, так как с его увеличением резко возрастает числовая величина произведений $G_b c$ и $G_b \delta$ при неизменном K.

Сорт топлива сравнительно мало влияет на величину T_o, исключая топливо с большим содержанием балласта (золы и влаги).

Уравнения (8), (9) и (11) при полном сгорании (т. е. при CO=0) принимают следующий вид:

$$100 = CO_2 + O_2 + N_2;$$

$$21 - \beta_0 CO_2 - (CO_2 + O_2) = 0;$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3{,}76 \frac{O_2}{N_2}},$$

откуда

$$CO_2 = \frac{79}{(1+\beta_0) \cdot (4{,}76\alpha - 1) - (\alpha - 1)};$$

$$O_2 = \frac{(79 + 100\beta_0) \cdot (\alpha - 1)}{(1+\beta_0) \cdot (4{,}76\alpha - 1) - (\alpha - 1)}$$

Задаваясь различными сортами топлива и подсчитывая по выведенным формулам компоненты газового состава, по формулам (6) значения $G_b c$ и $G_b \delta$ (полагая в них O=0) и по уравнению (15) температуру T_o, составляем табл. 2.

Таблица 2

Нефть 86,4·C+12,4·H+ +1,2·O K=9900 калорий			Каменный уголь 83·C+ +4·H+4·O+3·W+3A K=7610 калорий			Бурый уголь 56,3·C+4,2·H+ +22·O+8·W+9,5A K=5010 калорий		
	CO_2	T_0	α	CO_2	T_0		CO_2	T_0
1,0	15,28	2116	1,0	18,35	2148	1,0	19,80	2109
1,1	14,10	2009	1,2	14,10	1912	1,2	16,10	1871
1,2	12,95	1892	1,4	13,29	1697	1,4	13,96	1673
1,3	11,90	1784	1,6	11,02	1542	1,6	12,34	1508
1,4	11,00	1687	1,8	10,45	1412	1,8	10,94	1379
1,5	0,17	1591	2,0	9,48	1304	2,0	9,82	1200

НТБ ДНУЖТ

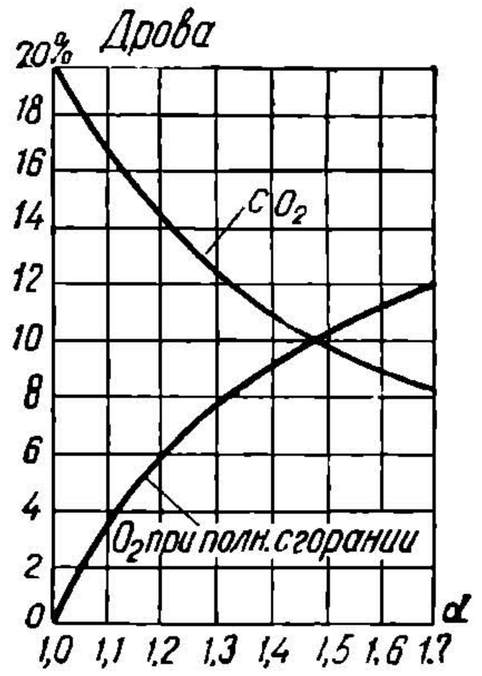
Продолжение таблицы 2

Сухие дрова 40C+4,8H+34,5·O+20,2W+ +0,5A, K=3400 калорий			Сырые дрова 30·C+3,6·H+26·O+ +40·W+0,4A, K=2400 калорий		
	CO_2	T_0		CO_2	T_0
1,0	20,40	1917	1,0	20,40	1660
1,2	16,70	1714	1,2	16,70	1520
1,4	14,50	1538	1,4	14,50	1395
1,6	13,20	1383	1,6	12,80	1270
1,8	11,30	1272	1,8	11,30	1150
2,0	10,14	1194	2,0	10,14	1070

Данные табл. 2 представлены на фиг. 15, подтверждающей сделанные нами выше выводы.

Выделяя для нормальных рабочих условий паровозной топки на нефтяном отоплении пределы изменения α от 1,15 до 1,30, на угольном отоплении от 1,3 до 1,6 и на дровяном отоплении от 1,7 до 2,0, получаем пределы вероятных колебаний:

для нефти T_0=1800°—2000°
» угля T_0=1500°—1800°
» дров T_0=1100°—1400°



Фиг. 15.

Первое приближение к действительным условиям работы паровозной топки в вопросе об установлении величины топочной температуры должно, очевидно, заключаться в учете потерь горения, всегда имеющих место на практике.

Подставляя в левую часть уравнения (5) вместо Q фактически выделяемое при сгорании тепло, т. е.

$$Q_0-(Q_2'+Q_2'),$$

а в правую часть вместо T — величину действительной температуры горения T_1, получим:

$$Q_0-(Q_2'+Q_2'')=M\cdot T_1+N\quad T_1^2.$$

Кроме того, коэфициенты M и N правой части уравнения необходимо умножить на поправочный множитель μ, показывающий, какая часть заброшенного в топку горючего фактически приняла участие в процессе сгорания. Иными словами, если механические потери горения, т. е. унос в трубу и провал несгоревшего топлива в поддувало, о каковых потерях речь будет ниже, составляют, скажем, 15% от тепла сгорания, то μ=1—0,15=0,85. Вводя эту необходимую поправку в предыдущее уравнение, имеем:

$$Q_0-(Q_2'+Q_2'')=\mu\,(M\quad T_1+N\cdot T_1^2). \qquad (16)$$

Для предварительных расчетов величину коэфициента механической полноты сгорания μ можно брать по прилагаемой таблице (для форсированной работы котла):

1. Хорошо спекающиеся угли при отоплении вручную μ=0,85—0,90
2. Угли среднего качества при отоплении вручную μ=0,80—0,88
3. Угли среднего качества при стокерном отоплении μ=0,70—0,85
4. Дровяное отопление μ=0,90—0,92
5. Нефтяное отопление μ=1,00.

НТБ ДНУЖТ

Необходимо оговорить, что термин «действительная температура» в применении к величине T_1 нельзя понимать буквально. Действительная температура топочного пространства (т. е. средняя температура газов в огневой коробке) будет значительно ниже величины T_1 благодаря тому, что часть выделяемого горящим топливом тепла непосредственно передается холодным топочным стенкам и через них котловой воде, не производя нагревания заполняющей топку газовой среды.

§ 5. Потеря тепла от химической неполноты сгорания

Ознакомившись с располагаемым теплом топочного процесса и установив методы его определения, перейдем к рассмотрению тепловых потерь. Химические потери являются следствием неполного сгорания углерода и водорода топлива; потери механические обусловливаются провалом части топлива через прозоры колосниковой решетки и уносом несгоревших частиц топлива в дымовую трубу.

Продуктами неполного сгорания углерода являются, как мы уже знаем, окись углерода (CO) или сажа (C), причем избежать образования окиси при более или менее форсированной работе топки, как это имеет место в паровозном котле, почти невозможно.

Сажа редко образуется в больших количествах, и при нормальных условиях работы присутствие ее в продуктах сгорания в расчет не принимается.

В топливах, богатых водородом (нефть), иногда наблюдается при недостатке воздуха или при чрезмерном понижении температуры топочного пространства образование углеводородистых соединений, или выход чистого водорода (H_2). Принимая однако во внимание, что обычно содержание углеводородов в газах составляет ничтожный процент, и отмечая чрезвычайную практическую сложность производства анализа продуктов сгорания на содержание углеводородов, мы в дальнейшем всюду будем принимать полное сгорание водорода. Для определения тепловой потери вследствие образования окиси углерода рассуждаем следующим образом.

Известно, что объем газов, образующихся в топке при сжигании 1 *кг* горючего, равен

$$\frac{C}{0{,}54\,(CO_2+CO)}\ м^3,$$

где цифра 0,54 есть вес углерода, содержащегося в 1 $м^3$ углекислоты или окиси углерода. Отсюда содержание окиси углерода в продуктах сгорания 1 *кг* топлива:

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

или

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

Принимая во внимание, что теплотворная способность окиси углерода, т. е. количество тепла, которое может выделиться при сгорании 1 *кг* этого газа в углекислоту, равно 2453 калорий, получаем количество тепла, недовыделенного топливом вследствие неполного сгорания углерода, равное:

$$2{,}34\cdot\frac{C}{CO_2+CO}\cdot\frac{CO}{100}\cdot 2453=56{,}9\cdot C\,\frac{CO}{CO_2+CO} \qquad (17)$$

в калориях на 1 *кг* сожженного топлива. При часовом расходе последнего μB_h *кг* получим полную потерю в калориях в 1 час:

$$Q_2'=56{,}9\cdot C\cdot\frac{CO}{CO_2+CO}\cdot B_h\cdot\mu.$$

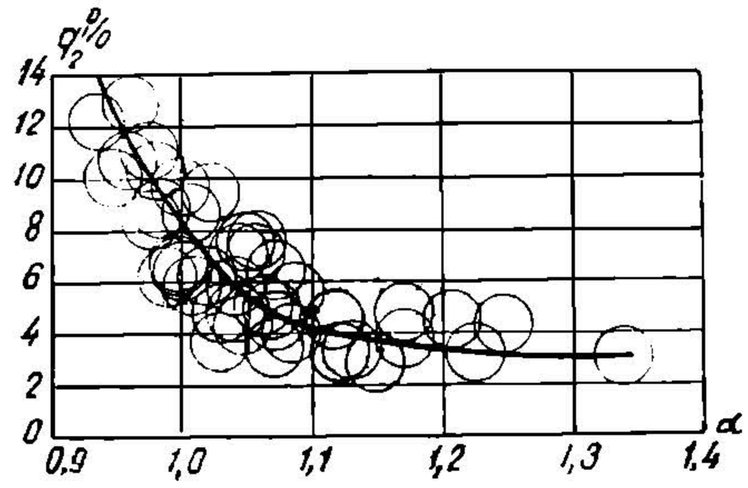
Для определения потери от недогорания в долях от располагаемого тепла или, относя к 1 *кг* топлива, — от его теплопроизводительности K, имеем:

$$q_2'=56{,}9\,\frac{\mu C}{K}\cdot\frac{CO}{CO_2+CO} \qquad (18)$$

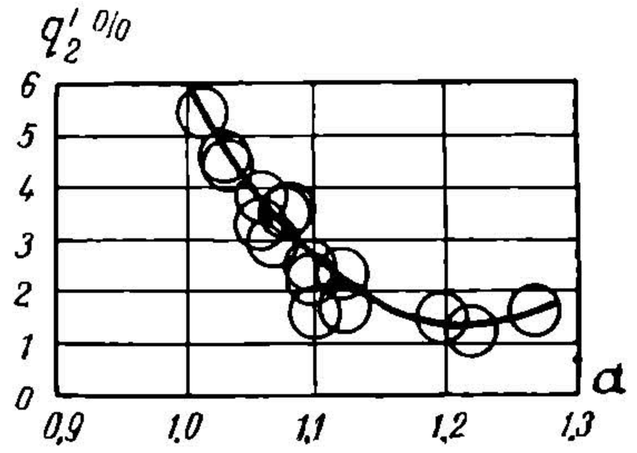
НТБ ДНУЖТ

На фиг. 16 нанесены в функции избытка воздуха значения потерь q'_2 для целого ряда опытных поездок, произведенных с паровозом серии «Н^B» в целях наиболее подробного и всестороннего обследования топочного процесса.

На фиг. 17—19 — подобные же данные для других паровозов. Как видим, на всех диаграммах выявляется вполне определенная закономерность расположения значений q'_2, полученных подсчетом по непосредственным данным наблюдений: потеря от неполноты сгорания сначала резко убывает с увеличением α до некоторого его значения (около 1,2 для большинства паровозов); затем, достигнув своего минимума, потеря q'_2 при дальнейшем увеличении избытка воздуха слегка возрастает.



Фиг. 16.

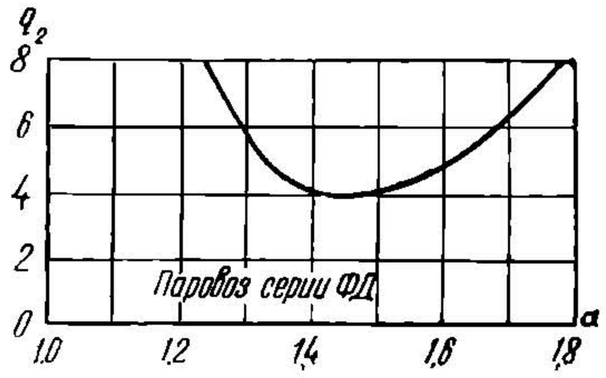


Фиг. 17.

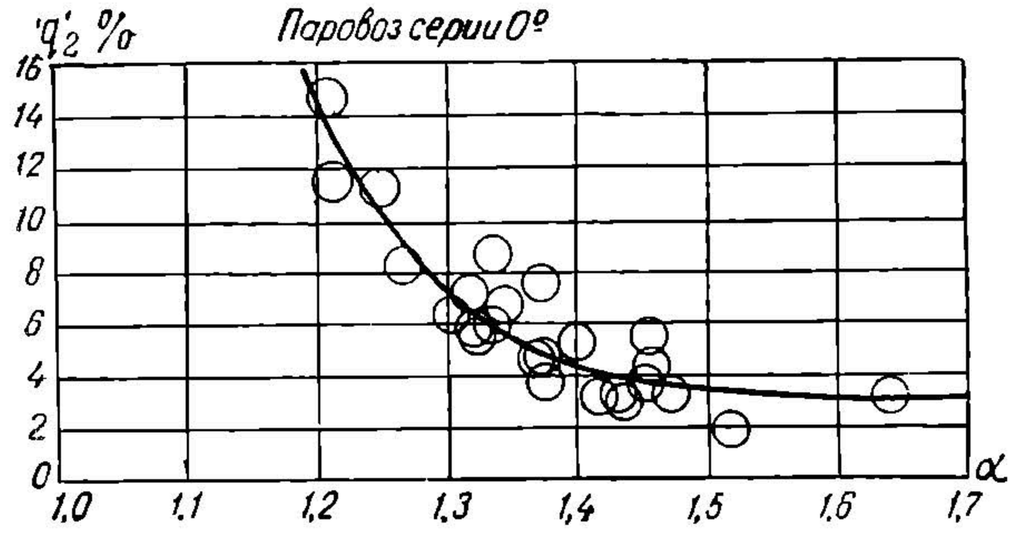
Такая схема явлений вполне понятна после тех общих соображений о причинах неполного сгорания, которые были нами высказаны выше. Что же касается возрастания q'_2 при увеличении α, то явление это наблюдается лишь при значении

$$\alpha > 1{,}6$$

и объясняется чрезмерным понижением топочной температуры.



Фиг. 18



Фиг. 19.

На фиг. 20—23 нанесены значения тех же потерь и для тех же паровозов, но в функции от другого независимого переменного количества топлива, сжигаемого в 1 час на 1 $м^2$ площади колосниковой решетки: величина эта, обозначаемая через $У$, называется в паровозной теплотехнике интенсивностью горения или напряжением колосниковой решетки. На этих диаграммах мы опять-таки улавливаем общую для всех испытуемых паровозов зависимость:

$$q_2 = \varphi(У)$$

в виде непрерывно возрастающей функции интенсивности горения. Отметим теперь весьма ценное значение наших диаграмм:

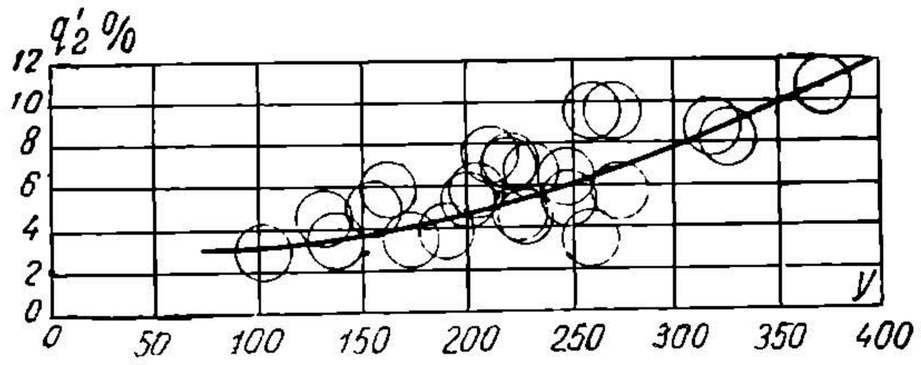
$$q_2 = f(\alpha) \quad \text{и} \quad q_2 = \varphi(У).$$

Если бы мы выразили эти зависимости аналитическими уравнениями в явном виде, то, исключая из этих уравнений переменное q'_2, мы получили бы уравнение, связывающее переменные $У$ и α:

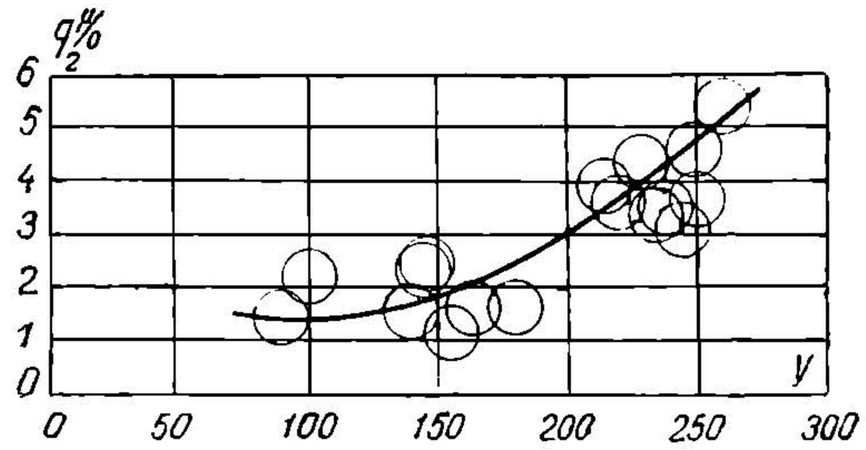
$$У = \Phi(\alpha).$$

НТБ ДНУЖТ

Такое исключение удобнее выполнить графически, фиксируя для того или иного паровоза значения $У$ и α, соответствующие различным q'_2, и строя производную кривую зависимости избытка воздуха от интенсивности горения.



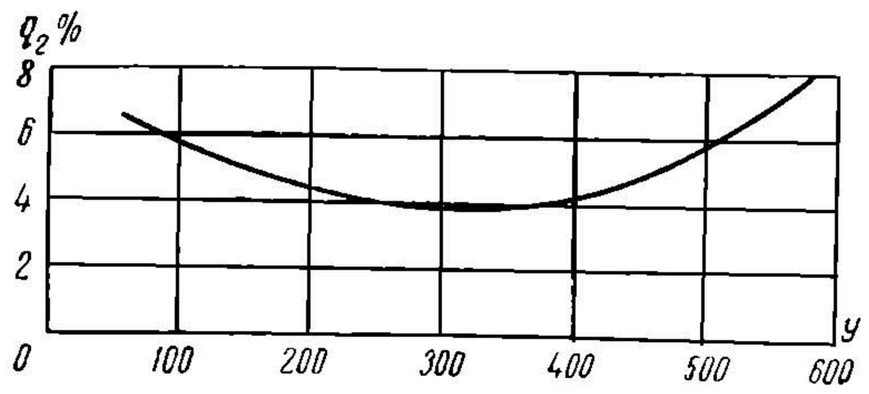
Фиг. 20.



Фиг. 21.

Подобная диаграмма построена на фиг. 24 для паровоза серии «ИС»; здесь же нанесены для отдельных опытных поездок данные, полученные из непосредственного опыта: величина $У$ — путем измерения расхода топлива, а α — по данным объемного анализа газов.

Подобные же диаграммы могут быть получены и для других паровозов.



Фиг. 22.

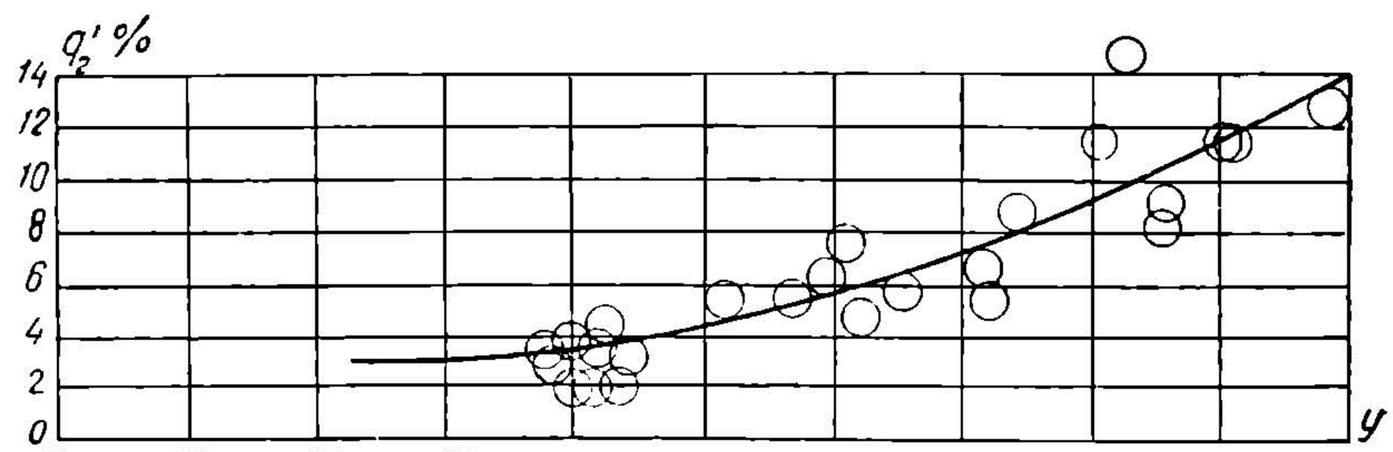
Диаграмма на фиг. 24 показывает, что по мере увеличения форсировки огня $У$ рабочий избыток воздуха автоматически уменьшается, если, конечно, при этом не прибегают к искусственному регулированию тяги путем изменения площади выхлопного отверстия конуса.

Величина q'_2 возрастает с уменьшением α и с увеличением напряжения колосниковой решетки $У$ В современных мощных паровозах с большими топками величина q'_2 редко превышает 3—5% от тепла сгорания топлива.

Для нефтяного отопления из опытов:

$$q_2 = 0{,}00017 \left(\frac{B_h}{V_m}\right)^2 + \frac{120}{\frac{B_h}{V} + 1{,}6} \qquad (19)$$

где V_m — объем огневой коробки в $м^3$



Фиг. 23.

На фиг. 25 выражение (19) изображено в виде кривой; здесь же нанесены кривые $q'_2 = f(B_h)$, полученные из опытов с различными сериями паровозов. График показывает, что минимум потерь q'_2 имеет место при сжигании в 1 час около 70—80 $кг$ мазута на каждый $м^3$ топочного объема. Отсюда следует, что объем топки должен быть рассчитан так, чтобы при средних эксплуатационных условиях

НТБ
ДНУЖТ

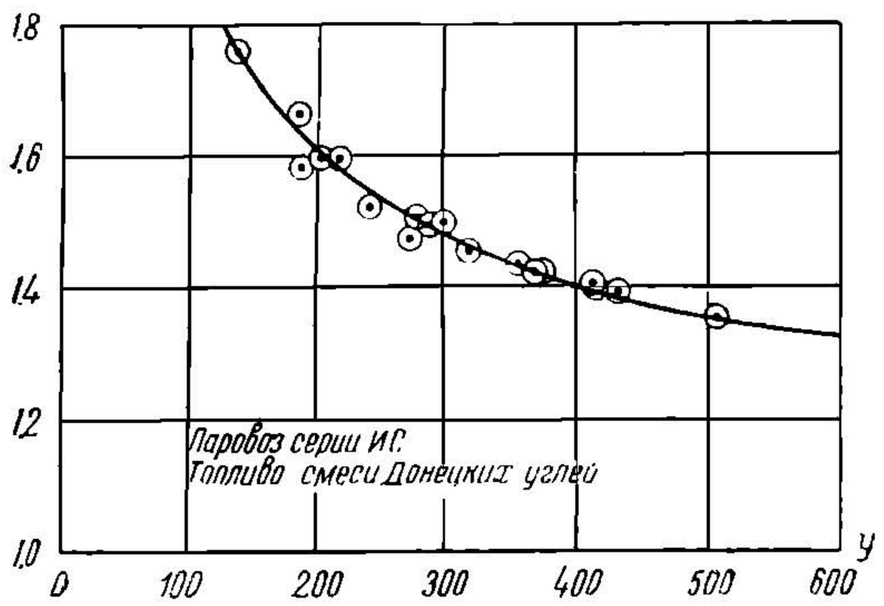
работы сжигалось 75 *кг/м³ час* мазута, или при наиболее форсированной работе (*max.* B_h) около 150 *кг/м³ час.*

Для ориентировочного определения объема топочного пространства при отоплении угольном и дровяном могут служить следующие нормы:

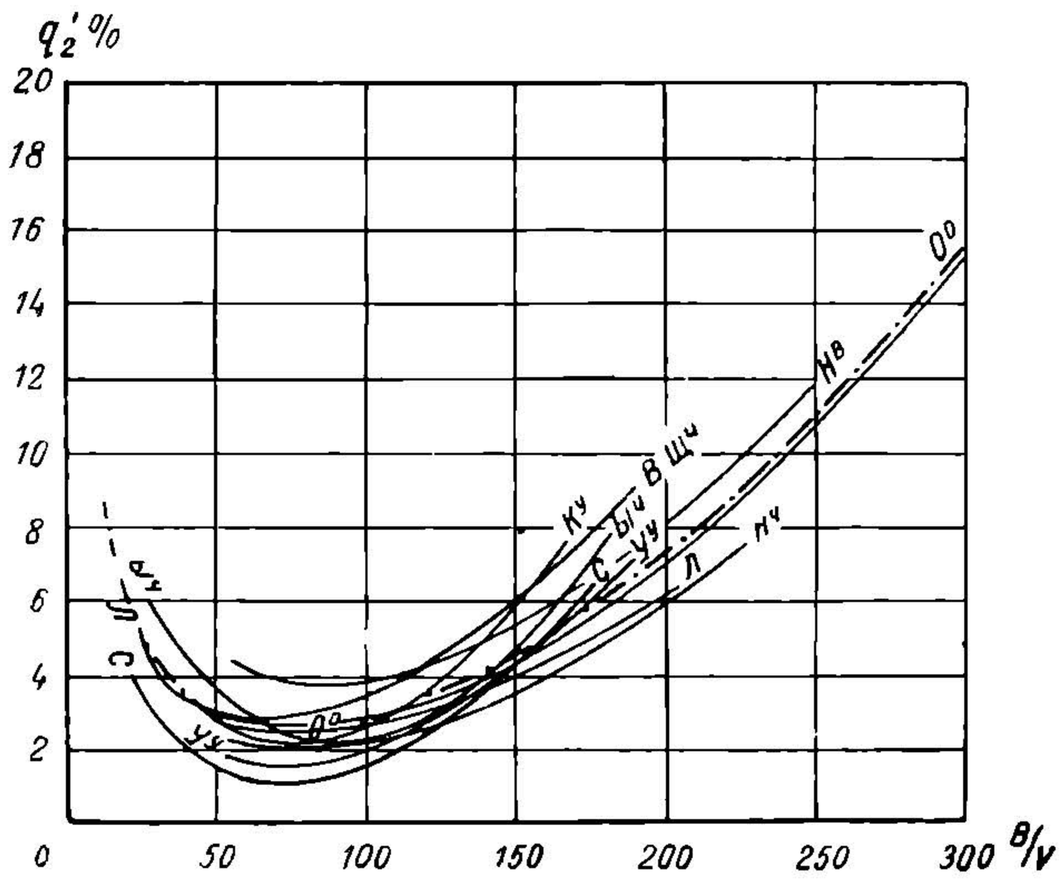
угли, богатые летучими (марки Г, Д) $\frac{max \cdot B_h}{V_m} = 300—350$ *кг/м³ час,*

угли ПЖ и ПС. 450—550 *кг/м³ час.*

Что касается так называемых «камер догорания», часто встречающихся в современных мощных паровозах, особенно в США (у нас имеются на паровозах

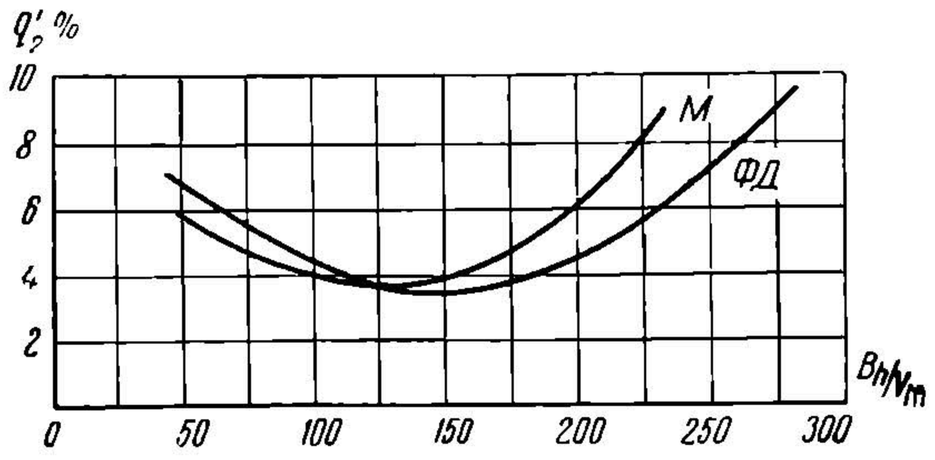


Фиг. 24.



Фиг 25.

серий «Т^{А}», «Т^{Б}», «ФД» и «ИС»), то их влияние на химическую неполноту сгорания окончательно не выяснено, хотя имеются основания предполагать, что они не вносят существенных изменений в картину протекания топочного процесса с рассматриваемой точки зрения и, следовательно, не вполне оправдывают свое название. В подтверждение сказанного на фиг. 26 приведены зависимости $q'_2 = f(y)$ для паровозов с камерами догорания и для паровоза серии «М» с простой топкой; при этом надо отметить, что паровоз серии «М» обладает самой неудачной для угольного отопления огневой коробкой, недостаточной по объему и совершенно не обеспечивающей достаточного и равномерного подвода воздуха к решетке. Поэтому гораздо правильнее объяснить наличие камер догорания на многих мощных паровозах не столько стремлением улучшить процесс сгорания, сколько соображениями конструктивного (длина трубчатой части котла) и весового (смещение центра тяжести котла вперед) порядка.



Фиг. 26.

§ 6. Потеря тепла от механической неполноты сгорания

Механические потери слагаются из:

1) потерь в несгоревшем топливе, уносимом в виде угольков в дымовую коробку;

2) потерь от провала несгоревшего топлива, шлаков и золы через прозоры между колосниками и поддувало;

3) потерь в шлаках и коксе, остающихся на колосниковой решетке.

НТБ ДНУЖТ

Если обозначить веса уноса, провала и остатка на решетке, отнесенные к 1 часу работы котла, через B_y, B_n и B_o, теплотворную способность уноса, провала и остатка на колосниках через K_y, K_n и K_o, то сумма механических потерь горения выразится в процентах от располагаемого тепла, полученного при сгорании, следующим образом:

$$q_2' = \frac{B_y \cdot K_y + B_n \cdot K_n + B_0 \cdot K_0}{B_h \cdot K}.$$

Первая потеря (унос) резко возрастает, как показывают опыты, с увеличением форсировки, что вполне понятно, так как, очевидно, количество уноса должно находиться в прямой зависимости от скорости протекания газов по дымоходам, т. е. от степени интенсивности тяги. Механические же потери в самой топке (провал в поддувало и остаток на решетке) являются величиной, почти постоянной для данного топлива.

Необходимо заметить, что точный метод учета и взвешивания несгоревших остатков обычно не достигает цели в паровозах, так как значительное количество более мелких частиц уносится, несмотря на предохранительные сетки, вместе с дымом в трубу, не поддаваясь никакому учету.

Этим и объясняется, что даже при самых точных испытаниях работы котельных установок на угольном отоплении при составлении теплового баланса всегда получается невязка в 7—15%.

Предполагая, что кусочки угля на решетке имеют шаровидную форму, имеем вес кусочка угля равным

$$G = \frac{\pi \cdot d^3}{6} \cdot \delta,$$

где d —диаметр куска,

δ — удельный вес угля.

Динамическое давление воздушных струй, притекающих к топливу со скоростью w и стремящихся вынести кусочек из слоя:

$$P = k \cdot \frac{\gamma \cdot w^2}{g} \cdot \frac{\pi d^2}{4},$$

где: γ — плотность воздуха,

g — ускорение силы тяжести,

k — коэфициент лобового сопротивления.

Максимальный диаметр выносимых из слоя кусков угля определяется из неравенства:

$$k \cdot \frac{\gamma \cdot w^2}{g} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \leqslant \frac{\pi d^3}{6} \cdot \delta,$$

откуда

$$max\, d = 1{,}5\, \frac{k \cdot \gamma}{g\delta} \cdot w^2.$$

Величина $\frac{k\gamma}{g\delta}$ колеблется на практике сравнительно в узких пределах и может быть принята около 0,07, т. е.

$$max\ d = 0{,}1\, w^2; \tag{20}$$

причем

$$w = \frac{У \cdot R \cdot L_0 \cdot \alpha}{3600 \cdot \gamma \cdot \Omega_p}, \tag{21}$$

где Ω_p — площадь живого сечения колосниковой решетки.

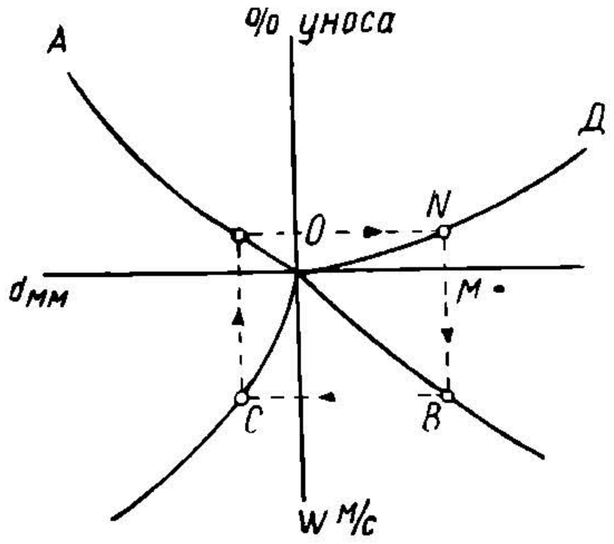
Таким образом величина уноса должна возрастать вместе с $У$, т. е. увеличением форсировки и коэфициента избытка воздуха. Самый же темп этого возрастания будет зависеть от величины кусков топлива и его спекаемости.

НТБ ДНУЖТ

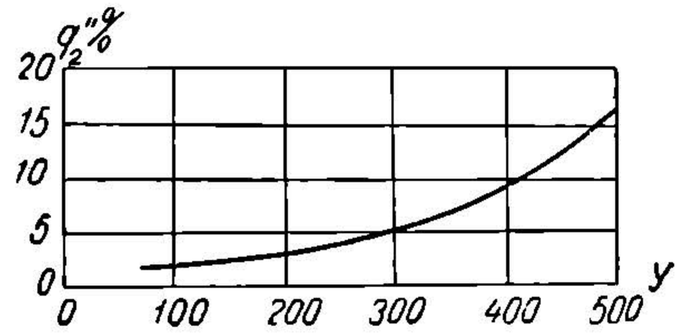
Изложенная теория прекрасно иллюстрируется графиком фиг. 27. Кривая OA дает процент зерен различной крупности в угольном слое; OB — кривая скоростей подводимого воздуха. Имея эту кривую, по уравнению (20) находим A, которые и откладываем в функции от w (кривая OC); наконец, по кривой OA находим процент содержания соответствующей величины зерен, а следовательно и процент уноса. Порядок нахождения точки N, принадлежащей искомой кривой $OД$, имеющей уравнение

$$q_2' = f(У),$$

указан на чертеже стрелками. Исходной точкой построения является точка M.



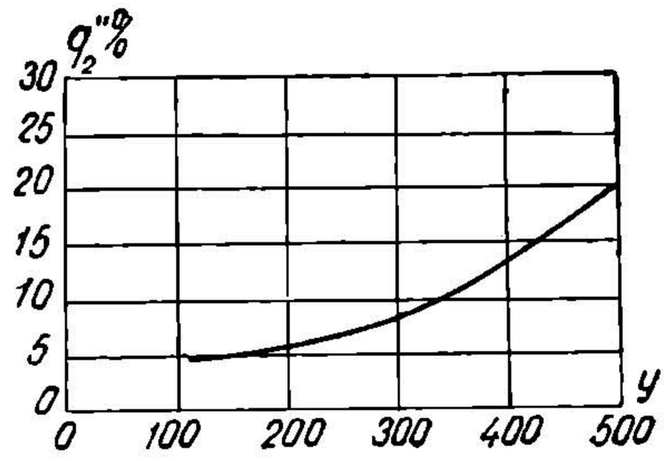
Фиг. 27.



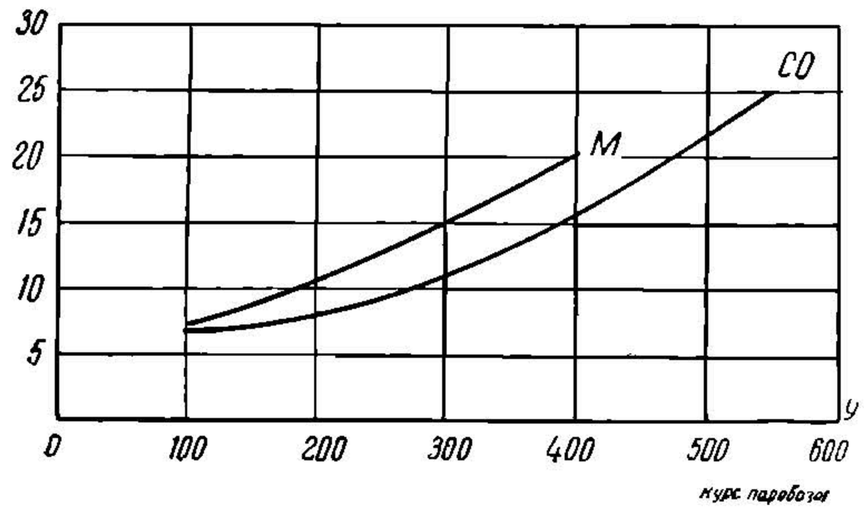
Фиг. 28.

Таким образом можно установить следующие основные зависимости потери от уноса: q''_2 растет:

1) с увеличением $У$,
2) с увеличением α,
3) с уменьшением содержания влаги в топливе,
4) с уменьшением содержания летучих в топливе,
5) с увеличением мелочности топлива.



Фиг. 29.



Фиг. 30

Зависимости 3 и 4 вытекают из того соображения, что так как вес горящего на решетке слоя будет, очевидно, тем меньше по отношению к весу топлива, загруженного в топку, чем больше топливо содержит летучих и влаги, то и унос, пересчитанный в процентах от веса загруженного топлива, будет тем меньше, чем богаче топливо летучими и чем оно влажнее.

Все указанные зависимости подвергались проверке на стационарных котлах и получили подтверждение.

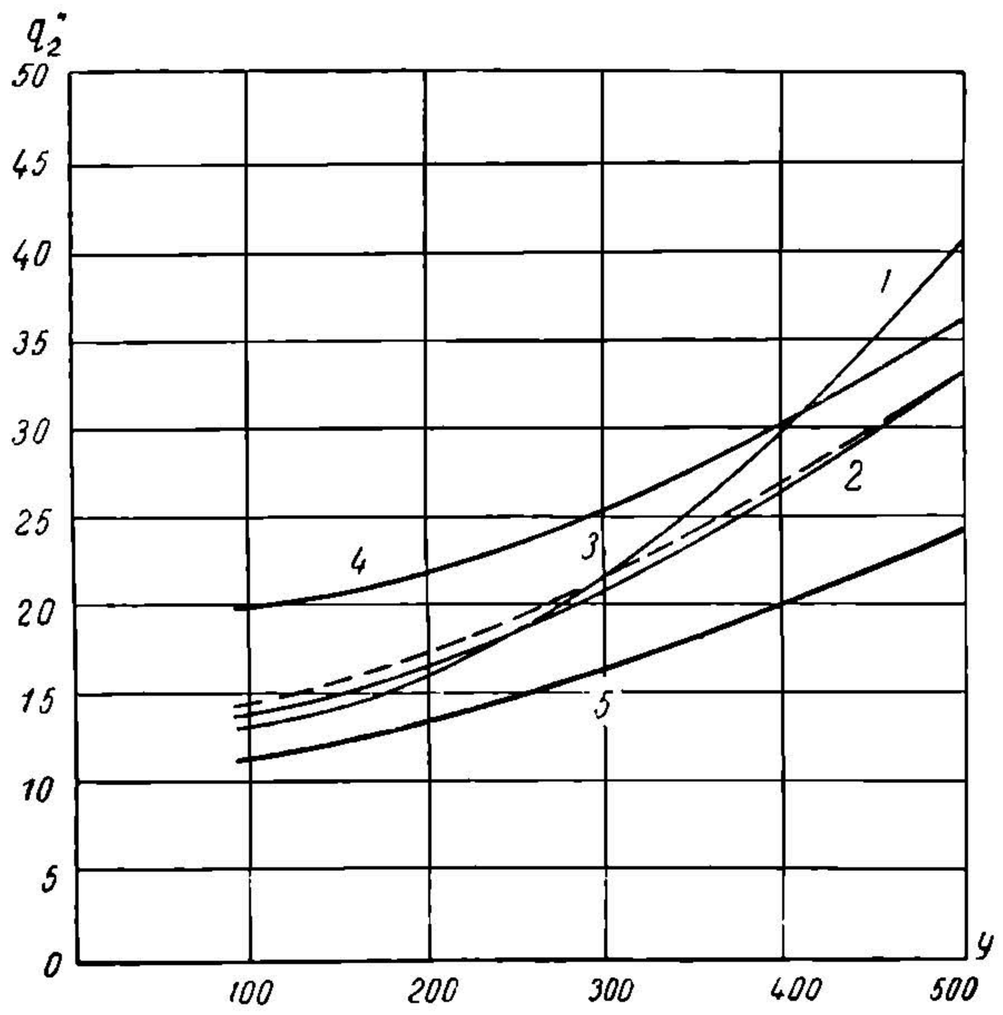
На фиг. 28 и 29 представлены диаграммы тепловых потерь q''_2 для товарного паровоза серии «О^{в}»; первая диаграмма относится к случаю отопления хорошо спекающимся донецким углем, вторая — для угля худшего качества и слабо спекающегося. При этом надо заметить, что невязка теплового баланса в первом случае колебалась для различных форсировок в пределах 5—15%, во втором — 10—20%. На фиг. 30 — подобные же данные для мощных паровозов серий «М» и «СО» при ручном отоплении донецкими углями.

НТБ ДНУЖТ

На основании этих опытов, а также целого ряда других с различными сортами углей, можно сказать, что в зависимости от форсировки и качества угля механические потери топки колеблются в паровозах от 5 до 30 и более процентов.

При очень мелких слабо спекающихся или совсем неспекающихся углях потери от уноса и провала достигают наибольшей величины, почему для сжигания угольной мелочи прибегают даже в стационарных котельных установках, работающих при весьма незначительной тяге, к устройству специальных топок с с сильно увеличенной площадью колосниковой решетки, дающей возможность работать с меньшим разрежением в борове (дымовой коробке). Рациональное же сжигание угольной мелочи в паровозах, работающих с громадным разрежением в дымовой коробке, еще труднее.

Практика некоторых наших железных дорог на угольной мелочи Донецкого бассейна показала, что смачивание угля рационально иногда доводить до 30% при тщательном перемешивании угля с водой в особых лотках или ящиках. При этом, конечно, надо заметить, что уменьшение уноса за счет смачивания угля покупается ценою некоторого понижения топочной температуры, особенно нежелательного для углей, содержащих значительный процент водорода.



Фиг. 31.

Из других мероприятий для борьбы с чрезмерным уносом следует указать на топочные своды, которые, помимо прямого своего назначения — аккумулирования тепла и поддержания в топке более ровной температуры, удлиняют путь газов в пределах топочной камеры и способствуют отсеиванию увлеченных с зеркала горения частиц топлива при огибании свода.

Наличие камеры догорания также может несколько снизить потерю от уноса вследствие удлинения пути газов в пределах топки, хотя роль их с рассматриваемой точки зрения еще слабо выяснена. Однако все указанные мероприятия (смачивание, своды) оказываются иногда недостаточными. Так, например при некоторых специальных конструкциях паровозных паровых машин (система Штумпфа), дающих особенно резкий, отчетливый выхлоп пара, отопление угольной мелочью становится совершенно невозможным, и в этом случае приходится прибегать к постановке особых резервуаров — расширителей по пути пара из цилиндров в конус, что дает более равномерный выхлоп.

Применение к паровозам механических топок (стокеров), широко применяемых на мощных паровозах США и поставленных на ряде и наших паровозов (серий «$Т^А$», «$Т^Б$», «ФД», «ИС»), сильно увеличивает механические потери горения вследствие примененного в этих устройствах принципа разбрасывания угля по площади колосниковой решетки струей острого пара. На фиг. 31 приведены кривые зависимости потерь q''_2 от $У$ для паровозов серий «ФД» и «ИС»: кривая *1* — для паровоза серии «ФД» при отоплении смесью из 50% — угля ПЖ и 50% АРШ; кривая *2* — для паровоза серии «ИС» на той же смеси; кривая *4* для серий «ФД» и «ИС» при отоплении смесью из 30% ПС, 30% Г и 40% АК; кривая *5*—для паровоза серии «ФД» на смеси из 25% ПЖ, 35% АРШ и 40% курного подмосковного угля. Пунктиром показана средняя кривая.

На дровяном отоплении механические потери горения даже при форсированной работе не превышают 10—12%.

НТБ ДНУЖТ

§ 7. Теплопередача

Общие соображения. Понятие о коэфициенте теплопередачи и температуре стенок

Процесс передачи тепла в паровозном котле от газов, омывающих изнутри поверхность огневой коробки, дымогарных и жаровых труб, к воде, заполняющей котел, до сих пор не изучен с достаточной научной глубиной. Теплообмен между двумя телами происходит, вообще говоря, тремя путями: 1) путем лучеиспускания горячего тела, 2) путем непосредственного соприкосновения частиц обоих тел и 3) путем конвекционных токов, возникающих в теплопередающей или тепловоспринимающей среде (жидкость, газ).

В огневой коробке паровозного котла преобладает теплопередача первым способом (лучеиспускание слоя топлива и раскаленных газов), в трубчатой части — соприкосновением и конвекцией.

Ввиду того, что температуры тел, между которыми происходит обмен теплом, являются (одна или обе) величинами переменными, уравнение, выражающее в общем виде закон теплообмена, должно быть написано в диференциальной форме и имеет вид:

$$-dQ = k \cdot h \cdot dH \cdot f(T - t), \tag{22}$$

где: dQ — количество тепла (в калориях), переданное от одного источника другому; величина эта отрицательна по отношению к телу с более высокой температурой;

h — продолжительность явления теплообмена в часах;

dH — бесконечно малый элемент стенки (поверхности нагрева), разделяющей оба тела;

T и t — температуры горячего (газы) и холодного (вода) тела;

k — коэфициент теплопередачи.

Зависимость dQ от температурного напора $(T—t)$ имеет вид показательной функции, т. е.

$$-dQ = k \cdot h \cdot dH(T-t)^n, \tag{23}$$

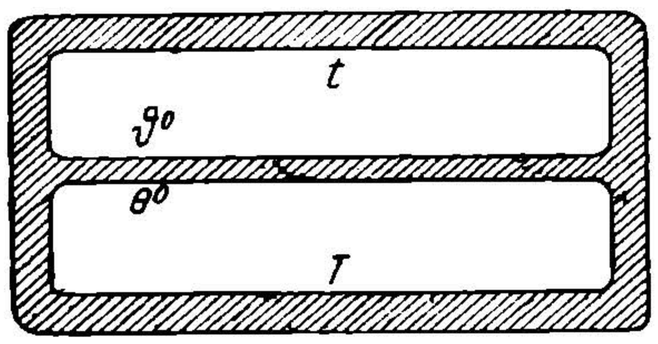
причем по гипотезе Редтенбахера $n=1$, а по Ранкину $n=2$. Истинное значение показателя n заключается, как будет указано ниже, между этими цифрами:

$$1 < n < 2,$$

тем не менее во всех современных практических расчетах принята гипотеза Редтенбахера:

$$-dQ = k \cdot h \cdot dH(T-t). \tag{24}$$

Уравнение показывает, что величина k имеет измерение *кал/м² час* 1° и является коэфициентом прямой пропорциональности между величинами Q и h: чем больше, при прочих равных условиях, величина k, тем больше тепла будет передано от газов к воде, тем больше будет мощность котла. Поэтому изучение физической природы величины коэфициента теплопередачи и выявление факторов, на нее влияющих, представляют важнейшую задачу котлостроения.



Фиг. 32.

Пусть мы имеем материальную стенку площадью $Hм^2$ и толщиной $\delta м$, разделяющую на две полости сосуд с теплонепроницаемыми наружными стенками (фиг. 32). В нижнем отделении сосуда пусть находится источник тепла с высокой температурой T (газ); в верхнем — с более низкой температурой t (вода). Обозначим температуру нижней поверхности разделяющей стенки через $\Theta°$, верхней $\vartheta°$; переход тепла от газа к жидкости, который неминуемо должен начаться в указанных условиях, может быть разделен на три последовательных этапа:

НТБ ДНУЖТ

1) переход тепла от газа к материалу стенки;

2) проникновение тепла через толщу стенки от нижней ее поверхности к верхней;

3) отдача тепла от стенки жидкости.

Называя через α_1 коэфициент теплопередачи от газа материалу стенки, получаем:

$$Q = \alpha_1 \quad h \cdot H(T - \Theta), \tag{25}$$

где h — число часов опыта, а Q — количество переданного за это время тепла.

Количество тепла, проходящее через толщу стенки, прямо пропорционально коэфициенту теплопроводности материала стенки (λ — есть количество тепла, проходящее в 1 час через 1 $м^2$ поверхности материала к другой поверхности того же материала, удаленной от первой на 1 $м$, при 1° разницы температур обеих поверхностей) и обратно пропорционально толщине стенки:

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot h \quad H(\Theta - \vartheta). \tag{26}$$

Наконец, число калорий, отдаваемое от стенки жидкости при коэфициенте теплопередачи α_2, выразится через:

$$Q = \alpha_2 \quad h \cdot H(\vartheta - t). \tag{27}$$

Объединяя все три отмеченные этапа перехода тепла от газов к воде, можем написать:

$$Q = k \cdot h \cdot H(T - t); \tag{28}$$

из уравнений (25) — (28) после соответствующих преобразований получаем:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \tag{29}$$

коэфициент α_2 имеет , по опытным данным, величину, никак не меньшую 1000 калорий, т. е.

$$\frac{1}{\alpha_2} \leqslant 0{,}001;$$

коэфициент теплопроводности имеет для железа величину 50 калорий; для красной меди — 330 калорий, при толщине стенки $\delta = 0{,}0025$ $м$ дробь $\frac{\delta}{\lambda}$ имеет численное значение:

$$\lambda_{ж} = 0{,}000045;$$

$$\frac{\delta}{\lambda_м} = 0{,}000008;$$

что касается величины α_1, то она измеряется вообще десятками калорий и для нормальных условий работы паровоза может быть принята в среднем в 30 кал., т. е.

$$\frac{1}{\alpha_1} = 0{,}033.$$

Первое замечание, которое можно сделать на основании анализа приведенных цифр, это то, что влияние величин $\frac{1}{\alpha_2}$ и $\frac{\delta}{\lambda}$ на величину суммарного коэфициента теплопередачи k — ничтожно, ввиду чего с вполне достаточной для целей практики точностью можно считать:

$$k \cong \alpha_1.$$

НТБ ДНУЖТ

Подсчет величины коэфициента теплопередачи через железную и медную стенки дает следующие цифры:

$$k_{ж} = \frac{1}{0{,}033 + 0{,}001 + 0{,}000045} = 29{,}37 \frac{кал}{м^2/час\ 1^\circ};$$

$$k_{м} = \frac{1}{0{,}033 + 0{,}001 + 0{,}000008} = 29{,}45 \frac{кал}{м^2/час\ 1^\circ}.$$

Цифры эти ясно показывают, что материал стенки не может иметь сколько-нибудь заметного влияния на величину коэфициента теплопередачи.

Предыдущий вывод величины k был нами сделан в предположении плоской разделяющей стенки, поверхности которой как изнутри, так и снаружи (т. е. применительно к схеме фиг. 32 — снизу и сверху) одинаковы и равны $Нм^2$.

В случае цилиндрических трубок внутренняя их поверхность, через которую совершается переход тепла от газов (протекающих внутри трубок) к материалу стенки, будет, очевидно, иметь меньшую величину, чем наружная, входящая в уравнение теплопередачи от стенки воде. Ввиду этого вид уравнений (25) — (27), а следовательно и окончательный вывод несколько усложняются, и формула получает вид:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2 \frac{d_a}{d_i}} + \frac{d_i}{2\lambda} \ln \frac{d_a}{d_i}}, \tag{30}$$

где d_a и d_i — наружный и внутренний диаметры трубок в $м$. Применяя однако эту точную формулу для подсчета величины k в нормальных железных дымогарных трубах диаметром 46/51 $мм$, получаем:

$$k = \frac{1}{0{,}033 + \frac{1 + \frac{0{,}046}{2{,}50} \ln 1{,}1087}{1000 \cdot \frac{0{,}051}{0{,}046}}} = \frac{1}{0{,}33 + 0{,}0009 + 0{,}000013} = 29{,}46 \frac{кал}{м^2/час\ 1^\circ}$$

вместо цифры 29, 37 калорий, которую мы получили в предположении плоской стенки.

Отсюда видно, что практически вполне допустимо пользоваться упрощенной формулой (29).

Произведенный краткий анализ величины видимого или действительного коэфициента теплопередачи через материальную стенку имеет, помимо своего принципиального значения, одно весьма ценное, чисто практическое приложение — он позволяет оценить вредное влияние загрязнения поверхностей нагрева на интенсивность теплопередачи. Если бы разделяющая стенка состояла не из однородного материала, как было предложено выше при выводе уравнения (28), а из нескольких разнородных, плотно друг к другу прилегающих слоев, толщиной δ, δ_1, δ_2, δ_3... и т. д., причем коэфициенты теплопроводности для этих слоев были бы равны соответственно λ, λ_1, λ_2, λ_3..., то, как нетрудно убедиться непосредственным подсчетом, мы получили бы вместо (29) следующее выражение:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \dots}.$$

Допустим теперь, что стенка дымогарной трубы покрыта с внутренней поверхности слоем сажи толщиной в 0,001 $м$; принимая теплопроводность сажи равной 0,1 калории, получим:

$$k = \frac{1}{0{,}033 + 0{,}001 + 0{,}000045 + \frac{0{,}001}{0{,}1}} = 22{,}70 \frac{кал}{м^2/час\ 1^0},$$

НТБ ДНУЖТ

т. е. на 23% меньше, чем для чистой стенки. Если на внешней поверхности труб имеется слой накипи ($\lambda=2$) такой же толщины, то

$$k = \frac{1}{0{,}033 + 0{,}001 + 0{,}000045 + \frac{0{,}001}{2}} = 28{,}95,$$

т. е. всего на 1,5% меньше чистой трубы.

Цифры эти показывают, насколько важно с точки зрения экономичности работы котла заботиться о своевременном и регулярном удалении налета сажи с поверхностей нагрева, и насколько осторожно следует относиться ко всякого рода нововведениям, имеющим целью улучшение перемешивания газовых струй в трубах паровых котлов при помощи вставки в них дросселирующих заслонок, втулок, спиралей и тому подобных приспособлений, создающих благоприятные условия для усиленного отложения сажи.

Следует горячо рекомендовать широкое применение специальных сажесдувателей (суперьеров), быстро очищающих стенки труб на ходу паровоза.

Загрязнение стенки сажей и накипью оказывает заметное влияние не только на интенсивность теплопередачи, но и на температуру, вызывая при значительных отложениях накипи на стенках огневой коробки быстрое повышение температуры стенки, могущее повести к пережогу.

Температура чистой стенки со стороны воды ϑ и со стороны газов Θ определяется из выражений (25) и (27):

$$\vartheta = t_k + \frac{Q}{h \cdot H} \cdot \frac{1}{\alpha_2},$$

$$\Theta = T \frac{Q}{h \cdot H} \cdot \frac{1}{\alpha_1}$$

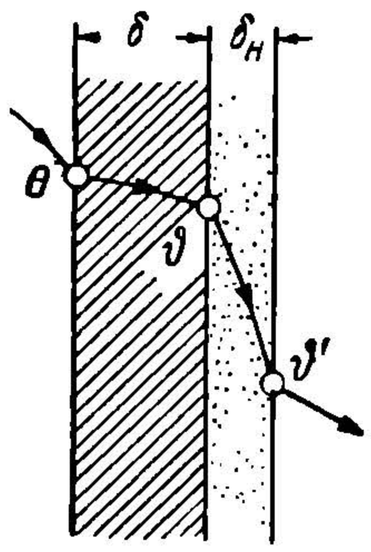
Принимая например температуру газов в огневой коробке при форсированной работе $T = 1300°$, $t_к = 190°$, коэфициент теплопередачи стенок топки $\alpha_1 = 150$ *кал/м² час* 1°, $\alpha_2 = 2000$ *кал/м² час* 1°, $\delta = 0{,}010$ *м*, $\lambda_{ж} = 50$, находим:

$$\frac{Q}{h \cdot H} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{1}{2000} + \frac{0{,}010}{50}} \cdot (1300 - 190) = 150\,600 \frac{кал}{м^2\ час\ 1°};$$

$$\vartheta = 190 + \frac{150\,600}{2\,000} = 265{,}3°;$$

$$\Theta = 1300 - \frac{150\,600}{150} = 296°.$$

В случае загрязнения стенки слоем накипи ($\lambda_н = 2$) толщиной $\delta_н = 0{,}005$ *м* (фиг. 33) находим:



Фиг. 33.

$$\frac{Q}{h \cdot H} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{1}{2\,000} + \frac{0{,}010}{50} + \frac{0{,}005}{2}} (1\,300 - 190) = 112\,400;$$

$$\vartheta' = 190 + \frac{112\,400}{2\,000} = 246{,}2°;$$

$$\vartheta = 190 + 112\,400 \left(\frac{1}{2\,000} + \frac{0{,}005}{2}\right) = 527{,}2°;$$

$$\Theta = 1\,300 - \frac{112\,400}{150} = 550°.$$

Таким образом слой накипи, изолируя стенку от охлаждающего действия воды, способствует скоплению тепла в материале стенки и ее перегреву.

НТБ ДНУЖТ

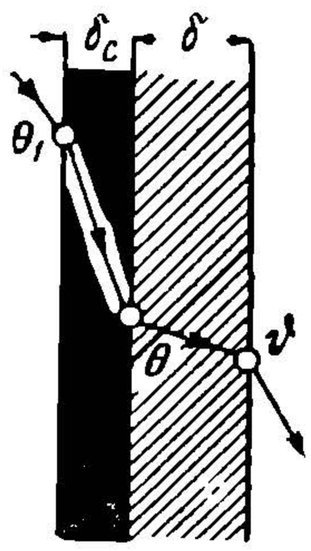
При загрязнении стенки слоем сажи произойдет, очевидно, обратное явление: слой сажи, изолируя стенку от действия высокой температуры газов, понизит ее температуру; принимая толщину слоя сажи $\delta_c = 0{,}001$ *м*, а ее теплопроводность $\lambda_c = 0{,}1$, найдем (фиг. 34):

$$\frac{Q}{h \cdot H} = \frac{1}{\frac{1}{150} + \frac{1}{2000} + \frac{0{,}010}{50} + \frac{0{,}001}{0{,}1}} (1300 - 190) = 63\,900 \ \frac{кал}{м^2 \ час \ 1°};$$

$$\Theta_1 = 1300 - \frac{63\,900}{150} = 874°;$$

$$\Theta = 1300 - 63\,900 \left(\frac{1}{150} + \frac{0{,}001}{0{,}1} \right) = 235°;$$

$$\vartheta = 190 + \frac{63\,900}{2000} = 222°.$$



Фиг. 34.

Наконец, одновременное присутствие на стенке отложений сажи и накипи представляет, очевидно, нечто промежуточное между двумя вышерассмотренными.

На фиг. 35 изображены схематически все четыре случая работы стенки. Самым опасным с точки зрения перегрева стенки является, как видно, случай третий.

Производя подобные исследования при различной толщине слоя накипи, составляем табл. 3.

Таблица 3

$\delta_н$	0	2	3	5	10	*мм*
κ_m	135,7	127,1	112,7	103,3	80,8	*кал/м² час* 1°
$Q/h \cdot H$	150 600	141 100	125 100	112 400	89 700	*кал/м² час*
ϑ^1	265,3	260,5	252,5	246,2	234,8	°C
θ	296	359	466	559	702	°C
ϑ	265,3	331	440	527	683	°C

Данные эти представлены графически на фиг. 36.

Резюмируя все сказанное о влиянии загрязнения стенок котла, видно, что загрязнение сажей сильно понижает эффект теплопередачи Q, а накипь особенно опасна в смысле перегрева стенок; поэтому еще раз подчеркиваем необходимость самых радикальных мероприятий по борьбе с сажей и накипью.

В заключение отметим, что коэфициент теплопередачи от газа, протекающего по трубе, к стенкам трубы зависит от величины r среднего гидравлического радиуса трубы, так как с увеличением r среднее расстояние протекающих по трубе газовых частиц до стенок трубы возрастает, в связи с чем доля участия наиболее удаленных от стенки газовых частиц в процессе теплопередачи становится все меньше. Если мы имеем две трубы с гидравлическими радиусами r_1 и r_2, то при прочих равных условиях (одинаковых температурах и плотностях газов и скоростях их протекания) коэфициенты теплопередачи будут относиться следующим образом:

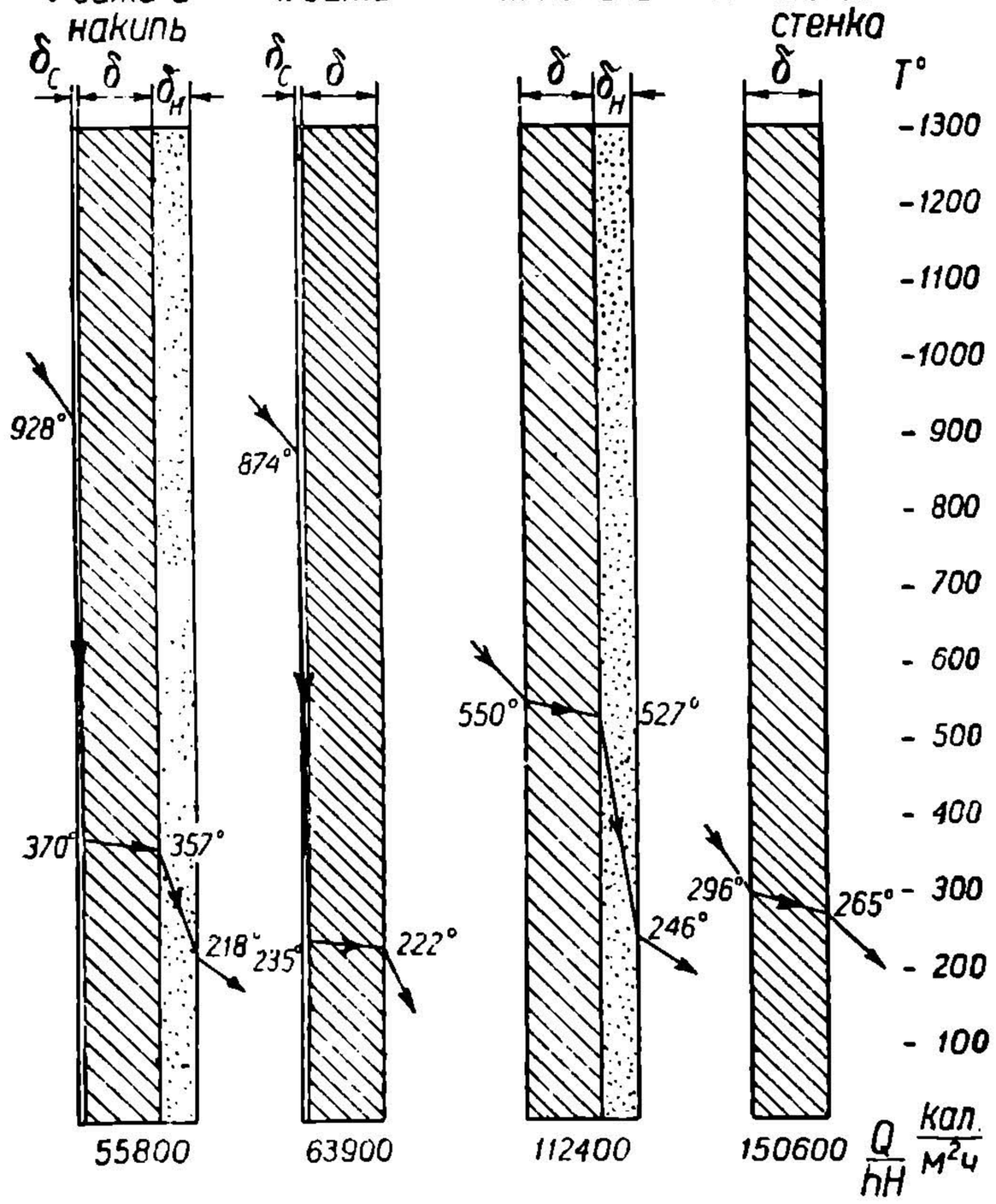
$$\frac{k_1}{k_2} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^{0{,}214}.$$

В табл. 4 приведены величины отношения k_1/k_2, причем за единицу сравнения принята величина коэфициента теплопередачи при $r = 0{,}0115$ *м*, что соответствует круглой трубе диаметром (внутренним) в 45 *мм*; на фиг. 37 дан график поправочных коэфициентов.

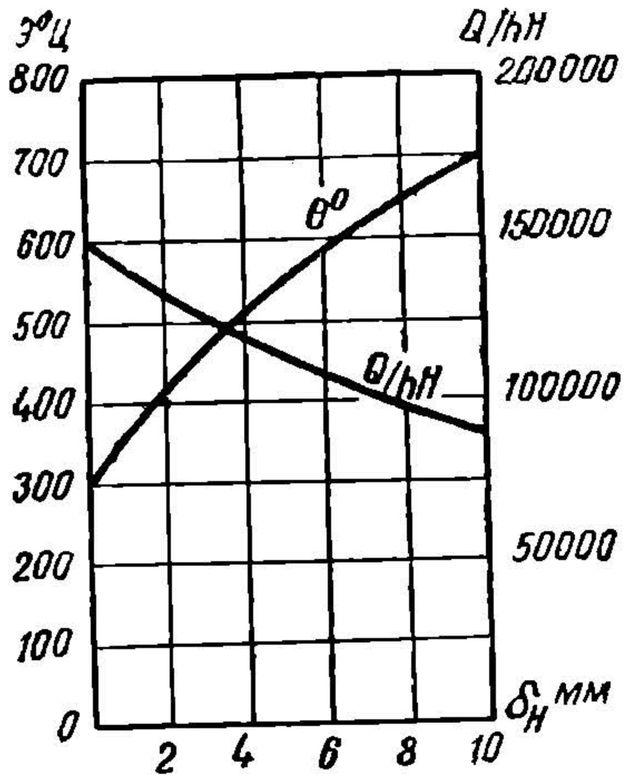
НТБ ДНУЖТ

Таблица 4

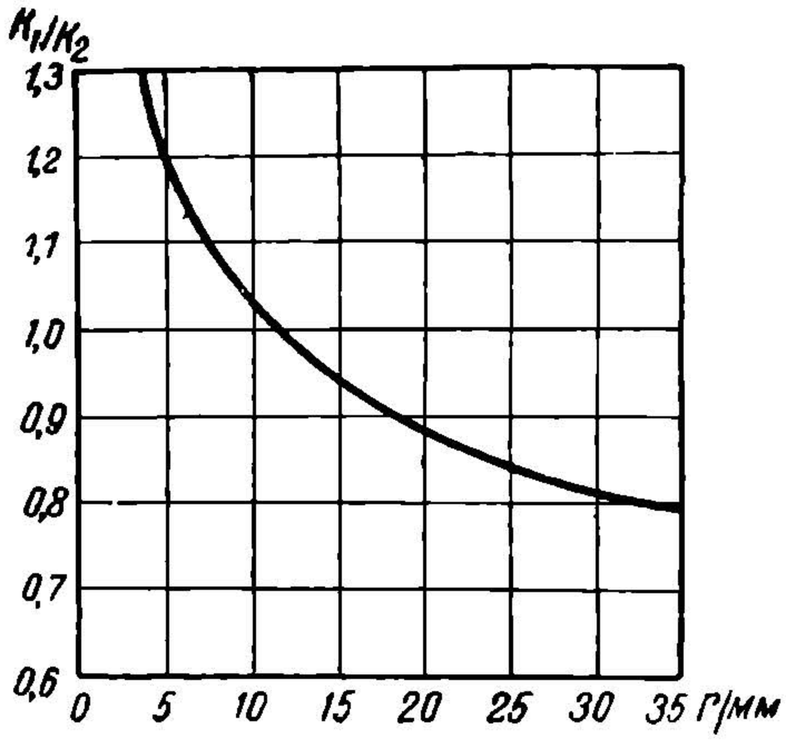
Γ	0,004	0,006	0,008	0,0115	0,015	0,020	0,025	0,030	0,035
κ_1/κ_2	1,254	1,152	1,080	1,00	0,945	0,888	0,847	0,814	0,788



Фиг. 35.



Фиг. 36.

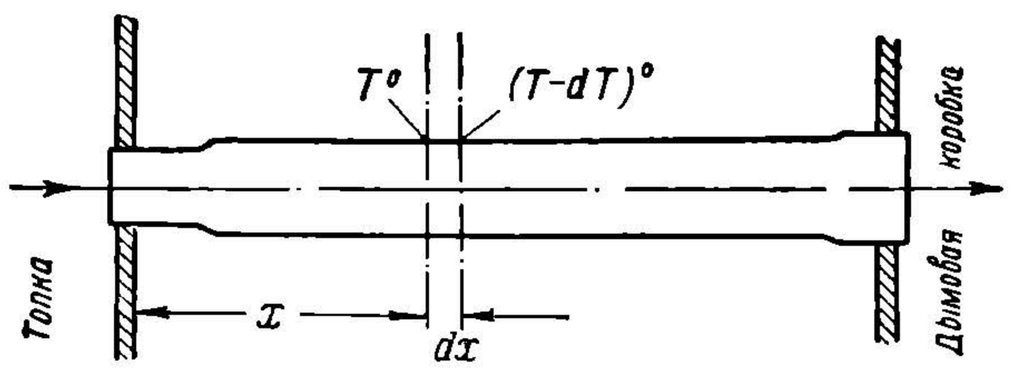


Фиг. 37.

НТБ ДНУЖТ

Теплопередача в дымогарных трубах

На фиг. 38 изображена дымогарная труба паровозного котла с внутренним диаметром $d_м$. На произвольном расстоянии x от огневой решетки проведем сечение, перпендикулярное к оси трубы, а на расстоянии dx от него другое, выделив таким образом бесконечно малый участок поверхности нагрева трубы:



Фиг 38.

$$(\pi d \cdot dx)\ м^2,$$

а для всех n дымогарных труб данного котла:

$$dH = (\pi d \cdot n \cdot dx)\ м^2.$$

Температура газов в сечении, ближайшем к топке — $T°$, в следующем бесконечно близком — $(T—dT)°$; температура воды в котле — $t_k°$. Температуры газов принимаем постоянными для всех точек того или иного поперечного сечения труб, температуру воды — постоянной для всего водяного объема котла.

Напишем выражение для бесконечно малого количества тепла dQ, отдаваемого газами на выделенном бесконечно малом участке их пути:

$$dQ = B_h \cdot G_b \cdot c'[(T - dT) - T] = - B_h \cdot G_b \cdot c' \cdot dT, \qquad (31)$$

где c — истинная (мгновенная) теплоемкость газов при температуре T. Дифференцируя по T, находим:

$$\frac{dQ}{dT} = B_h G_b c + B_h \cdot G_b \delta 2T = B_h \cdot G_b (c + 2\delta T);$$

отсюда видим, что

$$c' = c + 2\delta T. \qquad (32)$$

С другой стороны, количество тепла, полученное водой через элементарную поверхность нагрева dH, можно выразить по схеме уравнения Редтенбахера:

$$dQ = k \cdot dH(T - t_к) = k\pi dn \cdot dx(T - t_k). \qquad (33)$$

Соединяя уравнения (31) и (33) знаком равенства и подставляя c' из (32), получим:

$$- B_h \cdot G_b (c + 2\delta T) dT = k\pi \cdot d \cdot n \cdot dx (T - t_k). \qquad (34)$$

Разделяя переменные и интегрируя температуры в пределах от $T = T_2$ (в плоскости огневой решетки) до T в произвольном сечении, находим:

$$-B_h \cdot G_b c \int_{T_2}^{T} \frac{dT}{T - t_k} - 2 B_h \quad G_b \delta \int_{T_2}^{T} \frac{TdT}{T - t_k} = k\pi \cdot d.n \int_0^x dx;$$

$$(B_h G_b c + 2B_h G_b \delta t_k) \ln \frac{T_2 - t_k}{T - t_k} + 2B_h G_b \delta (T_2 - T) = k \cdot \pi d \cdot n \cdot x; \qquad (35)$$

или, припоминая, что $B_h \cdot G_b c = M$, $B_h . G_b \delta = N$ и обозначая $\pi \cdot d \cdot n \cdot x = H_x$, имеем:

$$(M + 2N \cdot t_k) \ln \frac{T_2 - T_k}{T - t_k} + 2N (T_2 - T) = \kappa \cdot H_x. \qquad (36)$$

Это есть самый общий вид интегрального уравнения теплопередачи для трубчатых поверхностей нагрева.

Распространяя интегрирование на всю поверхность нагрева дымогарных труб, будем иметь:

$$(M + 2N \quad t_k) \ln \frac{T_2 - t_k}{T_3 - t_k} + 2N (T_2 - T_3) = k \cdot H_д . \qquad (37)$$

НТБ ДНУЖТ

Область применения выведенного уравнения двоякая. При исследовании работы существующего паровоза из уравнения (37) может быть подсчитана величина k, без знания которой невозможен правильный научный расчет размера поверхности нагрева. Накопив таким путем достаточно надежный запас сведений о величине k, мы можем применять уравнение (37) для расчета размеров вновь строящихся паровозов, задаваясь желательной степенью охлаждения газов ($T_з$) и определяя из уравнения величину необходимой и достаточной поверхности нагрева трубок $H_д$.

Величина коэфициента теплопередачи k, как показали обширные научно обставленные опыты с паровозами нашей сети, является возрастающей функцией скорости протекания газов w по дымогарным трубам. Величина w подсчитывается из уравнения.

$$w = \frac{(L_0\alpha + 1)\, B_h \cdot v}{3600 \cdot \Omega_д}, \tag{38}$$

где v — удельный объем протекающих по трубкам продуктов сгорания, а $\Omega_д$ — площадь живого сечения дымогарных труб. Принимая давление газов в дымогарных трубах равным атмосферному (10 330 *кг/м²*), т. е. пренебрегая влиянием разрежения газов (что практически дает неточность меньше 1%), имеем из характеристического уравнения газового потока:

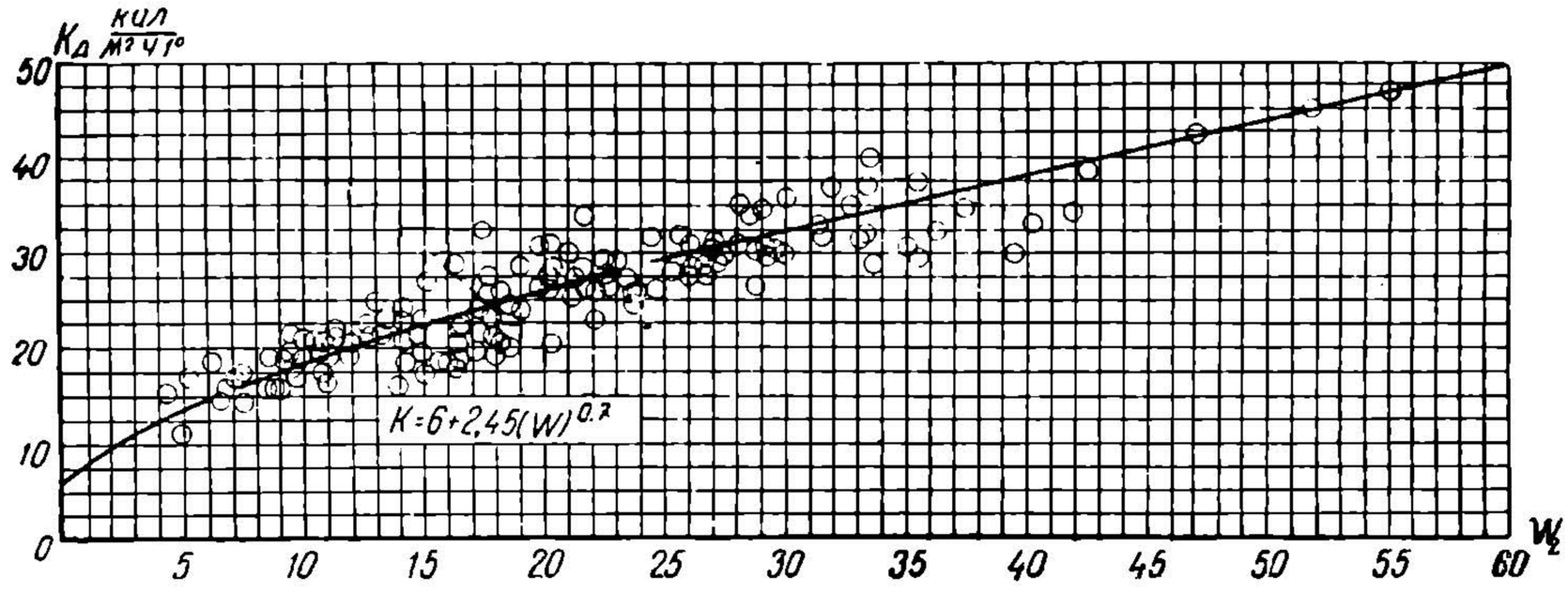
$$v = \frac{29{,}27 \quad T_{abs}}{10\,330}, \tag{39}$$

где 29, 27 — газовая постоянная, а T_{abs} — средняя абсолютная температура газов в дымогарных трубах:

$$T_{abs} = \frac{T_2 + T_3}{2} + 273°.$$

После этого

$$w = \frac{(L_0\alpha + 1)\, B_h \cdot 29{,}27 \left(\frac{T_2 + T_3}{2} + 273\right)}{10\,330 \cdot 3\,600 \cdot \Omega_д} \tag{40}$$



Фиг. 39.

На фиг. 39 нанесены по данным опытных поездок с рядом паровозов значения w и k. Функциональная зависимость k от w выражается уравнением:

$$k = 6 + 2{,}45 \cdot w^{0{,}7}. \tag{41}$$

Это уравнение справедливо для теплопередачи в дымогарных трубах диаметром d =46/51 *мм*, т. е. с гидравлическим радиусом сечения 0,0115 *м*. Для труб любого другого гидравлического радиуса r имеем:

$$k = (6 + 2{,}45 \cdot w^{0{,}7}) \cdot \left(\frac{0{,}0115}{r}\right)^{0{,}214} \tag{42}$$

НТБ ДНУЖТ

Температуры газов сгорания при входе и при выходе из трубчатой части котла

При исследовании теплопередачи во вновь проектируемых паровозных котлах в первую очередь необходимо наметить те ожидаемые температуры, которые будут иметь газы при входе из топки в трубчатую часть (T_2) и при выходе из котла в дымовую коробку (T_3). Совершенно ясно, что если по заданию требуется передать от газов к воде определенное количество тепла, гарантирующее приготовление котлом необходимого количества рабочего пара, то величина поверхности нагрева, для этой цели необходимая, будет тем меньше, чем большую температуру имеют газы сгорания, омывающие эту поверхность.

Передача тепла в пределах огневой коробки соответствует перепаду температур газов от T_1 (действительная температура горения, определяемая из уравнения 16) до температуры T_2 при входе газов в отверстия огневой решетки. Температура газов по выходе из трубчатой части котла — T_3. Знание действительных величин двух последних температур и является для нас существенно необходимым для исследования интенсивности теплопередачи в существующих паровозных котлах и для расчета новых.

Чем большее количество топлива (при прочих равных условиях) фактически сгорает в топке в единицу времени, тем большее количество газов омывает определенную поверхность нагрева (топки или дымогарных трубок), — тем меньший промежуток времени остается каждая раскаленная молекула газа в соприкосновении с холодной стенкой, отделяющей ее от воды. В результате газовые молекулы не успевают отдать котловой воде достаточного количества тепла и достигают пределов данной (ограниченной) поверхности нагрева с относительно высокой температурой.

Если, с другой стороны, определенное весовое количество газов сгорания омывает на своем пути малую поверхность нагрева топки (H_m) или всего котла H, то температура их (T_2 в первом случае и T_3 во втором) должна повыситься.

Высказанные соображения целиком подтверждаются всей суммой 40-летних испытаний паровозов на наших железных дорогах.

В первом грубом приближении результаты этих опытов могут быть выражены формулой

$$T = A \sqrt[1.6]{\frac{\frac{\mu B_h \cdot K}{H} + 4\,400}{\frac{\mu B_h \cdot K}{H} + 223\,000}}, \qquad (43)$$

где H — часть поверхности нагрева котла (и пароперегревателя, если последний включен в газовый поток параллельно с котлом), омытая газами до того пункта их пути, в котором температура газов равна T.

Формула (43) при $A=1350$, $H=H_m$ (H_m — поверхность нагрева огневой коробки) дает вполне надежные цифры для оценки температуры T_2.

Что касается оценки по этой формуле температуры уходящих газов, то она нуждается в следующих пояснениях.

Совершенно очевидно, что с увеличением длины трубчатой части котла L (при той же величине полной поверхности нагрева H — котла и пароперегревателя) температура уходящих газов будет понижаться, так как благодаря увеличению скорости протекания газов по трубам (число труб уменьшилось) повысится коэфициент теплопередачи. Кроме того, на величину коэфициента теплопередачи, а следовательно и на T_3 влияет и средний гидравлический радиус сечения труб.

НТБ ДНУЖТ

По новейшим исследованиям в этой области [1] формула для определения $T_з$ может быть представлена в следующем виде:

$$T_з = \left(\frac{r}{0{,}0105}\right)^{0{,}15} \cdot \left(710 + \frac{332\,000}{\frac{L}{r} + 105}\right) \sqrt[1{,}5]{\frac{\frac{\mu B_h \quad K}{H} + 4\,400}{\frac{\mu B_h \quad K}{H} + 223\,000}}, \qquad (44)$$

где

$$H = H_k + H_д$$

Для бесперегревного паровоза $r = \frac{d_д}{4}$, для перегревного:

$$r = \frac{\frac{\pi}{4}\left(d_ж^2 - n' \cdot d_д^2\right) n_ж + \frac{\pi}{4} d_д^2 \quad n_д}{\pi\left(d_ж + n' \cdot d_д\right) n_ж + \pi d_д \cdot n_д},$$

где: $n_ж$, $n_д$ — число жаровых и дымогарных труб в котле,

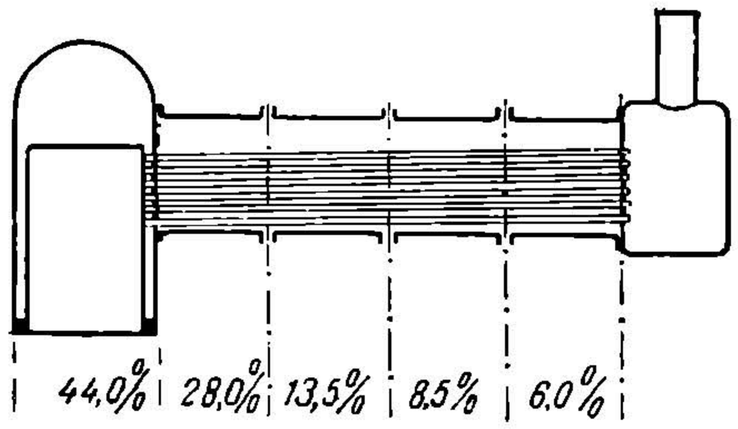
n' — число перегревательных трубок в одной жаровой трубе,

$d_д$, $d_ж$ и $d_д$ — газовые диаметры дымогарных, жаровых и перегревательных труб в *м*.

Теплопередача в огневой коробке

Общая обстановка работы газового потока и протекания теплопередачи в пределах огневой коробки паровоза значительно сложнее, чем в трубчатой части котла. Резко выраженный турбулентный характер обтекания газами топочной поверхности нагрева и явное преобладание здесь «прямой отдачи» (лучеиспускание) чрезвычайно усложняют как аэродинамику, так и термодинамику газового потока в топке.

Благодаря, главным образом, влиянию лучеиспускания передача тепла через стенки топочной коробки происходит во много раз интенсивнее, чем в дымогарных трубах, так что топочная поверхность нагрева является наиболее активной. Применительно к современным паровозам можно сказать, что топка дает от 40 до 70% всего приготовляемого котлом пара.



Фиг. 40.

Весьма интересные опыты с паровозным котлом производились инж. Жоффруа еще в 60-х годах прошлого столетия. Он разрезал цилиндрическую часть котла на четыре части (фиг. 40), которые были затем снабжены днищами в виде железных листов с отверстиями для прохода дымогарных труб и установлены рядом в прежнем порядке.

Поверхность нагрева топки была равна 7,14 *м*², а каждого из четырех отделений — по 16,66 *м*². Количество испаренной воды замерялось отдельно как в топочной части, так и в каждом из отделений. Оказалось, что топкой испарено 44% всего пара; а каждым из цилиндрических барабанов последовательно: 28; 13,5; 8,5 и 6,0%.

При одной из опытных поездок с пассажирским паровозом серии «Н[в]» были получены следующие результаты: топкой испарено 57% пара; первой четвертью длины дымогарных труб — 20,5%; второй — 9,50%; третьей — 8% и последней — 5%.

Полученные цифровые соотношения отнюдь нельзя однако считать как нечто постоянное; даже для одного и того же котла они сильно меняются в зависимости от условий работы: форсировки, степени избытка воздуха и т. д. В табл. 5 приве-

[1] Проф. С. П. Сыромятников, Определение температуры уходящих газов в проектируемых паровозных котлах, Труды МЭМИИТ, выпуск VIII, 1934 г.

НТБ ДНУЖТ

дены на выдержку некоторые данные, полученные при разработке четырех опытных поездок с одним из товарных паровозов.

Таблица 5

№ опыта	1	2	3	4
Интенсивн. горения y в *кг/м² час*	185		410	
Коэфициент избытка воздуха α . . .	1,23	1,44	1,06	1,22
Количество испаренной топкой воды в процентах . . .	56	47	48	41
Тепловое напряжение топки q_m в *кал/м² час*	145 000	122 000	217 000	175 000
Тепловое напряжение дымогарных труб $q_д$ в *кал/м²час* .	8 500	10 700	18 000	19 000

Цифры эти показывают, что:

1) при одной и той же форсировке с увеличением избытка воздуха уменьшается активность поверхности нагрева топки и повышается активность трубчатой части; мы уже знаем теперь, что происходит это вследствие понижения температуры T_1 при неизменных T_2 и T_3;

2) при одном и том же избытке воздуха (№ 1 и 4) с увеличением форсировки активность поверхности труб быстро возрастает (с 8 500 до 19 000 калорий), а для топочной поверхности — гораздо медленнее (с 145 000 до 175 000); способствует этому, как нетрудно догадаться, быстрое повышение с увеличением температуры T_2 и понижение T_1; такое сближение топочных температур вызывает относительное понижение испарительности топочной поверхности с 56 до 41%.

Количество тепла, передаваемого от одного тела другому лучеиспусканием, выражается уравнением Больцмана:

$$Q_л = \sigma \quad H_л \left[\left(\frac{T_m + 273}{100} \right)^4 - \left(\frac{t + 273}{100} \right)^4 \right], \qquad (45)$$

где: σ — лучеиспускательная способность тела, т. е. то количество тепла, которое передается в единицу времени 1 $м^2$ поверхности лучеиспускающего тела при температуре $T°_m$;

$H_л$ — поверхность лучеиспускающего тела.

В топке парового котла лучеиспускающей поверхностью является поверхность раскаленного топлива, в случае отопления углем ее принимают равной $1{,}5\,R$—$2R$ (R — площадь колосниковой решетки); при нефтяном отоплении это будет поверхность нефтяного факела, которая может быть весьма различной при разных типах форсунок, топочных устройств и при равной интенсивности горения.

Точное определение из опыта величины коэфициента σ сопряжено с большими трудностями: σ зависит от материала и степени шероховатости поверхности, от степени загрязнения налетом того или иного вещества и может сильно варьировать в зависимости от различных случайных обстоятельств. Лабораторными опытами выяснено, что наибольшая лучеиспускающая способность абсолютно черного (т. е. не отражающего и не пропускающего сквозь себя лучистой теплоты) тела выражается цифрой 4,6; сажа обладает несколько меньшей лучеиспускающей способностью — 4,40—4,55; для шероховатых железных и чугунных поверхностей $\sigma = 4{,}40 - 4{,}45$. Для котельных топок на основании опытных данных можно брать $\sigma = 4$.

Ввиду недостаточной выясненности для паровозной топки величины T_m (температура слоя и средняя температура топочных газов) и $H_л$ в формуле 45 практически гораздо удобнее отказаться от раздельной оценки теплопередачи

НТБ ДНУЖТ

в топке путем лучеиспускания, соприкосновения и конвекции и иметь дело с суммарной теплопередачей всеми способами одновременно. Такая трактовка вопроса, являясь, конечно, известным компромиссом (временно вынужденным) с научной точки зрения, не наносит однако ущерба расчетно-практическим целям.

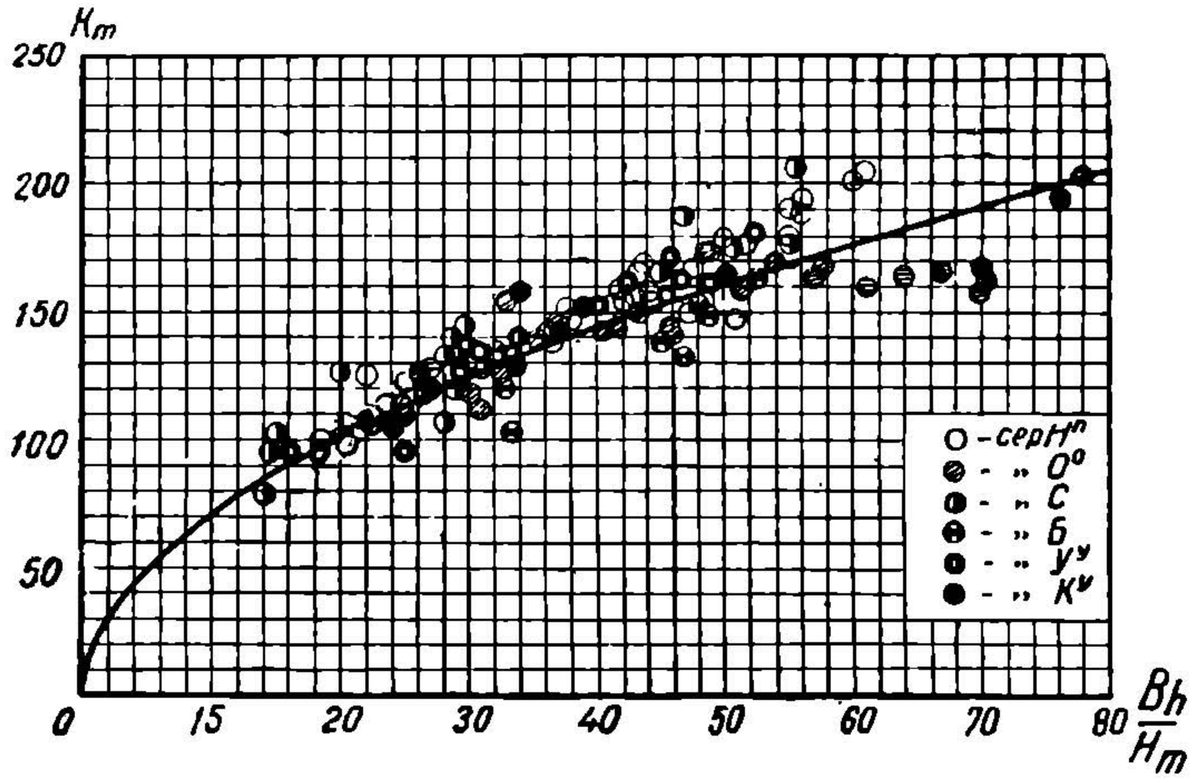
По схеме уравнения (37) мы можем написать условно аналогичное интегральное уравнение и для топочной поверхности нагрева:

$$(M + 2N \quad t_k) \ln \frac{T_1 - t_k}{T_2 - t_k} + 2N(T_1 - T_2) = k_m \cdot H_m, \tag{46}$$

где k_m — суммарный коэфициент теплопередачи топочной поверхности нагрева.

На фиг. 41 нанесены для целого ряда паровозов, отапливавшихся во время опытных поездок нефтяными остатками, значения k_m в функции от величины отношения $\frac{B_h}{H_m}$. Кривая, нанесенная на планшет, имеет уравнение:

$$k_m = 23 \sqrt{\frac{B_h}{H_m}}. \tag{47}$$



Фиг. 41.

Формула (47) может быть обобщена и для других видов топлива, приобретая следующий вид:

$$k_m = 0{,}23 \sqrt{\frac{\mu \cdot B_h \cdot K}{H_m}} \tag{48}$$

§ 8. Тепловые потери с уходящими газами в окружающую среду и на служебные нужды

Потеря тепла с уходящими газами

Потеря тепла с уходящими газами Q_3 подсчитывается по уравнению (4), подставляя в правую его часть $T = T_3$ (температура уходящих газов — измеренная во время опыта или заданная при проектировании нового паровоза):

$$Q_3 = \mu B_h \; G_b c T_3 + \mu B_h \; G_b \delta T_3^2. \tag{49}$$

В процентах от тепла сгорания:

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_0} \cdot 100 = \frac{\mu B_h (G_b c T_3 + G_b \delta T_3^2)}{B_h \quad K} \cdot 100 =$$

$$= \frac{M}{K} \; (G_b \; c \; T_3 + G_b \delta T_3^2) \cdot 100. \tag{50}$$

НТБ ДНУЖТ

Таким образом потеря q_3 есть функция химического состава топлива (K), состава продуктов сгорания ($G_b c, G_b \delta$) и температуры уходящих газов T_3, зависящей, как мы видели выше, от форсировки котла и его геометрических размеров.

При неизменном α величина произведений $G_b\, c$ и $G_b\, \delta$ находится в почти прямой пропорциональности к величине теплопроизводительности топлива K. Исследования этого вопроса позволяют установить следующие зависимости:

$$100\frac{G_b c}{K} = 0{,}00404 + 0{,}0344 \cdot \alpha;$$

$$100\frac{G_b \delta}{K} = 0{,}00000042 + 0{,}0000036 \cdot \alpha.$$

Подставляя эти выражения, а также величину температуры T_3 из (44) в выражение (50), получаем после преобразований:

$$q_3 = \left(71{,}8 + \frac{33\,600}{\frac{L}{r} + 105}\right) \cdot \sqrt[1{,}6]{\frac{\frac{\mu B_h K}{H} + 4\,400}{\frac{\mu B_h K}{H} + 223\,000}}$$

$$\left[1 + 0{,}1418 \sqrt[1{,}6]{\frac{\frac{\mu B_h K}{H} + 4\,400}{\frac{\mu B_h K}{H} + 223\,000}}\right] \cdot (0{,}4 + 3{,}4\,\alpha) \cdot \left(\frac{r}{0{,}0105}\right)^{0{,}15} \qquad (50a)$$

Потеря тепла в окружающую среду

Ввиду невыясненности вопроса о справедливости той или иной гипотезы теплопередачи, примем для охлаждения общую формулу:

$$dQ = k \cdot H_0 (t - t_в)^n \cdot dh, \qquad (51)$$

где t и $t_в$ — температуры горячего и холодного источников, dQ — количество тепла, переданное холодному телу за бесконечно малый промежуток времени dh часов; k — коэфициент теплопередачи, H_o — наружная поверхность котла, соприкасающаяся с наружным воздухом.

Если обозначить вес охлаждаемого тела через A, теплоемкость через c, температуру в начальный момент — t, а по прошествии промежутка времени dh через $(t—dt)$, то то же количество тепла может быть выражено следующим образом:

$$dQ = [A \quad c\,[(t - dt)] - t] = -A \cdot c \cdot dt. \qquad (52)$$

В случае парового котла охлаждению подвергаются:

1) вода, наполняющая котел;
2) пар, находящийся в паровом пространстве;
3) железные и медные части котла, омываемые водой и паром.

Считая температуру всего охлаждаемого агрегата в каждый данный момент одинаковой для всей массы, получаем:

$$dQ = -dt\,(G \cdot c + G_1 \cdot c_1 + G_2 \cdot c_2 + G_3 \cdot c_3), \qquad (53)$$

где: G, G_1, G_2, G_3 — веса воды, пара, железа и меди,

c, c_1, c_2, c_3 — их теплоемкости.

Средняя теплоемкость воды в пределах изменения ее температуры от 0 до 200° может быть принята равной единице.

Произведение $G_1 \,.\, c_1$ можно совсем игнорировать, ввиду ничтожного относительно веса пара в котле; при диаметре котла 2 *м* объем цилиндрической части его длиной в в 6 *м* равен ∞ 20 $м^3$; считая, что при нормальном уровне воды паровое

НТБ ДНУЖТ

пространство составляет около $^1/_5$ этого объема, находим объем пара в котле равным 4 $м^3$; принимая удельный вес пара при 13 *ат* равным 6 $кг/м^3$, находим :

$$G = 4 \cdot 6 = 24 \ кг,$$

т. е. около $^1/_{200} — ^1/_{300}$ веса воды. Так как, кроме того, теплоемкость пара можно принять равной 0,6, то произведение $G_1 . c_1$ составляет около 0,2—0,3% от величины $G . c$.

С точки зрения охлаждения вес железа эквивалентен весу воды.

$$G_2' = G_2 \frac{c_2}{c} = G_2 \quad c_2;$$

водяной эквивалент веса меди составляет:

$$G_3' = G_3 \frac{c_3}{c} = G_3 \cdot c_3.$$

Вводя эти условные обозначения, мы заменяем подвергаемую охлаждению систему однородным телом с теплоемкостью, равной единице: вес этого тела, называемый «приведенным» весом, равен:

$$A = Gc + G_2 \cdot c_2 + G_3 \cdot c_3. \tag{54}$$

Уравнение (53) перепишется теперь в виде

$$dQ = — A\,dt. \tag{55}$$

Соединяя знаком равенства правые части выражений (51) и (55), получаем уравнение охлаждения в диференциальной форме:

$$— A\,dt = k \cdot H_0 (t — t_в)^n\,dh,$$

или, разделяя переменные:

$$\frac{kH_0}{A} dh = — \frac{dt}{(t — t_в)^n} \tag{56}$$

Считая температуру $t_в$ наружного воздуха постоянной для всего протяжения опыта и интегрируя, получаем:

$$\frac{k \cdot H_0}{A} \cdot h + c = — \int \frac{dt}{(t — t_в)^n} = — \frac{(t — t_в)^{1-n}}{1 — n} \tag{57}$$

В начальный момент при $h = h_1 = 0$ имеем $t = t_1$ и из предыдущего уравнения определяем постоянное c:

$$c = — \frac{(t_1 — t_в)^{1-n}}{1 — n}.$$

В конце опыта при $h = h_2$ имеем $t = t_2$, и уравнение (57) примет вид:

$$\frac{k \cdot H_0}{A} h_2 = \frac{(t_1 — t_в)^{1-n}}{1 — n} — \frac{(t_2 — t_в)^{1-n}}{1 — n},$$

откуда

$$k = \frac{A}{h_2 \quad H_0} \cdot \frac{(t_1 — t_в)^{1-n} — (t_2 — t_в)^{1-n}}{1 — n} \tag{58}$$

Подставляя значения k и c в уравнение (57) и относя его к произвольному моменту охлаждения h, имеем:

$$\frac{h}{h_2} \cdot \frac{(t — t_в)^{1-n} — (t_2 — t_в)^{1-n}}{1 — n} = \frac{(t_1 — t_в)^{1-n} — (t — t_в)^{1-n}}{1 — n}. \tag{59}$$

НТБ
ДНУЖТ

Отбрасывая общий знаменатель и вынося в левой части за скобки выражение:

$$(t_1 - t_в)^{1-n},$$

находим

$$(t_1 - t_в)^{1-n}\left(\frac{h}{h_2} - 1\right) + \frac{h}{h_2}(t_2 - t_в)^{1-n} = (t - t_в)^{1-n};$$

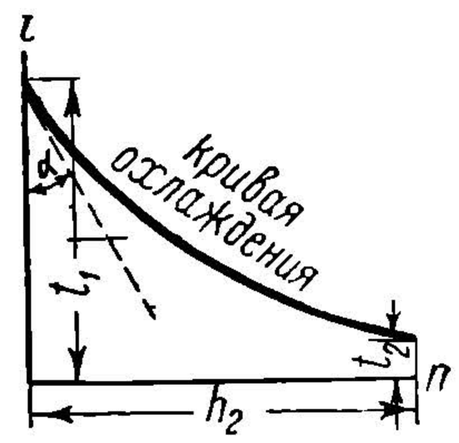
$$(t_1 - t_в)^{1-n}\left[\frac{h}{h_2}\left(\frac{t_2 - t_в}{t_1 - t_в}\right)^{1-n} - \left(\frac{h}{h_2} - 1\right)\right] = (t - t_в)^{1-n};$$

$$t = (t_1 - t_в)\cdot\sqrt[1-n]{\frac{h}{h_2}\left(\frac{t_2 - t_в}{t_1 - t_в}\right)^{1-n} + \left(1 - \frac{h}{h_2}\right)} + t_в. \qquad (60)$$

Полученное выражение представляет собой самый общий вид уравнения кривой охлаждения.

Задаваясь величиной показателя степени n и определяя из уравнения ряд значений t, соответствующих различным h, мы можем подобрать величину n таким образом, чтобы кривая, построенная по уравнению (60), точно совпадала с полученной эмпирическим путем кривой охлаждения, подобной на фиг. 42.

Теперь переходим к изложению метода определения потери Q_4, т. е. часового количества тепла, отдаваемого охлаждаемым телом в окружающую среду.



Фиг. 42.

Величина падения температуры за одинаковые промежутки времени будет характеризоваться углом касательной к кривой охлаждения с осью абсцисс в данной точке; ввиду этого при определении этой величины мы должны условиться, от какой начальной температуры ее отсчитывать.

Вопрос об определении потери тепла во внешнюю среду интересует нас, главным образом, в применении к рабочему состоянию паровоза, когда никакого понижения температуры котловой воды в действительности не наблюдается, так как теряемое через обшивку тепло непрерывно восполняется теплом, получаемым от сгорания топлива; следовательно, явление теплообмена с окружающей средой протекает при постоянной температуре воды в котле, соответствующей рабочему давлению пара и принимаемой нами в дальнейшем в 190°.

Ввиду неизменности начальной температуры в период теплоотдачи, явление это может нами рассматриваться как ряд элементарных процессов понижения температуры на бесконечно малую величину dt и обратного ее восстановления.

Если α — угол касательной к кривой

$$t - t_в = f(h)$$

с осью абсцисс, то

$$\partial t = \partial h \cdot \operatorname{tg}\alpha = \partial h \frac{d(t - t_в)}{dh}; \qquad (61)$$

Бесконечно малое количество тепла, отдаваемое во внешнюю среду при каждом таком элементарном процессе, выразится следующим образом:

$$\partial q = -\partial t \cdot A = -A\partial h \cdot \frac{d(t - t_в)}{dh}; \qquad (62)$$

Производная температуры по времени, входящая в оба предыдущие выражения, есть величина постоянная, так как из предыдущего ясно, что все элементарные процессы имеют одну и ту же начальную температуру котловой воды и протекают при t=const. При бесконечно большом числе таких периодически чередующихся элементарных процессов общее время их протекания может иметь и конечную величину.

НТБ ДНУЖТ

Интегрируя выражение (62) в пределах от $h=h_1$ до $h=h_2$, получаем:

$$(\partial q)_{h^1}^{h^2} = A(h_2 - h_1)\left[\frac{d(t-t_в)}{dh}\right]_{\text{при } t=t_к}, \tag{63}$$

где величина производной должна быть найдена из основного уравнения (56), полагая в нем $t=t_к=190°$:

$$\left[\frac{dt}{dh}\right]_{t=t_к} = \left[\frac{d(t-t_в)}{dh}\right]_{t=t_k} = \frac{k \quad H_0}{A}(t_k - t_в)^n. \tag{64}$$

Относя тепловую потерю к 1 часу, т. е. полагая в уравнении (63)

$$h_2 - h_1 = 1$$

и подставляя в него величину производной по уравнению (64), находим:

$$Q_4 = kH_0(t_k - t_в)^n. \tag{65}$$

Величина коэфициента теплопередачи k определяется из уравнения (58).

Величина потери Q_4 зависит, как показывает уравнение (65), от $t_к$, т. е. от величины рабочего давления пара; от $t_в$ — температуры наружного воздуха. Кроме того, эта величина существенным образом зависит от изоляции котла.

В табл. 6 приведены данные, полученные при опытах на охлаждение для различных паровозов, причем величины тепловых потерь приведены к одному и тому же котловому давлению $P_к=13$ *ат*, и к одной и той же температуре воздуха $t_в=0°$; таким образом для хорошей асбеститовой изоляции коэфициент теплопередачи получается в среднем:

$$k = 0{,}9;$$

для частичной изоляции (группа из 5 паровозов):

$$k = 1{,}34$$

и для совершенно неизолированного котла

$$k = 2{,}2.$$

Таблица 6

Серия паровоза	Род изоляции	Внешняя поверхность котла H_0 м²	Потеря тепла кал/час	То же на 1 м² поверхности охлаждения $\frac{Q_4}{H_0}$ $\frac{кал}{м^2}$	Коэфициент теплопередачи $к$ $\frac{кал}{м^3\ час\ (1°)^{4/3}}$
„С“	Асбеститовая изоляция толщиной 27 *мм*	59,0	58 300	988	0,90
„КУ“		51,9	51 300	988	0,91
„ЭГ“	Изоляция матрацами из стеклянной ваты	58,6	67 200	1155	1,05
„Б“		51,8	86 400	1668	1,53
„УУ“	Топка и сухопарник изолированы асбеститом, цилиндрическая часть только обшита	50,0	68 200	1344	1,25
„Л“		75,6	110 000	1467	1,34
„Э“		58,2	77 700	1335	1,22
„О^{Ч}“		54 0	81 200	1487	1,36
„ОВ“	Котел не изолирован и не обшит	45,0	102 100	2320	2,12
„ЭГ“		58,2	147 200	2530	2,30
„С“		59,0	149 900	2540	2,31

После этого общая формула для определения потери на внешнее охлаждение паровоза при стоянке может быть представлена в виде:

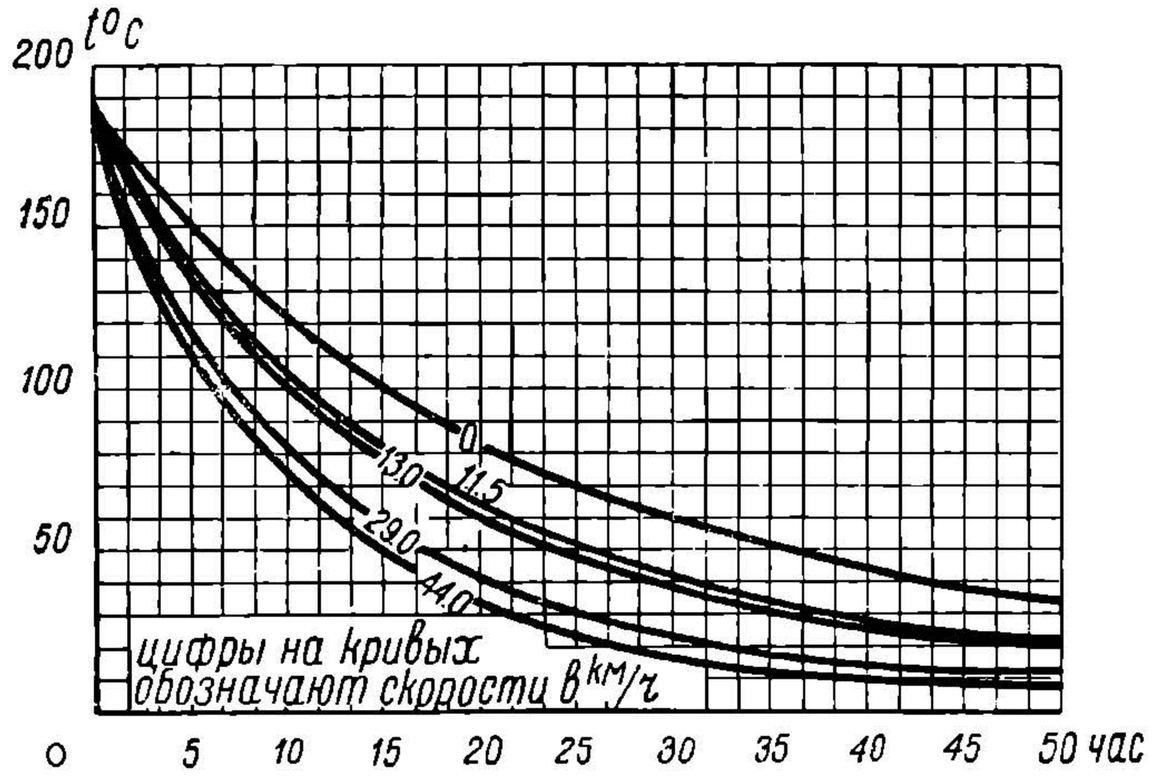
$$Q_4 = 2{,}2 \cdot \psi \cdot H_0(t_k - t_в)^{4/3}, \tag{66}$$

где ψ — коэфициент, зависящий от качества изоляции:

для хорошей асбеститовой изоляции $\psi = 0{,}40$,
» изоляции стеклянной ватой $\psi = 0{,}48$,
» частичной изоляции $\psi = 0{,}61$,
» неизолированного котла $\psi = 1{,}00$.

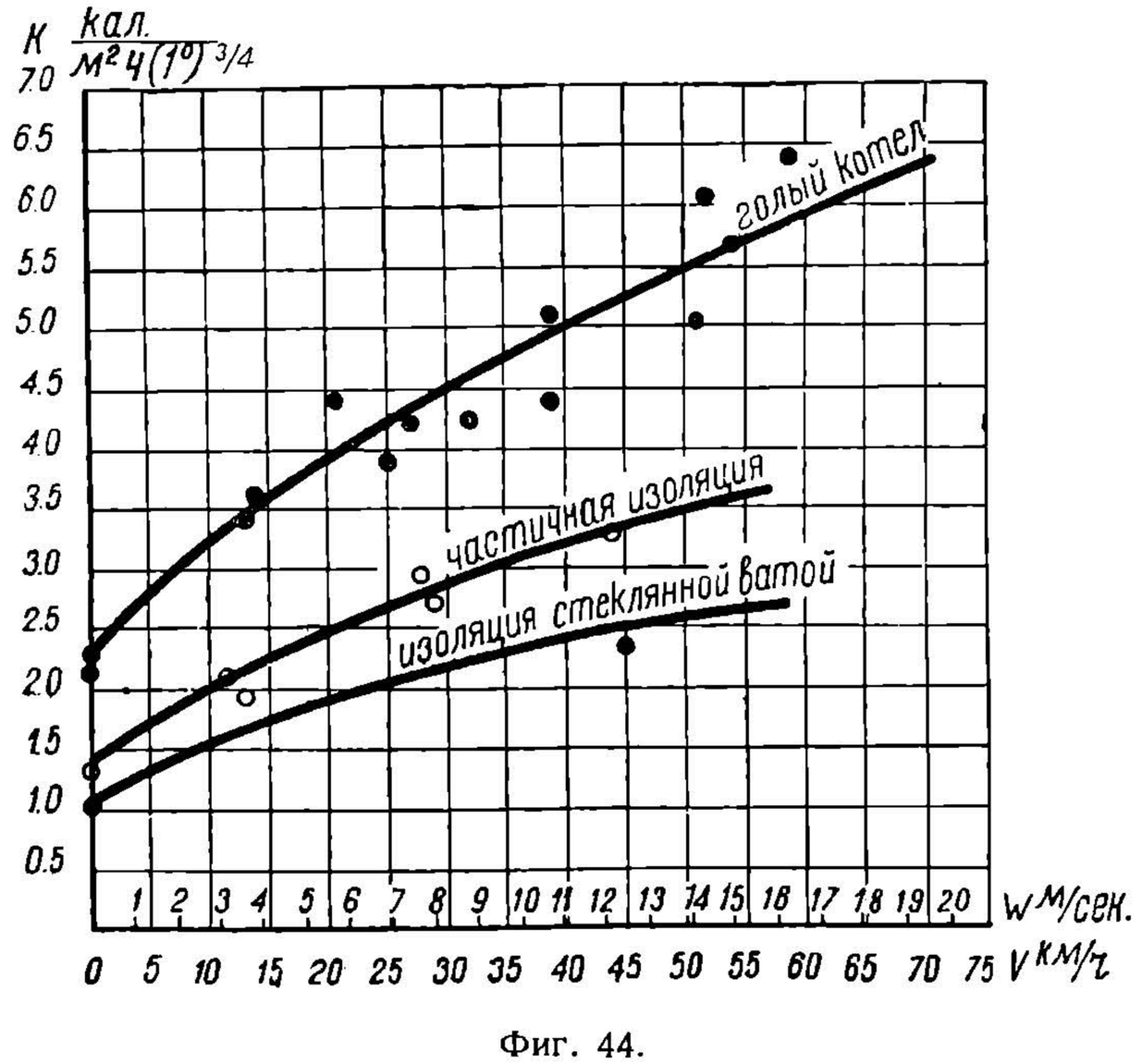
НТБ ДНУЖТ

Таким образом вопрос о потере тепла через обшивку во время стоянки паровоза можно считать исчерпанным, но распространение полученных данных на случай нахождения паровоза в пути, как это до сих пор практиковалось при составлении тепловых балансов котла, является совершенно недопустимым, так как



Фиг. 43.

зависимость величины Q_4 от скорости движения паровоза вполне очевидна, если рассматривать эту потерю, как результат теплоотдачи не столько лучеиспусканием, сколько непосредственным соприкосновением с окружающим воздухом.



Фиг. 44.

Итак, по аналогии с процессом теплообмена в дымогарных трубах, мы приходим к заключению, что потеря Q_4 должна восрастать с увеличением скорости хода паровоза, что и подтвердилось вполне при опытах охлаждения в пути, проведенных в разное время в России, СССР и в Америке.

При этих опытах паровоз, оборудованный и подготовленный к опыту совершенно так же, как и при опытах на стоянке, передвигался подталкивающим паровозом с различными скоростями. Полученные при этих опытах кривые охлаждения, приведенные к одной и той же начальной температуре $t_к$ и температуре $t_в = 0°$, представлены на фиг. 43 для одного из опытных паровозов.

НТБ ДНУЖТ

На фиг. 44 нанесены данные этих опытов в функции от скорости и значения коэфициентов теплопередачи; здесь же проведены кривые, наиболее точно выражающие закон изменения коэфициентов теплопередачи от скорости:

$$k = \psi(2{,}20 + 0{,}21 \quad V^{0,7}) = \psi(2{,}20 + 0{,}51 \cdot w^{0,7}), \tag{67}$$

где V — скорость движения паровоза в *км/час*, а w — в *м/сек*.

Подставляя эту величину k в уравнение (66) вместо произведения 2,2 находим:

$$Q_4 = \psi \cdot H_0 \quad (2{,}2 + 0{,}51 \cdot w^{0,7}) \cdot (t_k - t_в)^{4/3}. \tag{68}$$

Уравнение (68) является вполне общим, так как применимо для любого паровоза при любой скорости движения, котловом давлении и температуре наружного воздуха.

Относительно размеров влияния этого последнего фактора на величину Q_4 уравнение (68) приводит нас к следующему выводу: для одного и того же паровозного котла и при одной и той же скорости движения тепловые потери при температурах наружного воздуха в —20° и +20° относятся, как:

$$\left[\frac{t_k - (-20)}{t_k - 20}\right]^{4/3};$$

принимая $t_к$ =190°, получим:

$$\frac{(Q)_{-20°}}{(Q)_{+20°}} = \left(\frac{190 + 20}{190 - 20}\right)^{4/3} = \frac{1248}{941} = 1{,}33,$$

т. е. потеря во втором случае будет лишь на 33% меньше, чем в первом.

Потеря тепла на служебные нужды котла

В связи с необходимостью самообслуживания котла часть приготовленного котлом пара расходуется, помимо своего прямого назначения, на удовлетворение этих нужд. Сюда относится расход пара на работу сифона, тормозного и питательного (если таковой имеется) насоса; при нефтяном отоплении сюда добавляется расход пара на распыливание (пульверизацию) нефти и на ее подогрев перед пуском в форсунку; при механизированном угольном отоплении (стокер) — расход на машину стокера и на распределительную паровую головку.

Расход тепла на работу насоса (питательного или тормозного) составляет в процентах от тепла сгорания:

$$q_n = \frac{(b_n)_0 \cdot n' \quad (\lambda_k - \vartheta)}{t_x \cdot B_h \quad K} \cdot 100, \tag{69}$$

где $(b_n)_0$ — расход пара за один двойной ход поршня насоса в *кг*;

n' — число ходов поршня, измеряемое счетчиком;

t_x — продолжительность опыта в часах;

$\lambda_к$ и ϑ — теплосодержание пара в котле и питательной воды в *кал/кг*.

Расход тепла на работу сифона:

$$q_c = \frac{(b_c)_0 \cdot t_c \cdot (\lambda_k - \vartheta)}{t_x \cdot B_h \cdot K} \cdot 100, \tag{70}$$

здесь $(b_c)_0$ — расход пара в *кг* за 1 час работы сифона, t_c — продолжительность работы сифона.

Величины $(b_n)_0$ и $(b_c)_0$ определяются из специально поставленных опытов.

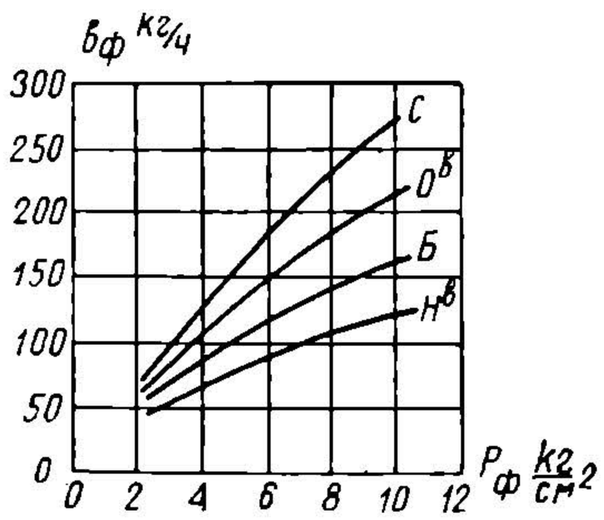
Оценить расход пара на пульверизацию и подогрев нефти какой-либо одной жесткой цифрой не представляется возможным, так как этот расход существенно зависит от степени открытия регулирующих вентилей. Пределы регулирования, применяемые на практике, измеряются давлением пара за вентилем, которое изменяется для форсунки от 2 до 11 *ат* в зависимости от интенсивности горения, а для подогревателя нефти — от 0,6 до 3 *ат*.

На основании сказанного приходится определять из опыта величину расхода пара на пульверизацию и прогрев нефти при различных положениях вентилей,

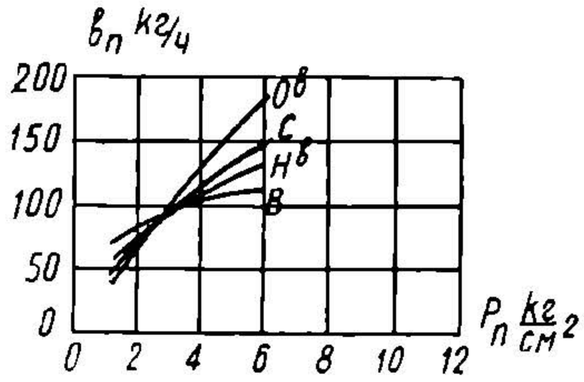
НТБ ДНУЖТ

т. е. при разных величинах давлений: $p_ф$ — в пульверизаторе (за вентилем) и $p_п$ — в подогревателе нефти, и по этим данным строить вспомогательные кривые. Подобные кривые часового расхода пара на ту и на другую статью приведены для некоторых паровозов на фиг. 45 и 46.

Переходя теперь к оценке величины служебных потерь для средних условий работы, надо сказать, что первые две потери — на работу насоса и сифона — зависят в значительной степени от качества топлива, состояния котла, навыка паровозной бригады и тому подобных случайных факторов, и потому точно фиксировать их величину довольно трудно. В общем



Фиг. 45.



Фиг 46

можно сказать, что эти две потери составляют обычно в сумме от 2 до 8% располагаемого тепла; более точно: расход пара на один ход поршня тормозного или питательного насоса составляет около 0,1 *кг*, а расход на 1 минуту работы сифона при полном его открытии — 7—9 *кг*.

Потери на пульверизацию и подогрев нефти выражаются формулами:

$$q_ф = \frac{(b_ф)_0 (\lambda_k - \vartheta)}{t_x \cdot B_h \quad K} \cdot 100. \tag{71}$$

$$q_п = \frac{(b_п)_0 (\lambda_k - \vartheta)}{t_x \cdot B_h \cdot K} \cdot 100. \tag{72}$$

В этих формулах величины $\lambda_к$, ϑ и K суть приблизительно постоянные, величины же $(b_ф)_0$ и $(b_п)_0$ могут меняться в очень широких пределах в зависимости от того или иного режима нефтяной топки.

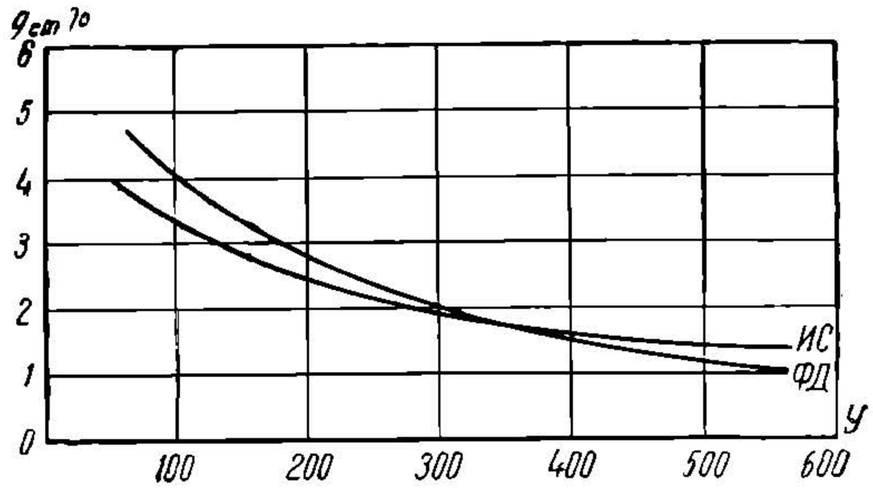
Дело в том, что при изменении интенсивности горения на практике прибегают обычно к регулированию притока пара в форсунку путем дросселирования его и, следовательно, уменьшения величины $(b_ф)_0$.

Величина же $(b_п)_0$ в жаркое время года равна нулю, а зимой доходит до 150 и более *кг/час*. Принимая в среднем $(b_ф)_0 = 150$ *кг/час* и $(b_п)_0 = 60$ *кг/час* (см. данные на фиг. 45, 46), находим при $\vartheta = 10°$, $\lambda_k = 650$ калорий и $K = 10\,000$ *кал/кг*:

$$q_ф = \frac{150 \quad 640 \cdot 100}{B_h \quad 10\,000} = \frac{960}{B_h},$$

$$q_п = \frac{60 \cdot 640 \cdot 100}{B_h \quad 10\,000} = \frac{385}{B_h}$$

т. е. при изменении часового расхода нефти B_h от 200 до 1000 *кг/час* потеря на пульверизацию колеблется в пределах 1—5%, а потеря $q_п$ — от 0,5 до 2%.



Фиг. 47.

Все же четыре потери $(q_ф + q_п + q_т + q_с)$ составляют при нефтяном отоплении от 3 до 12%, увеличиваясь с уменьшением интенсивности горения.

Расход пара на стокер (суммарный) колеблется в пути от 1,5 до 5%, а вся

НТБ ДНУЖТ

сумма служебных потерь тепла колеблется при угольном отоплении вручную от 2 до 5%, а при стокере — от 3 до 10%.

На фиг. 47 приведены кривые расхода тепла на работу стокера для паровозов серий «ФД» и «ИС», полученные опытным путем.

§ 9. Полезное тепло и к. п. д. котла. Напряжение поверхности нагрева котла. Нормы рациональных форсировок в связи с достижениями кривоносовского движения

Количество тепла Q_1, затрачиваемое в течение 1 часа на приготовление в котле рабочего пара, направляемого в паровые цилиндры, и на последующий его перегрев, — называется полезным теплом.

Обозначая через:

A_0, A_1 — вес воды в *кг* в тендерном баке перед отправлением в поездку и по прибытии,

h_0, h_1 — то же в котле паровоза,

a — потери воды в *кг* за время опыта,

Σb — сумму служебных расходов котлового пара в *кг*,

$\lambda_{\text{п}}$ — теплосодержание пара по выходе из пароперегревателя в *кал/кг*,

ϑ — температуру питательной воды,

q_k — теплоту воды в котле в *кал/кг*,

t_x — продолжительность работы котла в часах, имеем:

$$Q_1 = \frac{(A_0 - A_1 - a - \Sigma b)(\lambda_{\text{п}} - \vartheta) + (h_0 - h_1)(\lambda_{\text{п}} - q_k)}{t_x} \qquad (73)$$

В случае проектирования нового паровоза полезное тепло котла подсчитывается по формуле:

$$Q_1 = B_m(\lambda_{\text{п}} - \vartheta), \qquad (74)$$

где B_m — расчетный расход пара на работу машины в *кг/час*, выясняемый обычными методами, излагаемыми в тяговых расчетах.

Иногда под термином «полезное тепло» подразумевают полное количество тепла, затраченное на приготовление пара, т. е. без вычета служебных потерь. В этом случае предыдущие формулы принимают следующий вид:

$$Q_1 = \frac{(A_0 - A_1 - a - \Sigma b)(\lambda_{\text{п}} - \vartheta) + (h_0 - h_1)(\lambda_{\text{п}} - q_k) + \Sigma b\,(\lambda_k - \vartheta)}{t_x}; \qquad (75)$$

$$Q_1 = B_m(\lambda_{\text{п}} - \vartheta) + (B_k - B_m)(\lambda_k - \vartheta), \qquad (76)$$

где λ_k — теплосодержание пара в котле в *кал/кг*,

а B_k — полная часовая паропроизводительность котла.

Величина, определяемая по формуле (73) или (74), может быть названа «полезным теплом нетто» и обозначается $Q_1^{\text{нетто}}$, формулы (75) и (76) дают «полезное тепло брутто» — $Q_1^{\text{брутто}}$

Коэфициент полезного действия котла есть отношение полезного тепла к располагаемому:

$$\eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} = \frac{Q_1}{Q_0}; \quad \eta_{\text{к}}^{\text{брутто}} = \frac{Q_1 + Q_5}{Q_0},$$

или

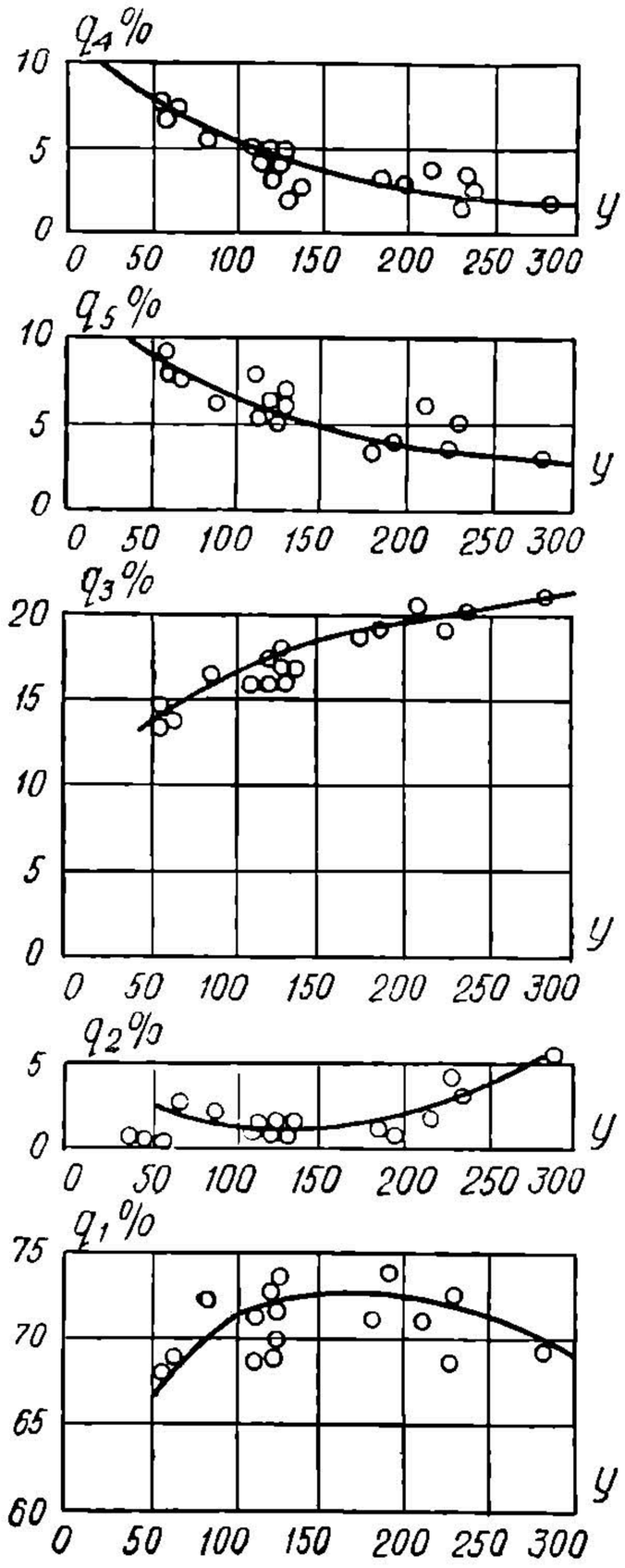
$$\eta_{\text{к}}^{\text{нетто}} = \frac{B_m(\lambda_{\text{п}} - \vartheta)}{B_h K}, \qquad (77)$$

$$\eta_{\text{к}}^{\text{брутто}} = \frac{B_m(\lambda_{\text{п}} - \vartheta) + (B_k - B_m)(\lambda_k - \vartheta)}{B_h K}. \qquad (78)$$

НТБ ДНУЖТ

Наиболее наглядной формой изображения теплового баланса котла является форма комбинированного графика, дающего величины как полезного тепла, так и отдельных тепловых потерь в порядке их зависимости от напряжения колосниковой решетки.

На фиг. 48 нанесены по данным опытных поездок с паровозом типа 1-3-1 серии «С» величины отдельных слагаемых теплового баланса (q_1, q_2, q_3, q_4 и q_5), выраженные в процентах от тепла сгорания. По полученным точкам проведены кривые. выражающие эмпирические закономерности изменения величин q в функции от $У$



Фиг. 48.

На фиг. 49 предыдущие кривые нанесены в совмещенном виде путем последовательного суммирования ординат кривых фиг. 48. Подобная диаграмма имеет вполне общий характер и дает исчерпывающее представление о работе котла паровоза серии «С» на нефтяном отоплении при самых разнообразных форсировках.

На фиг. 50 дан сводный график теплового баланса котла мощного товарного паровоза типа 1-5-0 серии «СО» на угольном отоплении при ручном обслуживании, а на фиг. 51 и 52 подобные же графики для паровозов типа 1-5-1 серии «ФД» и 1-4-2 серии «ИС» с угольной топкой обслуживаемой при помощи стокера.

Тепловой к. п. д. паровоза «СО» выше, чем у остальных, что объясняется отсутствием стокера. У паровозов серий «ФД» и «ИС» топка и котел совершенно одинаковы, угольная смесь, результаты работы на которой отражены на фиг. 51 и 52, то же одна и та же; тем не менее к.п.д. котла оказался, как видим, у паровоза серии «ИС» выше на 8—10%, а на высоких форсировках — даже на 15%.

Дело в том, что данные фиг. 40 основаны на результатах испытания первого паровоза серии «ФД», когда навыки наших бригад в уходе за стокером и пользовании им были недостаточны; фиг. 52 относится к испытанию паровоза серии «ИС» несколько лет спустя. Сопоставление этих двух планшетов является ярким показателем достижения наших паровозных бригад в деле освоения стокера.

Кривые изменения к. п. д. дают наглядное представление об экономичности работы паровозного котла; вопрос же о реализуемой при этом мощности в смысле часовой паропроизводительности непосредственно этими диаграммами не выявляется, и решение его сопряжено с вспомогательными аналитическими подсчетами. Между тем с точки зрения эксплуатационной практики, стремящейся взять от паровоза все, что он может дать, этот второй вопрос является в большинстве случаев более существенным.

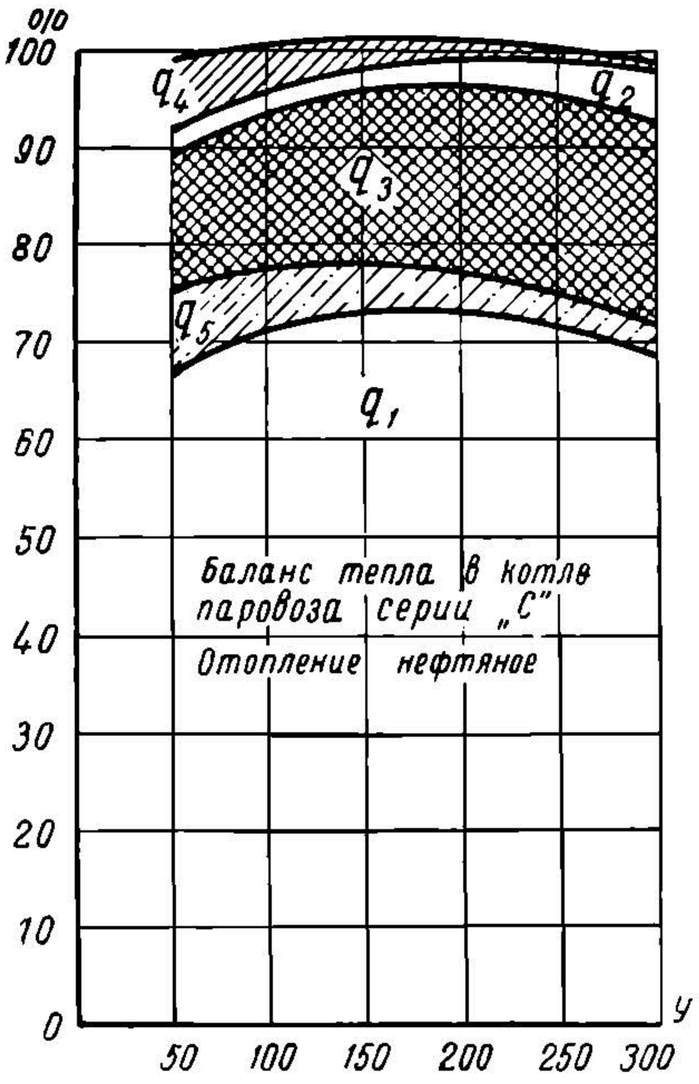
Этими соображениями и объясняется то обстоятельство, что $\eta_к$ диаграммы сравнительно слабо прививаются в расчетно-практической отрасли паровозной теплотехники, которая выработала взамен их другие диаграммы менее общего характера, но зато более удобные для решения ряда практических задач, связанных с эксплуатацией паровозов.

Такими диаграммами являются кривые:

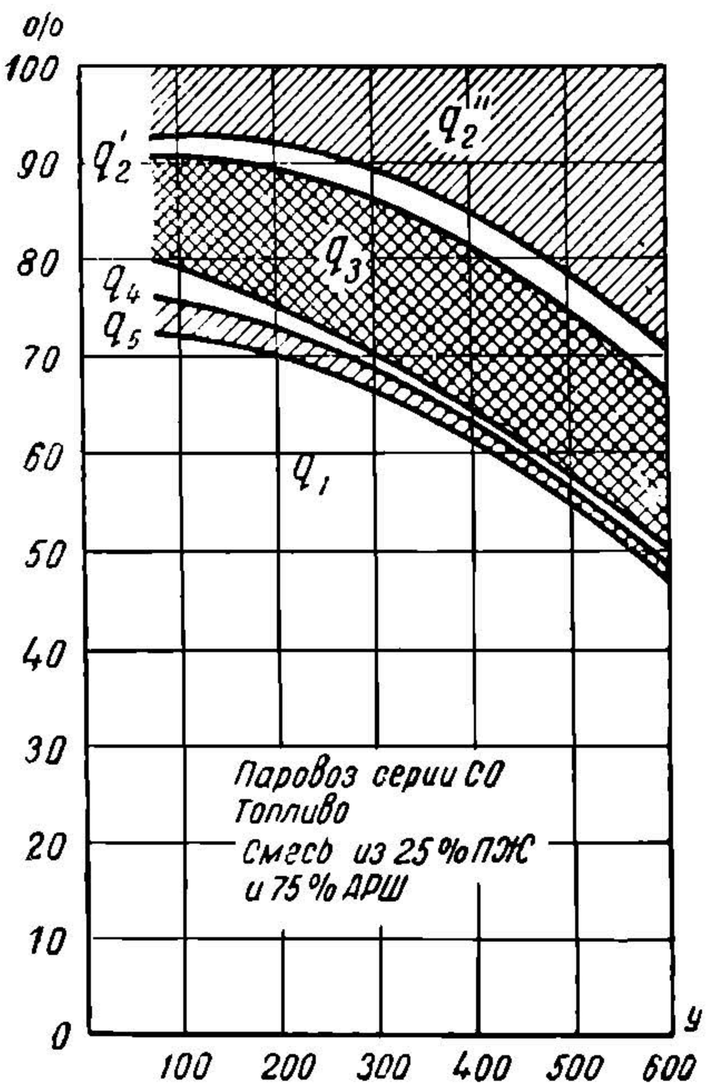
$$Z_m = f(Y),$$

НТБ ДНУЖТ

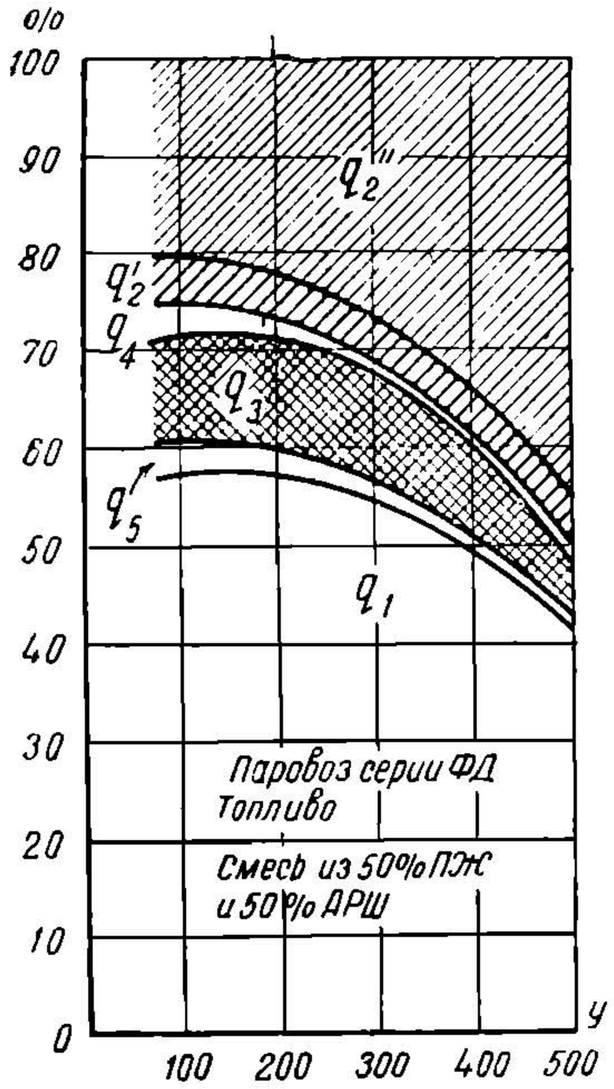
где Y — интенсивность горения топлива на колосниковой решетке, а Z_m — полезная интенсивность парообразования, т. е. весовое (*кг*) количество пара, снимаемое в 1 час с 1 $м^2$ испаряющей поверхности нагрева; эту величину в стационарной теплотехнике называют также «напряжением по-



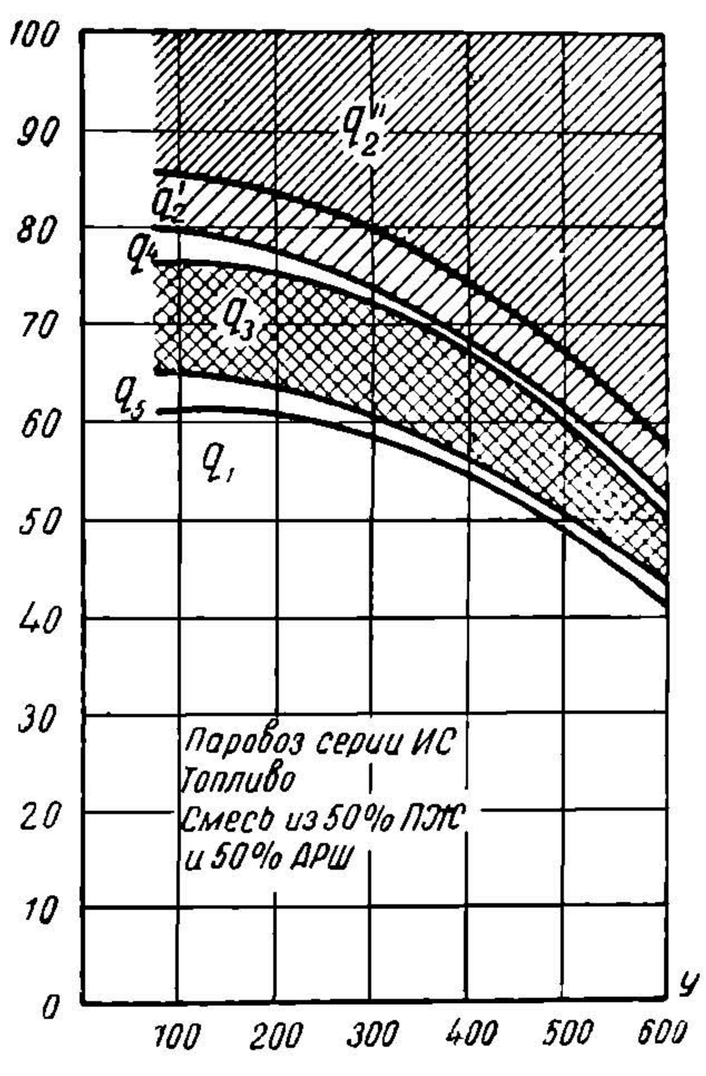
Фиг. 49.



Фиг. 50.



Фиг. 51.



Фиг. 52.

верхности нагрева котла». Из самого определения видно, что величина Z_m связана с часовой паропроизводительностью котла уравнением

$$B_m = Z_m \cdot H_k,$$

где $H_к$ — испаряющая поверхность нагрева в $м^2$.

НТБ ДНУЖТ

Кривые

$$Z_m = f(Y)$$

параболического характера, обращены вогнутостью к оси абсцисс. Из соотношения

$$B_h \quad K \cdot \eta_k = B_m(\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta), \tag{79}$$

заменяя

$$B_h = Y \quad R \text{ и } B_m = Z_m \quad H_k,$$

получаем

$$Z_m = Y \cdot \eta_k \quad \frac{R}{H_k} \cdot \frac{K}{\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta} \tag{80}$$

Таким образом очертание кривой $Z_m = f(Y)$ зависит от:

1) геометрических размеров котла, а именно от величины отношения площади колосниковой решетки R к испаряющей поверхности нагрева H_k;

2) теплопроизводительности топлива K;

3) состояния пара $\lambda_{\ddot{u}}$;

4) степени использования топлива $\eta_к$.

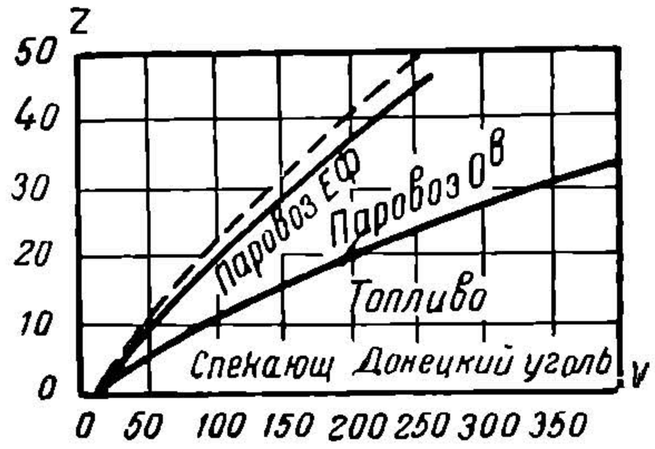
При этом значение интенсивности парообразования будет тем больше, чем больше величина R/H_k, чем выше степень использования топлива; кроме того, при работе насыщенным (влажным) паром достигаются при прочих равных условиях большие значения Z_m, чем при перегретом.

На фиг. 53 приведены зависимости интенсивности парообразования от интенсивности горения, полученные из опытов с товарными паровозами серий «О^{в}» и «Е^{ф}» при отоплении донецким углем приблизительно одинакового качества; для первого паровоза отношение площади решетки к испаряющей поверхности нагрева составляет

$$\frac{1{,}85}{152{,}4} = \frac{1}{82{,}4}$$

Для второго (постройки завода Балдвина):

$$\frac{5{,}98}{240{,}2} = \frac{1}{40{,}2} \cdot$$



Фиг. 53.

Если бы у обоих сравниваемых паровозов были в точности одинаковы величины к. п. д. котла и теплосодержания 1 *кг* пара, то, как показывает уравнение (80), величины Z_m для паровоза серии «Е^{ф}» могли бы быть найдены по таковым же для паровоза серии «О», увеличивая эти последние в отношении:

$$\frac{1}{40{,}2} : \frac{1}{82{,}4} = 2{,}05.$$

Полученные таким приближенным вычислением кривые нанесены на соответствующих планшетах пунктирными линиями и вполне, как видим, могут быть применяемы при всякого рода предварительных расчетах, так как получившиеся отклонения этих предположительных кривых от действительных не превышают 9—10%.

Указанный метод вычисления предположительных значений интенсивности парообразования для того или иного паровоза по данным непосредственного опыта с другим типом, но на т о м ж е с а м о м т о п л и в е, имеет большое значение для теплового расчета паровозного котла; способ этот в более общем виде основан на следующем: обозначая для построенного паровоза через Y_0, Z_0, $(\eta_k)_0$, λ_0, R_0 и H_0 — интенсивность горения, интенсивность парообразования, к. п. д., теплосодержание рабочего пара, площадь решетки и испаряющую по-

НТБ ДНУЖТ

верхность нагрева, а для проектного паровоза те же факторы через $У$, Z_m, η_k, λ, R и H_k, имеем:

$$Z_m = Y \cdot \eta_k \frac{R}{H_k} \cdot \frac{K}{\lambda - \vartheta}$$

и

$$Z_0 = Y_0 (\eta_k)_0 \cdot \frac{R_0 \quad K_0}{H_0 \; \lambda_0 - \vartheta},$$

откуда

$$\frac{Z_m}{Z_0} = \frac{Y}{Y_0} \cdot \frac{\eta_k}{(\eta_k)_0} \cdot \frac{R}{R_0} \cdot \frac{H_0}{H_k} \cdot \frac{\lambda_0 - \vartheta}{\lambda - \vartheta} \cdot \frac{K}{K_0}.$$

Полагая $\eta_k = (\eta)_{k0}$ и сравнивая значения Z_m при одних и тех же значениях Y, т. е. считая $Y = Y_0$, находим:

$$\xi = \frac{Z_m}{Z_0} = \frac{R}{R_0} \cdot \frac{H_0}{H_k} \cdot \frac{\lambda_0 - \vartheta}{\lambda - \vartheta} \cdot \frac{K}{K_0}. \qquad (81)$$

В качестве конкретного примера наметки ожидаемых форсировок Z_m подсчитаем эти величины для паровозов при отоплении средними сортами донецких углей и их смесями.

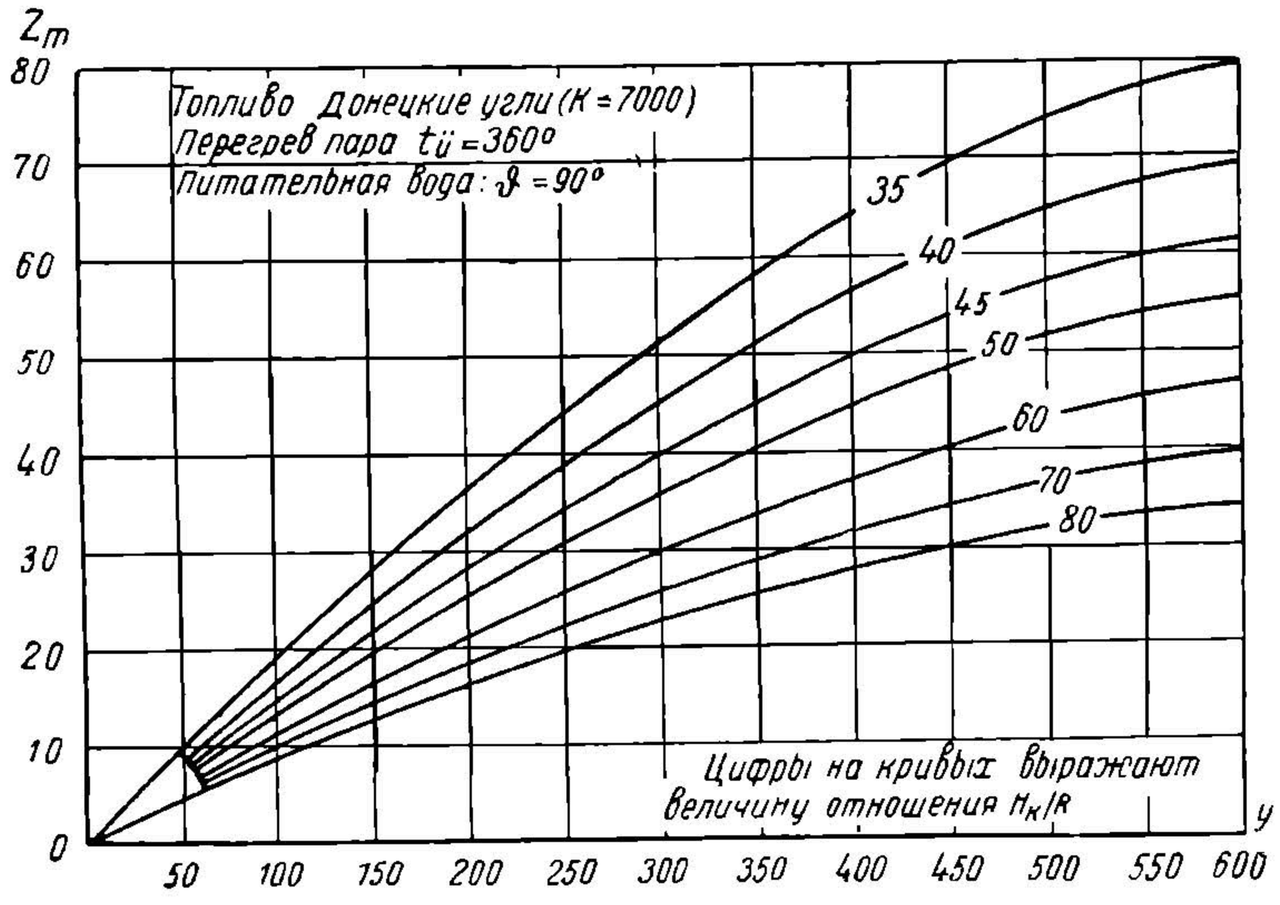
Задаваясь для донецких углей $K = 7000$ *кал/кг*, для температур перегрева пара $t_{п} = 350° — 370°$ ($\lambda_{п} \cong 750$) и для подогрева питательной воды $\vartheta = 90°$, имеем:

$$Z_m = Y \quad \eta_k \quad \frac{R}{H_k} \cdot \frac{7000}{750 - 90} = 10{,}6 \quad (Y\eta_k) \cdot \frac{R}{H_k}. \qquad (82)$$

Из паспортных данных, относящихся к паровозам серий «ФД» и «ИС», имеем в среднем (на основании длительных и вполне надежных испытаний)(табл. 7):

Таблица 7

Y	200	300	400	500	600
	0,58	0,55	0,52	0,49	0,45
$Y \cdot \eta_k$	116	165	208	245	270



Фиг. 53а.

На основании цифр этой таблицы и уравнения (82) составляем табл. 8 значений величины Z_m и график (фиг. 53а).

НТБ ДНУЖТ

Таблица 8

$H_к/R$ \ Y	200	300	400	500	600
25	35	50	63	74	80
40	31	44	55	65	70
45	27	39	49	57	62
50	25	35	44	52	56
60	20	29	37	43	47
70	17	25	31	37	40
80	15	22	27	32	35

Цифры этой таблицы дают нам с достаточной для практических целей точностью ожидаемые форсировки котла для любого паровоза и находятся в полном соответствии с теми показателями работы паровоза, которые мы имеем у наших передовиков-кривоносовцев.

Для некоторых паровозов нашей жел.-дор. сети в табл. 8а приведены данные о наибольших практически достигаемых в поездной службе величинах Z_m.

Таблица 8а

Серия паровоза	Площадь колосниковой решетки R	Испаряющая поверхность нагрева $H_к$	Расчетное значение Z_m	
			уголь	нефть
0—4—0 „Ов“	1,85	182,4	40	45
1—4—0 „Щ“ . .	2,80	206,1	40	45
0—5—0 „ЭУ“, „ЭМ“ .	4,46	195,2	50	55
1—5—0 „СО“ (без стокера) . . .	6,00	230,0	55	—
1—5—1 „ФД“, 1—4—2 „ИС“ .	7,00	295,0	65	—

ГЛАВА III

ОСНОВНЫЕ ЧАСТИ КОТЛА

§ 1. Топка и кожух топки

Формы топки и кожуха

Топка котла наших старых паровозов представляет собой плоскостенную коробку, заключенную в подобную же коробку большего размера, называемую кожухом топки. Внизу обе коробки склепываются жестко одна с другой при посредстве нижней обвязочной рамы — грязевого кольца, показанного на фиг. 12.

Вертикальные промежутки между огневой коробкой и кожухом заполнены водой, всегда покрывающей и потолок топки.

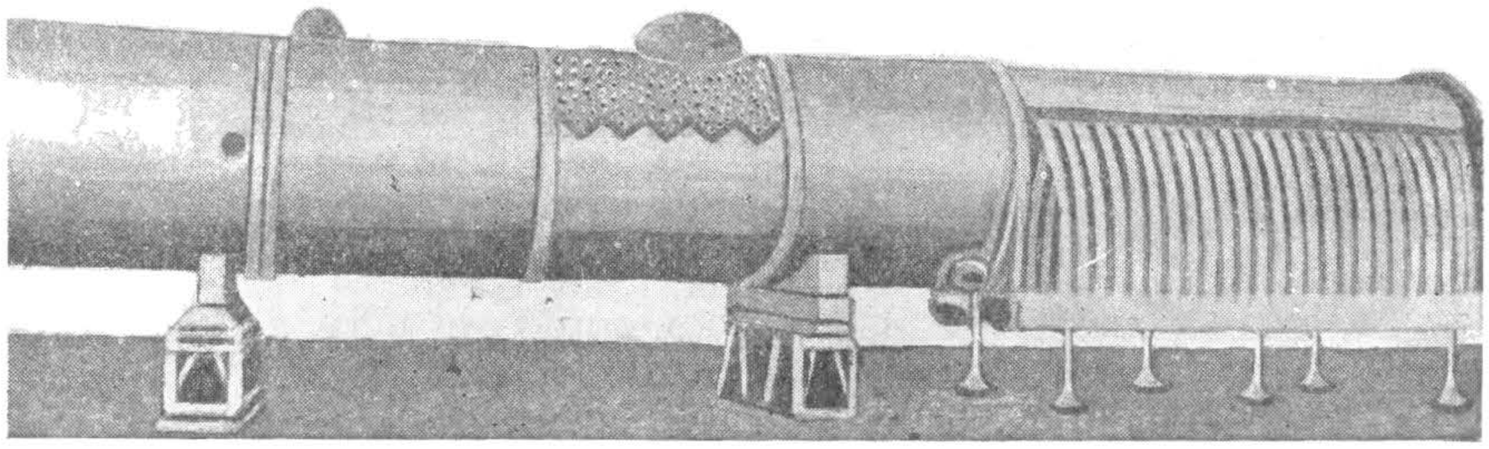
Большим недостатком коробчатых плоскостенных топок является их меньшая надежность по сравнению например с водотрубными топками стационарных котлов. Плоские стенки топки и кожуха приходится укреплять часто расставленными связями, работающими в тяжелых условиях из-за температурных деформаций топки. Связи сами требуют повседневного наблюдения за их состоянием.

Котловое давление в 20—21 *ат* считается наибольшим давлением, когда еще возможно применение коробчатых «связевых» топок. При давлении, превышающем эту величину, рациональной оказывается «водотрубная» топка (фиг. 54), где изображен котел с водотрубной топкой, построенный в США заводом Балдвин для паровоза 2-5-1 с давлением пара в 24 *ат*.

НТБ ДНУЖТ

Водотрубные топки [1] применяются и для котлов паровозов высокого давления. Достоинством таких топок является их надежность и безопасность.

Для устранения выпучивания котловым давлением плоские стенки коробчатой топки и кожуха должны быть надежно укреплены связями и другими элементами укрепления, придающими плоским стенкам необходимую прочность. Основную массу деталей крепления плоских стенок составляют распорные связи для вертикальных стенок топки и анкерные болты для потолка топки и кожуха.



Фиг. 54.

Топка составляется следующими листами: а) задним, или шуровочным б) шинельным, представляющим собой потолок и обе боковых стенки топки; у топок небольших старых паровозов шинельный лист изготавливается из одного куска котельной стали; у крупных паровозов — из трех частей (потолок и два боковых листа); в) передней стенкой топки, или задней решеткой.

Кожух составляется листами, называемыми соответственно лобовым, шинельным и смычным. Последний соединяет коробчатый кожух топки с цилиндрической частью котла. Шинельный лист кожуха всегда изготавливается из трех отдельных частей.

Размеры топок наших паровозов увеличиваются в связи с общим увеличением размеров и мощности паровоза. Старинные паровозы имеют небольшие топки, задвинутые в междурамный промежуток, как это показано на фиг. 55. Подобные топки имеют паровозы серий «А», «Б», «Г», «З», «Н», «О», «Р», «У», «Щ» и др. По условиям размещения топки между листами рамы ширина колосниковой решетки невелика и не превосходит 1060 *мм*. Построить более или менее мощный котел с такой узкой топкой невозможно, так как при наибольшей еще возможной для ручного обслуживания длине решетки в 3000 *мм* площадь решетки не может быть получена больше $1{,}06 \cdot 3 \cong 3{,}2$ *м*^{2}.

Для возможности разместить несколько более широкую решетку иногда применяют топки, расположенные между колесами, но не опущенные между рамами, как это показано на фиг. 56. Ширина колосниковой решетки получается несколько большей, чем в первом случае (1150—1180 *мм*). Такое расположение колосниковой решетки применено например в паровозах серий «К» и «К^У».

По условиям размещения дымогарных и жаровых труб часто приходится стенки (боковые) кожуха делать наклонными, как показано наносным пунктиром на фиг. 56. И в том и в другом случае площадь колосниковой решетки получается сравнительно небольшой. Предъявление к паровозу больших требований по паропроизводительности котла заставило вынести колосниковую решетку за пределы рамы и колес, разместив топку над ними. Здесь ширина колосниковой решетки практически ограничена лишь габаритом подвижного состава. Уже ряд наших старых паровозов имеет топку, расположенную над колесами, это — паровозы серий «Е», «Л», «М», «С», «С^У», «Ф» (Фламм), «Ы», «Э», «Θ» и «V». У мощных современных паровозов топки размещаются, естественно, над колесами.

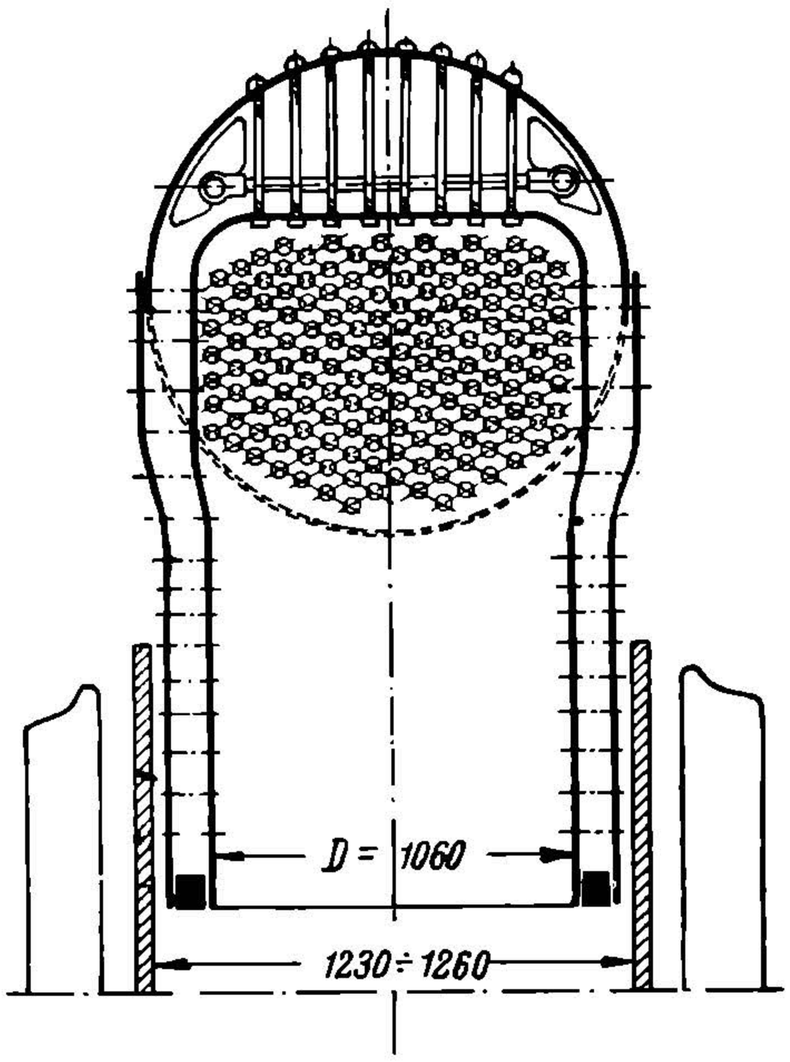
---

[1] О водотрубных паровозных топках см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов, изд. Трансжелдориздата, 1937 г.; С. И. Кузьмин, Паровозы высокого давления, изд Трансжелдориздата, 1933 г.

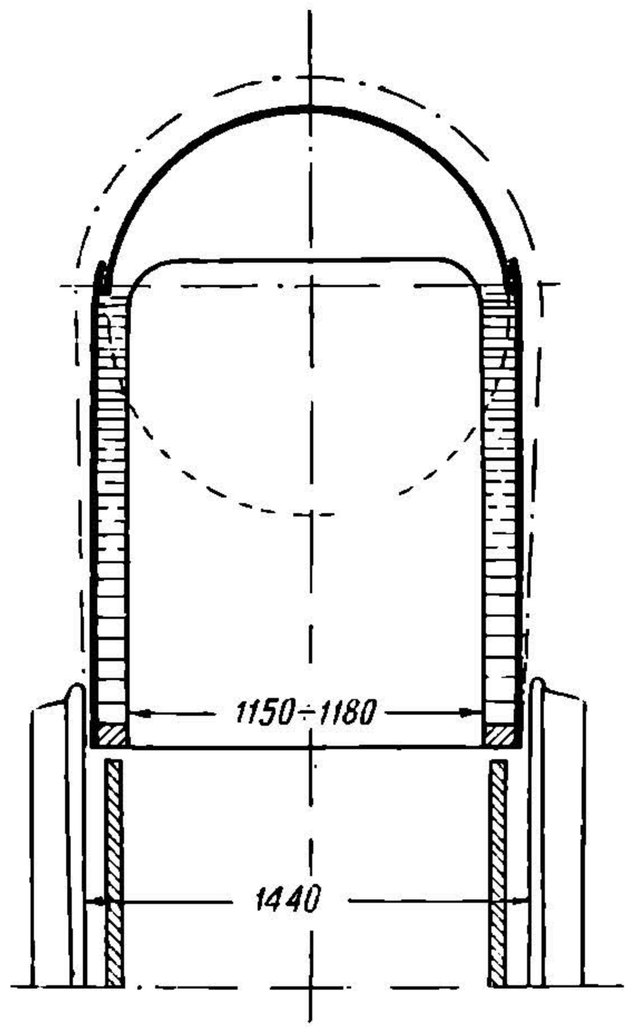
НТБ ДНУЖТ

Площадь колосниковой решетки, расположенной над колесами, практически осуществляется от 2,55 (серия «Ы») до 8 (серия «$Т^А$») и даже до 17 $м^2$ (в США). Если площадь решетки паровоза больше 5—5,5 $м^2$, необходимо применение стокера, и в этом случае указанная длина решетки 3 $м$ может быть значительно увеличена.

На фиг. 57 показана типовая конфигурация топки мощных паровозов.

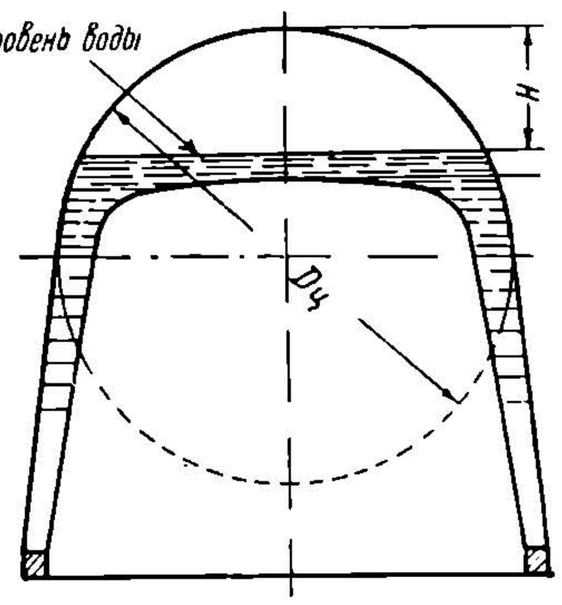


Фиг. 55.



Фиг. 56.

В рассмотренных трех видах топок потолки кожуха показаны круглые полуцилиндрические. Для увеличения парового пространства над интенсивно работающей топочной поверхностью нагрева за последние 20—25 лет на наших более или менее современных типах паровозов получили большое распространение плоские потолки кожуха системы Бельпера. В этом случае объем парового пространства над топкой и зеркало испарения несколько увеличиваются, что обусловливает некоторое уменьшение влажности пара. Потолки системы Бельпера применены у котлов паровозов серий «Б», «Л», «М», «С», «$С^У$», «У», «Щ», «Э», «Θ», «$V^С$».



Фиг. 57.

Плоские стенки верхней части кожуха при потолках Бельпера являются слабым местом котла. Для укрепления этого потолка применяются анкерные болты, наклонные связи, а иногда контрфорсы (в передней части потолка), утяжеляющие и удорожающие котел.

В котлах мощных паровозов, где, помимо повышенного до 15—17 $ат$ давления пара все плоские стенки получают значительно увеличенные размеры, потолки Бельпера перестали применяться, и мы вернулись к старым формам полуцилиндрических потолков кожуха (как это и показано на фиг. 57), несмотря на то, что анкерные болты, соединяющие потолок топки с потолком кожуха, получаются разной длины, а не одинаковыми для всей площади потолка, как это имеет место при потолках Бельпера.

Полукруглый потолок кожуха представляет собой естественное продолжение цилиндрической части котла. Хотя паровое пространство над топкой здесь уменьшается, и анкерные болты должны делаться разной длины, такие потолки для мощных паровозов единственно рациональны, так как они упрощают и об-

НТБ ДНУЖТ

легчают котел, уменьшают количество деталей укрепления стенок (связей), что очень важно при промывке котла, и позволяют обойтись без сложной и дорогой штамповки смычного листа (штамповка ухватного листа значительно проще). Потолки Бельпера с их большим количеством всевозможных связей, тяжей и других деталей, затрудняющих естественные упругие деформации котла и вызывающих тем самым местные перенапряжения материала стенок, — приходится считать мало рациональными.

Высота парового пространства, т. е. расстояние от потолка кожуха или высшей точки барабанов до уровня воды, не должно быть меньше определенной, опытом установленной величины. Уменьшение высоты парового пространства вызывает значительное увеличение влажности пара и в связи с этим общее ухудшение работы котла. Опытом работы паровозов установлено, что при наинизшем уровне воды в котле (100—110 *мм* над потолком топки) высоту парового пространства необходимо делать:

$$H = \frac{1}{4{,}3} D_ц, \tag{83}$$

где $D_ц$ — внутренний диаметр барабана, расположенного в непосредственной близости к передней части потолка топки (наивысшей точке потолка).

Потолок топки наших старых паровозов делался плоским и лишь при сборке топки ему придавали очень небольшую выпуклость (несколько *мм*) в сторону воды.

Потолки топок современных паровозов делаются очерченными по радиусу порядка 3—3,5 *м*. Такие «радиальные» потолки имеют целый ряд настолько больших преимуществ перед плоскими, что на все вновь строящиеся паровозы серий «ФД», «ИС», «СО» и «СУ» ставятся топки исключительно с радиальными потолками. Радиальный потолок значительно прочнее и надежнее плоского, так как котловое давление нагружает потолок в целом на сжатие, как арку, свод. Кроме того, куски накипи за счет тряски паровоза постепенно «сползают» в стороны и опускаются на обвязочную раму. Плоские же потолки значительно больше загрязняются накипью.

Между тем потолок является наиболее ответственной частью топки и необходимо принимать все меры для облегчения условий его работы.

Что касается расположения нижней части передней стенки топки (решетки) и ухватного (смычного) листа кожуха, то здесь могут быть два случая: вертикальное расположение или же наклонное.

Проще в изготовлении и несколько надежнее в работе вертикальные ухватные листы; все же целый ряд паровозов, как например серий «Л», «С», «СУ», не говоря уже о всех мощных паровозах, имеют наклонные листы. Объясняется это весовыми соображениями, когда по условиям развески паровоза оказывается затруднительным подвинуть котел назад и разместить кожух топки сзади движущих колесных пар.

Расположение шуровочного листа топки и лобового листа кожуха также бывает различно. Если решеточный и ухватный листы сделаны вертикальными, то и шуровочный и лобовой листы кожуха ставятся обычно также вертикально. Иногда же для размещения большой колосниковой решетки последние листы делают наклонными.

Если же ухватный лист сделан изогнутым (наклонным в нижней части), то для возможности выемки топочной коробки без расклепки кожуха приходится всегда делать и лобовый и шуровочный листы также наклонными (в ту же сторону).

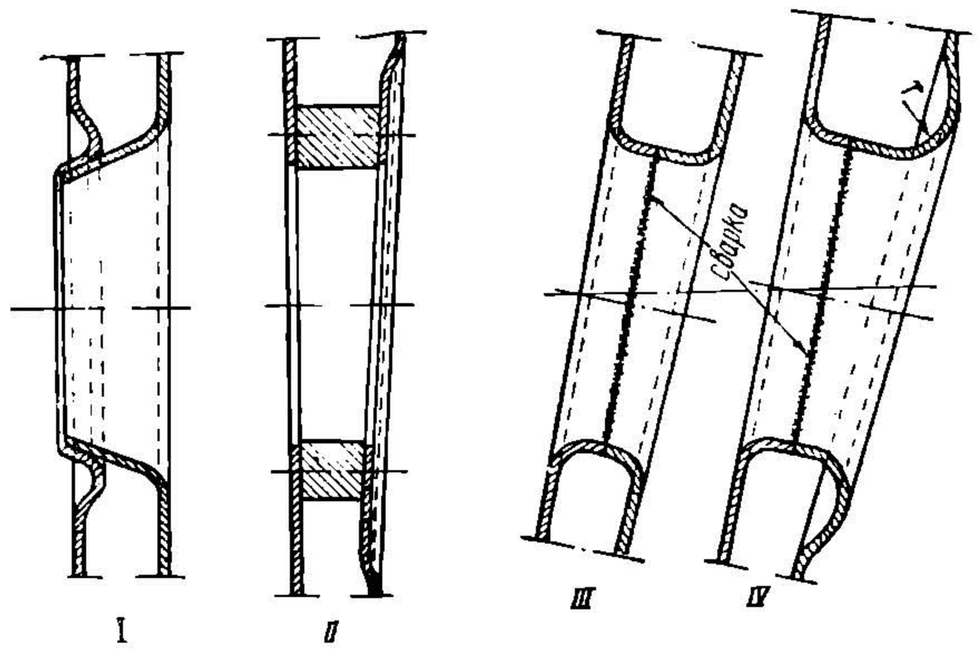
Наклон шуровочного и лобового листов оказывается желательным еще по целому ряду причин. Во-первых, наклон этих листов дает уменьшение веса котла в его тяжелой хвостовой части. Во-вторых, при наклонном лобовом листе установленная на нем арматура не так загромождает будку машиниста, как при вертикальном. В-третьих, при наклонном шуровочном листе облегчается отделение пузырьков пара. Образовавшийся пар поднимается вертикально и тотчас же отрывается от горячей стенки. Стенка лучше омывается водой, парообразование

НТБ ДНУЖТ

увеличивается, температура стенки падает; последнее благоприятно отражается и на сроке службы листа.

Наклонный шуровочный лист несколько уменьшает поверхность нагрева топки, которую, вообще говоря, нужно стремиться развивать. Но в данном случае уменьшение поверхности нагрева топки не ухудшает сколько-нибудь заметно процесса теплоотдачи, так как верхний задний угол топки при вертикальном шуровочном листе не омывается топочными газами.

Шуровочное отверстие, через которое забрасывается топливо, может быть изготовлено целым рядом различных способов. На фиг. 58 показаны четыре наиболее характерных способа.



Фиг. 58.

Первый способ был распространен на старинных паровозах с узкой колосниковой решеткой, когда вынимать или вставлять топку в кожух можно было, лишь расклепывая последний. Переход на широкие топки позволил применить второй способ — с прокладным кольцом, наличие которого объясняется необходимостью заведения топки в кожух снизу. Этот способ благодаря своей простоте и дешевизне в свое время получил большое распространение. Большим недостатком такого шуровочного отверстия являются значительная жесткость его и ухудшение условий работы шуровочного листа. Последний наглухо заклепан у топочной (обвязочной) рамы и у шуровочного отверстия с лобовым листом кожуха и поэтому не имеет свободы температурных деформаций, вследствие чего в листе могут появиться трещины и течь заклепок у шуровочного отверстия. Поэтому за топками, имеющими подобные соединения листов, требуется тщательное наблюдение.

Третий способ является дальнейшим развитием конструкции отверстия. Здесь две горловины сварены встык. Эластичность и простота устройства побудили применить такой способ для паровозов серий «ФД», «ИС», «Эм» (с цельносварными топками) и «СО».

Рациональной конструкцией можно считать 4-й способ образования шуровочного отверстия; здесь шуровочный лист имеет глубокую горловину, очерченную большим радиусом, обеспечивающим наибольшую эластичность соединения листов. Это шуровочное кольцо, называемое «кольцом О'Конора», получило за последние годы в США большое распространение на вновь строящихся паровозах. Паровозы серий «ТА» и «ТБ» имеют такие же кольца. Для паровозостроительных заводов выполнение этого способа затруднительно по чисто технологическим соображениям — глубокая штамповка тонкостенного шуровочного листа.

При ручном обслуживании топки высота и ширина отверстия должны быть около 350 × 500 *мм*, чтобы через отверстие можно было попасть в топку для ее осмотра и ремонта.

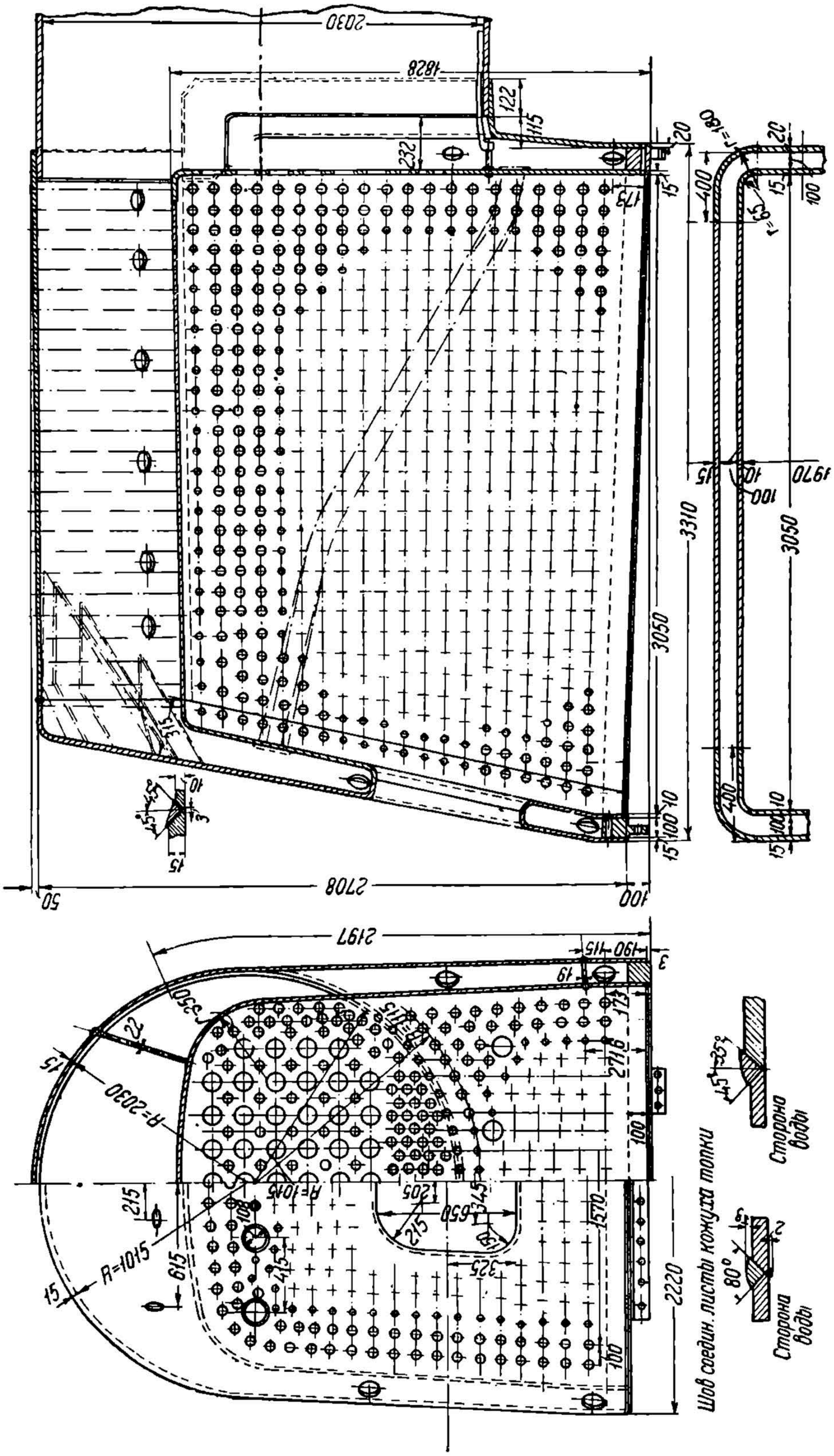
При отоплении с помощью стокера нижняя часть отверстия занята стокерной головкой, а верхняя является собственно шуровочным отверстием. Размер шуровочного отверстия в этом случае делается примерно 650 × 650 *мм*.

Материалом для изготовления топки и кожуха служит сталь марки Ст.-2— очень вязкая сталь, надежно работающая в тяжелых температурных условиях (температурные деформации). Сталь для топки соответствует ОСТ 4134, для кожуха—ОСТ 4133.

Прежде топки делали из красной меди, как более устойчивого в смысле износа материала (разъедание газами сгорания с одной стороны стенки и солями, содержащимися в воде, с другой стороны стенки), так и несколько более надеж-

НТБ ДНУЖТ

ного в части отсутствия трещин — из-за очень большой вязкости меди. Использование красной меди для других целей и значительно больший вес медных топок по сравнению со стальными также побудили отказаться от медных топок и применить стальные.



Фиг. 59.

На фиг. 59 дано устройство топки и кожуха паровоза серии «СО». Паровой котел этого паровоза отличается от котла паровоза серии «Э^{м}» в основном устройством и размерами топки и кожуха.

НТБ ДНУЖТ

Огневая коробка и кожух топки части паровозов серии «Эм» — клепаные. потолок у топки и кожуха — плоские. Рассматривая фиг. 59, мы видим, что здесь огневая коробка и кожух — сварные, потолок топки — радиальный, кожух — полуцилиндрический. Кожух соединяется с барабанами котла посредством смычного или ухватного листа. Последний имеет значительно более простое устройство, чем у паровозов серии «Э», где он соединяет с барабанами котла не только боковые стенки кожуха, но и потолок.

Если заклепочные швы огневой коробки делаются однорядными, и швы кожуха — обычно двухрядными, то сварные швы — всегда встык, с подготовкой, как показано на отдельных проекциях фиг. 59. Сварные топки отнюдь не менее надежны в эксплуатации паровоза, чем клепаные. Конечно, при ведении сварки применяют усиленные швы и контролируют их качество. Для разгружения сварного шва от ломающих усилий (из-за температурных деформаций) ставят крайние ряды распорных и анкерных связей непременно в борт смежного листа. В этом случае по обе стороны шва располагаются ряды связей, и шов работает в относительно благоприятных условиях.

Обвязочная рама изготовляется из мягкой литой стали марки Стл.-1 по ОСТ 791:

$$\sigma_{вр} \geqslant 36 \ кг/мм^2; \varepsilon \leqslant 24\%.$$

Рама заклепывается с листами огневой коробки и кожуха двухрядным швом.

После склепки с рамой углы кожуха и огневой коробки обвариваются, чем достигается надежная герметичность. До введения сварки постоянно приходилось бороться с течью углов, так как заклепки здесь работают в очень тяжелых условиях, будучи, кроме того, длиннее других заклепок рамы. Как правило, здесь применяются только точеные заклепки.

Ширина топочной рамы у наших паровозов берется в пределах 75—125 *мм*; в передней части, где всегда в наибольшем количестве собираются накипь и другие отложения воды, ширину рамы желательно несколько увеличивать.

Топочная рама в связи с принятым расположением колосниковой решетки обычно делается немного наклонной вперед — для удобства забрасывания угля, а в мощных котлах также и для того, чтобы хотя немного увеличить глубину топки в ее передней части; здесь расстояние от слоя топлива до нижних рядов дымогарных труб получается весьма небольшим.

Некоторые страны Западной Европы (Франция) часто применяют значительные наклоны колосниковой решетки, обусловливающие постепенное перемещение (за счет тряски паровоза) угля по колосниковой решетке. Это углубляет топку спереди и облегчает ведение отопления, так как уголь обычно забрасывается лишь на заднюю часть решетки.

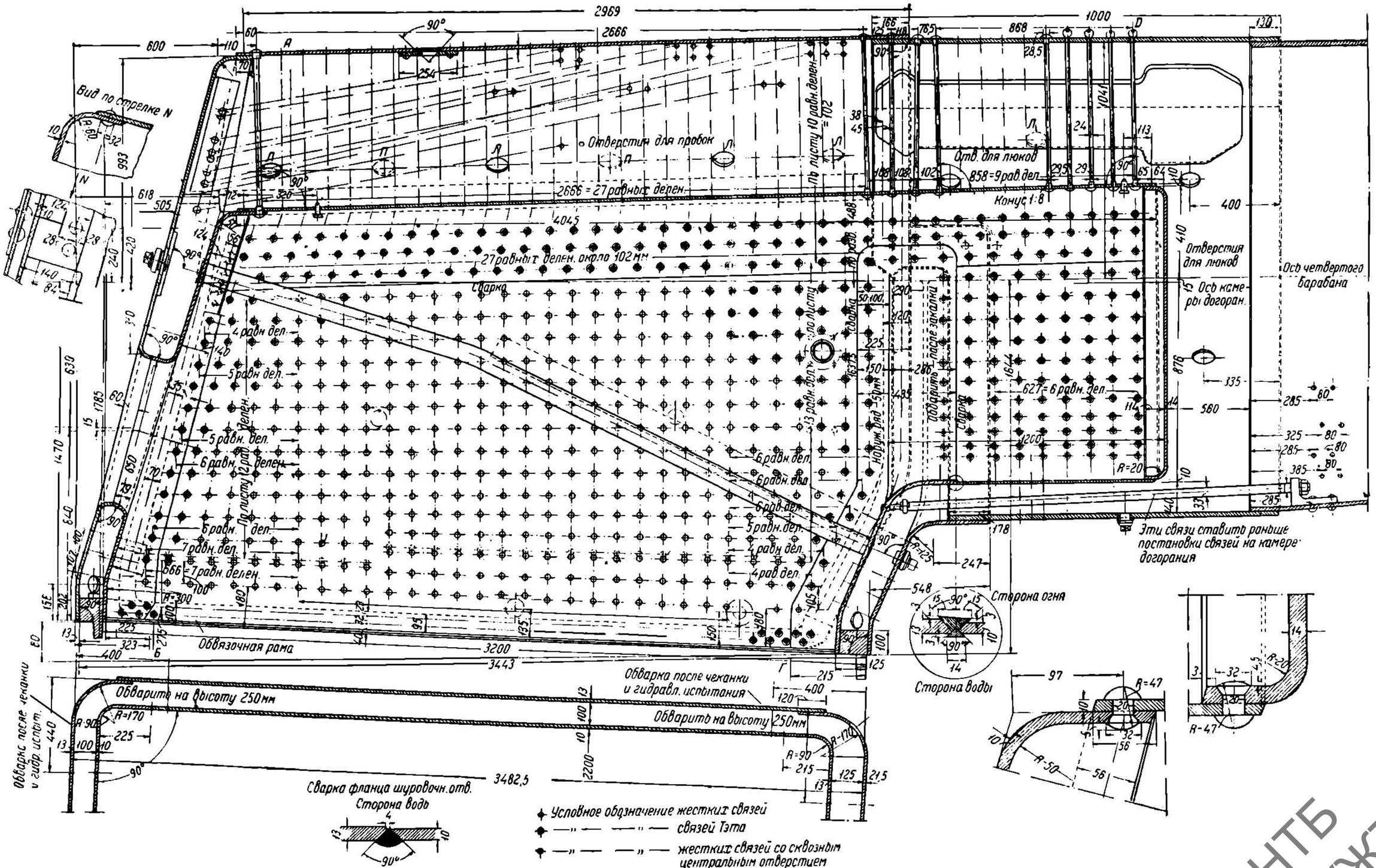
Камера догорания

Если у старинных паровозов, с малыми колосниковыми решетками объем топок и ее испаряющая поверхность относительно очень велики, и на каждый квадратный метр колосниковой решетки приходится 5—5,5 $м^2$ и больше поверхности топки, то в более или менее современных паровозах эта величина уменьшается до 4 – 4,5. Вообще нужно считать, что для достаточно удовлетворительной работы топки нужно иметь минимальное соотношение $\frac{H_m}{R}$ не меньше 4,1—4,3.

У мощных паровозов из-за большей ширины колосниковой решетки, обусловливающей сужение топки в ее верхней части, а также из-за малой глубины топки, отношение поверхности нагрева топки к площади колосниковой решетки имеет резко выраженную тенденцию к дальнейшему уменьшению. Это — одна из причин, побуждающих применять в мощных котлах камеру догорания, представляющую собой дополнительную коробку, пристраиваемую спереди к топке и образующую с нею одно целое.

На фиг. 60 и 61 показана топка котла паровозов серий «ФД» и «ИС», имеющая камеру догорания.

НТБ ДНУЖТ

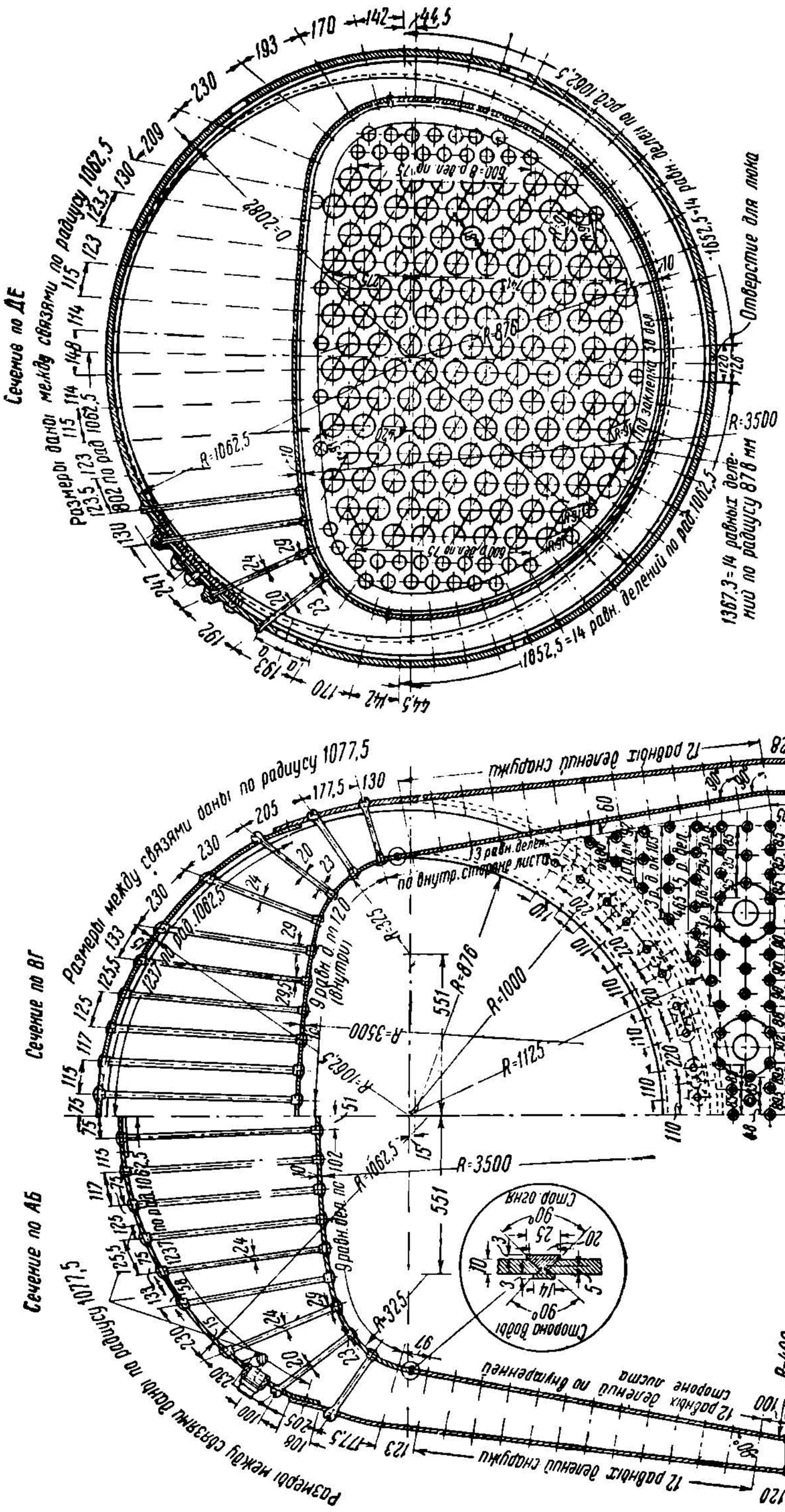


Фиг. 60.

НТБ ДНУЖТ

Камера догорания значительно увеличивает удельный объем и поверхность топки; например у паровозов серий «ФД» и «ИС»:

$$\frac{H_m}{R} = 4{,}43.$$



Фиг. 61

Камера догорания, будучи расположена не непосредственно над горящим топливом, а впереди топки, не является столь активно работающим полезным

НТБ ДНУЖТ

объемом топки, как расположенный непосредственно над колосниковой решеткой топочный объем. Распространенное мнение о том, что камера догорания значительно улучшает процесс горения, преувеличено, хотя, конечно, нельзя отрицать, что она имеет отчасти и это значение.

Другим соображением, заставляющим пристраивать камеру догорания, является необходимость укорочения дымогарных и жаровых труб у мощных котлов. Трубы у мощных американских котлов, даже снабженных камерами догорания, достигают длины 7 *м* и больше.

Третьим соображением, побуждающим вводить камеру догорания, являются условия развески паровоза. Вес камеры догорания и укрепляющих ее связей несколько меньше веса отрезков той же длины (что и камера догорания) дымогарных и жаровых труб и воды, заполняющей промежутки между ними. Поэтому постановка в котел камеры догорания передвигает вперед центр тяжести котла и тем самым облегчает условия развески паровоза.

Наличие камеры догорания усложняет топку, увеличивает ее стоимость и несколько уменьшает надежность ее работы. Последнее вызывает необходимость особенно тщательного осмотра топки и камеры догорания, как правило, при каждой промывке котла.

Расстояние от барабана камеры догорания до барабана котла в нижней части и с боков должно быть не меньше 140—160 *мм*.

Швы, соединяющие отдельные листы топки, как подверженные сильным температурным деформациям, работают в очень тяжелых условиях. При наличии камеры догорания общее количество швов и их протяжение значительно увеличиваются, и это заставляет принимать все меры, во-первых, к изготовлению такой топки из наименьшего числа отдельных листов, назначая наибольшие размеры отдельных листов (ограничение прокатом), и, во-вторых, удалять швы из потолочной части топки. Потолок топки, подверженный прямому удару пламени, должен быть цельным, общим как для самой топочной коробки, так и для камеры догорания. Обычно это заставляет делать отдельными боковые стенки топки. Топки котлов паровозов серий «ФД» и «ИС» имеют именно такое устройство. Общее количество листов, из которых составлена топка котла паровозов серий «ФД» и «ИС», — семь: шуровочный, потолочный (во всю длину топки и камеры догорания), два боковых, ухватный, нижний полубарабан камеры догорания и решетка. Ухватный лист топки однотипен с ухватным листом кожуха.

Циркуляционные трубы

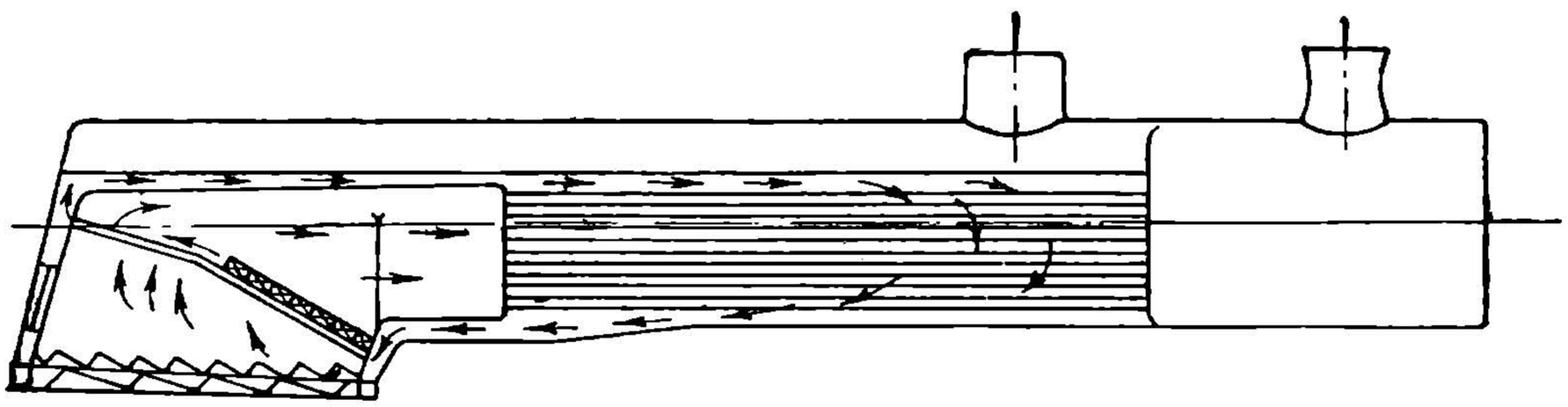
В паровозных котлах обычного типа до последнего времени никаких приборов или устройств для создания циркуляции воды не было. Между тем в стационарной котельной технике давно уже осознана необходимость интенсивной циркуляции воды в котле. Правда, паровозный котел во время движения имеет некоторую естественную циркуляцию воды — за счет тряски и интенсивного выделения пузырьков пара, но все же эта циркуляция крайне недостаточна. На стоянках паровоза она отсутствует почти полностью.

Поставив наклонно в топке три-пять циркуляционных труб диаметром 80 – 95 *мм*, как показано на фиг. 60 и 61, мы получаем достаточно интенсивное перемешивание воды в котле, так как эти трубы, находясь в зоне наивысшей температуры, значительно нагревают заполняющую их воду; при этом плотность ее уменьшается, и нагретая вода поднимается к устью трубы у шуровочного листа. На место ушедшей воды поступают новые порции из упомянутого раньше наиболее холодного, «мертвого», объема воды, и циркуляция воды устанавливается на все время работы топки, как это показано стрелками на фиг. 62. Заметим, что вода, двигающаяся вперед над топкой и жаровыми трубами, опускается лишь в передних участках по длине жаровых и дымогарных труб, так как задние участки труб, расположенные ближе к топке, сами интенсивно испаряют воду, и поднимающиеся здесь пузырьки пара не позволяют опускаться воде и заставляют ее итти к передним участкам, где парообразование наименее интенсивно.

Паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют четыре циркуляционных трубы диаметром 89 × 79 *мм*.

НТБ
ДНУЖТ

Циркуляция воды в котле не только выравнивает температуры различных слоев воды во время работы паровоза и при растопке, но и улучшает условия работы топочных стенок, окруженных при наличии циркуляционных труб двигающейся водой, смывающей паровые пузырьки, образующиеся на стенках. Последние в изобилии получают воду, лучше охлаждаются; срок службы их увеличивается. В особенности это явление должно иметь место при рассмотрении условий работы потолка топки. Температура последнего — наивысшая, парообразование вследствие этого наиболее напряженное. При большом напряжении колосниковой решетки, когда на 1 $м^2$ ее сжигается 600—800 и более *кг* угля в час, парообразование на потолке топки настолько велико, что с уверенностью можно предположить сплошное покрытие всей горячей стенки паровыми пузырьками, которые неизбежно должны задерживаться на стенке, так как образующаяся паровая подушка не пропускает воду на смену пытающимся подняться паровым пузырькам. Наличие циркуляционных труб, когда вся масса воды над потолком движется вперед, помогает пузырькам оторваться и уйти вверх.



Фиг. 62.

Парообразование котла улучшается еще и потому, что не вся вода, движущаяся назад по нижней части котла, поступает в нижние отверстия циркуляционных труб: часть воды сливается вниз, проходит по нижним участкам над обвязочной рамой и улучшает парообразование и условия работы боковых стенок топки.

Другое назначение циркуляционных труб — поддерживать свод. Если топочные своды наших старых небольших котлов выкладываются в виде арки и являются достаточно долговечными, то в широких топках мощных котлов такие арочные своды выходили бы чрезвычайно тяжелыми и, главное, ненадежными в работе. Циркуляционные трубы проходят в топке параллельно друг другу и являются отличным каркасом для свода. Иногда циркуляционные трубы называют «арочными» трубами.

Постановка циркуляционных труб себя вполне оправдала, и топки всех вновь строящихся паровозов оборудуются ими.

Значительно облегчая условия работы котла, сами циркуляционные трубы работают в очень тяжелых температурных условиях. Лучшим материалом служит для этих труб легированная — молибденовая — сталь, а иногда применяется и сталь марки Ст.-1. При нагревании трубы удлиняются, и во избежание расстройств соединений их с листами топки—трубы должны иметь небольшой изгиб.

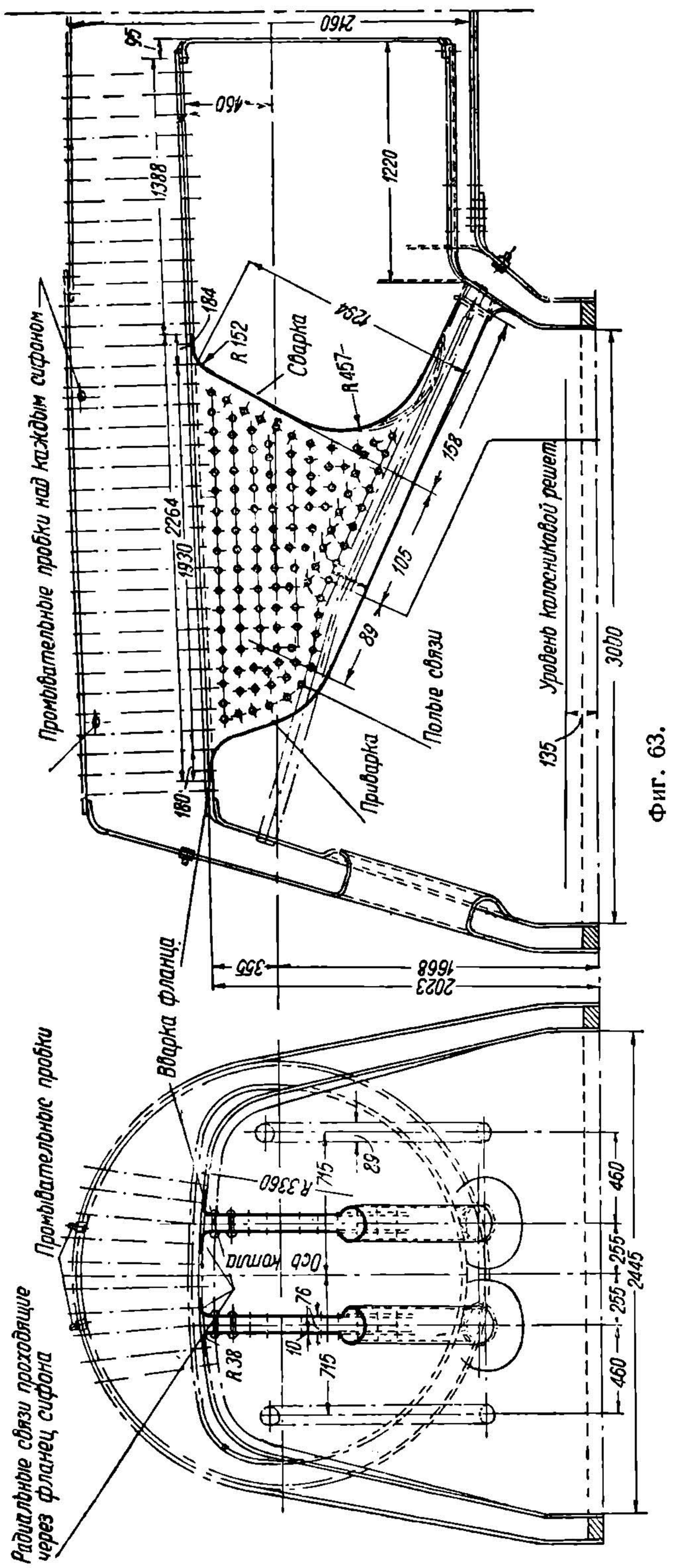
В лобовом и ухватном листах делаются отверстия для промывки труб. Эти отверстия располагаются против устьев труб и закрываются пробками.

Соединения труб с листами топки осуществляется развальцовкой (с разбуртовкой) и последующей заваркой трубы со стороны огня.

Подлежащие развальцовке концы трубы должны быть расположены нормально к плоскости листа. Только в этом случае можно получить надежную установку трубы. Поэтому при вертикальном или близком к нему расположении ухватного листа приходится давать трубе лишний изгиб небольшого радиуса, как показано на фиг. 59, где пунктиром нанесена циркуляционная труба. Циркуляционные трубы при промывках котла нужно очищать от накипи самым тща-

НТБ ДНУЖТ

тельным образом. Двигающаяся в трубе вода, хотя и выносит с собой большую часть образующей в трубе накипи, т. е. как бы смывает частицы накипи тотчас по их образовании на стенках, но все же часть накипи остается, и накапливание последней ввиду чрезвычайно интенсивного испарения воды происходит быстрее, чем в других участках топки и жаровых и дымогарных труб. Что касается общего накипеобразования котла, то наличие циркуляционных труб, приводящих в движение всю котловую воду, обусловливает некоторое смывание накипи и на других участках поверхности нагрева, в частности с потолка, над которым вода движется сравнительно быстро (малое живое сечение водяного пространства); это с своей стороны облегчает условия работы потолка. Вообще накипь при циркуляции воды в котле частью находится как бы во взвешенном состоянии.



Термосифоны

После того, как целесообразность постановки в паровозные котлы циркуляционных труб была полностью доказана, американские техники задумались над дальнейшим усовершенствованием их. Никольсон предложил значительно увеличить поверхность нагрева топочных труб, выполнив их в виде одного-двух узких карманов — термосифонов, расположенных вдоль топки.

Верхние, большие устья этих карманов привариваются к потолку огневой коробки, в котором заранее вырезается длинная щель под верхний фланец термосифона. На фиг. 63 показано устройство термосифонов паровоза серии «Т Б».

НТБ ДНУЖТ

Поверхность нагрева термосифона в несколько раз больше, чем циркуляционной трубы. Обычно в котлы, топки которых оборудованы термосифонами, ставится несколько (одна-три) циркуляционных труб и несколько (один-три) термосифонов.

Поверхность нагрева термосифона сравнительно велика. Так, если поверхность нагрева двух циркуляционных труб котла паровоза серии «Т^{Б}» равна всего 1,393 *м*^{2}, то поверхность нагрева двух термосифонов равна уже 6,317 *м*^{2}. Общая поверхность нагрева труб и сифонов у этих паровозов составляет 7,71 *м*^{2}. Эта поверхность нагрева работает чрезвычайно напряженно, котел дает увеличенное количество насыщенного пара, что, собственно говоря, в основном и преследуется американцами при постановке в топки термосифонов. Циркуляция воды в котле также усиливается, так как верхнее устье термосифона с большой скоростью выбрасывает пар и воду. Вода поступает в термосифон в нижнюю трубу, имеющую диаметр 130—180 *мм*.

Интенсивная циркуляция воды дает дальнейшее выравнивание температур в котле, облегчает работу топки и связей.

Наряду с положительными качествами термосифоны имеют ряд недостатков, настолько крупных, что в настоящее время у нас воздерживаются от применения термосифонов на мощных паровозах, не говоря уже о паровозах нормальной мощности.

Перегрев пара в котле, имеющем термосифоны, значительно падает, и уже одно это обстоятельство является крупным недостатком термосифонов. Коротко говоря, главная отдача тепла от газов к воде при наличии термосифонов происходит в зоне топки, и на долю перегревателя, расположенного в п е р е д н е й части котла, тепла оказывается недостаточно. Холодные (относительно) термосифоны значительно понижают температуру газов в топке, соответственно падает температура газов, омывающих перегревательные элементы. Вместе с тем увеличиваются количество пара, поступающего в перегреватель, и влажность этого пара.

Влажный пар, попадая в элементы перегревателя, сперва осушается и лишь после этого начинает перегреваться. Эта осушка пара — совершенно не свойственная элементам функция. В результате — дальнейшее падение перегрева; к. п. д. паровоза в целом падает. Кроме того, при осушении пара элементы покрываются накипью с внутренней стороны, и так как накипь очень нетеплопроводна, элементы перекаливаются и быстро выходят из строя.

Поэтому лучше иметь несколько меньше насыщенного пара и дать высокий перегрев, чем большее количество влажного пара с низким перегревом.

Однако в США термосифоны распространены на многих мощных и на всех «сверхмошных» паровозных котлах. Это объясняется тем, что, во-первых, чем крупнее котел, тем больше у него абсолютный топочный объем и тем меньше падение температуры топки вследствие постановки термосифонов, а, во-вторых, в крупнейших котлах нужно принимать все меры к наиболее обильному омыванию водой огромной топки; тем самым уменьшаются ее температурные деформации; термосифоны являются в общем характерной новинкой и для американской техники.

Здесь следует заметить, что в крупнейших котлах возможно запроектировать перегреватель, который давал бы нужную температуру перегрева и при наличии термосифонов [1].

§ 2. Расчет на прочность топки и кожуха

Расчет на прочность стенок топки

Стенки топки работают в очень тяжелых температурных условиях. Температура их при загрязненной поверхности нагрева (накипь) может подниматься до больших величин, в особенности это опасно для медных топок, как известно теряющих часть своей прочности при нагреве уже за 140—160°.

---

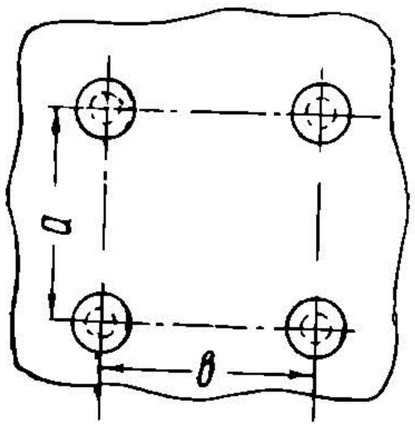
[1] Подробнее о термосифонах см. И. М. С т р у ж е н ц о в, Конструкции паровозов, изд. Трансжелдориздата, 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

Все дальнейшие расчеты предусматривают только стальные стенки, изготовленные из мягкой катаной стали марки Ст.-2, согласно ОСТ 4134 с временным сопротивлением на разрыв $\sigma_{вр} = 34 — 42$ *кг/мм²*; заметим, что топочная сталь марки Ст.-2 не вполне отвечает современным требованиям; в настоящее время разрабатывается новый стандарт топочной стали.

От выпучивания и разрушения все плоские стенки топки предохраняются тем или иным способом: боковые листы (и барабан камеры догорания), шуровочный лист и нижняя часть решетки (если топка без камеры догорания) укрепляются распорными (или боковыми) связями, потолок топки и камеры догорания — анкерными болтами. Радиальный потолок топки укрепляется анкерными болтами так же, как и плоский. В расчете радиального потолка на прочность влиянием выпуклости пренебрегают и рассчитывают его как плоскую стенку. В реальных условиях работы выпуклость потолка будет обусловливать только большую надежность его работы.

Решеточный лист топки, не имеющей камеры догорания, в верхней своей части надежно укреплен дымогарными и жаровыми трубами. При наличии камеры догорания решетка целиком укреплена трубами.



Фиг. 64.

Деформированная давлением пара плоская стенка показана (утрированно) на фиг. 64. Величину показанной выпуклости точно подсчитать невозможно, так как неизвестно, насколько жестко связь заделана в лист: небольшие, всегда неизбежные отступления в точности нарезки или плотности прилегания головки к стенке, наконец, характер деформации листа, укрепленного по вершинам квадрата, — все эти обстоятельства делают невозможным точный подсчет величины выпуклости и, следовательно, имеющегося напряжения материала листа на изгиб.

Поэтому расчет толщины стенок топки приходится вести по формулам, в основу вывода которых положены те или иные допущения, проверяя затем полученные результаты по существующим паровозам, долголетняя работа которых оправдала принятые величины.

На основании своих опытов Бах составил простую и получившую огромное распространение и у нас полуэмпирическую формулу для расчета толщины плоских стенок:

$$\delta = c[\sqrt{p_k (a^2 + b^2)}, \qquad (84)$$

где:

δ — толщина листа стенки топки в *см*;

c — опытный коэфициент, $c = 0{,}017$ (только для стенок топки),

a и b — стороны прямоугольника разбивки связей в *см*.

При разбивке связей по вершинам квадрата:

$$\delta = c \quad a\sqrt{2\,p_k}. \qquad (85)$$

Если разбивка связей произведена в отдельных местах по вершинам неправильного четырехугольника, пользуются другой формулой для расчета толщины стенки:

$$\delta = 0{,}5\,c\,(m_1 + m_2)\sqrt{p_k}, \qquad (85а)$$

где m_1 и m_2 — диагонали четырехугольника разбивки в *см*. Величина коэфициента c — прежняя.

Аналогично следует рассчитывать и стенки термосифона, но величину c при этом рекомендуем принимать равной 0,018.

НТБ ДНУЖТ

Для того чтобы узнать приближенную величину напряжения стенки на изгиб, можно воспользоваться другой формулой Баха [1]:

$$R_b = \frac{p_k}{3{,}6\left(1 - 0{,}7\,\frac{d}{a}\right)\cdot\left(\frac{\delta}{a}\right)^2}\ кг/см^2. \qquad (86)$$

Здесь:

R_b — напряжение на изгиб в $кг/см^2$, в существующих паровозах допущено до 450–520 $кг/см^2$,

d — диаметр отверстия для связи (по наружному диаметру нарезки) в *см*,

a — сторона квадрата разбивки связей в *см*.

Обычная разбивка связей — квадрат со сторонами 10×10 *см*, хотя в очень многих местах любой топки приходится по условиям равномерности размещения связей отступать в ту или другую сторону от этих величин (лучше — в меньшую сторону).

Расчет ухватного листа топки при наличии камеры догорания не производится вовсе, так как толщину листа приходится назначать не по условиям прочности листа на изгиб, а по условиям возможности штамповки и по величине вытяжки материала в самом процессе штамповки. Так, эти листы у паровозов серий «ФД» и «ИС» имеют толщину 13 *мм*.

Что касается огневой решетки, то точно обосновать расчетом ее толщину представляется также затруднительным.

Котловое давление нагружает на изгиб участки решетки между смежными дымогарными или жаровыми трубами точно так же, как и изгибает стенку топки между смежными связями. Но большой диаметр труб, в особенности жаровых, наличие узких, но хорошо прижатых к плоскости стенки буртов труб и в особенности получившая огромное распространение обварка буртов труб значительно усложняют вопрос о величине действительных напряжений в решетках.

Ориентировочный выбор толщины решетки производится по эмпирической формуле:

$$\delta = 0{,}5 + \frac{d_{отв}}{8} \qquad (87)$$

где $d_{отв}$ — диаметр отверстия для наибольших труб в *см*. Недостатком этой формулы является отсутствие фактора, учитывающего котловое давление. Правда, последнее не столь чувствительно отзывается на толщине листа, как это мы видели из формулы (84), где $p_к$ находилось под корнем, но все же полностью пренебречь величиной котлового давления, конечно, нельзя, тем более что оно в паровозостроении имеет определенную тенденцию к росту. Поэтому, определив по приведенной формуле толщину решетки, необходимо проверить найденную величину по формуле (86), введя следующие обозначения:

d — диаметр отверстия трубы в *см*, a — сторона квадрата в *см* (при расположении труб по вершинам квадрата), или a — среднее арифметическое из сторон прямоугольника при расположении труб по вершинам прямоугольника или ромба в *см*.

В существующих паровозах R_b допущено до 580—600 $кг/мм^2$.

Все полученные расчетом толщины листов должны быть согласованы с ОСТ.

Расчет на прочность стенок кожуха топки

Сказанное об условиях работы листов топки может быть почти целиком отнесено и к листам кожуха топки. Отличием является, во-первых, отсутствие больших температурных деформаций и, во-вторых, большое количество отверстий, особенно в лобовой части кожуха, ослабляющих листы. Последнее обстоятельство заставляет увеличивать толщину листа против расчетной.

---

[1] Вывод см. М. Н. Берлов, Детали машин, вып. 3, изд. 1928 г., стр. 47.

НТБ ДНУЖТ

Расчет толщины плоского потолка (Бельпера), а также и боковых и лобовых листов кожухов производится по формуле (84), но коэфициент здесь берется меньшим, а именно:

$$c = (0{,}015 \div 0{,}016).$$

Формулы, предложенные Бахом для стационарных котлов, не учитывают дополнительных нагрузок в листах кожуха. Между тем у паровозных котлов кожух топки является как бы каркасом котла, опирающимся на раму и испытывающим дополнительные напряжения во время работы паровоза, поэтому толщину стенок кожуха следует увеличивать против расчетной на 3—4 *мм*, тогда окончательной рабочей формулой можно считать:

$$\delta = c\sqrt{p_k(a^2 + b^2)} + (0{,}3 \div 0{,}4) \ см. \tag{88}$$

Листы кожуха наших старых паровозов делались толщиной на 5—6 *мм* большей получающихся по формуле (84). Прежде значение толщины листов кожуха значительно переоценивалось в большую сторону.

Полукруглые потолки кожухов рассчитываются двумя способами, в зависимости от расположения анкерных болтов. Если последние расположены вертикально, как это сделано у наших старых паровозов, то полукруглый потолок рассчитывается как полубарабан по формуле:

$$\delta = D_{вн} \cdot \frac{p_k \cdot n}{2 \cdot \sigma_{вр} \quad \varphi} + c. \tag{89}$$

Здесь:

δ — рассчитываемая толщина стенки в *см*;

$D_{вн}$ — внутренний диаметр окружности потолка в *см*;

$\sigma_{вр}$ — временное сопротивление; для стали марки Ст.-2 принимают в среднем: $\sigma_{вр} = 3850$ *кг/см*^{2};

c — запас на износ, обычно $c = (0{,}10 - 0{,}15)$ *см*;

φ — коэфициент прочности заклепочного шва;

n — степень надежности листа кожуха по продольному шву, соединяющему потолочный лист с боковыми. В зависимости от типа шва значения могут быть:

$n = (4{,}25—4{,}50)$ — для шва внахлестку при клепке на прессах; это значение берется и для сварных швов встык; $n = (4{,}00 — 4{,}25)$ — для шва с двумя накладками при ручной клепке; это значение предусматривает двухрядный шов, причем одна из накладок (обычно наружная) сделана узкой, с одним рядом заклепок;

$n = (3{,}80—4{,}00)$ — то же при клепке на прессах — современный способ клепки.

При вертикально расположенных анкерных болтах толщина потолка, рассчитанного по формуле (89), выходит большой. Дело в том, что этой формулой не учитывается укрепление потолка кожуха анкерными болтами, а между тем их можно рассматривать как элемент, удерживающий на месте не только потолок топки, для чего они, собственно говоря, и ставятся, но и потолок кожуха. Здесь приходится также добавочно укреплять боковые участки потолка кожуха в местах между анкерными болтами и боковыми связями. На фиг. 55 показано такое дополнительное укрепление в виде поперечных тяжей.

Гораздо рациональнее укрепление полукруглого потолка р а д и а л ь н о расположенными анкерными болтами. Такие болты применены у нас на новых типах паровозов серий «ФД», «ИС», «СО». Располагая анкерные болты радиально, т. е. нормально к укрепляемому каждым болтом участку потолка топки, мы имеем веерообразную их расстановку, показанную на поперечных разрезах топки по фиг. 61.

В этом случае анкерные болты хотя и оказываются расположенными к потолку кожуха под различными углами, но укрепляют его на всем протяжении: даже в местах перехода от анкерных болтов к распорным связям нет больших, неукрепленных участков. Поэтому оказывается возможным, правда, грубо

НТБ
ДНУЖТ

приближенно, рассчитывать потолок с радиально расположенными анкерными болтами как плоскую стенку, удерживаемую на месте анкерными болтами. Расчетной формулой является основная формула (84), значение коэфициента:

$$c = 0{,}015.$$

Увеличивать δ на 3—4 *мм* в этом случае не следует, так как здесь стенка фактически не плоская, а выпуклая, значительно лучше сопротивляющаяся внутреннему давлению и дополнительным нагрузкам.

В виде примера напомним, что потолок кожуха топки паровозов серий «ФД» и «ИС» имеет толщину 15 *мм*, боковые стенки и лобовый лист — 13 *мм*. Большая толщина потолка объясняется «редкими» анкерными болтами на потолке, к тому же поставленными с перекосом.

Что касается ухватного или смычного листа кожуха топки, то толщина его не рассчитывается вовсе, а выбирается по условиям штамповки и придания необходимой жесткости топочной части котла. Например у паровоза серии «Эм» толщина этого листа равна 18 *мм*, у паровозов серий «ФД» и «ИС», имеющих более крупный котел и большую глубину штамповки, — 21,5 *мм*.

§ 3. Детали крепления стенок топки и кожуха

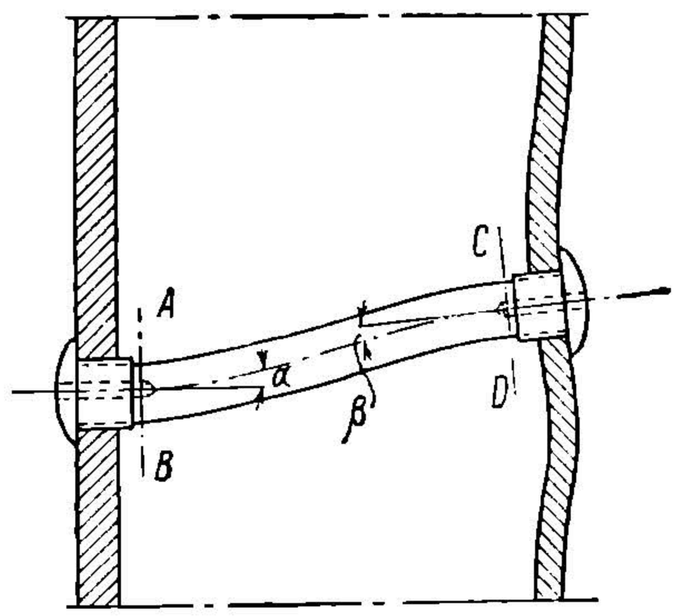
Боковые (распорные) связи

Боковыми (распорными) связями называются те связи котла, которые соединяют одну с другой вертикальные (или близкие к ним) стенки топки и кожуха.

Связи должны быть достаточно равномерно размещены на котельных стенках. Наиболее желательные типы «разбивки» связей — квадрат или прямоугольник, близкий к квадрату.

По отношению к листу топки связи должны быть расположены под прямым углом — для получения наибольшего числа целых ниток нарезки. По отношению к более толстому листу кожуха, к тому же работающему в более легких условиях, — связи могут быть расположены и с перекосом. Число полных ниток нарезки и в этом случае должно быть не меньше двух.

Боковые связи, как уже упоминалось, работают в очень тяжелых условиях. В эксплуатации паровоза требуется повседневное наблюдение за состоянием связей. Кроме растяжения котловым давлением, связи испытывают еще и значительные изгибающие усилия за счет большего температурного расширения стенки топки по сравнению с расширением листа кожуха. Деформации связей объясняются тем, что листы топки и кожуха склепаны жестко один с другим в своей нижней части по обвязочной раме. Необходимость облегчить изгиб связей и уменьшить опасность их обрыва при этих изгибах заставляет применять для изготовления связей самые мягкие сорта стали—марку Ст.-1 (ОСТ 4130). В настоящее время разрабатывается стандарт на изготовление специальной связевой стали.



Фиг. 65.

На фиг. 65 показаны опасные сечения связи *AB* и *CD*, дающие наибольшее количество обрывов; одно из этих сечений *AB* находится у листа кожуха, возле начала нарезанной части связи; другое *CD* — у огневой коробки. В сечении *AB* обрывы наиболее часты, так как здесь угол изгиба связи α больше угла изгиба β. В сечении *CD* обрывы реже, так как этот конец связи заделан в тонкий топочный лист, который часть температурной деформации принимает на себя.

Для того чтобы обнаружить обрывы связей, последние всегда снабжаются контрольными глухими отверстиями (каналами) диаметром 5—6 *мм*, просвер-

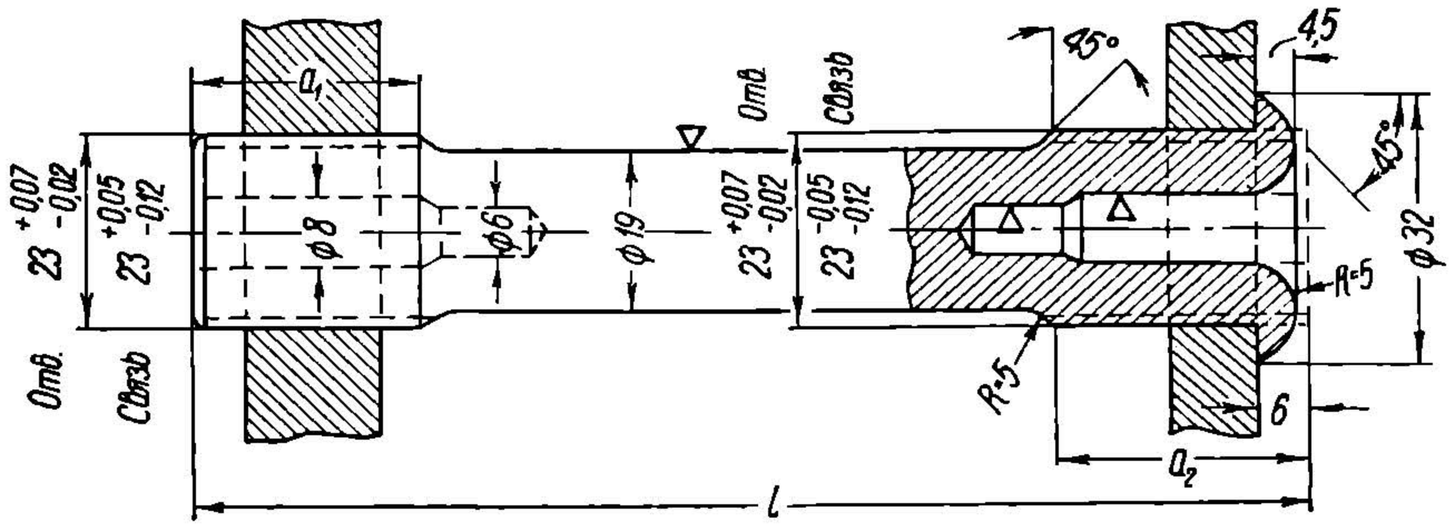
НТБ
ДНУЖТ

ленными с торцов. Глубина каналов должна быть на 8—10 *мм* больше длины нарезанной части связи, и таким образом эти отверстия заканчиваются за пределами нарезки, в гладкой части связи.

Некоторые распорные связи, например те, головки которых, входящие в топку, закрыты кирпичами свода, снабжаются сквозными контрольными отверстиями. Выходящие в контрольное отверстие пар и вода сигнализируют об обрыве связи.

Если уже не говорить об обрывах связей, то течь связей оказывается более частым явлением в эксплуатации паровоза,—при неумелом или небрежном уходе за котлом (резкое охлаждение).

Обычно связи ввертываются на резьбе (60 ниток на 127 *мм*) и расклепываются с обеих сторон. О вварных связях сказано ниже.

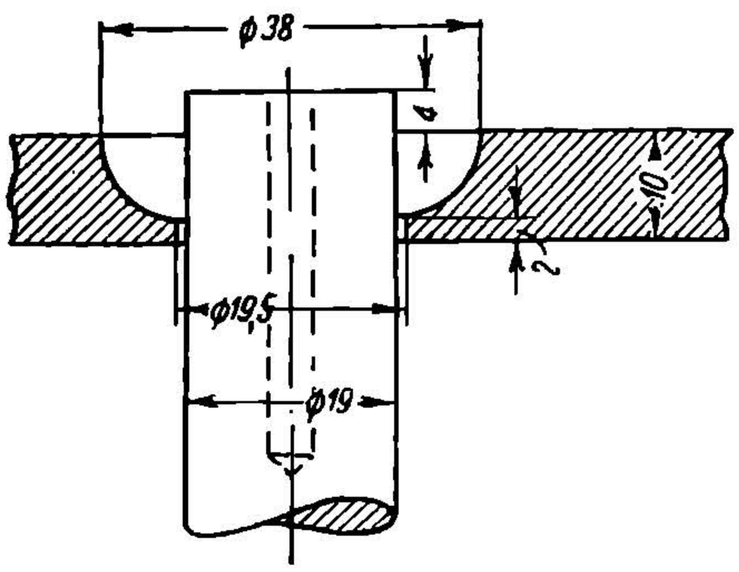


Фиг. 66.

НКПС предложил нашим заводам опытные стандарты связей двух типов: 1) ставящихся с натягом (резьба с избытком) $\left(\frac{\text{СТ}}{\text{ЦТ}} - \frac{97}{3/1}\right)$ и 2) свободно вверты-вающихся (небольшим воротком) $\left(\frac{\text{СТ}}{\text{ЦТ}} - \frac{98}{4/1}\right)$, с последующей раздачей специальными шипами.

Особенность связи, ставящейся с натягом, заключается в том, что в границах установленных допусков диаметр нарезки связи всегда больше нарезки отверстия.

Диаметр связи по ОСТ — 19 *мм*, общая длина *l* берется в зависимости от расстояния между листами топки и кожуха. Длина нарезанных концов связи a_1 и a_2 зависит от толщины укрепляемых связью листов. Конец связи со стороны кожуха может быть оставлен без расклепки.



Фиг. 67.

Второй опытный способ постановки связи, предложенный НКПС, показан на фиг. 66. Здесь уплотнение достигается раздачей сверленых концов связи специальными параболическими шипами (обточенными по параболе).

Резьба связей по обоим стандартам — 60 ниток на 127 *мм* (12 ниток на 1 дюйм).

Металл стандартных связей — Ст.-1 (ОСТ 4130) — временно, до установления стандарта на специальную связевую сталь.

Применение сварки позволяет значительно упростить и удешевить постановку связей и получить вполне прочное и герметичное соединение связи с листом.

Связи, ставящиеся на заварке, или «вварные» связи, представляют собой кусок круглой стали, свободно вставляемой в отверстия листов и привариваемой

НТБ ДНУЖТ

снаружи к кожуху и со стороны огня к топочному листу. Такие связи получают распространение на многих паровозах.

Станочная обработка связи почти отпадает, сокращаясь во много раз. На фиг. 67 показан один из рациональных способов постановки вварных связей; котельные листы с обоих концов связи имеют раззенковку.

Основные достоинства вварных связей:

1) крайне простой технологический процесс их изготовления, делающий ненужным например целый связевой пролет механического цеха нового Ворошиловградского завода; отсюда значительное снижение стоимости парового котла, увеличение пропускной способности котельно-сборочных площадей;

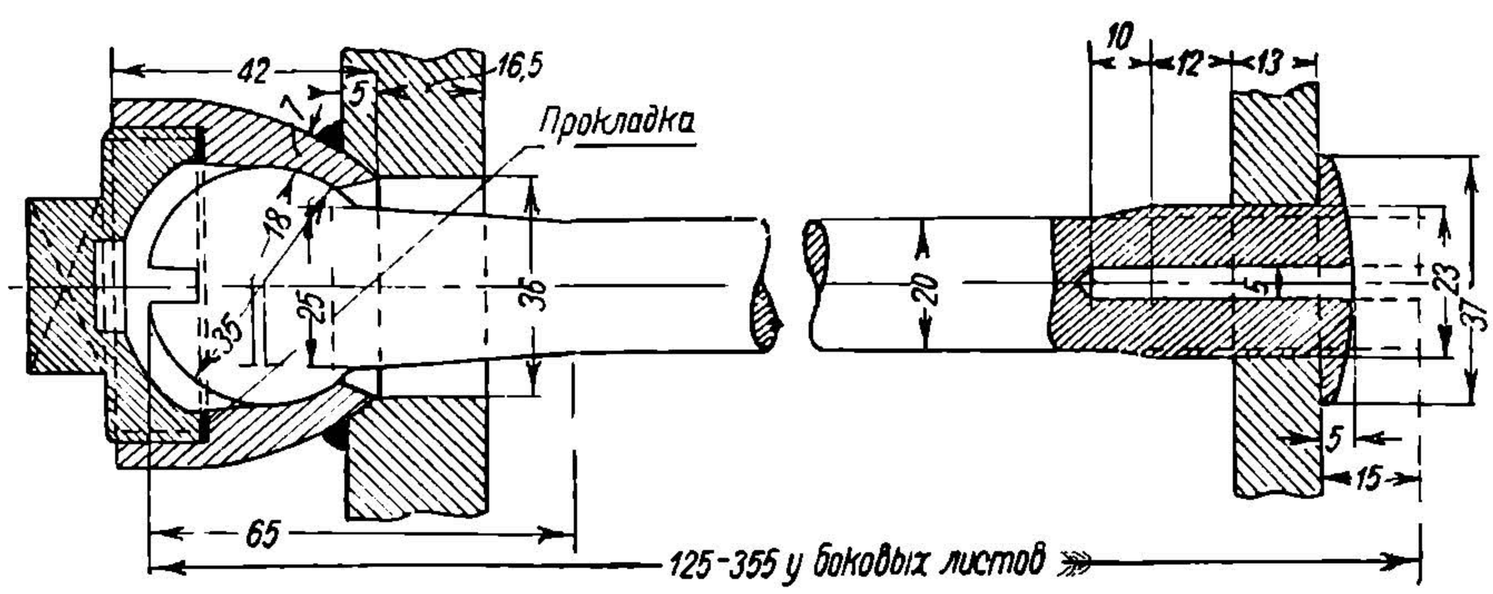
2) отсутствие течи;

3) увеличение надежности работы связей, так как здесь отсутствуют резкие переходы сечения связи (в нарезке);

4) уменьшение отложения накипи на гладкой поверхности связи, не имеющей резьбы по концам. На резьбе, выступающей в водяное пространство котла, о ла ается большое количество накипи, ухудшающей не только условия промыв и, но также и условия охлаждения конца (головки) связи, выступающего внутрь топки. В последнее время НИИЖТ предложена еще одна рациональная конструкция вварных связей. Для опыта этими связями оборудуется несколько паровозов серии «СО».

Подвижные связи

Для того чтобы облегчить работу связей в тех участках топки, где имеют место наибольшие взаимные перемещения укрепляемых стенок, за последние 15—20 лет (и в особенности на мощных паровозах) большое распространение получают подвижные связи. Из нескольких типов подвижных связей оказались жизненными только связи, предложенные американским мастером-котельщиком Тэтом и названные по его имени. Эти связи имеют шарнирным лишь один конец — со стороны кожуха. Другой, заделываемый в лист топки, остается жестким.



Фиг. 68.

Подвижная связь Тэта в ее совершенной и получившей распространение как на американских, так и на наших современных паровозах форме, имеет приварную втулку, как показано на фиг. 68. Этот чертеж изображает связь Тэта в применении к паровозам серий «ФД» и «ИС». Здесь диаметр отверстия в кожухе берется значительно больше диаметра связи, и с наружной стороны отверстие раззенковывается (расфрезеровывается) под втулку, которая и приваривается по окружности, как показано на чертеже.

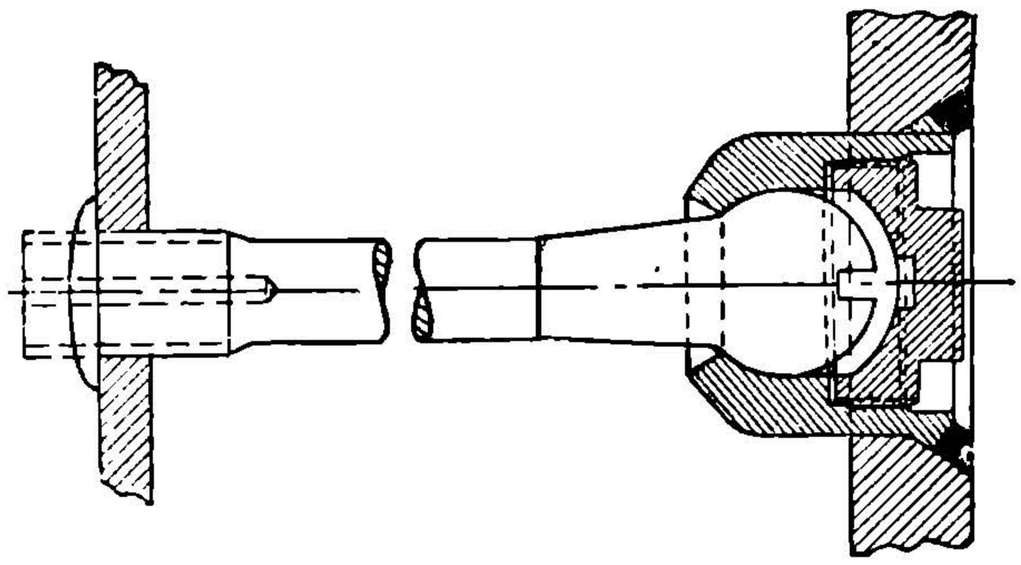
Втулка, расточенная по шару, закрывается ввертным колпачком, причем уплотнение колпачка достигается постановкой прокладной шайбы красной меди.

Иногда не удается разместить на листе кожуха нормальную втулку и колпачок связи Тэта. Например у паровоза серии «Эм» один вертикальный ряд боковых связей оказывается расположенным как раз в том месте, где к котлу прилегает передняя (фронтовая) стенка будки машиниста; у паровоза серии «ФД» задние концы рессор пятой сцепной колесной пары близко подходят к ухват-

НТБ ДНУЖТ

ному листу кожуха топки. В таких случаях применяют утопленные в лист кожуха втулки связей Тэта, как показано на фиг. 69.

Связи Тэта ставятся в участках стенок топки, имеющих значительные перемещения относительно стенок кожуха. Чем дальше мы отходим вверх от топочной рамы, тем больше перемещения и тем нужнее становятся подвижные связи. Кроме расширения листов топки вверх, имеют место и горизонтальные перемещения расширяющихся листов. В углах топки эти перемещения, естественно, получают наибольшие значения. Паровозы с мощными котлами имеют значительное количество подвижных связей, так как, чем больше топка, тем больше абсолютные величины перемещений листов и тем больший процент связей должен быть выполнен в виде подвижных.



Фиг. 69.

Анкерные болты (связи)

Потолок топки (а также и камеры догорания при ее наличии) должен быть укреплен анкерными болтами на всем своем протяжении. Устройство анкерного болта и боковой связи одинаково; условия работы анкерного болта несколько лучше, чем связи; диаметр анкерных болтов всегда может быть увеличен по сравнению с диаметром распорных связей, так как анкерные болты, имея значительно большую длину, чем распорные связи, испытывают меньшие напряжения на изгиб. Облегчение работы анкерных болтов в некоторых случаях позволяет отказаться от сверления контрольных каналов со стороны топки — при штампованных головках болтов; со стороны кожуха, где большая толщина железа дает как бы более жесткое защемление в малоподатливом листе, сверление этих каналов необходимо. Концы болта, выступающие наружу плоского потолка кожуха, могут оставаться без расклепки, при полукруглом — обязательно расклепываются.

Наиболее распространенный способ постановки анкерных болтов — изнутри, со стороны огневой коробки. В этом случае болт имеет вид, показанный на фиг. 70 — в применении к паровозам серий «ФД» и «ИС».

Анкерные болты паровозов серии «Эм» и целого ряда других имеют штампованные головки с квадратом для завертывания. Квадрат после постановки срезается, развитые размеры головки надежно удерживают потолочный лист. На фиг. 71 показан стандартный $\left(\frac{СТ}{ЦТ} - \frac{108}{5}\right)$ анкерный болт, ставящийся с натягом. Болт имеет штампованную головку со стороны топки.

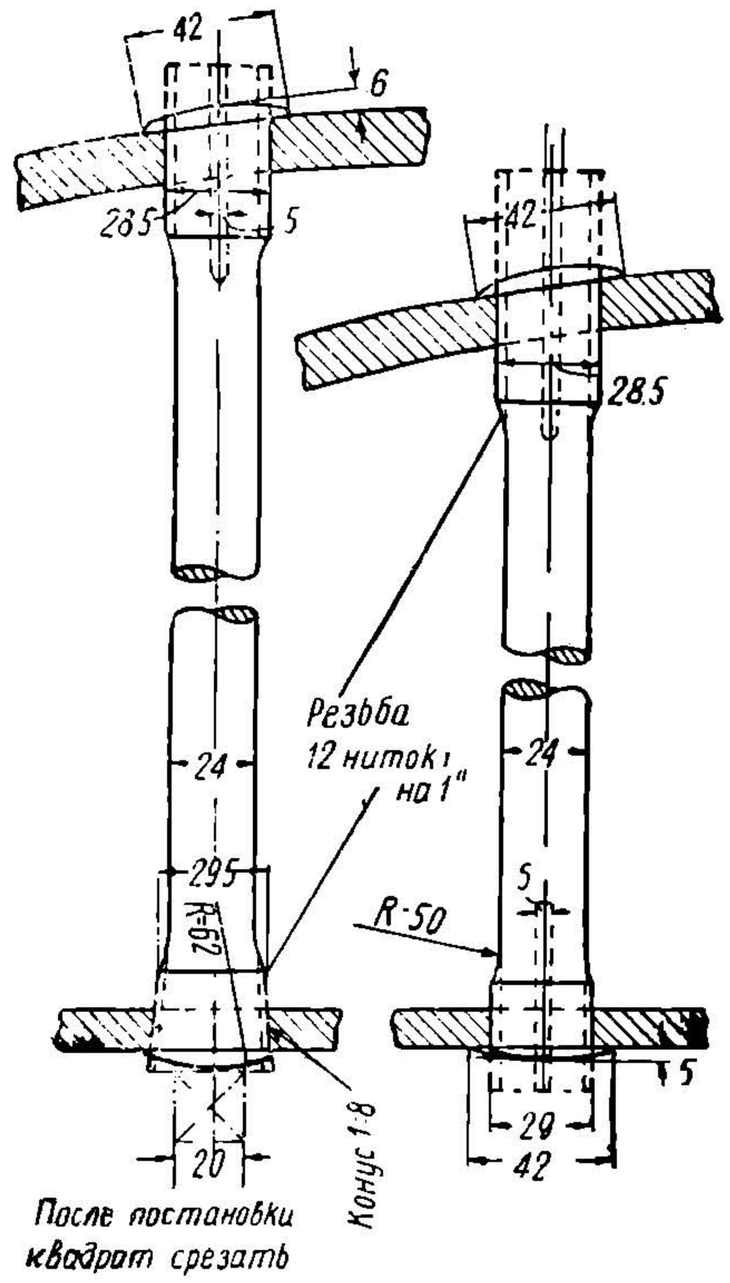
Анкерные болты с штампованной головкой, вообще говоря, предпочтительнее, чем с расклепываемой, так как у первых головки имеют большие размеры и лучше держат лист. Такие болты при радиальных потолках могут ставиться только в средней радиальной части потолка, очерченной радиусом в 3000—3500 *мм*. Там же, где начинаются переходные кривые к боковым стенкам, для лучшего прилегания торца головки к выгнутой поверхности листа приходится применять расклепку головок. В этом случае контрольное отверстие просверливается и со стороны огня.

За последнее время за границей (США), а также и у нас получает распространение коническая нарезка болта со стороны топки, как это и показано на одном из болтов по фиг. 70. Место болта под нарезку обтачивается на конус, профиль нитки нарезается нормально к образующей конуса. Плотность кони-

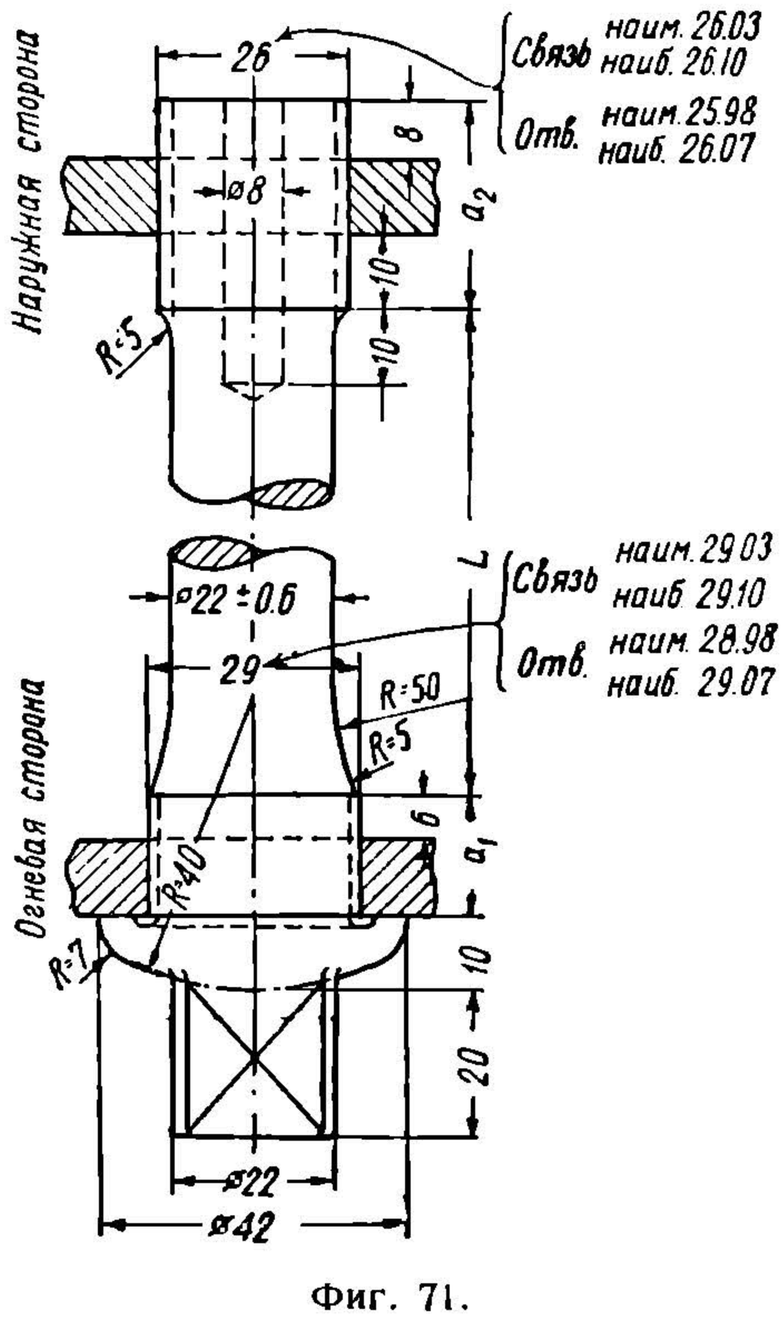
НТБ ДНУЖТ

ческой нарезки значительно больше, чем обычной цилиндрической, но стоимость изготовления несколько выше.

Материал анкерных болтов — Ст.-1 (ОСТ 4130); согласно $\frac{\text{СТ}}{\text{ЦТ}} — \frac{108}{5}$ допускается Ст.-2.



Фиг. 70.



Фиг. 71.

Подвижные анкерные (связи) болты

Если часть распорных связей вследствие относительных перемещений укрепляемых ими листов приходится делать подвижными, то часть анкерных болтов также приходится делать нежесткими, но из-за деформации листов иного порядка. Большая длина анкерных болтов обусловливает значительную их гибкость при расширении самого потолочного листа, и давать некоторым анкерным болтам подвижность приходится по другим соображениям.

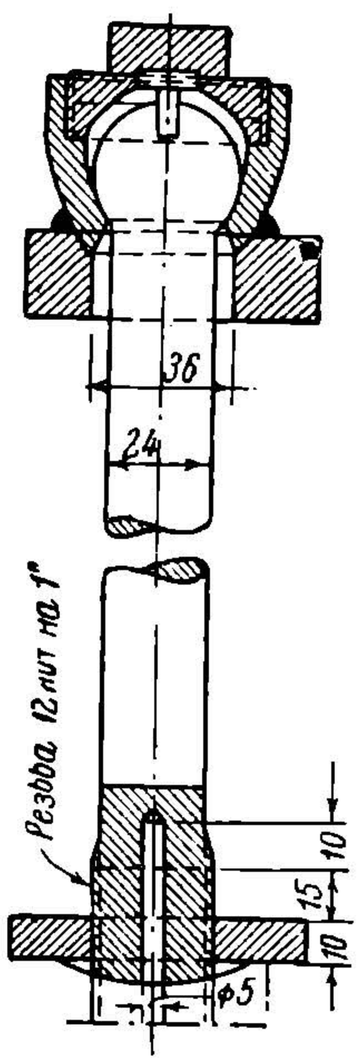
Решетка нагревается и расширяется кверху, а так как потолочный лист кожуха остается на месте, то потолок топки в передней своей части должен изгибаться. Применением тех же подвижных связей Тэта устраняются эти резкие изгибы, так как здесь деформация распространяется на достаточно большую ширину листа и поэтому оказывается безболезненной как для самих болтов, так и, главное, для листов топки. Это соображение и заставило сделать у котлов паровозов серий «ФД» и «ИС» четыре передних поперечных ряда анкерных болтов подвижными.

Анкерный болт Тэта паровозов серий «ФД» и «ИС», показанный на фиг. 72, напоминает боковую связь Тэта, но имеет простую цилиндрическую форму (без конического перехода от стержня к головке); диаметр анкерных болтов у этих паровозов — 24 *мм*.

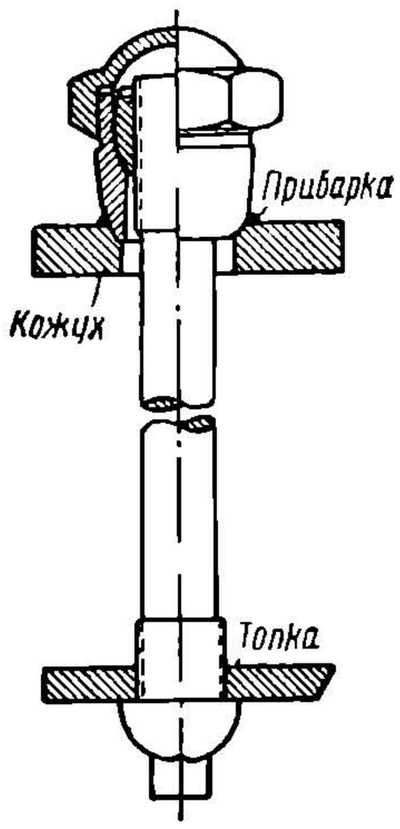
Недостатком анкерных подвижных болтов является необходимость заводить их в котел снаружи кожуха (из-за наличия шаровой головки) и, как правило, расклепывать головку со стороны огня. Применить вполне оправдавшую себя коническую нарезку в потолочном листе топки оказывается невозможным:

НТБ ДНУЖТ

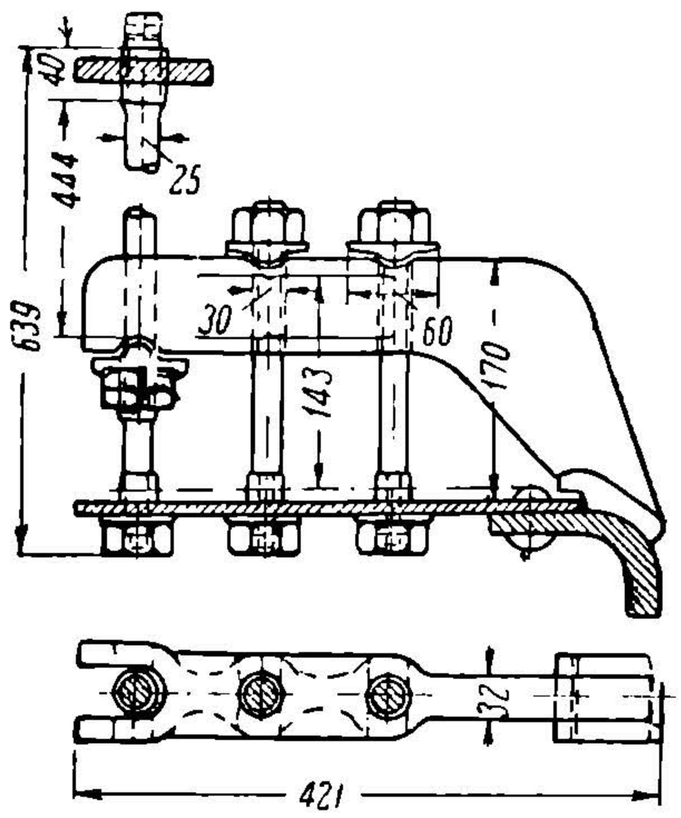
размеры расклепанной головки не велики, нитки нарезки в процессе самой расклепки несколько портятся, и все это приводит в итоге к относительно меньшей надежности укрепления потолка. Поэтому необходимо обратить внимание на дальнейшее усовершенствование анкерных болтов Тэта — н а т я ж н ы х болтов, ставящихся изнутри топки. На фиг. 73 показан такой болт. Правда, он сложнее обычных тэтовских, но подвижных анкерных болтов в котел ставится незначительное количество (50—80), и увеличение стоимости этих болтов не может сколько-нибудь значительно отразиться на увеличении общей стоимости котла; зато надежность укрепления потолка топки значительно возрастает.



Фиг. 72.



Фиг. 73.



Фиг. 74.

Натяжной анкерный болт Тэта имеет штампованную головку со стороны огневой коробки. Отдельная шаровая головка-гайка навертывается на нарезанный верхний конец анкерного болта. Для навертывания этой головки в верхнем торце ее сделаны прорезы, в которые заводится фасонная отвертка.

Старые типы подвижных анкерных устройств

Подвижные анкерные болты Тэта получили распространение лишь за последние годы. Подвижность потолка топки достигалась прежде другими, значительно менее совершенными устройствами. Все старые конструкции обладают одним существенным дефектом: покрываясь накипью, отдельные шарнирные части подвижных болтов как бы срастаются в одно целое, и, так как удаление накипи из шарниров почти невозможно, то такие болты вскоре начинали работать как простые жесткие.

Относительно удачными являлись так называемые фонарные анкерные болты, применявшиеся в течение целого ряда лет на вновь строящихся паровозах серий «Э», «Э^{м}», «Э^{у}» и «С^{у}». Задний ряд анкерных болтов у этих паровозов сделан подвижным. Такое устройство при резких колебаниях температуры решетки позволяет отрезку болта, ввернутому в потолок топки, перемещаться вместе с потолком кверху.

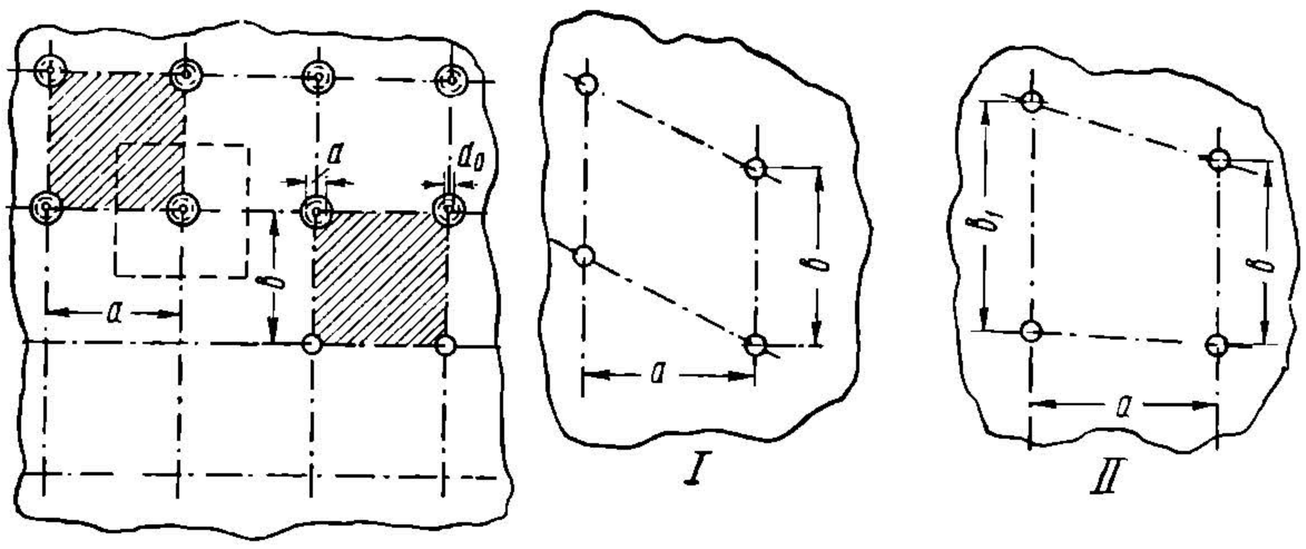
Паровозы серии «Э^{г}» (германской постройки) и часть «Э^{у}», «С^{у}» и др. снабжены особыми «анкерными балочками Арциша», весьма распространенными на немецких паровозах. На фиг. 74 показаны балочки в применении к паровозам серии «Э^{г}». На анкерном болте, обычно третьего ряда, считая спереди, увеличенного по сравнению с другими диаметрами, навернута гайка, на которую наложена четырехугольная шайба-пластина, имеющая сверху закругленный выступ. На этот выступ шарнирно опирается балочка. Неподвижный анкерный

НТБ ДНУЖТ

болт свободно проходит сквозь балочку. Передний конец балочки опирается на загиб огневой решетки. Укороченные болты первого и второго рядов также проходят сквозь балочку и снабжены сверху гайками и подкладками с полукруглыми выступами; подвертывая гайки, притягивают потолок к балочке. Подкладки идут поперек топки по всем балочкам, связывая их таким образом в одну общую систему.

Расчет боковых связей и анкерных болтов

Выше нами было подчеркнуто, что боковые связи работают как на растяжение, так и на изгиб. Условия работы связей на изгиб достаточно неопределенны, так как простой расчет температурных деформаций листов, заставляющих связи изгибаться на определенную величину, не дает нужных результатов и не позволяет даже написать уравнения упругой линии изогнутой связи: мы не знаем степени жесткости защемления связи в листах. Кроме того, оба листа, в особенности топочный, сами деформируются под влиянием изгибаемой связи. Поэтому расчет связей производится всегда только на растяжение силой котлового давления, но при этом расчете принимается пониженное допускаемое напряжение на разрыв. Этим понижением напряжения как бы и учитывается имеющий место в действительности некоторый изгиб связей.



Фиг. 75.

Зная диаметр связи (по ОСТ), определяем величину площади листа, ею «укрепляемую». Эта площадь на фиг. 75 очерчена пунктиром. Нетрудно видеть, что площадь прямоугольника разбивки:

$$a \cdot b = F_{гр},$$

т. е. равна площади, укрепляемой одной связью. Это так называемая «грузовая площадь» связи.

Сила, действующая на связь:

$$P = F_{гр} \cdot p_k = a \cdot b \cdot p_k,$$

где $p_к$ — давление в котле в *кг/см²*.

Расчет связей на разрыв производится элементарным способом, указываемым в курсе сопротивления материалов. При расчете следует учитывать ослабление сечения связи контрольным отверстием. Допускаемое напряжение на разрыв согласно $\frac{\text{СТ}}{\text{ЦТ}} - \frac{97}{3/2}$:

$$R_z = 600 \text{ кг/см}^2$$

для Ст.-1 норм. и Ст.-1 повыш.

Для данных: напряжения $R_z = 600$ *кг/см²* и диаметра связи 19 *мм* (согласно $\frac{\text{СТ}}{\text{ЦТ}} - \frac{97}{3/2}$) кривая грузовых площадей дана на фиг. 76. Для любого давления пара в пределах 10—18 *ат* можно, пользуясь этой кривой, быстро определять предельные грузовые площади.

НТБ ДНУЖТ

В тех случаях, когда разбивка связей производится по неправильному четырехугольнику, необходимо определить участок стенки, укрепляемый каждой рассматриваемой связью, и подсчитать напряжение в связи. В случае разбивки связей по вершинам параллелограма, как показано на фиг. 75:

$$R_n = \frac{4\,p_k \quad a \cdot b}{\pi(d^2 - d^2{}_0)}. \tag{90}$$

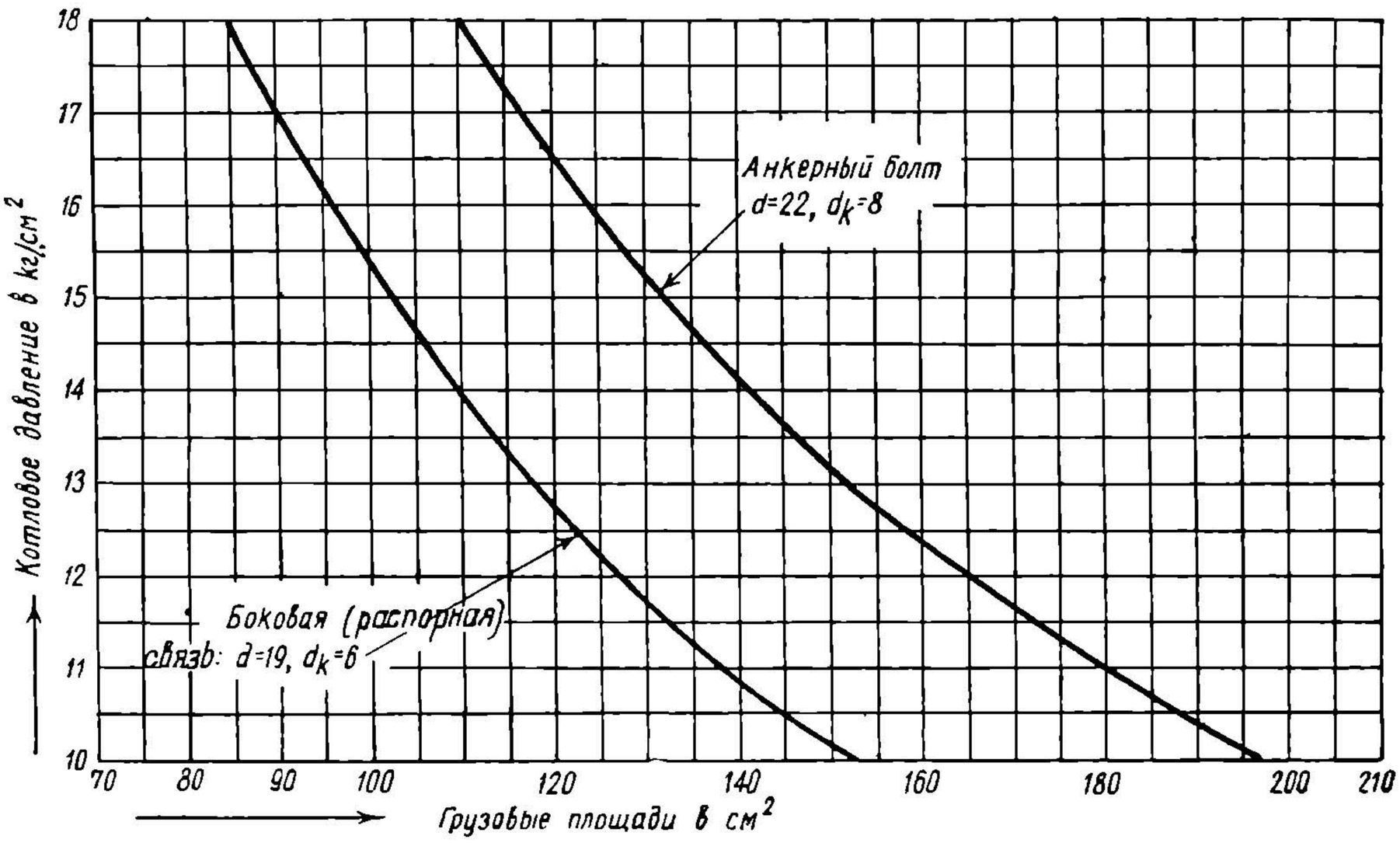
Если смежные четыре связи расположены по вершинам трапеции, как показано на фиг. 75, то

$$F_{гр} = a\,\frac{b + b_1}{2}$$

и

$$R_z = \frac{a\,\frac{b + b_1}{2}\,p_k}{\frac{\pi}{4}(d^2 - d^2{}_0)} = \frac{2a\,(b + b_1)\,p_k}{\pi\,(d - d^2{}_0)} \tag{90'}$$

Расчет анкерных болтов аналогичен изложенному; на фиг. 76 нанесена кривая грузовых площадей и для анкерных болтов. Следует заметить, что у наших ста-



Фиг. 76.

рых паровозов напряжение стальных связей не превосходит 250—450 *кг/см²*. Такое небольшое напряжение объясняется как излишне большой надежностью, положенной в основу при конструировании котлов, так и отсутствием в свое время рациональных типов подвижных связей, почти свободных от изгиба.

Боковыми связями и анкерными болтами взаимно укрепляются лишь те участки стенок огневой коробки и кожуха, которые расположены непосредственно «напротив» один другого. Есть однако места топки, которые не могут быть укрепленными таким способом.

Лапчатые связи

В топке имеется один участок плоской стенки — то место переднего листа огневой коробки, которое расположено против верхнего загиба борта ухватного листа кожуха, который всегда приходится укреплять особым способом — лап-

НТБ
ДНУЖТ

чатыми связями. На фиг. 4 (чертеж паровоза «Эм») показана лапчатая связь (в нижней левой части последнего барабана котла); здесь топка не имеет камеры догорания. На фиг. 60, изображающей топку паровозов серий «ФД» и «ИС», показана лапчатая связь при наличии камеры догорания.

Расчет лапчатой связи ведется по отдельным ее элементам, а именно:

а) собственно связь рассчитывается на разрыв с допускаемым напряжением $R_z = 600$ *кг/см²*;

б) лапу при обычной ее конструкции рассчитывают на эксцентричное растяжение, т. е. на изгиб плюс растяжение с допускаемым суммарным напряжением $R_z = (600 \div 700)$ *кг/см²*;

в) заклепки, укрепляющие лапу к барабану, рассчитывают на срез с допускаемым напряжением $R_s = (650 \div 750)$ *кг/см²*.

Материал связи — Ст.-1 и Ст.-1 повыш.; материал лапы — Ст.-3, заклепок — Ст.-2.

Самая связь делается с глубоким контрольным каналом во всю длину ненарезной части связи. Только в этом случае оказывается возможным узнать обрыв связи у того ее конца, который ввертывается в лапу.

Поперечные и наклонные связи

Для укрепления верхних участков боковых стенок выше потолка топки Бельпера, т. е. там, где невозможна постановка обычных распорных связей, приходится связывать солидными тяжами-связями правую и левую боковые стенки кожуха, как это показано на левой проекции фиг. 12.

Эти тяжи, называемые поперечными связями, применяются на всех паровозах с топками Бельпера. Такие связи обычно располагаются в два ряда. Связи верхнего ряда ввертываются концами в отверстия верхнего (потолочного) листа кожуха и во внутреннюю накладку шва, соединяющего верхний лист с боковым. Связи же нижнего ряда ввертываются в обе накладки того же шва и в полуотверстия верхнего и бокового листов, так как оси этих связей совпадают с уровнем стыка этих листов. При такой конструкции шов почти разгружен от изгибающих усилий.

Что касается «грузовых» площадей, укрепляемых поперечными связями, то по фиг. 77 эта площадь, приходящаяся на одну связь верхнего ряда, равна:

$$F_1 = \frac{a+b}{2} \cdot l,$$

а для одной связи нижнего ряда:

$$F_2 = \frac{b+c}{2} \cdot l.$$

При этом расчете напряжение можно принять $R_z = 900$ *кг/см²*.

В плоских бельперовских потолках кожуха имеется еще одно место, требующее специального укрепления, — передние части потолка и боковых листов, именно те их участки, которые расположены примерно в плоскости передней стенки топки (решетки). От выпучивания эти участки предохраняются парой (одна — левая, другая — правая) наклонных связей. Последние видны как на правой половине левой проекции фиг. 12, так и на фиг. 4 (над решетчатым листом). Наклонные связи имеют диаметр средней части 35—40 *мм*; верхним и нижним концами они ввертываются в фасонные накладки, приклепанные или, лучше, приваренные снаружи кожуха.

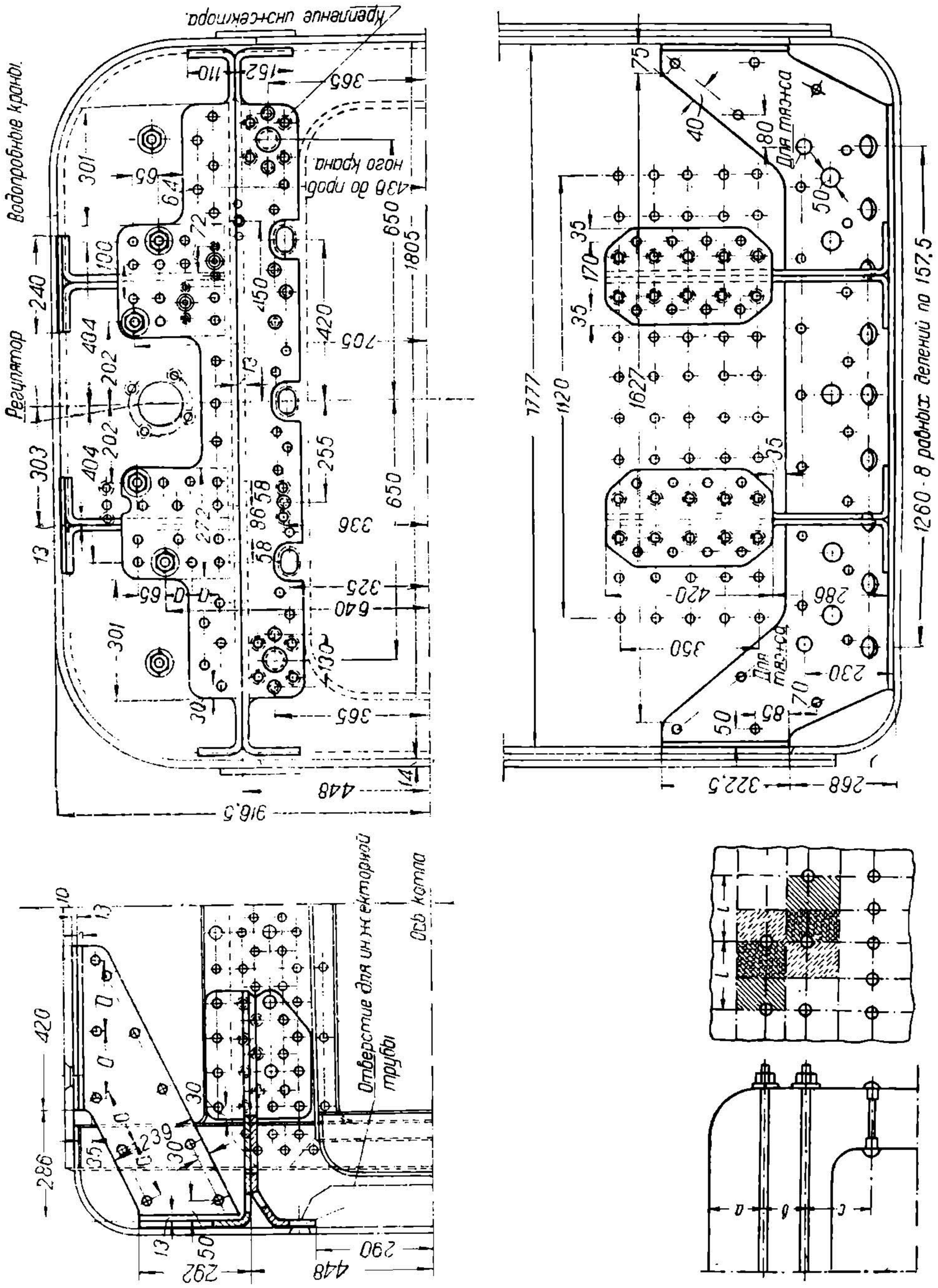
Продольные тяжи и контрфорсы

Верхняя часть лобового листа не может, естественно, укрепляться связями; здесь применяются или контрфорсы, или, лучше, продольные тяжи. В старину употреблялось крепление одними контрфорсами, т. е. железными клепаными балками, укреплявшимися с помощью заклепок на всем протяжении плоской стенки.

НТБ ДНУЖТ

Такие контрфорсы могли иметь применение только в малых котлах и при небольшом давлении пара. Уже в более или менее крупных котлах такие контрфорсы оказывались недостаточно жесткими и надежными.

Естественным развитием простых контрфорсов явилось изготовление их из горизонтально расположенного широкого листа с загнутыми краями, при-



Фиг. 77а.

Фиг. 77.

клепываемыми к лобовому и б о к о в ы м л и с т а м к о ж у х а. Здесь жесткость лобового листа увеличивается в несколько раз.

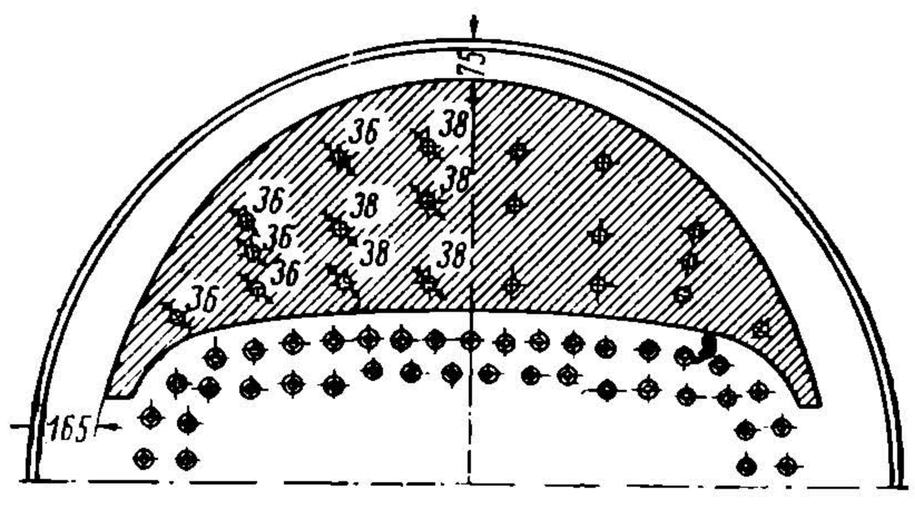
У кожухов с потолками Бельпера, когда размеры верхней части лобового листа увеличиваются еще более, такой контрфорс оказывается недостаточным для укрепления средних участков верхней плоскости лобового листа (здесь

НТБ ДНУЖТ

изгибающий момент достигает наибольших значений). Поэтому целый ряд наших котлов с потолками Бельпера имеет комбинированный способ укрепления верхней части лобового листа; во-первых, имеется горизонтально расположенный контрфорс, склепанный из двух листов с загнутыми бортами, а над этим контрфорсом расположены два двойных раскосных листа по типу наклонной связи, соединяющие в одно жесткое целое верхние участки лобового листа с потолком. Раскосы дополнительно укрепляются продольными тяжами. Кроме того, верхний правый и левый углы лобового листа также укрепляются длинными сквозными тяжами, пропущенными своими другими концами через плоские стенки верхних углов смычного листа. Эти тяжи таким образом работают в тех же условиях, как и поперечные надпотолочные связи. Вариаций подобного комбинирования частей может быть большое количество. Например в паровозах серии «Эу» раскосные листы остаются без дополнительного укрепления их тяжами (фиг. 77а), но зато тяжи поставлены для дополнительного укрепления самих контрфорсов. Лобовый лист паровоза серии «СО», как это видно по фиг. 59, укреплен рядом раскосов.

Материал, из которого изготовляются все перечисленные детали, т. е. контрфорсы, раскосы и продольные тяжи, — Ст.-2.

Большое количество деталей крепления широких лобовых листов (при потолках Бельпера) является слабым местом котла. Уже не говоря о том, что все эти детали утяжеляют топку — и без того наиболее тяжелую часть котла, они и по эксплуатационным соображениям (промывка) оказываются неудобными. Наконец, эти крепления создают общую жесткость кожуха, являющуюся нежелательной, в особенности при стальных топках. Все эти соображения заставили или в корне пересмотреть конструкции укрепления верха лобового листа при переходе на мощное паровозостроение. Здесь было положено за основу сохранение необходимой эластичности кожуха (мы не говорим о жестком соединении кожуха с цилиндрической частью).



Фиг. 78.

Наличие полукруглого потолка кожуха и сравнительно небольшие размеры плоской верхней части лобового листа при полукруглом потолке кожуха — позволяют избегнуть применения сложных систем контрфорсов, здесь ставят лишь нужное количество продольных тяжей (серии «ФД» и «ИС») или в крайнем случае одних раскосов (серия «СО»). В дальнейшем мы увидим, что и условия расчетов на прочность подобного укрепления лобового листа отличаются большей четкостью.

Рассмотрим укрепление продольными тяжами. Передние концы продольных тяжей укрепляются или приклепкой их к потолку кожуха (у мощных паровозов), или удерживаются на месте при помощи штампованных скоб, приклепанных изнутри к заднему барабану у наших старых котлов (фиг. 4).

Задний конец тяжа прежде пропускали через укрепляемый тяжом лист и снабжали гайкой; лучшим способом укрепления нужно считать шарнирное соединение с таврами, приклепанными изнутри к лобовому листу. Тяжи заканчиваются коваными вилками, охватывающими среднюю полку тавра. В зависимости от ширины укрепляемого тяжами участка лобового листа длина тавров делается различной. К каждому тавру (один из них показан на фиг. 60) крепятся от одного до трех тяжей. На фиг. 78 показана верхняя часть лобового листа паровозов серий «ФД» и «ИС», укрепляемая 20 тяжами (8 тавров); заштрихована грузовая площадь.

На фиг. 79 показан один из этих тяжей.

Продольные тяжи должны быть расставлены так, чтобы участки листа, расположенные между ними, были примерно равны. Рассматривая фиг. 78,

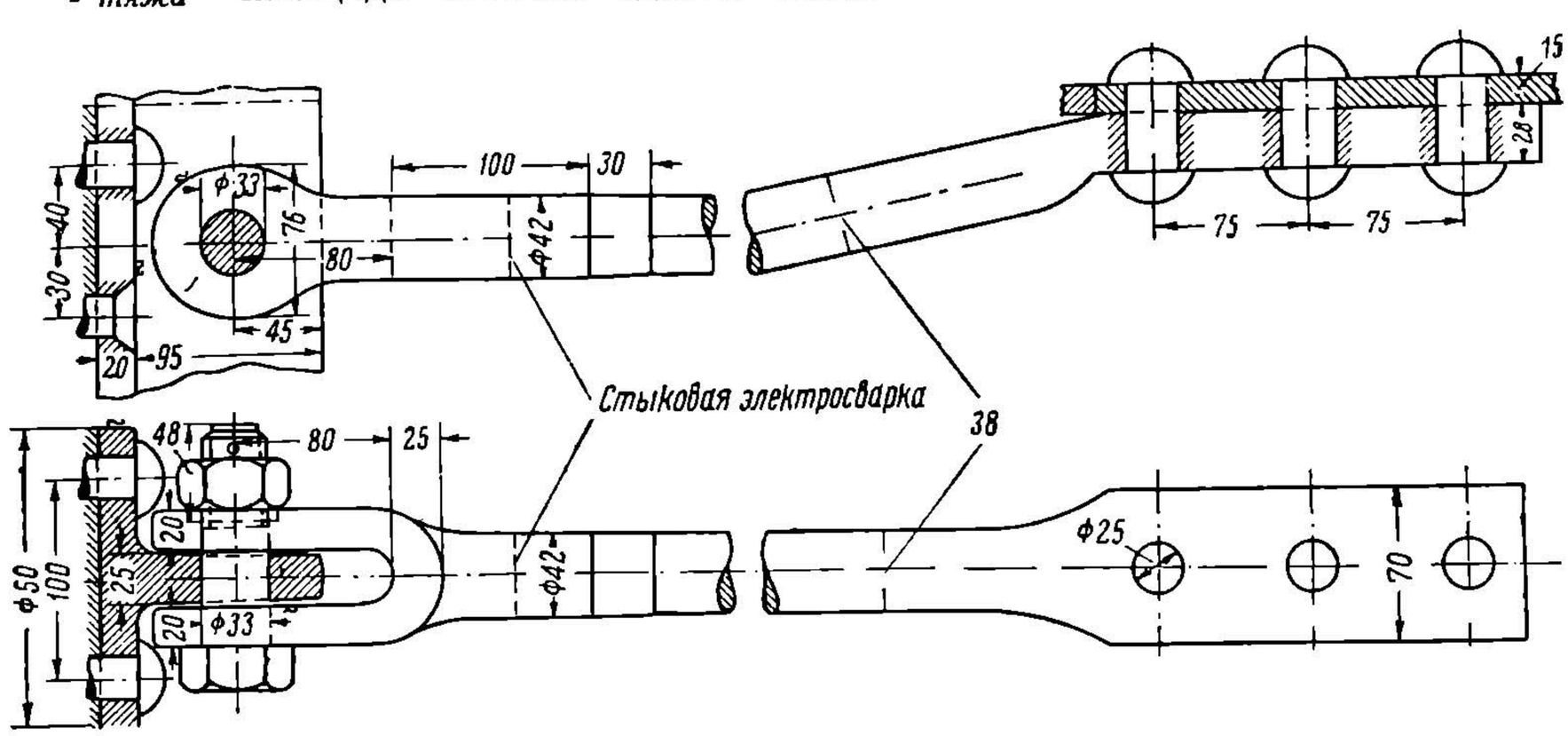
НТБ ДНУЖТ

мы видим некоторую неравномерность расстановки тяжей; поэтому последние сделаны различного диаметра (36 и 38,5 *мм*). При горизонтальном расположении тяжей и вертикальном лобовом листе расчетной формулой для тяжей является:

$$R_z = \frac{Q}{\Sigma F_{тяжа}} = \frac{F_{груз} \cdot p_k}{\Sigma F_{тяжа}} > 700 \ кг/см^2 \qquad (91)$$

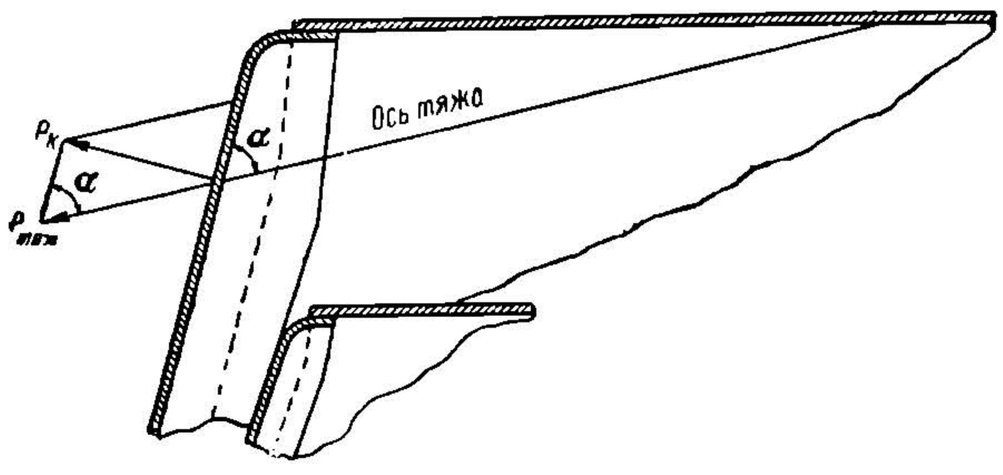
в предположении, что напряжение во всех тяжах одинаково.
Здесь:

Q — сила, нагружающая все тяжи;
$F_{груз}$ — грузовая площадь лобового листа;
$F_{тяжа}$ — площадь сечения одного тяжа.



Фиг. 79.

Но так как тяжи располагаются обычно под углом к горизонтали, как это показано на фиг. 80, то сила вдоль тяжа соответственно увеличивается; обозначим:



Фиг. 80.

F_1 — грузовую площадь одного из тяжей в $см^2$;

α — угол между осью тяжа и плоскостью лобового листа.

Тогда напряжение в тяже:

$$R_{z1} = \frac{F_1 p_k}{F_{тяжа} \cdot \sin\alpha} \qquad (92)$$

Если угол наклона α всех тяжей к плоскости лобового листа один и тот же, то напряжение в них в среднем

$$R_z = \frac{p_k \cdot \Sigma F_1}{\sin\alpha \cdot \Sigma F_{тяжа}} = \frac{p_k F_{груз}}{\sin\alpha \cdot \Sigma F_{тяжа}}. \qquad (92')$$

Наклон тяжей должен быть возможно меньшим, чтобы избежать их перенапряжения; в практических условиях удается не превосходить наклона $^1/_5$—$^1/_6$.

При расчете укрепления лобового листа совместно тяжами, контрфорсами и раскосами приходится с самого начала решать вопрос о распределении полной силы, действующей на лобовый лист, между контрфорсами, раскосами и тяжами. Делаем допущение, что заклепки, крепящие контрфорсы к боковым листам кожуха, заклепки и анкерные болты, крепящие раскосы к потолку, а также

НТБ ДНУЖТ

и валики в тяжах — все работают с одним и тем же напряжением на срез. При этом считаем, что напряжение:

$$R_z = 1{,}25 \cdot R_s .$$

Задаваясь R_z и R_s, находим силы, действующие на контрфорсы, раскосы и тяжи.

Принимая, что все элементы крепления работают с соответствующими безопасными напряжениями, определяем ту силу, которую воспринимают отдельные элементы. Хотя это допущение и условно, оно имеет реальную обоснованность ввиду упругости всего лобового листа: если при сборке котла отдельные части будут поставлены с излишними «начальными» напряжениями, что часто имеет место например у контрфорсов, приклепываемых к трем стенкам (лобовой и двум боковым), находящимся в разных плоскостях, то эти части, будучи изготовлены из очень мягкого материала (Ст.-2), несколько деформируются и тем самым передадут нагрузку на другие элементы крепления. Конечно, деформации здесь могут измеряться долями миллиметра; в работе котла все элементы крепления верхней части лобового листа будут нагружены.

Расчет излагаем с ориентировкой на типовое крепление по фиг. 77а (клепаный контрфорс).

Обозначим через: n_1 и d_1 — число и диаметр заклепок, крепящих продольные фланцы контрфорсов к боковым стенкам кожуха (с обеих сторон);

n_2 и d_2 — число и диаметр заклепок, крепящих верхние фланцы всех раскосных листов к потолку кожуха;

n_3 и d_3 — число и диаметр анкерных болтов, проходящих через те же верхние фланцы раскосных листов;

n_4 и d_4 — число и диаметр валиков, укрепляющих вилки тяжей, охватывающие горизонтальные листы контрфорсов (по одному валику на тяж);

n_5 и d_5 — число и диаметр дополнительных тяжей, укрепляющих непосредственно лобовый лист. На фиг. 77а предусматриваются шесть тяжей. Тяжи работают на растяжение, в то время как все перечисленные раньше части работают на срез.

Сила, действующая на все эти отдельные элементы, будет вызывать в них напряжения, определяемые из уравнения:

$$P = p_k \cdot F_{груз} = \frac{n_1 \pi d^2_1}{4} R_s + \frac{n_2 \pi d^2_2}{4} R_s + \frac{n_3 \pi d^2_3}{4} R_s +$$

$$+ \frac{2\pi\, n_4 d^2_4}{4} R_s + \frac{n_5 \pi d^2_5}{4} \cdot 1{,}25 R_s .$$

Пользуясь этой формулой, с достаточной степенью точности можно определить напряжение на срез в элементах крепления лобового листа существующих паровозов:

$$R_s = \frac{4 \cdot F_{груз} \quad P_к}{\pi (n_1 d^2_1 + n_2 d^2_2 + n_3 d^2_3 + 2 n_4 d^2_4 + 1{,}25\, n_5 d^2_5)}, \qquad (93)$$

а затем и напряжение R_z тяжей, зная диаметр последних. Далее можно подсчитать валики тяжей на изгиб, раскосы на растяжение и контрфорсы на изгиб.

Сила, приходящаяся на горизонтальный контрфорс, принимается равной:

$$P_{к.ф} = \frac{\pi}{4} (n_1 d^2_1 + 2 n_2 d^2_2) R_s . \qquad (94)$$

Напомним, что по фиг. 77а два продольных тяжа укрепляют горизонтальные листы (контрфорсы).

Для раскосных листов:

$$P_{раск} = \frac{\pi}{4} (n_2 d^2_2 + n_3 d^2_3) R_s . \qquad (95)$$

НТБ ДНУЖТ

Затем определяем силу, растягивающую тяжи. Для тяжей, укрепляющих контрфорсы или раскосные листы:

$$P'_m = \frac{2\pi}{4} n_4 d^2_4 R_s = \frac{\pi}{2} n_4 d^2_4 R_s.$$

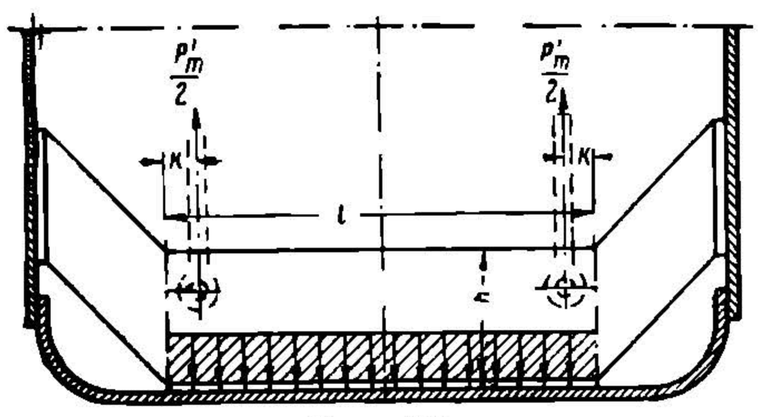
Сила, растягивающая тяжи, укрепленные в самом лобовом листе:

$$P''_m = \frac{1{,}25\,\pi}{4} n_5 d^2_5 R_s.$$

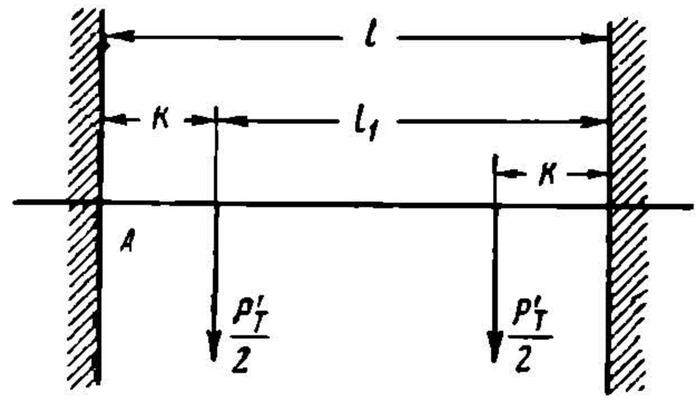
На эти силы, $P_{к.ср}$, $P_{раск}$, P'_m и P''_m, и рассчитываем перечисленные детали.

Конечно, изложенный способ определения сил в отдельных элементах — приближенный, так как в действительности лобовый лист представляет собой как бы балку, лежащую на нескольких опорах, т. е. статически неопределенную систему.

Вкратце изложим расчет листов контрфорсов и раскосных листов.



Фиг. 81.



Фиг. 82.

На фиг. 81 показан план контрфорса. Рассматривая наиболее опасную среднюю часть его, длиной l, как балку, защемленную по концам и нагруженную равномерно распределенной нагрузкой $P_{к.ф}$, имеем расчетный изгибающий момент:

$$M = \frac{P_{к.ф}}{12} \cdot l.$$

Напряжение на изгиб контрфорса, если отбросить продольные тяжи (показаны на фиг. 81 пунктиром):

$$R_b = \frac{M}{W} = \frac{P_{к \cdot ф}\, l}{12 \cdot W}.$$

Здесь W — момент сопротивления сечения контрфорса в горизонтальной плоскости.

Напряжение изгиба R_b считаем возможным допустить до 800 — 900 *кг/см*². [1]

Если контрфорс имеет добавочное укрепление двумя продольными тяжами, то момент

$$M = \frac{(P_{к.ф} + P'_m) \cdot l}{12} M_m.$$

Здесь сила $P_{к.ф}$ подсчитывается, естественно, только для самого контрфорса, т. е. без учета тяжей.

Чтобы найти выражение для M_m, т. е. момента, разгружающего контрфорс за счет постановки тяжей, представим схему работы этих тяжей, как показано на фиг. 82.

[1] У некоторых наших старых котлов напряжения в контрфорсах достигают 1500 *кг/см*².

НТБ ДНУЖТ

Момент в сечении A от действия одной ближайшей (левой) силы $\frac{P'_m}{2}$ равен:

$$M'_A = \frac{P'_m}{2} \cdot \frac{l^2_1 \cdot k}{l^2} \cdot$$

Здесь l и $к$ обозначают расстояния от оси тяжа до концов «балки», т. е.

$$l = l_1 + k.$$

Момент в том же сечении A от действия другой (правой на фиг. 82) силы P'_m равен:

$$M''_A = \frac{P'_m}{2} \cdot \frac{k^2 \cdot l_1}{l^2}.$$

Сумма этих двух моментов M'_A и M''_A, изгибающих балку в сечении A, равна:

$$M_A = M'_A + M''_A = \frac{P'_m}{2} \cdot \frac{l^2_1 \cdot k}{l^2} + \frac{P'_m}{2} \quad \frac{k^2 \cdot l_1}{l^2} = \frac{P'_m}{2\,l^2}(l^2_1 k + l_1 k^2) =$$

$$= \frac{P'_m l_1 \cdot k}{2l^2}(l_1 + k) = \frac{P'_m \cdot l_1 \cdot k}{2l^2} \cdot l = \frac{P'_m \cdot l_1 \cdot k}{2l}.$$

Итак, окончательно, момент, изгибающий контрфорс, выразится следующей формулой:

$$M = \frac{(P_{к.ф} + P'_m)\,l}{12} - \frac{P'_m \cdot l_1 \cdot k}{2l}. \qquad (96)$$

Зная величину момента, определяем напряжение на изгиб.

Каждый из раскосов должен безопасно выдерживать часть нагрузки на лобовый лист, равную

$$P_{раск} = \frac{\frac{\pi}{4}(n_2 d^2_2 + n_3 d^2_3) R_s}{n}, \qquad (97)$$

где n — число раскосов.

На эту силу и ведем расчет каждого раскоса. Напомним, что каждый раскос по фиг. 77а склепан из двух штампованных листов. Здесь, как и в предыдущих случаях, приходится сделать допущение, также, впрочем, незначительно искажающее действительные условия работы раскосов, а именно: предполагается, что раскосы жестко заделаны в потолочный лист. На самом же деле потолок должен несколько прогибаться вниз под действием растянутого и изгибаемого в вертикальной плоскости раскоса; но так как потолок кожуха укрепляется на всем своем протяжении анкерными болтами и на него давит пар, с достаточной степенью точности можно предположить, что потолочный лист остается на месте, и допущение о защемлении раскоса достаточно реально.

На фиг. 83 показано разложение силы $P'_{раск}$ на две силы, одна из которых:

$$Q = \frac{P'_{раск}}{\cos\alpha}$$

растягивает раскос, а другая:

$$R = P'_{раск} \cdot \operatorname{tg}\alpha$$

нагружается на срезы заклепки, крепящие раскос к лобовому листу. Напряжение в раскосе на растяжение:

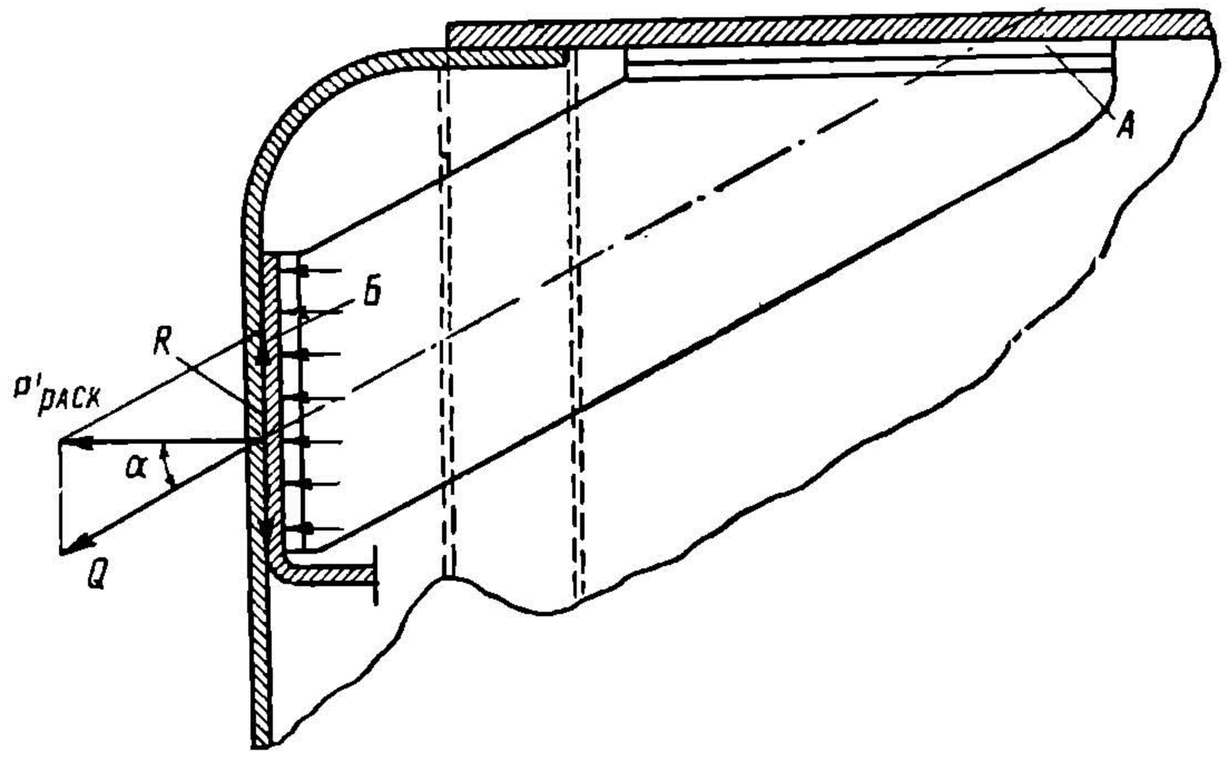
$$R_z = \frac{Q}{\delta h} = \frac{P'_{раск}}{\cos\alpha \delta h},$$

где δ — толщина листа раскоса и h — ширина.

НТБ ДНУЖТ

В существующих паровозах $R_z \leq 600$ *кг/см²*; эта величина свободно может быть поднята до $R_z = 700$ *кг/см²*.

Здесь необходимо упомянуть, что раскосные листы иногда рассчитывают дополнительно и на изгиб, т. е. на сложное напряжение от растяжения и изгиба. Попытки дать такой расчет раскосов приводят к необходимости допустить в них, согласно существующим десяткам типов паровозов, огромные нереальные напряжения, превосходящие 1500—2000 *кг/см²*. В действительности таких напряжений быть не может как из-за работы заклепок лобового листа на срез, что как бы парализует изгибающие моменты, так и из-за наличия жестких подкладок *А* и *Б* под фланцы раскосов.



Фиг. 83.

Во всех расчетах контрфорсов и раскосов, выполняемых согласно изложенным методам, для получения наиболее точных результатов желательно учитывать ослабление листов отверстиями для заклепок, соединяющих отдельные листы в одну монолитную конструкцию.

В случае цельносварной конструкции контрфорса расчет ведется в точности тем же способом; силы, действующие на отдельные элементы, определяются по условиям работы на срез сварных швов.

Во всех случаях расчетов крепления лобового листа продольные тяжи рассчитываются только на растяжение; допускаемое напряжение:

$$R_z = 800 \text{ кг/см}^2.$$

Считаем, что напряжение на простое растяжение $R_z = 800$ *кг/см²* должно быть признано наибольшим допустимым, так как в действительных условиях работы в тяжах возникают дополнительные напряжения на изгиб от собственного веса. Американцы, как общее правило, не допускают напряжения на разрыв в тяжах свыше 700 *кг/см²*.

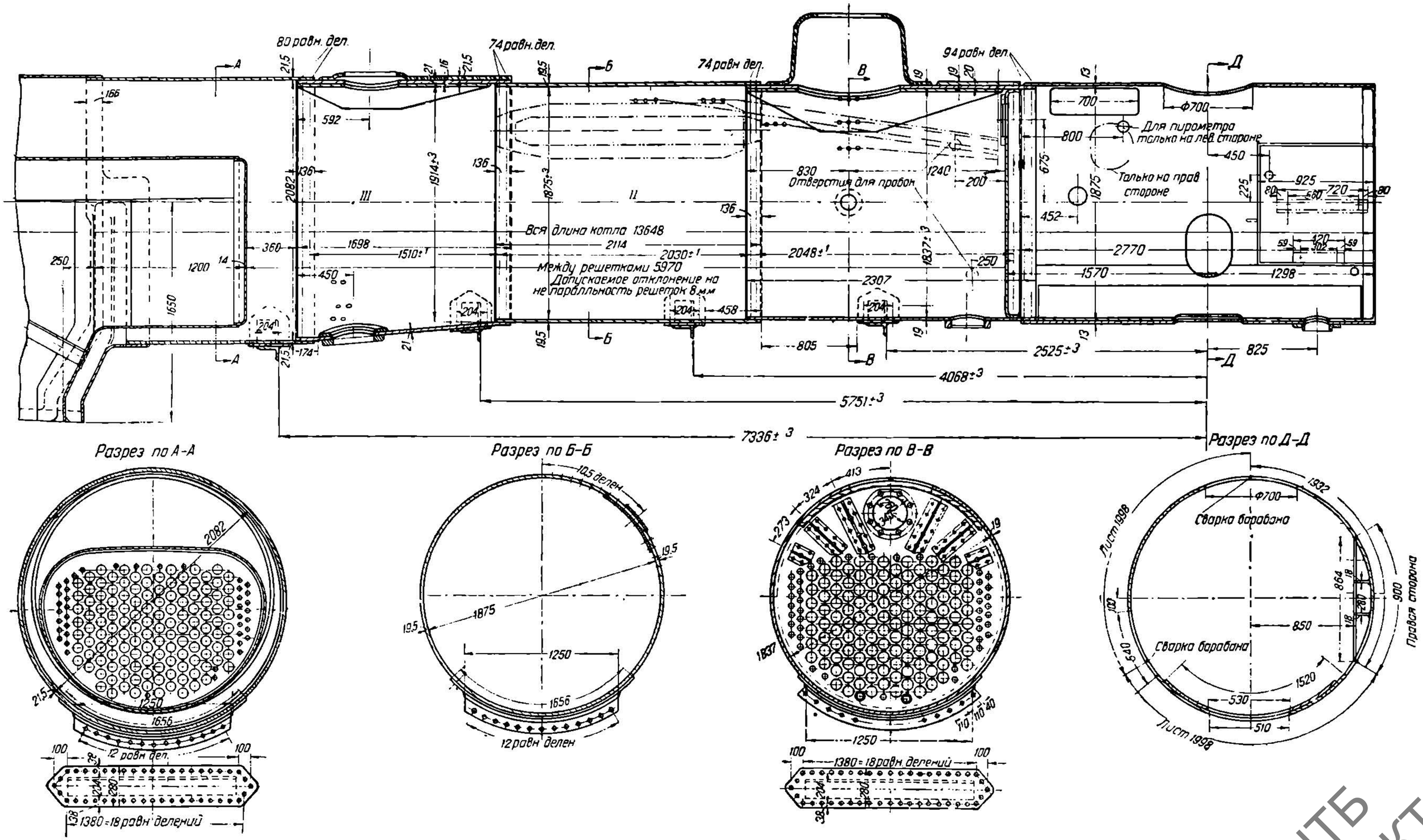
§ 4. Цилиндрическая часть котла

Барабаны котла

Цилиндрическая часть котла является основной его частью, заполненной на определенную высоту жаровыми и дымогарными трубами, составленной из нескольких (обычно 2—4) барабанов.

Наилучшим соединением барабанов является телескопическое, т. е. чтобы передний барабан входил во второй, второй — в третий и т. д., как показано на фиг. 84, изображающей цилиндрическую часть котла паровозов серии «ФД». В этом случае соединения барабанов мы имеем постепенно увеличивающийся к кожуху топки диаметр барабанов; соответственно увеличивается и объем водяного и парового пространств (ряд наших старых паровозов этому

НТБ ДНУЖТ

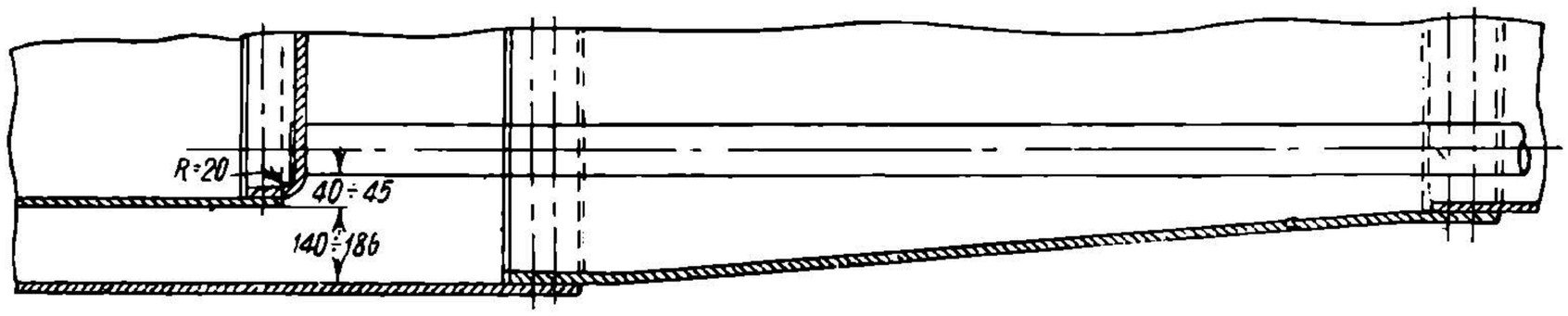


Фиг. 84.

НТБ ДНУЖТ

требованию не отвечает). В том месте, где имеется наиболее напряженная работа котла, у топки, — и диаметр барабанов оказывается наибольшим. Телескопическое соединение барабанов имеет еще и то достоинство, что при спуске воды из котла последняя сливается целиком, не застаиваясь в отдельных участках.

Когда в заднем барабане (ближайшем к топке) располагается барабан камеры догорания, то он должен быть в особенности большим по сравнению с передним, так как между полубарабаном камеры догорания и барабаном котла должен быть зазор 140 — 180 *мм* и, кроме того, нижние ряды дымогарных труб не должны подходить ближе чем на 40—45 *мм* к наружной образующей барабана камеры догорания, как это показано на фиг. 85, откуда



Фиг. 85.

видно, что задние участки нижних дымогарных труб отстоят от стенки барабана на расстоянии

$$(40 + 140) \div (45 + 180) = (180 \div 225)\ мм.$$

Чтобы не делать столь значительной высоты водяного объема по всей длине, обычно в котлах, имеющих камеры догорания, и применяют конические барабаны. Наличие конического барабана удачно разрешает вопрос об уменьшении нижнего водяного объема в передней части котла и в то же время делает возможным уменьшить диаметры передних барабанов котла и, следовательно, облегчить вес его.

Облегчение веса получается, во-первых, за счет меньшего объема воды, во-вторых, за счет меньшего диаметра передних барабанов и, в третьих, за счет соответственно меньшей толщины стенки барабанов, которая зависит от диаметра барабана.

Число барабанов должно быть по возможности небольшим с тем, чтобы уменьшить число заклепочных швов котла. В США изготовляют листы шириной до 3,7 *м* и даже больше; мы пока ограничены шириной, как максимум, 2,7 *м*.

Паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют листы барабанов шириной не свыше 2307 *мм*, как это видно из фиг. 84.

При наличии полукруглого потолка кожуха топки последний приклепывается непосредственно к заднему барабану.

Продольные швы барабанов располагаются в верхней части барабана, желательно — за пределами водяного пространства, так как в этом случае швы не так подвержены разъеданию котельной водой и вообще закипанию. Продольные швы, работающие в очень тяжелых условиях из-за огромных величин действующих в них усилий, делаются всегда встык с двумя накладками. В современных котлах, с давлением пара в 15—17 *ат* и диаметром барабанов до 2,2 *м* и более, приходится обращать серьезное внимание на расчет шва. Шаг и диаметр заклепок являются типовыми, и расчет шва производится всецело согласно правилам и формулам, даваемым в общем курсе деталей машин. Об оценке типов шва нужно сказать несколько слов.

Прежде всего укажем, что до сих пор продольные швы барабанов паровозных котлов делаются клепаными; сварные швы пока, как правило, не практикуются, за исключением ряда опытных цельносварных конструкций. Огромные усилия, развивающиеся в продольных швах, и в особенности значительные толщины свариваемых листов, вызывающие необходимость наложения многослойных швов, с неизбежными внутренними напряжениями в них, заставляют с большой осторожностью решать вопрос о сварке продольных швов

НТБ
ДНУЖТ

барабанов. Огромные преимущества сварки перед клепкой заставляют работать над внедрением цельносварных котлов. Ворошиловградский завод впервые выпускает ряд паровозов серии «ФД» со сварными котлами.

Ввиду того, что в современных больших котлах приходится принимать все меры к облегчению веса барабанов, нужно стремиться к всемерному увеличению коэфициента прочности заклепочного шва, как наиболее слабого места всякого клепаного барабана. У всякого клепаного шва этот коэфициент всегда меньше единицы. Обычно применяются многорядные швы с двумя накладками, у которых наибольшие коэфициенты прочности бывают порядка 0,8—0,91 (на паровозах серий «Э^{У}» и «С^{У}» трехрядные продольные швы, точнее $2^1/_2$-рядные, а на паровозах серий «ФД» и «ИС» — четырехрядные).

Для получения высококачественного шва соединяемые встык продольные кромки барабанов провариваются или во всю длину, или на расстоянии 300—350 *мм*, считая от торцов барабана. Помимо большей надежности работы шва, это позволяет отказаться от применения ласок (оттяжка углов листов с постепенным уменьшением до нуля толщины листа) на накладках и тем самым значительно упростить сборку котла. Ласки всегда делались у швов котлов наших старых паровозов, и лишь применение сварки позволило отказаться от них.

Применение сварки кромок значительно упрощает форму накладок, облегчает пригонку их, ускоряет и удешевляет сборку котла. Накладки в этом случае имеют простой контур, близкий к прямоугольному.

Стремление уменьшить количество отдельных деталей цилиндрической части котла вместе с необходимостью увеличения надежности работы их побудило объединить в одно изделие внутренние накладки продольных швов с различными подклепками котла (под сухопарный колпак и др.). На фиг. 84 ясно показаны контуры таких накладок.

В нижней части одного или нескольких барабанов к целому месту снаружи приклепываются поперечные накладки, служащие для укрепления гибких подбрюшников котла. Так, у паровозов серии «Э» сделана одна накладка (на среднем барабане), у паровозов серии «ИС» — три, у паровозов серии «ФД» — четыре. Эти накладки и способ их крепления показаны на фиг. 84.

Материал, из которого изготовляются листы барабанов, так же, как и других основных частей котла (за исключением топок), — Ст.-2 по ОСТ 4133. За границей получает распространение легированная сталь с присадком никеля (Германия, Англия) или силиция (США). Присадок силиция (кремния), практикуемый американцами, несколько повышает крепость стали и уменьшает разъедание (коррозию) стенок котельной водой. Это позволяет значительно уменьшить расчетный запас стенок на износ—почти до нуля и тем самым еще более облегчить котел.

Положительные результаты применения силициевой стали в США, а также и на паровозах серии «Т^{А}», барабаны которых изготовлены из этой стали, заставляют форсировать разрешение вопроса о применении силициевой стали в котлах нашей постройки.

Представим себе тонкостенный барабан с образующей длиной в 1 *см*, диаметром $D_{вн}$ *см*, нагруженный изнутри давлением пара, которое, как известно, распределено равномерно по всей поверхности барабана. При такой нагрузке барабан может разорваться по какой-либо диаметральной плоскости. Разрывающее усилие, равное сумме проекций всех элементарных давлений, нормальных к поверхности барабана на линию, перпендикулярную диаметру AB, равно, как известно, $p_к D_{вн}$, где $p_к$ — давление пара в *кг/см*^{2}.

Напряжение в верхней и нижней стенках на разрыв по целому месту:

$$R_z = \frac{P}{F} = \frac{p_k \cdot D_{вн}}{2\delta}. \qquad (99)$$

При расчете толщины стенки этой формуле придают вид:

$$\delta = \frac{p_k \cdot D_{вн}}{2R_z}. \qquad (100)$$

НТБ ДНУЖТ

Если $\sigma_{вр}$ — временное сопротивление и n — запас прочности, то:

$$R_z = \frac{\sigma_{вр}}{n}$$

и формула для определения толщины стенки приобретает вид:

$$\delta = \frac{p_k \quad D_{вн} \quad n}{2\sigma_{вр}}. \qquad (100')$$

По этой формуле, зная величину n, вообще говоря, уже можно рассчитать стенку барабана. Если рассчитывается сварной барабан, то последняя формула является расчетной, при условии, конечно, что сварной продольный шов будет иметь прочность не меньшую, чем по целому месту, и, кроме того, толщина листа будет несколько увеличена на износ котельной водой.

Окончательно формула для расчета толщины стенки клепаного барабана напишется так:

$$\delta = \frac{p_k \cdot D_{вн} \quad n}{2\,\sigma_{вр} \quad \varphi} + c. \qquad (101)$$

В этой формуле:

$D_{вн}$ — внутренний диаметр барабана в *см*;

n — запас прочности, принимаемый равным 3,8—4,0 при современных методах клепки;

$\sigma_{вр}$ — временное сопротивление стали (Ст.-2), принимаемое согласно ОСТ: $\sigma_{вр}$ = (3400—4200) *кг/см²*, в расчетах следует брать $\sigma_{вр}$ = = 3850 *кг/см²*;

φ — коэфициент прочности шва, равный 0,7—0,91, в зависимости от типа шва;

$p_к$ — давление в котле в *кг/см²*;

c — увеличение толщины стенки на износ;

c = 0,15 *см* для Ст.-2 и c = 0,00—0,05 *см* — для силициевой стали (принято в США).

Полученную толщину δ нужно согласовать с ОСТ, отклонения допускаются в $\pm$ 0,5 *мм*.

Практически стенка барабана получается в пределах 15 — 28 *мм*.

Для сварных барабанов принимают коэфициент прочности шва $\varphi = 1$ (т. е. шов равнопрочен с целым сечением листа). Расчетная формула в этом случае преобразовывается:

$$\delta = \frac{p_k \cdot D_{вн} \cdot n}{2\sigma_{вр}} + c. \qquad (101')$$

Сухопарник

Сухопарник (паровой колпак) ставится на всякий паровозный котел. Размеры сухопарника вообще должны быть возможно большие. Старинные паровозы имели очень большие сухопарники. По мере увеличения размеров котла и повышения оси последнего над головкой рельса паровые колпаки имеют все меньшую и меньшую высоту. Если колпаки котлов паровозов серий «О^{в}», «Н» и многих других старинных паровозов имеют высоту 1 *м* и больше , то сухопарники паровозов серии «Э» имеют высоту 900 *мм*, серии «С^{у}» — 690 *мм*, а паровозы серий «ФД» и «ИС» — всего 560 *мм*. У крупнейших американских котлов по ограничению габаритом высота колпака уменьшается до 300 и даже 250 *мм*. Конечно, при невысоких колпаках делается несколько большим их диаметр, но все же их объем оказывается значительно меньшим, чем у старых паровозов. Поэтому на сухопарник приходится смотреть как на некоторое, несколько при поднятое над паровым пространством помещение, в котором устанавливаются как паросушитель, так и регулятор (старые типы паровозов) или главный паровой запорный вентиль (мощные паровозы). Величина же самого объема сухопарника отходит на второй план: при постановке достаточно активных паросуши-

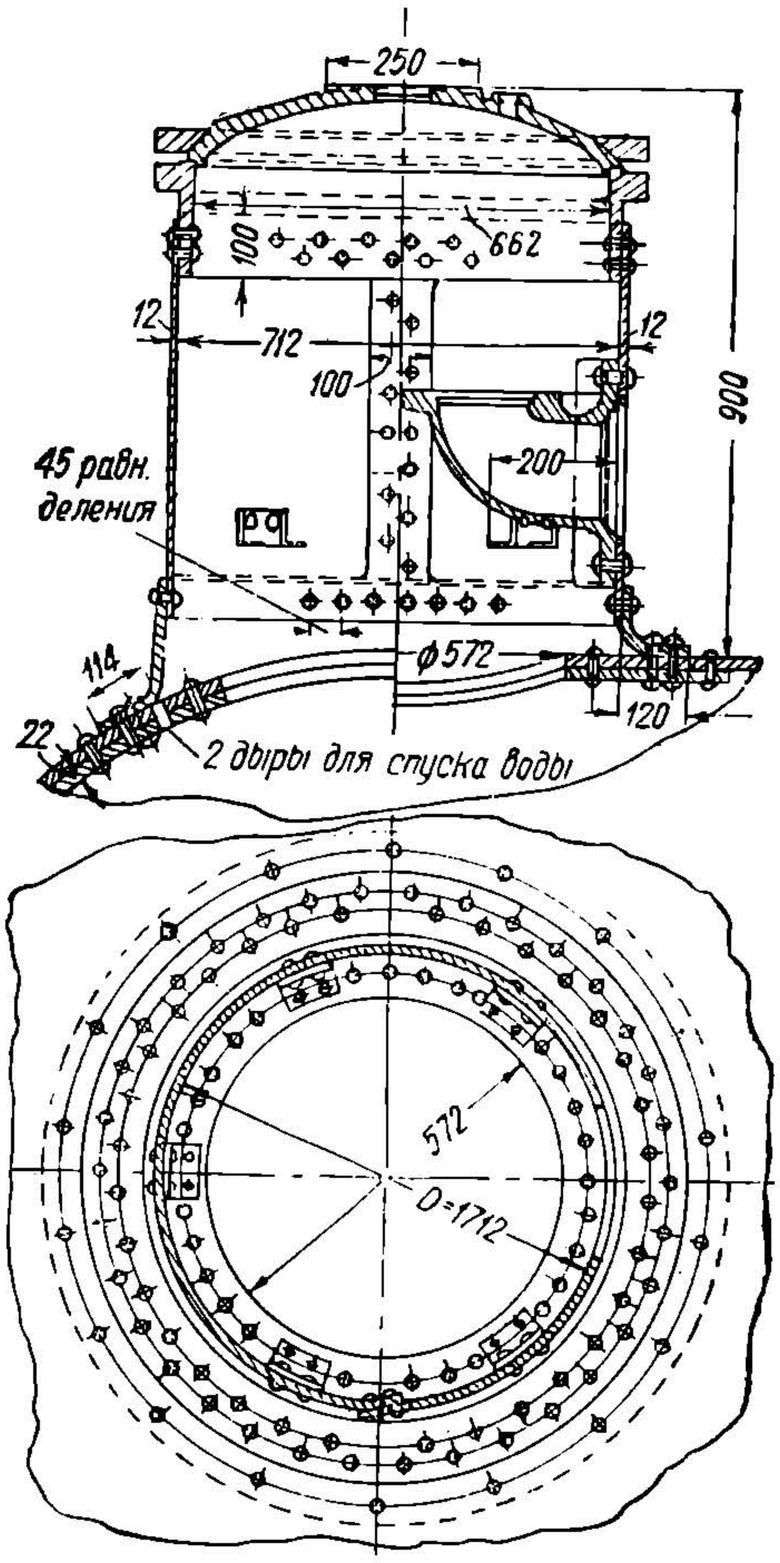
НТБ ДНУЖТ

телей нужное отделение воды от пара может быть произведено и в невысоких колпаках.

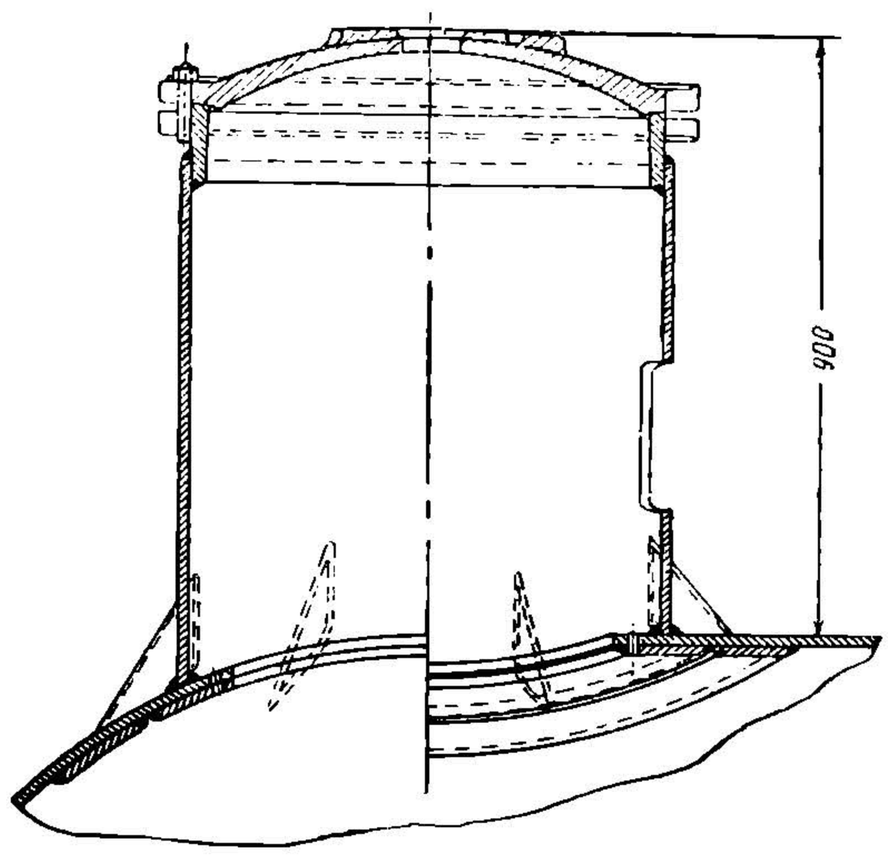
Расположение сухопарного колпака на цилиндрической части котла бывает двояким. Наши паровозы имеют колпак, расположенный в самой передней части котла, американские же, наоборот, почти всегда посередине котла, на втором и даже третьем (т. е. ближайшем к камере догорания) барабане.

В наших старых условиях эксплуатации паровозов и при нашем основном равнинном профиле, конечно, имело смысл ставить колпак ближе к передней решетке; влажность пара, поступающего в колпак, уменьшается.

Располагая колпак посередине длинного котла, американцы имеют в этом «центре колебаний» воды минимальные изменения высоты ее уровня по отношению к колпаку. Кривоносовские методы работы, когда от паровоза берется все, что он может дать, требуют внесения коррективов и в данный, как будто «узкотехнический» вопрос расположения сухопарника на котле. Все дело в том, что теперь паровоз часто идет «под паром» и при езде по небольшим и незатяжным уклонам, или же по перевалистому профилю [1]. Естественно, что у спускающегося по уклону паровоза паровое пространство в передней части котла уменьшается, и тем самым облегчается возможность броса-



Фиг. 86.



Фиг. 87.

ния воды, если здесь расположен сухопарник. Поэтому необходимо пересмотреть вопрос о расположении сухопарника на вновь строящихся паровозах.

Колпак паровозов серии «Э^{У}» показан на фиг. 86. Седалище и барабан изготовлены из стали марки Ст.-2 (ОСТ 4133), верхний фланец и крышка — из Стл.-1 (ОСТ 791), нажимное кольцо крышки — из Ст.-3 (ОСТ 4125).

Эта конструкция колпака может считаться типовой для всех более или менее современных паровозов. Как варианты конструкции могут быть например барабаны без отверстия для пропуска регуляторного колена (фиг. 4) при внутренней регуляторной трубе: крышки могут укрепляться не на шпильках, а на бол-

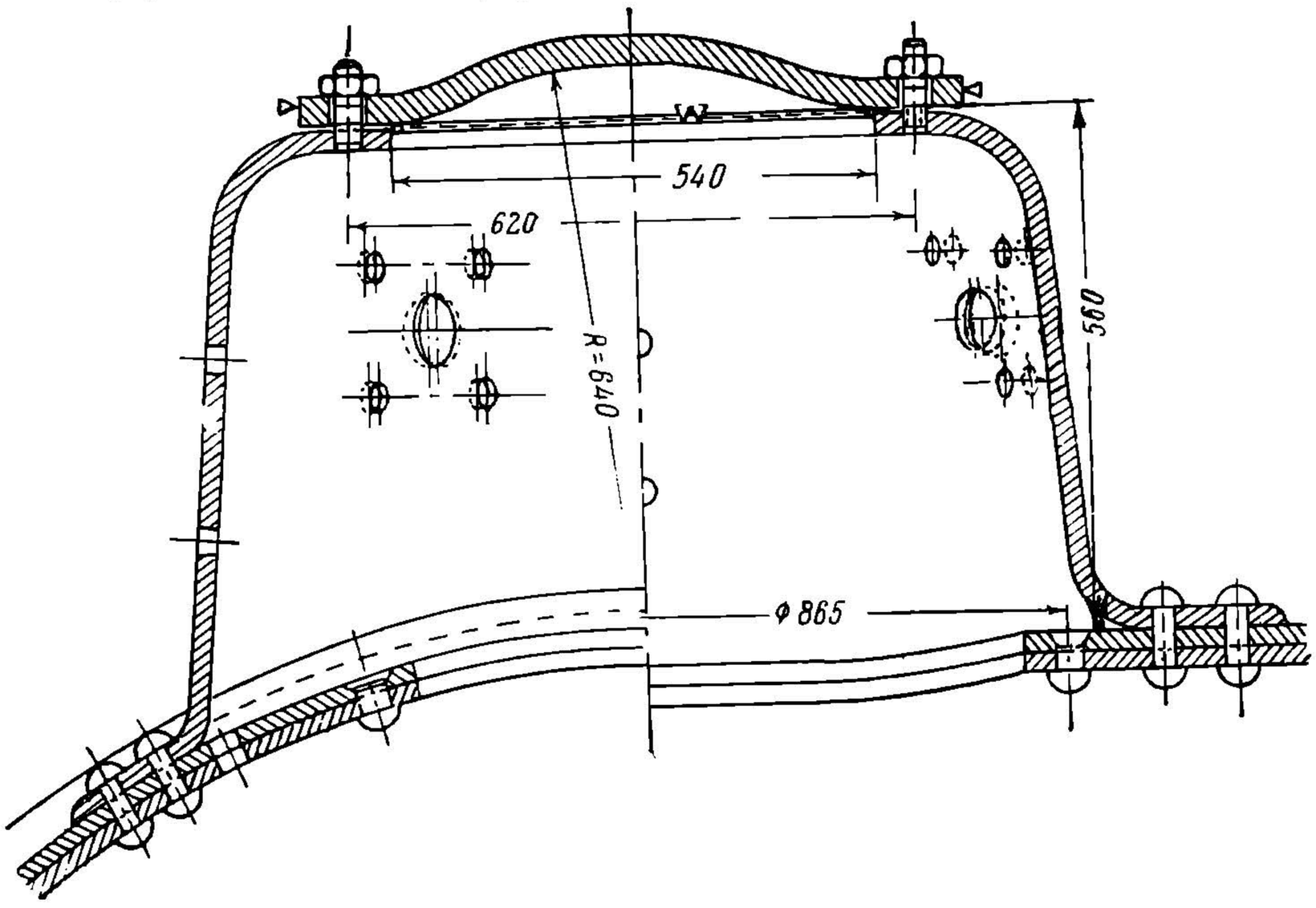
[1] См. «Правила технической эксплуатации», § 430.

НТБ ДНУЖТ

тах с Т-образными головками, что позволяет обойтись без особого нажимного кольца крышки.

Показанные на фиг. 4 и 86 крышки ставятся на притирке. Если регулятора в колпаке нет (паровозы серий «ФД» и «ИС»), то постановка крышки может быть осуществлена и на кольце из медной проволоки.

Применение сварки значительно улучшает и удешевляет конструкцию сухопарного колпака. Уже ряд лет паровозы серий «Эм» и «Су» выпускались со сварными колпаками. Сварка заменяет клепку продольного шва барабана колпака и клепку поперечных швов между седалищем и барабаном и между барабаном и верхним фланцем. Наконец, отказавшись от самого типа клепаного колпака, Харьковский завод разработал цельносварной колпак, изображенный на фиг. 87. Барабан колпака диаметром 712 *мм* (толщина стенки 10 *мм*) сварен встык и приварен непосредственно к барабану котла, причем для усиления крепления колпака к котлу поставлено восемь косынок. На плане колпака показаны прерывистые швы внутренних подкладок.



Фиг. 88.

Невысокие колпаки могут быть изготовлены штамповкой из одного листа. Такие цельноштампованные колпаки пользуются значительным распространением на американских паровозах; удачно они применены и у нас на паровозах серий «ФД» и «ИС». Основные достоинства цельноштампованных колпаков — их легкость и надежность, а при серийном выпуске колпаков — и несколько меньшая стоимость, так как основной операцией по изготовлению колпака является штамповка на прессе.

На фиг. 88 показан цельноштампованный сухопарник паровозов серий «ФД» и «ИС». Здесь крышка укреплена шпильками, ввернутыми непосредственно в горизонтальный верхний фланец колпака, а уплотнение крышки достигается постановкой кольца из медной проволоки, которое делается с запайкой стыка. Постановка кольца дала удовлетворительный результат.

Вырез в барабане котла (под колпаком) значительно уменьшает прочность последнего. Для восстановления необходимого запаса прочности котла и получения нужной жесткости укрепления сухопарника барабан котла у выреза всегда снабжается соответствующей подкладкой. Эта подкладка имеет форму широкого кольца и укрепляется на место или заклепками (фиг. 86) или приваркой (фиг. 87). Последний способ укрепления заставляет подкладку выполнять не в виде одного

НТБ ДНУЖТ

широкого кольца, а в виде двух узких колец, привариваемых прерывистым швом. Разделение широкого кольца на два-три узких необходимо для увеличения числа точек, где подкладки и барабаны котла соединяются в одно жесткое целое.

Расчет частей сухопарника на прочность распадается на расчеты самого барабана, укрепления крышки, укрепления барабана и подкладки.

Толщина стенки клепаного барабана сухопарника рассчитывается так же, как и барабанов котла. Отметим, что шов делается двухрядным внахлестку, в связи с чем φ берется равным 0,66—0,72; c принимают равным нулю. Применение сварки барабанов вместо клепки позволило уменьшить толщину стенки сварных колпаков например у паровозов серии «Э^{м}» до 10 *мм* вместо 12 *мм* у клепаных колпаков паровозов серии «Э^{у}» — при одновременном увеличении котлового давления на 2 *ат* (14 *ат* у паровоза серии «Э^{м}» и 12 *ат* у паровоза серии «Э^{у}»).

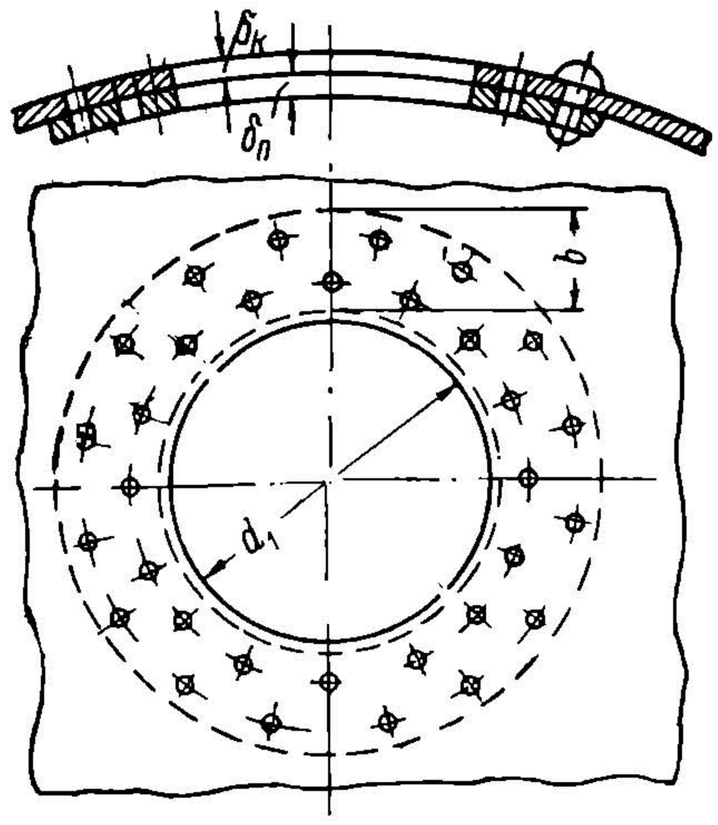
Расчет поперечных швов барабана сухопарника производится обычными методами.

Расчет укрепления седалищной части колпака производится на разрыв заклепок.

Приварка барабана сухопарника производится усиленным швом изнутри и снаружи барабана. Ввиду того, что напряжение в шве, укрепляющем колпак к котлу, получается заведомо больше допускаемого, оказывается совершенно необходимым устанавливать по окружности колпака ряд косынок, размеры которых подбираются так, чтобы приварка самого барабана, а также и всех косынок позволила реализовать общее сечение наплавляемого металла:

$$F = \frac{P}{R_z} = \frac{\frac{\pi D^2}{4} \cdot p_k}{R_z} \qquad (102)$$

где D — внутренний диаметр барабана колпака.



Фиг. 89.

Расчет подкладок под сухопарник предусматривает сохранение нужной прочности самого барабана котла.

Сечение укрепляющего вырез кольца должно быть равно сечению выброшенного (вырезанного) участка барабана котла. На фиг. 89 дана схема подкладки. Если подкладка приварная, то в предположении одинаковых напряжений на разрыв в листе и подкладке:

$$2 \cdot \delta_п \cdot b = \delta_к \cdot d_1,$$

откуда, задавшись шириной подкладки b, имеем:

$$\delta_п = \frac{\delta_к \; d_1}{2b}. \qquad (103)$$

Здесь:

$\delta_п$ — толщина подкладки;

d_1 — диаметр выреза (или вообще длина выреза по образующей барабана при некруглых вырезах);

$\delta_к$ — толщина стенки барабана.

В случае приклепываемой подкладки (подклепки) расчет производится тем же способом, но учитывается ослабление самой подкладки отверстиями для заклепок; найденную ширину подкладки нужно увеличить в соответствии с ко-

НТБ ДНУЖТ

личеством и диаметром заклепок, расположенных по опасному сечению подкладки.

Наконец, крепление крышки к корпусу сухопарника рассчитывается на разрыв шпилек (болтов) силой пара. Расчетным уравнением является:

$$\frac{\pi D^2}{4} \cdot p_k \cdot k = \frac{\pi d_1^2}{4} n \cdot R_z,$$

где: D — расчетный диаметр крышки в *см* при уплотнении;
d_1 — внутренний диаметр нарезки шпильки или болта;
n — число шпилек или болтов.
k — коэфициент затяжки; $k = 1{,}25$.

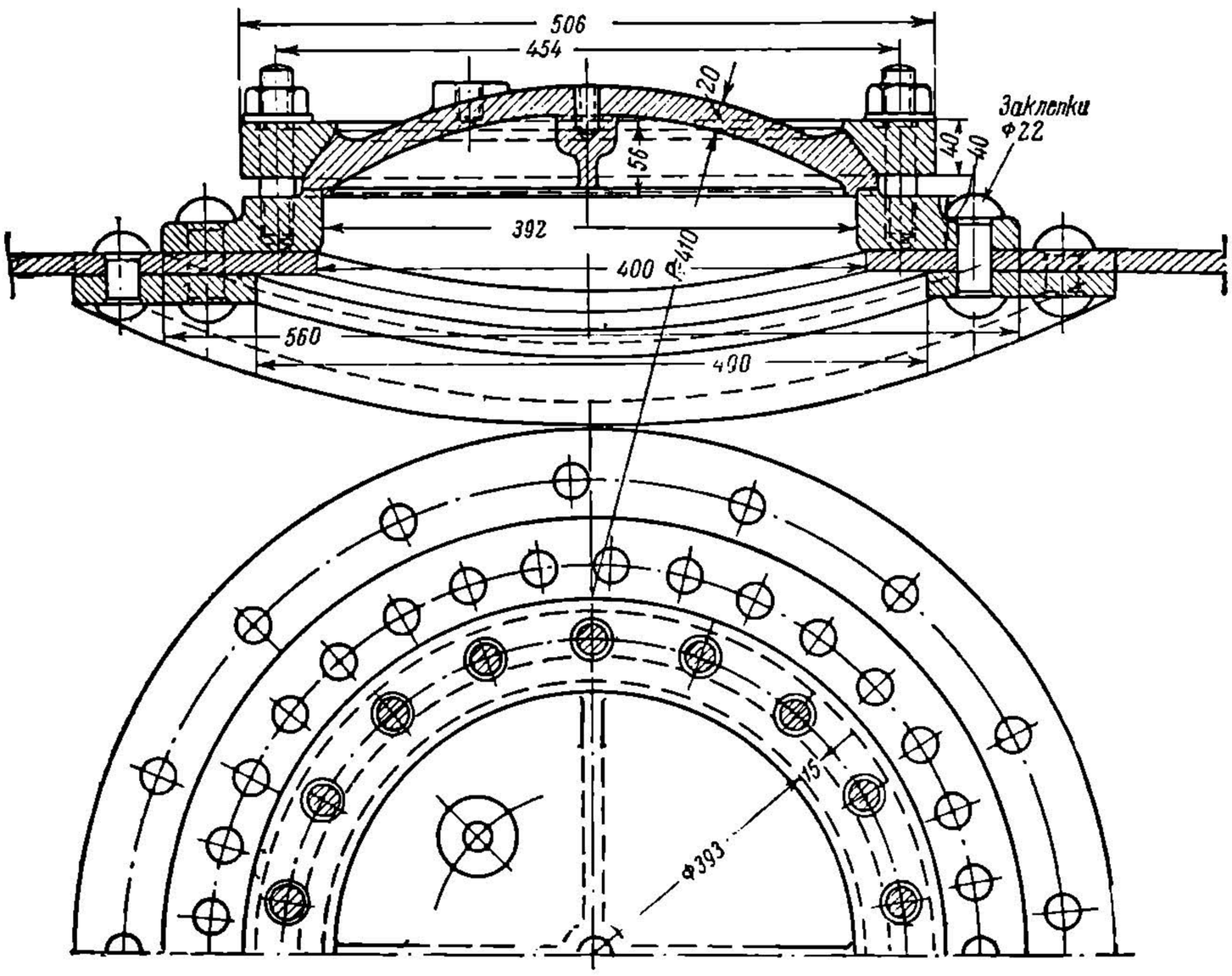
Напряжение в шпильках или болтах на разрыв:

$$R_z \leq 700 \ кг/см^2.$$

Лаз

Лаз является необходимой принадлежностью каждого паровозного котла Минимальный диаметр лаза, принятый у нас, равняется 392—400 *мм*.

Основными составными частями лаза являются корпус (основание), крышка и нажимное кольцо. Крышка ставится исключительно на притирке.



Фиг. 90

На фиг. 90 показано типовое устройство лаза паровоза серии «Су». Основание лаза (Стл.-1) приклепано однорядным заклепочным швом к барабану, причем этот ряд заклепок является одновременно одним из двух рядов заклепок, крепящих подкладку лаза.

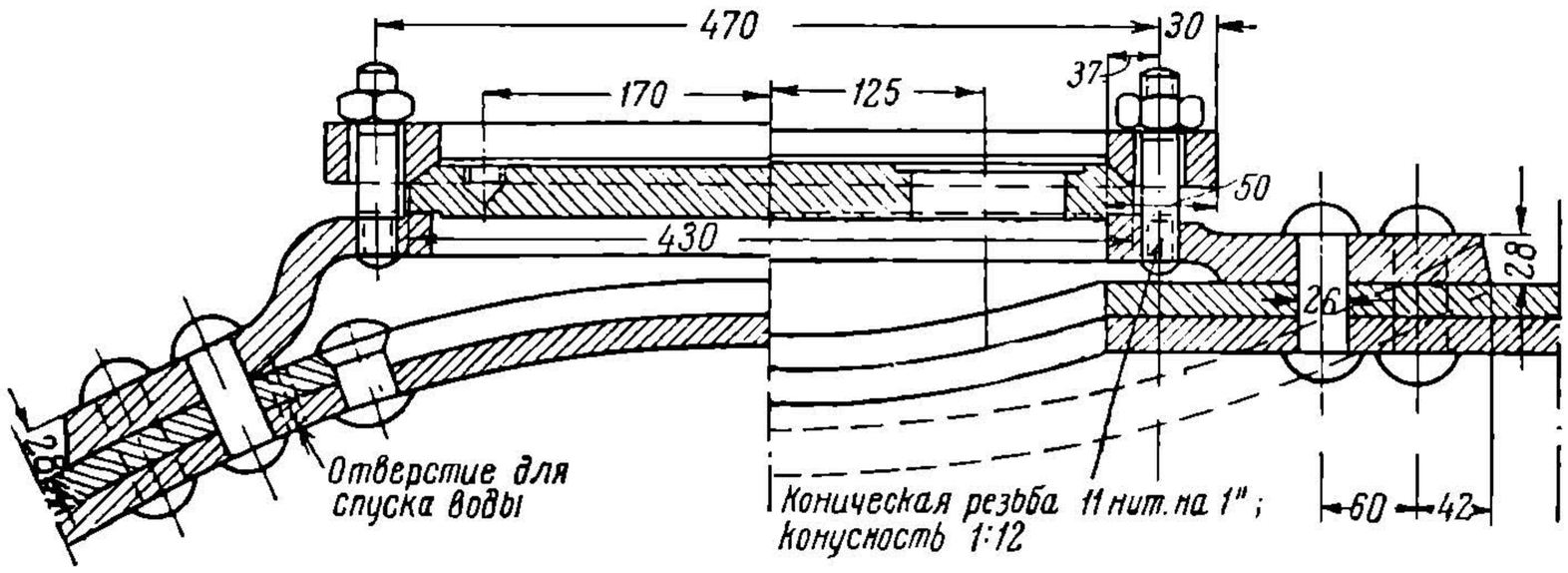
Мощные паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют штампованное основание лаза, как показано на фиг. 91; материал — Ст.-2.

Крышка изготовлена в виде простого диска толщиной 32 *мм*. П л о с к а я ф о р м а к р ы ш к и объясняется постановкой на резьбе в тело крышки трех предохранительных клапанов котла. По габаритным соображениям эти клапаны пришлось перенести с колпака, где они устанавливаются у наших типов паровозов, непосредственно на барабан, укрепив клапаны на крышке лаза.

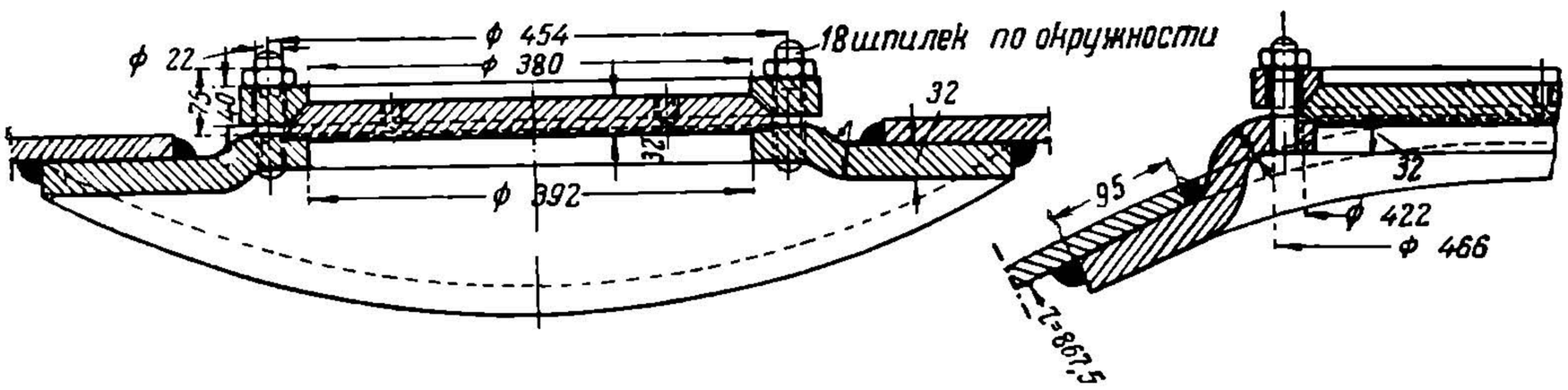
НТБ ДНУЖТ

Наконец, на фиг. 92 показана современная и наиболее рациональная сварная конструкция лаза — в применении к паровозам серии «Эм».

Что касается расчетов прочности крепления крышки, шпилек и подкладки лаза, то их надо производить так же, как для сухопарника.



Фиг. 91.



Фиг. 92.

Питательный колпак

Для того чтобы по возможности быстро прогреть воду, поступающую в котел, до котельной температуры, — на переднем барабане иногда устанавливается питательный колпак. При прогревании воды происходит интенсивное выделение солей, ила и других загрязняющих воду веществ. Поэтому, располагая на переднем барабане котла (впереди сухопарника) питательный колпак, под ним в нижней части барабана устанавливают грязевик, где и собирается грязь, отделившаяся от воды. На фиг. 4 показано устройство питательного колпака и грязевика паровоза серии «Эм». Вода подается по кольцевым трубам от инжекторов и в виде душа вытекает на расположенную под трубами сетку, ударяясь о которую и раздробляется на мелкие струйки. Последние быстро прогреваются.

Многие паровозы, в том числе и мощные, питательного колпака не имеют и работают все же удовлетворительно; это обстоятельство позволяет не считать питательные колпаки неотъемлемой частью котлов.

Передняя решетка и ее укрепление

Передняя решетка котла, в которой развальцованы передние концы жаровых и дымогарных труб, должна быть надежно укреплена по своей окружности к внутренней поверхности переднего барабана. При клепке решетки применяется однорядный заклепочный шов (решетка снабжается отогнутым вперед бортом); при вварных решетках, когда самая решетка имеет форму простого диска, сварка производится впритык с обеих сторон Т-образным швом.

Толщина листа передней решетки ориентировочно получается ее расчетом на изгиб. До самого последнего времени заводы часто при определении толщины листа ограничиваются эмпирической формулой:

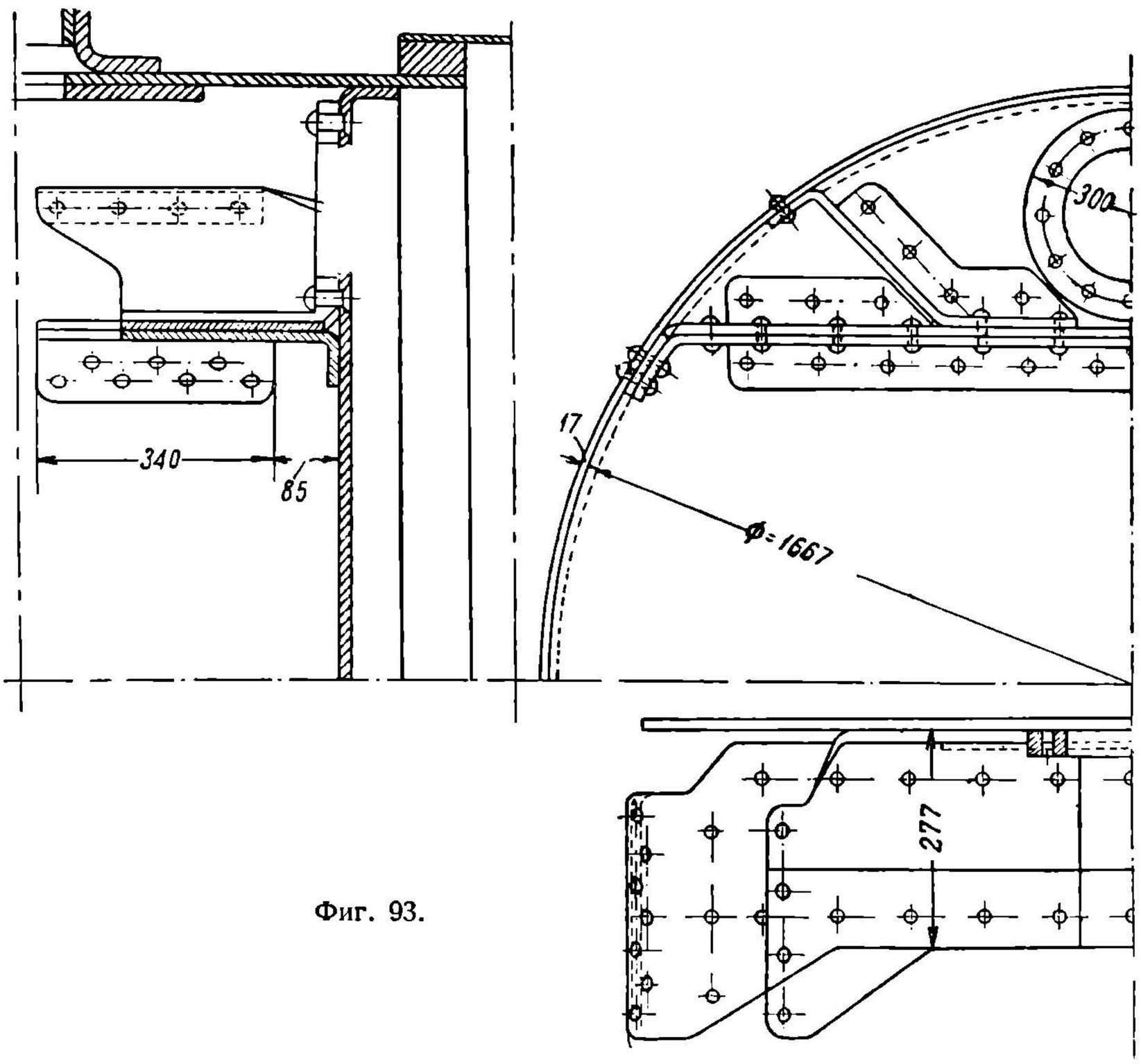
$$\delta = 5 + \frac{d_{отв}}{8}, \qquad (104)$$

НТБ ДНУЖТ

где: δ — толщина листа решетки в *мм*;

$d_{отв}$ — диаметр отверстий для жаровых труб в *мм*.

Эта формула устарела, потому что в ней отсутствует фактор, учитывающий котловое давление; кроме того, она дает излишне большие значения для δ, в особенности при широкотрубных перегревателях. Конечно, величина давления в котле играет в этом случае второстепенную роль, но все же ее необходимо учесть.



Фиг. 93.

Поэтому, ориентировочно определив толщину решетки по этой формуле необходимо найденный размер проверить на изгиб в участках, расположенных как между дымогарными, так и между жаровыми трубами, подобно тому, как указано раньше для задней трубчатой решетки. Напряжение на изгиб в существующих решетках колеблется в очень широких пределах. Рекомендуем принимать:

$$R_b = (800—900)\ кг/см^2.$$

Трубы являются весьма надежным укреплением почти всей площади передней решетки. В верхней же части решетки, за пределами размещения жаровых и дымогарных труб, требуется добавочное ее укрепление. На всех старых паровозах оно осуществляется контрфорсами, в новых мощных типах паровозов — тяжами.

На фиг. 93 показан клепаный контрфорс решетки паровоза серии «Э^м» отверстие в средней ее части служит для пропуска регуляторной трубы. Вес контрфорс, как видно из рисунка, составляется четырьмя листами: двумя основными горизонтальными и двумя наклонными. Точный расчет такого сложного

НТБ ДНУЖТ

контрфорса невозможен; здесь возможно дать лишь условный (сравнительный). аналогичный изложенному для контрфорсов лобового листа.

Как известно, по мере увеличения размеров укрепляемых контрфорсами плоских стенок и по мере увеличения котлового давления конструкция контрфорсов делается все более и более громоздкой. Органический их недостаток — невозможность распределить на большие участки цилиндрических стенок барабанов усилия, приходящиеся на плоскую стенку. Этот недостаток наряду с другим — затруднительностью дать точный расчет их — побудил отказаться от постановки контрфорсов в передних решетках котлов мощных паровозов и перейти на укрепление этих стенок так же, как и лобовых листов, — только продольными тяжами. Устройство и расчет этих тяжей аналогичны с тяжами, укрепляющими верхнюю часть лобового листа. На фиг. 84 показаны оси тяжей, укрепляющих переднюю решетку котла паровозов серий «ФД» и «ИС».

§ 5. Дымогарные и жаровые трубы

Основные сведения

Основная поверхность нагрева (испаряющая) котла составляется, кроме топки, наружной поверхностью жаровых и дымогарных труб. Тяжелые условия работы труб заставляют применять для их изготовления мягкую мартеновскую сталь согласно ОСТ 4735, по своим свойствам близкую к Ст.-2. Старинные паровозы, не имеющие перегревателей (серии «Н», «$О^в$» и «Щ»), снабжены только дымогарными трубами. Постановка жаровых труб взамен части дымогарных на всех более или менее современных паровозах уменьшает испаряющую поверхность нагрева котла, так как вместо большого количества мелких дымогарных труб в котле ставятся в значительно меньшем количестве крупные жаровые. После того, как в начале этого столетия перегреватели завоевали себе прочное место, число дымогарных труб стало уменьшаться, несмотря на постройку все более и более крупных котлов, число же жаровых относительно увеличивается. Так, старые паровозы с перегревателями серий «Б», «$Г^п$», «З», «И», «К», «$Н^п$», «С», «$С^в$», «$У^у$», «$Щ^п$», «$Ѳ^ч$» имели 18—24 жаровых трубы, снабженные перегревательными элементами. Паровозы серии «Э» имеют 25 жаровых труб, у всех этих паровозов число дымогарных труб было еще относительно велико. Необходимость дальнейшего повышения температуры перегретого пара стала очевидна вскоре после введения в эксплуатацию перегревных паровозов.

По мере увеличения мощности паровозов происходит увеличение отношения перегревающей поверхности к испаряющей, другими словами, происходит дальнейшее «вытеснение» дымогарных труб жаровыми, так как некоторое уменьшение (относительное) испаряющей поверхности нагрева и связанное с этим уменьшение количества даваемого котлом насыщенного пара с избытком компенсируются более высоким перегревом. Этот более высокий перегрев не только «восстанавливает» мощность котла, но и увеличивает ее, поднимая, кроме того, к. п. д. паровоза.

У мощных паровозов, оборудованных перегревателями Элеско, отношение перегревающей поверхности к испаряющей делает дальнейший резкий скачок в сторону увеличения.

Наиболее распространенными стандартными диаметрами жаровых труб для перегревателей Шмидта и Чусова являются 133×125 и 152×143 *мм* (меньший диаметр для расстояния между решетками до 5,55 *м*, больший — для расстояния от 5,55 до 7 *м*).

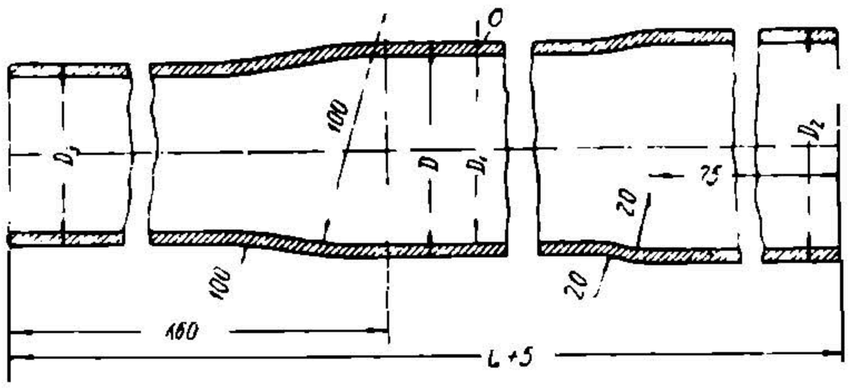
Жаровые трубы для элементов Элеско у паровозов серий «ФД» и «ИС» применены размером $89 \times 82{,}5$ *мм* (расстояние между решетками — 5,97 *м*). При перегревателе Элеско почти вся решетка занята этими, небольшого диаметра жаровыми трубами (см. перегреватели паровозов серий «ФД», «ИС», табл. 1).

Размеры — диаметр и длина дымогарных и жаровых труб — определяются по условиям их тепловой работы.

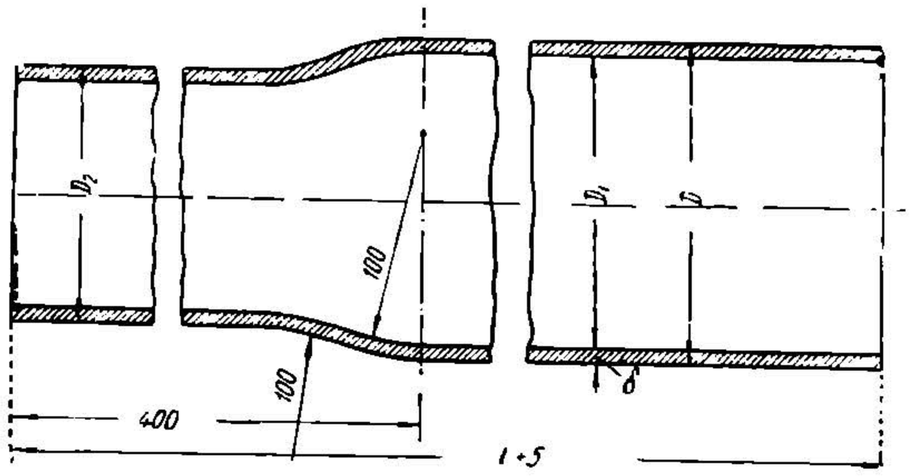
НТБ ДНУЖТ

Большое количество жаровых и дымогарных труб, условия ремонта и замена их побудили стандартизировать не только диаметры тех и других труб, но и конфигурацию обсаженного заднего и розданного переднего концов.

Стандартные дымогарные трубы в наших паровозах применяются двух размеров 51 × 46 и 57 × 51. Для ремонта паровозов стандартизированы прямые трубы (без раздачи и обсадки) — $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} — \frac{6948,}{90/1}$, для вновь строящихся паровозов—с раздачей и обсадкой концов — $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} — \frac{6949;}{90/2}$; детальные размеры этих труб приведены на фиг. 94 и в табл. 9, где все размеры приведены в *мм*.



Фиг. 94.



Фиг. 95.

Таблица 9

Наружный диаметр D	Внутренний диаметр D_1	Диаметр раздачи D_2	Диаметр обжатия D_3	Толщина стенки трубы δ	Ориентировочный вес 1 пог. *м* в *кг*	Расстояние между решетками L
44,5	39,5	47	38	2,5	2,59	меньше 4800
51	46	54	38	2,5	2,99	4800—5700
57	51	60	42	3,0	3,68	больше 5700

Жаровые трубы стандартизированы четырех размеров — 121 × 113, 133 × × 125, 140 × 131 и 152 × 143. Для ремонта паровозов жаровые трубы изготовляются по $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} — \frac{6950}{91/1}$ согласно фиг. 95, размеры к которой приведены в табл. 10.

Таблица 10

Наружный диаметр D	Внутренний диаметр D_1	Диаметр обжатия D_2	Толщина стенки	Ориентировочный вес 1 пог. *м* в *кг*
133	125	113	4,0	12,7
140	131	118	4,5	15,0
152	143	120	4,5	16,4

Для вновь строящихся паровозов стандартные жаровые трубы показаны на фиг. 96 $\left(\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} — \frac{6951}{91/2}\right)$; размеры приведены в табл. 11.

НТБ ДНУЖТ

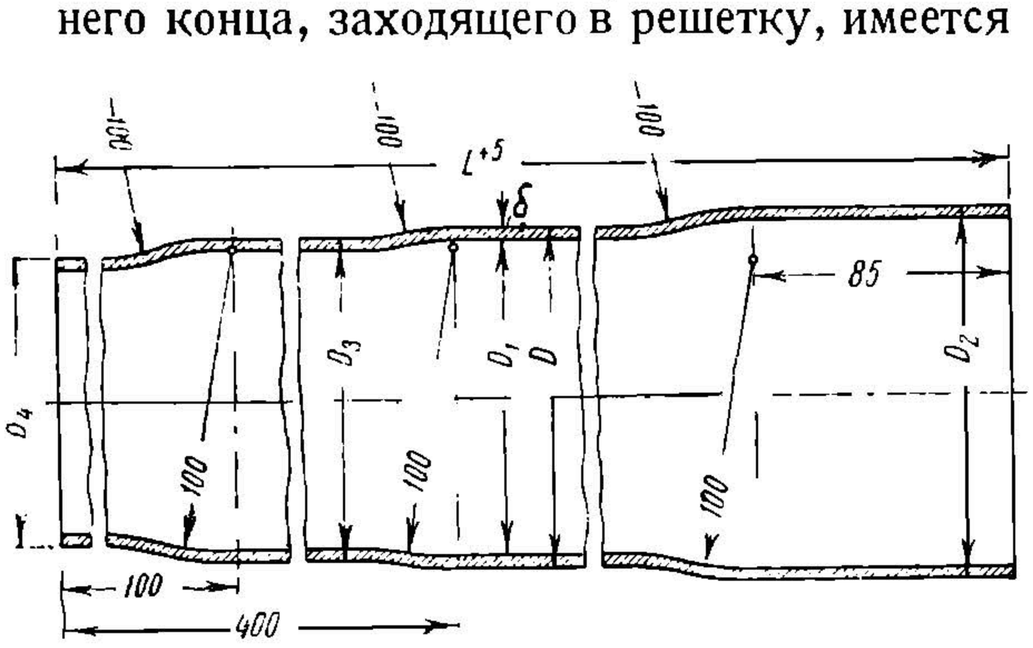
Таблица 11

Наружный диаметр D	Внутренний диаметр D_1	Диаметр раздачи D_2	Диаметр подкатки D_3	Диаметр обжатия D_4	Толщина стенки	Вес 1 пог. *м* в *кг*	Расстояние между решетками L
133	125	136	113	96	4,0	12,7	4500—5500
140	131	143	118	104	4,5	15,0	5500—7000
152	143	153	125	112	4,5	16,4	6000 и бол.

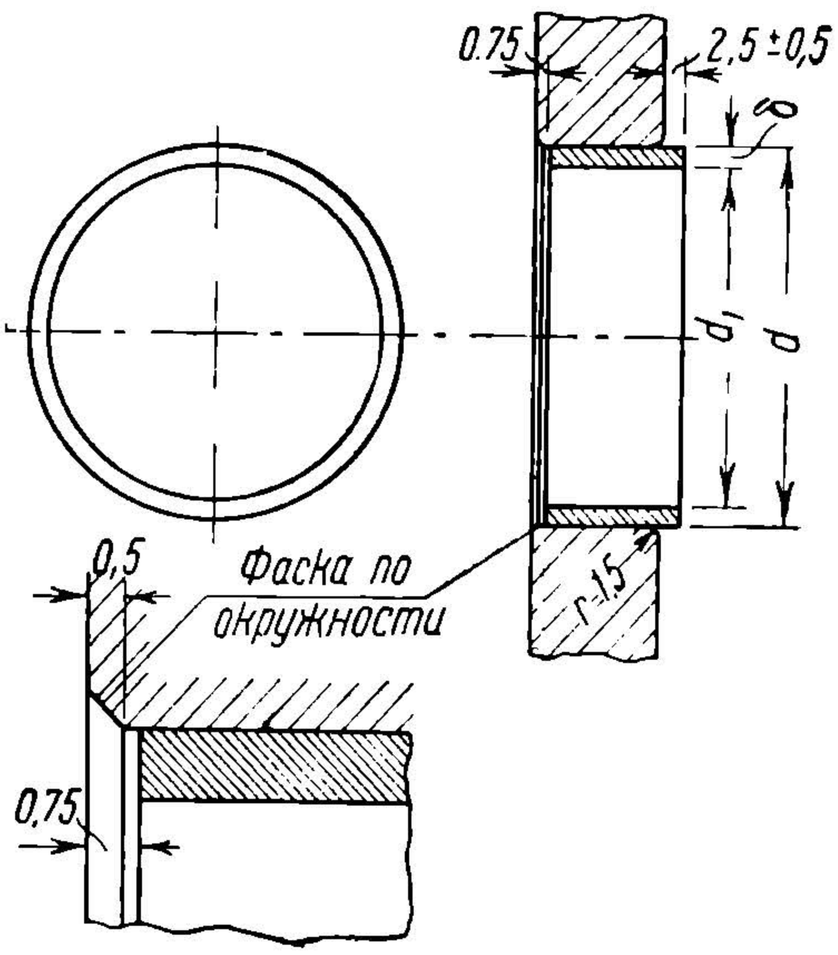
Обсадка труб необходима для того, чтобы, во-первых, иметь более прочную огневую решетку (работающую в очень тяжелых условиях),во-вторых, иметь достаточный запас на рассверловку отверстий при ремонте паровозов без большого ослабления решетки и, в-третьих, для облегчения прохода паровых пузырьков необходимо иметь большие промежутки между жаровыми и дымогарными трубами именно у задней решетки. Эти промежутки пропускают пар, образующийся в большом количестве и за счет работы задних участков самых труб и за счет интенсивного парообразования стенкой решетки.

Передний конец, наоборот, раздается для облегчения выемки труб. Обычно раздача делается в 3 *мм* по диаметру как для дымогарных труб, так и для жаровых. Для сохранения нужных расстояний между отверстиями в передней решетке (мостиков) разбивка труб в ней производится несколько иначе, чем в задней.

В жаровой трубе, кроме обсадки заднего конца, заходящего в решетку, имеется



Фиг. 96.



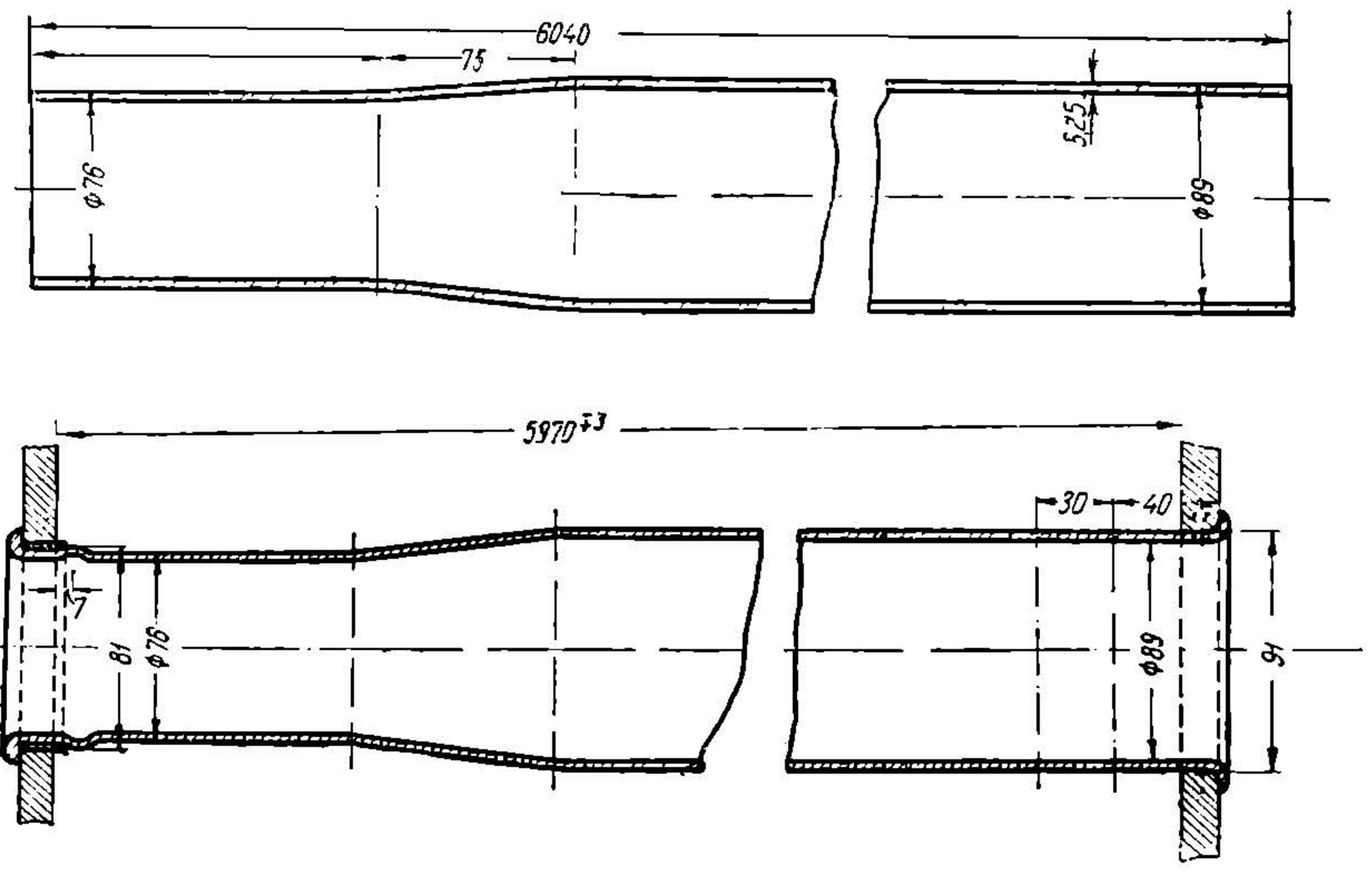
Фиг. 97.

и другая обсадка, которая делается путем подкатки на расстоянии 350—400 *мм* от заднего конца трубы. Это сужение диаметра возможно потому, что перегревательные элементы не доходят до задней решетки на 350 — 400 *мм*. Для того чтобы живое сечение трубы было примерно одинаковым по всей ее длине, а также для того, чтобы обеспечить свободный проход большим массам пара возле верхней части решетки, и делается эта обсадка. Укрепление дымогарных и жаровых труб в стальной задней решетке развальцовкой непосредственно в листе не дает долговечной герметичности. Поэтому в стальных решетках предварительно развальцовываются тонкостенные кольца из красной меди марки М-4, ОСТ 308, толщиной 2—3 *мм*, и уже в этих кольцах развальцовываются трубы. Эти кольца стандартизированы как для дымогарных, так и для жаровых труб $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} - \frac{6953}{93}$ (фиг. 97).

НТБ ДНУЖТ

Размеры колец для дымогарных труб берутся в зависимости от диаметра отверстия в решетке и толщины ее: наружный диаметр—от 42 до 50 *мм*, внутренний диаметр соответственно — от 38 до 46 *мм*.

Наружный диаметр колец для жаровых труб — от 100 до 120 *мм*, внутренний диаметр — от 96 до 114 *мм*.



Фиг. 98.

В заключение следует заметить, что наши паровозы серий «ФД» и «ИС», оборудованные перегревателями Элеско, имеют нестандартные жаровые трубы размером 89 × 82,5, показанные на фиг. 98. Дымогарные трубы паровозов серий «ФД» и «ИС», показанные на фиг. 99, имеют размер 57 × 51, причем переход к суженному концу у задней решетки выполнен коническим, а не посредством двух радиусов, как это обычно делается у нас. Конический переход несколько сложнее для осуществления, но течение газов в трубе с таким переходом происходит в несколько более спокойных условиях.

Фиг. 99.

Прочность и долговечность дымогарных и жаровых труб

Работа дымогарных и жаровых труб происходит в очень тяжелых условиях. Прежде всего — трубы нагружены «внешним» (для труб) котловым давлением на сжатие; давление пара на решетки, в которые завальцованы трубы, нагружает их на

НТБ ДНУЖТ

растяжение (по длине), собственные температурные деформации труб при повышении котлового давления могут нагружать их на сжатие (по длине), т. е. на продольный изгиб; под действием собственного веса трубы частично нагружены и поперечным изгибом. Деформации трубы могут привести к нарушению герметичности соединения ее с решетками, если не соблюдены определенные условия постановки труб и эксплуатации паровоза. Металл труб подвержен, кроме того, разъеданию как топочными газами (изнутри), так и котловой водой (снаружи). Разъедание (коррозия) котловой водой приводит к износу трубы, к значительному уменьшению толщины ее стенки. Поверхность трубы, соприкасающаяся с водой, может зарасти накипью, а так как накипь очень нетеплопроводна, —стенки трубы перегреваются, и металл быстрее изнашивается топочными газами; трубы, имея увеличенные деформации, легче могут дать течь в местах соединения их с решетками. Накипь на трубах, значительно снижая парообразование, приводит к ухудшению работы паровоза, понижению его мощности — при том же расходе топлива, т. е. попутно и к снижению к. п. д. паровоза.

Все это, вместе взятое, заставляет уделять особое внимание дымогарным и жаровым трубам в работе паровоза. Паровоз с загрязненными трубами не позволит получить большие форсировки поверхности нагрева, не позволит развивать нужные скорости движения и силу тяги, будет требовать постоянного ремонта труб, простоев и т. д.

Условия достижения лучших результатов работы труб — следующие:

1. Тщательная постановка труб — развальцовка, разбуртовка (с обеих сторон задней решетки) и затем — обварка бурта.

2. Регулярное применение и правильная дозировка антинакипинов, обусловливающие сохранение чистой металлической поверхности трубы, долговечность ее и хорошее парообразование.

3. Регулярная продувка труб от сажи обеспечивает хорошее парообразование. Продувка труб должна производиться не только в депо и на стоянках, но и на ходу. Продувка труб оказывается необходимой как при ручном, так и в особенности при стокерном отоплении.

Расположение труб в котле

Цилиндрическая часть котла должна быть заполнена дымогарными и жаровыми трубами настолько, чтобы оставались только нужные, достаточно свободные промежутки между ними для прохода пузырьков пара, и решетки не были бы чрезмерно ослаблены отверстиями.

Трубы в цилиндрической части располагаются не горизонтально, а с небольшим подъемом — в среднем $^1/_{100}$ — $^1/_{50}$ вперед. Подъем этот необходим как для облегчения размещения труб в котле, так и для свободного выхода газов сгорания из самих труб при отсутствии разрежения в дымовой коробке.

Для того чтобы не итти по пути значительного уменьшения перешейков (мостиков) между отверстиями труб в передней решетке из-за раздачи передних концов, почти всегда применяют веерообразное расположение труб. Подъем верхних рядов труб таким образом увеличивается и достигает $^1/_{50}$— $^1/_{60}$.

Что касается расположения труб в плане, то по условиям прочности передней решетки здесь также применяется веерообразная расстановка.

Размещение отверстий для труб в задней и передней решетках должно быть осуществлено таким образом, чтобы избежать значительного ослабления решеток, сохранить свободный проход пара между трубами и в то же время использовать наиболее полно площадь решеток.

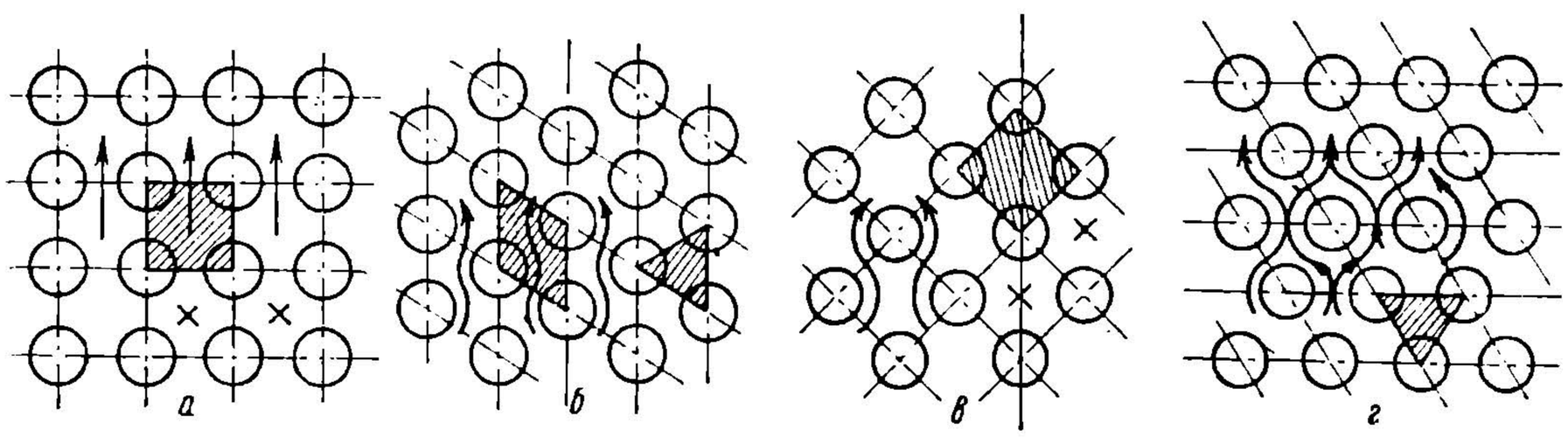
При размещении труб нужно учитывать не только ширину мостиков в решетках между отверстиями, но и нужные промежутки между самыми дымогарными и жаровыми трубами.

Можно с уверенностью сказать, что водяные промежутки между трубами 16—18 *мм* для воды среднего и тем более низкого качества (жесткой) недостаточны. Полагаем, что эти промежутки следует делать не меньше 20 *мм*. Уменьшение количества дымогарных труб вследствие увеличения зазоров между ними (при сох-

НТБ ДНУЖТ

ранении размеров самих решеток) с избытком компенсируется улучшением парообразования и облегчением промывки котла.

Размещение отверстий в решетках может быть выполнено двумя рациональными способами: по вершинам квадрата, две стороны которого вертикальны, и по вершинам ромба, две стороны которого также вертикальны. Ромб можно разбить на два треугольника и формулировать второе условие по-иному, называя такую разбивку «по вершинам треугольника, одна сторона которого вертикальна». Эти два способа разбивки труб обозначены на фиг. 100, схемы *а* и *б*. На некоторых отживающих и уже отживших старых паровозах применялись и другие способы разбивки труб, как например квадрат с вертикальной и горизонтальной диагоналями или треугольник с горизонтальной стороной (схемы *в* и *г*). Если разбивка по схеме *в* неудовлетворительна в смысле пропускания пузырьков пара (стрелками показано извилистое движение его) и при этом недостаточно полно используется площадь решетки, то способ *г* в особенности неудовлетворителен из-за наибольшей затруднительности прохода пара: извилистое движение паровых пузырьков между трубами здесь в особенности затрудняет парообразование. В обоих последних случаях паровые пузырьки при проходе вверх, как показано стрелками, ударяются о нижние стенки труб и только после этого удара, задержавшись немного, обходят трубу сбоку и идут вверх, чтобы сейчас же снова удариться о следующую трубу.



Фиг. 100.

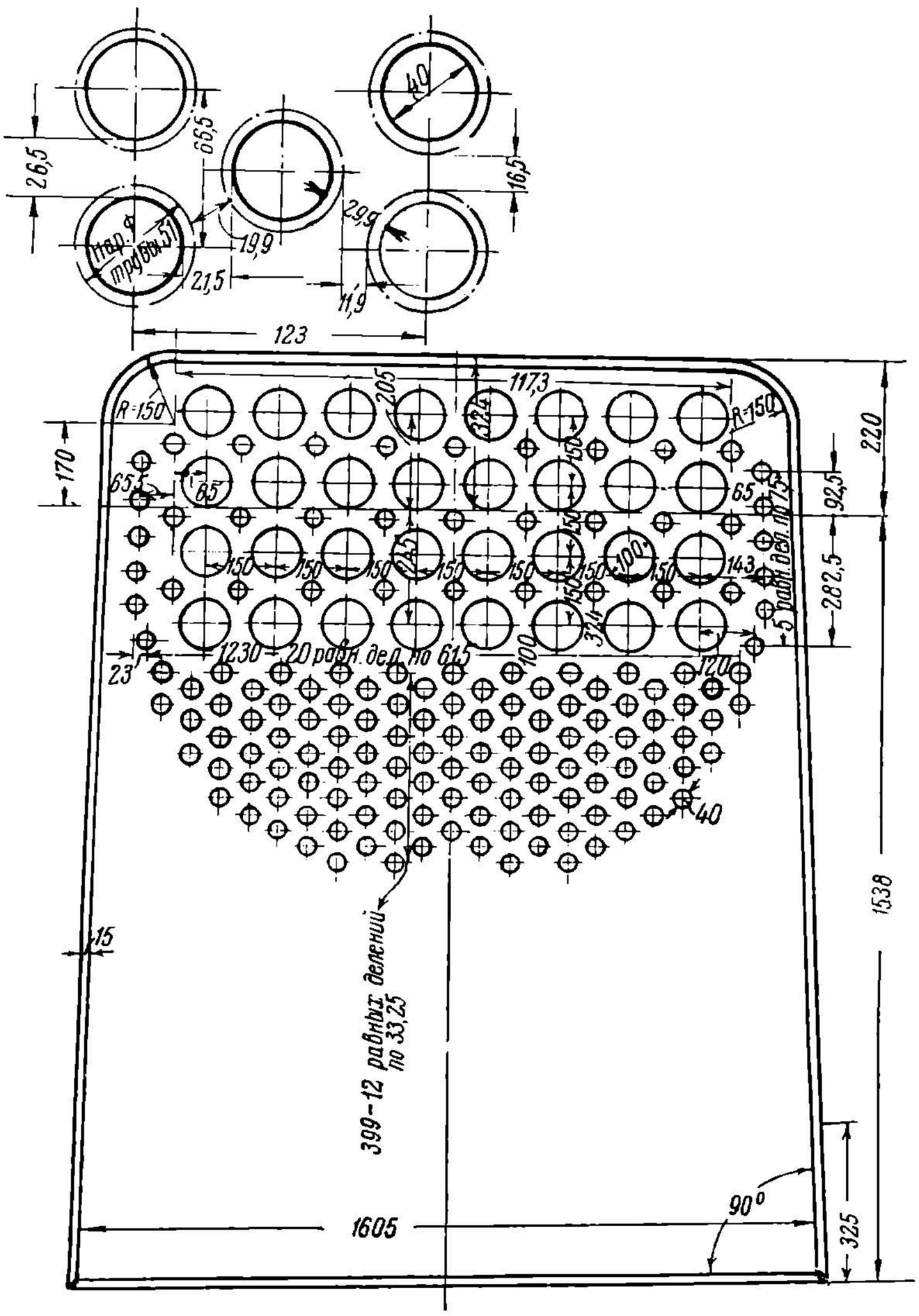
Рассматривая разбивку по квадрату с вертикальной и горизонтальной сторонами по схеме *а*, видно, что проход пара здесь ничем не стеснен, имеются сквозные вертикальные «коридоры» через всю массу труб. Недостатком такого способа является нерациональное использование площади решетки, так как в центре между четырьмя смежными трубами остаются заведомо не используемые площади, обозначенные на схеме *а* значком *X*. Поэтому такой способ разбивки применяется только для крупных жаровых труб, причем эти средние участки используются под постановку мелких (дымогарных) труб. Правда, здесь пар получает извилистое движение, и особых достоинств такая разбивка на первый взгляд как будто не имеет. Если же учесть, что разбивка жаровых труб по квадрату уменьшает количество различных размеров перегревательных элементов (различная длина соединительных труб элементов) по сравнению со всеми другими типами разбивки, то преимущество такой разбивки по квадрату в указанных случаях (перегреватели Шмидта и Чусова) будет налицо.

Способ ромба (или треугольника) с вертикальной стороной (схема *б*) является вполне удовлетворительным как в части прохода паровых пузырьков (извилистость движения здесь незначительна), так и в особенности в части полного использования площади решетки. Этот способ несравненно лучше способов *в* и *г* и получил широкое распространение. Дымогарные трубы всех наших более или менее современных паровозов, а также и дымогарные и жаровые трубы наших мощных паровозов серий «ФД» и «ИС» имеют разбивку по этому способу. Перегреватели перечисленных мощных паровозов составлены из элементов Элеско, вставляемых сразу в четыре смежных трубы («ромб»), и поэтому вопрос об увеличении сортамента элементов из-за разбивки не по квадрату отпадает. Паровозы серии «ФД»,

НТБ
ДНУЖТ

выпускаемые с широкотрубными перегревателями, имеют размещение жаровых труб по квадрату.

На фиг. 101 и 102 показана разбивка труб в задней и передней решетках паровоза серии «Эм». Расположение труб паровозов серий «ФД» и «ИС» в задней решетке показано на фиг. 61 и в передней — на фиг. 84 (разрез по *В—В*). Обращаем внимание на наличие в передней решетке паровозов серий «ФД» и «ИС» двух отверстий диаметром 95 *мм* для выемки труб.



Фиг. 101.

Рассматривая расположение труб паровозов серий «Эм», «ФД» и «ИС», мы видим, что способ разбивки дымогарных труб у этих паровозов однотипен. Что касается жаровых труб, то разбивка их по квадрату выполнена лишь у паровоза серии «Эм».

Размеры мостиков устанавливаются как по условиям прочности развальцовки и прочности самых решетек, так и по условиям свободного прохода пара.

Размеры мостиков у новых паровозов должны быть примерно следующие:

1. Дымогарные трубы (51 × 46 — 57 × 51):

а) в задней решетке 27—32 *мм* (первая цифра для вертикальных мостиков и вторая — для наклонных);

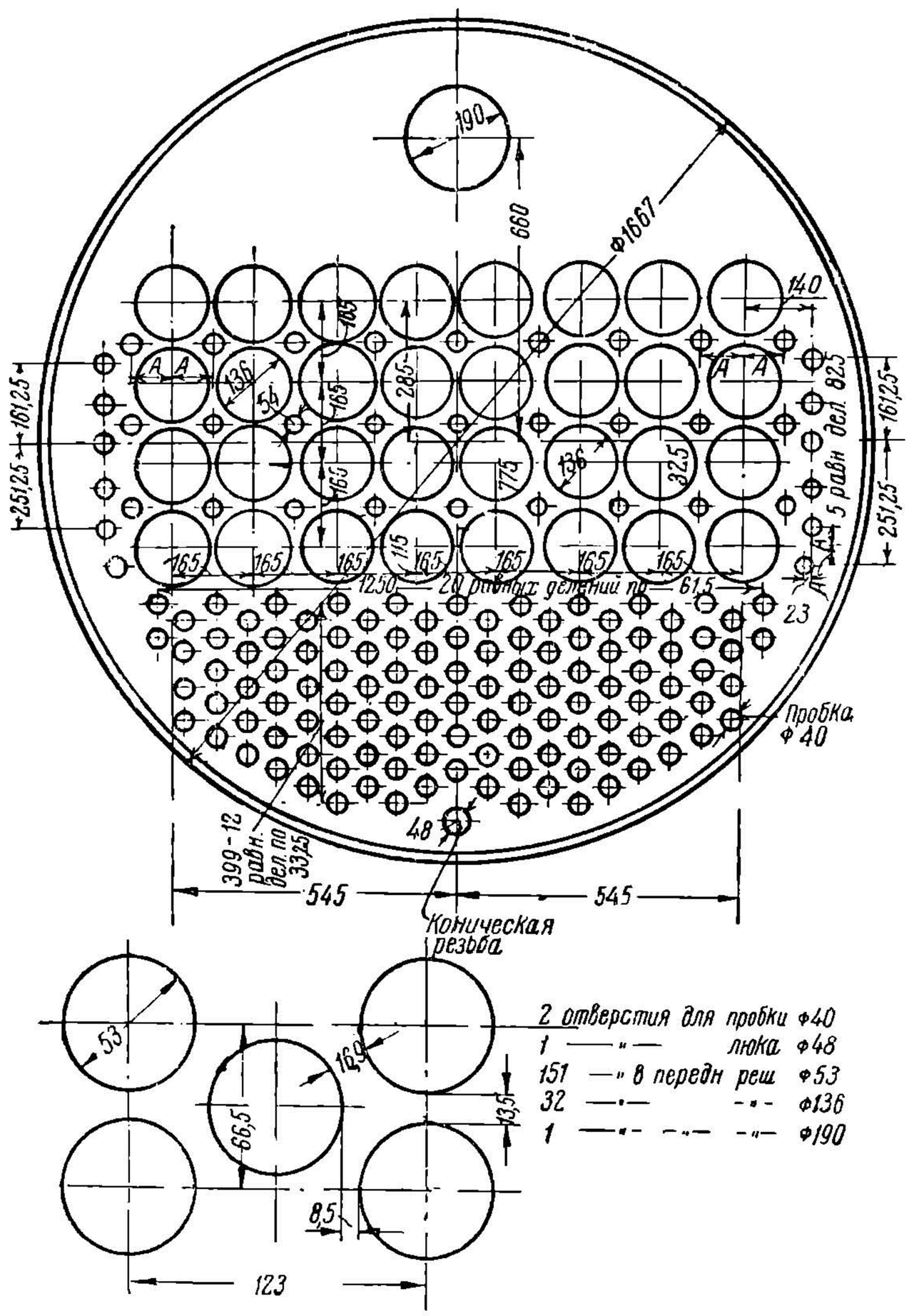
НТБ ДНУЖТ

б) в передней решетке 14—18 *мм* — соответственно для вертикальных и наклонных мостиков.

2. Жаровые трубы:

а) мелкие жаровые трубы в задней решетке, соответственно—27—32 *мм* и в передней решетке — 17—21 *мм*.

б) крупные жаровые трубы (133 × 125, 140 × 131):
в задней решетке — 50—60 *мм*, в передней решетке 36 — 38 *мм*.



Фиг. 102.

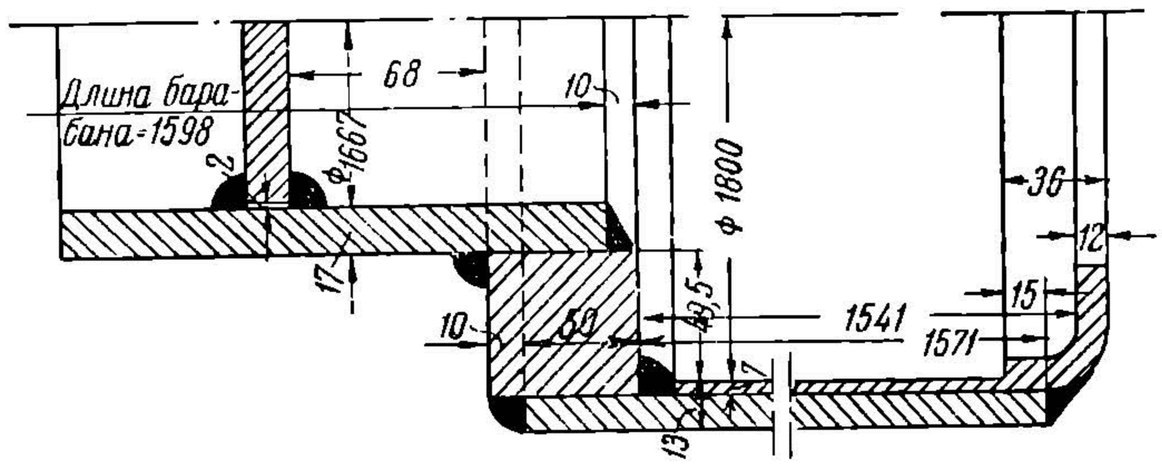
§ 6. Дымовая коробка

В дымовой коробке газы сгорания, вышедшие из дымогарных и жаровых труб, собираются в один мощный поток, выходящий далее за счет работы конуса (или вентилятора при конденсационной установке) в дымовую трубу. Размеры дымовой коробки должны быть достаточны и для размещения в ней коллектора и соединительных труб перегревателя, пароработчих труб, искроудержательного устройства, конуса, нижней части дымовой трубы. Все эти устройства не должны загромождать дымовую коробку; в ней следует сохранить достаточно большой свободный проход для протекания топочных газов. Достаточно большой объем дымовой коробки обеспечивает хорошую равномерность разрежения в ней, благопри-

НТБ ДНУЖТ

ятно отражающуюся на уменьшении уноса. Длина дымовой коробки должна быть возможно больше; она достигает 3 и более метров у мощных паровозов. В старину роль дымовой коробки в деле поддержания р а в н о м е р н о г о разрежения недооценивалась, и длину коробки делали всего 600—800 *мм*. У паровозов серии «ФД» длина дымовой коробки равна 2880 *мм* и серии «ИС» — 3173 *мм*. Что касается диаметра дымовой коробки, то последний определяется в основном условиями размещения в ней коллектора перегревателя и пароработочих труб, отчасти — диаметром переднего барабана котла. Расположение пароработочих труб, т. е. труб от коллектора к паровым цилиндрам, должно быть таково, чтобы в эксплуатации паровоза можно было вынимать элементы, расположенные в крайних вертикальных рядах жаровых труб, и эти жаровые трубы — без разборки пароработочих труб. Последние поэтому делаются гнутыми и располагаются непосредственно у стенок барабана дымовой коробки.

Дымовая коробка составляется из нескольких основных частей: барабана, фронтонного (переднего) листа и предохранительного листа, укладываемого на



Фиг. 103.

нижней части барабана дымовой коробки для предохранения последнего от износа горячими угольками, вылетающими из жаровых и дымогарных труб.

Барабан дымовой коробки составляется из двух (небольшие паровозы) или трех (мощные паровозы) листов толщиной 12—14 *мм* в верхней части и 16—17 *мм* в нижней. Материал, из которого изготовляется дымовая коробка, — Ст-О.

Соединение листов, составляющих барабан, производилось прежде клепкой, теперь — сваркой встык.

Предохранительный лист делается толщиной 8—16 *мм* и приклепывается (или приваривается) в нижней части изнутри к барабану дымовой коробки.

Фронтонный лист у старых паровозов обычно имеет форму неширокого кольца, приклепываемого или привариваемого к передней кромке барабана дымовой коробки. Большое отверстие фронтонного листа закрывается дверкой дымовой коробки. Фронтонные листы у паровозов последних выпусков сделаны открывающимися.

В зависимости от диаметра дымовой коробки могут быть приняты два способа скрепления дымовой коробки с цилиндрической частью котла. Наши старые паровозы с их небольшими диаметрами цилиндрической части котла имеют относительно большой диаметр дымовых коробок,так как условия размещения коллектора и пароработочих труб заставляют увеличивать диаметр дымовой коробко (по отношению к котлу). Это увеличение достигается путем вклепки массивного стального кованого кольца между барабанами котла и дымовой коробкой. За последнее время клепка этого прокладного кольца заменена сваркой, как показано на фиг. 103 в применении к паровозу серии «Э^{м}».

Другой способ крепления дымовой коробки — непосредственная приклепка (или приварка) к переднему барабану — применяется у всех мощных паровозов. В случае клепки применяется двухрядный заклепочный шов.

Здесь диаметр дымовой коробки больше диаметра переднего барабана всегда на двойную толщину стенки и барабана. Если коллектор целиком не вписывается в габарит дымовой коробки, делают кожухи для выступающих углов коллектора.

НТБ
ДНУЖТ

§ 7. Люки и пробки котла

Расположение промывательных отверстий

Расположение отверстий для промывки должно быть таково, чтобы с наибольшим удобством можно было удалить накипь со всех внутренних участков котла. В зоне наиболее интенсивного парообразования — у топки—эти отверстия должны быть расположены в наибольшем количестве еще и потому, что поверхность нагрева топки, укрепленной большим количеством связей, расположенных по всем направлениям, достаточно легко покрывается слоем накипи, наиболее трудно удаляемой из-за загроможденности водяного пространства связями, тяжами, контрфорсами и т. д. Топки с потолками Бельпера в особенности имеют загроможденное связями водяное пространство над потолком топки.

Для того чтобы иметь наиболее удобный доступ к стенкам топки для их очистки, промывательные отверстия располагаются (на некотором расстоянии одно от другого) по всем двугранным углам кожуха.

При устройстве потолка по типу Бельпера отверстиями снабжаются и верхние продольные загибы листов кожуха, где потолок переходит в боковую стенку. В этих закруглениях, в правом и левом, отверстия располагаются в шахматном порядке. Такое расположение позволяет очистить весь потолок — эту наиболее опасную в части отложения накипи поверхность нагрева топки. Очистка от накипи нижних передних участков боковых листов топки и нижней части решетки производится через две пары отверстий в нижней части смычного листа.

В мощных котлах, где применяются полукруглые кожухи, для промывки радиального потолка топки предусматриваются отверстия, расположенные в нижних участках полукруглого потолка кожуха, как это показано на фиг. 60 для паровозов серий «ФД» и «ИС».

Для промывки всей боковой стенки топки обычно оказывается недостаточным наличие отверстий только по углам кожуха. Чем крупнее котел, тем большее количество распорных связей укрепляет боковые стенки топки, тем большее количество дополнительных отверстий необходимо предусматривать на боковых стенках. Эти отверстия у паровозов серий «ФД» и «ИС» показаны на фиг. 60.

Для промывки огневой решетки, работающей также весьма напряженно и загроможденной дымогарными и жаровыми трубами, предусматриваются отверстия в нижней части заднего барабана у котлов наших старых паровозов. В мощных котлах приходится обращать особое внимание также на очистку от накипи и всей поверхности камеры догорания (промывательные отверстия необходимо делать и с боков камеры догорания на заднем барабане). Является обязательным устройство большого промывательного отверстия внизу у одного из задних барабанов таким образом, чтобы это отверстие было расположено непосредственно у задней решетки.

Вообще нужно заметить, что камера догорания в смысле зарастания накипью работает так же, как и топка, — в неблагоприятных условиях.

Для промывки боковых и верхних участков огневой решетки также необходимо устраивать отверстия в боковых участках барабанов котла, как показано на фиг. 60. Все отверстия для очистки решетки служат, естественно, и для очистки от накипи задних участков жаровых и дымогарных труб. Эти участки труб работают также сравнительно напряженно ввиду высокой температуры проходящих по ним топочных газов. По мере продвижения вперед температура газов в трубах быстро падает; уменьшается и количество накипи, образующейся на этих участках.

Для очистки от накипи нижней части барабанов котла там предусматривается специальное небольшое отверстие. У паровозов серий «ФД» и «ИС», как это видно на фиг. 84, предусмотрены люки в нижней части первого барабана и перед камерой догорания.

Что касается размера и конфигурации отверстий, то в основом здесь имеет значение удобство промывки при минимальном ослаблении котла. Размер отверстий колеблется в пределах 45—150 *мм*. Люки внизу барабанов возле камеры догорания

НТБ
ДНУЖТ

и возле дымовой коробки у паровозов серий «ФД» и «ИС» сделаны диаметром 250 *мм*

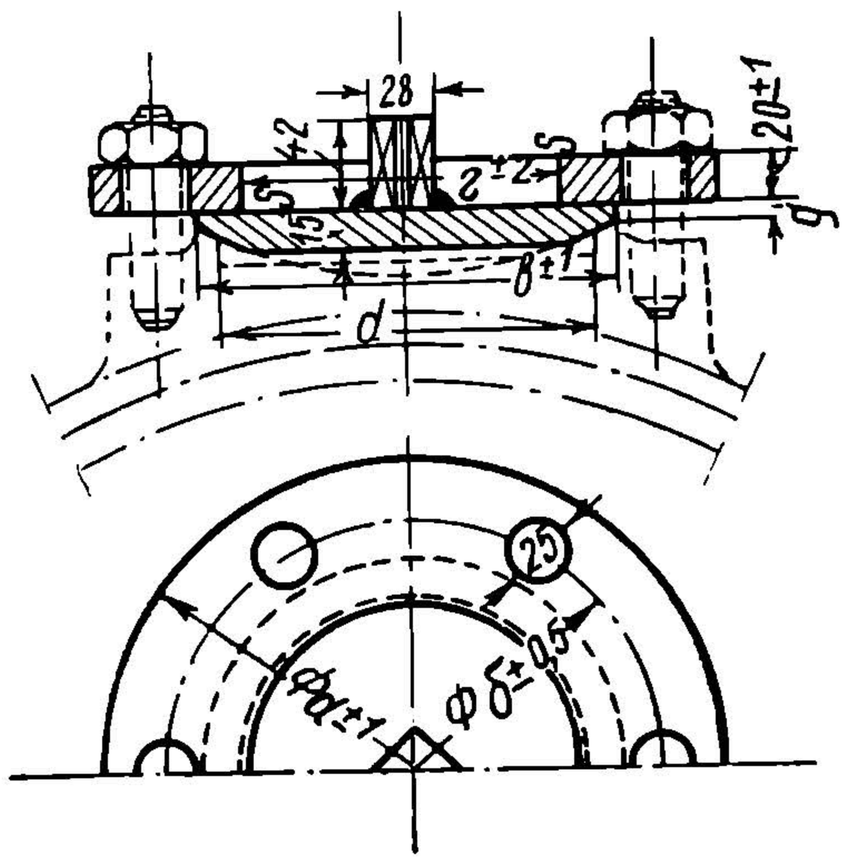
Наши котлы имеют достаточно большое количество промывательных отверстий для возможности полной очистки котла от грязи и накипи.

Промывательные люки и пробки

Промывательные люки (отверстия) в кожухе и цилиндрической части котла у наших старых паровозов закрываются почти исключительно крышками, укрепляемыми посредством болтов или шпилек. Такие люки выполняются нескольких размеров, причем люки лобового и смычного листов делаются небольших размеров 50—75 *мм*, люки же шинельного листа кожуха, а также и цилиндрической части—большого размера 110—150 *мм* в диаметре.

Большое разнообразие конструкций тех и других типов люков и размеров самых отверстий побудило НКПС провести стандартизацию люков.

Небольшие люки делаются овальной формы с хвостовиком, на конце которого имеется нарезка для укрепления люка на месте. Люк вставляется рукой в котел, повертывается на 90° и затем притягивается к скобе, установленной снаружи котла. Котловое давление прижимает с большой силой люк к опорной поверхности. Уплотнение достигается постановкой свинцовой прокладки (или асбестовой плетенки), вырезанной по форме опорной поверхности люка, на стенку котла.



Фиг. 104.

Что касается больших люков, то они делаются исключительно накладными, по своей конструкции напоминающими лаз, но значительно меньших размеров.

Стандартизация этих люков позволила свести все типы их к одному типу. Размеров отверстий оставлено всего два—диаметром 110 и 150 *мм*[1].

На фиг. 104 показаны основные части люка; в зависимости от диаметра отверстия основания люка размеры люка и нажимной крышки изменяются, как указано в табл. 12.

Таблица 12

Размер отверстия в свету	Размеры люка в *мм*					Число шпилек
	а	*б*	*в*	*г*	*ч*	
$d = 110$	226	176	140	90	165	6
$d = 150$	260	210	180	130	220	6

Нажимная крышка изготовляется из Ст.-3 (ОСТ 4125), люк — из Ст-2 (ОСТ 4125). Герметичность соединения люка с фланцем достигается притиркой.

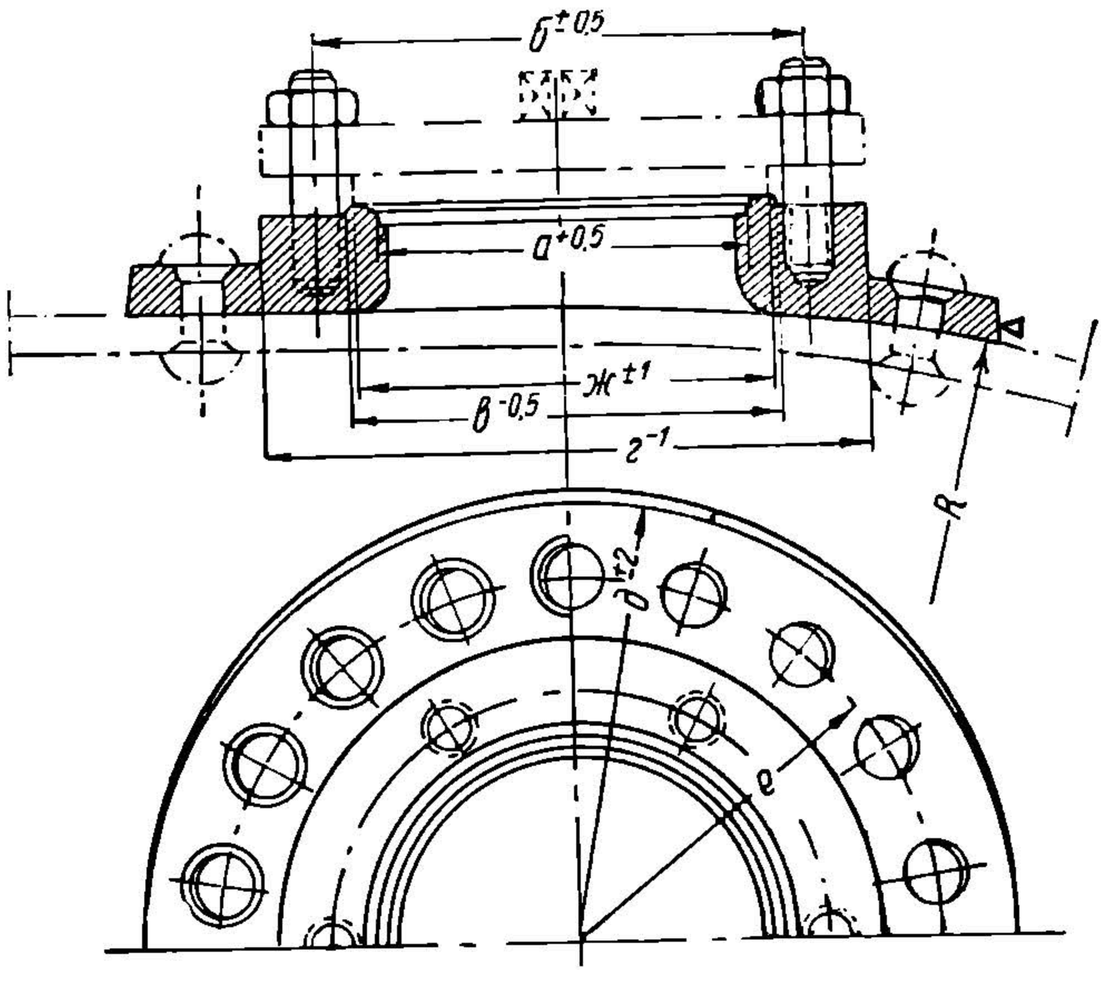
Фланцы люка, в зависимости от способа укрепления их и от расположения на котле (т. е. на закруглении кожуха или на барабане котла), стандартизированы четырех типов попарно на цилиндрическую часть котла и на кожух, приклепываемые и привариваемые.

---

[1] Подробнее об устройстве всех стандартных люков см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ

Фланец люка на цилиндрическую часть котла по первому варианту крепления (на заклепках) показан на фиг. 105. Основные размеры фланцев приведены в табл. 13.



Фиг. 105.

Таблица 13

Размеры в *мм*								Число	
Размер в свету	*а*	*б*	*в*	*г*	*д*	*е*	*ж*	шпилек	заклепок
d=110	120	176	142	224	345	280	130	6	14
d=150	160	210	182	225	375	310	180	6	18

Радиус закругления *R* опорной поверхности фланца на котел или топку, естественно, не стандартизирован; он зависит от радиуса изгиба котельного листа, для которого предназначается люк.

Фланец изготовляется или штамповкой из Ст.-3 (ОСТ 4125), или отливкой из Стл.-1 (ОСТ 791).

По второму варианту фланцы люков делаются приварными, закладываемыми изнутри котла. На фиг. 106 показан фланец на барабан котла. Размеры этих фланцев приведены в табл. 14.

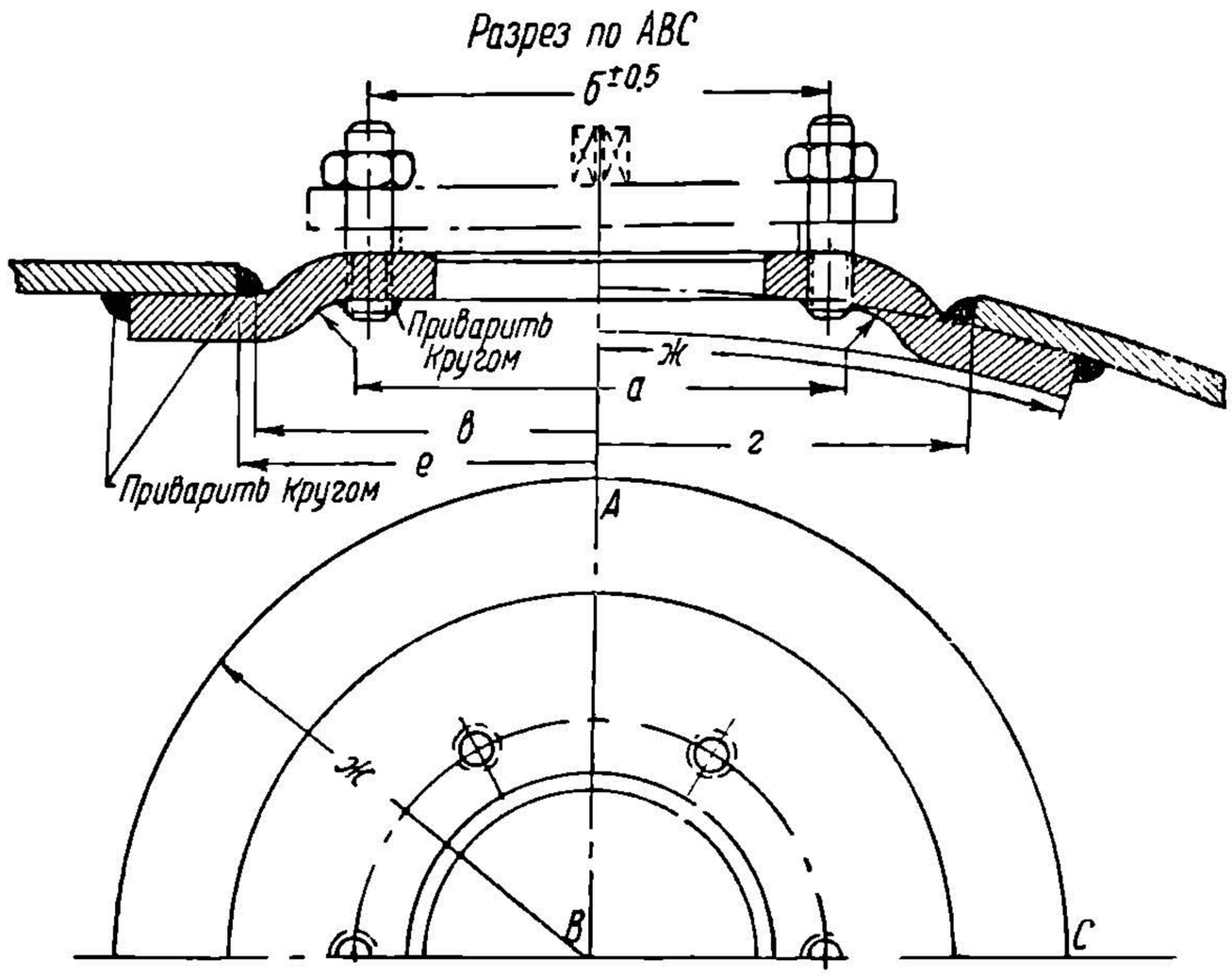
Таблица 14

Размеры в *мм*						
Размер в свету	*а*	*б*	*в*	*г*	*е*	*ж*
d=110	205	176	288	315	310	420
d=150	225	210	315	330	330	440

Все рассмотренные устройства люков, в особенности накладных, несколько неудобны в эксплуатации из-за громоздкости самого процесса отвертывания многочисленных гаек, разборки деталей и последующей постановки их на место. На всем протяжении развития паровоза имели место поиски более простых и рациональных конструкций.

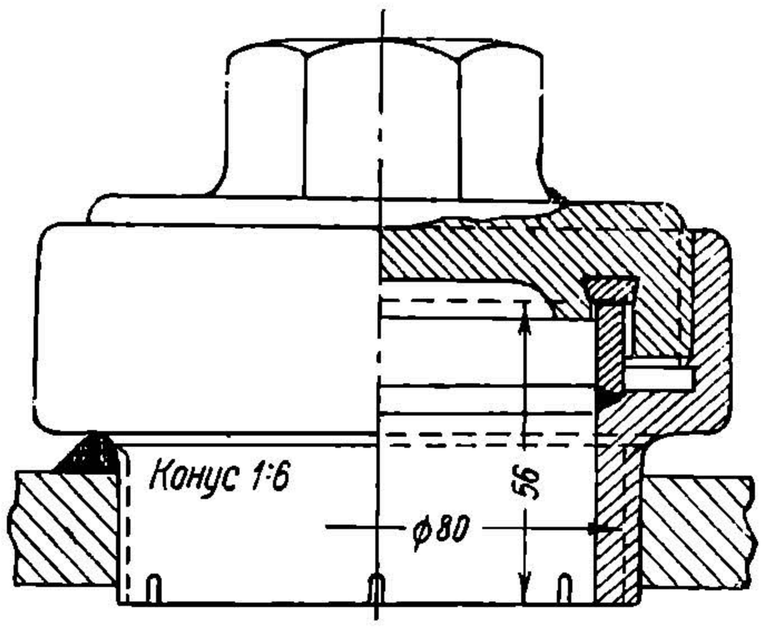
НТБ ДНУЖТ

Одно время стали получать распространение крайне простые устройства для заглушки отверстий—железные пробки с мелкой конической нарезкой, обеспечивающие как будто и надежное крепление пробки в листе и нужную герметич-



Фиг. 106.

ность. В эксплуатации эти пробки себя не оправдали, так как нарезка закипала; эта накипь при отвертывании обусловливала порчу нарезки; в настоящее время такие пробки стандартизированы $\left(\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} - \frac{7043}{127}\right)$, но применяются в очень ограниченном количестве. Значительно лучшими оказались пробки системы Гауслея, ввертываемые в корпус-втулку, наглухо укрепленную в стенке котла, как показано на фиг. 107. Пробка снабжена трапецоидальной резьбой, которая защищена как от котельной воды, так и от механического повреждения. Сравнительно невысокая стоимость, надежность и долговечность работы обусловили возможность применения подобных пробок в широких масштабах. Паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют 35—44 промывательных пробки, расставленных во всех нужных местах.



Фиг. 107.

Размеры пробок могут быть различны. Употребительны диаметры отверстия 50—75 *мм*.

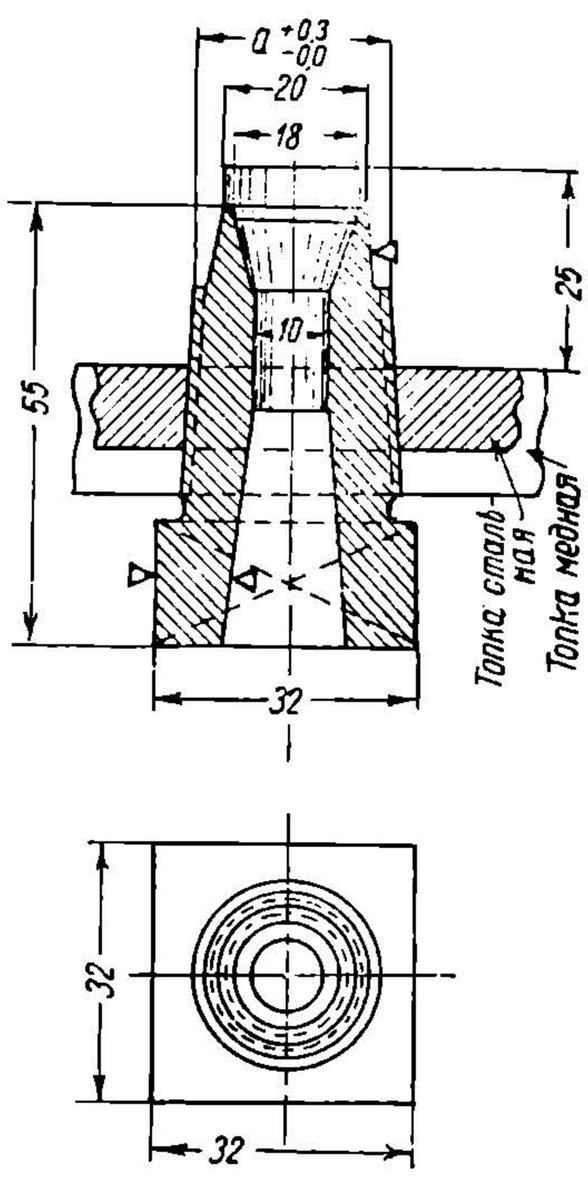
Корпус изготовляется штамповкой из стали марки Ст.-2. Для упрощения изготовления корпуса опорная втулка под крышку сделана приварной. Корпус ввертывается на конической нарезке в отверстие котла и развальцовывается в нем до плотного прилегания ниток нарезки корпуса и отверстия. При этой развальцовке нужно остерегаться деформации верхней части корпуса с его трапецоидальной резьбой; развальцовывается только нижняя часть корпуса. Для облегчения развальцовки корпуса в его нижней части сделано шесть неглубоких пропилов. Корпус приваривается к листу в одной точке — для контроля над случайным самоотвертыванием корпуса.

НТБ ДНУЖТ

Уплотнение между корпусом пробки и самой пробкой достигается запрессовкой в проточенный кольцеобразный паз пробки прокладного кольца красной меди.

Предохранительные пробки топки

Несмотря на то, что понижение уровня воды в котле за пределы 100—115 *мм* над потолком топки категорически запрещается, практика показывает, что у отдельных бригад такие упущения все же иногда имеют место (небрежность, неопытность). Поэтому в потолок топки всегда должно быть ввернуто не менее двух предохранительных пробок (согласно § 186, п. «д» ПТЭ).



Фиг. 108.

Одна пробка ставится в передней части потолка, другая — в задней. На мощных паровозах ставится три предохранительных пробки: одна в передней части потолка, а две—в задней.

Обнажившийся от воды потолок быстро накаливается, легкоплавкий металл выдавливается в топку, и входящий в топку пар сигнализирует бригаде о преступном упущении. Накалившийся и потерявший свою прочность потолок может быть сорван со связей (взрыв котла).

При расплавлении пробки паровоз должен быть немедленно потушен. Потолок затем должен быть освидетельствован для установления отсутствия его поджога.

Предохранительная пробка $\left(\frac{\text{СТ-4}}{\text{ЦТ-1}}\right)$ показана на фиг. 108. Пробка изготовляется из бронзы марки Бр.-ОЦ-8-4 по ОСТ 6240, заливается легкоплавким свинцовооловянистым сплавом $\left(\frac{\text{СТ-4}}{\text{ЦТ-2}}\right)$ с температурой плавления 270—290°.

Нарезка пробки делается конической. Нарезка в отверстии потолка постепенно изнашивается,поэтому пробки имеют ряд градаций диаметров «*a*» по верхнему торцу (24—40 *мм*). Пробки вновь строящихся паровозов имеют $a = 24$ *мм*.

У мощных паровозов с их длинными топками при стокерном отоплении шум пара, вырывающегося из расплавленной пробки, несколько заглушается работой сопел стокера, и поэтому поджог потолка может быть сразу не замечен. Отсюда следует, что наблюдение за уровнем воды в котлах мощных паровозов должно быть особенно тщательным.

ГЛАВА IV

РЕМОНТ КОТЛА

§ 1. Общие сведения

Паровозный котел во время эксплуатации претерпевает целый ряд деформаций и подвергается сильному износу вследствие воздействия на стенки топки, труб и цилиндрическую часть котла, с одной стороны, продуктов сгорания (газы), с другой—воды и содержащихся в ней солей кислот и других примесей. Уход за котлом должен быть так поставлен, чтобы срок службы его был возможно больше, а деформации отдельных элементов были возможно меньшими. В этом отношении весьма существенное значение имеют способы питания котла водой, методы отопления и в особенности промывки его.

Во время питания котла водой не следует допускать значительного понижения давления пара путем продолжительного накачивания, особенно после форсирован-

НТБ ДНУЖТ

ной работы. Качать воду следует только при открытом регуляторе или же при открытом сифоне и при хорошем огне.

Продолжительное открытие шуровочного отверстия при забрасывании топлива вызывает излишнее охлаждение топки и неравномерные деформации отдельных ее частей, в результате чего могут образоваться выпучины и даже трещины. Местные прорывы воздуха в отдельных частях колосниковой решетки также способствуют резкому охлаждению стенок топки. Не менее важное значение для предотвращения вредных деформаций топки имеет состояние зольника (поддувала) и его клапанов. Самое же основное требование, которое должно быть предъявлено к депо при эксплуатации паровозов, — содержание в чистоте стенок котла. Незначительный слой накипи даже в 1 *мм* приводит к образованию выпучин и явлению криппа, которое заключается в том, что при высоких температурах (500—600°) материал стенок деформируется — растягивается и выпучивается. В нормальных условиях работы котла температура стенки, омываемой водой, не превышает 250°, тогда как даже при незначительном слое накипи эта температура повышается до 500° и выше; следовательно, явление криппа становится неизбежным. Отсюда ясно, почему депо должно уделять большое внимание вопросам применения антинакипинов и методам промывки, заменяя наиболее вредную с точки зрения деформаций котлов холодную промывку — теплой. Производить промывку котлов надо строго по инструкции, разработанной НКПС, в особенности не допуская охлаждения подлежащих промывке котлов добавлением холодной воды, что практиковалось вредителями (см. приказ за № 80/Ц 1937 г).

Повреждения паровозных котлов

Ремонт паровозных котлов вызывается следующими причинами: 1) износом стенок топок вследствие их обгорания. Нормы износа устанавливаются техническими условиями, предъявляемыми к паровозам, выпускаемым из капитального среднего, подъемочного и промывочного ремонтов, 2) повреждениями в виде выпучин и трещин отдельных частей топки й кожуха. Наиболее характерными из них являются трещины в задней решетке—в мостиках между отверстиями для дымогарных и жаровых труб, в простенках между отверстиями для связей, в верхних и боковых загибах, во фланцах решетки, от кромок к заклепкам.

В задней стенке, кроме ее износа, встречаются трещины между связями, в загибах фланцев и трещины у шуровочного отверстия. В шинельном листе, помимо износа, наблюдаются трещины, так же как и в остальных частях топки, между связями, лучевые надрывы, идущие от связевых отверстий, трещины в загибах, между анкерными болтами, и трещины от кромки швов до заклепок. Повреждения кожуха состоят главным образом из разъеданий в нижней части по обвязочной раме топки, в загибах у смычного и лобового листов.

Трещины в кожухе топки образуются главным образом в загибах, в местах отверстий для люковых втулок, в верхних загибах смычного, например у паровозов серий «Щ», «Б», «С», «С^{у}», имеющих не прямой переход от кожуха к цилиндрической части котла. Вследствие небольшой сменяемости частей кожуха топки мы имеем у старых котлов разработку отверстий для связей.

Причины образования трещин в топках паровозов и способы их предупреждения

Трещины, наблюдающиеся в котлах, вообще говоря, можно разделить на две группы:

1) трещины, обнаруживаемые в процессе изготовления котлов;

2) трещины, появляющиеся во время эксплуатации.

Трещины первой группы зависят исключительно от качества металла, от термической его обработки и появляются главным образом при штамповке листов, что указывает на неоднородное строение котельной стали, на ее рекристаллизацию и низкую ударную вязкость. При гибке фланцев различных частей топки вручную прибегают к ударам кувалдами, что влечет за собой местный наклеп и распадение зерен перлита; с этой точки зрения, казалось бы, необходимо стремиться к повышению относительного удлинения. Опытные исследования приводят к вы-

НТБ ДНУЖТ

водам, что сталь с повышенным временным сопротивлением оказывается менее чувствительной к старению, чем мягкие ее сорта. Явление старения, как известно, выражается в том, что свойства стали изменяются в сторону увеличения временного сопротивления и предела текучести с одновременным снижением удлинения и ударной вязкости. Нагреванием листов стали явление старения даже может быть ускорено. До последнего времени полагали, что для борьбы с трещинами нужно применять мягкую сталь, однако исследованиями также установлено, что повышенное относительное удлинение свойственно рекристаллизированному металлу с распавшимся перлитом. Отсюда следует, что вопрос выбора материала для топок и их ремонта имеет существенное значение, и с этой точки зрения наша стандартная сталь для топок Ст.-2 требует повышения ее качеств. В настоящее время в этой области производятся изыскания; можно сказать, что лучшим материалом для котлов будет являться сталь с повышенным содержанием углерода до 0,24% (применяемая американцами) вместо 0,11%, как это принято Ворошиловградским заводом [1].

Трещины второй группы появляются во время эксплуатации, в особенности на стенках топки. Возникают они не только при передаче стенке ударов, например от чеканки заклепок швов, клепки связей, но иногда и в «спокойном» состоянии котла. Это происходит, очевидно, после появления мало заметных трещин или надрывов, идущих от связевых отверстий в виде лучей в определенном направлении, причем эти трещины обнаруживаются или в зоне горения, или на участке текущих связей. Появление же начальных трещин тесно связано с методами постановки связей; как показывает практика, в тех случаях, когда после постановки их прибегают к раздаче контрольных отверстий бородком, образование трещин значительно ускоряется и облегчается. Кроме того, во время работы паровозов в стенках их, в особенности в решетках, возникают тепловые напряжения: 1) местные, вследствие различных температур и 2) общие, вследствие различной скорости остывания жаровых и дымогарных труб, с одной стороны, и цилиндрической части котла и кожуха—с другой, что приводит к некоторой разнице удлинений наружной и внутренней частей котла. На горячем паровозе при изменении давления пара отдельные части топки изменяют свое положение, соответственно с чем изменяется положение связей, труб и перемещение огневой коробки относительно кожуха. Деформации могут иметь место и в нерабочем состоянии паровоза; это подтверждается появлением трещин и при отсутствии давления пара, например во время промывки.

Следует заметить, что исследования вопросов деформации паровозных котлов не дают полного ответа ввиду сложности явлений, но все же приближенные расчеты позволяют сделать известные выводы.

В качестве примера рассмотрим деформации котла паровоза серии «С^{У}».

Как известно, удлинение всякого тела может быть определено из выражения: $\Delta l = \alpha L (T - t)$, где α — коэфициент линейного расширения, принимаемый для стали равным $\frac{1}{85\,000}$, L — длина тела, T — температура тела, t — температура внешней среды. В данном случае длина связей, соединяющих заднюю стенку с кожухом, равна 98 *мм*, длина топки паровоза серии «С^{У}» — 3275 *мм*, длина труб — 5150 *мм*, длина кожуха и цилиндрической части котла: $3275 + 98 + 5150 = 8523$ *мм*. Подставив данные в основное выражение удлинения, получим: удлинение связей — $\Delta l = \frac{195{,}5 \quad 98}{85\,000} = 0{,}22$ *мм*; удлинение топки — $\Delta l_2 = \frac{280 \quad 3275}{85\,000} = 10{,}72$ *мм* и удлинение труб — $\Delta l_3 = \frac{220 \cdot 5150}{85\,000} = 13{,}33$ *мм*. Таким образом удлинение внутренних частей котла будет равно $\Delta l' = 0{,}22 + 10{,}72 + 13{,}33 = 24{,}27$ *мм*. Удлинение же цилиндрической части котла и ко-

[1] Подробнее см. журнал. Транспортное машиностроение" № 1, 1936 г., ст. Владимирского.

НТБ ДНУЖТ

жуха равно $\Delta l'' = \frac{195{,}5 \cdot 8\,523}{85\,000} = 19{,}5$ *мм*. Из сравнения величин $\Delta l'$ и $\Delta l''$ находим, что разница в удлинениях наружных и внутренних частей котла паровоза серии «СУ» составляет около 5 *мм*, что и создает внутренние напряжения в частях топки, вызывая появление трещин.

В паровозах с медными топками эта разница удлинения получается еще больше, доходя до 12,5 *мм* (для паровозов серии «Щ»).

В результате расширения цилиндрической части котла и топки напряжения в частях топки достигают весьма значительных величин, иногда превышающих предел упругости.

Разрушающее действие производит на котел резкое охлаждение паровоза при холодной промывке, когда благодаря различной скорости охлаждения труб и огневой коробки, с одной стороны, и цилиндрической части котла и кожуха топки—с другой, в котлах возникают особенно сильные натяжения, в результате чего появляются надрывы, а затем и трещины.

§ 2. Способы ремонта топок

Котельный ремонт паровозных топок весьма разнообразен; поэтому здесь будут рассмотрены лишь наиболее характерные способы ремонта при помощи сварки.

Ремонт топочных решеток

При износе стальных решеток в трубчатой части менее 10 [1] *мм* и в нижней части 7 *мм* (соответственно медных решеток в трубчатой части — 18 *мм* и в подрешеточной части 8 *мм*) при капитальном ремонте они должны быть заменены новыми.

При ремонте решеток в депо во время промывки паровозов имеют место наиболее часто встречающиеся случаи: 1) заварка трещин в простенках между отверстиями для труб и связей; 2) заварка лучевых надрывов; 3) наплавка отверстий для дымогарных и жаровых труб и 4) заварка трещин от края кромки до отверстия для заклепок.

Заварка трещин, параллельных загибам, и в загибах углов решетки, приварка головок связей, анкерных болтов и заклепок запрещается.

Заварка трещин в трубных простенках отверстий для дымогарных и жаровых труб разрешается в количестве не более 30 штук, но при условии, что они расположены в разных частях решетки и что число смежных трещин не превышает 4 подряд. Для заварки трещин допускается как электросварка, так и ацетилено-кислородная сварка. Ближайшие к трещинам трубы должны быть удалены. Самый процесс заварки начинается с трещин, ближайших к внешнему ряду труб. Для устранения излишних напряжений в сварном шве рекомендуется в отверстия для труб вставлять железные пробки. Шов подготавливается V-образного сечения с углом раскрытия в 60°.

Нужно тщательно следить за тем, чтобы после заварки каждого отдельного простенка до начала заварки следующего простенка решетка приняла нормальную температуру. Диаметр электродов берется не менее 3 *мм*, марки 1, обязательно снабженным одной из обмазок по ОСТ 53-17. Газовая варка трещины производится прутками диаметром 4 *мм* горелкой с расходом газа в 1200—1500 *л/час*. При газовой сварке медной решетки работа производится двумя сварщиками прутками красной меди диаметром 5 *мм* горелкой с расходом газа от 2200 — 2500 *л/час*.

Заварка лучевых надрывов. Заварка надрывов при среднем и подъемочном ремонтах разрешается в общем их количестве не свыше 30 штук, а у одной трубы не более 2 надрывов. Что касается электродов и типа горелок, то они применяются такие же, как и при заварке трещин в простенках для труб.

---

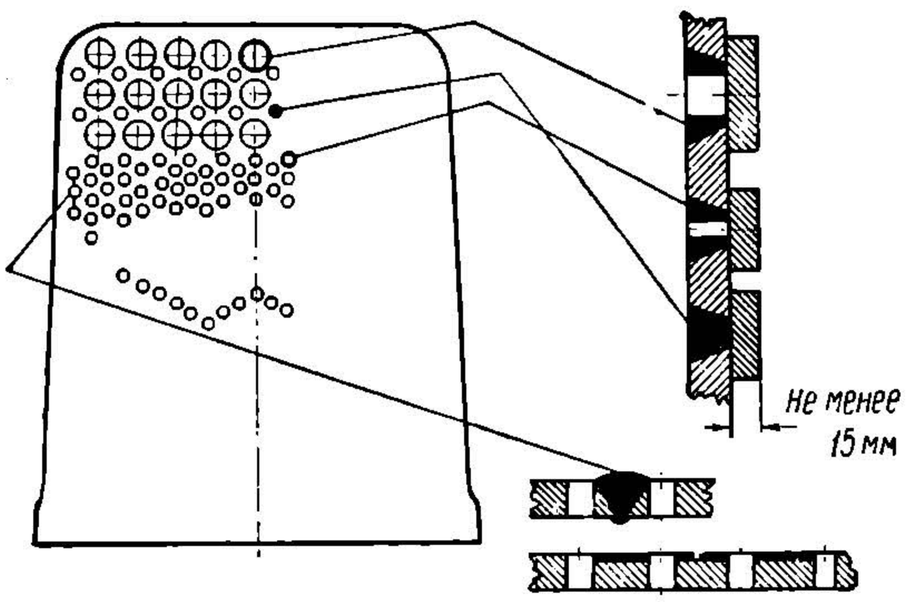
[1] Данные допусков взяты из «Правил ремонта» изд. 1934 г., которые подлежат изменению по пересмотре и утверждении новых правил.

НТБ ДНУЖТ

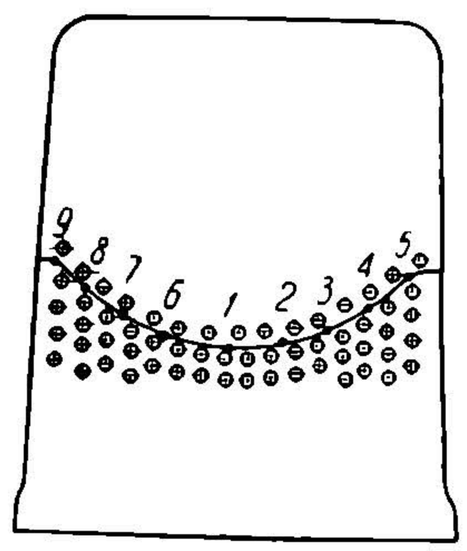
Наплавка отверстий для дымогарных и жаровых труб (фиг. 109) вызывается их разработкой и овализацией отверстий. В стальных решетках разрешается заварка отверстий с доведением их до альбомных размеров у 5 жаровых и 15 дымогарных труб. Диаметр электрода берется не менее 4 *мм* при силе тока (180—200) *А*.

После наплавки отверстия для труб проверяются разверткой.

При среднем ремонте при наличии в топочной решетке большого количества трещин в кромках, между отверстиями для связей или же при большом износе решетки допускается вварка подрешеточной части решетки; при капитальном ремонте составные решетки не допускаются. Сварной шов должен быть расположен между лапчатыми связями и первым рядом распорных связей (фиг. 110) с раскрытием его в сторону огня под уголом в 45°. Процесс постановки подрешеточной части решетки состоит из подготовки к вварке и непосредственно самой сварки. Подготовка к вварке заключается в удалении негодной части решетки. С этой целью выжигаются заклепки по обвязочному кольцу и фланцу решетки помощью вольтовой дуги или газового резака, а также выжигаются связи со стороны ухватного листа. Решетка перерезается газовым резаком под углом в 45° по линии, проходящей между рядами связевых отверстий, и кроме того, удаляется в оставшейся части решетки ряд связей, прилегающий к сварному шву. По удалении нижней части решетки и зачистке кромок ее производится пригонка новой части к оставшейся с укреплением прихватками (фиг. 111). Нижняя часть полурешетки соединяется с обвязочным кольцом несколькими болтами диаметром, на 2—3 *мм* меньшим, чем отверстия для заклепок. После постановки полурешетки на место



Фиг. 109.



Фиг. 110.

она прихватывается электроприхватками, одновременно удаляются укрепляющие скобы. Сварка ведется обратно ступенчатым швом. По окончании сварки производятся клепка по фланцам решетки и по обвязочной раме, проверка и нарезка связевых отверстий в остальной части решетки. Постановкой связей и их расклепкой оканчивается процесс постановки подрешеточной части решетки.

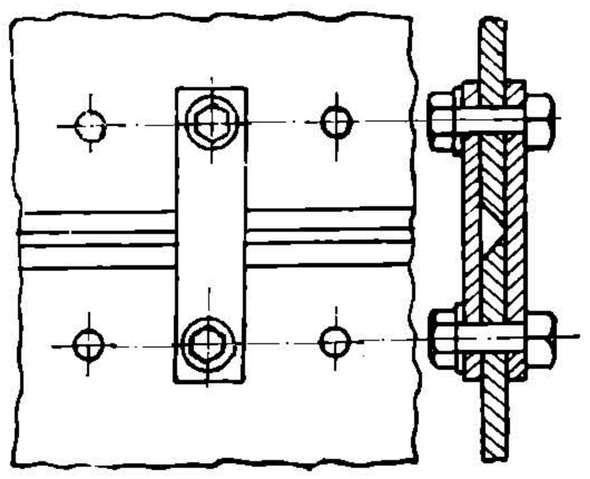
Вварка новой трубчатой части железно решетки

При среднем ремонте, если разработка отверстий для жаровых и дымогарных труб превышает допускаемые нормы, при наличии трещин, параллельных загибу, или в углах и, наконец, если число трещин в мостиках превышает 30, допускается вварка новой трубчатой части железной решетки, причем здесь могут иметь место два случая: 1) вварка без отклепки фланцев и 2) вварка с отклепкой фланцев. Рекомендовать вварку одной трубчатой части решетки при оставшихся фланцах старой решетки нельзя, так как это не обеспечивает должного качества, продолжительного срока службы отремонтированной решетки и, кроме того,—дорогостоящая работа. При смене трубчатой части решетки необходимо, как и в предыдущем случае, выжечь заклепки по фланцам, соединяющие ее с шинельным листом и потолком, и затем перерезать

НТБ
ДНУЖТ

решетку между 2-м и 3-м рядами связей, но не ближе 40 *мм* от отверстий для труб с таким расчетом, чтобы кромка для шва была скошена под углом 45° Кроме того, нужно удалить в оставшейся части решетки прилегающий к сварному шву ряд связей. Изготовленная новая полурешетка по выполнении подготовительных работ, заключающихся в разметке и сверловке отверстий для дымогарных и жаровых труб, отверстий во фланцах под заклепки, обрубке кромок, ставится на место и пригоняется по сварному шву.

По выполнении приварки обратно ступенчатым способом электродами $d = 4$ *мм* при силе тока 180—200 *А* полурешетка дополнительно обжимается по кромкам, отверстия проверяются разверткой и заклепываются. Следующими операциями являются чеканка заклепок и швов, правка решетки, проверка и нарезка отверстий для связей, постановка и клепка связей и постановка труб.



Фиг. 111.

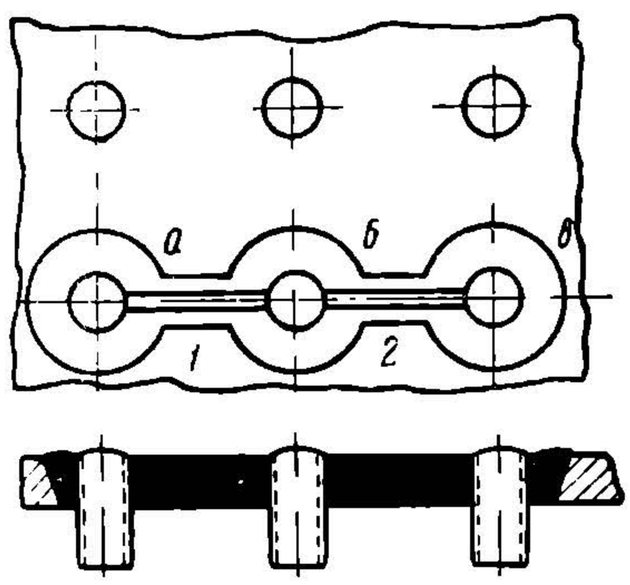
Заварка трещин в связевых простенках решетки

Заварка трещин в простенках между связями допускается лишь при среднем ремонте и то лишь в тех случаях, когда трещины захватывают не более 3 смежных простенков. В противном случае целесообразнее вварить латку или новую подрешеточную часть решетки.

При подъемочном ремонте допускается заварка между связевыми отверстиями до 5 трещин. В случае заварки место трещины разделывается под V-образный шов, связевые же отверстия, между которыми проходят трещины, должны быть раззенкованы. Кроме того, с каждой стороны трещины необходимо удалить по одному ряду связей. В целях устранения усадочных напряжений, возникающих во время сварки в шве, в отверстия для связей нужно поставить пробки. Процесс заварки происходит в следующей последовательности. Сначала заваривается первый простенок *1* (фиг. 112) между связевыми отверстиями, затем заваривается отверстие для связи *а*, после чего переходят к заварке второго простенка *2*, а по заварке отверстия *б* последним заваривается отверстие *в*. Диаметр электрода берется равным 4 *мм*, сила тока — 180 — 220 *А*.

Смена топочной решетки

При значительных повреждениях топочной решетки при среднем ремонте целесообразнее и экономичнее вместо постановки полурешеток сменить решетку полностью. При этом нужно различать два случая: 1) смена рещетки при медном шинельном листе (часть паровозов «Э», «Су» и т. д.) и 2) смена решетки при железном шинельном листе (паровозы серий «Э», «Су», «ФД» и «ИС»). В первом случае решетка соединяется с шинельным листом на заклепках, а во втором она ставится на заклепках или же приваривается к шинельному листу. Вначале рассматривается первый случай, причем надо иметь в виду, что для смены решетки снятие котла с рамы не обязательно, хотя в целях облегчения условий работы и повышения ее качества все же нужно рекомендовать смену решетки при снятом котле. Для разборки котла его устанавливают в «важоре» (специальная установка для ремонта котлов), где наружные концы связей выжигаются газом[1] или высверливаются специальной сверлильной машин-

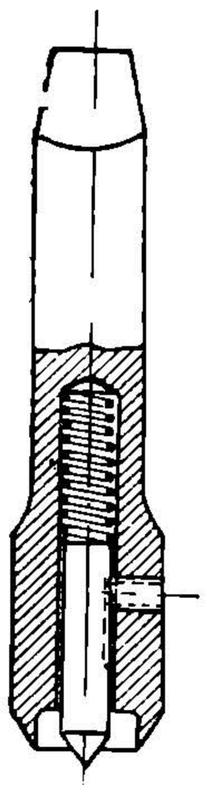


Фиг. 112.

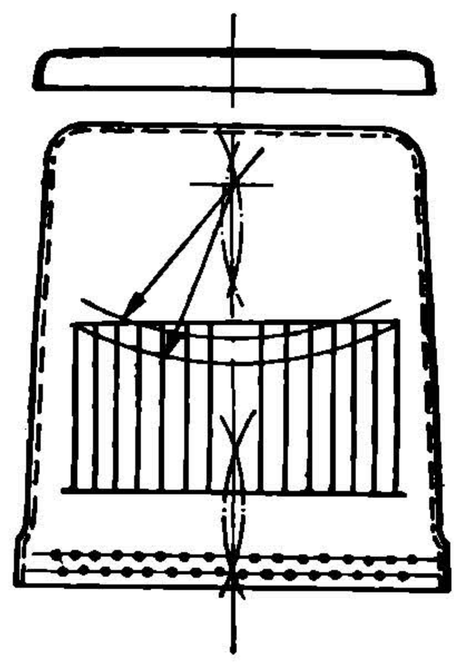
[1] Для выжигания головок связей постановка котла в «важор» не обязательна.

НТБ ДНУЖТ

кой только с наружной стороны. Затем вырезаются жаровые и дымогарные трубы, удаляемые через разрубленное (при медной решетке) или вырезанное (при железной решетке) отверстие размером 300 × 300 *мм*. По удалении труб необходимо выжечь заклепки по фланцам решетки и по обвязочной раме. Далее фланцы решетки отжимаются от топочной рамы, после чего решетка свободно выбивается и вынимается из топки. Для ускорения операций по удалению решетки целесообразнее ее разрезать на отдельные части газом, соблюдая осторожность при разрезывании мест, расположенных над обвязочной рамой. Отштампованная топочная решетка может размечаться по чертежу без предварительной подметки до постановки паровоза в ремонт, при этом могут быть размечены отверстия для труб, связей и заклепок за исключением угловых по обвязочной раме. Размеры размеченных и заготовленных в запас решеток должны быть сверены с альбомными. Разметку отверстий для заклепок по обвязочной раме выполняют после постановки котла в ремонт. Разметка трубных отверстий производится по кондуктору, для укрепления которого в решетке сверлятся 4 отверстия; в исключительных случаях—геометрическим построением по чертежу. После нанесения центров отверстий специальным кернером (фиг. 113) наносятся контрольные отверстия, по которым производится их рассверловка. Далее размечаются отверстия для лапчатых связей. С этой целью на полотне топочной решетки наносится центр паровозного котла и из него проводится дуга (фиг. 114), на которой по альбому располагаются лапчатые связи.

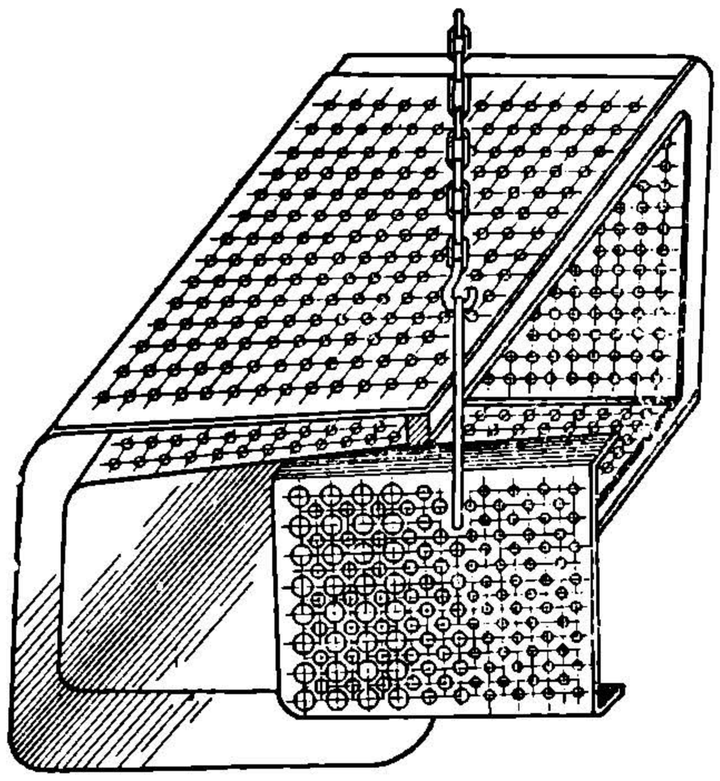


Фиг. 113.

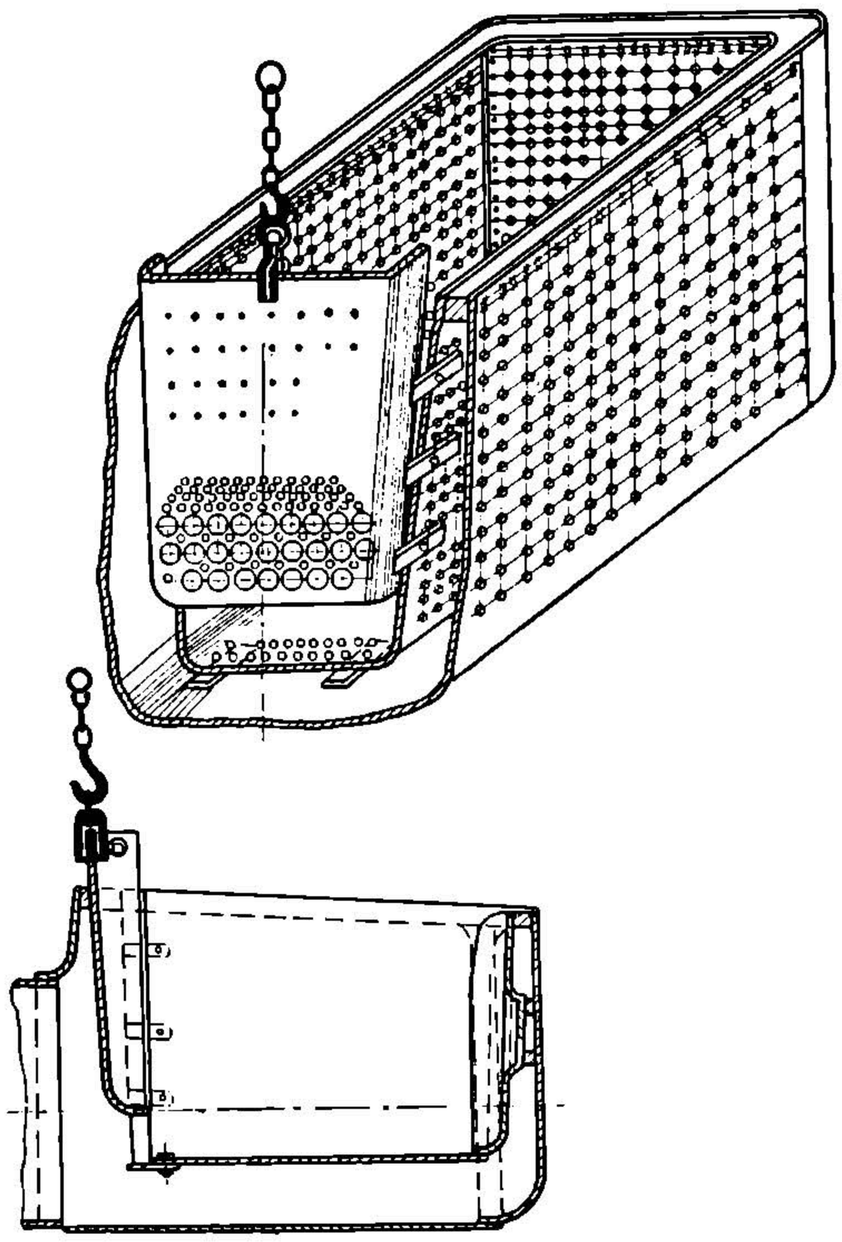


Фиг. 114.

После разметки проверяется количество намеченных отверстий и правильность их расположения. Способ разметки по шаблону проще и значительно ускоряет процесс разметки. Для разметки заклепочных отверстий по верхнему и боковым загибам к полотну трубчатой части решетки прикладывается линейка, от нее откладывается альбомное расстоя-



Фиг. 115



Фиг. 116

НТБ
ДНУЖТ

ние до центра заклепок и проводятся риски—линии, на которых и размечаются их центры. При разметке отверстий для заклепок по обвязочной раме необходимо к верхнему загибу решетки приложить линейку с наружной стороны и отложить от нее альбомное расстояние до линии центров заклепок, что даст две линии. На найденных линиях от центральных заклепочных отверстий следует циркулем отложить расстояния, равные заклепочному шагу. Угловые отверстия для заклепок размечаются по месту. До начала разметки размеры топочной решетки должны быть обмерены как по длине, так и по ширине вверху и внизу. Выполнив разметку, в решетке просверливаются отверстия для дымогарных труб диаметром в 42 *мм* и для жаровых труб — диаметром в 100 *мм*, после чего ставятся прокладные кольца. Отверстия для связей $d = 23$ *мм* высверливаются диаметром в 19 *мм*, а для заклепок в соответствии с размерами отверстий в обвязочной раме и старом шинельном листе. Перед постановкой решетки шинельный лист подвергается тщательному осмотру, причем особое внимание должно быть обращено на места подчеканки и на кромки листа, у которых можно иногда наблюдать трещины до заклепок. Установка решетки может быть выполнена двумя способам: 1) путем заводки ее в топку при положении котла топочной рамой вверх (фиг. 115), или же 2) как указано на фиг. 116.

После постановки решетки на место и проверки ее положения по отношению к передней решетке производится обжатие фланцев с нагревом до светло-красного каления (900°) с последующей расстановкой скрепляющих болтов через каждые 3 отверстия. Операция по обжатию фланцев должна быть прекращена по достижении температуры 600—700°, чему соответствует темнобурый цвет. Затем просверливаются отверстия в углах решеток, все же остальные отверстия для заклепок развертываются. До начала клепки должны быть проверены плотность прилегания фланцев к шинельному листу и полное совпадение отверстий для заклепок. Для образования головки заклепки она должна выступать за поверхность склепываемых частей на величину, соответствующую форме головки заклепки (круглая полупотайная). Для выполнения клепки нагрев заклепок должен лежать в пределах 1000—1200°.

Порядок приклепывания огневой решетки должен быть следующим: сначала производят клепку шва, соединяющего решетку с потолком, затем швы правой и левой сторон решетки и, наконец, последним заклепывается шов по обвязочной раме.

Постановка задней решетки на сварном шве

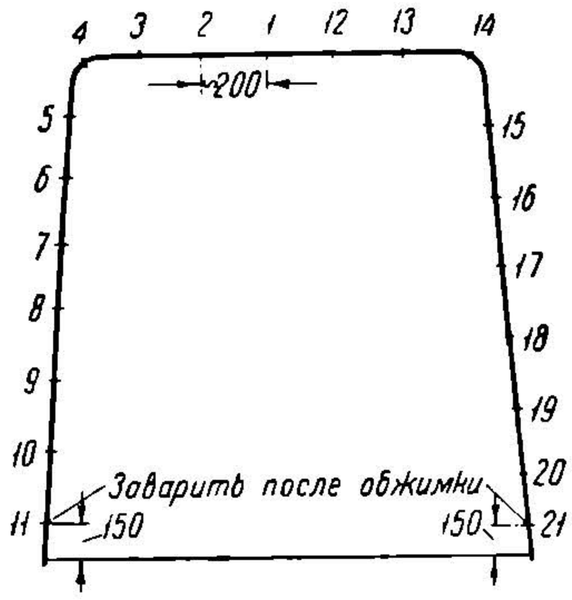
Подготовка новой решетки аналогична подготовке решетки, устанавливаемой на заклепках, но порядок удаления старой решетки имеет свои особенности. Прежде всего выжигаются заклепки по топочной раме вольтовой дугой или газовым резаком и связи со стороны ухватного листа. Выжигать заклепки по фланцам решетки не следует, так как решетка отрезается от шинельного листа со старым негодным швом.

По удалении решетки кромки шинельного листа обрубаются по шаблону со скосом под углом в 35°. На потолок и на боковые стенки ставятся медные планки, укрепляемые в отверстиях для анкерных болтов и связей (в применении к паровозам серии «Э» на потолке ставятся 2 планки, а на каждой боковой стенке по 3 планки). Решетка заводится и устанавливается в топку при положении котла рамой вверх, после чего проверяется положение огневой решетки относительно передней решетки и кожуха топки и производится пригонка к шинельному листу сначала по потолку, а затем по правой и левой сторонам листа. Кроме того, необходимо обжать решетку по топочной раме и обрезать ее по нижнему обрезу топочной рамы с обязательной зачисткой места обреза под чеканку.

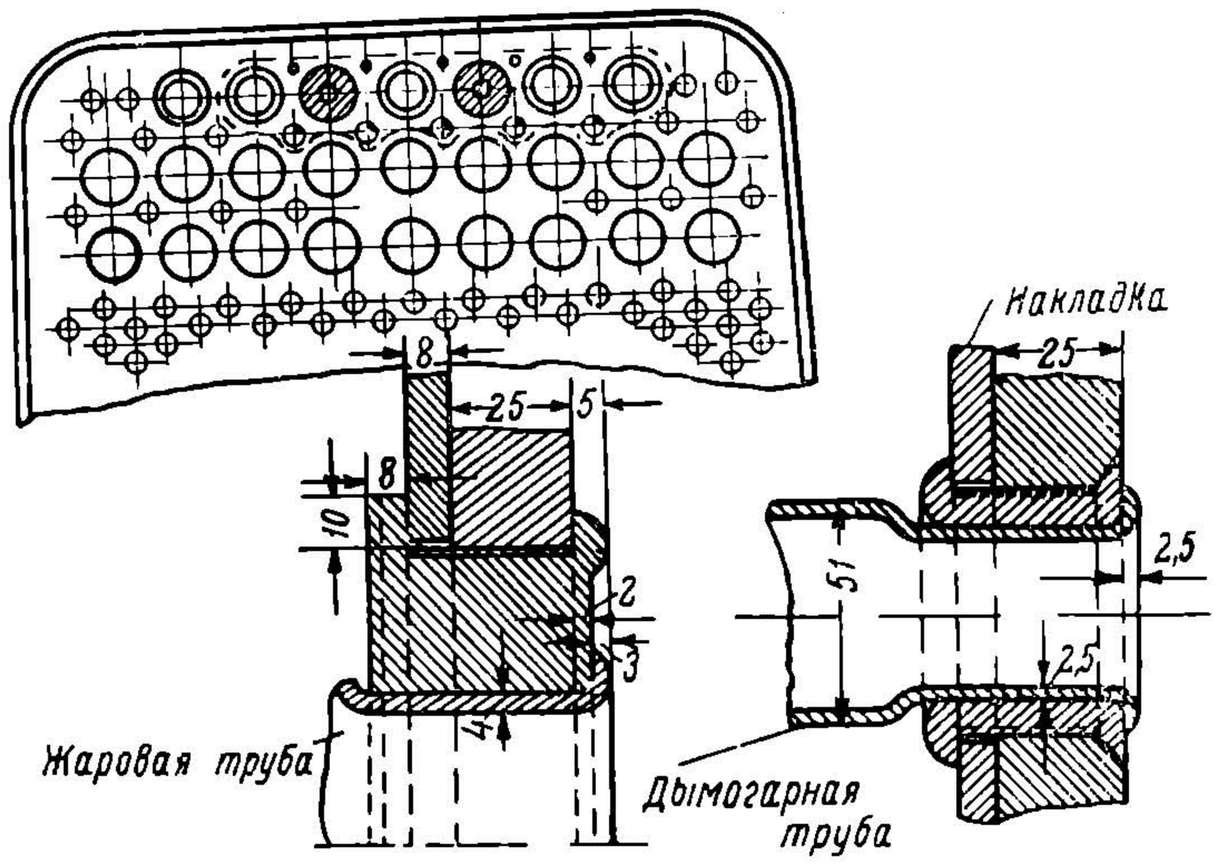
При сварке шов размечается на участки, по 200 *мм* каждый, начиная от середины решетки и не доходя до края топочной рамы на 150 *мм*. В середине каждого участка решетка укрепляется электроприхватками при положении

НТБ ДНУЖТ

котла рамой вверх в следующем порядке: с 1-го до 5-го и с 12-го до 15-го (фиг. 117), после чего укрепляющие скрепы снимаются. Сварка ведется двумя сварщиками; первый заваривает секцию обратно ступенчатым швом на участке *2—1*, а потом приступает к работе второй сварщик. В дальнейшем процесс сварки протекает в следующем порядке. Первый сварщик ведет сварку на участках *3—2*, *4—3*, *5—4*, второй на участках *12—1*, *13—12*, *14—13*, *15—14*. По окончании сварки потолка котел поворачивается рамой вниз, и сварка продолжается в следующем порядке. Первый сварщик варит на участках *6—5*, *7—6*, *8—7*, *9—8*, *10—9*, *11—10*, второй — *16—15*, *17—16*, *18—17*, *19—18*, *20—19* и *21—20*, при этом каждый из них, прежде чем начинать сварку следующей секции, должен прихватить кромки одним коротким валиком на расстоянии 250—300 *мм* от конца секции. Шов внизу топочной решетки на длине 150 *мм* заваривается лишь после обжатия нижней части решетки по раме. Решетка может быть приварена и одним сварщиком, который тогда ведет сварку сначала на участках *2—1*, *3—2*, *4—3*, *5—4*, *12—1*, *13—12*, *14—13*, *15—14*, а затем переходит к заварке боковых швов аналогично методу сварки при двух сварщиках. По окончании приварки решетки к шинельному листу в ней просверливаются отверстия для заклепок в углах топочной рамы; все отверстия проходятся разверткой, подзенковываются и заклепываются, затем производится приварка решетки к шинельному листу в нижней ее части у топочной рамы. Следующей стадией работы является чеканка заклепок по топочной раме и чеканка кромок листов. Приварка задней решетки к шинельному листу допускается в паровозах с давлением пара



Фиг. 117.



Фиг. 118.

в котле до 13 *ат* без постановки дополнительного ряда связей, в противном случае необходимо ставить дополнительный ряд связей, так, чтобы сварной шов был расположен между основным и дополнительным рядами связей. После приварки топочной решетки необходимо проверить ее плоскость, так как в результате неправильных приемов при сварке иногда наблюдаются ее выпучивание и прогиб полотна.

Особые случаи ремонта топочных решеток

При подъемочном и среднем ремонтах паровозов с медными топками допускается постановка на решетку со стороны воды накладок толщиной 6—8 *мм*, укрепление которых производится помощью грундбукс и заклепок (фиг. 118). Для укрепления накладки в отверстия для труб ставятся грундбуксы на резьбе с буртиком со стороны воды. Для достижения плотного прилегания накладки к решетке нарезка должна быть сделана только в решетке, а кромки накладки и грундбуксы хорошо обчеканены. При капитальном ремонте подобная решетка должна быть сменена.

НТБ ДНУЖТ

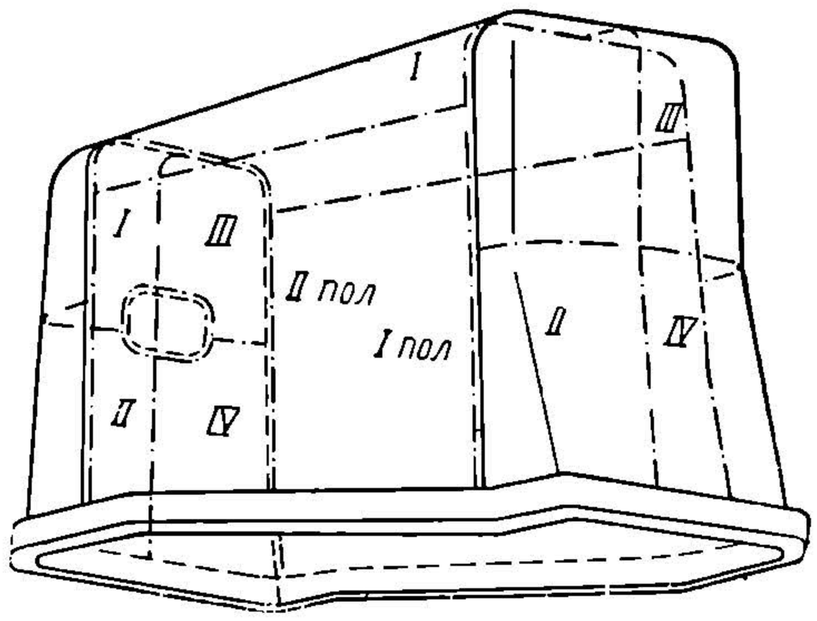
Кроме того, практиковалась также постановка латок на решетку со стороны огня, с вырубкой поврежденной части, однако ввиду сильного обгорания их в этом случае целесообразнее ставить полурешетки.

§ 3. Смена топки

Одной из наиболее крупных сложных и ответственных котельных работ является смена топок, приурочиваемая к капитальному ремонту паровоза. Благодаря целому ряду рационализаторских мероприятий, удалось в значительной степени сократить время на смену топок, но все же самый процесс смены требует известного навыка и опыта.

Смена топки паровоза серии «Э»

Процесс смены топок начинается с разборки, которая, следуя практике Воронежского завода, слагается из следующих операций: 1) выжигания анкерных болтов со стороны кожуха, 2) выжигания связей на правой и левой сторонах кожуха топки, 3) выжигания связей на лобовом листе, 4) выжигания связей на ухватном листе, 5) выжигания заклепок по топочной раме со стороны огневой коробки, 6) выжигания заклепок скоб лапчатых связей, 7) перерезки лапчатых связей со стороны котла, 8) перерезки подвижных анкерных болтов, 9) резки топочной решетки на 4 части, 10) отрезки задней стенки от шинельного листа по ее кромке, 11) разрезки шва, соединяющего заднюю стенку с лобовым листом в шуровочном отверстии (при сварном шве), и 12) отрезки топочной решетки по кромкам соединения с шинельным листом до обвязочной рамы. После этих предварительных работ производятся котельные работы, начинающиеся с удаления выжженных ранее заклепок по топочной раме со всех ее сторон, включая и заклепки в углах, а также и в лапчатых связях. Неразрезанные части задней стенки и топочной решетки по топочной раме разрубаются, после чего задняя стенка и топочная решетка удаляются по частям *I—II—III—IV* согласно схеме (фиг. 119), а вслед за этим удаляется один из полустенков. После поворота котла на другую сторону удаляется второй полустенок и при этом же положении выбиваются старые анкерные болты из подвесок. Затем следует повернуть котел рамой вверх, удалить потолок по частям и вновь повернуть его в нормальное положение, при котором производятся выемка (точнее выбивка) обвязочной рамы и удаление кольцевого остатка резьбы, головок связей и анкерных болтов по лобовой стенке кожуха, по шинельному и смычному листам. Освобожденный от огневой коробки кожух подробно осматривается со стороны воды, при этом нередко обнаруживаются разъедины в загибах ухватного и лобового листов. Кругом над рамой и, кроме того, в нижней части звеньев цилиндрической части котла выедины должны быть все зачищены и наплавлены электросваркой. Одновременно обрубается кожух топки у отверстий овальных люков под сварку и постановку в них втулок. При наличии повреждений в передней решетке, в частности трещин в мостиках, рекомендуется их заварить, пользуясь удобным доступом к передней решетке и со стороны дымовой коробки и со стороны цилиндрической части. Допускается заварка не более 10 мостиков по всей передней решетке и не более 2 — подряд. В то же время ремонтируется обвязочная рама, требующая или выправления ее или же наплавки выедин со стороны воды. При изгибе рамы не свыше 20 *мм* она остается без исправления; в противном случае производятся подогрев ее и выправка ударами кувалды или под молотом. Наплавка выедин в топочной раме допускается лишь при условии, что площадь поперечного сечения после подготовки к сварке будет не менее 80% альбомного

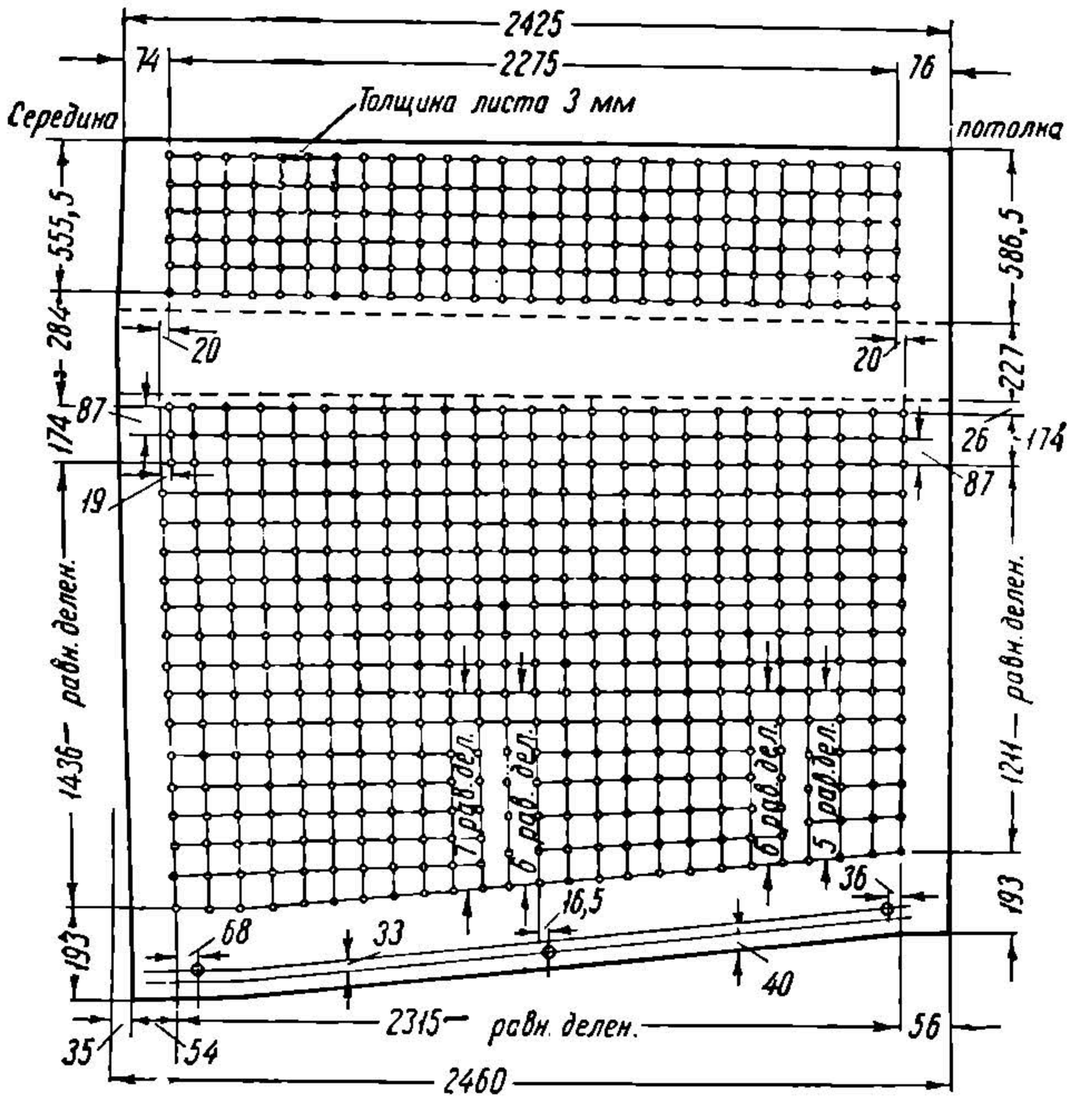


Фиг. 119.

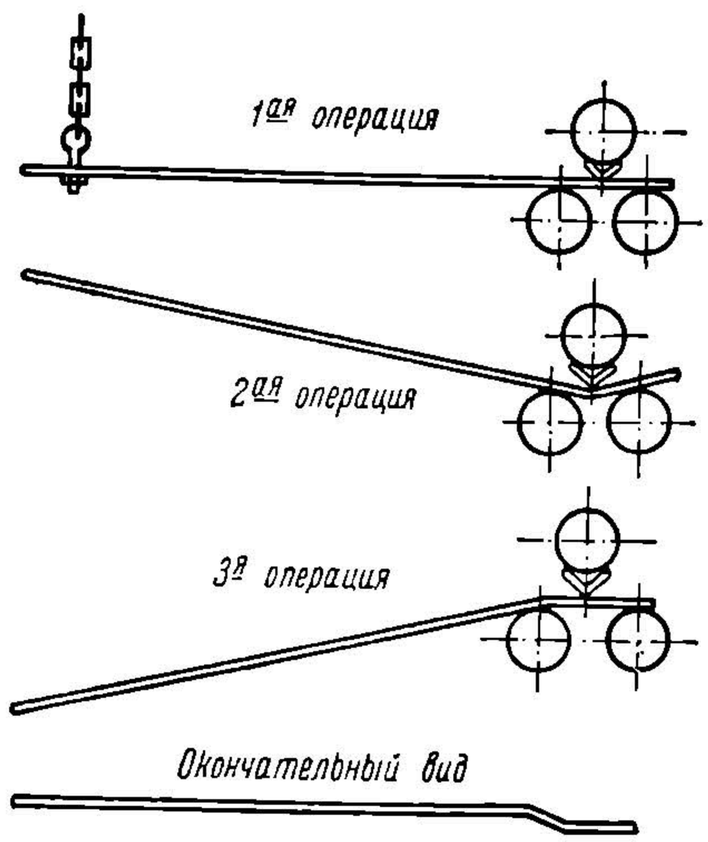
НТБ ДНУЖТ

размера. Кроме выедин, в ней могут быть обнаружены также трещины от кромки до заклепочного отверстия. Правилами сварки допускается их заварка, но с тем, чтобы трещины были расположены от загиба рамы не менее 300 *мм*; в противном случае необходимо вварить новую часть рамы с расположением швов по обе стороны угла на расстоянии 300 *мм*. Если же имеется несколько трещин, то расстояние между участками сварки должно быть не менее тех же 300 *мм*. Наконец, допускается заварка сквозных трещин в топочной раме, но с соблюдением условий, которые предъявляются к заварке трещин от кромки до заклепочного отверстия.

При правильной организации работ в котельном цехе топка должна быть заготовлена заранее, так как ее изготовление не зависит от операций разборки

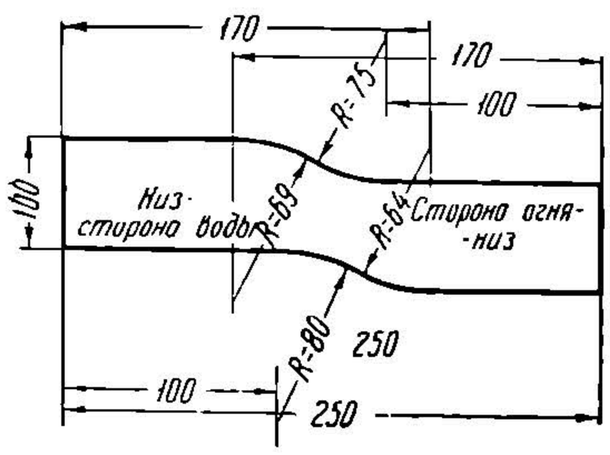


Фиг. 120.



Фиг. 121.

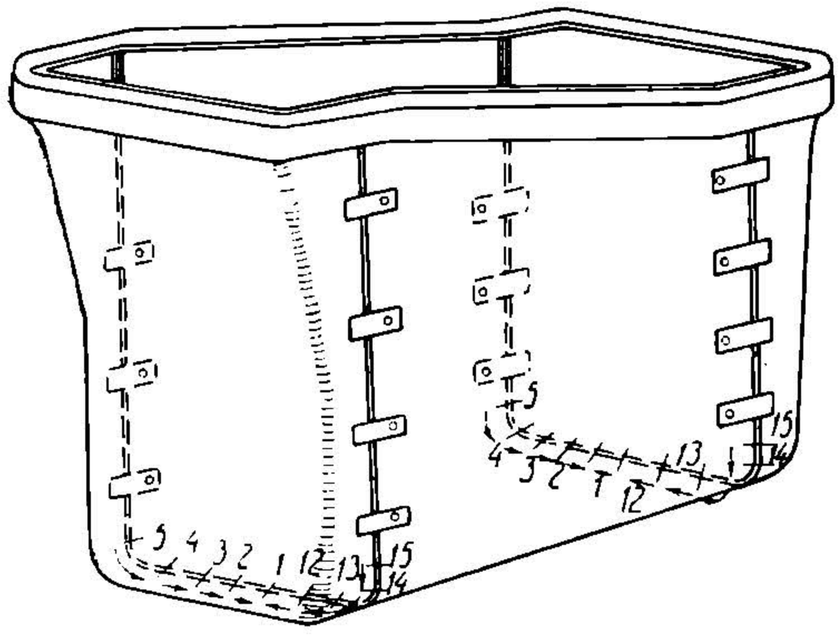
котла и работ по ремонту кожуха. При заготовке новой сварной топки паровоза серии «Э» прежде всего заготовляется шинельный лист, разметка которого производится помощью шаблона, позволяющего нанести отверстия для связей и анкерных болтов. Кроме того, намечаются 3 отверстия для заклепок с каждой стороны шинельного листа по раме, в которые ставятся болты при сборке шинельного листа с топочной рамой; наконец, размечаются кромки листа в месте соединения его с задней стенкой топки и топочной решеткой (фиг. 120). Независимо от разметки шинельного листа в топочной решетке производится разметка: 1) отверстий для жаровых труб, 2) для дымогарных труб, 3) для связей, 4) трех отверстий для заклепок по раме для взятия на болты при сборке топки, 5) кромок по борту под сварку и 6) отверстий для циркуляционных труб. Что касается разметки задней стенки, то она производится аналогично разметке топочной решетки с дополнительной лишь разметкой отверстия для шуровочного отверстия. После разметки топочной решетки и задней стенки необходимо сначала обрезать бензорезом, а затем обрубить кромки в местах соединения с шинельным листом и по топочной раме, а в задней стенке также и в шуровочном отверстии. Таким же образом обрезаются кромки и в шинельном листе в соединении его с задней стенкой топки и топочной решеткой. По окончании



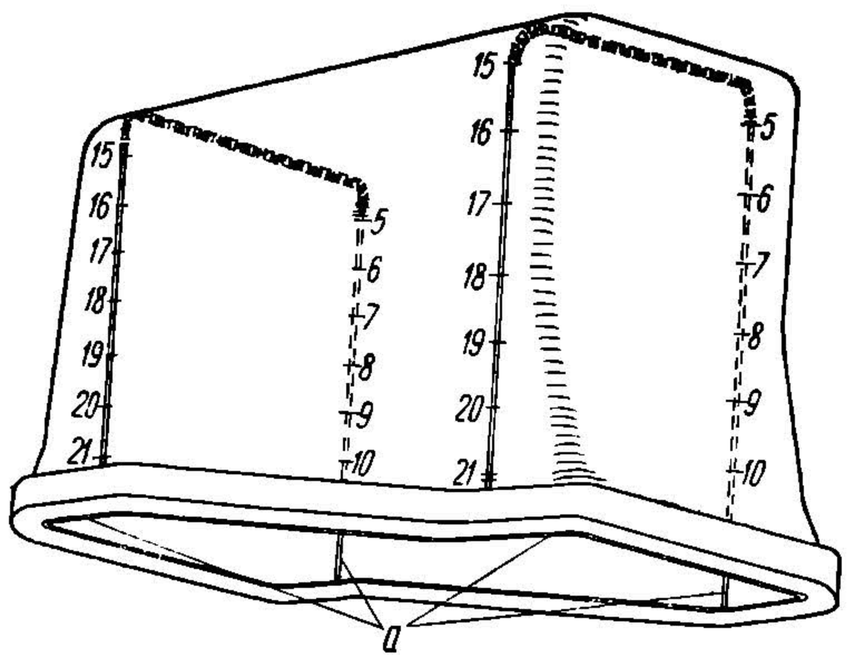
Фиг. 122.

НТБ ДНУЖТ

разметки и подготовки кромок шинельный лист передается на сверловку отверстий для связей, анкерных болтов и отверстий для временных болтов, а топочная решетка на сверловку отверстий для связей, дымогарных, жаровых и циркуляционных труб; после сверления отверстия под полупотайные головки заклепок должны быть раззенкованы. Размеченный шинельный лист с просверленными отверстиями передается на вальцы для свальцования. Перед указанной операцией шинельные листы паровозов серий «Э» и «Су» при топочных рамах толщиной в 73 *мм* подвергаются высадке в местах соединения с топочной рамой (фиг. 121), что проверяется шаблоном (фиг. 122). Затем топочная рама устанавливается (надевается) на свальцованный шинельный лист и соединяется

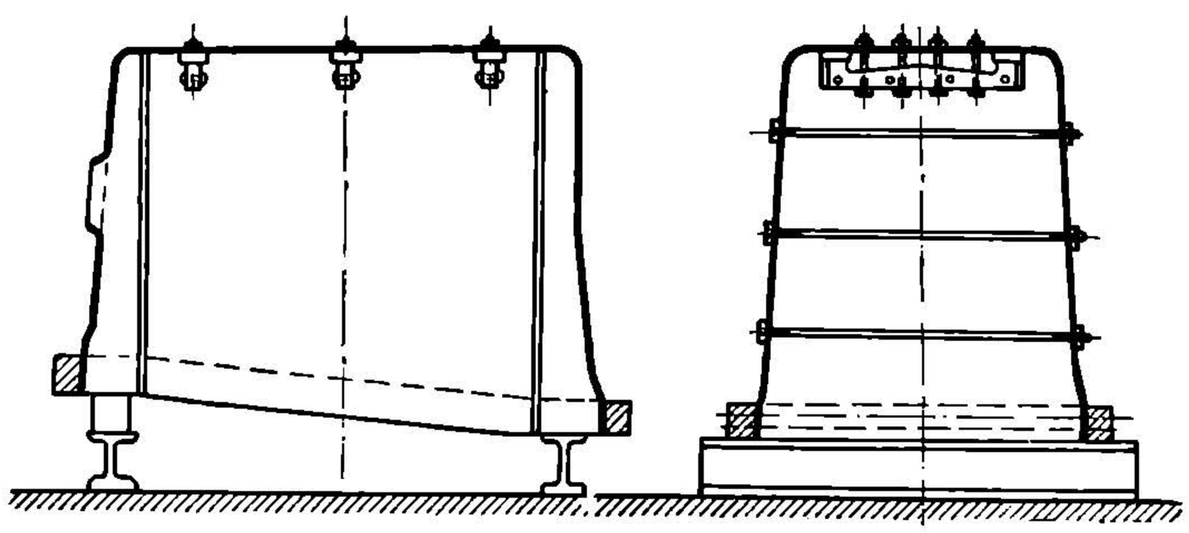


Фиг. 123.



Фиг. 124.

с ним временными болтами. По установке шинельного листа устанавливаются задняя стенка топки и топочная решетка, соединяющиеся с топочной рамой временными болтами, а с шинельным листом укрепляющими планками (фиг. 123). Собранная топка проверяется шаблонами, причем в случае обнаружения отклонения в сварочных швах последние подрубаются. После этих подготовительных работ производится сварка швов, соединяющих шинельный лист с задней стенкой и топочной решеткой (фиг. 123 и 124). Во время сварки возможны деформации топки, поэтому в целях их устранения необходимо до постановки ее в кожух выправить стенки помощью балок и стяжек (фиг. 125), после чего насаженная на топку запасная обвязочная рама, служившая шаблоном, сбивается и вместо нее надевается отремонтированная рама. Собранная топка с надетой рамой устанавливается в кожух при положении котла обвязоч-

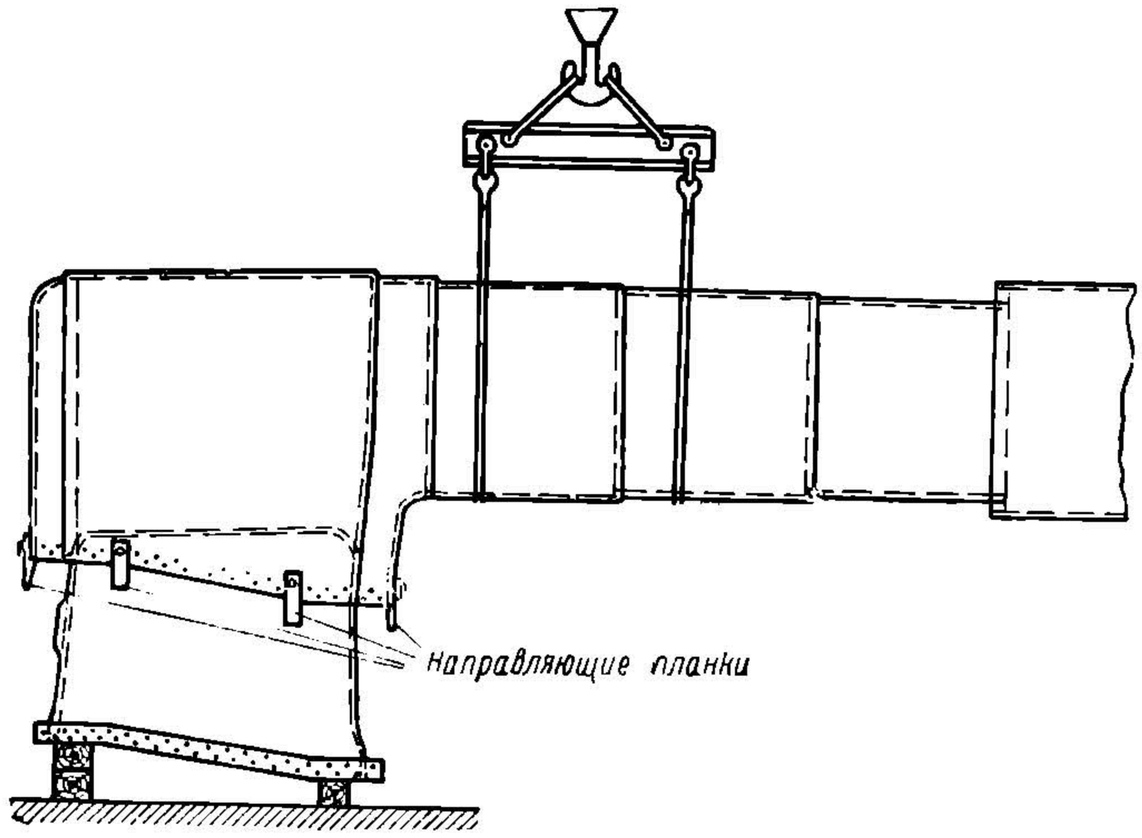


Фиг. 125.

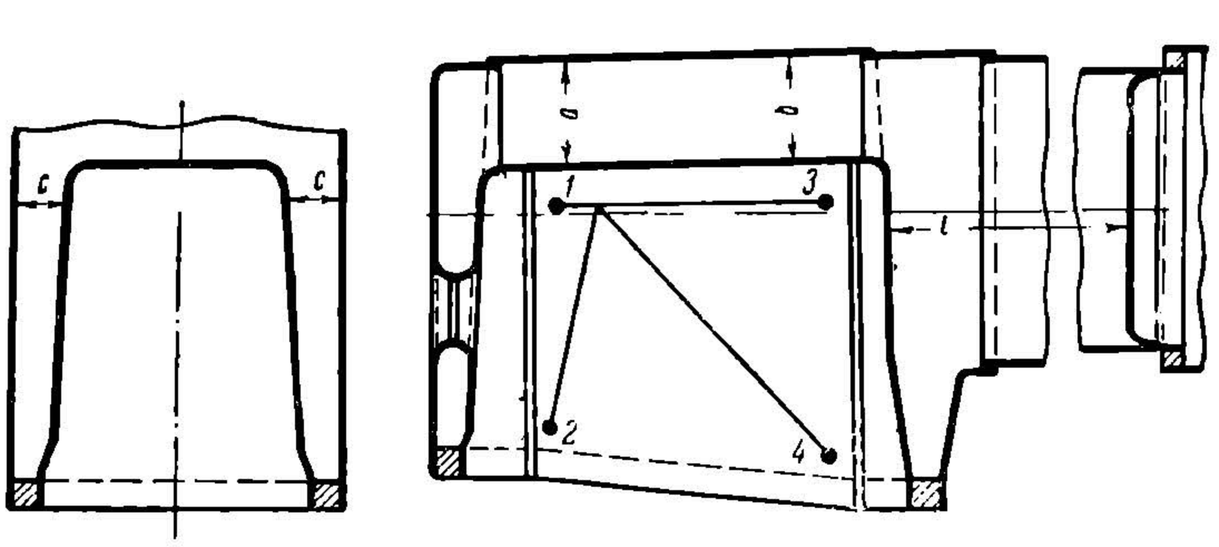
ной рамой вверх. Воронежский завод предложил кожух опускать на собранную топку, как показано на фиг 126. Нужно признать, что этот метод имеет преимущество по сравнению с первым, так как он обеспечивает более быструю установку топки и безопасность работ. Кроме того, при подобном методе сборки гарантируется большая точность установки. Заведенная топка соеди-

НТБ ДНУЖТ

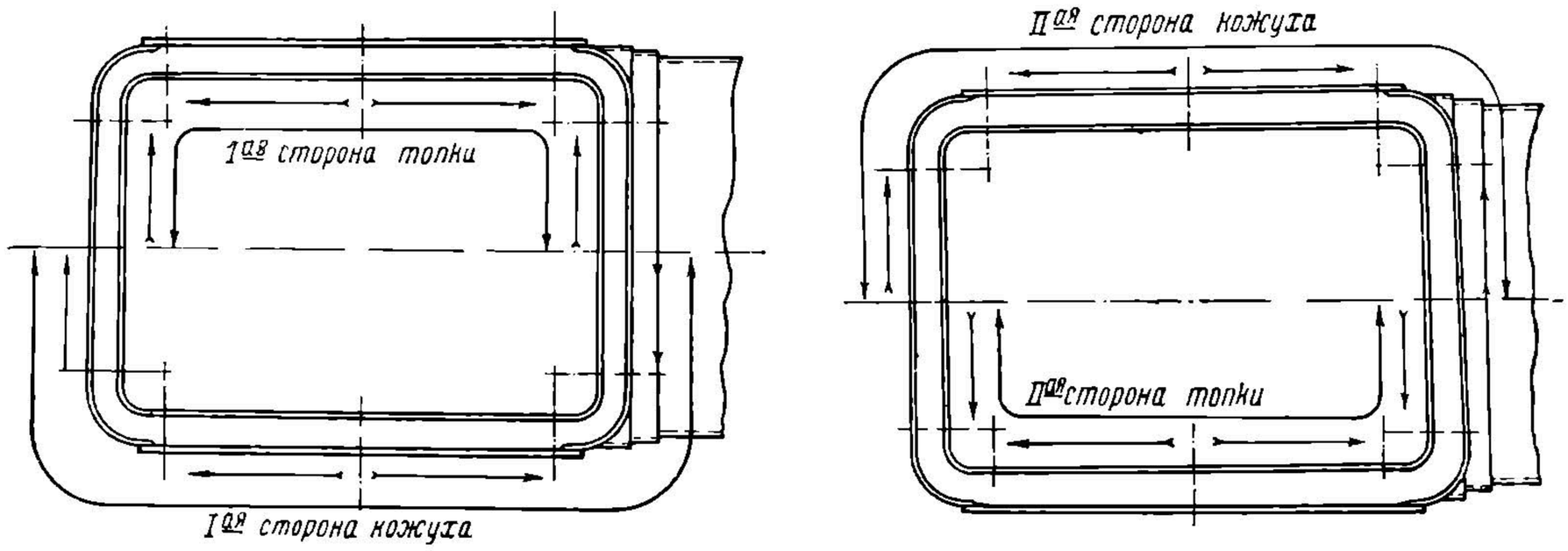
няется с кожухом временными болтами по контрольным заклепочным отверстиям; дальнейшей операцией является проверка положения топки по отношению к кожуху (фиг. 127), для чего следует проверить: 1) расстояния от боковых стенок топки до стенок кожуха, 2) величину пароводяного пространства от потолка топки до кожуха и 3) совпадение отверстий для связей и анкерных болтов. По окончании этих проверок в установке «важора» просверливаются отверстия по топочной раме по боковым сторонам, по лобовому и по ухватному листам.



Фиг. 126.



Фиг. 127.



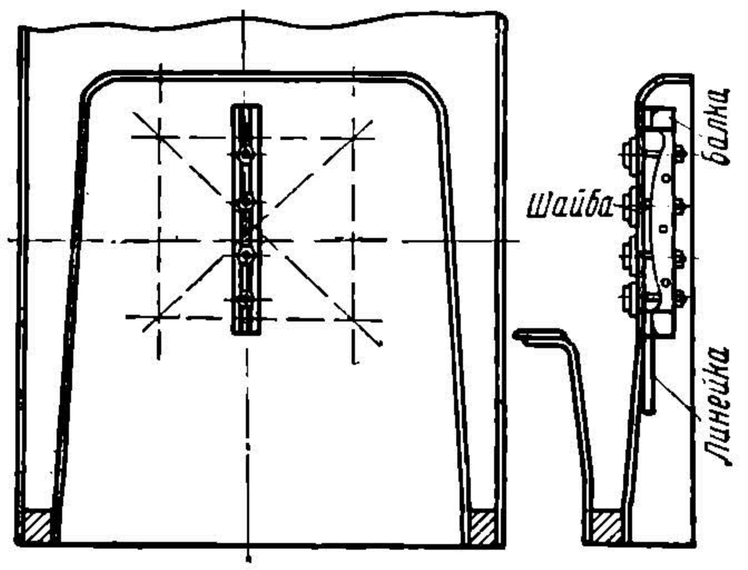
Фиг. 128.

Следующей операцией является обжатие кожуха и огневой коробки по топочной раме (фиг. 128).

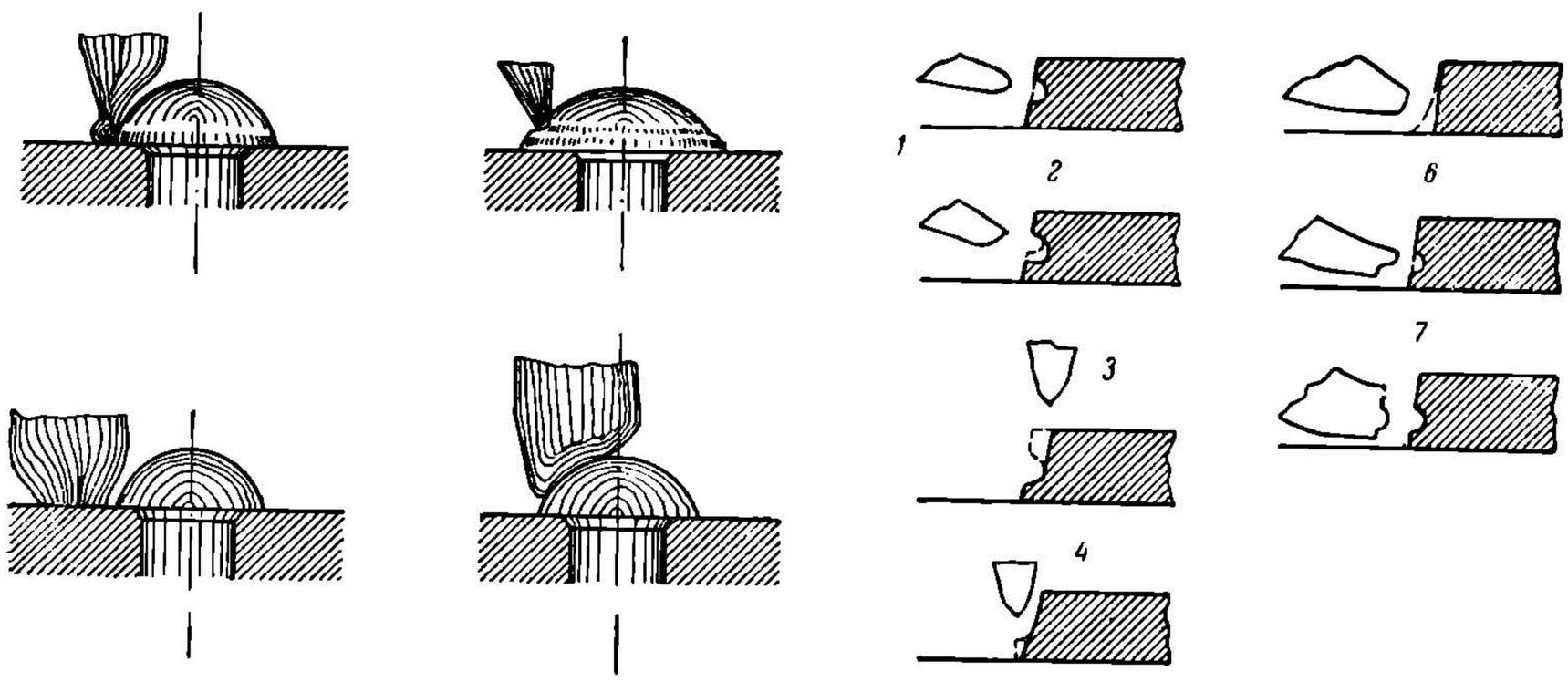
Просверленные отверстия по топочной раме развертываются: по боковым стенкам, по стороне огневой решетки и по стороне задней стенки. Дальней-

НТБ ДНУЖТ

шими операциями являются раззенковка отверстий под заклепки с полукруглой головкой со стороны кожуха по топочной раме, раззенковка отверстий со стороны огневой коробки под полупотайные головки заклепок. После приемки инспектором ОТК подготовленной таким образом топки начинается клепка заклепок, идя в направлении от середины к углам. Закончив клепку шва на прямых участках обвязочной рамы, производят окончательное обжатие углов, заварку оставленных ранее незаваренных участков в углах и клепку шва в углах. Вслед за этим выправляются боковые стенки топки, топочная решетка в трубчатой и подрешеточной ее частях (фиг. 129) и задняя стенка. При этом же положении котла пригоняется сварной шов в месте соединения задней стенки с лобовым листом и заваривается. Следующая операция — чеканка заклепок по топочной раме и чеканка швов по огневой коробке и наружному кожуху топки. Порядок чеканки заклепок и швов показан на фиг. 130. По окончании данных работ производится постановка распорных и лапчатых связей и анкерных болтов.



Фиг. 129.



Фиг. 130.

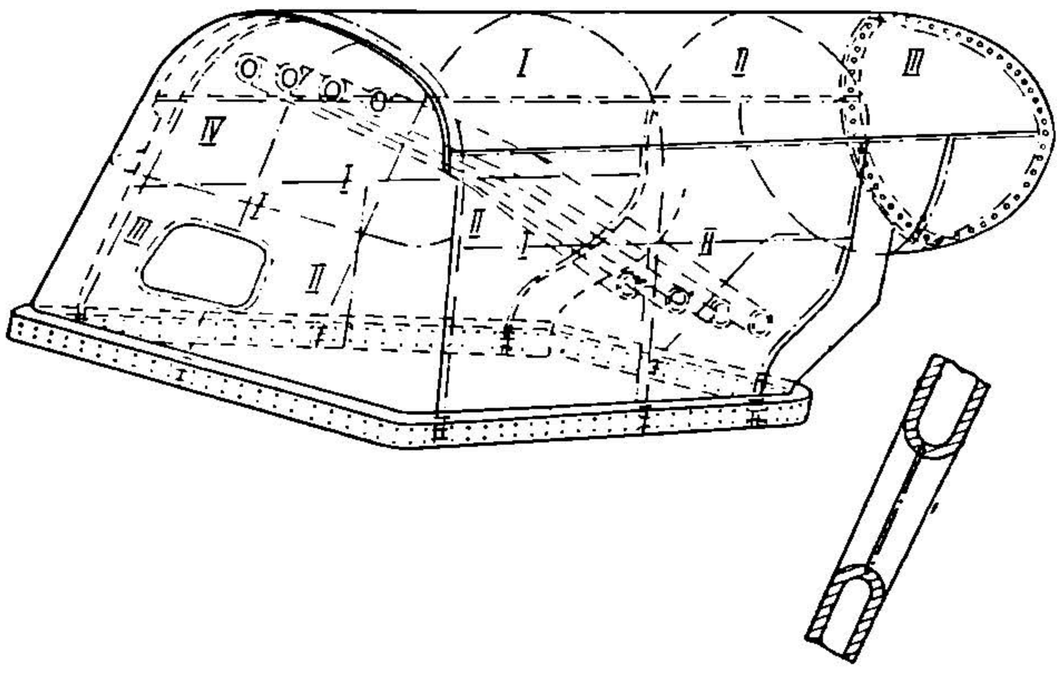
1 – осадка,
2 – чеканка шовная,
3 – обрубка кромок,
4 – обрубка заусениц,
5 – чеканка шовная,
6 – чеканка американская,
7 – чеканка американская двусторонняя.

Смена топки паровоза серии «ФД»

Благодаря наличию камеры догорания смена огневой коробки паровозов серий «ФД» и «ИС» представляет некоторые особенности по сравнению с паровозом серии «Э». Котлы паровозов серий «ФД» и «ИС» являются вообще новым типом современных мощных советских паровозов в СССР; поэтому крайне важно изучить методы смены огневой коробки. Разборка топки начинается с выжигания распорных связей, анкерных болтов, подвижных связей Тэта, циркуляционных труб и заклепок по топочной раме. При этом рекомендуется соблюдать следующую последовательность в работе: 1) выжечь жесткие анкерные болты со стороны кожуха; 2) выжечь распорные связи на правой и левой сторонах топки со стороны кожуха; 3) выжечь жесткие связи на лобовом листе; 4) обрезать циркуляционные трубы; 5) выжечь подвижные связи Тэта на правой и левой сторонах топки со стороны топки; 6) выжечь подвижные связи Тэта на

НТБ ДНУЖТ

лобовом и на ухватном листах топки, а также связи камеры догорания; 7) выжечь заклепки по топочной раме. Затем потолок разрезается газом на 3 части, а задняя стенка на 4 части до топочной рамы. Задняя стенка отрезается по шву, соединяющему ее с шинельным листом. Кроме того, отрезаются: 1) задняя стенка от лобового листа по сварному шву шуровочного кольца, 2) боковая стенка, ухватный лист топки и нижний лист камеры догорания от потолка топки. Каждая из указанных топочных частей для более быстрого удаления разрезается на части (фиг. 131). По окончании резки отдельных частей топки газом—следует перейти к котельным работам, а именно: 1) к удалению (выбивке) выжженных заклепок по топочной раме; 2) к высверловке и удалению невыжженных заклепок в углах топочной рамы; 3) к разрубке по топочной раме неразрезанных бензорезом частей топки; 4) к отжатию и удалению частей *I*, *II*, *III* и *IV* задней стенки топки с правой стороны; 5) к отжатию части *I*, а затем *II* правой стенки топки. После поворота котла на другую сторону (левую) нужно разрубить по топочной раме неразрезанные части топки по левой боковой стенке, отжать и удалить части *I* и *II* левой боковой стенки. Затем котел вновь повернуть топочной рамой вверх. При этом положении котла производятся следующие работы: 1) отжимаются и вынимаются части *I* и *II* потолка; 2) разрубается по топочной раме неразрезанная бензорезом часть ухватного листа; 3) отжимается и удаляется сначала часть *I*, а затем *II* ухватного листа; 4) отжимается и удаляется *III* часть потолка; 5) вынимается нижний лист камеры догорания; 6) удаляется топочная решетка. Вслед за этим котел ставится в нормальное положение (рамой вниз) для отвертывания колпачков и выбивки выжженных связей Тэта и анкерных болтов, удаления кольцевых остатков резьбы с головками связей и анкерных болтов в кожухе топки. По удалении топки производится осмотр кожуха и цилиндрической части котла со стороны воды, где наблюдаются чаще всего выедины: в загибах рогатого и лобового листов, на участке кожуха над обвязочной рамой и в нижней части звеньев цилиндрической части котлов. Обнаруженные места выедин и разъедин должны быть зачищены и наплавлены электросваркой. Вынутая топочная рама также подвергается осмотру, выправке при наличии ее деформаций (изгиба) и заварке выедин со стороны воды и в нижней части.

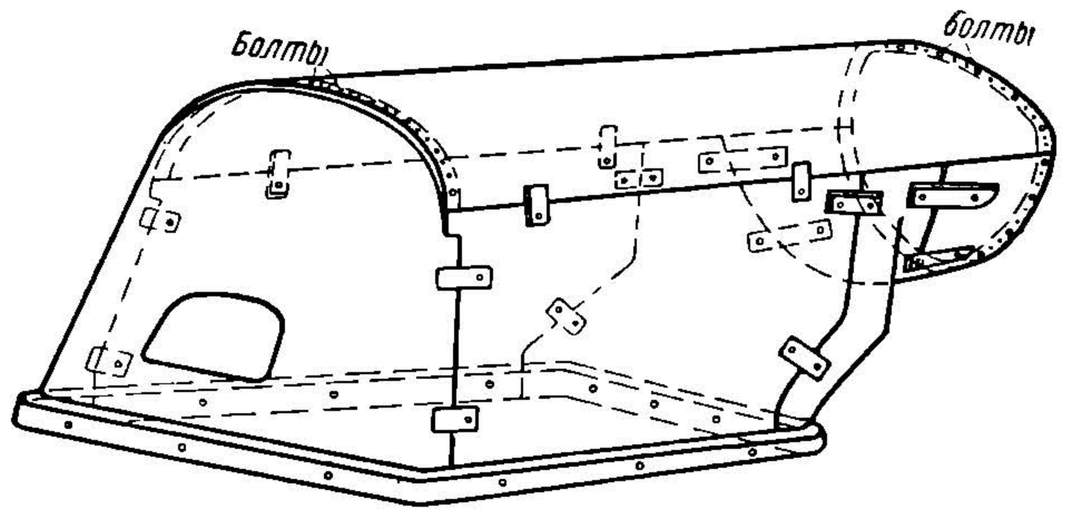


Фиг. 131.

К моменту окончания ремонта кожуха топка должна быть уже собрана. Процесс изготовления топки начинается с разметки: 1) боковых стен, 2) задней стенки, 3) ухватного листа, 4) нижнего листа камеры догорания, 5) задней решетки и 6) потолочного листа топки. Указанные части топки изготовляются, за исключением боковых стенок и потолочного листа топки, штамповкой; разметка производится с помощью шаблонов. Вслед за разметкой обрезаются, а затем обрубаются под сварку кромки отдельных листов. Размеченные с обрубленными под сварку кромками листы топки поступают на сверловку на радиально-сверлильный станок. При этом в боковых стенках сверлятся отверстия для связей и 3 отверстия для заклепок по топочной раме; в задней стенке—отверстия для связей, отверстия для 3 заклепок по раме, отверстия по борту в соединении с потолком через 5 штук — одно и отверстия для циркуляционных труб; в ухватном листе — отверстия для связей, 3 отверстия для заклепок по раме и отверстия для циркуляционных труб; в нижнем листе камеры догорания — от-

НТБ
ДНУЖТ

верстия для связей; в задней топочной решетке — отверстия для жаровых труб с раззенковкой их и отверстия для заклепок по бортам решетки; в потолочном листе—отверстия для анкерных болтов и заклепочные отверстия в месте соединения с задней стенкой и задней решеткой. По окончании рассверловки отверстий потолочный и нижний листы камеры догорания передаются на вальцы для их вальцовки и образования перегиба. Сборка топки начинается с установки двух боковых стенок в топочную раму, соединение с которой осуществляется помощью 3 отверстий для заклепок каждой стороны, после чего в топочную раму заводится задняя стенка, которая соединяется с ней временными болтами; с боковыми же, ранее установленными стенками задняя стенка соединяется планками (фиг. 132).



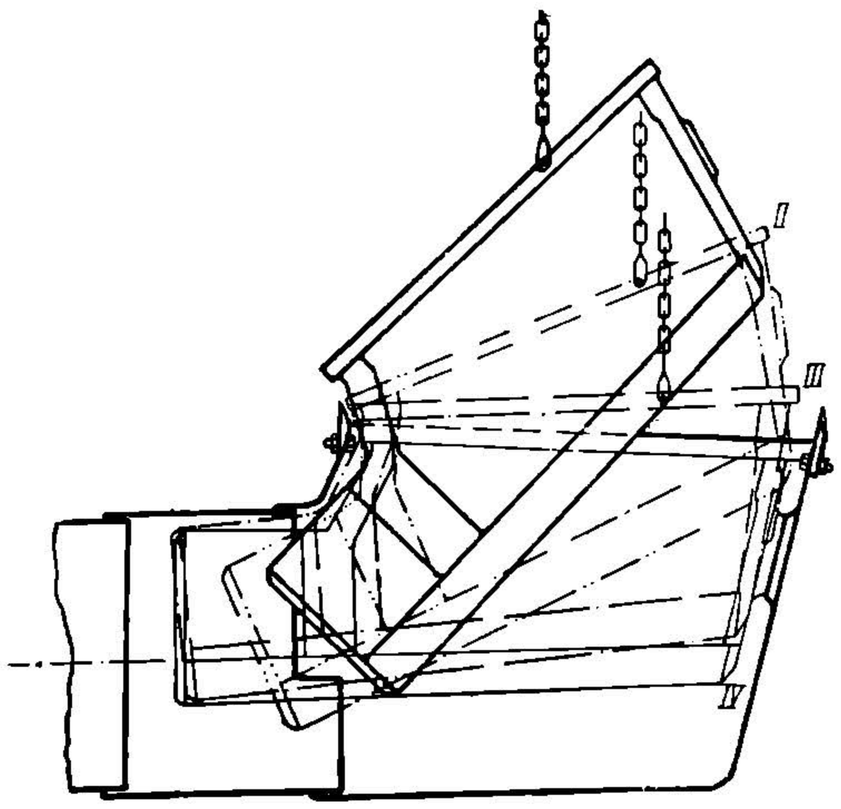
Фиг. 132.

Затем устанавливается ухватный лист, соединяемый, подобно задней стенке, с рамой временными болтами, а с боковыми стенками—планками. Следующими устанавливаются нижний лист камеры догорания и задняя решетка. Последним устанавливается потолок, соединяемый с задней стенкой и задней решеткой временными болтами, а с боковыми стенками—планками (скрепами). Собранная топка проверяется специальными шаблонами в целях установления и устранения возможных перекосов, в особенности в местах будущих сварочных швов. Подготовленная таким образом топка сваривается: 1) по продольным швам с двух сторон; 2) в соединении боковых стенок с задней стенкой; 3) в соединении ухватного листа с боковыми стенками и с нижним листом камеры догорания. Затем подваривается сварной шов со стороны воды. На этом и заканчиваются операции по сварке топки. Далее просверливаются отверстия по задней стенке и топочной решетке для заклепок по обвязочной раме с их раззенковкой. Задняя стенка и топочная решетка обжимаются, но так как при этом могут быть повреждены подготовленные для постановки потайных заклепок отверстия, то они проверяются, после чего производится клепка по задней стенке и задней топочной решетке. Кромка заклепочного шва по задней стенке обваривается. В результате клепки и сварки топки возможны деформации отдельных ее частей, поэтому еще до постановки топки в кожух необходимо произвести ее правку при помощи специальных скоб. По окончании этих работ топочная рама, служившая при сборке топки шаблоном, снимается и вместо нее на топку надевается топочная рама ремонтируемого паровоза. Ввиду наличия камеры догорания посадка топки в кожух возможна лишь при положении кожуха топочной рамой вверх. Различные положения топки при заводке ее в кожух показаны на фиг. 133.

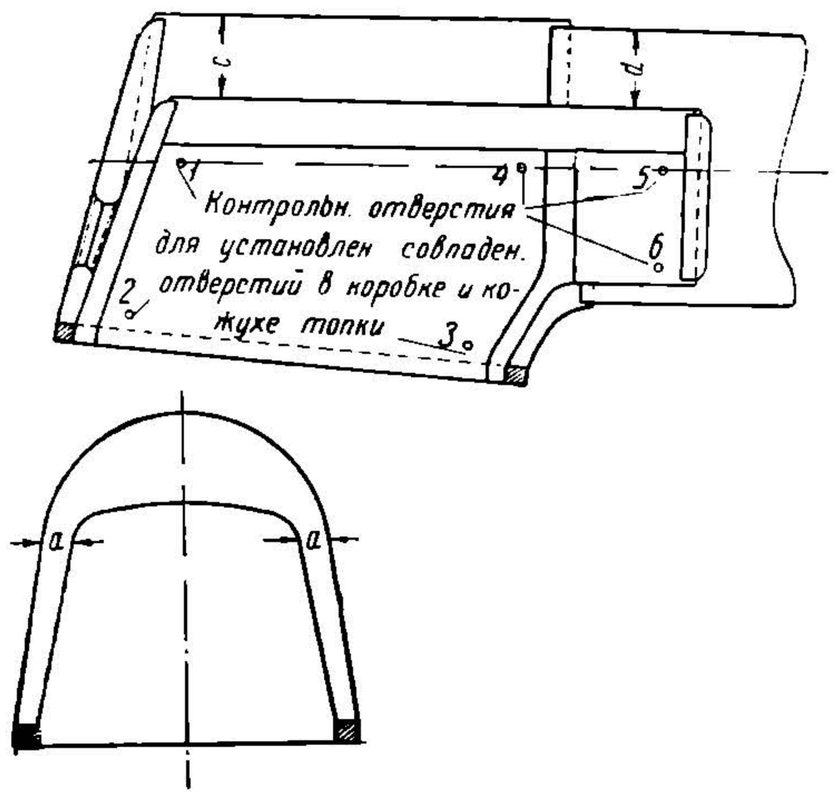
Опущенная в кожух топка соединяется с ним временными болтами по контрольным заклепочным отверстиям. Вслед за этим проверяется положение топки относительно кожуха. Как видно из фиг. 134, определяются: 1) величина водяного пространства a между боковыми стенками топки и кожуха, 2) величины c и d пароводяного пространства, 3) совпадение отверстий для связей и анкерных болтов в топке и кожухе. Собранный котел передается в важорную установку для сверловки отверстий под заклепки по топочной раме, по боковым стенкам и лобовому листу электросверлилкой на 1,75 kW при 150 об/мин и по ухватному листу пневматической машинкой СМ-2. Далее котел вынимается из «важора» и после установки на козлы с роликами поворачивается на правый бок. При этом положении котла производятся следующие работы: 1) обжатие по топочной раме наружного кожуха топки по левой сто-

НТБ ДНУЖТ

роне; 2) обжатие топочной коробки с правой стороны; 3) припасовка правых углов ухватного листа топки и задней стенки топки для возможности сверления по углам отверстий по топочной раме и последующего обжатия и пригонки сварного шва; 4) развертывание отверстий под заклепки по топочной раме с внутренней стороны по боковой и частично по задней стенкам топки и ухватному листу;

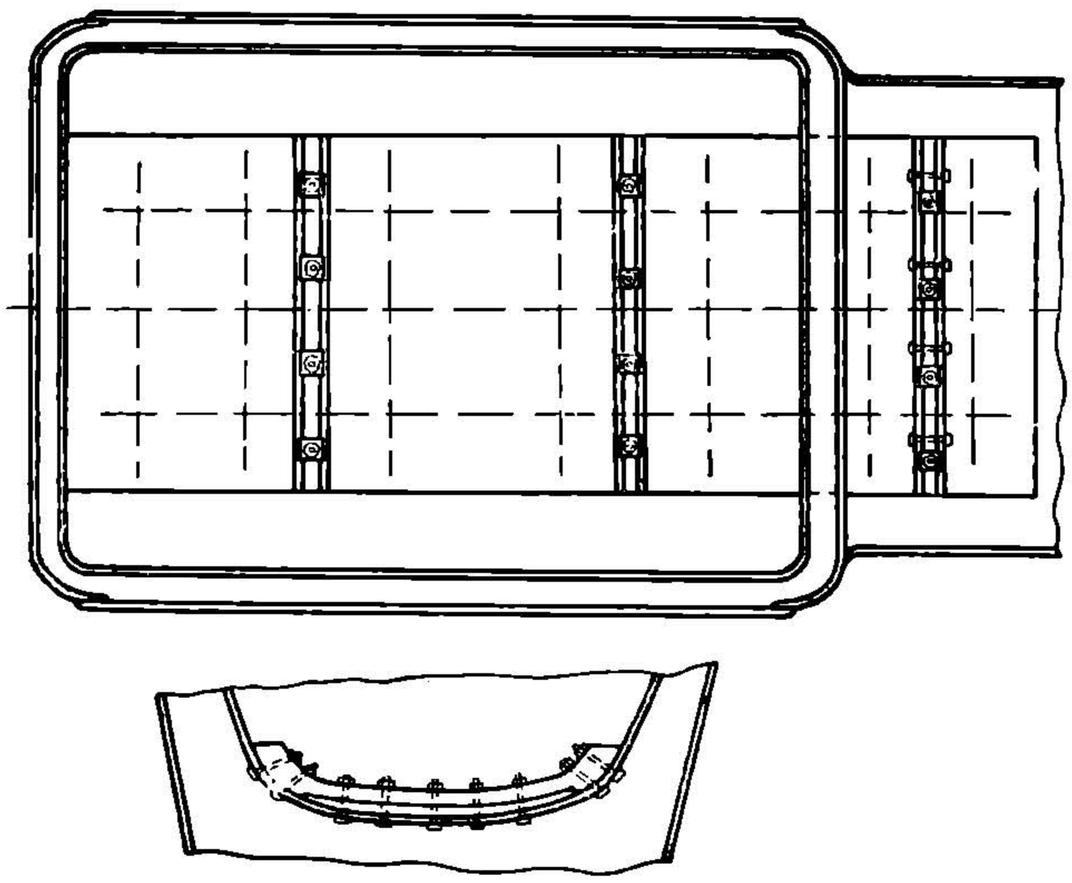


Фиг. 133.



Фиг. 134.

5) сверловка отверстий в правых углах огневой коробки по ухватному листу и задней стенке; 6) обжатие топочной коробки по углам и по задней стенке; 7) пригонка сварного шва в нижней части топочной рамы по ухватному листу и задней стенке; 8) развертывание заклепочных отверстий в правых углах со стороны топочной коробки; 9) раззенковка отверстий для заклепок с круглой головкой со стороны кожуха топки; 10) раззенковка заклепочных отверстий со стороны топки на правой ее стороне, по ухватному листу и задней стенке топки; 11) раззенковка отверстий для заклепок в углах и 12) обрубка кромок огневой коробки под чеканку на правой стороне и до середины ухватного листа и задней стенки.



Фиг. 135.

По окончании этих операций котел поворачивается на левый бок, и при этом положении повторяются аналогичные операции, уже описанные при положении котла на правом боку. Перед горячей клепкой котел предъявляется инспектору ОТК для предварительной приемки. Перед развертыванием и нарезкой отверстий для анкерных болтов потолок топки подвергается выправлению. С этой целью применяются специальные приспособления, показанные на фиг. 135, где пунктиром показаны места положения линейки и шаблона при выправке. После окончания клепки по обвязочному кольцу переходят к выправлению стенок топки для последующего развертывания и нарезки отверстий для связей и пригонки шва под сварку в шу-

НТБ ДНУЖТ

ровочном отверстии. При этом же положении котла производится также правка огневой решетки и задней стенки. По окончании всех котельных работ и гидравлического испытания весьма целесообразно проварить швы в углах топочной рамы как со стороны топки, так и со стороны кожуха ее.

§ 4. Ремонт шинельного листа

Шинельный лист при выпуске из различного вида ремонта должен удовлетворять техническим условиям, приведенным в табл. 15 [1], где все размеры даны в *мм*.

Таблица 15

Наименование частей боковой стенки топки	При выпуске из капитального ремонта	При выпуске из среднего ремонта	При выпуске из подъемочного ремонта	Размер, при котором требуется смена или ремонт шинельного листа
Толщина боковых стенок:				
медных . .	8	7	6	5
стальных	7	6	5	4
Общий прогиб боковых стенок .	12	15	15	20
Частичный прогиб . . .	3	4	5	6
Общий прогиб стенок после правки не более	6	—	—	—
Общий прогиб новых боковых стенок .	6	—	—	—
Расстояние от центра заклепок до нижней кромки у топочной рамы не менее				
при медных листах . .	23	—	—	—
при железных листах .	25	—	—	—

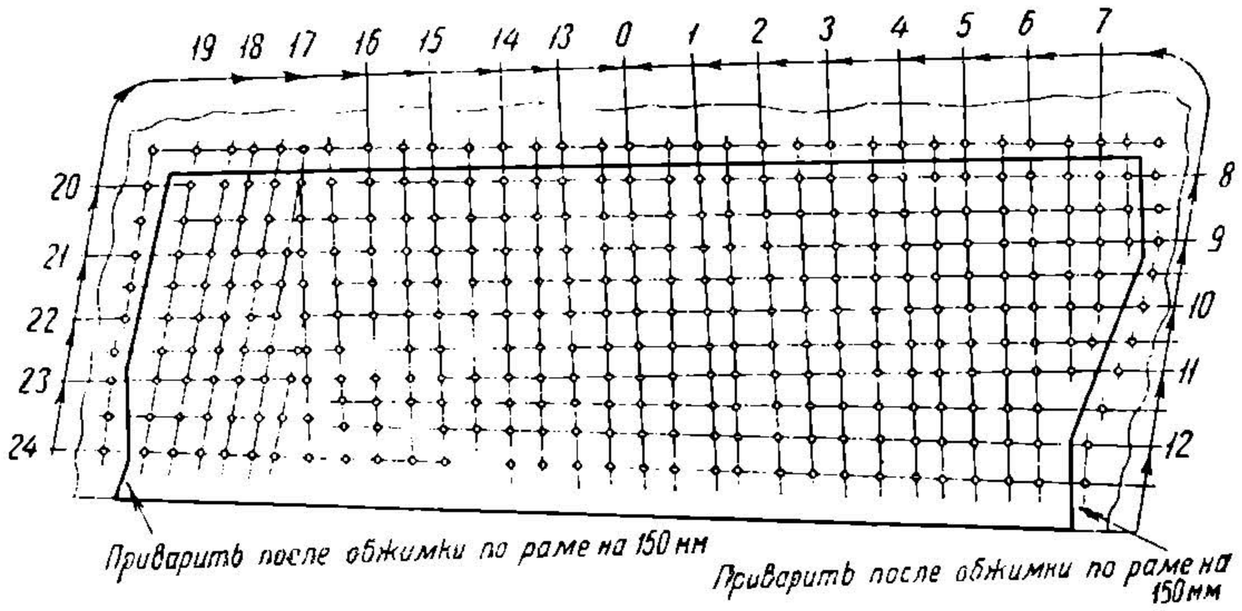
При среднем и капитальном ремонтах котлов наиболее часто встречается необходимость в постановке полустенков на боковых стенках топки, причем они могут быть поставлены на сварном или на заклепочном шве. При медных шинельных листах полустенки ставятся исключительно на заклепках.

В качестве примера рассмотрим постановку полустенков в топке паровоза серии «ФД». Высота полустенка согласно правилам ремонта допускается не ниже 7-го ряда связей при сварном шве и 9-го ряда при шве на заклепках (отсчет ведется от обвязочной рамы у задней стенки). В паровозах серий «ФД» и «ИС» полустенки ставятся исключительно на сварном шве, который располагается между 10-м и 11-м рядами связей, считая снизу от обвязочного кольца у задней стенки. Процесс постановки полустенков состоит из ряда последовательных отдельных операций. Прежде всего выжигаются 10 рядов распорных связей на правой боковой стенке кожуха, а затем на левой стенке. Затем переходят к выжиганию связей Тэта, включая связи, находящиеся во фланце задней стенки топки и ухватного листа; наконец, выжигаются заклепки по обвязочной раме в соединении с боковыми стенками огневой коробки и обрезаются циркуляционные трубы у задней стенки и у ухватного листа. После указанных подготовительных работ надлежит приступить к вырезке полустенков сначала по вертикали у задней стенки и у ухватного листа (фиг. 131) до топочной рамы, отступив на 5,5 *мм* от сварного шва в сторону середины полустенка, а затем в горизонтальном направлении между 9-м и 10-м рядами связей на расстоянии 55 *мм* от оси 10-го ряда связей. После этого правый и левый полустенки разрезаются бензорезом на 2 части, выбиваются выжженные по топочной раме зак-

[1] Нормы из «Правил ремонта», изд. 1934 г. По введении в действие новых правил в таблицу должны быть внесены изменения.

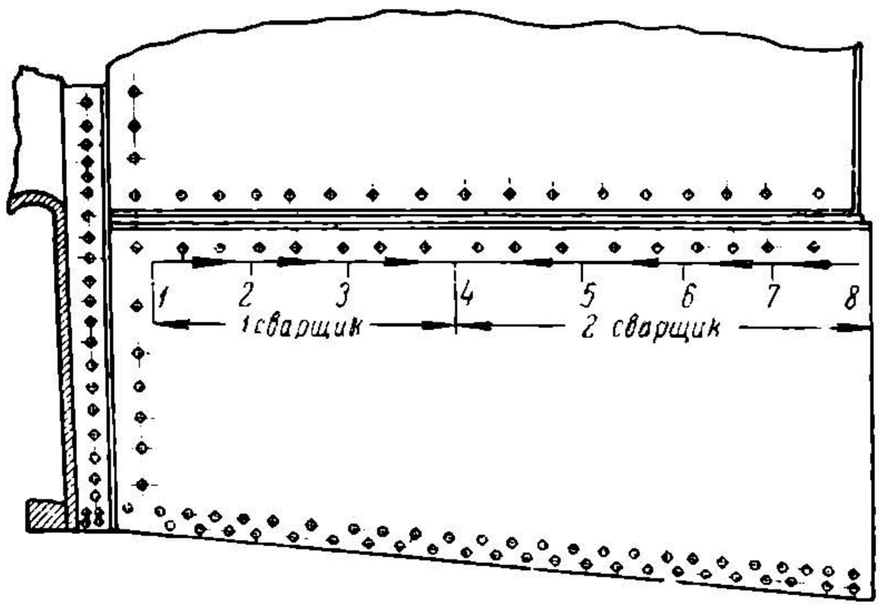
НТБ ДНУЖТ

лепки, соединяющие ее с полустенками, и снимаются колпачки связей Тэта со стороны кожуха; затем связи Тэта удаляются со стороны кожуха. При снятом с рамы котле для окончательного удаления полустенков, после поворачивания котла краном на бок и после рубки оставшейся у топочной рамы неразрезанной части полустенка, надо отжать полустенки с обеих сторон от топочной рамы, чтобы легче вынуть их из топки. В тех случаях, когда котел с рамы не снимается, полустенок следует удалять по частям, разрезов его на возможно небольшие участки. Удалив полустенки, нужно удалить остатки кольцевой резьбы у распорных связей. Эта операция производится со стороны кожуха



Фиг 136.

огневой коробки. Так как связи в 10-м ряду должны быть выжжены и со стороны кожуха и со стороны огневой коробки, то удаление остатков резьбы делается также с двух сторон. Одновременно производится заготовка полустенков. При помощи шаблона размечаются сначала центры связевых отверстий, а затем отверстий для заклепок на одном полустенке. Полустенок отрезается от котельного листа бензорезом. Оба полустенка зажимаются струбцинками и в них просверливаются связевые отверстия. Заклепочные отверстия сначала высверливаются, а затем раззенковываются в каждом полустенке отдельно.



Фиг. 137.

Вслед за этим полустенки передаются на вальцы для гибки по шаблону. Кромки оставшейся части шинельного листа и в самих полустенках обрубаются по шаблону под сварку. Для удобства постановки полустенков котел вначале поворачивается на бок (например на левый), а на оставшейся части шинельного листа устанавливаются 6 поддерживающих планок. Подготовленный полустенок заводится в топку и укрепляется планками, причем после подготовки швов полустенка под сварку необходимо проверить совпадение отверстий для связей и по раме. Следующая операция — вварка полустенка — показана на фиг. 136, откуда виден весь порядок ведения сварки по отдельным участкам. В нижней части полустенка, в месте прилегания его к обвязочной раме, на длине 150 *мм* вварка производится лишь после обжатия и клепки полустенка по раме. По окончании процесса вварки полустенка производится развертывание заклепочных отверстий по раме и, наконец, клепка заклепок. Так как в процессе сварки и клепки полустенок частично деформируется, то по окончании сварки необходимо проверить полустенок по линейке и шаблону и предъявить для приемки инспектору ОТК. Последняя операция состоит в чеканке заклепок и шва по раме. Постановка правого полустенка ничем не отли-

НТБ ДНУЖТ

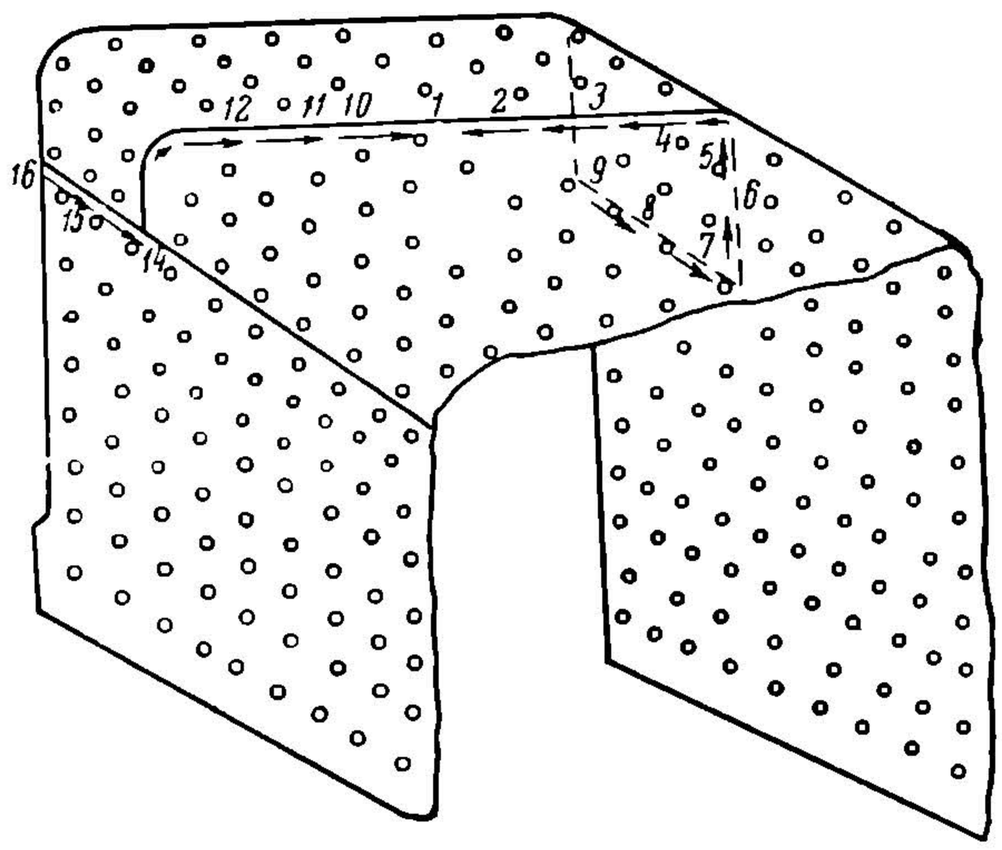
чается от постановки левого. По окончании вварки полустенков котел передается в «важор» для подготовки связевых отверстий и постановки связей.

Постановка полустенков допускается также в топках паровозов всех остальных серий, причем горизонтальный сварной шов может проходить не ближе 2-го ряда связей, считая от потолка. При повторных ремонтах допускается расположение шва и между первым и вторым рядами связей, считая от потолка.

В практике возможны случаи постановки полустенка на смешанном шве, т. е. полустенок с задней стенкой топки и огневой решеткой соединяется заклепочным швом, с оставшейся же частью шинельного листа он соединяется сварным швом (фиг. 137).

Постановка ленточной заплаты

После удаления топочной решетки нередко можно наблюдать в шинельном листе наличие трещин, идущих от кромки листа до заклепок. В этом случае при железных шинельных листах рекомендуется вваривать ленточные заплаты, что допускается при среднем ремонте, или же ставить отдельные ленты на потолок. Постановка пояса шинельного листа разрешается со спуском его не менее чем на 2 ряда связей на бока, по потолку шов должен проходить между первым и вторым рядами неподвижных анкерных болтов. Подготовка к приварке пояса шинельного листа начинается с выжигания головок анкерных болтов, связей со стороны топки и кожуха. Затем часть шинельного листа, подлежащая смене, отрезается газовым резаком с таким расчетом, чтобы кромка шинельного листа имела скос под углом в 45° в сторону огня. Пояс шинельного листа подготовляется по шаблону, и на нем после разметки высверливаются отверстия для анкерных болтов и связей.



Фиг. 138.

Перед сваркой для удобства работы котел поворачивается рамой вверх, хотя возможна и потолочная сварка, производимая обязательно сварщиками первой категории. Приварка пояса шинельного листа выполняется электродами марки 1, снабженными дной из обмазок, приведенных в ВСТ (ведомственном стандарте)—53/17. Диаметр электродов берется не менее 4 *мм*, сила тока — 180—220 *А*. Заполнение шва производится сначала по участкам: *2 — 1*, *3—2*, *4—3*, *10—1*, *11—10*, *12 — 11* (фиг. 138); потом котел повертывается рамой вниз, после чего шов заваривается по участкам: *5 — 4*, *6 — 5*, *7 — 6*, *8—7*, *9—8* на одной стенке и по участкам: *14—12*, *15—14* и *16—15* — на другой. По окончании сварки со стороны огня необходимо наложить усиление шва со стороны воды. По окончании сварки производится постановка анкерных болтов и связей. Как отмечалось выше, при ремонте топок могут встретиться случаи постановки ленточной заплаты при наличии медных шинельных листов. Здесь возможны следующие варианты: 1) шинельный лист медный или с медными полустенками, топочная решетка или задняя стенка также медные, тогда лента (при отсутствии меди) ставится железная, но при условии замены медной решетки или задней стенки на железные; 2) шинельный лист медный, но с железными поставленными ранее полустенками, тогда ставится железная лента с запуском под полустенки при условии смены медной решетки или медной задней стенки на железные; в противном случае меняется полностью потолок с оставлением медной

НТБ ДНУЖТ

решетки или задней стенки; 3) шинельный лист медный, топочная решетка или задняя стенка железные; в этом случае разрешается постановка железной ленточной заплаты. При медном цельном шинельном листе или же листе с медными полустенками смена медного потолка на железный требует полной смены всего шинельного листа, причем медная топочная решетка или задняя стенка могут быть оставлены.

§ 5. Смена потолка топки паровозов серий «Э^{У}» и «С^{У}»

Толщина потолка топки должна удовлетворять нормам износа, приведенным в табл. 16 [1], где все размеры даны в *мм*.

Таблица 16

Наименование частей потолка топки	При выпуске из капитального ремонта	При выпуске из среднего ремонта	При выпуске из подъемочного ремонта	Размер, при котором требуется смена потолка
Толщина потолка при выпуске из ремонта:				
медного . .	8	7	6	5
железного	7	6	5	4
Толщина нового потолка . .	10—12	—	—	—
Общий прогиб старого потолка не более	12	15	15	20
Общий прогиб нового потолка . .	6	—	—	—
Частичный прогиб потолка между 4 анкерными болтами	3	4	5	6
Общий прогиб потолка при смене всех анкерных болтов	6	—	—	—

Если толщина потолка менее приведенных норм, то он должен быть сменен. Вначале выжигаются 86 распорных связей и 70 связей Тэта. После этого выжигаются распорные связи со стороны топки, расположенные в 4-м ряду, считая от потолка, и производится разметка под вырезку потолка: 1) по фланцу у огневой решетки, 2) по фланцу задней стенки и 3) по боковым стенкам топки между 3-м и 4-м рядами связей (фиг. 139). Потолок разрезается по фланцам огневой решетки и задней стенки и по боковым стенкам огневой коробки. Выжигаются анкерные болты по кожуху топки и подвижные анкерные болты со стороны воды (36 шт.).

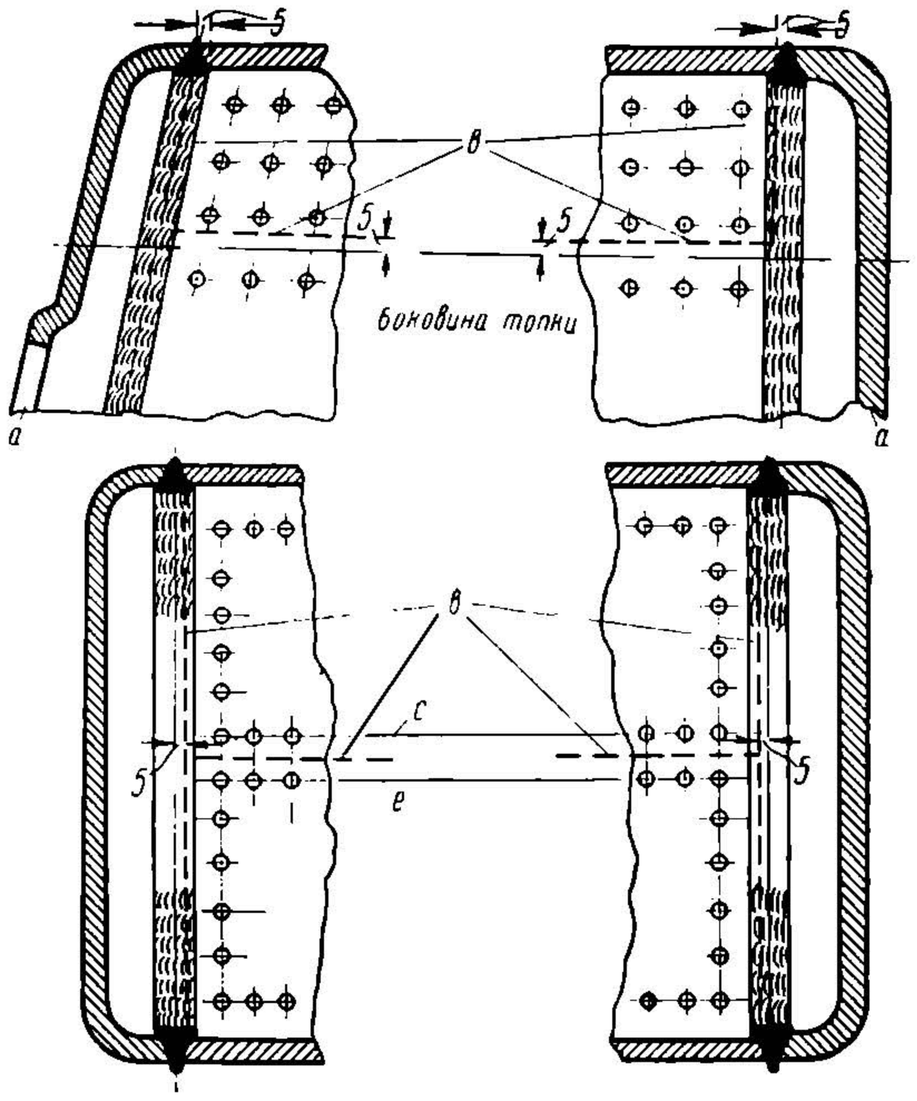
По выполнени резки производятся котельные работы, заключающиеся в: 1) отжатии отрезанных частей потолка, 2) срубке головок связей по кожуху топки (86 шт.), 3) срубке головок анкерных болтов по кожуху топки (312 шт.), 4) удалении кольцевого остатка резьбы в отверстиях связей и анкерных болтов, 5) вывертывании колпачков и втулок связей Тэта и подвижных анкерных болтов, 6) удалении (выбивке) выжженных связей Тэта и подвижных анкерных болтов. По удалении старого негодного потолка необходимо произвести осмотр кожуха и выполнить на нем следующие работы: 1) очистить кожух от накипи со стороны воды, 2) зачистить выедины со стороны воды и в случае надобности заварить их, 3) обрубить фаски по кромкам огневой решетки, задней стенки и боковых полустенков по шаблону и 4) выправить кромки огневой решетки, задней стенки и боковых полустенков. Новый потолок изготовляется из котельного железа 10 — 12 *мм*, по шаблону, по которому производится разметка отверстий для связей и анкерных болтов. Затем производится разметка кромок под вварку потолка по размерам, получаемым при вырезке старого

---

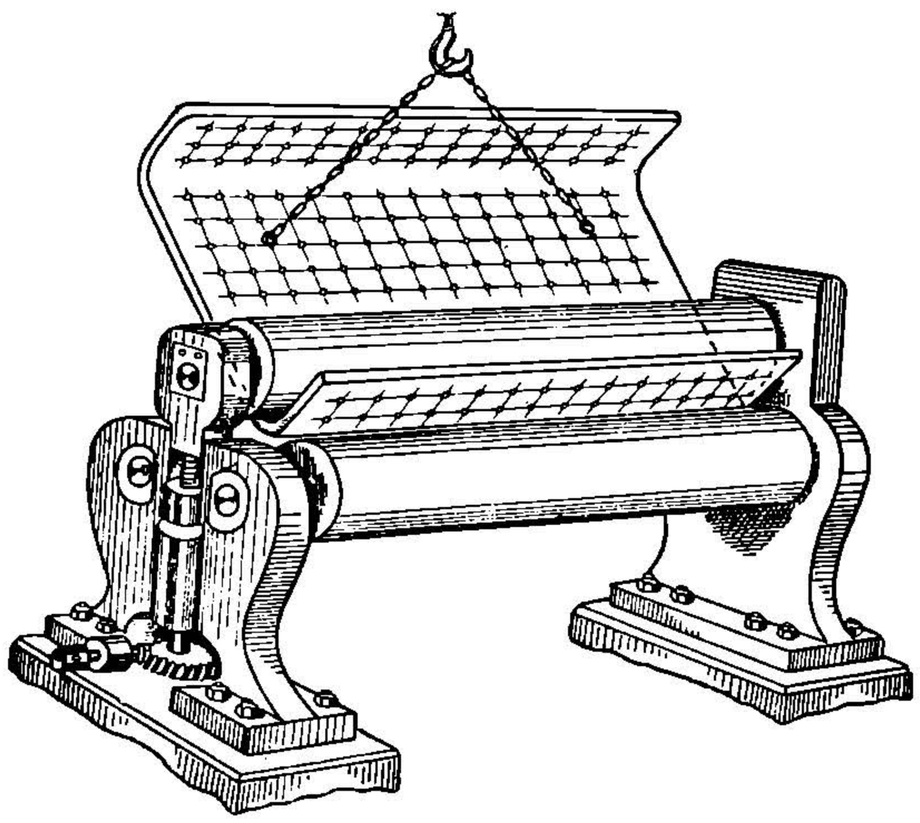
[1] Данные таблицы взяты из «Правил ремонта» изд. 1934 г. По введении новых правил таблицы подлежат изменению.

НТБ ДНУЖТ

потолка. После разметки просверливаются на сверлильном станке отверстия для связей и анкерных болтов. Так как потолок спускается на 4 ряда распорных связей и в то же время не представляет собой плоскости то после сверления отверстий он подвергается гибке на вальцах (фиг. 140) и последующей выправке по линейке. Перед постановкой потолка на место прежде ставятся вспомогательные планки со стороны воды по фланцу топочной решетки и задней стенки и затем потолок заводится в топку мостовым краном. После пригонки потолка по месту под сварку он прихватывается по продольному шву в нескольких местах электроприхватками, после чего вспомогательные планки удаляются. По окончании сварки производятся постановка и клепка связей и болтов. Некоторые особенности представляет собой постановка нового потолка при наличии сварного шва с боковыми стенками клепаного шва у задней стенки и огневой решетки. В этом случае операция по разборке протекает в следующей последовательности: 1) выжигаются заклепки по фланцам огневой решетки и задней стенки со спуском на 5 заклепок ниже намечаемого шва; 2) выжигаются 4 ряда распорных связей и анкерных болтов со стороны кожуха; 3) выжигается 4-й ряд распорных связей со стороны топки (этот ряд лежит ниже намечаемой линии, по которой отрезается потолок;) 4) размечается шов под вырезку или вырубку между 3-м и 4-м рядами связей на боковых стенках; 5) разрезается потолок на отдельные части бензорезом; 6) выжигаются жесткие анкерные болты со стороны кожуха (312 шт.) и подвижные анкерные болты со стороны воды. По окончании вырезки потолка необходимо отжать разрезанные части потолка, срубить головки связей и анкерных болтов со стороны кожуха и очистить кольцевой остаток резьбы в отверстиях для связей и анкерных болтов, вывернуть крышки из втулок связей Тэта и подвижных болтов, выбить выжженные связи Тэта и подвижные анкерные болты, выбить заклепки по фланцам огневой решетки и задней стенки. По удалении потолка производятся изнутри топки осмотр кожуха, очистка его от накипи и заварки отдельных мест при наличии выедин. В оставшейся части шинельного листа необходимо обрубить фаски по продольному шву по шаблону под сварку и зачистить место прилегания нового потолка по фланцам топочной решетки и задней стенки, а в случае надобности выправить и фланцы. Одновременно производится заготовка



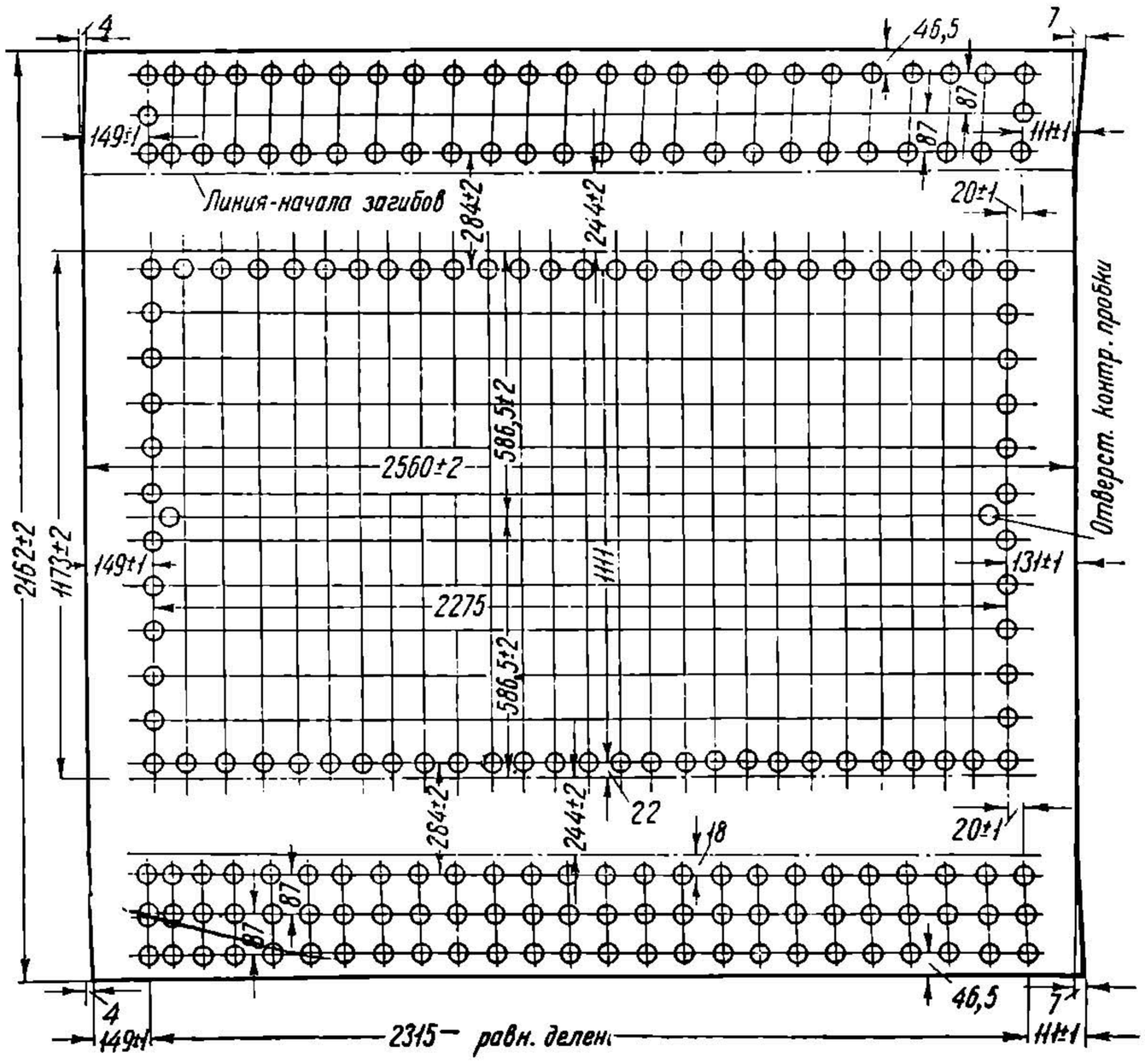
Фиг. 139.



Фиг. 140.

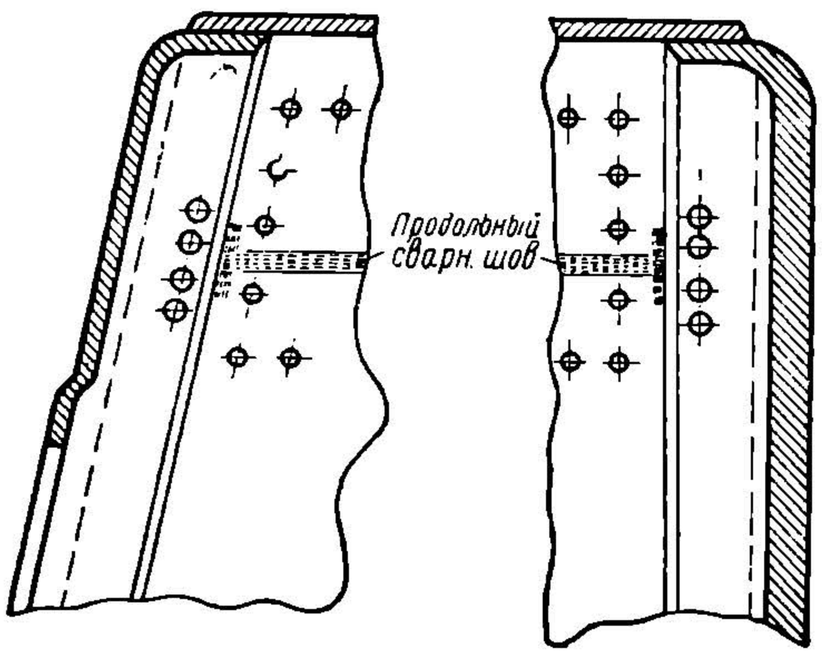
НТБ ДНУЖТ

нового потолка по шаблону (фиг. 141), до прибытия назначенного паровоза в ремонт. По поступлении же котлов в ремонт находятся центры 3 заклепочных отверстий по фланцам решетки и задней стенки и переносятся на размечиваемый потолок. С помощью шаблона размечаются отверстия для связей и анкерных бол-



Фиг. 141.

тов, намечаются и обрезаются кромки потолка по заклепочным швам огневой решетки и задней стенке и по продольному шву, которые в дальнейшем обрубаются пневматическими молотками. Затем размеченный потолок передается на сверлильный станок для сверловки отверстий под распорные связи и анкерные болты. Заканчивается операция заготовки потолка его вальцовкой. Потолок вводится краном в топку и соединяется с фланцами топочной решетки и задней стенки 3 болтами. Перед вваркой нужно пригнать кромки потолка к шинельному листу и укрепить место сварки электроприхватками со снятием вспомогательных планок. Сварка ведется обратно ступенчатым швом обычными методами. По окончании вварки продольных швов потолка нужно перейти к сверловке заклепочных отверстий по фланцам топочной решетки и задней стенки, обжатию потолка по фланцам, рассверловке и раззенковке этих отверстий для заклепок и клепке. Фланцы огневой коробки и задней стенки приваривают у продольного шва (фиг. 142) на длине 150—200 *мм*. По окончании сварочных работ, клепки и чеканки заклепок потолок проверяется линейкой и принимается инспектором ОТК.



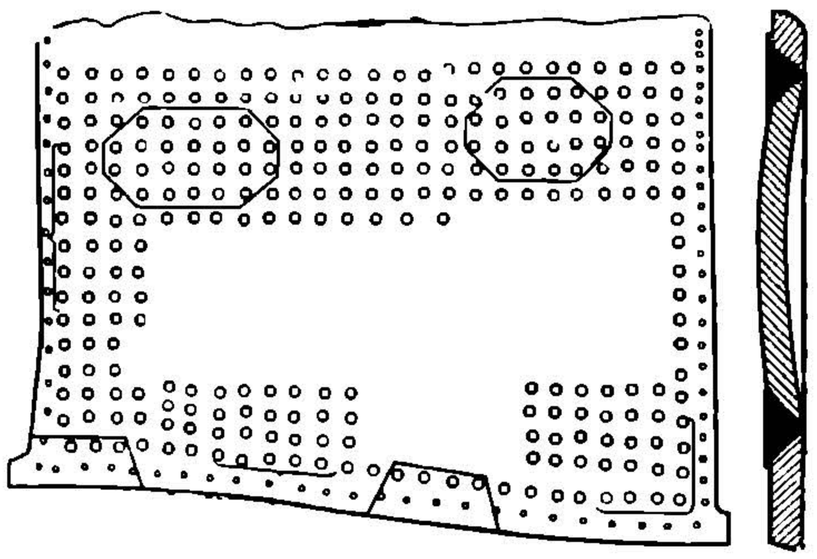
Фиг. 142.

НТБ
ДНУЖТ

§ 6. Вварка замкнутых заплат

При подъемочном, промывочном и даже при среднем ремонтах, если имеются трещины в простенках между связями, допускается вварка при железных шинельных листах в стенках топки замкнутых заплат (фиг. 143), с тем условием, чтобы заплата захватывала не менее трех связевых простенков по высоте и по ширине и чтобы вертикальные швы занимали не более 2 простенков, т. е. заплаты должны быть ромбической формы. Допускается вварка в одну стенку не более 2 заплат. До вварки заплаты необходимо выжечь связи на поврежденном участке шинельного листа со стороны кожуха и, наметив контур будущей заплаты, вырезать поврежденное место. Новая заплата подготавливается с таким расчетом, чтобы она имела выпуклость в сторону огня от 3 до 4 *мм* в целях борьбы с возникающими при сварке большими напряжениями, а следовательно, с возможным появлением трещин. Кроме того, необходимо удалить не менее одного ряда связей вокруг отверстия для намеченной заплаты, зачистить металл у скосов для сварки на расстоянии от них на 10 *мм* и укрепить заплату скрепами.

По мере ведения сварки в целях выравнивания напряжений, возникающих в шве при остывании, скрепляющие болты постепенно удаляются. Каждая секция должна быть заварена полностью, причем предыдущая секция подвергается внимательному осмотру в целях обнаружения трещин. Сварной шов усиливается в пределах не более 2—3 *мм*, что проверяется шаблоном. При вварке заплат применяются электроды диаметром 4—5 *мм* при ориентировочной силе тока в 200 *А*.



Фиг. 143.

Кроме описанного метода ремонта стенок топки при наличии в них трещин, при подъемочном и промывочном ремонтах паровозов на медных шинельных листах разрешается постановка заплат с вырубкой старого поврежденного места. В этом случае заплаты ставятся на заклепка а при невозможнооти—на шурупах, располагаемых посередине между связями таким образом, чтобы новый шов не касался ни старых, ни вновь поставленных связей, как изнутри, так и снаружи.

Помимо указанных основных работ по ремонту сваркой шинельных листов, инструкцией по сварке допускаются следующие работы: 1) заварка связевых отверстий не более 25% от всего количества связей данной стенки; 2) вварка бортовых заплат по топочной раме при длине заплаты не менее 4 связевых простенков при условии прохождения горизонтального шва не ближе чем посередине между первым и вторым рядами связей; 3) заварка лучевых надрывов у связевых отверстий в боковых стенках; 4) заварка выедин в боковых стенках возле топочной рамы; 5) заварка трещин в связевых простенках; 6) заварка трещин между кромкой шинельного листа и первым рядом связей. Вварка заплат в потолок запрещается.

§ 7. Ремонт задней стенки топки

Ремонт задней стенки вызывается износом ее вследствие обгорания со стороны топки, разъедания со стороны воды и отдельными повреждениями в виде трещин. Допускаемые нормы износа при выпуске из различных видов ремонта приводятся в табл. 17 [1] (все размеры в *мм*).

Наиболее сложными работами при ремонте задних стенок являются: 1) смена задней стенки и 2) вварка заплат вокруг шуровочного отверстия.

---

[1] Данные таблицы взяты из „Правил ремонта изд. 1934 г. По введении новых правил и дополнений к старым нормы подлежат изменению.

НТБ ДНУЖТ

Таблица 17

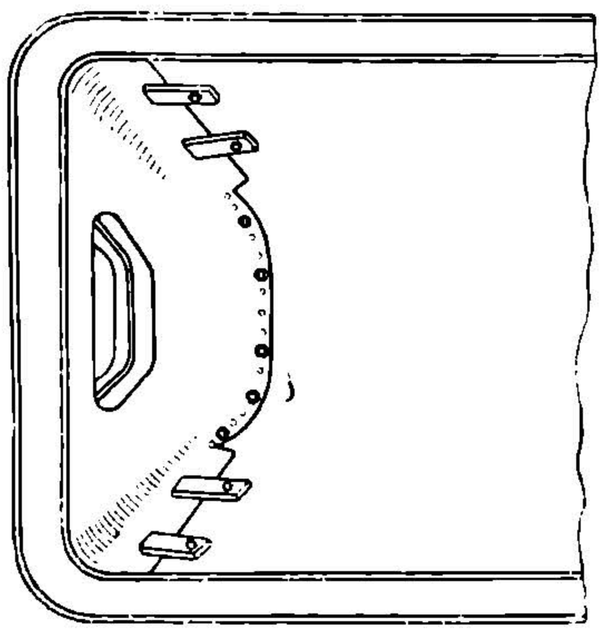
Наименование частей стенки	При выпуске из капитальн го ремонта	При выпуске из среднего ремонта	При выпуске из подъемочного ремонта	Предельный размер, при котором меняетс задняя стенка или производится сложный ремонт
Толщина задней стенки при выпуске из ремонта не менее:				
медной . .	8	7	6	5
железной	7	6	5	4
Нормальная толщина новой стенки	10	—	—	—
Общий прогиб задней стенки не более	12	15	15	20
Частичный прогиб на длине 4 связей	3	4	5	6
Общий прогиб стенки после правки	5	—	—	—

Смена задней стенки

В качестве одного из вариантов рассмотрим случай смены задней стенки топок паровозов серии «ФД», имеющей некоторые особенности по сравнению со сменой задних стенок паровозов серий «Эу» и «Су», так как часть шва выполнена сваркой, а часть на заклепках. Процесс смены задней стенки состоит из следующих операций: 1) удаления циркуляционных труб; 2) выжигания вертикального ряда связей Тэта из огневой коробки вдоль фланцев задней стенки; 3) выжигания связей Тэта из огневой коробки по задней стенке; 4) выжигания распорных связей на лобовом листе; 5) выжигания из огневой коробки заклепок по топочной раме в месте соединения с задней стенкой; 6) разрезки задней стенки на четыре части; 7) отрезки задней стенки от боковых стенок огневой коробки до топочной рамы (резка производится по сварному шву, отступая на 4 *мм* от оси шва в сторону задней стенки); 8) отрезки задней стенки от лобового листа в шуровочном отверстии по сварному шву со смещением линии отреза на 4 *мм* в сторону задней стенки; 9) поворота котла на бок и выжигания заклепок во фланце задней стенки по потолку топки; 10) выжигания первого ряда анкерных болтов у задней стенки снаружи кожуха, а затем изнутри топки. По окончании указанных работ начинаются котельные работы. Прежде всего выбиваются выжженные заклепки по топочной раме в соединении ее с задней стенкой; затем высверливаются и выбиваются заклепки по углам обвязочной рамы; срубается обварка клепаного шва по потолку огневой коробки. Так как головки связей Тэта уже выжжены со стороны топки, то для окончательного удаления связей необходимо отвернуть крышки колпачков и выбить связи в сторону кожуха. По окончании этой работы выбиваются заклепки по потолку в месте соединения с задней стенкой. Не нерезанные части задней стенки у топочной рамы на правой стороне нужно разрубить и удалить после отжатия, повернуть котел на другую сторону, разрубить не перерезанную часть стенки у топочной рамы на другой стороне и удалить после отжатия оставшиеся части задней стенки. По удалении задней стенки приступают к обрубке головок, удалению кольцевого остатка резьбы связей на лобовом листе со стороны топки. Затем котел поворачивается краном и устанавливается в нормальное положение. По окончании всех разборочных работ приступают к подготовке кожуха топки под постановку новой задней стенки. Прежде всего нужно зачистить и заварить разъедины (выедины) в лобовом листе со стороны воды, чаще всего наблюдающиеся: 1) в загибах побового листа, 2) в лобовом листе над рамой. Подобного же рода выедины могут быть обнаружены по топочной раме и в доступных для осмотра частях кожуха топки.

НТБ ДНУЖТ

Подготовка задней стенки паровоза серии «ФД» к постановке на сварном и клепаном (смешанном) швах начинается с разметки: 1) отверстий для связей, 2) отверстий для заклепок по раме за исключением угловых, 3) сварной кромки по борту задней стенки, 4) линии заклепочных отверстий по борту в потолочной части стенки и 5) кромки по отверстию шуровки. Вслед за разметкой необходимо просверлить отверстия для связей, просверлить и раззенковать отверстия для заклепок по раме, произвести обрез кромок задней стенки бензорезом по бортам и по отвороту шуровочного отверстия. Задняя стенка изготовляется обычно штамповкой. Процесс постановки ее представляет собой сложную операцию; прежде всего выправляются и обрубаются кромки шинельного листа и размечаются отверстия по борту задней стенки в потолочной части. С этой целью намечается линия центров заклепочных отверстий по борту задней стенки, накерниваются центры двух крайних установочных (контрольных) отверстий и просверливаются. От найденной линии центров откладывается расстояние до кромки задней стенки, что определяет положение кромки задней стенки. Для устранения возможного несовпадения центров заклепочных отверстий во фланце в задней стенке и в шинельном листе применяется лента-шаблон, которая после покрытия краской борта шинельного листа по заклепочным отверстиям накладывается на заклепочный шов, в результате чего на ней получается отпечаток заклепочных отверстий шинельного листа. Лента укрепляется на задней стенке через прокерненные в ней центры заклепочных отверстий, после чего наносятся центры заклепочных установочных отверстий в задней стенке и рассверливаются отверстия в бортах стенки. После указанных работ обрезаются, а затем обрубаются кромки задней стенки по борту и по отверстию для шуровки; причем обрубка производится по потолочному листу под чеканку, а по боковым частям и по отверстию для шуровки под сварку. Затем задняя стенка устанавливается и укрепляется к потолку и раме болтами, а по бокам планками (фиг. 144), и обжимается потолочная часть ее: сначала 1-я, а затем 2-я половина.



Фиг. 144.

Вслед за этим прирубается и прижимается борт задней стенки к шинельному листу. Далее следует обрезка кромок задней стенки, по обвязочной раме и обжатие ее: сначала 1-й, а затем 2-й половины от середины к углам с предварительным обжатием последних. После просверловки заклепочных отверстий и их раззенковки нужно обжать правый угол задней стенки по раме. При этом же положении котла развертываются заклепочные отверстия по потолку на одной половине стенки; затем котел поворачивается на другой бок, и начинается обрубка кромок задней стенки второй половины на топочной раме. Далее подготавливается 2-я половина задней стенки с соблюдением той же последовательности.

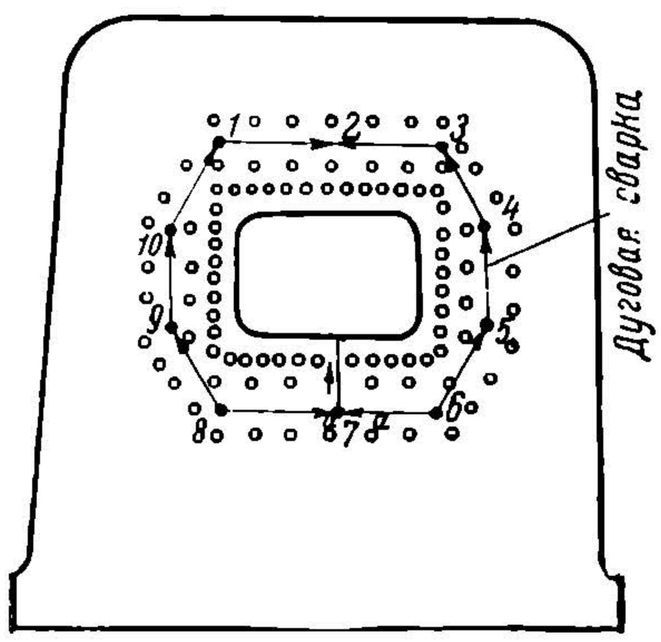
Ввиду того, что при обладке задней стенки возможно повреждение раззенковки заклепочных отверстий по борту потолочной части стенки и в месте соединения ее с топочной рамой, необходимо вторично подзенковать отверстия, что позволит перейти к клепке шва по потолочной части. По окончании клепки по потолку задняя стенка приваривается к шинельному листу сначала на одной, а затем и на другой его стороне. За сваркой следуют клепка по обвязочной раме и ее углам и заварка концов швов по раме. Дальнейшая работа заключается в пригонке (прижатии) сварного шва по шуровочному отверстию и его заварке по частям (1-я и 2-я половины). По окончании всех основных работ необходимо выправить заднюю стенку болтами и, наконец, осадить и обчеканить заклепки и швы по задней стенке в потолочной части и по топочной раме с двух сторон.

Смена задней стенки топки паровозов серий «Эу» и «Су» несколько проще, так как обычно они ставятся исключительно на сварном шве.

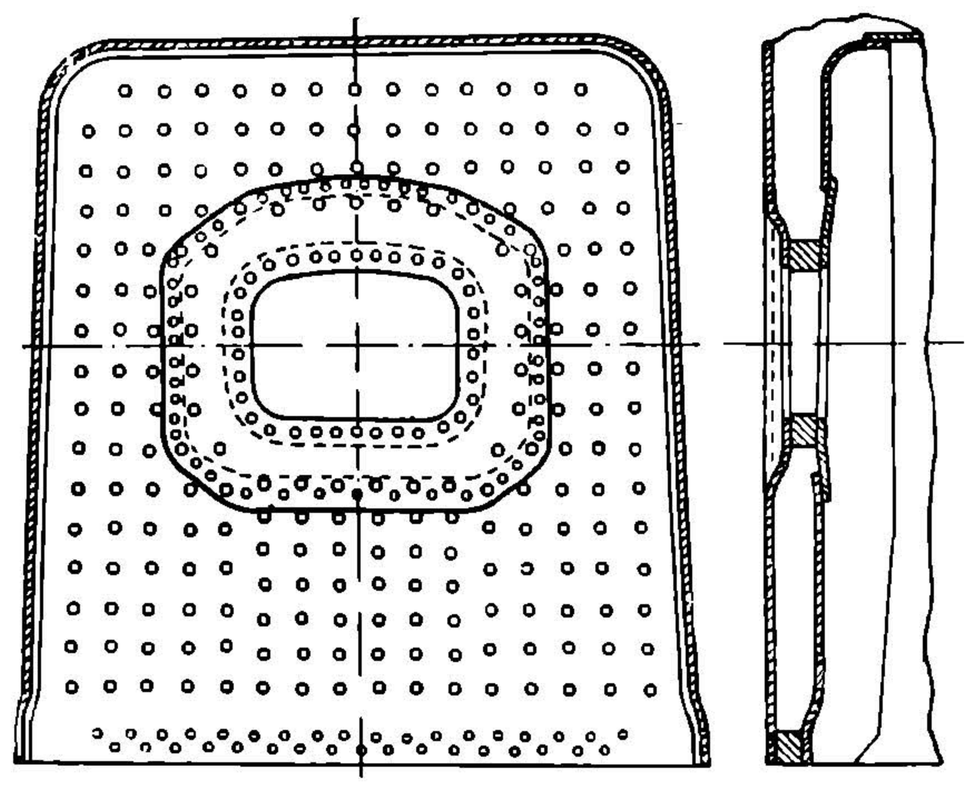
НТБ ДНУЖТ

§ 8. Вварка заплат вокруг шуровочных отверстий на задних стенках и на лобовых листах кожуха топки

При среднем и подъемочном ремонтах, если имеются трещины в задней стенке или на лобовом листе у шуровочного отверстия, допускается постановка заплат на заклепках или на сварном шве при условии расположения шва посередине между первым и вторым рядами связей, считая от кромки шуровочного отверстия. В топках же паровозов серий «О» и «Н» разрешается вварка заплат и в том случае, когда шов располагается между заклепками и первым рядом связей. После наметки контура заплаты необходимо выжечь заклепки по шуровочному кольцу (конструкция с прокладным кольцом) вольтовой дугой или газовым резаком и выжечь связи со стороны лобового листа, после чего вырезать сменяемую часть со скосом кромки под углом в 45° Заплата подготовляется или по шаблону, или в крайнем случае по месту с обязательным ее прорезом в нижней части посередине шуровочного отверстия. Кромки заплаты подгоняются встык к месту задней стенки и укрепляются прихватывающими скобами. Отверстия для связей в заплате просверливаются после сварки. Установленная заплата схватывается электроприхватками (скобы при этом удаляются), после чего производится сварка согласно фиг. 145 по участкам: *1—2*, *10—1*, *9—10*, *8—9*, *3—2*, *4—3*, *5—4*, *6—5*, *8—7*, *6—7* и, наконец, последним заваривается прорез в нижней части заплаты снизу вверх. В паровозах серии «Э» при капитальном



Фиг. 145.



Фиг. 146.

ремонте прокладное кольцо выбрасывается, и шуровочное отверстие тогда выполняется в виде конструкции, аналогично шуровочному отверстию паровозов серии «ФД». В этом случае по удалении части кожуха у шуровочного отверстия шуровочная латка изготовляется по шаблонам. Могут встретиться следующие случаи: 1) вваривается только горловина, задняя же стенка и лобовый лист кожуха не меняются; 2) одновременно с вваркой горловины меняется задняя стенка, которая отштамповывается с отворотом, горловина же вваривается со стороны кожуха со сварным швом между первым и вторым рядами связей; в паровозах серий «С» и «Су» при этом ставится дополнительный ряд связей; 3) меняется лобовый лист и одновременно вваривается горловина; тогда сварной шов проходит со стороны топки; 4) меняются и лобовый лист и задняя стенка топки, — сварной шов располагается внутри шуровочного отверстия; 5) постановка горловины производится при наличии медной стенки. При этом варианте горловина со стороны огня соединяется с задней стенкой заклепками, а с кожухом соединяется сварным швом; 6) лобовый лист и задняя стенка топки не меняются. В этом случае вваривaемая горловина изготовляется из двух частей, которые соединяются сварным швом и с кожухом и с задней стенкой, причем шов со стороны задней стенки должен проходить между первым и дополнительным

НТБ ДНУЖТ

рядами связей, а со стороны кожуха между первым и вторым рядами связей; кроме того, обе половины горловины свариваются между собой внутри шуровочного отверстия. В последнем случае вварка производится сначала со стороны кожуха и задней стенки, а затем уже внутри шуровочного отверстия.

При задних медных стенках топки возможен, хотя и редко встречающийся случай постановки горловины на заклепках. Как видно из фиг. 146, поврежденная часть задней стенки должна быть вырублена с таким расчетом, чтобы заклепочный шов проходил между связями, а заплата захватывала не менее одного ряда связей. Постановку подобного рода заплат на шурупах допускать не следует. Заплаты могут ставиться и при железных задних стенках, однако все они уступают вварным заплатам, так как вследствие охлаждения горловины шуровочного отверстия холодным воздухом, с одной стороны, и нагревания ее, с другой, швы быстро разрушаются, вызывая хроническую течь.

Обработка котельных листов

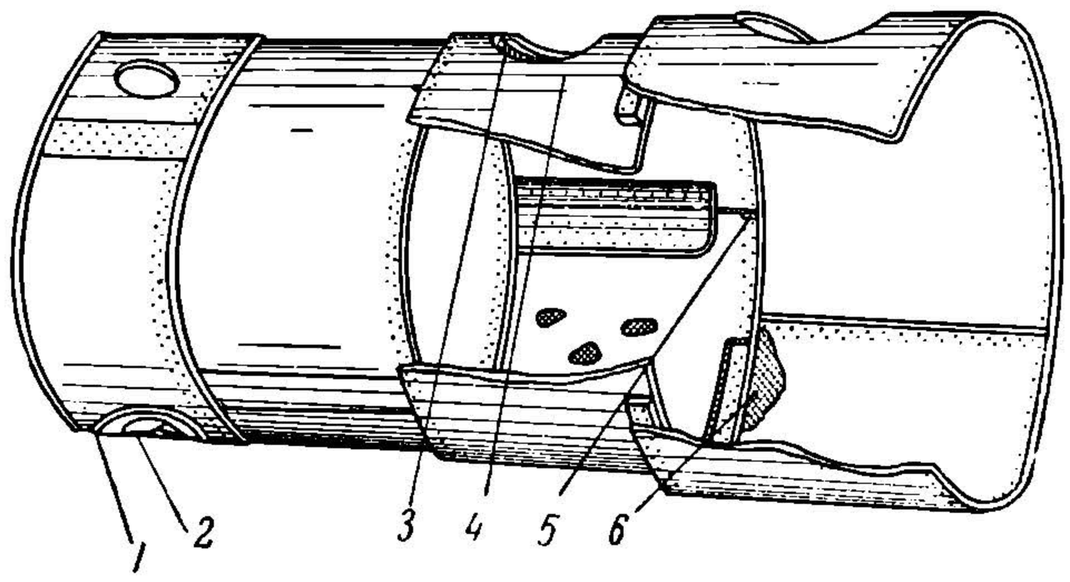
Все котельные листы, предназначенные для постановки в топку, должны быть освидетельствованы на заводах НКТП заводской инспекцией НКПС и удовлетворять техническим условиям НКПС. На принятых листах ставятся: 1) условный знак — марка завода, 2) № листа, 3) № плавки и 4) знак принятия листов инспектором. Обработка новых листов после разметки производится на сверлильных, фрезерных и кромко-фрезерных станках. Разрезка заготовок листов допускается ацетиленовым пламенем, но для окончательного образования кромок необходимо их обрубать пневматическим зубилом на расстоянии (0,3—0,5) толщины листа от края заготовки. Гибка бортов как в холодном, так и недостаточно нагретом состоянии листа не допускается. Из практики известно, что подобная гибка приводит к явлению наклепа и в дальнейшем к образованию трещин. Штамповка листов, загиб бортов обыкновенно производятся при температуре 900—950°, что соответствует светлокрасному цвету, температура же печи должна быть равна 950—1000°, т. е. быть выше температуры нагрева лишь на 40—50°. Шинельные листы потолков допускается загибать в холодном состоянии. Весьма существенное значение имеет пригонка листов по месту (обладка). В этих случаях температура местного нагрева должна быть не менее 800°, нормально 850—900° При понижении температуры до 600° загиб бортов и пригонка листов должны быть прекращены, а в случае необходимости лист должен быть подогрет. При температурах в пределах 200—400° металл приобретает так называемую синеломкость, поэтому при этих температурах не допускается не только производства каких бы то ни было работ над листами, но даже их переноса. Особое внимание должно быть обращено на отжиг листов. С этой целью лист нагревается в отжигательной печи до 900—950° и затем выдерживается при этой же температуре в течение 0,5—1 часа, после чего производится медленное охлаждение сначала в печи, а затем вне печи — на сухом песке или полу, без тяги воздуха, не допуская искусственных мер охлаждения. Образование заклепочных и связевых отверстий допускается только сверловкой, но не пробивкой, так как это изменяет структуру металла.

§ 9. Ремонт цилиндрической части котла

В цилиндрической части котла наблюдаются следующие повреждения: 1) выедины в цилиндрической части и у сухопарников, точнее у их подклепки, 2) выедины у люков, 3) трещины в листах отдельных звеньев барабанов и от заклепок до кромок листов, 4) течь швов и заклепок. На фиг. 147 показаны участки, наиболее подвергающиеся повреждениям частей, где соответствующие цифры обозначают места: 1) выедин у люковых фланцев, 2) выедин у отверстий вокруг люков, 3) выедин у подклепки сухопарника, 4) трещин в цилиндрической части котла, 5) выедин у передней решетки со стороны воды и 6) выедин в передней решетке, требующих постановки ленты-надставки. Главнейшим видом повреждений являются выедины и течь швов и заклепок, образование которых

НТБ ДНУЖТ

объясняется наличием в воде солей, выделяющихся при нагревании. В этом отношении наиболее резко проявляют себя соли кальция и магния. При наличии единичных выедин глубиной до 3 *мм* они только зачищаютск, при большом же их числе, ориентировочно определяемом площадью свыше 300 *см*², со стороны кожуха должна быть поставлена накладка, сами же выедины должны быть зачищены. В остальных случаях допускается применение электросварки за исключением устранения трещин в цилиндрической части, заварка их запрещается. В этом случае меняется или полное звено или часть его. Разъедины кромок листов устраняются исключительно электронаплавкой. При отсутствии сварочных агрегатов поврежденные кромки могут быть обрублены пневматическим зубилом с последующей чеканкой, однако в целях их сохранения целесообразнее применять электронаплавку.

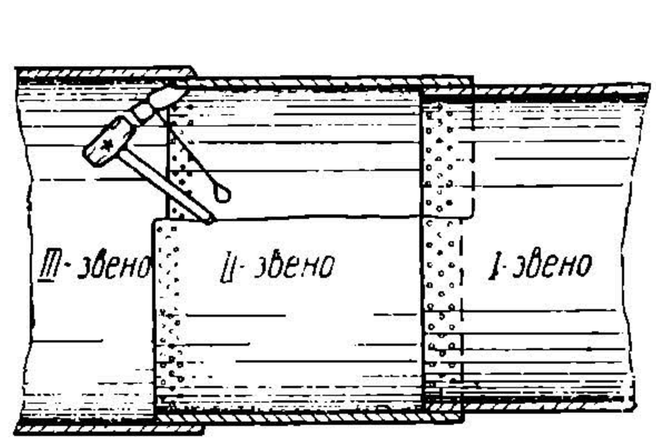


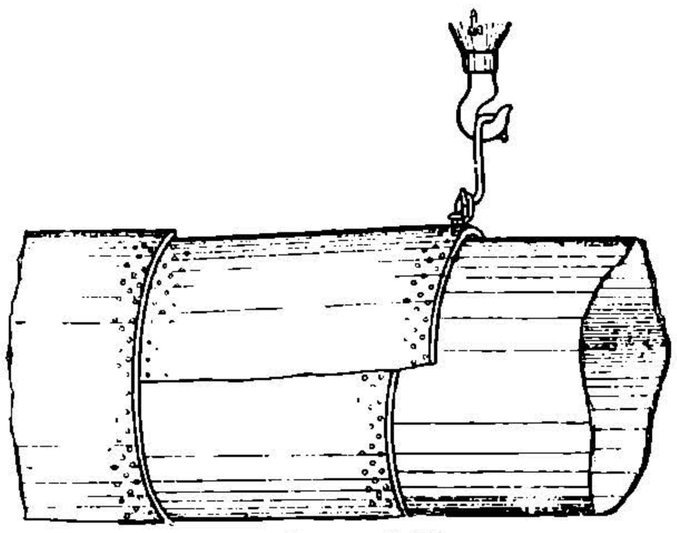
Фиг. 147.

1 — выедины в цилиндрической части, *2* — выедины у люков, *3* — выедины у подклепки сухопарника, *4* — места трещин в цилиндрической части котла, *5* — выедины у передней решетки со стороны воды, *6* — выедины в передней решетке, устраняемые надставкой.

Одной из наиболее сложных и интересных работ по ремонту цилиндрической части котла является постановка нижней части звеньев, что вызывается наличием выедин и трещин. В качестве примера приводится описание смены нижней части второго звена цилиндрической части котла паровозов серий «Э» и «Су».

Воронежский паровозоремонтный завод в этом случае применяет для разметки шаблоны. После удаления заклепок накладывается и укрепляется шаблон на 2-е звено и намечаются линии продольных кромок остающейся части звена и центров отверстий для заклепок по продольным швам накладок. После разметки удаляемая часть отрезается бензорезом, а по отжатии кромок по шву 1-го и 3-го звеньев окончательно отделяется от цилиндрической части (фиг. 148). Снятая часть звена развальцовывается и накладывается на заготовку котельного листа, что дает возможность: 1) нанести очертания периметра части звена в развернутом виде, 2) нанести центры заклепок в месте соединения частей с 1-м и 3-м звеньями и 3) наметить контурную линию для обрубки шва. Вслед за разметкой швов следуют обрезка и обрубка намеченных кромок продольных и круговых швов и разметка по шаблону центров заклепочных отверстий для швов наружной и внутренней накладок (применение шаблона показано на фиг. 149). В размеченной и подготовленной части звена просверливаются отверстия для заклепок по швам, после чего звено поступает на вальцовку. Наружная и внутренняя накладки также размечаются по шаблонам, изготовленным из листового железа толщиной 1 *мм*, путем накладывания их на лист котельного железа. Размеченные накладки обрезаются бензорезом, затем обрубаются пневматическим молотком и передаются на специальное приспособление для гибки по радиусу звена (фиг. 150). В тех случаях,

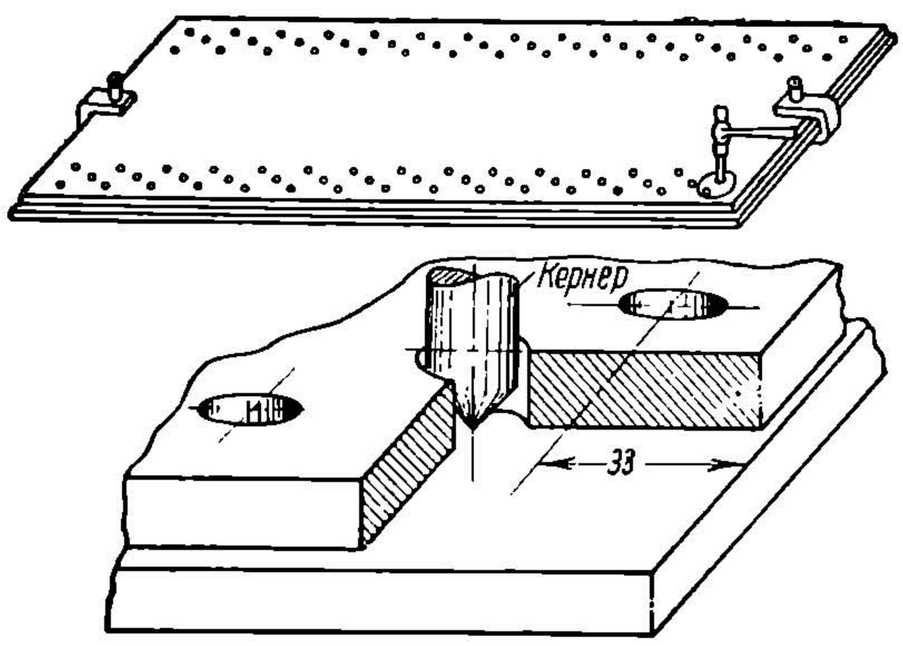




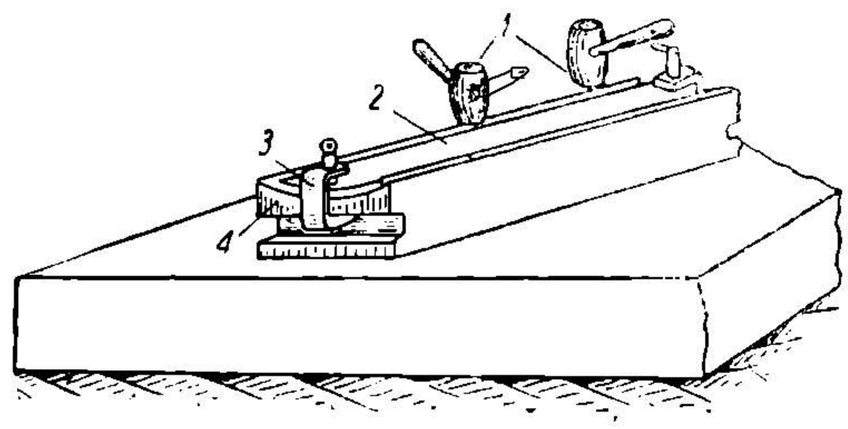
Фиг. 148.

НТБ ДНУЖТ

когда под сменяемым звеном находится подкладка под опору котла, приходится дополнительно размечать и изготовлять также и ее, применяя шаблон и угольник для опоры котла. Вальцовка угольника должна быть сделана лишь после разметки и сверловки в нем отверстий для заклепок. По окончании заготовки новой части



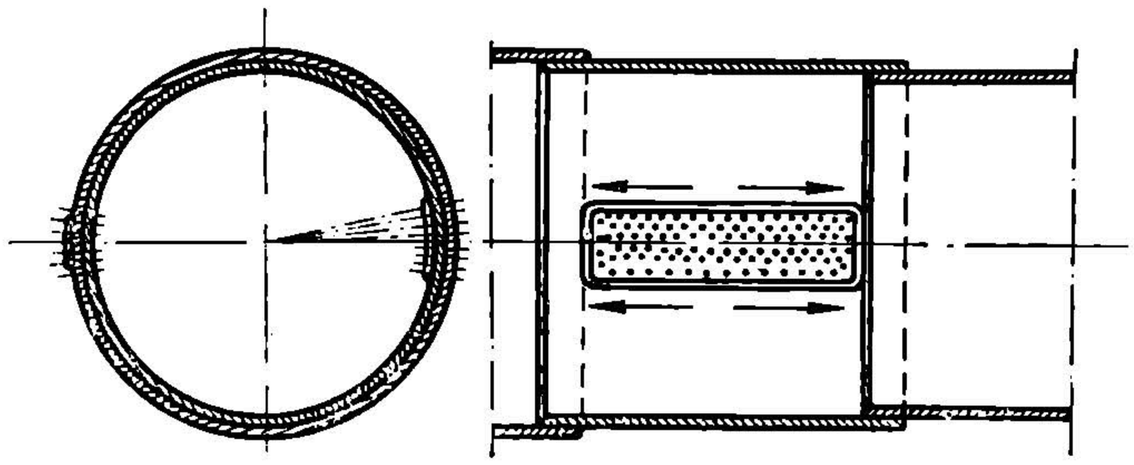
Фиг. 149.



Фиг. 150.

1 — кувалды, *2* — изгибаемая накладка, *3* — зажимное приспособление, *4* — шаблон.

звена и накладок (в некоторых случаях работы можно вести и параллельно) нужно подготовить кромки оставшейся части звена цилиндрической части котла к постановке нижней части звена, т. е. просверлить в них отверстия для заклепочного шва для накладок. Постановка изготовленной части на место производится при положении котла рамой вверх, после чего новая часть звена соединяется с оставшейся временными болтами. Новая часть, соединяющаяся с 1-м и 3-м звеньями цилиндрической части, должна быть обжата. По окончании постановки новой части звена на место и его пригонки прежде всего необходимо произвести клепку по круговым швам, т. е. в местах соединения 2-го звена с 1-м и 3-м звеньями, и заварить шов в конце 2-го звена в сторону 1-го звена с левой стороны и в сторону 3-го звена с правой стороны. Повернув котел для удобства работы на другую сторону, проваривается электросварочный шов в конце 2-го звена со стороны 1-го звена с правой стороны и в конце 2-го звена со стороны 3-го звена с левой стороны. Далее нужно перейти к установке наружной и внутренней накладок, их обжатию по цилиндрической части котла, развертыванию и раззенковке заклепочных отверстий и, наконец, к клепке заклепок по накладкам и чеканке заклепок и швов. Порядок обладки и способ постановки накладок показаны на фиг. 151.



Фиг. 151

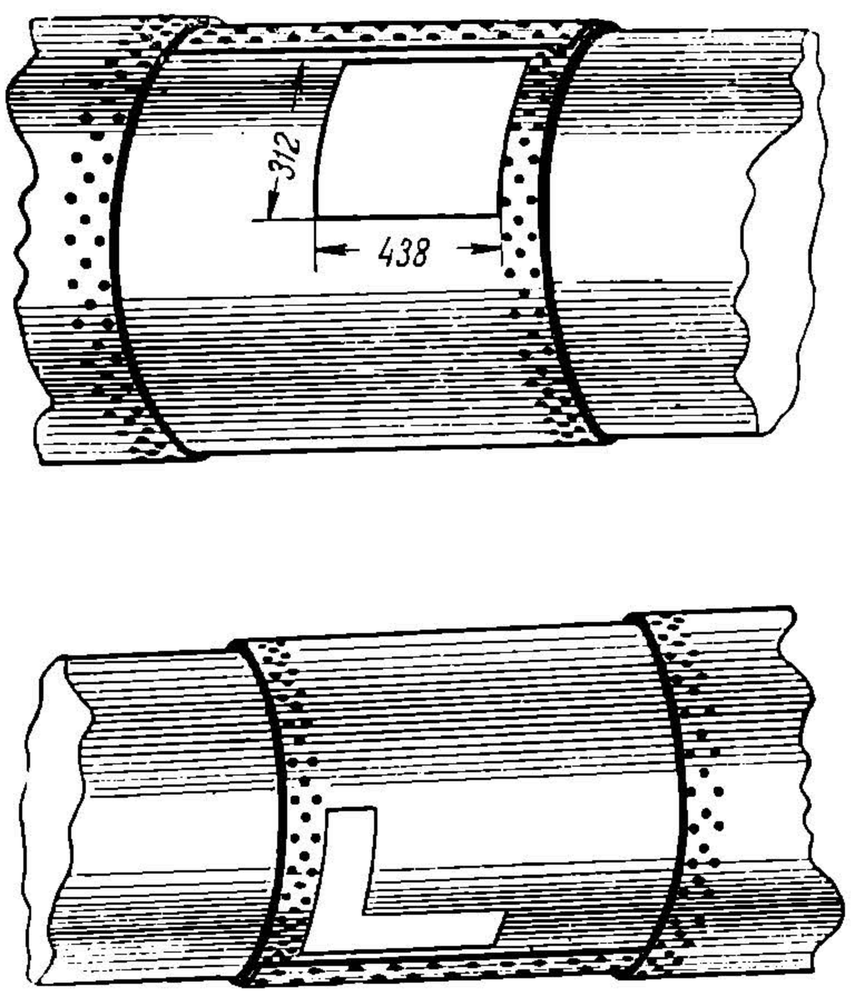
К отдельному виду работ по ремонту цилиндрической части котлов относится постановка заплат на звенья барабанов на место части котла, вырубленной для испытания материала при специальном обследовании котлов. Вырубка может быть сделана на любом звене котла (берется звено, вызывающее сомнение в качестве материала). Место вырубки под постановку латки на цилиндрическую часть котла имеет вид, показанный на фиг. 152.

§ 10. Ремонт дымовой коробки

Основное требование, предъявляемое к дымовой коробке, ее герметичность — может быть выполнено лишь при плотной постановке дверок и недопущении их коробления. При засасывании воздуха через неплотности разрежение умень-

НТБ ДНУЖТ

шается, а отсюда, как следствие, понижается и парообразование, поэтому паровозные бригады должны уделять уходу и содержанию дымовых коробок не меньшее внимание, чем оно должно уделяться всем остальным элементам паровоза, обращая особое внимание на плотность прилегания дверок и кожухов пароразбочих труб. Короблению дверок способствует в значительной степени унос несгоревших частичек топлива, которые, скопляясь в дымовой коробке, могут создать в ней «вторую топку» и привести к накаливанию до-красна стенок дымовой коробки. Отсюда следует, что паровозные бригады должны удалять изгарь из дымовой коробки по мере ее накопления и содержать в полной исправности мусороочиститель. Небольшая неплотность и коробление дверок могут быть устранены выправлением дверки легкими по ней ударами. В паровозах серий «ФД», «С°» и «Су» коробление дверок по сравнению с другими сериями паровозов несколько меньше, так как размеры дверок меньше. Опыт показывает, что при замене железных дверок чугунными коробления их почти не наблюдается. В новых типах паровозов размеры дымовых коробок значительно увеличены, что вызывает и некоторое увеличение ремонта. Однако благодаря широкому применению сварки как при изготовлении, так и ремонте время, необходимое на ремонт, все же не увеличилось. Кроме устранения коробления дверок, наиболее распространенным видом ремонта является смена отдельных частей дымовой коробки вследствие прогорания их. При ремонте дымовых коробок разрешается производство следующих сварочных работ: 1) вварка надставки в верхней части дымовой коробки, 2) приварка полубарабана, 3) вварка заплат, 4) сварка цельной дымовой коробки, 5) заварка трещин фронтонного листа, 6) вварка вставки в фронтонный лист, 7) заварка заклепочных отверстий в кромке первого барабана цилиндрической части и 8) наплавка выгоревших мест в листах дымовой коробки.



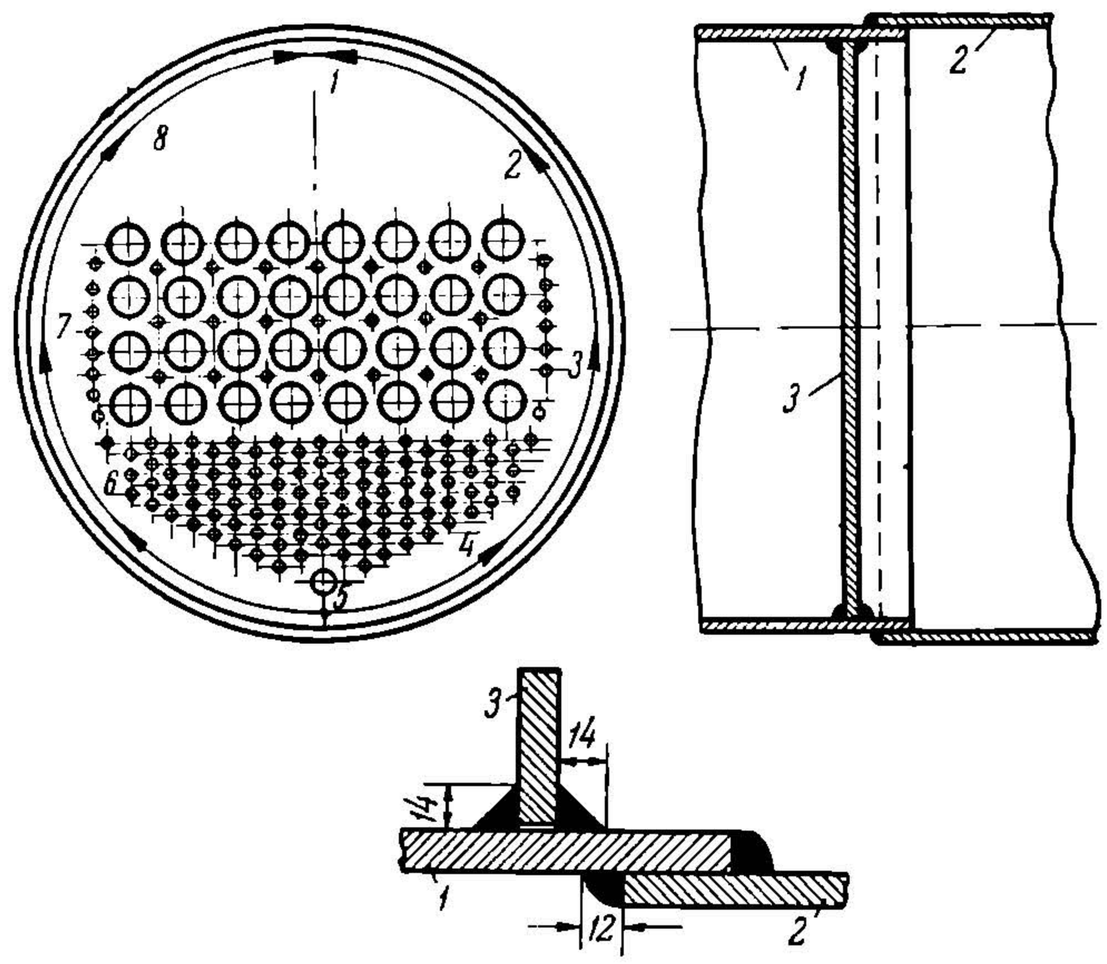
Фиг. 152.

Ремонт передней решетки

Передние решетки подвергаются меньшему износу и деформациям, чем задние, но в них все же наблюдается ряд повреждений. Ремонт электросваркой производится во всем согласно $\frac{\text{ОСТ}}{\text{НКПС}} - \frac{6054}{56/11}$, причем допускается производство следующих работ: 1) заварка лучевых надрывов и разъедин, 2) заварка трещин от кромки до заклепочных отверстий, 3) наплавка отверстий для жаровых и дымогарных труб, 4) заварка трещин в трубных простенках (допускается заварка не более 5 трещин за первым рядом трубных отверстий, собранных в одном месте, в первом же ряду лопнувшие простенки должны быть разделены не менее чем двумя целыми простенками), 5) наплавка кромок в передней решетке, 6) заварка трещин, перпендикулярных загибу, 7) наплавка разъедин в передней решетке, 8) вварка ленты в нижней части передней решетки, 9) приварка передней решетки. Заварка трещин, параллельных загибу, не допускается. Наиболее сложной работой в данном случае надо считать смену передней решетки, которая может быть поставлена или на заклепочном шве, или на сварном шве (так называемые дисковые решетки). Решетка может оказаться забракованной при годной

НТБ ДНУЖТ

дымовой коробке, или же одновременно может потребоваться смена и дымовой коробки. Удаление решетки, независимо от указанных двух вариантов, начинается с выжигания заклепок, сама же решетка для ускорения ее выемки разрезается на 4 части. Разметка решетки производится с помощью шаблона. В тех случаях, когда ставится новая передняя решетка сварной конструкции, перед ее постановкой необходимо предварительно заварить оставшиеся заклепочные отверстия в цилиндрической части котла в месте соединения с фланцем решетки. Подготовленная передняя решетка перед установкой в котел должна быть обточена по наружному ее контуру под сварку. Способ ее приварки показан на фиг. 153, откуда видно, что между листами *1* цилиндрической части котла и решетки *3* оставляется зазор (в 1 *мм*). Самый процесс электросварки выполняется двумя сварщиками, из которых один работает со стороны дымовой коробки, а другой со стороны цилиндрической части котла. Для укрепления решетки ставится контрфорс, в паровозах же серий «ФД» и «ИС» решетка укрепляется со стороны дымовой коробки специальными угольниками. В тех случаях, когда решетка укрепляется тяжами, угольник не ставится. После вварки полотно решетки проверяется по линейке; кроме того, проверяется расстояние между решетками, которое может иметь отклонение от альбомных размеров в пределах ± 3 *мм*.



Фиг. 153.

§ 11. Распорные связи, уход за ними и смена их

Распорные связи требуют за собой постоянного контроля и наблюдения. Наличие неисправных связей приводит нередко к таким деформациям топки, которые сопровождаются появлением выпучин стенок и даже трещин. Смена связей вызывается следующими причинами: 1) течью связей, 2) обрывом связей. 3) обгоранием головок и 4) изъединами в средней части, уменьшившими диаметр связи более чем на 4 *мм*. Причиной течи связей следует считать, с одной стороны, неправильные методы обработки связей (в особенности их нарезки) и подготовки отверстий в стенках топки и кожуха, а с другой стороны, плохой уход за топкой в эксплуатации. Нарушение установленного профиля резьбы приводит к неплотной постановке связей. Несмотря на принимаемые меры к уплотнению связей путем раздачи их через контрольные отверстия, все же неплотность не всегда может быть устранена. Течь связей усиливается при резком изменении температуры топки, в особенности при железных топках. Резкие колебания температур вызываются: 1) прорывом холодного воздуха в топку, в особенности при чистке ее и при продолжительном открытии дверок при забрасывании топлива, 2) неправильным ведением промывок и 3) резким изменением режима работы котла.

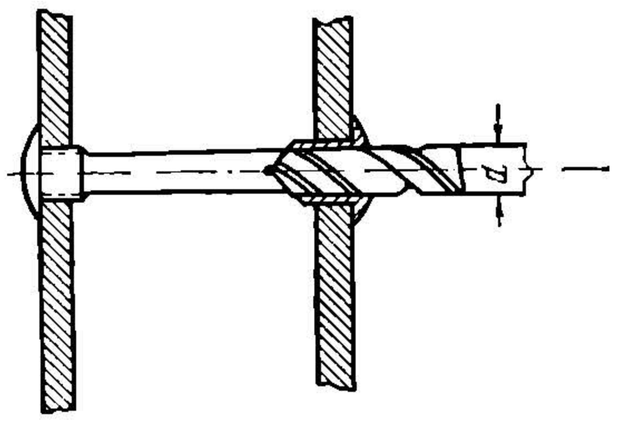
Вредители в целях разрушения паровозного парка прибегали к подварке и чеканке связей на горячих паровозах и этим самым создавали условия к образованию трещин. Обрыв связей вызывается различными деформациями стенок топки и кожуха. Это подтверждается практикой работы связей Тэта, у

НТБ ДНУЖТ

которых изгиб у кожуха устраняется благодаря наличию шарнирного соединения головки со стенкой кожуха. Имеет место обрыв связей со стороны стенки топки; эти случаи чаще всего вызываются неправильной обработкой головки связи у места перехода от наружной части к шейке. Кроме указанной причины, обрывы связей имеют место при наличии завалов накипи между стенками топки и кожуха. В этом случае стенки, не охлаждаемые водой, перегреваются и выпучиваются, вызывая сначала единичный обрыв связи, что устанавливается по парению и течи через контрольное отверстие, и при дальнейшем развитии выпучин течь связей становится массовым явлением. При отложении накипи на стенках топки на головках связей сначала появляется налет (соль), в дальнейшем начинается течь связей в резьбу, под головку, в особенности при охлаждении котлов. Массовая течь связей требует их смены при первой же промывке. Обварка головок распорных связей ни в какой мере не предупреждает их течи, а, наоборот, способствует скрытию плохой работы. В данном случае могут иметь место совершенно неудовлетворительная нарезка связи и небрежная и даже преступная нарезка резьбы в стенках топки и кожуха.

Смена распорных связей

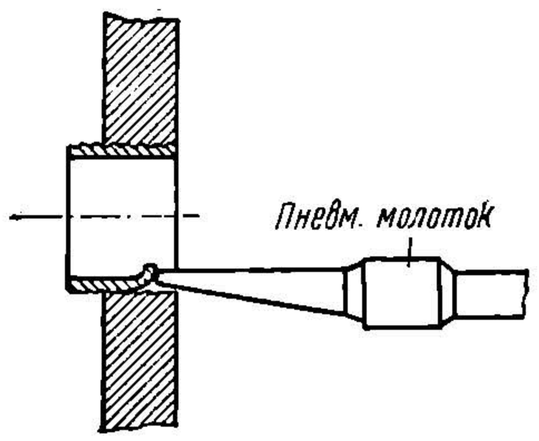
Смена связей начинается с их удаления или высверловкой при помощи сверлильной электропневматической машинки в установках — «важорах» (фиг. 154), высверливанием пневматической сверлилкой (диаметр сверла берется на 3 *мм*. меньше диаметра связи) или же более рациональным методом — вырезкой бензорезом. После высверловки связи в стенках топки и кожуха удаляется кольцевой остаток головки ее. С этой целью пневматическим молотком вначале срубается головка связи, после чего удаляется оставшаяся в стенках часть тела связи. Для ее удаления применяется специальный ноготок (фиг. 155), помощью которого кольцевой остаток отжимается от стенок и, после сплющивания его, выбивается в сторону топки. При удалении связей выжиганием (фиг. 156) сначала нужно нагреть точки по краям контрольного отверстия бензорезом; после этого переместить пламя горелки к центру отверстия, затем расположить резак под углом в 45° к стенке, открыв одновременно кислородный продувной кран, и, наконец, пробить связь насквозь путем поворота резака по окружности. Так как в этом случае часть тела связи все же остается, то после выжигания нужно удалить кольцевой остаток резьбы. При известном навыке газорезчиков толщина стенки кольцевого остатка резьбы не превышает 0,5 *мм*, однако нужно соблюдать крайнюю осторожность при работе резаком, так как при неправильном его применении возможно повреждение пламенем горелки стенок топки и кожуха. Выжигание связей и анкерных болтов в стенках топки и кожуха, хотя и сокращает процесс разборки их и удаления связей, но при неправильном применении газовой горелки может привести к повреждению (к поджогу) стенок и к сокращению срока службы кожуха топки. Так, при нормальных условиях связь диаметром в 23 *мм* при ее смене должна заменяться связью диаметром в 26 *мм*, однако при неумелых прие-



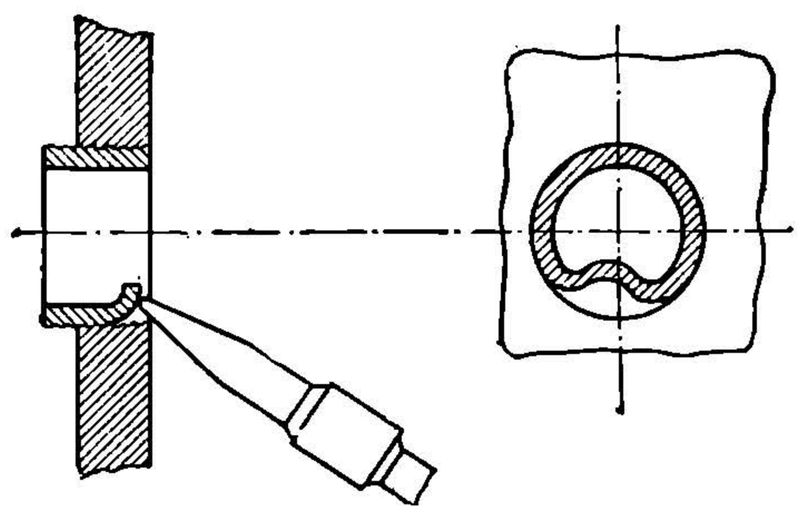
Фиг. 154.

НТБ ДНУЖТ

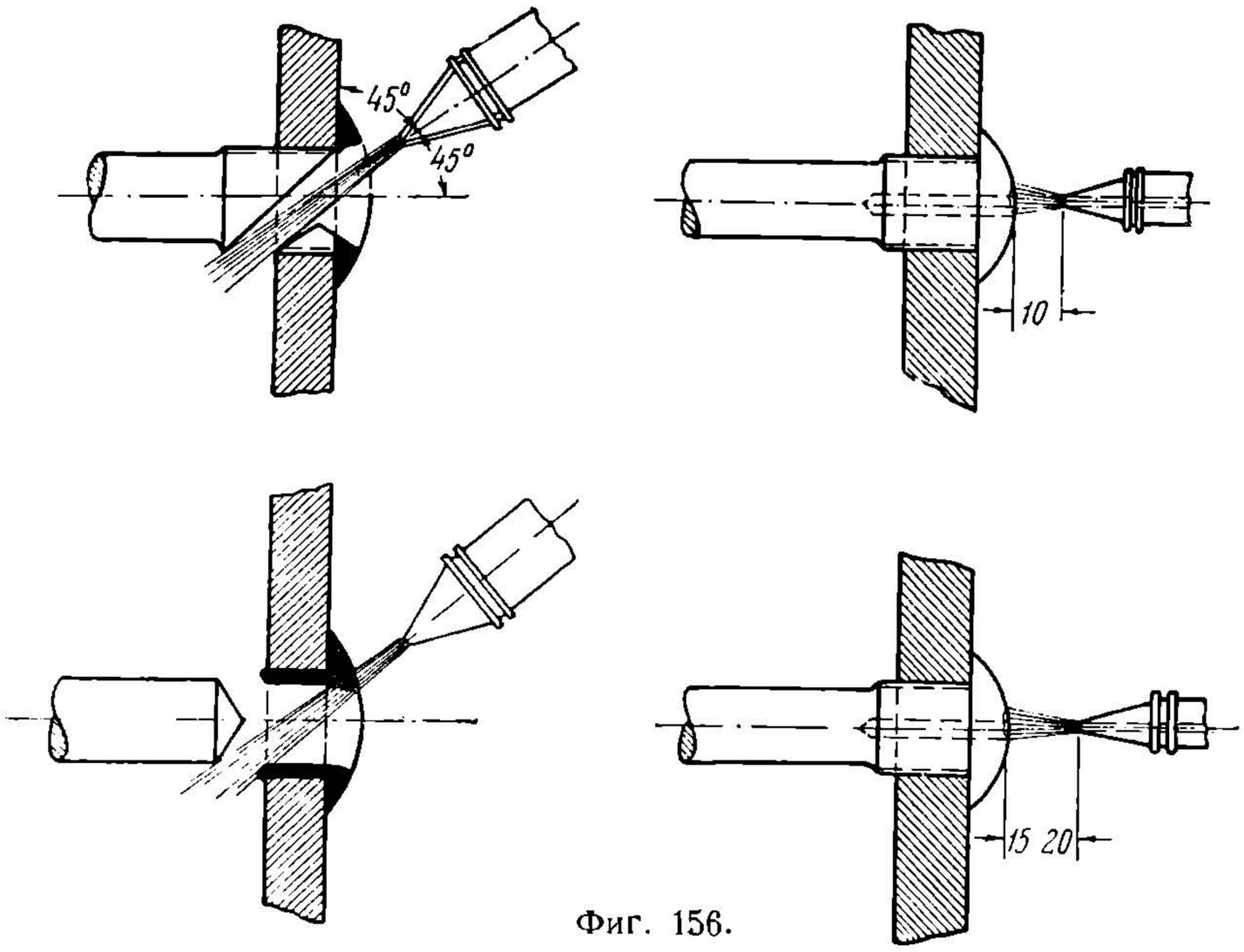
мах выжигания связей может потребоваться постановка их диаметром в 29 *мм*. Вредители не оставили без внимания и данный участок. Ссылаясь на достигаемую выжиганием экономию времени на разборку котлов и удаление связей, они сознательно допускали повреждения (поджог) стенок топки и кожуха, сокращая тем самым срок работы паровозных котлов. Приказ за № 96/Ц от 14/V 1937 г. разоблачает эту форму вредительства в паровозном хозяйстве и требует от ремонтных работников, во-первых, выделения для работ по выжиганию связей вполне опытных газорезчиков, а, во-вторых, организации постоянного контроля над операцией выжигания.



В описанном методе удаления связей предполагается высверловка их или выжигание со стороны топки и со стороны кожуха. Однако необходимость в этом отпадает в тех случаях, когда производится смена полностью топки или отдельных ее частей. В этом случае достаточно высверлить или выжечь связи лишь с одной стороны, например со стороны кожуха; оставшиеся же части связей могут быть удалены вместе со старой негодной частью топки.



Фиг. 155.



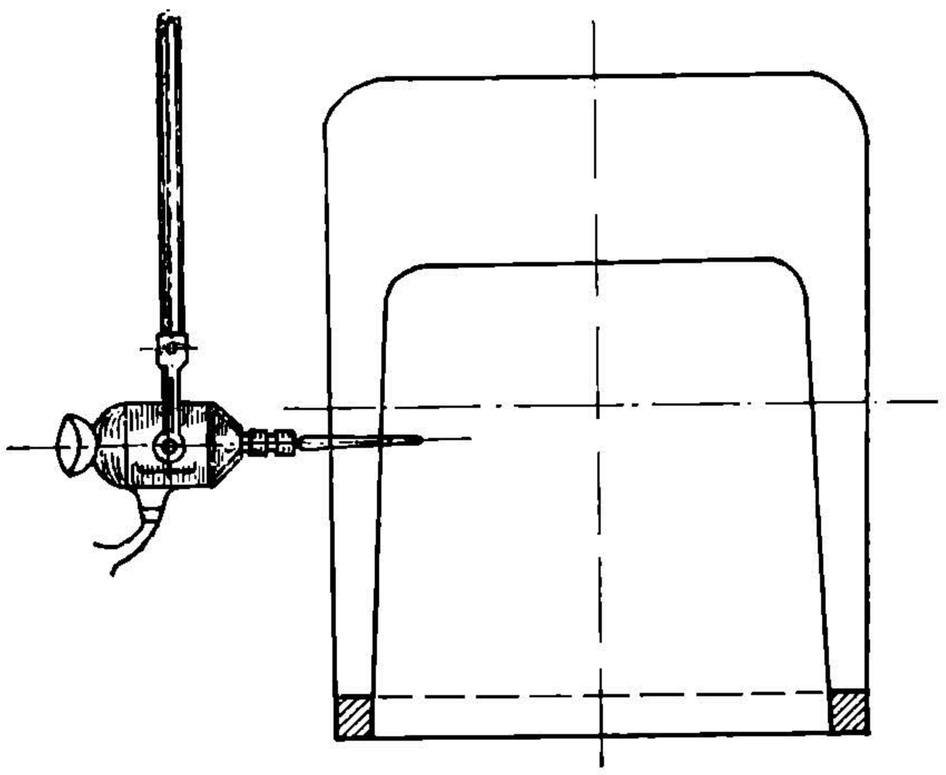
Фиг. 156.

Подготовка отверстий для постановки распорных связей

До последнего времени вопросу подготовки отверстий для постановки связей не уделялось должного внимания, что приводило к неудовлетворительной нарезке отверстий для связей. После удаления связей прежде всего

НТБ ДНУЖТ

отверстие в стенках топки и кожуха развертывается пневматической машинкой, или при установках типа «важор» электрической машинкой (фиг. 157). Диаметр развертываемых отверстий находится в тесной связи с градациями размеров для связей, установленными приказом за № 94/Ц 1936 г., которым предписывается изготовлять связи диаметром нарезанной части в 23—26—29—32 *мм*. При разработке отверстия свыше 32 *мм* в стенки топки и кожуха может быть поставлена на резьбе втулка (фиг 158). Материалом для втулок служит прутковая сталь марки Ст.-2. Развертывание отверстий производится развертками, показанными на фиг. 159.

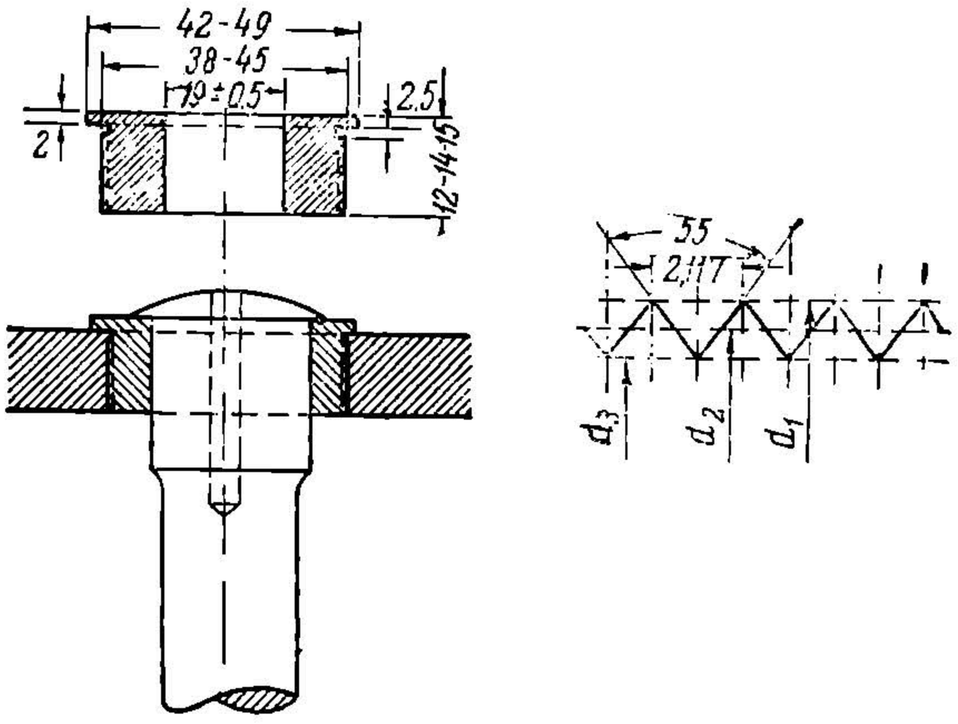


Фиг. 157.

При диаметре резьбы в 23 *мм* отверстия развертываются развертками диаметром 20,26 *мм*, при изменении диаметра резьбы разница между ним и диаметром развертки остается без изменения, так например при диаметре резьбы в 26 *мм* диаметр развертки должен быть равен 23, 26 *мм*. Предварительно отверстие для втулок нарезается черновым метчиком, а затем проходится чистовым метчиком, чем обеспечивается в дальнейшем достаточная плотность нарезки. Завертывание втулки производится специальным ключом с квадратом, а затем втулка уплотняется помощью пневматического молотка оправкой. Для достижения надлежащего качества работы имеет существенное значение порядок операций по развертыванию и нарезке отверстий для постановки связей.

Изготовление распорных жестких связей

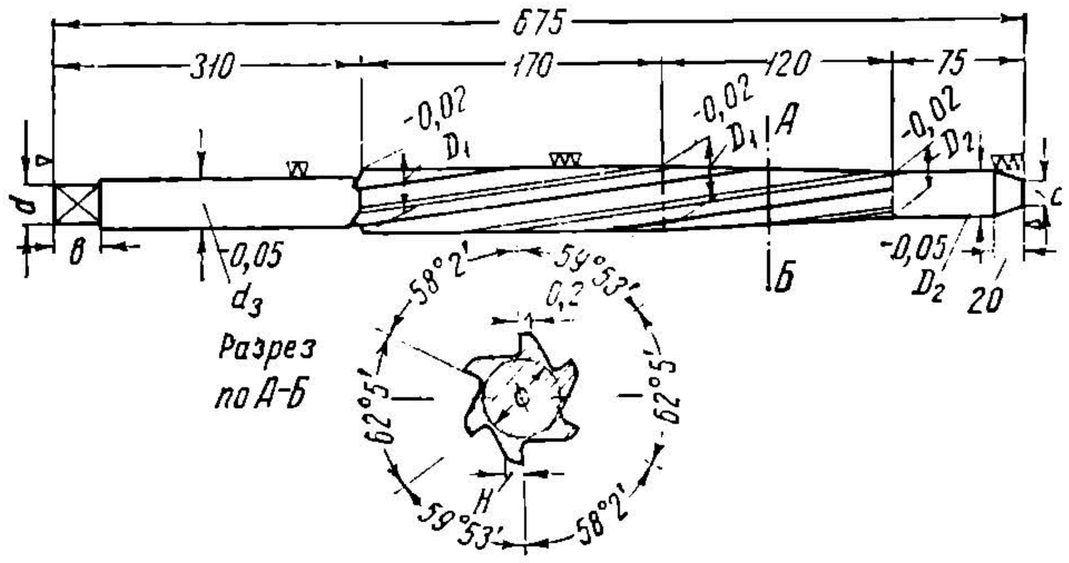
Распорные связи могут быть изготовлены или из отдельных прокатанных стальных прутков, или же путем штамповки пруткового материала на ковочных машинах типа Аякс. Для улучшения качества материала рекомендуется заготовку для связей подвергать нормализации путем нагрева прутков до 880° с выдержкой в течение одного часа и, наконец, охлаждения естественным путем на воздухе. После нормализации прутки разрезаются на отдельные части по размерам, соответствующим длине связи. Разрезку можно вести на дисковых пилах, на станках. Дальнейшими операциями являются: 1) набивка центров, 2) сверление контрольных каналов на глубину 43—45 *мм*, диаметром 5 *мм*, 3) набивка квадратных центров и обточка на токарных станках. Для связи диаметром в 23 *мм* нарезаемая часть обтачивается до 23,5 *мм*, средняя же часть независимо от диаметров нарезанной части— до диаметра в 19 – 20 *мм*. В связях, устанавливаемых с раздачей, контрольные отверстия дополнительно рассверливаются с конца, подлежащего раздаче до



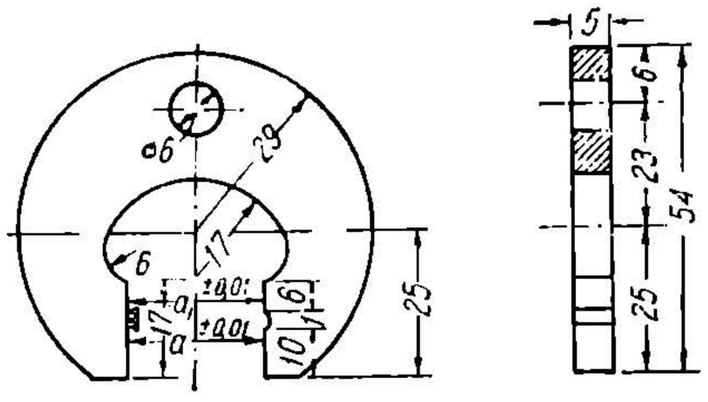
Фиг. 158.

НТБ
ДНУЖТ

диаметра в 8 *мм* (для связей $d=23—26$ *мм*) на глубину 10 *мм*. Перед нарезкой после обточки связи должны быть проверены предельными гладкими скобами (фиг. 160). Для диаметра связи в 23 *мм* размеры берутся равными 23,5 и 23,4 *мм*, для средней же части — 20,0 и 20,1 *мм*. Для связей другого диаметра отклонения остаются теми же самыми. После обточки связей производится их нарезка одним из следующих способов: 1) на токарных станках обыкновенными резцами, 2) на токарных станках гребенками, 3) на болторезных станках, 4) на револьверных станках и, наконец, резьба может быть получена накаткой. Каждый из этих способов имеет ряд положительных сторон и недостатков. Наиболее несовершенным является первый способ, как не обеспечивающий получения правильной и чистой резьбы. Ворошиловградским заводом рекомендуется нарезка исключительно дисковыми гребенками (фиг. 161) при 320 оборотах за 4—5 проходов. Этот режим резания установлен опытным путем, при большем числе оборотов уменьшается точность шага резьбы, а при меньшем числе оборотов ухудшается чистота резьбы. Шлифованная гребенка устанавливается на оправке; для получения лучшего профиля резьбы центр гребенки следует располагать выше оси токарного станка на 3—4 *мм*. Установка гребенки в оправку и затем в супорт должна быть проверена. Кроме того, после каждой заточки гребенки первая нарезанная связь проверяется инструментальным микроскопом (угол профиля и чистота резьбы) и эталоном (шаг нарезки). Все нарезанные связи проверяются скобами по среднему, внутреннему и наружному диаметрам с отклонениями по наружному диаметру в 0,04 *мм*, для внутреннего — 0,05 *мм* и для среднего — 0,04 *мм*. Так, для связи диаметром в 23 *мм* размеры скобы должны быть равны для среднего диаметра 21,66 и 21,70 *мм*, для внутреннего 20,29 и 20,34 и для наружного 23,00 и 23,04 *мм*. В последнее время для определения размеров профиля резьбы применяются так называемые проекционные компораторы, один из типов которых (системы Джонсона) показан на фиг. 162. Компоратор состоит из источника света (электролампы), лучи которого, проходя конденсационные линзы *1*, падают на установленное под углом зеркало *2*. Затем после отражения зеркалом лучи, встречая на своем пути измерямый объект *3*, проходят в обектив *4* таким образом, что в микроскопе получается изображение профиля объекта. Это изображение через окуляр *5* попадает вновь на зеркало *6*, а последним отражается на прозрачный экран *7*, представляющий собой лист матового целлулоида или же кальки, на котором вычерчены максимальный и минимальный допуски для профиля проверяемой резьбы. Во избежание прогиба экрана он опирается на стеклянную пластинку *8*. Прибор предварительно регулируется по контрольному калибру. При измерениях резьбы, выполняемой по системе Витворта с 12 нитками на дюйм, допускаются отклонения по углу профиля резьбы $\pm 0{,}5°$, а отступления по шагу 0,05 *мм* на каждые 200 *мм* длины связи. Для начального завинчивания резьбы связей на длине 2—3 ниток дается с обоих концов конусность от 0,05 до 0,1 *мм* (по диаметру). В предупреждение ржавления связи обмываются в керосиновой ванне.

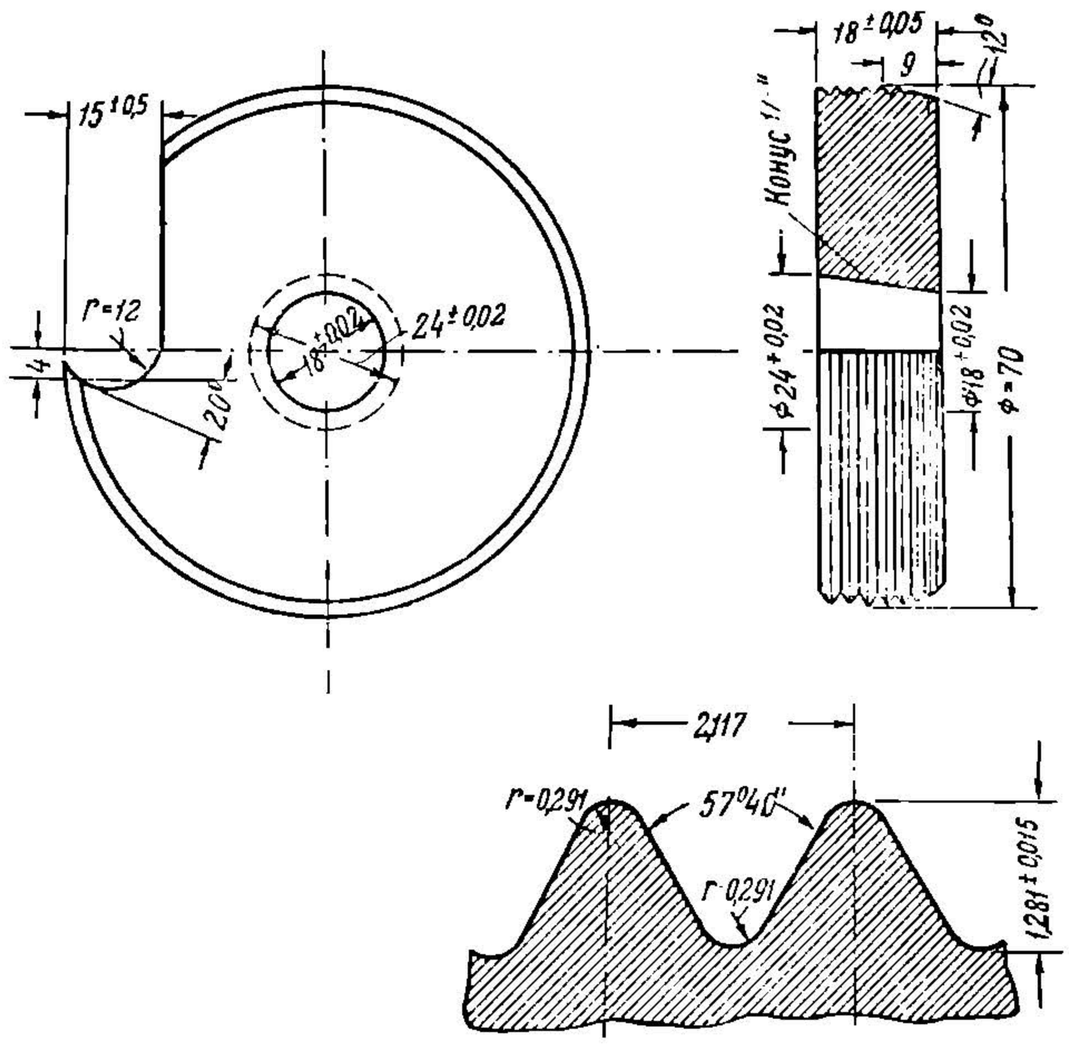


Фиг. 159.

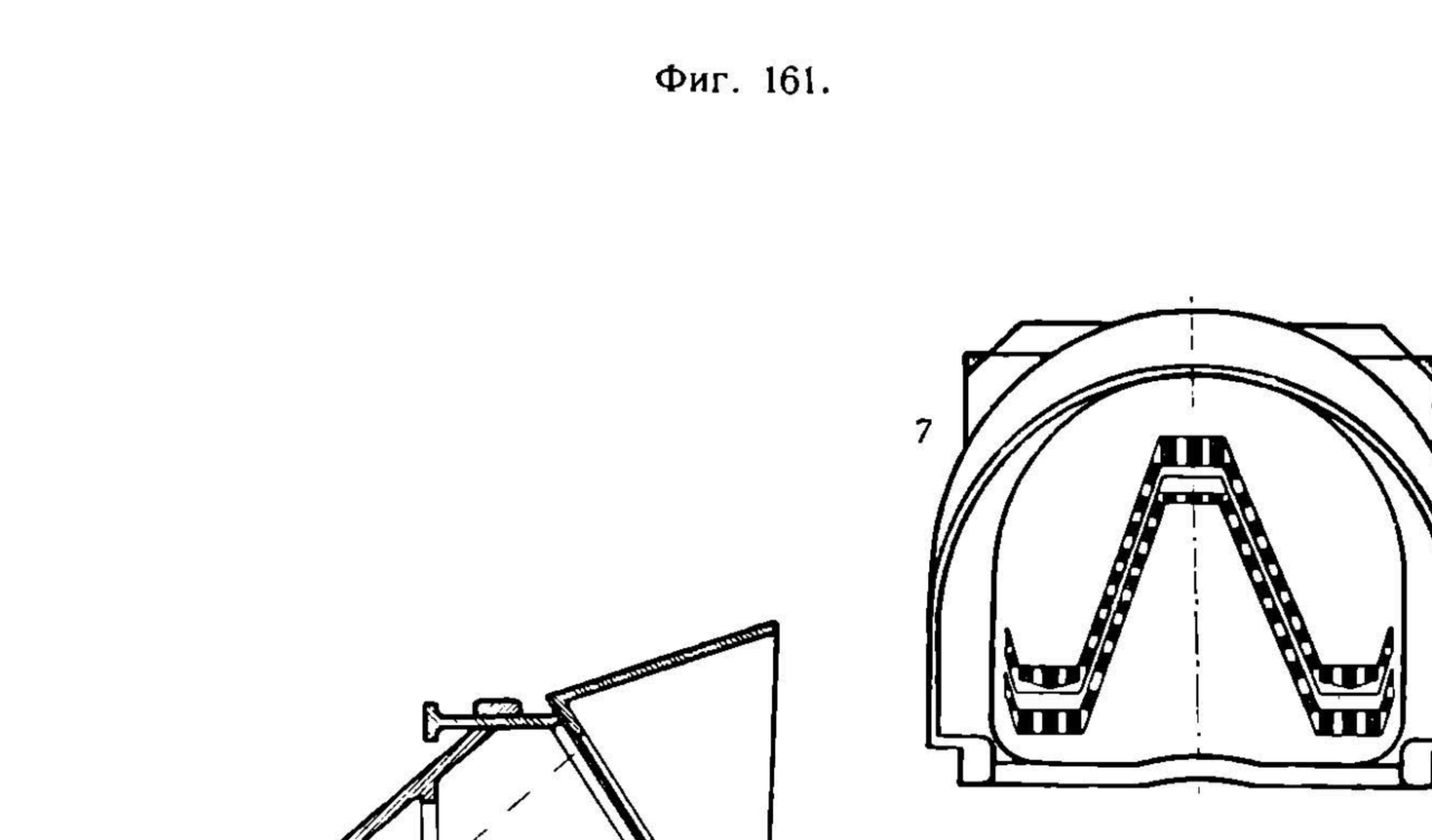


Фиг. 160.

НТБ ДНУЖТ



Фиг. 161.



Фиг. 162

НТБ
ДНУЖТ

Накатка связей

Для получения правильного и чистого контура резьбы в заграничной практике применяется накатка связей. В СССР необходимый для накатки связей станок имеется на Пролетарском и Воронежском заводах. Весь процесс накатки состоит из следующих последовательных операций: 1) калибровки пруткового материала для связей путем протягивания их через калибровальную доску; 2) заготовки прутков на дисковой пиле диаметром 250 *мм* при шаге зуба 4—5 *мм* по размерам связей; 3) снятия фасок по концам связей под углом в 60° и образования центров у заготовок связей; эта операция выполняется или на токарных и сверлильных станках, или же на специальных станках; 4) проточки головок связей и средней шейки; 5) сверления контрольных отверстий на горизонтально-сверлильных или же на 4-шпиндельных станках; 6) вторичной калибровки, для чего возможно применить поперечно-строгальные станки (шепинги), супорт которых снабжается специальным пуансоном, проталкивающим связь через калибровальную доску. Последняя операция — накатка резьбы. Она производится на специальных автоматах, имеющих 3 вращающихся от одного мотора вальца, диаметром 80 – 90 *мм*, при длине их в 250 *мм*. Связи вставляются между вальцами с наружной стороны и выходят с другой, с готовой резьбой, имея поступательное и вращательное движение. После накатки 200 000 медных и 150 000 железных связей вальцы должны быть обточены. Допуски в резьбе при накатке связей по наружному диаметру установлены в 0,07 *мм*. На Пролетарском заводе применяется несколько другой метод наката, так как для этой цели применены станки фирмы Кейзер, принцип устройства и работы которых состоит в следующем: корпус машины состоит из станины, внутри которой перемещается супорт, получающий поступательное возвратное движение от кривошипного механизма. На одной из боковых сторон станины укреплена рейка с нанесенным на ней профилем резьбы. Подобная же рейка установлена и на подвижном супорте. Заготовка связи помещается между 2 рейками и затем супорту сообщается поступательное движение, в результате чего на головке связи накатывается резьба. С введением в практику ремонта сквозных метчиков и одноступенчатых связей подобные машины позволяют перейти на массовое изготовление связей.

Нарезка отверстий для жестких связей

До нарезки отверстий, как это уже отмечалось выше, производится развертывание отверстий с обязательной предварительной выправкой стенок топки согласно допускам (в сторону воды в пределах 3—4 *мм*, в сторону огня — 0 *мм*). Развертывание отверстий производится в целях получения в стенках топки и кожухе чистых поверхностей для нарезки и, кроме того, для обеспечения совпадения осей отверстий для связей в обеих стенках. Диаметр развертки берется на 2,74 *мм* меньше диаметра связи; так, для связи диаметром в 23 *мм* развертка берется равной 20,26 *мм*. В процессе развертывания развертки необходимо смазывать вареным маслом с примесью размельченного мела и, кроме того, периодически после обдувки сжатым воздухом промывать в керосине. Приводом для развертки служит пневматическая машинка, работающая с шарнирной передачей Гука, причем число оборотов машинки не должно превышать, как показывает опыт, 180 в минуту. Развернутые отверстия проверяются гладкими предельными пробками с отклонениями в 0,1 *мм*. После развертывания отверстий производится их нарезка. Для ускорения и облегчения работы по нарезке отверстий топка ставится в «важор», т. е. в стальной каркас, назначением которого является поддержка пневматических машинок на весу при помощи стальных тросов с грузами, перекинутых через поперечные скрепления «важора». Для получения чистой нарезки отверстия обычно нарезаются за два приема. Вначале производится предварительная нарезка метчиками, размеры которых берутся на 0,35 *мм* меньше против диаметра связи. Пневматическая машинка, помощью которой производится нарезка, должна иметь не более 120—140

НТБ ДНУЖТ

оборотов в минуту. После предварительной нарезки отверстия для связи проходятся чистовым шлифованным метчиком вручную. Чистовая нарезка может производиться тремя метчиками на боковой стенке и двумя на лобовом листе. Одновременно внутри топки находятся двое подручных для подачи и смазки метчиков. Для их смазки применяется вареное масло с примесью чистого мела, но наилучшим следует считать сурепное масло. Мел сгущает масло и повышает чистоту резания. Метчики необходимо периодически промывать в керосиновых ваннах и обдувать воздухом. Одновременно должен быть организован надзор за состоянием пневматических инструментов, не допуская их работы водой, увлекаемой из сети сжатым воздухом, и нарушения работы органов воздухораспределения, что приводит к неравномерности вращения метчиков и отсюда, как следствие, — к срыву резьбы. Нарезанные отверстия со стороны топки и кожуха проверяются предельными калибрами — пробками. Для номинального диаметра связи в 23 *мм* для проверки внутреннего диаметра резьбы берется гладкая двусторонняя пробка размерами 20,29 и 20,34 *мм*; для проверки же наружного диаметра резьбы применяется резьбовая пробка, которая должна иметь размеры в 23,00 и 23,04 *мм*. Отклонения для пробок калибров (по данным Ворошиловградского завода) допускаются + 0,003 и 0 *мм*. Все отверстия с сорванной резьбой должны быть перерезаны на большой диаметр с указанными выше отклонениями.

Постановка связей

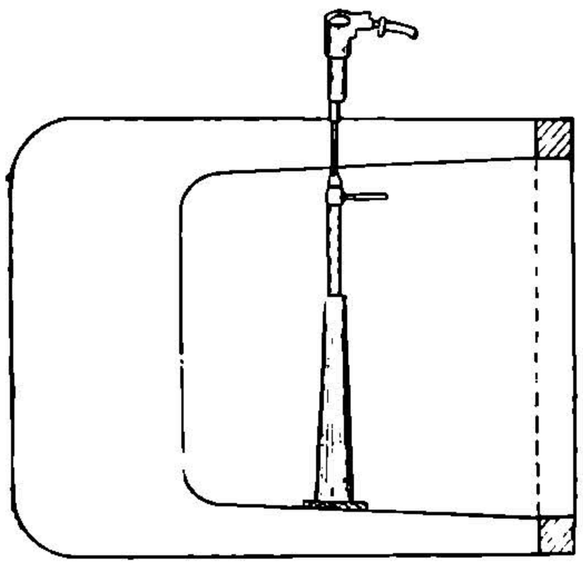
Перед постановкой связей нарезанные чистовым метчиком отверстия продуваются воздухом и принимаются инспектором Отдела технического контроля (ОТК). Во избежание изменения при постановке связей расстояний между стенками топки и кожуха на боковых стенках, лобовом и ухватном листах, через 4—5 отверстий и не более как через 2—3 горизонтальных ряда ставятся крепежные связи.

В практике паровозостроения и ремонта паровозов существуют два метода постановки связей: с избытком и недостатком, или, как называют, с натягом и зазором. В первом случае диаметр связи больше отверстия, во втором случае, наоборот, диаметр связи меньше диаметра отверстия. При постановке с натягом для завертывания связи необходимо приложить значительное усилие, но без раздачи через контрольное отверстие. При раздаче связи (чем сопровождается постановка связей с зазором) легко получить радиальные трещины в стенках топки; поэтому все же предпочтительнее связи ставить с натягом.

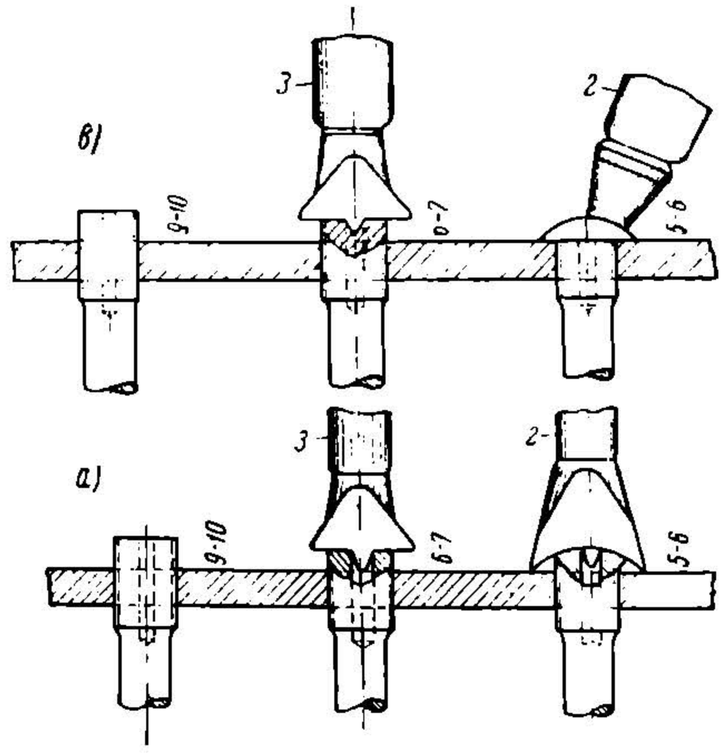
Постановка связей должна производиться в следующей последовательности. Прежде всего определяется длина связи, для чего расстояния между стенками кожуха топки и огневой коробки измеряются специальной линейкой с делениями. На основании результатов обмера делается подбор связей. Постановка проверенных калибрами связей производится с помощью специальных патронов пневматической машинкой. При постановке связи с зазором применяется резьбовой патрон, но завертывание производится вручную воротком длиной 350—400 *мм*. Выход связи за стенки не должен превышать 9—10 *мм*, что контролируется калибром. После постановки связей проверяется плотность их постановки как со стороны огня, так и со стороны кожуха. Все связи, имеющие сорванную или испорченную резьбу на выходящем конце, должны быть сменены; равным образом меняются все связи, оказывающиеся слабыми в постановке. После приемки связей головки их расклепываются, причем они могут быть расклепаны или с двух сторон, т. е. со стороны топки и кожуха, или только со стороны топки. В процессе клепки имеет место вибрация стенок топки, что вызывает частичное ослабление связей. Поэтому, следуя методу Ворошиловградского завода, рекомендуется расклепывать головки на боковых стенках топки только двумя молотками, на лобовом и ухватном — одним молотком, с обязательной поддержкой (фиг. 163). Молотки должны иметь движение: 1) на боковых стенках от потолка к раме и от середины стенки к подвижным связям, 2) на ухватном листе в любом направлении, 3) на лобовом листе

НТБ
ДНУЖТ

от потолка к раме и от вертикальной оси к подвижным связям. Иногда применялась и одновременная расклепка двух головок, однако этот способ недопустим, так как он приводит к деформации тела связи и стенок. Что касается метода клепки, то различают клепку под обжимку (русский способ) и клепку под окатку (американский способ). При русском способе применяется фасонная обжимка *2* (фиг. 164,*а*) со специальным хвостовиком. Этой обжимке сообщается во время работы пневматическим молотком вращательное движение, что придает головке связи правильную геометрическую форму. Клепка под окатку (американский боек *2*, фиг. 164,*в*) по мнению Ворошиловградского завода: 1) уменьшает поверхностный наклеп, 2) устраняет перенапря-



Фиг 163.



Фиг. 164.

жение металла связи и стенки при раздаче. 3) сокращает операцию по раздаче связи. При клепке как под обжимку, так и под боек предварительно связь осаживается инструментом *3*, носящим название осадки. Высота головки связи после расклепки должна быть не менее 5—6 *мм*. Постановка связей сопровождается пооперационным контролем, заключающимся: 1) в проверке связей до постановки по профилю, шагу и диаметрам, 2) в проверке резьбы в стенках топки, 3) в проверке волнистости стенок огневой коробки до клепки, 4) в проверке плотности постановки связей, 5) в проверке волнистости стенок топки после расклепки связей, 6) в проверке величины раздачи связей (в случаях ее применения) и 7) в проверке длины контрольных отверстий.

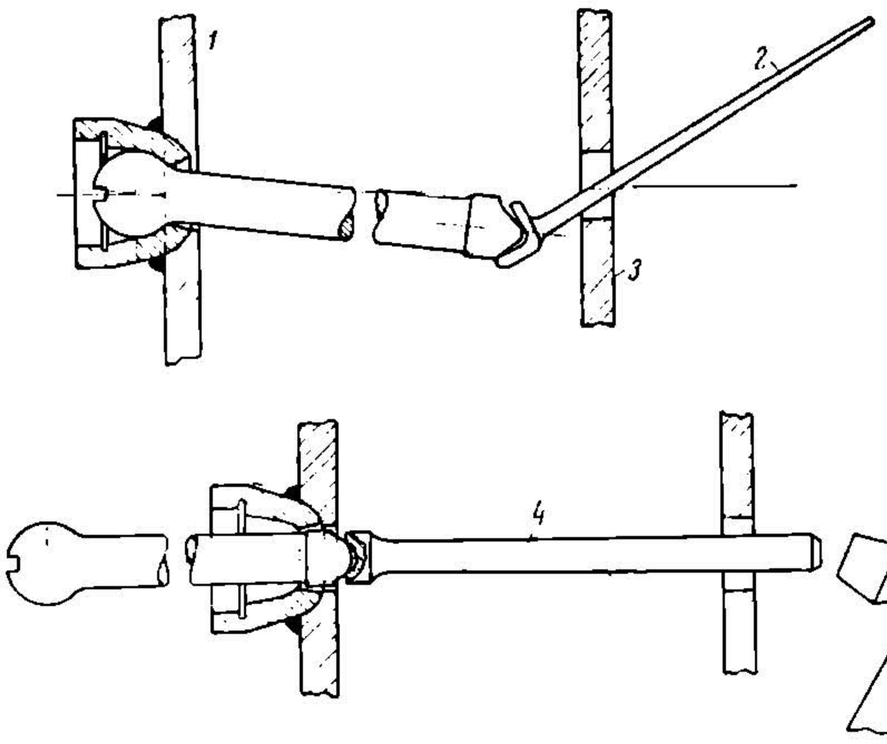
§ 12. Смена подвижных связей Тэта

При ремонте котлов меняются также старые подвижные связи при оставлении старых втулок, что вызывается или обгоранием головок со стороны топки, или же обрывами связей. Смена связей слагается из: удаления старых, изготовления новых и постановки их и клепки. Для удаления вначале вывинчивается крышка втулки и удаляются прокладные кольца, затем связь выжигается со стороны огневой коробки, после чего срубается головка выжженной связи и удаляется кольцевой остаток ее. Выжженная и отделенная от потолка огневой коробки или стенки топки связь выбивается (фиг. 165).

При значительной разработке гнезда втулки последняя заменяется новой, для этого срубается сварной шов вокруг втулки, и она удаляется. Затем надо углубить раззенковку сферического ложа в кожухе топки помощью развертки (фиг. 166) и зачистить место вокруг втулки наждачным камнем для наложения сварного шва. При оставлении старой втулки для крышки в ней резьба проверяется метчиком (фиг. 167). При новых стенках кожуха в них необходимо рассверлить отверстие под постановку втулки пневматической или электриче-

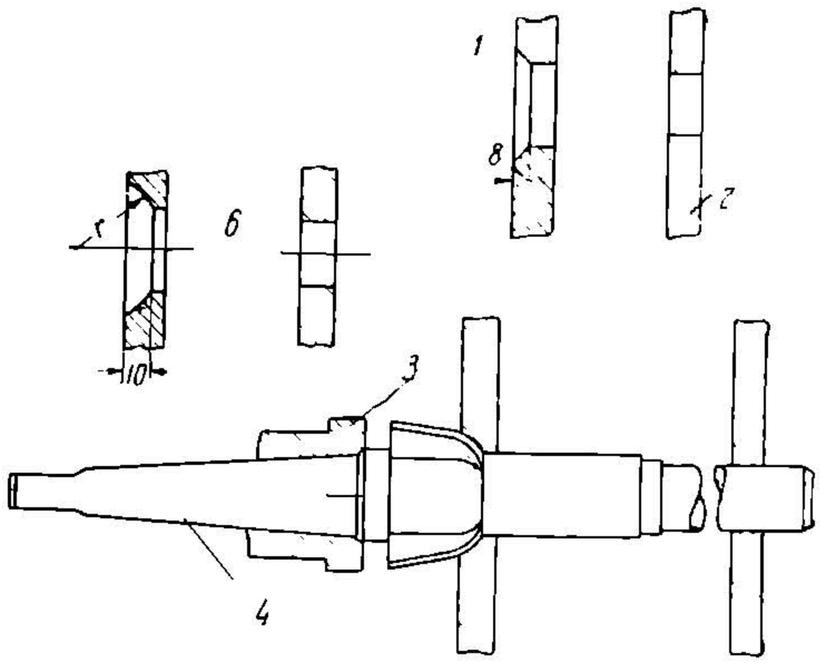
НТБ ДНУЖТ

ской машинкой, развернуть и раззенковать сферической зенковкой. После подготовки места для приварки втулки последняя устанавливается на кожухе помощью особой оправки (фиг. 168), прихватывается электросваркой и, наконец,



Фиг. 165.

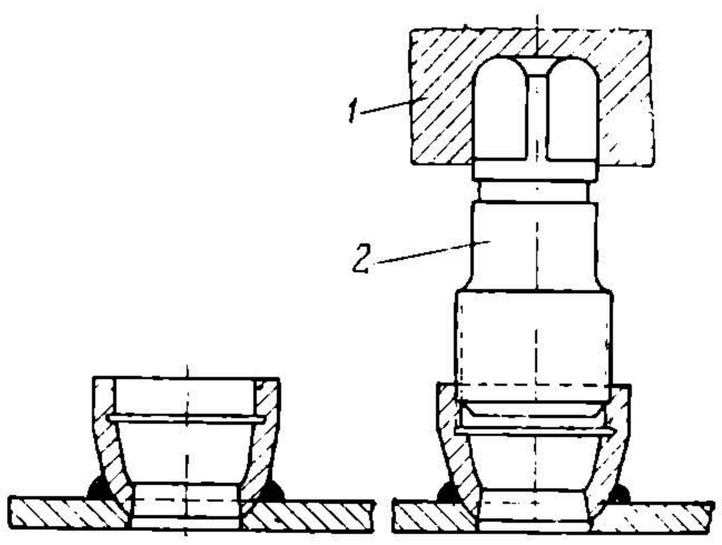
1—лист кожуха, *3*—стенка топки, *2–4* приспособления для удаления связи.



Фиг. 166.

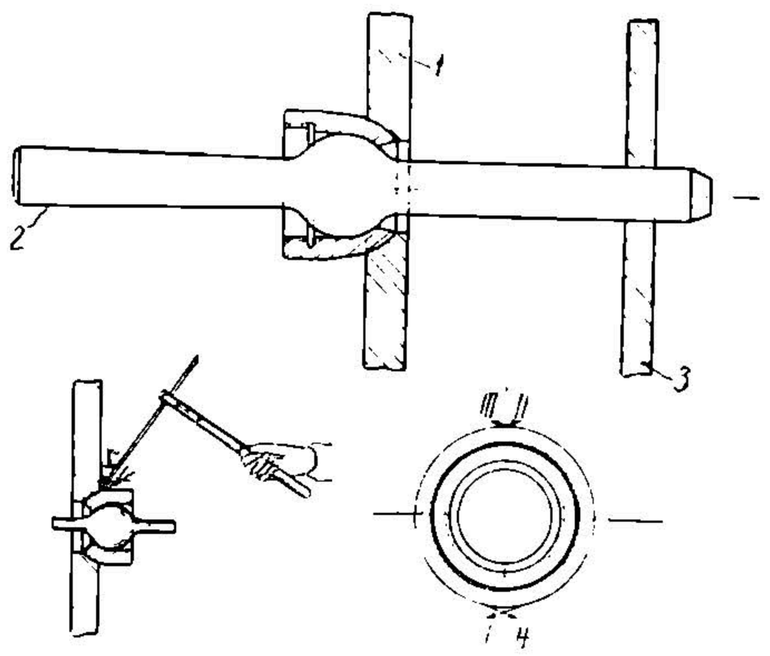
1—стенка кожуха, *2*–стенка топки, *3*–муфта хвостовика развертки, *4*—хвостовик развертки, *5*—развертка.

обваривается по всей окружности. Далее переходят: 1) к развертыванию и нарезке отверстия в стенках огневой коробки; для надлежащего направления развертки применяется специальный направляющий патрон, ввертываемый во втулку; нарезка должна быть сделана двумя метчиками — черновым и чистовым; 2) к постановке связей Тэта со стороны кожуха (с помощью Г-образного



Фиг. 167.

1—патрон пневматической сверлилки, *2*–метчик.



Фиг. 168.

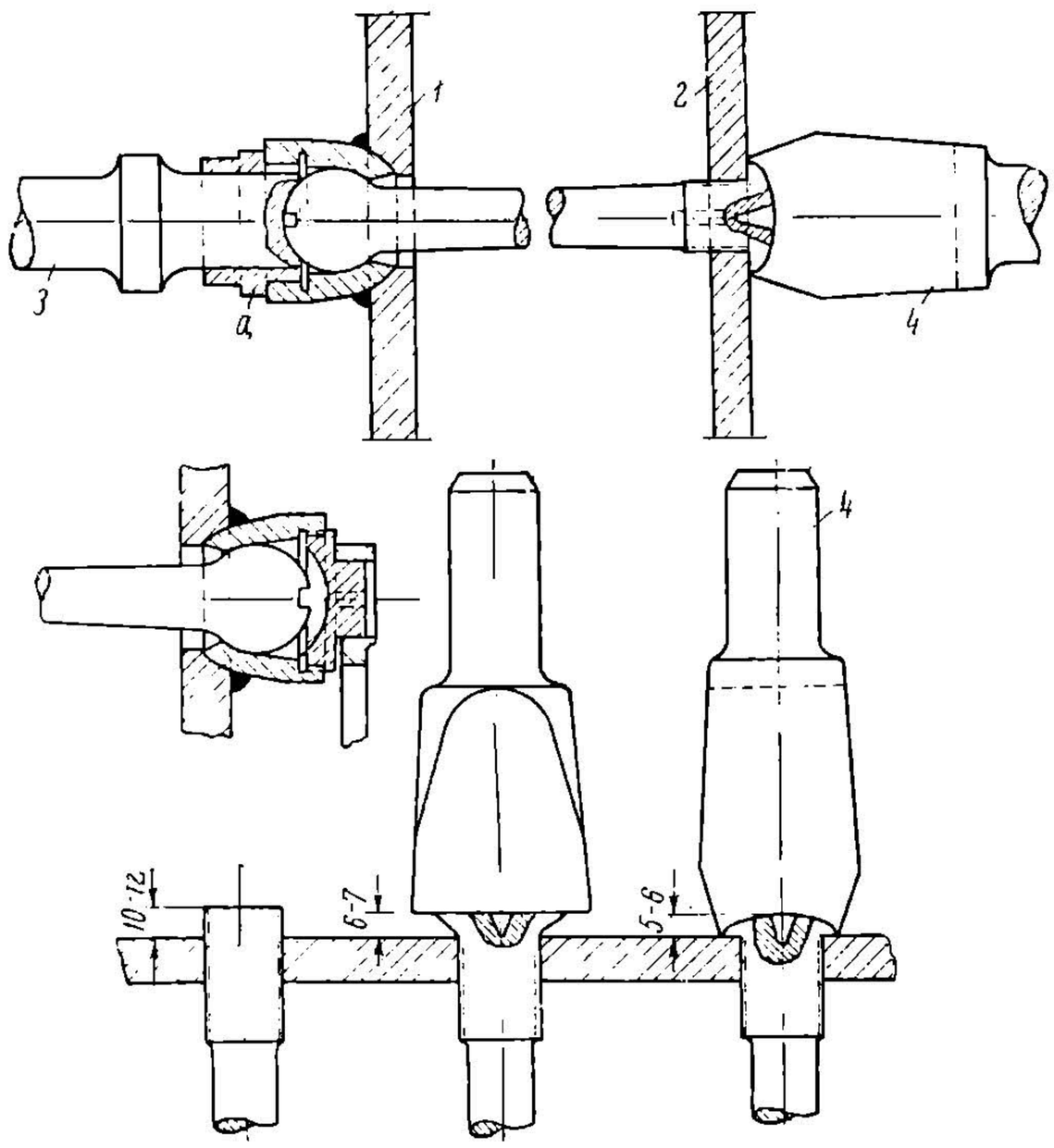
1—стенка кожуха, *2*—оправка, *3* топки.

ключа) и клепке головки со стороны топки. Предварительно во втулку связи ввертывается направляющая втулка *а* (фиг. 169), в которую входит поддержка под шаровую головку связи. Расклепываемый конец связи выступает за стенку топки на 9—10 *мм*, затем он осаживается до 6—7 *мм* и, наконец, обжимается до 5—6 *мм*. После постановки прокладного кольца завертывание крышки производится ручным ключом. По окончании постановки связи необходимо проверить глубину контрольного отверстия, которое должно выходить за стенку топки на 10—12 *мм* и вообще быть не меньше 35—40 *мм*.

НТБ ДНУЖТ

Изготовление связей Тэта

Связи Тета изготовляются путем поковки в штампах на прессах Аякс с последующей обработкой головок под частыми ударами легкого кузнечного молота. В целях удлинения срока службы связей Тэта желательно головки их цементировать. После обточки конец связи нарезается, затем производится сверловка контрольных отверстий.



Фиг. 169.

1—стенка кожуха, *2*– стенка топки, *3*—поддержка, *4*—обжимка.

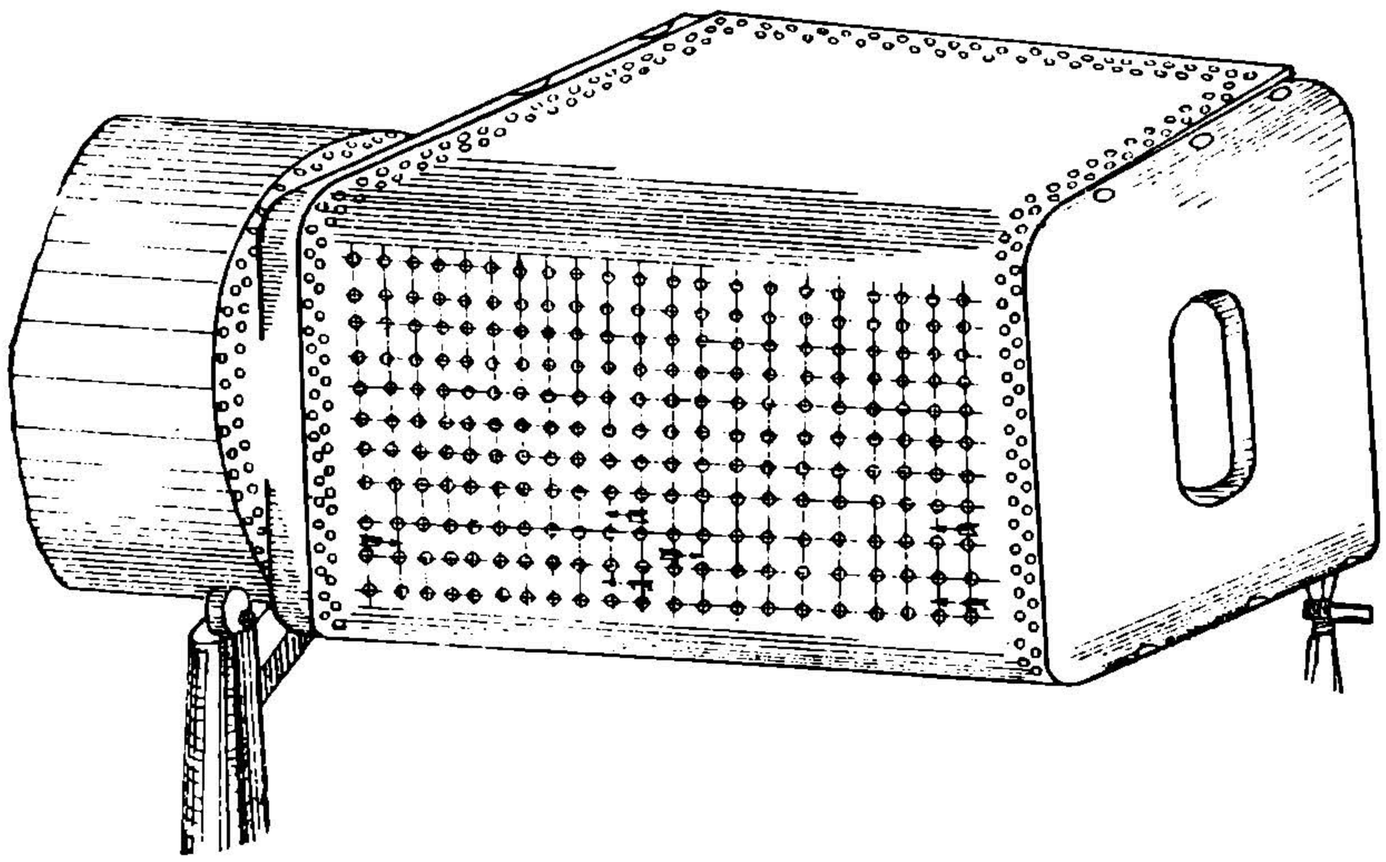
Крышки втулок подвижных связей и анкерных болтов изготовляются штамповкой на вертикальном прессе, обработка же их производится или на револьверном станке, или на автомате Гольдемейстера последовательно: 1) грубая обдирка и подрезка втулки, 2) чистовая обдирка и предварительная подрезка, 3) чистая подрезка и проточка по канавке и 4) нарезка.

§ 13. Смена анкерных болтов

Смена анкерных болтов не резко отличается от методов удаления и постановки распорных связей, поэтому при смене их надлежит руководствоваться технологическим процессом, изложенным в разделе «Распорные связи». Некоторой особенностью является нарезка резьбы на концах анкерных болтов, которая может быть выполнена или «на цилиндре», или на конусе, как это применяется при нарезке болтов паровозов серий «ФД» и «ИС». Нарезка на конусе производится дисковыми шлифованными гребенками. По удалении анкерных болтов путем высверловки в «важоре» или выжиганием производится развертывание отверстий и их нарезка. Положение котла и направление движения подготовки отверстий показано на фиг. 170. Постановка анкерных болтов может производиться как со стороны кожуха, так со стороны огневой коробки, причем со стороны кожуха топки анкерные болты ставятся в тех случаях, когда диаметры отверстий для болтов в потолке огневой коробки меньше

НТБ ДНУЖТ

диаметров отверстий в потолке кожуха топки. Завертывание болтов производится помощью пневматической машинки с шарниром Гука, а окончательно они дотягиваются вручную. В том случае, когда болты ставятся с резьбой на конус, весьма существенное значение имеет правильность нарезки конической части и отверстий в стенке. Конусность болта должна совпадать с конусностью отверстия, и, кроме того, нитки нарезки как отверстия,



Фиг. 170.

так и болта должны быть перпендикулярны к оси болта и отверстия. После постановки болтов нужно проверить их выход за стенки топки и кожуха (как правило, выход должен быть равен 5—6 *мм*). Расклепывание головок со стороны кожуха не является обязательным, и можно ограничиться лишь раздачей контрольных отверстий. Смена подвижных анкерных болтов ничем не отличается от смены подвижных распорных связей.

Уход за анкерными болтами

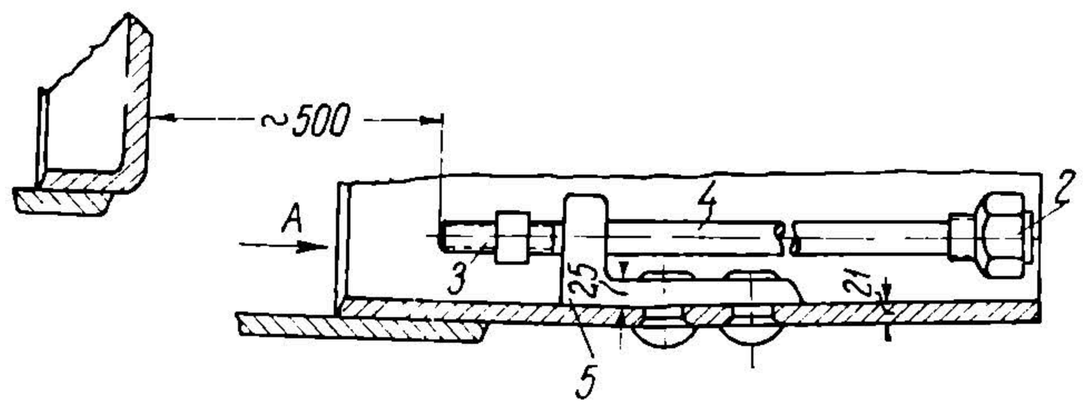
Анкерные болты работают в значительно более легких условиях по сравнению с распорными связями, поэтому обрывы их и обгорание наблюдаются в меньшей степени; тем не менее прочность и плотность поставленных болтов сохраняются лишь при условии надлежащей очистки потолка от накипи и грязи. Вследствие отложения накипи получается перегрев потолка, в результате чего могут образовываться в нем выпучины и даже трещины. При отложении на потолке накипи начинается течь болтов, увеличивающаяся при несовпадении резьбы их с нарезкой в стенке потолка топки. Незначительная течь анкерных болтов с головками может быть устранена довертыванием головок до плотного их прилегания к потолку топки. Во всех остальных случаях текущие анкерные болты должны быть сменены, так как чеканка головок их не разрешается. На некоторых паровозах серии «Э^{г}» практиковался способ постановки болтов с гайками вместо головок со стороны топки. Вследствие имевшихся случаев срыва потолков с анкерных болтов, в настоящее время постановка болтов на гайках запрещается.

Смена лапчатых связей

Смена лапчатых связей вызывается обгоранием головок, течью и обрывами их. Лапчатые связи паровозов серий «ФД» и «ИС» ввернуты в лапы, расположенные в нижней части котла. В случае обрыва двух связей, смена их становится затруднительной, так как тяж падает вниз и для подъемки его требуется смена всех дымогарных и жаровых труб. Удаление связи про-

НТБ ДНУЖТ

изводится или высверливанием, или выжиганием их со стороны огневой коробки, после чего производится вывертывание остатка ее из тяжа. С этой целью тяж подается вперед (в сторону цилиндрической части котла) до соприкосновения остатка связи с угловой стойкой (фиг. 171), остаток связи покрывается керосином, зажимается специальным ключом и вывертывается из угловой стойки. После развертывания отверстий для связей производится их нарезка так же, как и для распорных связей, черновым и чистовым метчиками. Для поддержания тяжа паровозов серий «ФД» и «ИС» и нажатия его с торца у опорной гайки при нарезке отверстий применяется специальное приспособление, которое потом используется при завертывании и клепке связей. Перед расклепкой головки связи в передний торец тяжа упирается винтовая скоба и затем уже расклепывается вначале одна, а затем другая связь одного и того же тяжа. Что касается лапчатых связей паровозов серий «Э», «С^{У}» и других, то благодаря отсутствию в них камеры догорания удаление связей и постановка их не представляют трудностей.



Фиг. 171.

2— гайка тяжа, *3* – остаток лапчатой лапа тяжа. *4* тяж,

§ 14. Вварка связей

Сложность операций по подготовке распорных связей к постановке их на резьбе, повышенные требования, предъявляемые к нарезке резьбы на связях и в отверстиях стенок топки и кожуха, не всегда гарантируют надежность работы связей. Плотность постановки связей является одним из основных условий удовлетворительной постановки их на резьбе, так как она предотвращает проникновение в нарезку воды. Надо согласиться с мнением германских исследователей, что износ связей происходит не от обгорания, а от неплотности резьбы. В зоне горения связи особенно подвергаются разъеданию, тем более что вода, попавшая в неплотную резьбу, испаряется, при этом пар перегревается и особенно усиливает разъедание. Из изложенного выше процесса изготовления и постановки связи видно, какое существенное значение для плотной постановки имеют точность и качество инструмента и самый способ постановки связи: «с избытком» или же с «недостатком». Также весьма важное значение имеют скорость нарезки, способы охлаждения инструмента, степень совпадения отверстий, способ нарезки пневматикой или электропневматическими машинками в «важоре» и т. д. В силу сказанного даже при хорошем инструменте возможно получение овальной и нечистой нарезки. Нельзя оставить в стороне и экономическую сторону вопроса. Так, по данным Харьковского паровозостроительного завода стоимость заготовки и постановки нарезных связей выражается в 29,2 коп., а стоимость вварной связи — 23,2 коп., т. е. в среднем на один котел при 1200 связях получается экономия в 72 руб. Одновременно испытание прочности сварного соединения показало полную надежность работы вварных связей. Все изложенное привело к тому, что приказом НКПС за № 638/ЦЗ от 20 ноября 1936 г. предложено ряду заводов ввести вварку связей на паровозах всех серий, за исключением паровозов серий «С^{У}», «ФД» и «ИС», наряду с постановкой новых связей на резьбе.

Вварка связей производится электродами марки № 1 или 2 по ОСТ 2407, диаметром 4—5 *мм*, покрытыми тонкой обмазкой. Применение толстой обмазки не допускается. При вварке применяется как постоянный, так и переменный ток, силой 180 *А* при $d_{эл} = 4$ *мм* и 225 *А* при $d_{эл} = 5$ *мм*. При переменном токе сила его берется на 10—15% выше по сравнению с постоянным током. К сварке допускаются сварщики, лишь выдержавшие соответствующее испытание: по категории II — для вварки связей в боковые стенки и потолок и категории I — для

НТБ ДНУЖТ

вварки связи в лобовом и смычном листах кожуха и задней и передней стенках огневой коробки.

При подготовке стенок огневой коробки и кожуха перед вваркой связей и анкерных болтов различают два случая:

1) вварка связей при смене листов топки,

2) вварка связей при оставлении старых листов топки и кожуха, при полной смене частей топки и кожуха.

Предварительно резьба в отверстиях для связей и анкерных болтов удаляется рейбером, место же под вварку связи и анкерного болта на кожухе зачищается специальными фрезами — шарошками до металлического блеска, причем снятие основного материала не должно превышать 0,25 *мм*. Подготовка мест под вварку связей на стенках огневой коробки заключается в образовании конусной или сферической зенковки.

Перед постановкой связей и болтов они очищаются от масла в растворе каустической соды и промываются в воде. После установки в стенках топки по шаблону они должны быть прихвачены с одной стороны помощью электросварки электродами диаметром 4—5 *мм*. Постановка подвижных связей Тэта также сопровождается прихваткой их со стороны топки при плотном прилегании шаровой головки к гнезду со стороны кожуха. Кроме того, нужно до постановки связей и анкерных болтов проверить стенки топки и кожуха линейкой и устранить имеющиеся там прогибы и выпучины.

Технологический процесс вварки

При сплошной вварке прежде всего укрепляются стенки огневой коробки и кожуха путем вварки средних, пересекающихся рядов связей и болтов. Вварка этих крепительных связей производится до начала вварки основных связей и ведется через один болт или связь для уменьшения деформаций, возникающих вследствие неравномерного распределения тепла. После установки и вварки крепительных связей необходимо обмерить стенки огневой коробки и кожуха и устранить их коробление. При наличии прогибов свыше 5 *мм* крепительные связи удаляются, стенки топки и кожуха выправляются, и вновь завариваются новые крепительные связи, после чего стенки огневой коробки промываются крепким раствором каустической соды. Вслед за вваркой крепительных связей производится сплошная вварка основных связей и болтов. На боковые стенки ставится по четыре сварщика, а на потолке, задней стенке и задней решетке по два сварщика. В процессе вварки связей котлу придается (при выемке из рамы) 6 положений: 1) котел на левом боку—завариваются крепительные связи со стороны правой стенки кожуха и левой стенки огневой коробки; 2) котел в нормальном положении — завариваются крепительные анкерные болты со стороны кожуха; 3) котел на правом боку — завариваются крепительные связи на левой стенке кожуха и на правой стенке огневой коробки; затем начинается сплошная вварка связей по указанным частям огневой коробки и кожуха; 4) котел ставится потолком вниз; в этом случае завариваются сначала крепительные болты по потолку топки и затем все анкерные болты; 5) котел на левом боку — завариваются связи со стороны кожуха и огневой коробки; 6) котел в нормальном положении — завариваются анкерные болты со стороны кожуха. В то же время ведется вварка крепительных, а затем и остальных связей на ухватном и лобовом листах.

В тех случаях, когда вварка производится сварщиками I категории, допускается производство сварочных работ по шинельным листам огневой коробки и кожуха топки при вертикальном положении стенок.

Техника выполнения вварки связей и анкерных болтов

Сварка ведется в один прием, без обрывов дуги. При наложении первого валика электрод направляется главным образом на связь, после чего валик зачищается от шлака щеткой и зубилом или крейцмесселем. По наложении первого слоя накладывается второй слой, причем начало нового слоя сдвигается по отношению к началу или концу первого слоя не менее чем на 20 *мм*; дуга направляется на лист топки, на связь же она направляется лишь по мере дви-

НТБ ДНУЖТ

жения электрода. Со стороны огневой коробки связь вваривается с усилением не более 2—3 *мм*. Общая высота и ширина наложенного сварного шва снаружи по кожуху не должны превышать 8 *мм*. Полярность должна быть прямая, т. е. электрод — минус, стенка — плюс. При вварке связей не допускается применения такой силы тока, при которой электрод будет нагреваться до-красна на длине более 40 *мм*. Если сила тока будет превышена, то в особенности при неправильном размещении сварщиков возможно образование прогибов стенок, доходящих до 10—15 *мм*, поэтому при наложении как первого, так и второго валиков нужно периодически производить обмеры прогибов стенок огневой коробки и кожуха топки, своевременно принимая меры к их устранению.

Общая величина прогиба стенок после вварки связей не должна превышать 6 *мм*. Для устранения поджогов контрольных отверстий связей и анкерных болтов перед сваркой в них ставятся прутки из красной меди.

Требования, предъявляемые к вварным связям и котлам с вваренными связями

Согласно инструкции качество вварки определяется: 1) по внешнему виду, 2) гидравлическим испытанием и 3) по величине прогибов стенок огневой коробки и кожуха. Валики по внешнему виду должны иметь ровную поверхность, ширина и высота их проверяется шаблоном. Отклонения допускаются не более 3 *мм* по ширине и 1 *мм* по высоте. При меньших валиках или при их неправильной форме они восстанавливаются путем наложения дополнительного валика; при большей высоте обрубаются вручную или пневматикой. Всякий шов, имеющий непровары, поры и трещины, должен быть вырублен и вновь заварен. При гидравлическом давлении связи не должны давать потения и течи. Прогибы, возникающие вследствие тепловых напряжений, проверяются путем замеров стенок: 1) до постановки связей, 2) после вварки скрепляющих связей и 3) после окончательной вварки всех связей при приемке котла. Замеры производятся по достижении топкой и кожухом нормальной температуры в продольном направлении большой, а в поперечном направлении малой линейками. Для замеров, производящихся вдоль через 3 ряда связей, большая линейка устанавливается между первым и вторым рядами связей; что касается прогибов, то они измеряются через 5 связей. Вслед за обмерами в продольном направлении производятся обмеры и в поперечном направлении стенки. Величина прогибов устанавливается щупом; при этом прогиб стенки в сторону воды перед постановкой связей допускается не более 1,5 *мм*, после вварки крепительных связей не более 4 *мм* и по окончании вварки не более 6 *мм*. Прогибы в сторону огня после вварки связей не допускаются. В случае больших прогибов в местах максимальных прогибов связи должны быть удалены, стенки выправлены и вварены новые связи. Для контроля за состоянием стенок снимается эскиз стенок топки и на нем наносятся величины прогибов. Все связи, давшие течь или пропускающие воду в виде капель, считаются дефектными и подлежат удалению. Кроме указанного метода вварки связей, иногда практикуется другой метод, при котором места наплавки металла с одной стороны (обычно в стенке топки) раззенковываются по сферической поверхности, но он уступает вышеизложенному, так как требует более сложной механической обработки отверстий.

§ 15. Ремонт жаровых, дымогарных и циркуляционных труб

Основной причиной ремонта и смены дымогарных и жаровых труб является их течь. Это обстоятельство требует такого метода ремонта и постановки труб, который бы обеспечивал достаточно надежное укрепление их в задней и передней решетках. Весьма существенное значение для работы труб имеет уход за ними во время эксплуатации паровоза. Причины течи труб до настоящего времени полностью не изучены ввиду сложности явлений, происходящих в паровозных котлах, и трудности теоретических исследований, но тем не менее можно отметить, что течь вызывается следующими обстоятельствами:

НТБ ДНУЖТ

1) влиянием накипи, отлагающейся на трубах и понижающей теплопередачу, причем накипь примерно в 20 раз хуже проводит теплоту, чем железо той же толщины;

2) влиянием сажи и нагара;

3) влиянием пузырьков пара, прилипающих к стенкам или заполняющих промежутки между накипью и стенками;

4) влиянием высоких давлений пара, вызывающих повышение напряжений в стенках труб, что в свою очередь увеличивает распор труб;

5) влиянием плохого качества воды, особенно дающей пену, что ухудшает парообразование; отсюда становится ясной роль тщательной продувки котлов, применение антинакипинов и рациональных методов промывки;

6) влиянием неудовлетворительной вальцовки на соединение труб с решеткой;

7) колебанием температуры решетки и труб;

8) влиянием рода материала;

9) влиянием качества материала; в данном случае течь труб иногда вызывается трещинами в буртиках труб или же в самом теле трубы, образовавшимися во время развальцовки;

10) влиянием сводов и кладки: для каждой топки длина свода, высота его подъема должны быть выбраны на основании практических данных;

11) влиянием охлаждения решетки и труб; как трубы, так и решетки при всяком проходе струй холодного воздуха легко деформируются; этому способствуют при угольном отоплении частое и продолжительное открытие топочных дверок и оголение отдельных участков топочной решетки; при нефтяном отоплении немаловажную роль играют быстрота закрытия форсунки, неплотность клапанов поддувала и т. д.; это приводит к тому, что часть труб быстро охлаждается, тогда как остальные остаются в нагретом состоянии;

12) влиянием питания котла — течь труб в паровозных котлах происходит преимущественно в нижних рядах; это объясняется влиянием усиленного питания котла и быстрым охлаждением концов труб при плохой циркуляции воды после закрытия регулятора, в то время когда решетка еще сильно нагревается лучистой теплотой раскаленного свода; кроме того, имеет существенное значение питание котла большим количеством сравнительно холодной воды, подаваемой инжектором; отсюда вытекает основное правило: питать котел небольшими порциями преимущественно при открытом регуляторе или же с сифоном.

13) влиянием удлинения труб; дымогарные и жаровые трубы подвергаются вследствие распора изгибу, создаваемому разностью удлинений цилиндрической части котла, с одной стороны, и удлинением частей топки и труб, с другой стороны;

14) влиянием деформаций отверстий в задней решетке при вальцовке труб: в этом отношении имеет весьма существенное значение самый метод вальцования;

15) влиянием частых охлаждений и заправок котла; с этой точки зрения весьма полезно увеличивать пробеги между промывками, как это и практикуется машинистами-кривоносовцами, и возможно чаще прибегать к продувкам котлов;

16) засорением жаровых труб, загроможденных вставленными в них пароперегревательными элементами, несгоревшей мелочью (при ее уносе), золой и сажей, что требует возможно частой их продувки, а при промывках паровоза и промывки; дымогарные же трубы во время промывки должны быть пробиты стальными ершами и также промыты.

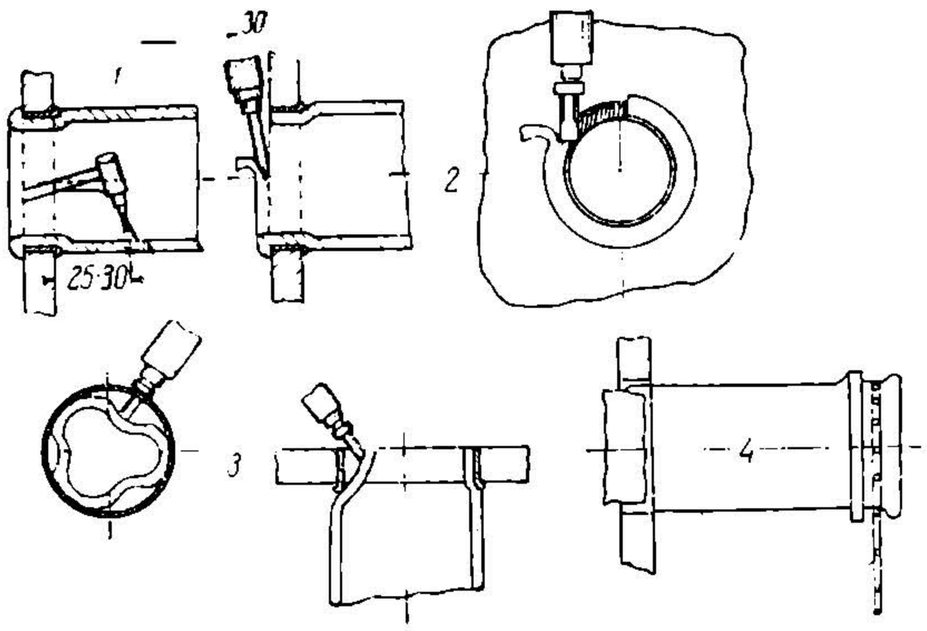
Из всех отмеченных факторов наиболее важным нужно считать разницу температур топочной решетки и концов дымогарных и жаровых труб.

Что же касается мер борьбы с течью труб, то наиболее действительным средством являются правильный режим отопления и питания котлов, развальцовка и обварка их концов.

Переходя к процессам смены труб, следует указать, что для удаления их чаще применяется вырезка их газовой горелкой. Как видно из фиг. 172, газовый резак имеет загнутую под углом головку, вращением которой и обрезаются трубы. После обрезки труб нужно удалить прокладные кольца в топочной решетке пу-

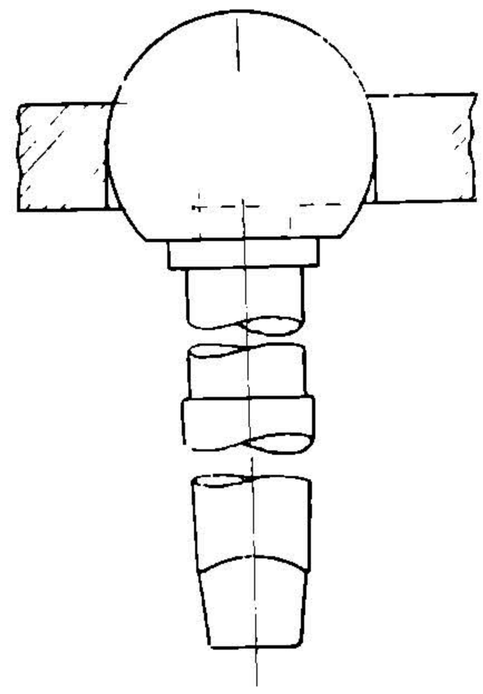
НТБ ДНУЖТ

тем обжатия их со стороны воды и выбивки в сторону топки. По удалении труб и прокладных колец отверстия в решетках проходятся разверткой. Для этой цели применяются иногда цилиндрические развертки, но они могут привести к перекосу и коничности отверстий; поэтому более целесообразно применять шаровые развертки (фиг. 173). Овальность отверстий после развертки



Фиг. 172.

1—дымогарная труба, *2*—обрубка борта трубы, *3*—обжимка конца трубы, *4*—выколотка.



Фиг. 173.

не должна превышать для жаровых труб 0,5 *мм* и 0,25 *мм* — для дымогарных, что же касается диаметров отверстий, то они берутся по соответствующим нормам (таблица 18).

Таблица 18

Наименование	Предельный размер отверстий в *мм*			Предельный размер, требующий смены решетки в *мм*
	при выпуске из капитального ремонта	при выпуске из среднего ремонта	при выпуске из подъемки	
Диаметр отверстий новой топочной решетки для труб с наружным диаметром 50 *мм*	42	42	—	—
То же для паровозов серии «ФД» жаровые трубы . . .	81	81	—	
То же дымогарные трубы . . .	56	56	—	—
Диаметр отверстий в старой решетке после развертки—медные решетки	48	50	50	51
То же железные решетки	48	52	52	53
Диаметр отверстий в новой решетке для жаровых труб с наружным ди метром 133 *мм*	100	100	—	—
Диаметр отверстии для жаровых труб в старой решетке — медная решетка . .	112	118	118	126
То же железная решетка . . .	112	122	122	126

Ремонт дымогарных и жаровых труб

Процессы ремонта дымогарных и жаровых труб не отличаются друг от друга и протекают обычно в одной и той же последовательности. Нужно однако отметить, что при капитальном ремонте в котлы должны ставиться только новые трубы, отремонтированные же трубы ставятся в котлы паровозов, проходящих через средний, подъемочный или промывочный ремонты.

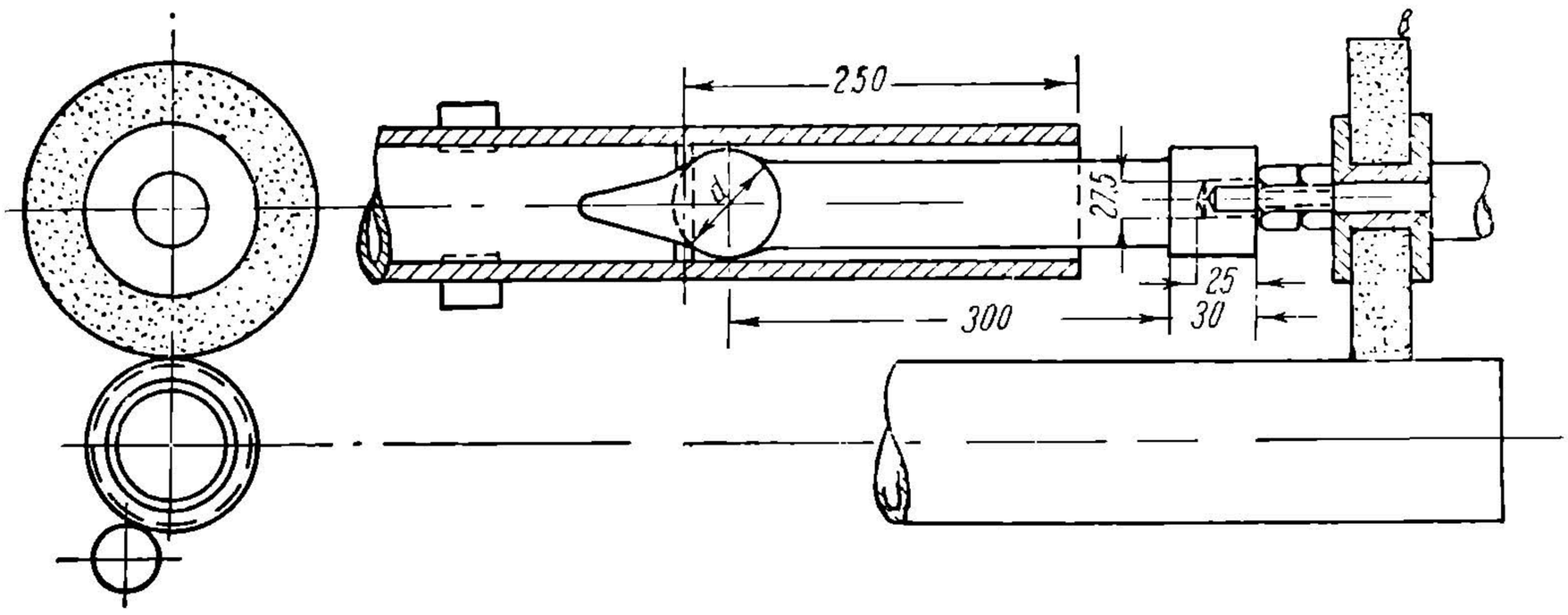
Вынутые из котлов дымогарные и жаровые трубы вначале подвергаются очистке, которая производится во вращающихся барабанах. Очистка может производиться мокрым или сухим способом. Более современным методом является очистка в прачечных машинах, представляющих собой вал с двумя

НТБ ДНУЖТ

звездочками, на которые надеваются цепи Галля, а на них накладываются полным комплектом трубы, опущенные в ванну и получающие взаимное вращение благодаря вращению этих цепей. Этот метод следует рекомендовать, как наиболее простой. Заслуживает внимания установка для очистки труб, применяющаяся на американских железных дорогах и известная под названием установки Реерсона [1].

После очистки трубы поступают на весы для взвешивания. С этой целью могут быть использованы или десятичные, или автоматические весы, спроектированные Пролетарским заводом. Процент износа допускается не свыше 20% для труб, предназначенных для паровозов среднего ремонта, 25% — для подъемочного ремонта и по достижении 30% износа трубы поступают в брак. Изогнутые трубы подвергаются правке, после чего задние концы их обрезаются дисковой пилой. Для удаления заусениц, образующихся на концах труб после их обрезки, они подвергаются шлифовке, особенно в тех случаях, когда сварка производится на стыковых электросварочных машинах.

Известны два способа сварки — горновая и электрическая, причем в современных условиях преимущество остается за вторым способом, т. е. за электросваркой, гарантирующей лучшее качество сварки и более экономичной в смысле расхода материалов и затрат на рабочую силу. При гор-



Фиг. 174.

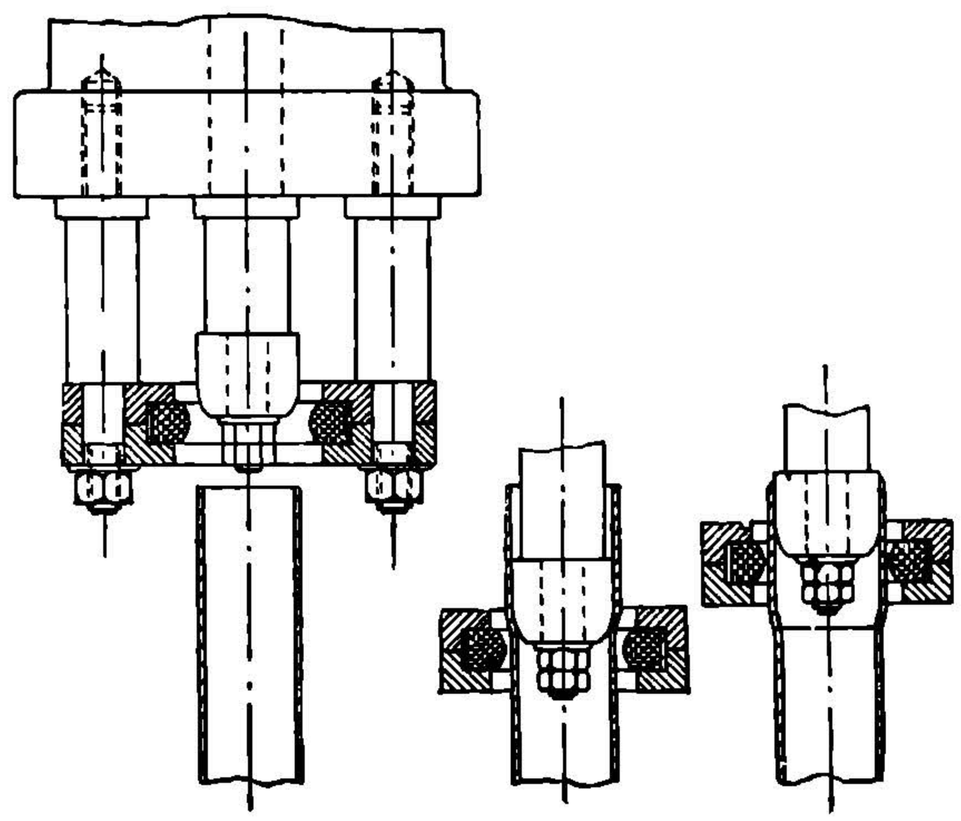
новой сварке кузнец с молотобойцем дает в смену 75—80 штук, при электрической же сварке можно за то же время наварить 300—350 штук. При электрической сварке труба и ее наконечник зажимаются в зажимах стыковой сварочной машины (тип АС-50 — для дымогарных труб и АС-75 — для жаровых труб) с таким расчетом, чтобы выход наконечника не превышал 40 *мм*, а выход трубы 30 *мм*. Затем наконечник подводится к трубе, и включается сварочный ток. Далее наконечник отводится от трубы на 1,5—2 *мм*, и между ними возникает вольтова дуга, нагревающая концы привариваемого наконечника и трубы. При нагревании их до светлокрасного цвета наконечник вновь сближается с трубой, сварочный ток выключается, но одновременно производится нажатие наконечника на трубу, чем заканчивается процесс сварки. В результате нажатия наконечника на трубу в месте соединения их образуется утолщение (наплыв), который с внутренней стороны зачищается развертками, а с наружной зачищается шлифовальным камнем на наждачно-шлифовальных станках. Удаление внутреннего наплыва может быть сделано также помощью специального приспособления, показанного на фиг. 174. После сварки дымогарные трубы обрезаются со второго конца, а затем подвергаются испытанию гидравлическим давлением: дымогарные на 30 *ат*, а жаровые — на 20 *ат*. Испытание производится в течение 3 минут, причем место сварки осматривается и остукивается ручником. Подкачивание воды во время испытания не допускается. Задние же концы дымогарных и жаровых труб после испытания подкаты-

[1] См. справочник ИТС изд. Трансжелдориздата 1934 г., фиг. 212.

НТБ ДНУЖТ

ваются или обжимаются, что достигается нагреванием их и обжатием вручную или же на специальных станках Муханова, Сименс-Шуккерта и др. Станок Муханова состоит из двух длинных вальцов, имеющих 14 проточек по окружности с постепенно уменьшающимся диаметром. Труба после нагрева поступает в первую проточку, затем, в зависимости от диаметра подкатываемого конца, передается в следующие ручьи. Позади станка устанавливается упор, ограничивающий длину подкатки.

Раздача труб производится или вручную, или на специальном станке (фиг. 175), состоящем из пуансона, укрепленного в супорте и входящего в передний конец трубы. В результате подкатки структура концов труб изменяется, сама же труба делается жесткой, поэтому правилами ремонта труб предусматривается отжиг концов. Отжиг имеет весьма важное значение и должен служить предметом особого внимания при выполнении ремонтных работ. Приказом за № 96/Ц 1937 г. отмечается, что вредители нарушали режим отжига и вели его неправильно. Отжиг производится в печи с нагревом до 850—900° и последующим медленным охлаждением в песке или золе, или в специальной песочной ванне. В практике ремзаводов производится отжиг лишь задних концов, хотя целесообразно отжигать и передние концы, тем более что в паровозах серий «ФД» и «ИС» отбуртовываются и передние концы жаровых труб. После отжига труб концы их перед постановкой в котел зачищаются переносными пневматическими машинами, которыми можно также зачищать и решетку.



Фиг. 175.

Постановка жаровых и дымогарных труб

Правильность постановки жаровых и дымогарных труб обеспечивает их надежную работу; поэтому она должна протекать в определенной последовательности с применением вполне исправного инструмента.

В процесс постановки труб в заднюю решетку входят следующие основные операции:

1) подготовка отверстий решетки и колец,
2) установка прокладных колец,
3) подготовка концов труб,
4) установка труб и их развальцовка,
5) раздача труб для отбуртовки,
6) образование внутреннего бурта,
7) отбуртовка и обварка (после гидравлического испытания или после пробной поездки).

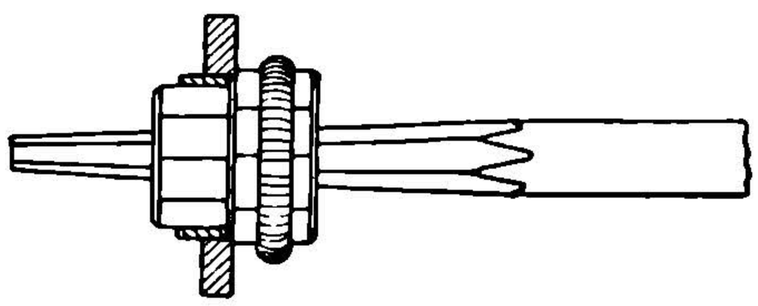
Для постановки в переднюю решетку труб необходимы:

1) подготовка отверстий решетки,
2) подготовка концов труб (зачистка их),
3) установка труб,
4) вальцовка труб и
5) для жаровых труб паровозов серий «ФД» и «ИС» — отбуртовка концов труб.

НТБ ДНУЖТ

Постановка прокладных колец в заднюю решетку

Прокладные кольца ставятся для обеспечения лучшего прилегания концов дымогарных и жаровых труб в новых железных решетках. Высота колец должна быть равна 16—17 *мм* при толщине их в 2 *мм*, независимо от толщины решетки. Перед постановкой колец отверстия в решетках проверяются разверткой, кромки их закругляются радиусом около 1,5 *мм*. Кольцо устанавливается таким образом, чтобы оно выходило за решетку в сторону воды на 2 *мм* и не доходило до огневой стороны на 0,75 —1 *мм*. Установка колец в новых решетках производится до постановки решетки в топку, в остальных же случаях кольца ставятся после проверки отверстия.



Фиг. 176.

После постановки кольца в решетку оно должно быть укреплено или с помощью специального прибора (проссер) (фиг. 176), или с помощью вальцовки.

Постановка труб

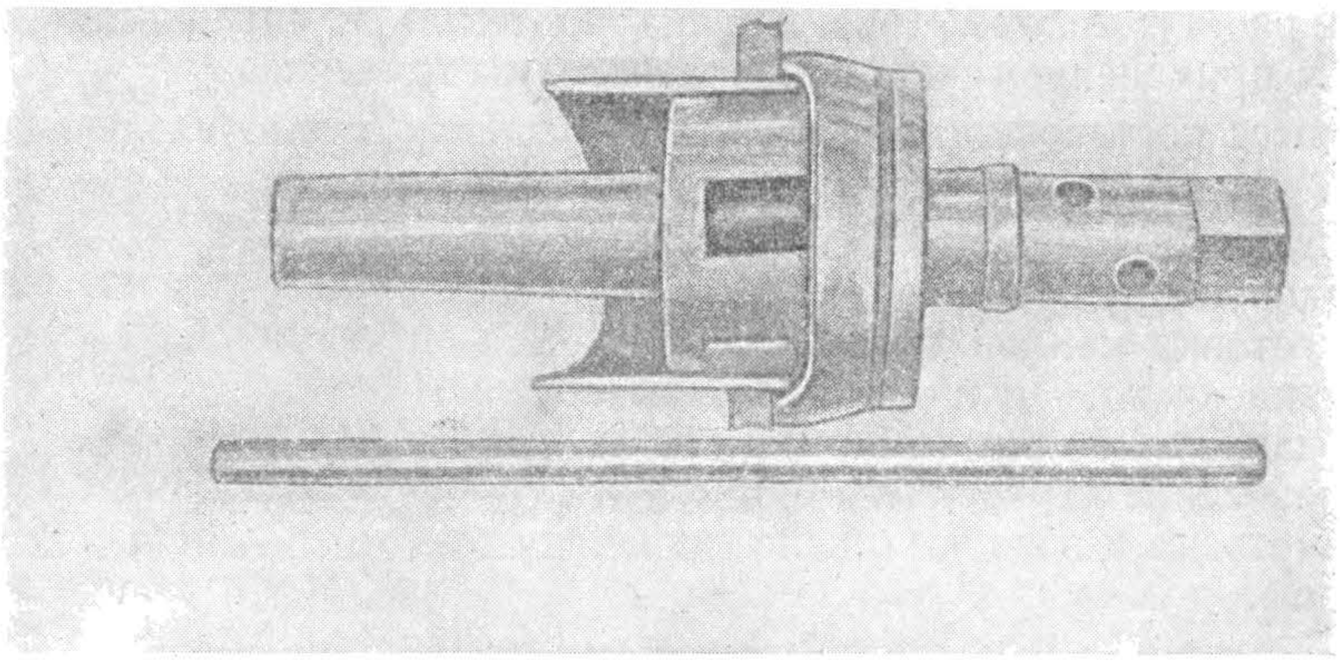
Постановка труб при сплошной смене производится полными комплектами через переднюю решетку с таким расчетом, чтобы концы их выходили за решетку на 15 *мм*, и в задней на величину, необходимую для образования бурта, т. е. на 7 *мм*.

До постановки труб задняя решетка со стороны огня зачищается шлифовальным кругом на расстоянии 25 *мм* от краев отверстий. Затем решетки обмываются 25-процентным раствором каустической соды как со стороны воды, так и со стороны огня. В дальнейшем раствор соды смывается горячей водой, а решетка протирается тряпкой.

После постановки труб выход их из решеток проверяется специальным калибром.

Укрепление и уплотнение труб в решетках

Укрепление труб производится помощью вальцования с обоих концов. Для дымогарных труб применяются трехроликовые вальцовки, а для жаровых — пяти-

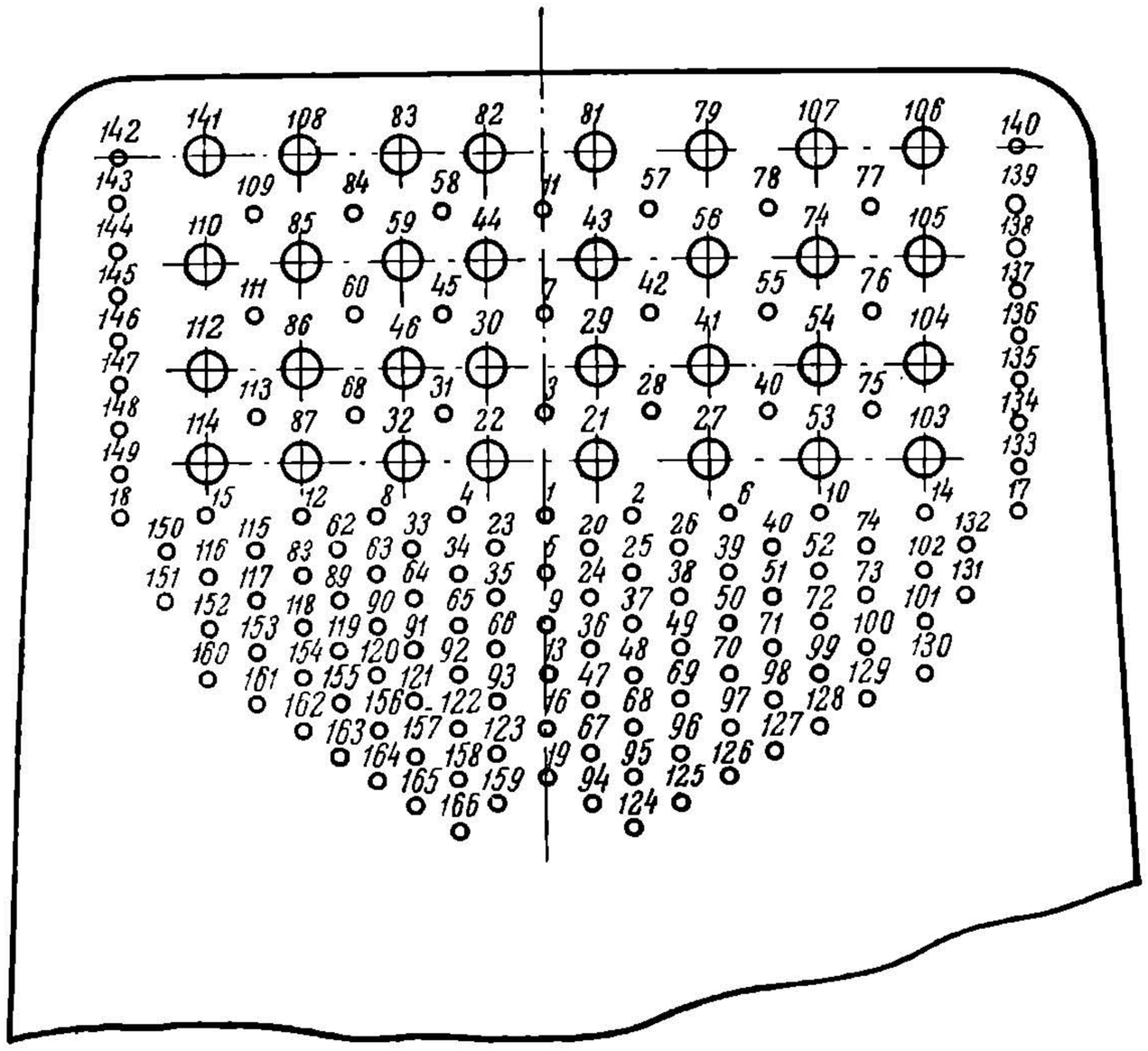


Фиг. 177.

роликовые (фиг. 177). Укрепление труб с помощью проссера не рекомендуется, так как приводит к появлению трещин в простенках решетки. Существует несколько вариантов вальцования, но наилучшим нужно считать кругообразный способ, изображенный на фиг. 178, где под соответствующими номерами

НТБ ДНУЖТ

показан порядок вальцовки труб. После развальцовки с обоих концов трубы отбуртовываются (раздаются) специальной оправкой (фиг. 179).



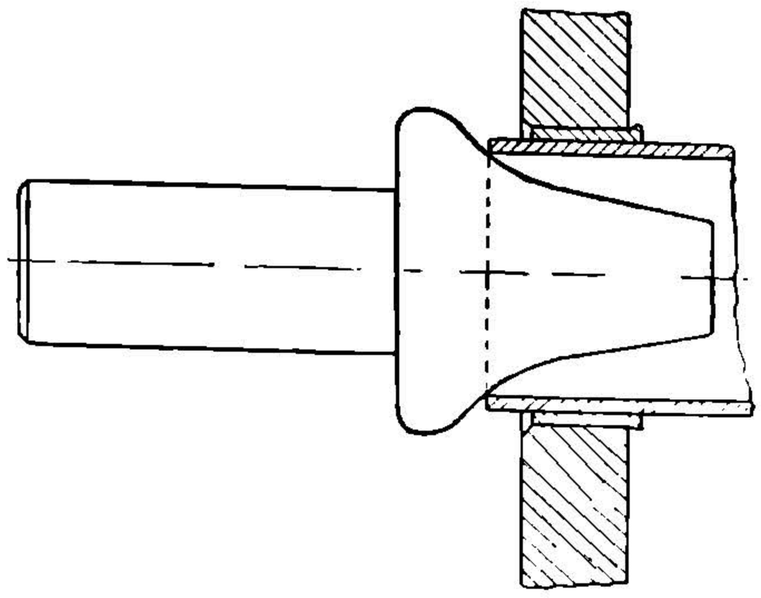
Фиг. 178.

Образование внутреннего бурта

Как показывает практика, наличие бурта со стороны огня и за решеткой со стороны воды создает как бы два упора в решетке, которые препятствуют перемещению в ней труб и разгружают слой обваренного металла, устраняя тем самым возможность течи.

Образование буртиков за решеткой производится или шаровой вальцовкой (фиг. 180), или проссером. В последнее время принята шаровая вальцовка, так как при ее применении устраняется возможность образования трещин у отверстий для труб.

После образования внутреннего бурта со стороны огневой решетки производится окончательная отбуртовка концов труб при помощи чеканки (фиг. 181). Для жаровых труб паровозов серий «ФД» и «ИС» отбуртовка производится у концов и со стороны дымовой коробки. Высота буртика для дымогарных труб должна быть равна 3 *мм*, а жаровых — 4—5 *мм*.



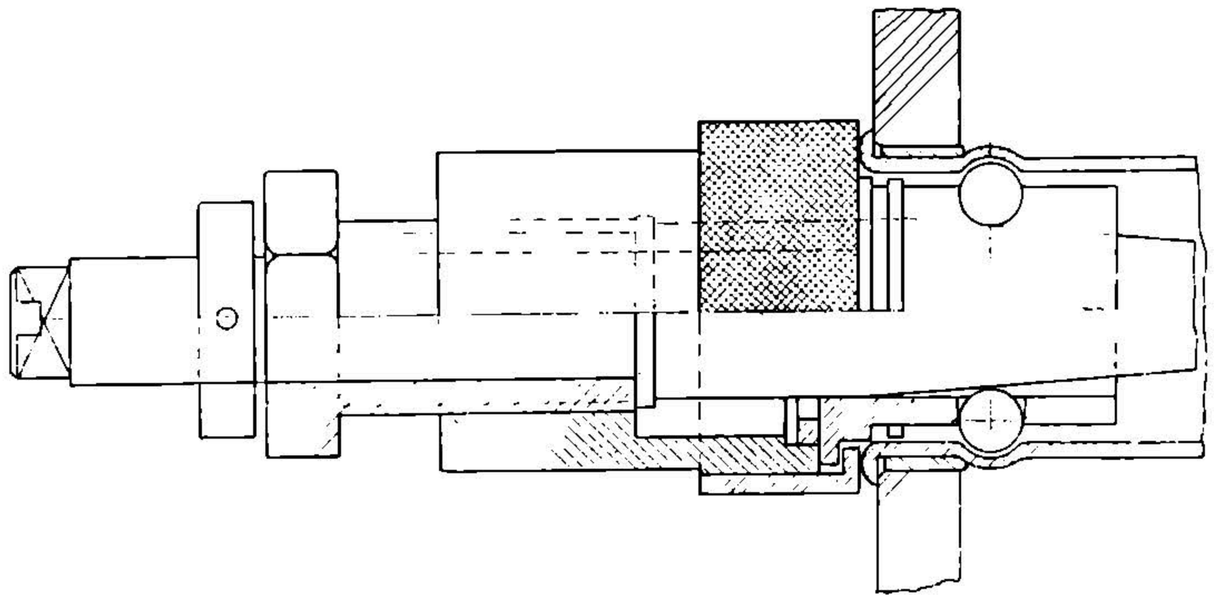
Фиг. 179.

Приварка труб

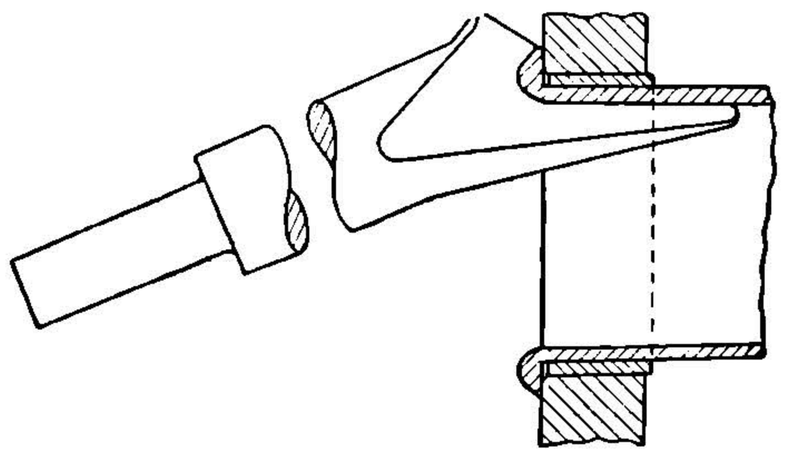
По окончании всех операций по постановке труб в целях борьбы с течью производится приварка их. Приварка труб может быть сделана или после гидравлического испытания котла (при капитальном ремонте), или же после обкатки паровоза. Вообще говоря, обварку все же следует вести после пробной поездки, так как во время заправки котел и его отдельные части деформируются, в особенности это

НТБ ДНУЖТ

относится к жаровым и дымогарным трубам; поэтому желательно иметь до сварки уже некоторое устойчивое состояние котла и его отдельных элементов. Кроме того, после обкатки на решетке выгорает масло, остающееся на ней после развальцовки и прессерования. Это замечание не относится к паровозам с нефтяным отоплением, у которых обварку целесообразнее делать до обкатки. Самый процесс обварки труб производится по так называемому американскому методу. При практиковавшемся способе Юго-западных железных дорог трубы ставились без колец и без отбуртовки концов их, но с раззенковкой отверстий в решетках, что однако нужно признать недопустимым. Этот способ не обеспечивал надлежащей работы труб и не гарантировал исправного состояния огневой решетки.

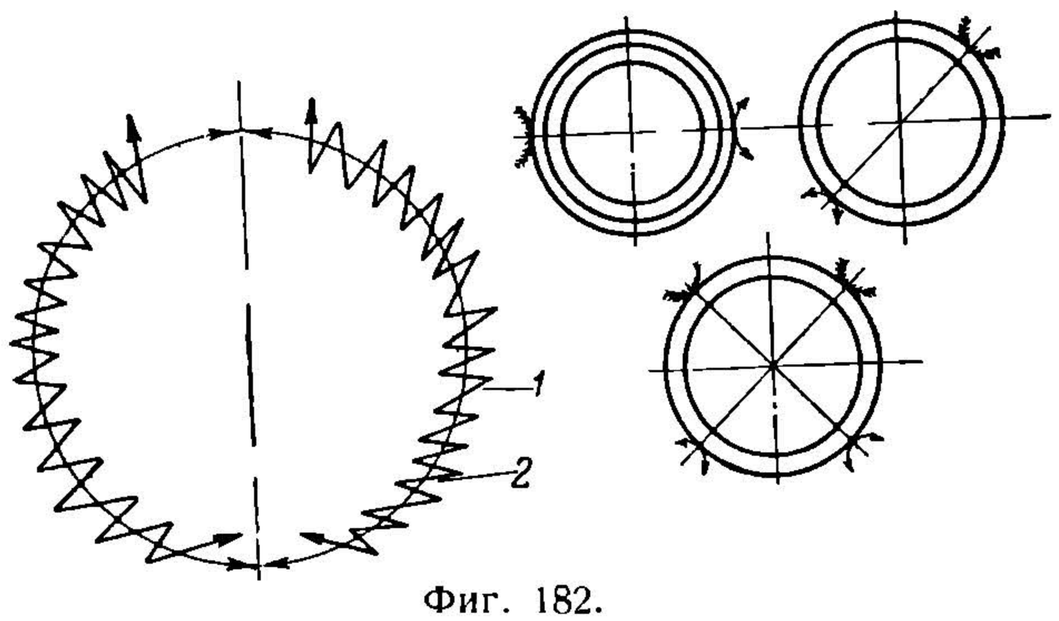


Фиг. 180.



Фиг. 181.

В том случае, когда обварка труб производится до обкатки паровоза, котел прежде всего наполняется теплой водой с температурой около 30—40°. Если же обварка производится после обкатки, то приварка может быть начата лишь по достижении указанной температуры воды в котле. Буртики труб должны быть очищены от золы и сажи, для чего применяются специальные щетки или пнематические турбинки, на вращающемся шпинделе которых укрепляется наждачный круг. Можно также рекомендовать обмывку решетки раствором каустической соды с дальнейшей обмывкой теплой водой и обтиркой насухо. Обварку следует начинать с верхних рядов попеременно через одну трубу с целью устранения местного перегрева решетки, обваривая трубы в таком же порядке в следующих рядах до самого низа. Вообще нельзя вести обварку трубы, пока над ней есть неприваренная труба. Электрод должен быть расположен под углом 60° к решетке (фиг. 182), причем направление его движения допускается как снизу вверх, так и обратно. С точки зрения качества сварки более целесообразен первый метод. При обварке трубы обрывов дуги за время одного прохода электрода не допускается; при этом сварка по окружности трубы производится не более как за два приема по двум полуокружностям дымогарной трубы и не более как за четыре прохода для жаровых труб. Дуга возбуждается, как правило, в 5 *мм* в стороне от места наложения шва и затем подводится к шву. Для предупреждения прожигания тонкой стенки



Фиг. 182.

НТБ
ДНУЖТ

трубы дуга направляется при сварке преимущественно на решетку с таким расчетом, чтобы примерно около 70% времени горения дуга была направлена на решетку и лишь около 30% на трубу.

При обрыве дуги она возбуждается в стороне, электроду сообщается обратное направление, а затем он получает движение в прежнем направлении. При двукратном обрыве или же при быстро следующих друг за другом обрывах следует переходить к следующей трубе, заканчивая оставленную после обварки начатой. Начало и конец наложенного шва обыкновенно перекрываются.

Ширина валика для дымогарных труб выполняется равной 4 *мм*. Накладывание левого валика начинается с таким расчетом, чтобы было перекрыто начало правого валика на 10—15 *мм*. По окончании левого валика перекрывается конец правого, и затем кратер выводится на 3 *мм* в сторону. Для жаровых труб ширина валика берется равной 6 *мм*. Электроды для приварки дымогарных и жаровых труб к решетке применяются марки № I и II по ОСТ 2407, покрытые одной из обмазок по ВСТ 53/17.

Сила тока при обварке выбирается равной 180—200 амперам. Диаметр электрода — 4 *мм* при прямой полярности, т. е. электрод—минус, решетка—плюс. При обварке допускается только постоянный ток и лишь в виде исключения пользуются переменным.

Качество сварки проверяется:

1) на пару по внешнему виду;
2) по отнятой стружке;
3) по сведениям о пробеге.

При осмотре поверхность валика должна иметь ровный чешуйчатый вид и не превосходить высоты бурта трубы, по ширине и высоте не должен быть более 5 *мм*. При снятии стружки с поверхности валика на двух-трех трубах она должна завиваться, а не крошиться.

Труба, дающая течь на участке до $^1/_4$ окружности, как и труба, дающая течь веером, подлежат смене и обварке. При наличии течи во время эксплуатации паровоза вальцовка обваренных труб не допускается.

При надлежащей организации рабочего места и соблюдении установленных правил обварка комплекта (192 шт.) труб занимает 3—3,5 часа.

§ 16. Уход за циркуляционными трубами и их ремонт

В топках паровозов серий «ФД» и «ИС» имеется, как известно, 4 циркуляционных трубы; такие трубы устанавливаются и при капитальном ремонте паровозов серий «С^{У}» и «Э^{У}».

Благодаря высоким температурам в циркуляционных трубах происходит интенсивная циркуляция воды, что способствует более равномерному распределению температур в верхней и нижней частях топки. Под влиянием высокой температуры в трубах происходит отложение накипи со всеми вытекающими последствиями, главным образом появляются трещины. Появлению трещины предшествует обычно выпучивание на одном участке трубы, напоминающее образование пузырей (отдулин), поэтому за циркуляционными трубами во время эксплуатации должен быть организован постоянный надзор. Опытами установлено, что образование выпучин, кроме накипи, вызывается попаданием масла на внутренние стенки труб. При каждой промывке необходимо также осматривать концы циркуляционных труб, приваренных к стенкам огневой коробки, так как и в этих местах можно ожидать появления трещин. Признаком отложения накипи на внутренней поверхности труб служит появление наростов из прилипшего шлака с наружной стороны труб. При наличии их необходимо немедленно очистить трубы от накипи помощью специальных щеток или же стержня, на конце которого помещается наждачный камень. В тех случаях, когда на трубах будут обнаружены отдулины, увеличивающиеся с течением времени, трубы надо заменить новыми. Предельная высота отдулин не должна превышать 6 *мм* для труб, изготовленных как из углеродистой, так и молибденовой стали. При смене труб концы их обрезаются кислородо-ацетиленовой горелкой со стороны

НТБ ДНУЖТ

огневой решетки и задней стенки и затем срубаются места приварки концов их у стенок топки; после отжатия концов трубы легко удаляются через шуровочное отверстие. По удалении труб отверстия для них проверяются разверткой.

В дальнейшем процесс постановки труб протекает следующим образом:

1) Отверстия в стенках для труб и поверхность около них на расстоянии около 25 *мм* зачищаются до чистого металла. Стенки топки должны быть у места постановки труб обмыты 25-процентным раствором каустической соды.

2) Подготовленные к постановке циркуляционные трубы на длине около 50 *мм* зачищаются вначале шлифовальным камнем, а затем наждачным полотном.

3) Постановка труб производится через отверстие в ухватном листе. При этом необходимо следить за тем, чтобы в местах постановки свода они были обязательно параллельны, что проверяется шаблоном.

4) После постановки труб концы их развальцовываются и раздаются оправкой. Во избежание попадания масла в трубы смазывание вальцовки и отверстий в трубе не допускается.

5) Развальцованные трубы отбуртовываются чеканкой, применяемой для жаровых труб.

6) После гидравлического испытания трубы обвариваются со стороны огня. До обварки труб нужно зачистить привариваемые поверхности и обмыть их 25-процентным раствором каустической соды. Развальцовка труб при смене их производится через отверстия в лобовом и ухватном листах кожуха топки, из которых необходимо вывернуть не пробку, а втулку промывательных пробок. При течи циркуляционных труб в месте их обварки прежде всего необходимо срубить слой наплавленного металла и после развальцовки вновь трубу обварить. Устранение же течи путем одной развальцовки не допускается, так как в этом случае нарушается приварка.

При смене трубы она становится короче, поэтому при ремонте в депо конец ее может быть наварен, при капитальном ремонте наварку допускать не следует.

ГЛАВА V

ГАРНИТУРА КОТЛА

§ 1. Колосниковая решетка

Колосниковая решетка, расположенная в нижней части топки, предназначена для отопления котла только твердым топливом (уголь, редко — дрова). Отопление паровозов жидким топливом (мазутом) постепенно сходит на-нет из-за нецелесообразности сжигать в паровозных топках ценный продукт, содержащий в себе целый ряд необходимых в нашем народном хозяйстве погонов. Вопросы отопления паровозов жидким топливом — неактуальны и нами не рассматриваются[1].

Колосниковая решетка располагается в топке в плоскости, параллельной обвязочной раме, таким образом, чтобы верхняя плоскость колосников была на 60—90 *мм* выше верхней кромки обвязочной рамы. Это расстояние всегда соблюдается, иначе случайные завалы накипи на обвязочной раме (например при неправильном пользовании антинакипинами) вызовут накаливание нижних участков топочных листов.

Колосниковая решетка составляется из ряда отдельных колосников, имеющих между собой зазоры для прохода воздуха. За последние годы на устройство колосниковой решетки стали обращать в особенности серьезное внимание, так как здесь могут заключаться источники больших тепловых потерь, дающие ухудшение использования котла и паровоза в целом.

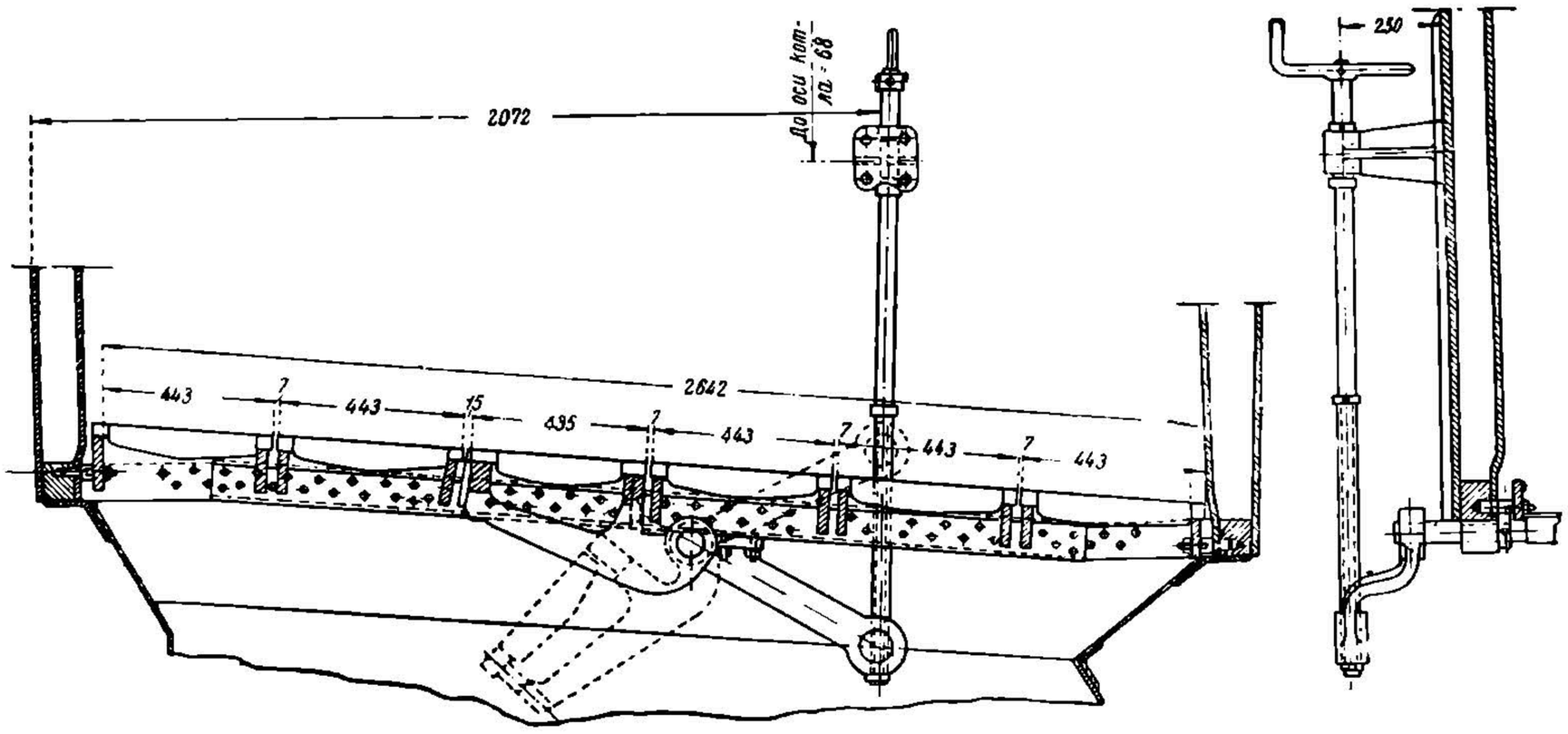
Если в прежнее время зазоры между колосниками делались очень большими для обеспечения свободного прохода воздуха и якобы для лучшего охлаждения колосников, то за ряд последних лет наблюдается определенная и вполне оправданная теорией и эксплуатацией паровозов тенденция к уменьшению зазоров.

---

[1] Краткие основные сведения об отоплении паровозов жидким топливом см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов, подробные сведения — в специальной литературе.

НТБ ДНУЖТ

Живым сечением колосниковой решетки называется сумма площадей всех отверстий (щелей) для прохода воздуха. Обычно живое сечение измеряется не в абсолютных единицах, а в процентах от общей площади колосниковой решетки. В прежнее время живое сечение решетки во многих, не оправдывающих себя случаях достигало 50—60%. Вообще надо считать наиболее целесообразной величиной живого сечения 40—45% для многозольных нешлакующихся углей; угли, члакующиеся с большим содержанием летучих, требуют 15—25% живого сечения; наконец, малокалорийные угли, тощие угли и антрациты наиболее рационально сжигаются на решетках «малого живого сечения», достигающего как крайний предел (опытные паровозы) 8—12%. Все вновь строящиеся паровозы, в том числе и мощные, имеют решетки живого сечения порядка 12—20%.



Фиг. 183.

При уменьшении (в допустимых пределах) живого сечения решетки нагревание самих колосников уменьшается, а не увеличивается, как полагали прежде. При малом живом сечении воздух проходит через прозоры колосников с большей скоростью. Непосредственно над каждым колосником находится слой топлива (и шлака), не получающий достаточного количества воздуха и потому почти не принимающий участия в горении. Поэтому температура колосников не достигает тех больших значений, которые имели место в первом случае. На колосниках малого живого сечения легко сохраняется шлаковая подушка, облегчающая сжигание тощих углей и антрацитов. Наконец, некоторое охлаждение колосников получается за счет быстро движущихся струй воздуха, омывающих колосник снизу и с боков. В первом случае это охлаждение почти не имеет места как из-за незначительных скоростей движения воздуха, так и из-за прохода основных масс его через центральные участки каждой щели, т. е. без соприкосновения с горячим колосником. Еще одним достоинством колосников малого живого сечения является невозможность прорывания воздуха в топку даже при уменьшенной толщине слоя. Наконец, достоинством является и некоторое повышение температуры в топке из-за уменьшения избытка воздуха.

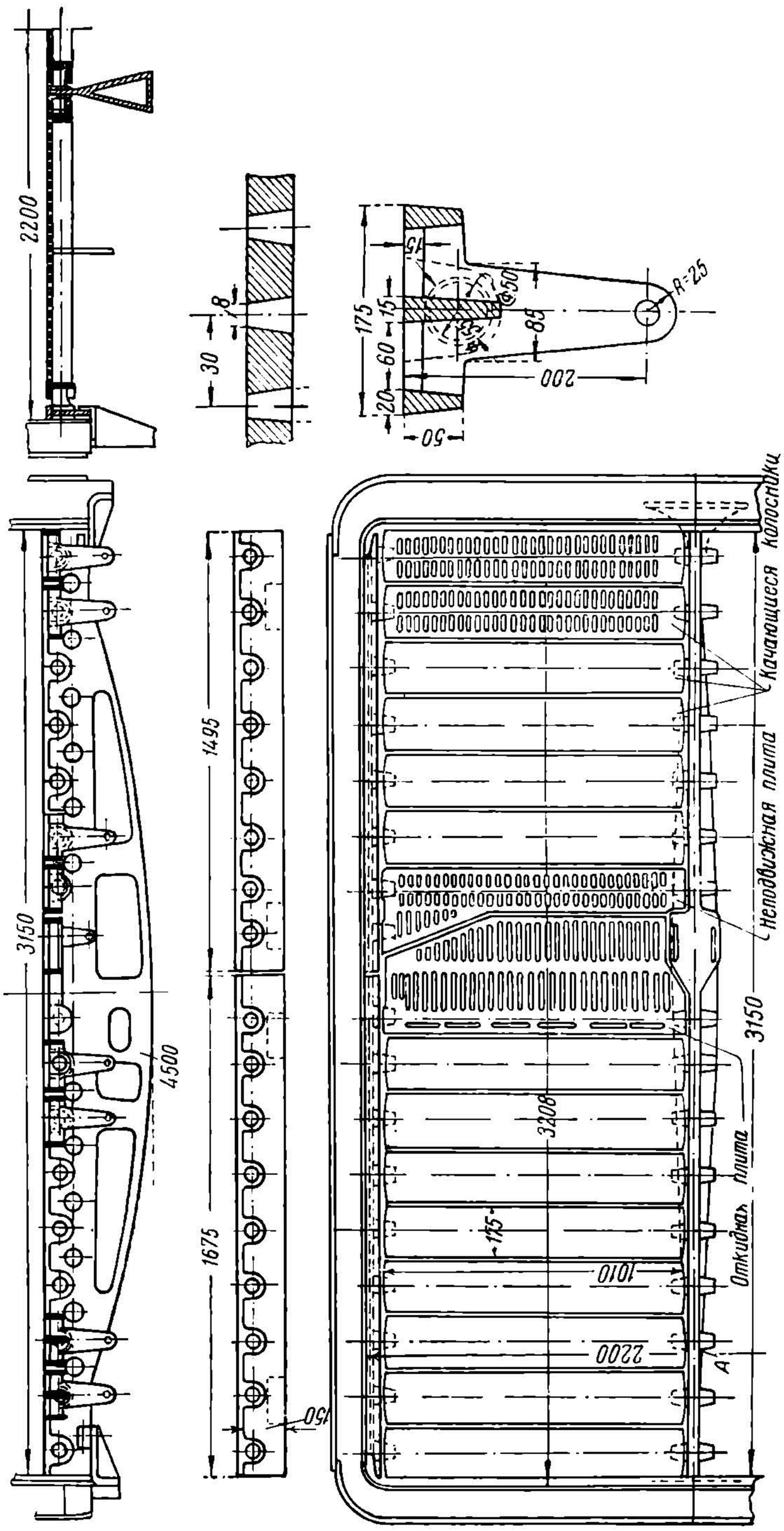
По мере уменьшения живого сечения колосниковой решетки оказывается все более и более рациональным соединять в одно целое два-три и больше отдельных колосников: это облегчает получение нужных небольших зазоров. Обычно ширина зазоров колеблется в пределах 4—15 *мм*; большая величина, естественно, относится к решеткам с большим живым сечением.

Материал, из которого отливаются колосники,—твердый чугун марки Чл.-4 (ОСТ 970). Чугунные колосники при нагревании имеют минимальные коробления.

На фиг. 183 показана колосниковая решетка малого живого сечения некоторых паровозов серии «Э^{м}». Она составлена из 207 одинарных «балочных» колос-

НТБ
ДНУЖТ

ников, часть их, посередине решетки, сделана опрокидывающейся, что необходимо для очистки топки. На откидном люке, составленном тройными колосниками, поставлен винтовой ручной привод для его откидывания с площадки паровоза. Для укрепления самих колосников в топке котла имеются колосниковые балки, при-



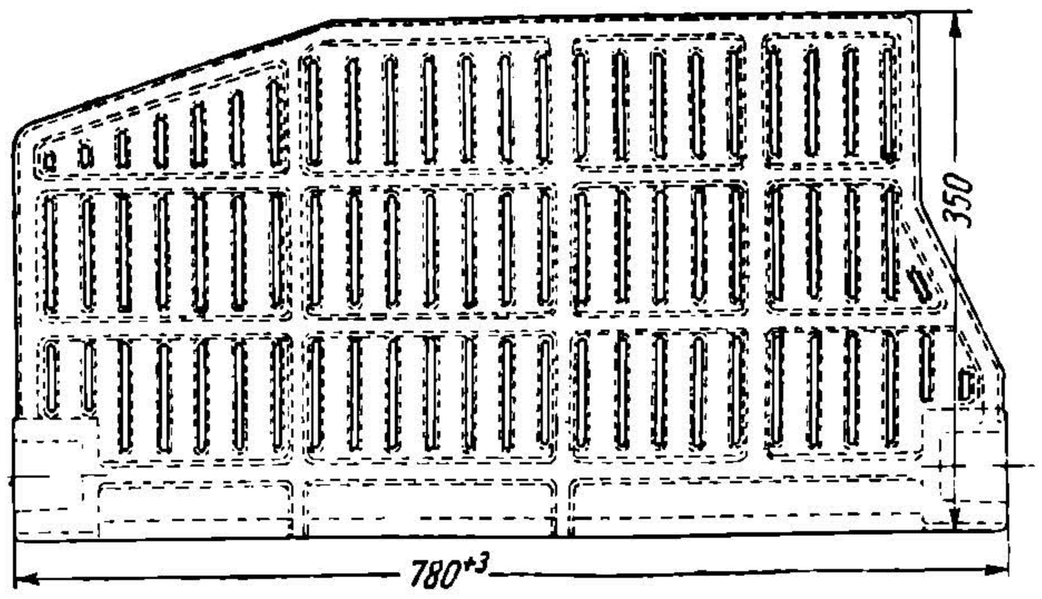
Фиг. 184.

крепленные к нижней обвязочной раме (одновременно и к листу топки). Длина колосников очень не велика — всего 443 *мм*; увеличивать эту длину не рекомендуется из-за опасения коробления колосников. На паровозах серий «Э» и «Эу», где применялись решетки большого живого сечения, длина колосников вдвое больше — 880 *мм*.

НТБ ДНУЖТ

Общее расположение колосников и колосники с уменьшенным живым сечением в настоящее время стандартизированы (ОСТ НКПС-69 и 100)

У решеток малого живого сечения оказываются весьма рациональными качающиеся колосники. Здесь уже вся решетка составляется из подвижных колосников, привод к которым идет в будку машиниста. Такие качающиеся колосники чрезвычайно удачно разрешают вопрос о режиме работы решетки малого живого сечения и облегчают очистку топки. При отоплении тощими углями и антрацитами — во время работы паровоза прокачивать колосники не следует, так как это приведет к разрушению шлаковой подушки и провалу кусков шлака в зольник. При сжигании тощих углей и антрацитов шлаковая подушка подготовляется заранее путем предварительной заправки топки жирными или бурыми углями. Шлаковую подушку необходимо беречь во все время работы топки.



Фиг. 185.

Обычно вся решетка разбивается на четыре-шесть отдельных секций с идущими в будку машиниста приводами; качающиеся колосники получили широкое распространение на всех наших мощных паровозах серий «ФД», «ИС», «$Т^{Б}$», «$Т^{А}$»; ими же оборудованы и паровозы серий «$Э^{М}$» и «СО».

Качающийся колосник представляет собой целую плиту, почему и называется плитчатым качающимся колосником. Такая плита позволяет значительно упростить привод к решетке, так как сравнительно небольшое количество колосников позволяет ограничиться и небольшим количеством отдельных серег, тяг, валиков и т. д. Подвижность колосника осуществляется тем, что плита своими концевыми отверстиями навешивается на шипы колосниковых балок. Для возможности навески колосника (на установленные в топке балки) отверстия в нем делаются неодинаковыми: с одной стороны имеется обычное круглое гнездо, а с другой—вилкообразное углубление.



Фиг. 185а.

Качающиеся плитчатые колосники располагаются непременно поперек топки, как показано на фиг. 184, изображающей собранную колосниковую решетку паровозов серий «ФД» и «ИС». Средняя хребтовая колосниковая балка расположена посередине вдоль топки, имеются четыре боковых продольных балки. На шипы балок навешиваются плитчатые колосники. Средняя балка имеет значительную длину—свыше 3 *м*. Для получения наибольшей прочности при минимальном весе эта балка отлита из стали; балке придана форма тела равного сопротивления изгибу, как это видно по верхней проекции фиг. 184, изображающей детали колосниковой решетки паровозов серий «ФД» и «ИС». Хребтовая балка для дальнейшего облегчения сделана полой (трехгранного сечения).

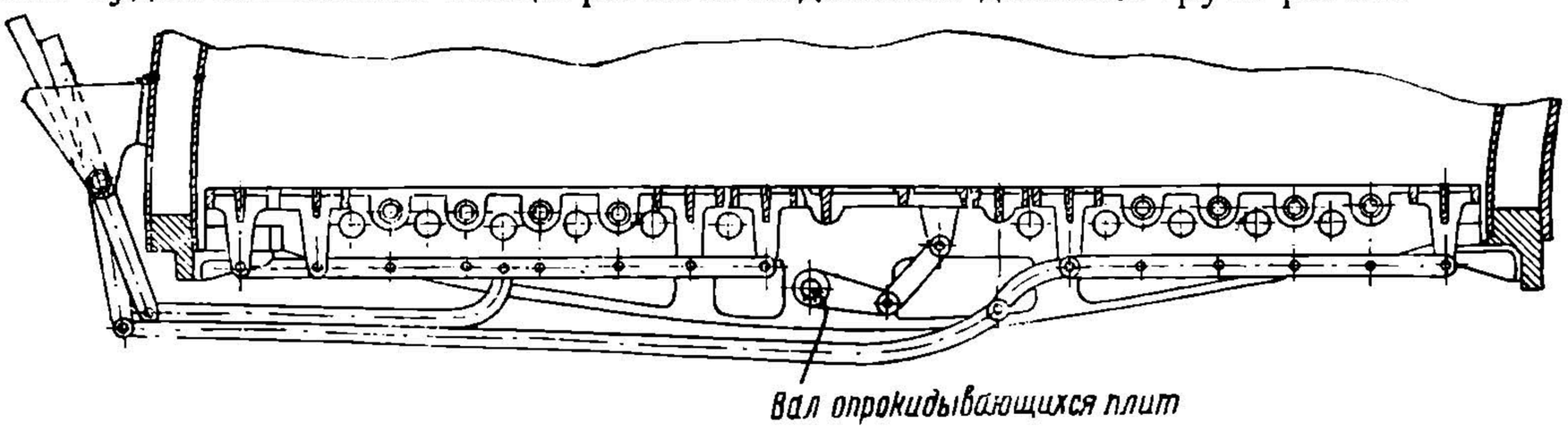
Колосниковая решетка паровозов серий «ФД» и «ИС» разделена на четыре отдельных секции. В будку машиниста идут четыре рычага от каждой секции; рычаги располагаются по два справа и слева шуровочного отверстия у лобового листа. В нижней части последнего укреплены кронштейны для опор этих рычагов.

НТБ ДНУЖТ

Нижние концы рычагов соединяются с задними концами тяг колосников; два из этих рычагов показаны на фиг. 186.

Для удобства очистки решетки в ее средней части устроен опрокидной люк. На фиг. 185 и 185а показана последняя конструкция опрокидывающейся плиты и расположенной возле нее неподвижной колосниковой плиты[1].

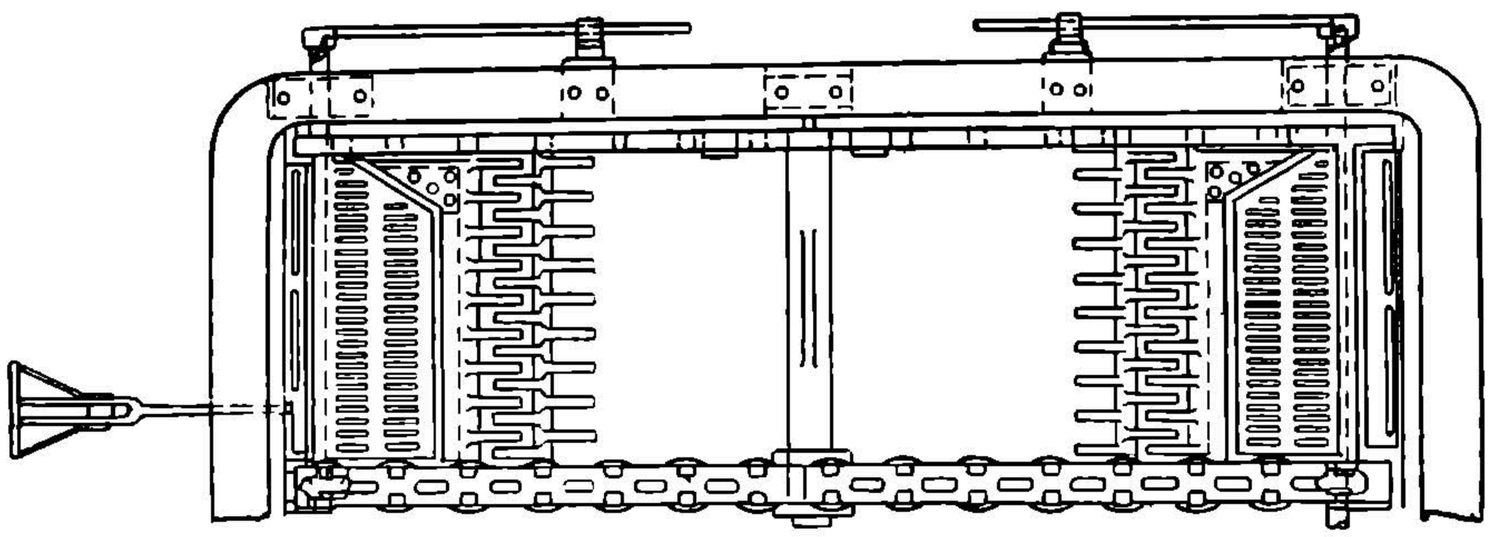
Для облегчения работы по покачиванию колосников на выступающие из-под пола будки машиниста концы рычагов надевается длинная труба-рычаг.



Фиг. 186.

В мощных американских паровозах за посление годы получили некоторое распространение паровые серво-моторы для покачивания колосников, не исключающие, конечно, возможности и ручного покачивания[2].

Заметим, что имеются и другие, малораспространенные колосники, например «гребенчатые» качающиеся колосники, показанные на фиг. 187. Зубья одного колосника входят в интервалы смежного, и таким образом при покачивании обоих шлак ломается. Такие колосники применены на некоторых наших паровозах и, между прочим, на многих паровозах серии «Е». Дефектами являются,



Фиг. 187.

во-первых, невозможность осуществления решетки с достаточно малым живым сечением, во-вторых, значительное увеличение усилий для покачивания колосников. Для того чтобы покачать их, нужно сломать шлак по длинной зигзагообразной линии, а не по короткой прямой. В-третьих, недостатком является большое коробление, причем покоробившиеся колосники невозможно поставить в исходное положение, и дело кончается быстрым сгоранием выступающих зубьев не вставших на место колосников.

§ 2. Свод

Свод (арка) является неотъемлемой принадлежностью топки для угольного отопления. Свод удлиняет путь газов сгорания в самой топке и способствует лучшему перемешиванию частиц углерода топлива с кислородом воздуха, превра-

---

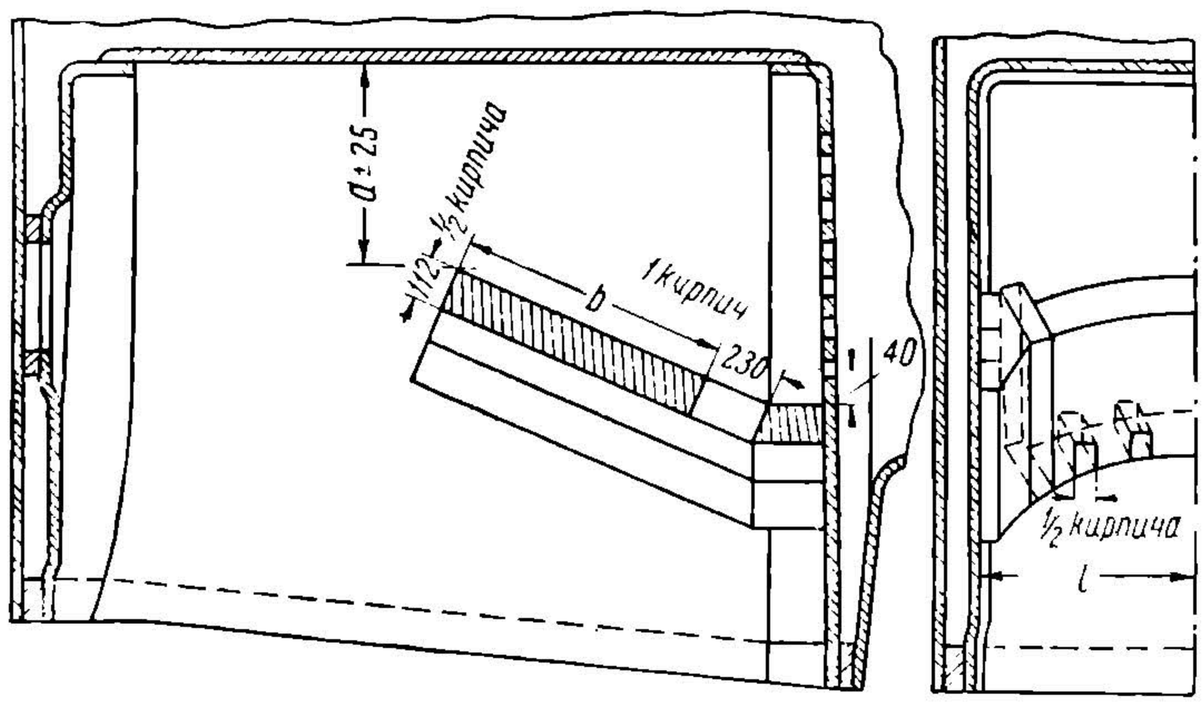
[1] Подробнее об устройстве колосниковой решетки паровозов серии «ФД» см. сборник «Локомотивостроение» № 1 за 1935 г.

[2] Устройство и работа серво-моторов рассмотрены в труде «Конструкции паровозов» И. М. Струженцова.

НТБ ДНУЖТ

щению окиси углерода (CO) в углекислоту (CO_2), обусловливая перемешивание газов сгорания; свод в значительной мере уменьшает вред для топочного процесса и самой топки от проникающего в нее холодного воздуха через шуровочное отверстие (при забрасывании топлива вручную). Этим тепловое действие свода не исчерпывается: обладая значительной теплоемкостью и будучи нагрет до высокой температуры, свод является своеобразным тепловым аккумулятором, поглощающим тепло при временных повышениях температуры топки и отдающим «накопленное» тепло в кратковременные периоды падения температуры топки; другими словами, работа этого «аккумулятора» выравнивает температуру топки и тем способствует лучшему сжиганию топлива. Наконец, отражая лучи обратно в слой топлива, свод способствует повышению температуры слоя. Свод также сохраняет заднюю трубчатую решетку, связи и швы топки. В итоге мы видим, что значение свода для улучшения работы топки и всего котла — чрезвычайно велико.

Свод выкладывается в передней части топки так, что он начинается под нижними рядами труб на 40—50 *мм* ниже кромки нижней дымогарной трубы. Наклон свода делается в пределах $^1/_2$—$^1/_3$, причем считается, что для углей тощих и вообще бедных летучими, наклон может быть взят меньшим, близким к $^1/_3$. Большие форсировки котла, когда значительно увеличивается напряжение решетки, требуют большего подъема свода.



Фиг. 188.

Длина свода делается до половины (и несколько более) длины решетки.

В целях унификации и рационализации конструкции сводов проведена и еще проводится большая работа по их стандартизации. На фиг. 188 показан стандартный свод (ВСТ 70/1). Длина свода — 50% длины колосниковой решетки; выкладывается свод из огнеупорного кирпича по ОСТ 3688 размером: прямые кирпичи 230 × 112 × 65 и клинчатые 230 × 112 × 65 × 55. Клинчатых кирпичей должно итти 30% общего количества кирпичей.

В нижней части свода сделано несколько отверстий для провала на решетку унесенных за пределы свода кусочков угля; скорость газов сгорания, обогнувших свод, быстро уменьшается, и поэтому унесенные кусочки угля опадают сверху на свод и частично проваливаются в отверстия. Польза устройства отверстий считаться доказанной не может, при введении стандартных сводов была оговорена необязательность устройства отверстий. Заметим, что распространенным, хотя неправильным является мнение о необходимости устройства отверстий в своде для оживления работы передних участков решетки.

Расстояние от верхней точки свода до потолка топки должно быть в пределах 550—700 *мм* (у паровозов серии «Э»—610 *мм*, у паровозов серии «С^У» — 650 *мм*) для того, чтобы не получать затруднений для прохода газов над сводом. Вообще площадь прохода газов над сводом должна быть в $2^1/_4$—$2^3/_4$ раза больше живого сечения жаровых и дымогарных труб.

НТБ ДНУЖТ

Стрелка свода:

$$f = \left(\frac{1}{6} \div \frac{1}{7}\right) \cdot l, \tag{105}$$

где l — пролет свода.

Длина наклонной части свода берется такой, чтобы ОСТовский кирпич (ОСТ 3688) уложился в целом числе раз (три-шесть) в зависимости от общей длины свода.

Во всех наших старых паровозах (кроме серии «Е») своды выкладываются в виде выпуклой арки, опирающейся своими боками на фасонные головки соответствующих распорных связей. Уже в наших паровозах серий «Э^{м}», «С^{у}» и др. пролет свода оказывается настолько большим, что в нем возникают большие усилия на сжатие. Такой большой пролет обусловливает недостаточную жесткость и относительную недолговечность свода. Поэтому в мощных паровозах, с их значительно большей шириной топки свод может быть надежно укреплен только на циркуляционных трубах.

Конечно, условия работы сводов в паровозных топках являются особо тяжелыми, но тем не менее правильный выбор огнеупорных материалов и методов кладки гарантирует вполне исправную работу свода. Качество огнеупорных материалов должно удовлетворять общесоюзным стандартам (ОСТ 3688—3689). Из них важнейшими являются: 1) огнеупорность, 2) механическая прочность, 3) наименьшие деформации при высоких температурах, 4) химический состав (не допускается высокое содержание кремневой кислоты (SiO_2), 5) термическая устойчивость, 6) пористость огнеупорных изделий, 7) точность размеров и формы огнеупорных изделий, 8) теплопроводность, 9) химическая устойчивость огнеупоров.

Основные требования, соблюдение которых обеспечивает удлинение сроков стойкости огнеупорной футеровки, заключаются прежде всего в правильном подборе огнеупоров в соответствии с родом отопления. Для кладки должен применяться только клинчатый кирпич, так как при подтеске прямоугольного кирпича удаляется наиболее стойкая часть. В качестве связующей массы рекомендуется применять шихту из 60% шамота и 40% огнеупорной глины. Шов должен иметь толщину не более 3 *мм*. Самый процесс кладки следует производить при помощи кружал, а распределение раствора по кирпичу только специальной лопаточкой. Для устранения прилипания шлаков и нагара к своду его рекомендуется покрывать слоем буры, дающей стекловидную корку. Раствор буры составляется из 12 частей толченой буры на ведро горячей воды.

Весьма существенное значение для работы свода имеет его просушка, причем рекомендуется поступать следующим образом.

Вначале разводится огонь на древесном топливе, но так, чтобы пламя не достигало свода; затем температура постепенно в течение 2—3 часов повышается, но не свыше 250—300° и лишь после этого допускается дальнейшее повышение температуры. Вообще на просушку свода надо давать не менее 6 часов.

Что касается ухода за сводами, то ни в коем случае нельзя допускать исправления их в горячем состоянии паровоза. Как показывает практика ухода за сводами во время эксплуатации паровоза, иногда повреждения сводов вызываются загрязнением верхней части свода изгарью, отлагающейся на верху арки свода. С этой целью в сводах полезно со стороны огневой решетки оставлять несколько отверстий, через которые возможна очистка свода при промывках. В паровозах серий «ФД» и «ИС» свод с этой целью не доходит до ухватного листа тоже на 300 *мм*.

Опорами сводов в современных типах паровозов служат циркуляционные трубы, в старых же паровозах планки, прикрепленные к стенкам топки.

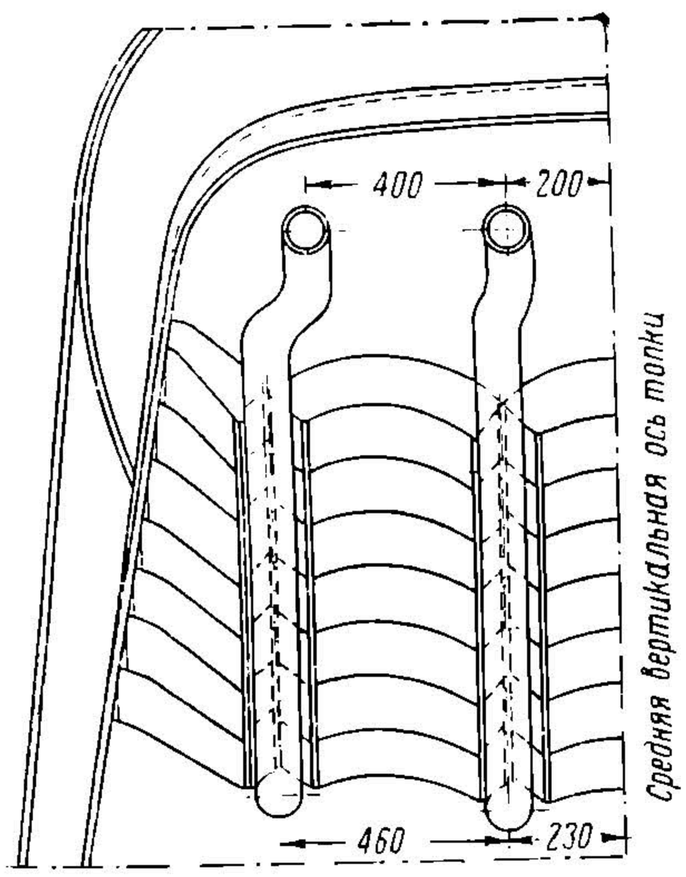
При всяком ремонте сводов планки и их укрепительные болты должны быть осмотрены; но в целях лучшей установки сводов все же целесообразнее их монтировать на циркуляционных трубах, которые должны ставиться также и на паровозах серий «Э^{у}» и «С^{у}».

НТБ ДНУЖТ

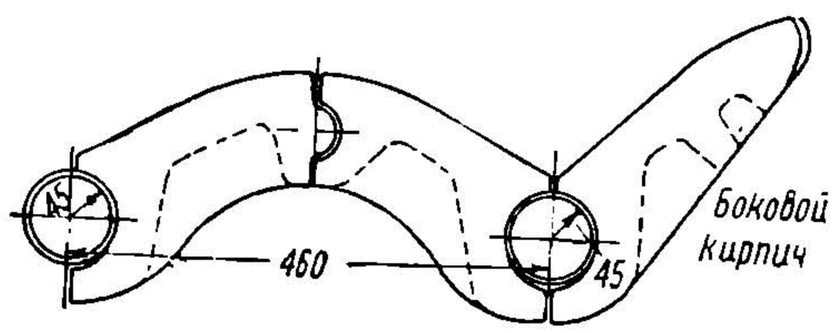
Уход за сводом и ег ремонт

Уход за сводом и ремонт его должны быть предметом особого внимания работников депо и ремонтных заводов. В этом отношении наиболее важное значение имеют качество огнеупорных материалов и способы установки сводов. Огнеупорная футеровка паровозных топок может выдерживать до 25 000 *км* пробега без всякого ремонта, но в то же время были случаи обвалов и после 1000—1500 *км*. Основные причины, вызывающие преждевременный износ огнеупорных сводов и футеровки паровозных топок, по исследованиям проф. Певзнера (см. Труды ВТА РККА за 1937 г., вып. III) могут быть сведены к следующим: 1) плохая кладка футеровки; 2) заправки паровоза без предварительной просушки; 3) неправильная конструкция сводов; 4) небрежное обращение со сводами в эксплуатации; 5) небрежное обращение с огнеупорными материалами при выгрузке; 6) применение для сводов прямого кирпича.

Расстояние между циркуляционными трубами делают таким, чтобы специальный фасонный кирпич как раз мог лечь своими закраинами на эти трубы. На фиг. 189 показан поперечный вид свода паровозов серий «ФД» и «ИС».



Фиг. 189.



Фиг. 190

Боковые кирпичи укладываются наклонно для получения надежной опоры их о вертикальную, а часто и о наклонную боковую стенку топки.

Если циркуляционные трубы изготовлены из обычной стали марки Ст.-1, то для защиты стенок труб от непосредственного воздействия со стороны газов сгорания оказываются весьма целесообразными составные кирпичи, показанные на фиг. 190.

Отверстия в передней части таких каркасных сводов получаются за счет положенных на передние участки циркуляционных труб небольших фасонных кирпичей, являющихся упорами для основных кирпичей свода.

В наиболее крупных топках паровозов США количество уносимого угля настолько велико, что это побудило американцев устраивать в передней части топки — за сводом — люк для периодического удаления уноса [1].

§ 3. Шуровочная дверка

Вопрос о наиболее рациональной конструкции шуровочной дверки имеет большое значение для улучшения работы топки и удобства обслуживания колосниковой решетки.

У старинных паровозов шуровочная дверка открывалась в сторону будки машиниста. Неудобства такой поворотной дверки налицо: и поступление в топку больших масс холодного воздуха, и возможность обжечься о горячую дверку, значительно выступающую в будку машиниста, и затруднительность выполнения шуровочного отверстия достаточной величины из-за соответствующего увели-

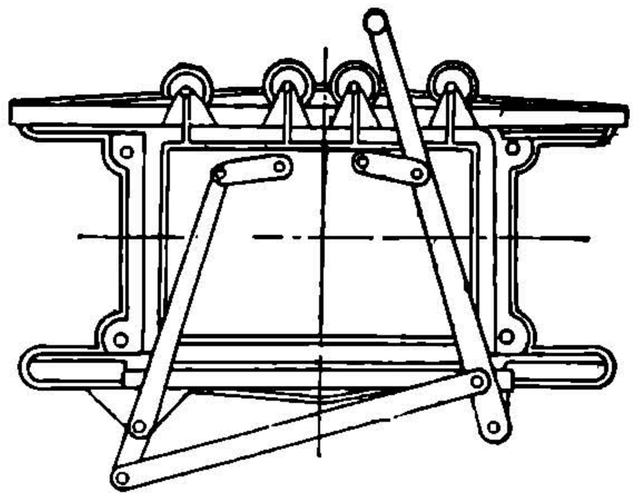
[1] См. И. М. Струженцов, Конструкций паровозов.

НТБ ДНУЖТ

чения размеров самой поворотной дверки. Между тем для забросси топлива в задние углы широких решеток большие шуровочные отверстия оказываются весьма удобными.

На смену поворотным дверкам появились раздвижные двустворчатые дверки (фиг. 191), представляющие собой шаг вперед по сравнению со старыми одностворчатыми. Повертывая рычаг дверки, мы раздвигаем в разные стороны створки.

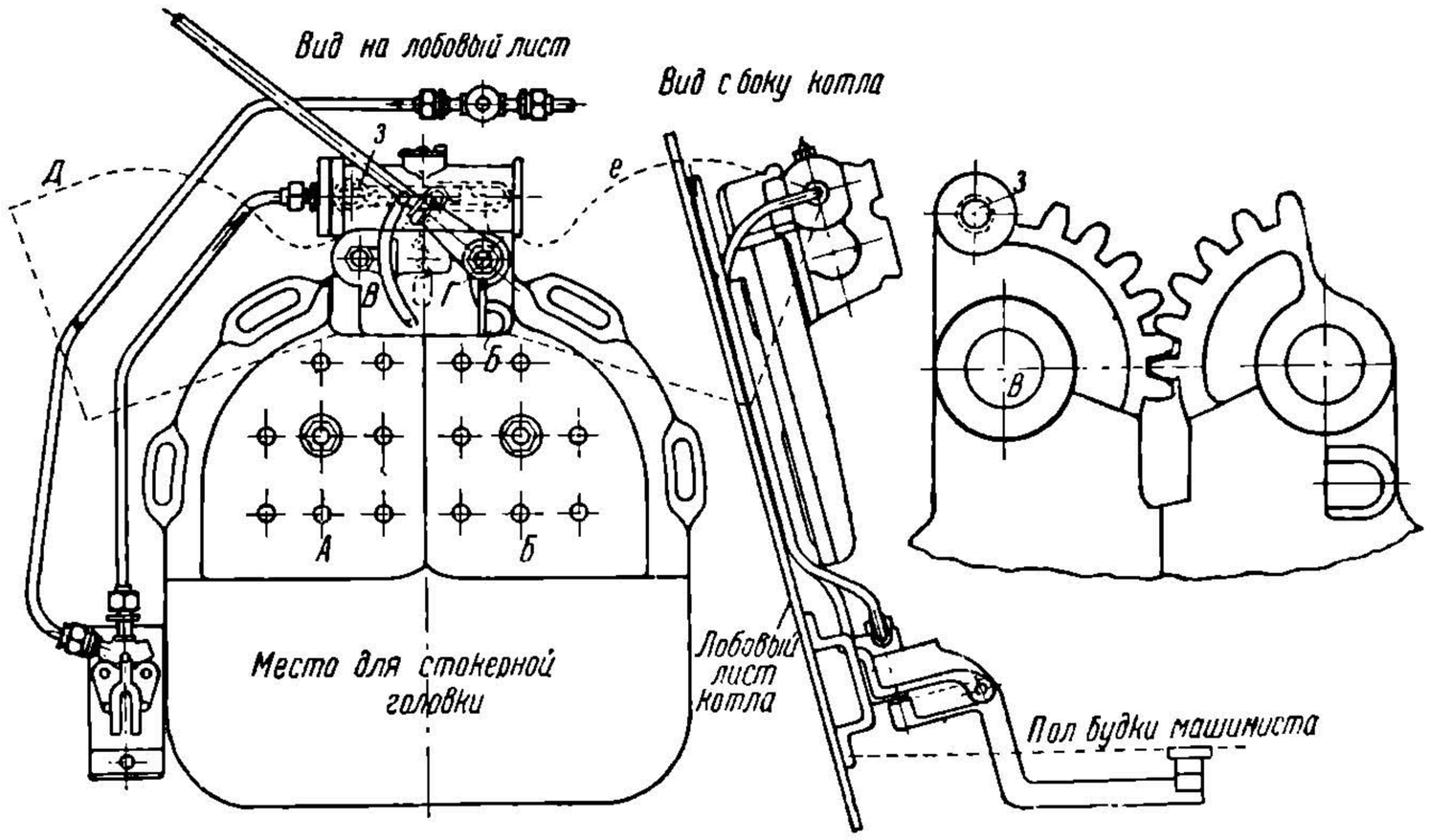
Общим недостатком всех типов применяющихся на наших старых паровозах шуровочных дверок является необходимость держать дверку при подбрасывании топлива продолжительное время открытой. В поездной службе, когда в особенности нужно избегать охлаждения топки поступающим в нее холодным воздухом, приходится вести забросску топлива «с прихлопом»: кочегар или машинист открывают дверку перед каждым броском топлива и после этого сейчас же закрывают ее. Поэтому в пути забросска топлива требует участия двух человек.



Фиг. 191.

Значительно лучшие дверки — воздушные автоматические, открывающиеся при нажатии ногой на педаль, расположенную на уровне пола будки машиниста возле шуровочного отверстия. На фиг. 191а показана такая автоматическая двустворчатая дверка. Створки дверки вращаются вокруг стержней *В* и *Г* расположенных в верхней части створок (см. также отдельную проекцию створок). Обе створки имеют зубчатые секторы, сцепленные друг с другом; при повертывании одной створки повертывается и другая. Зубчатые секторы створок показаны на отдельной проекции.

Над дверкой расположен горизонтальный воздушный цилиндр, открытый с правой стороны; в цилиндре помещен поршень, перемещающийся от левой



Фиг. 191а.

крышки вправо под давлением впущенного в левую полость цилиндра воздуха. Поршень имеет палец, выходящий наружу боковой поверхности цилиндра и соединенный с ушком *3* левой створки посредством серьги. Таким образом при перемещении поршня слева направо дверка распахивается.

По воздухопроводной трубке воздух подается к расположенному над полом будки машиниста клапану, открываемому нажатием педали. Закрывается дверка под действием силы тяжести створок.

НТБ ДНУЖТ

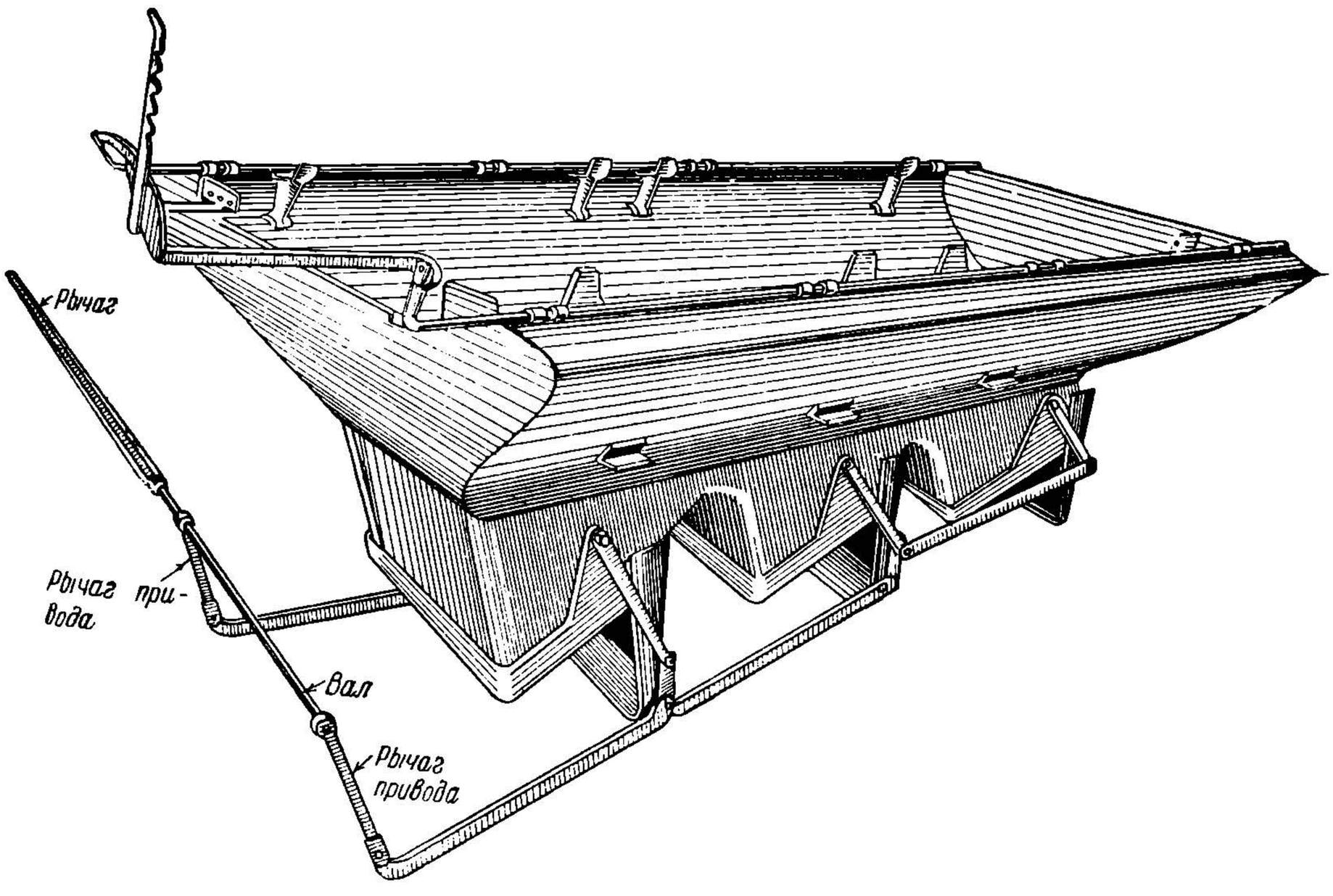
При отсутствии воздуха открывать дверку можно и вручную, для чего служит верхний рычаг, снабженный зубом в своей нижней части. При нажатии рычага зуб упирается в выступ правой створки, и таким образом правая створка становится «ведущей», а левая — «ведомой». При работе воздухом рычаг остается в покое, будучи закинут в углубление особой дуги, привернутой к рамке дверки. Эта же дуга имеет углубление и в своей нижней части, куда заводится рычаг при необходимости оставить на некоторый срок дверку в открытом положении.

Работа с такой дверкой очень удобна. Забрав лопату угля, помощник нажимает на педаль, и дверка открывается как раз в последний момент. Закрывается дверка тотчас же, как только помощник вынет лопату из топки, т. е. откинется немного назад и «отпустит» педаль.

§ 4. Зольник

Размеры зольника должны быть возможно большими. Многозольные угли, а также большие пробеги между пунктами, где может быть произведена чистка зольника, значительные форсировки, когда большое количество сжигаемого топлива вызывает относительно быстрое накапливание золы и шлака, все эти обстоятельства обусловливают всемерное стремление к увеличению объема зольника.

Корпус зольника прежде делался клепаным, теперь делается сварным. Материал — Ст.-0. Толщина листов по условиям жесткости и долговечности выби-



Фиг. 192.

рается 5—7 *мм*. Для удобства сборки и разборки зольника и установки его под котлом предусматриваются места разъема зольника на несколько частей, соединяемых одна с другой болтами. Стандарты зольников даны в ОСТ НКПС 101.

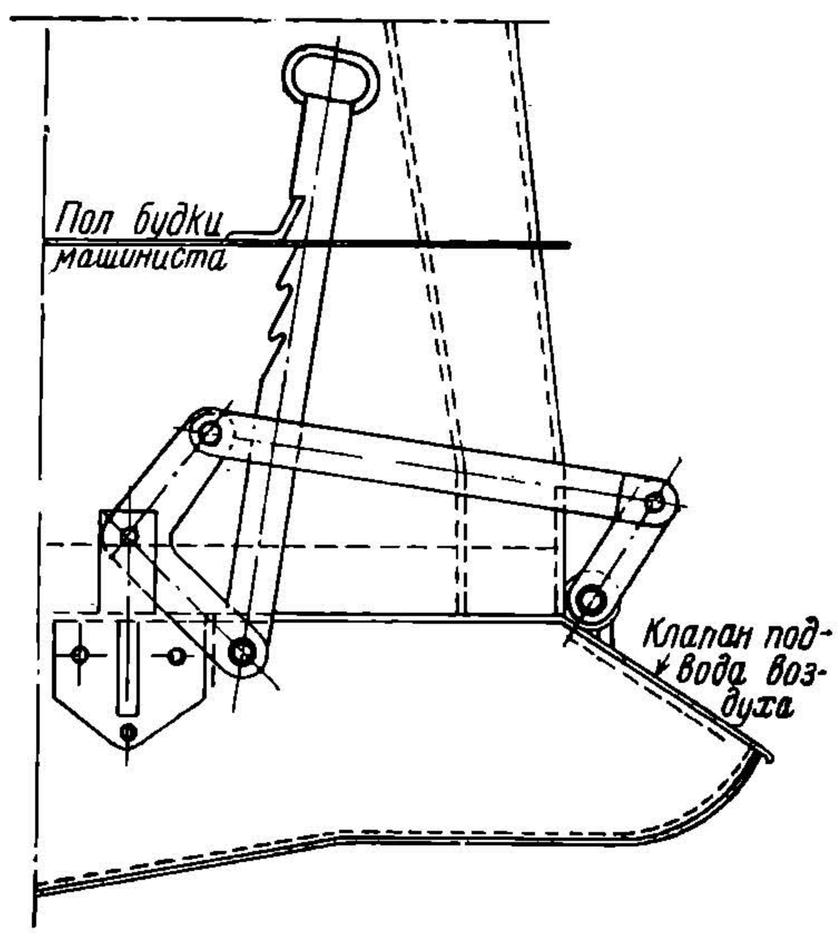
Крепление зольника к обвязочной раме выполняется или на шпильках, ввернутых в нижнюю плоскость ее, или же на простых штырях, ввернутых в те же места рамы. Подвешенный зольник укрепляется на этих штырях с помощью разводных чек. Часто предусматривают дополнительное укрепление зольника к раме паровоза.

НТБ ДНУЖТ

На фиг. 4 паровоз «Эм» изображен с зольником старого типа. Очистка такого зольника производится через передний и задний клапаны, подводящие воздух.

Зольник, изображенный на фиг. 4 для паровозов серии «Эм» последних выпусков, был переделан на «бункерный» тип. Такие же бункерные зольники имеют и паровозы серий «ФД» и «ИС». Число бункеров зольника у этих паровозов — три; у паровозов серий «СО» и «Эм» число бункеров — два. Заслонки (клапаны) бункеров открываются посредством ручного рычажного привода. Очистка такого зольника — проста и производится очень быстро. Перед очисткой зольника шлак и золу необходимо залить при помощи специальной трубки от инжектора.

Если подвод воздуха в зольник у наших старых паровозов осуществляется через отверстия в передней и задней поперечных стенках зольника, то у зольников крупных паровозов применяется всегда б о к о в о й впуск воздуха — через узкие продольные отверстия, расположенные с боков топки (фиг. 192, 193) во всю ее длину.



Фиг. 193.

Поперечный впуск воздуха, применяющийся у наших старых паровозов, не дает равномерного обслуживания воздухом всей площади колосниковой решетки, в особенности ее средних (по длине топки) участков. По мере увеличения длины топки эта неравномерность сказывается все больше и больше. Применяя же боковой впуск, мы имеем равномерное обслуживание всей длины топки независимо от длины колосниковой решетки. Правда, при боковом впуске равномерность подачи воздуха полностью осуществить также не удается, так как боковые участки решетки, ближайшие к отверстиям зольника, получают больше воздуха, чем лежащие ближе к середине, но с этим легко бороться, устанавливая например воздухонаправляющие планки.

Отверстия для прохода воздуха должны соответствовать площади колосниковой решетки. Для того чтобы сопротивление проходу воздуха в зольнике было минимальным, практически не отражающимся на увеличении разрежения в дымовой коробке, суммарная площадь отверстий должна быть:

$$\sum F \lessdot \left(\frac{1}{4.5} \div \frac{1}{6}\right) R. \qquad (106)$$

Многие наши старые паровозы имеют меньшие значения ΣF.

§ 5. Искроудержатель

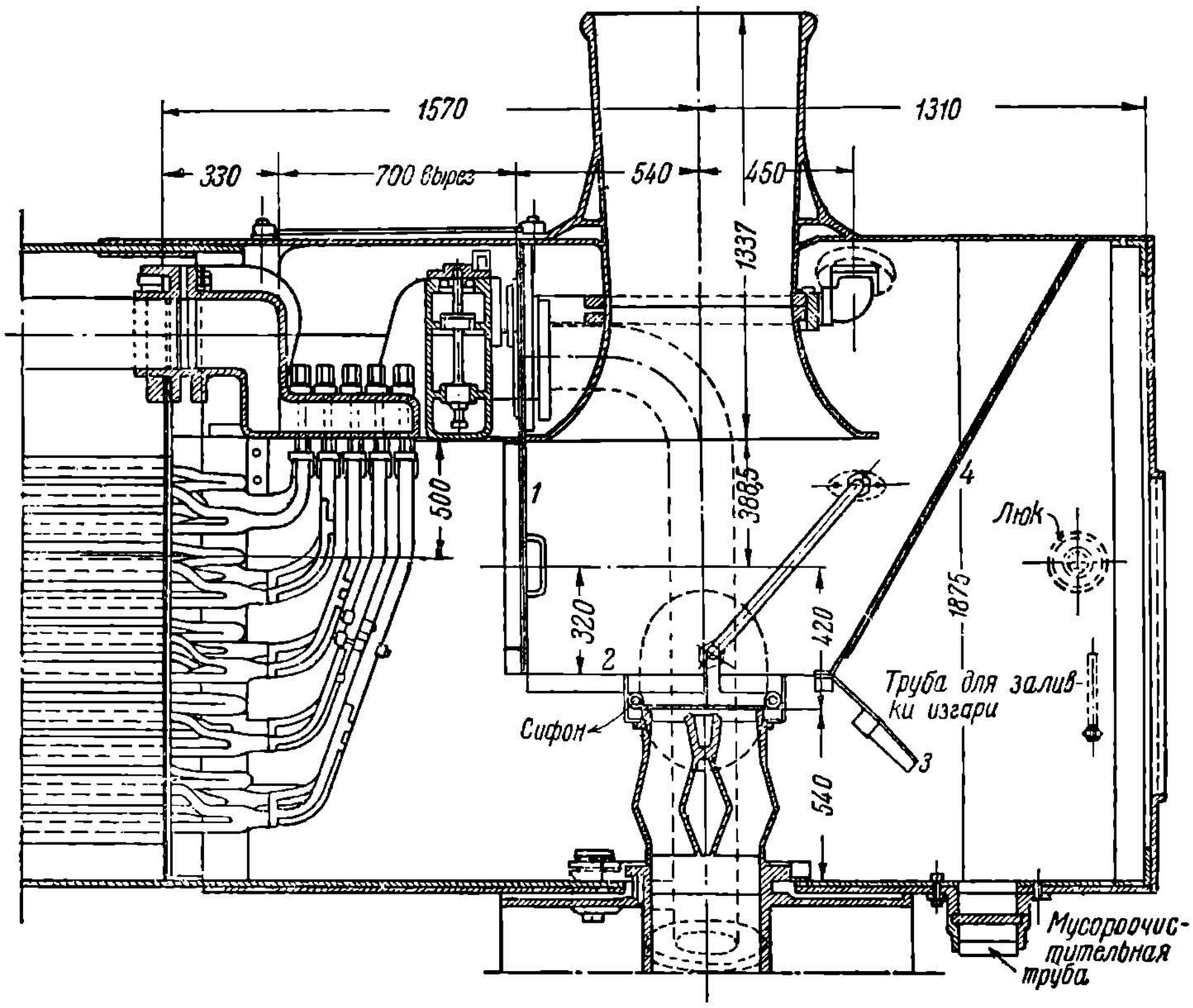
Искроудержатель является необходимой принадлежностью дымовой коробки при отоплении паровоза твердым топливом. Искры, вылетающие из трубы паровоза, могут принести огромный ущерб народному хозяйству (пожары). Согласно § 200 ПТЭ «На каждом паровозе с дровяным или угольным топливом должны быть вполне исправные искроуловительные или искрогасительные приборы».

В прежнее время искроудержатели конструировались для установки главным образом в дымовой трубе паровоза; в итоге имели место плохое задерживание искр, ухудшение тяги и парообразования. В настоящее время следует считать установленным, что все устройства для задержания искр при угольном отоплении должны располагаться только в дымовой коробке, где для

НТБ ДНУЖТ

этого имеется значительно больше возможностей, в первую очередь в смысле м е с т а, где могут быть размещены искроудержатели. При дровяном отоплении до сих пор находят применение центробежные (турбинные) искроудержатели. Последние размещаются в дымовой трубе, имеющей увеличенные диаметр и высоту.

Наиболее простым искроудержателем, работающим в общем удовлетворительно, являются сетки, окружающие нижнюю (смесительную) часть дымовой трубы и конус. На паровозе серии «Э^{м}» (фиг. 4) применен такой сеточный искроудержатель, расположенный между трубой и петикотом и между петикотом и конусом. Дно искроудержателя изготовляется из сетки или, лучше, из перфорированной листовой стали с отверстиями диаметром 10 *мм*; боковые части искроудержателя изготовлены в виде проволочной сетки (ОСТ 794) с ячейками



Фиг. 194.

размером 6 × 6 *мм* (проволока диаметром 1,6 *мм*) или также в виде панцырной сетки. Пролетающие через мелкие отверстия сеток искры столь не велики по своим размерам, что догорают еще в воздухе, вылетев из дымовой трубы, и не могут явиться причиной пожара.

Сеточные искроудержатели сравнительно быстро прогорают и требуют смены.

На паровозах серии «ФД» применяются так называемые дефлекторные искроудержатели, изображенные на фиг. 194; на этом чертеже показаны и другие детали дымовой коробки паровоза серии «ФД». Существенными частями такого искроудержателя являются, во-первых, вертикальная поперечная перегородка *1*, как бы разделяющая дымовую коробку на две части; эта перегородка располагается между дымовой трубой и коллектором таким образом, что не доходит до нижней образующей барабана дымовой коробки примерно на $^{1}/_{3}$ диаметра барабана; во-вторых, горизонтальная перегородка *2* с отверстием для конуса; эта перегородка соединяется задней своей кромкой с вертикальной перегородкой; в-третьих, наклонный козырек *3*, укрепленный к передней кромке горизонталь-

НТБ ДНУЖТ

ной перегородки; в-четвертых, большая сетка *4*, расположенная наклонно в передней части дымовой коробки. Рассматривая общее расположение перегородок, мы видим, что выхлопы пара в конус создают прежде всего разрежение в верхней части дымовой коробки, отгороженной перегородками и сеткой. За счет создавшегося разрежения газы устремляются в трубу, но, прежде чем попасть в нее, проходят под горизонтальной перегородкой и огибают наклонную стенку. Наклонная стенка поставлена так, что под ней остается суженный проход для газов. Скорость их в этом месте резко возрастает, и по инерции кусочки угля пролетают вперед, отделяясь от газов и собираясь в переднем нижнем углу дымовой коробки, в то время как газы, освободившись от унесенных крупных кусков, проходят через сетку, где теряют и мелкие кусочки угля.

Собирающаяся главным образом в передней нижней части дымовой коробки изгарь постепенно догорает за счет беспрестанного омывания ее газами сгорания, всегда содержащими в себе свободный кислород. Это свойство дефлекторного искроудержателя постепенно дожигать отделившиеся от газов угольки позволяет работать без очистки дымовой коробки длительные отрезки времени. Американцы называют поэтому дефлекторные искроудержатели «самоочищающимися». Правда, это догорание угля вызывает сравнительно быстрое изнашивание предохранительного листа барабана дымовой коробки и вызывает необходимость укреплять изнутри на дверке дымовой коробки защитный (полукруглый) лист. Для очистки дымовой коробки от мусора в передней ее части предусматривается мусороочистительная труба, закрываемая заслонкой. Перед очисткой изгарь необходимо залить водой; для этой цели предусмотрена трубка (от инжектора).

Для дефлекторных искроудержателей Армстронг (США) рекомендует сечение для прохода газов под горизонтальным листом дефлектора делать:

$$F_1 = (1{,}0 \div 1{,}1)\,\Omega_{ж+д}, \tag{107}$$

где $\Omega_{ж+д}$ — живое сечение жаровых и дымогарных труб. Наиболее узкое сечение под наклонным козырьком:

$$F_2 \cong 0{,}7 \cdot \Omega_{ж+д}. \tag{108}$$

Дефлекторные искроудержатели не свободны от некоторых существенных дефектов; путь газов в дымовой коробке при наличии такого искроудержателя удлиняется, величина необходимого разрежения увеличивается, так как, помимо общего удлинения пути газов сгорания, им приходится сообщать увеличенную скорость. Кроме того, недостатком является и значительное загромождение дымовой коробки, неудобное в эксплуатации паровоза (осмотр элементов, смена их и т. д.). Правда, вертикальная перегородка делается из отдельных, быстро разбирающихся щитов, но все же конструкция несколько неудобна.

В США испытаны и зарекомендовали себя с положительной стороны новые типы центробежных искроудержателей, работающих без всякого добавления сеток или перегородок. Последнее обусловливает значительное уменьшение сопротивления искроудержателя [1].

§ 6 Аппарат тяги газов сгорания

Основные сведения о тяге газов конусом и вентилятором

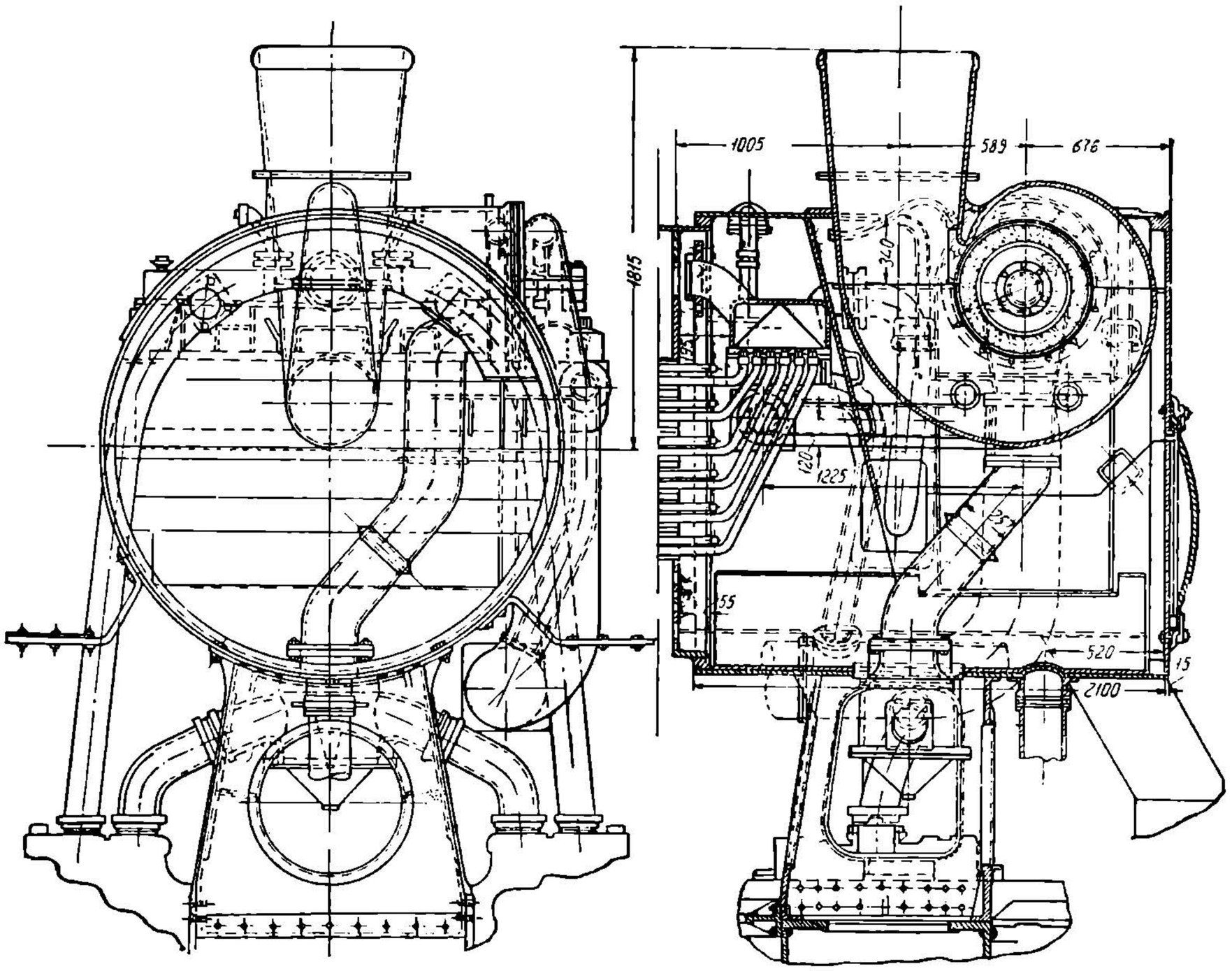
Крайне напряженная работа паровозного котла возможна только при наличии энергичной искусственной тяги газов сгорания. Коническое сужение отверстия выхлопной трубы, увеличивая скорость выходящего пара, дает значительное разрежение в дымовой коробке — до 200 *мм* водяного столба и больше. Конус получил применение еще на первых паровозах и твердо удерживается

[1] О центробежных искроудержателях см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ

и в современном паровозостроении, хотя за последнее время и появились вентиляторные дымососы, осуществляемые например в связи с введением конденсации отработавшего пара. Рассмотрим преимущества искусственной тяги газов сгорания (конусом) перед естественной, распространенной в стационарных котельных установках.

Первое основное достоинство конусной установки — возможность относительно большого паросъема котла, имеющего достаточно компактные размеры. Другим основным достоинством конуса является уже известная нам почти полная автоматичность его работы, чрезвычайно ценная при переменном режиме работы паровоза: чем больше пара расходуется котлом, тем больше котел его и приготовляет (больший расход пара дает большее разрежение в топке и связанное с ним усиленное горение топлива). Наконец, достоинством конуса является крайне простое и компактное оформление всех его деталей.



Фиг. 195.

Зависимость величины разрежения от количества выхлопного пара, вообще говоря, ценная при нормальной работе паровоза, иногда является и отрицательным моментом, когда например нужно усилить горение в топке при небольшом расходе пара. Здесь приходится пользоваться сифоном, лишь частично достигающим своей цели, или ставить на паровоз конус с переменным сечением выхлопного отверстия. С другой стороны, для работы конуса нужно подводить к нему, т. е. выбрасывать в атмосферу, большие массы отработавшего пара и терять таким образом содержащееся в них огромное количество воды (и тепла). Эти соображения побудили изыскивать способы вообще отказаться от применения конуса, заменив его другими, более совершенными способами тяги. Если вдувание особыми форсунками воздуха в топку не получает распространения, а в том виде, как предложены такие приборы, не может получить его (большой расход пара на форсунки, необходимость останавливать дутье для каждой

НТБ ДНУЖТ

подброски топлива), то «механическая» тяга газов сгорания дымососами заслуживает серьезного внимания.

В стационарной котельной практике, а за последние годы — и в паровозном деле — тяга газов сгорания дымососами, установленными у основания дымовых труб, себя вполне зарекомендовала. У таких паровозов разрежение в дымовой коробке достигается работой вентилятора, установленного в дымовой коробке. Одним из существенных преимуществ вентиляторного дымососа перед конусом является вполне равномерное разрежение в дымовой коробке и, следовательно, в топке. Пульсации разрежения, неизбежные при работе конуса с его отдельными резкими выхлопами, здесь отсутствуют вовсе. Сгорание топлива на решетке даже при больших форсировках происходит в достаточно спокойных условиях топлива, унос, а также и провал резко уменьшаются, к. п. д. котла возрастает, мощность его увеличивается.

На фиг. 195 показана дымовая коробка паровоза серии «СО» с конденсацией пара. Дымосос состоит из паровой турбины мятого пара (могущей работать и свежим паром) и вентилятора, колесо которого посажено на вал турбины, проходящий через дымовую коробку. Корпус турбины виден справа на левой проекции.

Под рукой у машиниста имеется маховичок вентиля, посредством которого машинист перепускает большую или меньшую часть выхлопного пара из машины паровоза, минуя турбину дымососа, — непосредственно в трубу мятого пара, идущую к тендеру. Такое устройство дает машинисту возможность в самых широких пределах регулировать работу дымососа, т. е. и работу топки.

Рассмотрим теперь устройство и работу к о н у с н о й установки, пользующейся исключительным распространением на всех паровозах, не снабженных конденсаторами.

Тяга газов сгорания посредством конуса осуществляется постановкой в дымовой коробке: 1) насадка («форсового конуса»), сужающего выхлопное отверстие пароотводных труб; 2) петикота или иного устройства, облегчающего нужное заполнение дымовой трубы газами сгорания без подсоса воздуха через трубу в дымовую коробку и без удара струи отработавшего пара о кромки нижнего отверстия трубы и тем более о барабан дымовой коробки; и 3) дымовой трубы. Эти три основных элемента, вместе взятые, и составляют один органически целый аппарат искусственной тяги газов сгорания.

Р а с п о л о ж е н и е к о н у с а и д ы м о в о й т р у б ы

Как указано выше, все части вытяжного устройства должны быть размещены так, чтобы была обеспечена нужная тяга газов в трубу при минимальном давлении пара, подводимого к конусу.

На фиг. 4 показано общее расположение всех частей вытяжного устройства паровоза серии «Э^{м}». Непосредственно над конусом расположен цилиндрический патрубок с раструбом внизу, петикот. Между конусом, петикотом и дымовой трубой размещены уже известные нам искроудержательные сетки. Заметим, что петикот частично выравнивает тягу во всех жаровых и дымогарных трубах, так как газы сгорания засасываются в дымовую трубу как из верхней части дымовой коробки (сетка между петикотом и дымовой трубой), так и из нижней (сетка между петикотом и конусом). Петикот сам по себе является элементом, задерживающим, как бы тормозящим вылет смеси газов сгорания и пара, и, кроме того, петикот, охватывая на некоторой высоте струю пара, уменьшает поверхность соприкосновения ее с газами и тем самым частично ухудшает тягу. Стремление освободиться от петикота вполне обосновано.

Петикоты большой пользы не приносят, и при соответствующем подборе диаметров конуса и трубы и при выборе рациональной конфигурации нижней части дымовой трубы могут отсутствовать. Если петикот является необходимой принадлежностью вытяжного устройства почти всех наших старых паровозов (отсутствуют на паровозах серий «С^{У}», «Е»), то на новых мощных паровозах они не ставятся вовсе.

НТБ ДНУЖТ

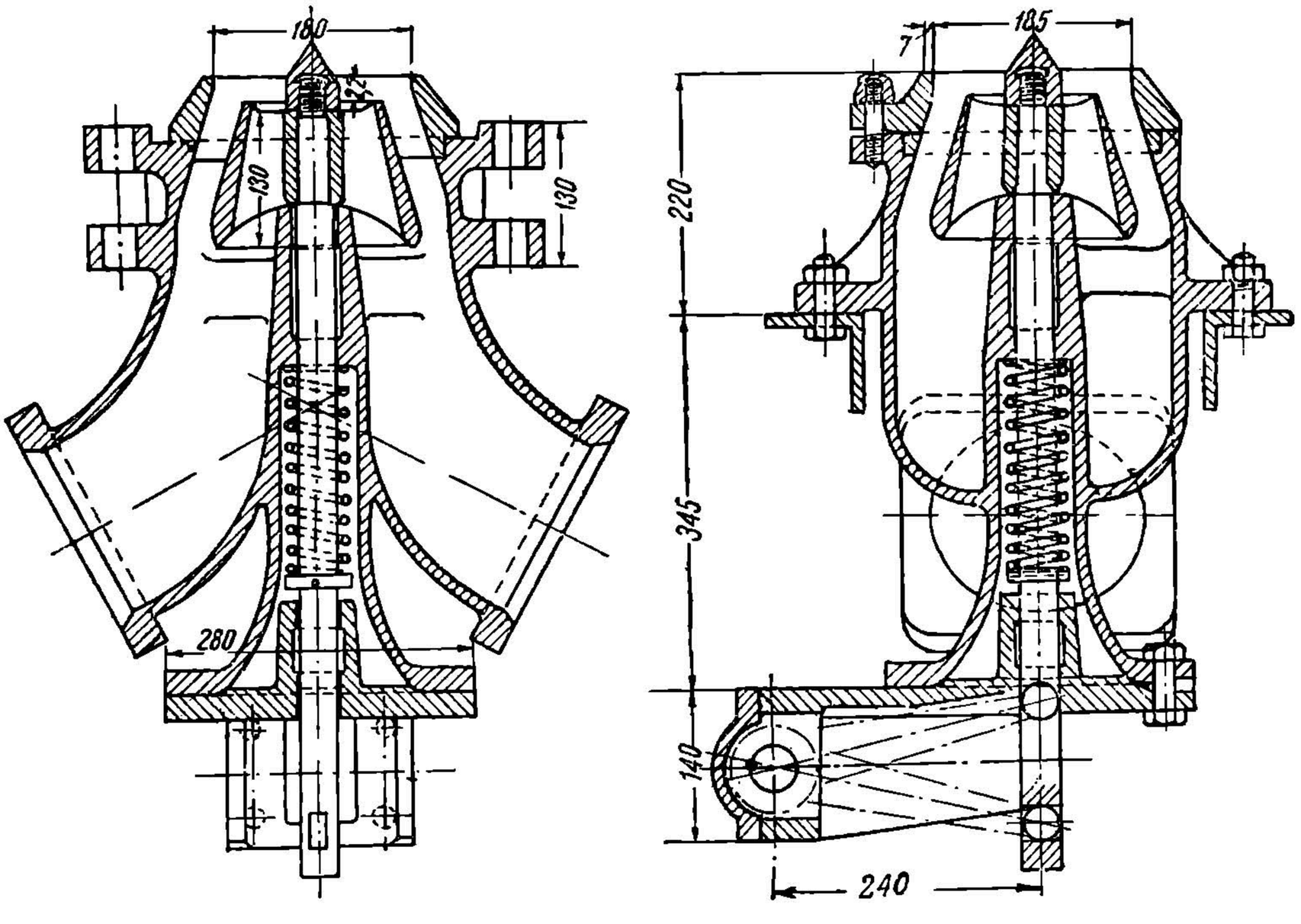
Размеры конуса и дымовой трубы выбираются на основании расчетов. Взаимное расположение конуса, петикота и трубы устанавливается главным образом на основании законов истечения струи, отчасти на основании опытных данных. Размеры конуса и дымовой трубы находятся в теснейшей органической связи один с другим. Сравнивая расположение дымовой трубы и самого конусного насадка (паровозов серии «Э^{м}» по фиг. 4 и паровозов серии «ФД» по фиг. 194), мы видим, что у первого труба расположена целиком над дымовой коробкой, у второго наполовину у т о п л е н а в дымовую коробку, но отношение длины тубы к ее диаметру остается примерно одно и то же.

Понижение трубы относительно верхней образующей дымовой коробки у мощных паровозов вызывается габаритными соображениями. Крупнейшие американские паровозы, по тем же соображениям, имеют дымовые трубы, возвышающиеся над дымовой коробкой на 250—280 *мм*. Но общая высота трубы при этом отнюдь не должна быть меньше установленных минимальных величин.

Что касается конуса, то его выхлопное отверстие должно быть по возможности отдалено от нижнего отверстия дымовой трубы для того, чтобы получить наибольшую поверхность соприкосновения газов сгорания, заполняющих дымовую коробку, с отработавшим паром.

Т и п ы и к о н с т р у к ц и и к о н у с о в

Почти полная автоматичность работы конуса постоянного сечения и невозможность изменять ее, приноравливаясь к виду и сорту топлива, профилю и другим факторам, обусловливающим необходимость этого изменения, привели к внедрению в наше старое паровозостроение переменных конусов, с переменной величиной сужения выхлопного отверстия. Сужая отверстие или, как говорят, затягивая конус, машинист увеличивает скорость вылетающего через это отверстие пара. При этом увеличивается и разрежение в дымовой коробке, т. е. оживляется горение. Переменный конус паровоза серии «Э^{у}» пока-



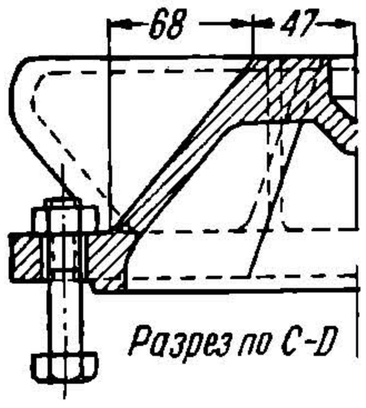
Фиг. 196.

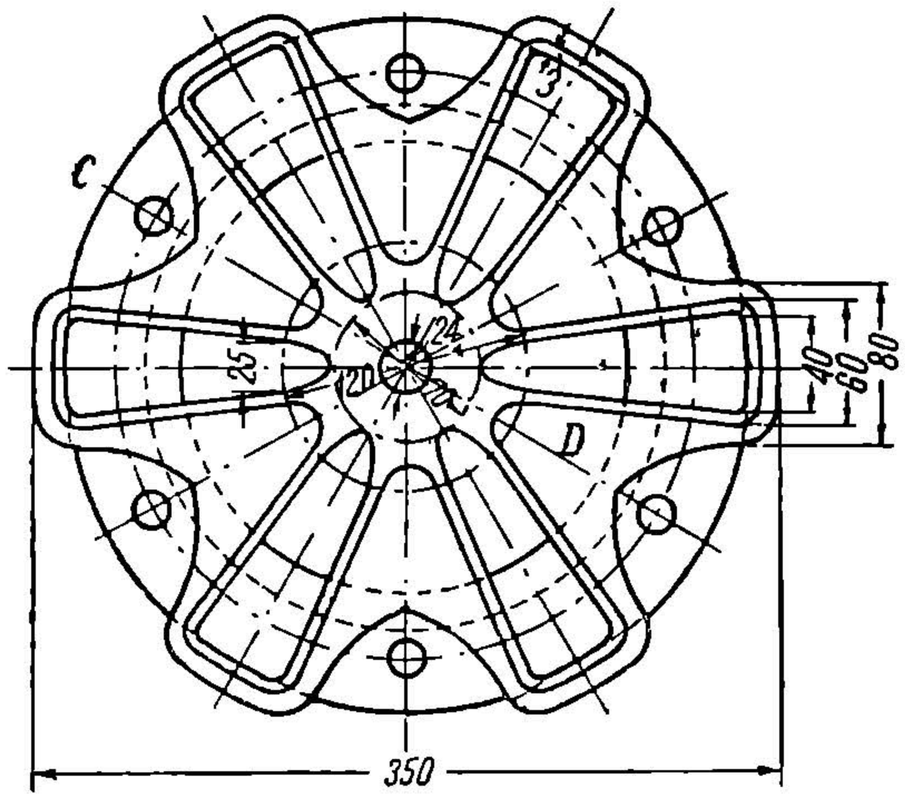
НТБ ДНУЖТ

зан на фиг. 196. Сужение достигается перемещением (привод из будки) конической пустотелой груши вверх (конус показан отпущенным).

Затянутый конус, давая более оживленное горение топлива, одновременно ухудшает условия работы машины: при затянутом конусе увеличивается противодавление в цилиндрах, и на преодоление противодавления (до 2—3 *am*) тратится соответствующая доля работы пара в рабочей полости цилиндра. Полезная мощность машины таким образом уменьшается при том же расходе пара. Поэтому по миновании надобности конус непременно надо отпустить. Учитывая, что сечение постоянного конуса может быть подобрано так, что парообразование будет более или менее удовлетворительным для преимущественного режима паровоза и для сжигаемых на жел.-дор. транспорте углей, НКПС еще ряд лет назад предложил выпускать все вновь строящиеся паровозы с постоянными конусами.

Конусная установка имеет чрезвычайно большое значение в деле улучшения работы паровоза, повышения его мощности. Целый ряд последних лет производят как у нас в СССР, так и за границей (в особенности во Франции) большие исследовательские работы и практические испытания новых конструкций конусов. Так, одно время (1930—1933 гг.) получали распространение новые ф а с о н н ы е насадки конусов, улучшающие работу паровоза.





Фиг. 197.

Фасонные насадки конусов обеспечивают значительно большее разрежение в дымовой коробке при одновременном понижении противодавления в цилиндрах.

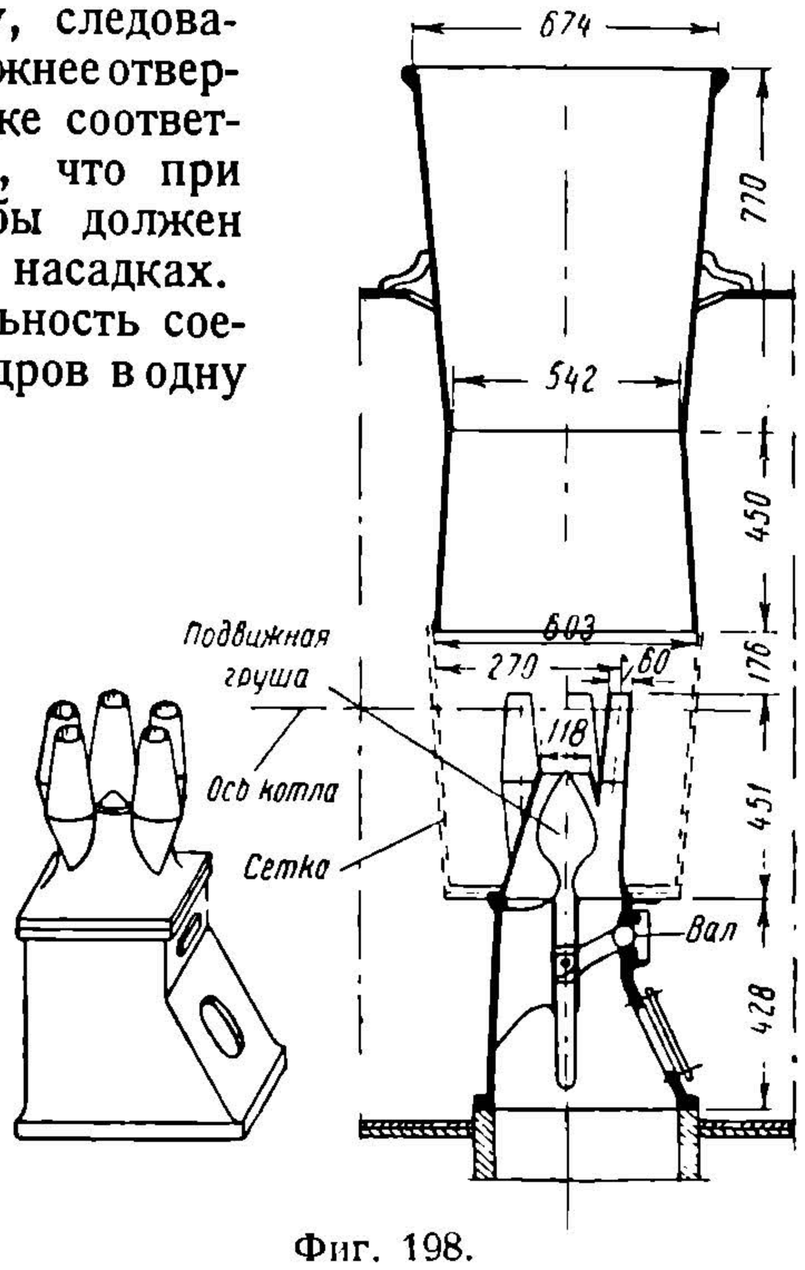
В простейшем виде фасонный насадок конуса можно получить, поставив в выхлопное отверстие круглого конуса небольшое ребро — рассекатель; струя вылетающего пара разделяется на две струи полукруглого сечения. Поверхность соприкосновения газов и пара значительно увеличивается, увеличивается и тяга в трубу. Конечно, площадь прохода пара должна быть сохранена прежней, т. е. конус надо соответственно расточить.

Более рациональными фасонными насадками являются прямоугольные, крестообразные, звездчатые. Действительно, струя отработавшего пара, имеющая круглое сечение (обычный «конус»), имеет относительно небольшую поверхность соприкосновения с газами, так как круг представляет собой геометрическую фигуру с наименьшим периметром при данной площади. При круглом конусе значительная доля пара, находящаяся в центральных внутренних участках сечения струи, выбрасывается почти непроизводительно, так как, будучи окружена периферийными слоями пара, не входит в непосредственное соприкосновение с газами сгорания, заполняющими дымовую коробку. Придав отверстию насадка прямоугольную, крестообразную, а еще лучше — «звездчатую» форму, мы увеличиваем п е р и м е т р сечения струи и тем самым увеличиваем поверхность соприкосновения пара с газами сгорания. Звездчатый насадок конуса показан на фиг. 197 в применении к паровозам серии «ФД». Здесь паровая струя р а с щ е п л я е т с я на шесть

НТБ
ДНУЖТ

отдельных струй; общий периметр достигает больших значений, в несколько раз превосходящих периметр сечения равновеликого круглого конуса. Разрежение увеличивается еще более, что позволяет пойти на значительное увеличение суммарной площади прохода. Правда, здесь сказывается и увеличенное сопротивление проходу пара через такой фасонный насадок, но в значительно меньшей степени по сравнению с увеличением разрежения. Во всяком случае фасонные насадки конусов могут иметь суммарную площадь сечения на 20—25% больше сечения простого круглого насадка. Звездчатые насадки конусов дают увеличение мощности паровоза в среднем на 4—5%. В 1935 г. во Франции был испытан и, судя по литературным источникам, дал до 10% экономии расхода топлива переменный конус системы Леметра, показанный на фиг. 198. Конус имеет пять отверстий — сопел по окружности и одно — центральное большое, снабженное подвижной грушей.

Рассматривая фиг. 197, мы видим, что общий диаметр насадка здесь достигает очень большой величины — 350 *мм*. Следовательно, такой начальный диаметр будет иметь струя вылетающего из насадка пара. Струя всегда имеет коническую форму, следовательно, в верхней ее части, входящей в нижнее отверстие дымовой трубы, диаметр будет также соответственно больше, т. е. в итоге мы видим, что при фасонных насадках диаметр дымовой трубы должен быть бóльшим, чем при круглых простых насадках.



Фиг. 198.

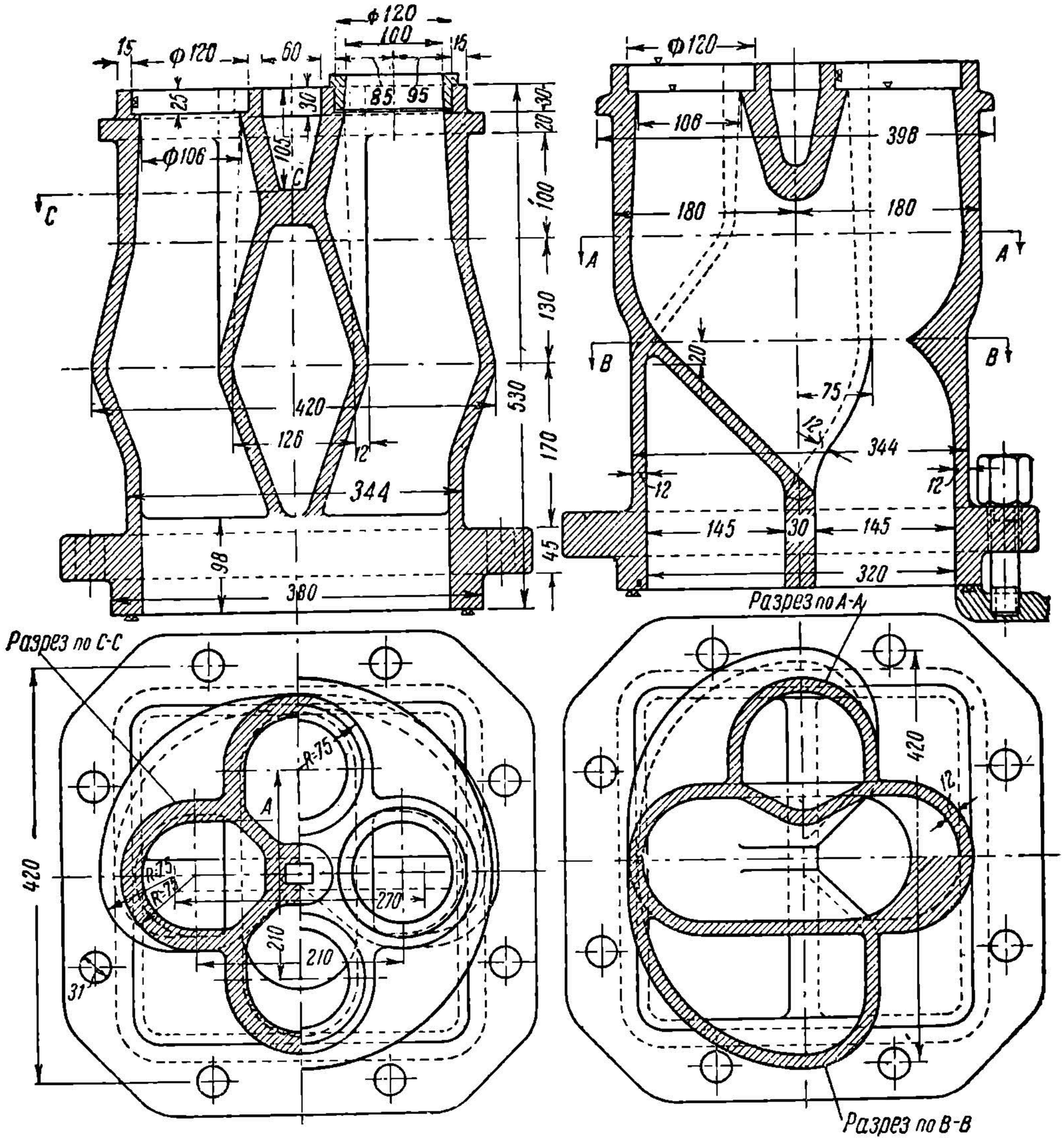
Уже давно была замечена нерациональность соединения выхлопных труб от обоих цилиндров в одну трубу, являющуюся основанием конуса, на которое и устанавливается насадок конуса. Выхлопы из цилиндров по времени не совпадают один с другим, и поэтому в тройнике, где трубы от обоих цилиндров соединяются в одну, всегда имеют место, во-первых, значительное завихрение струи, вызывающее потери энергии выхлопного пара, и, во-вторых, перетекание части пара из выхлопной трубы одного цилиндра—в выхлопную трубу другого цилиндра; в последнем поэтому увеличивается давление на нерабочую сторону поршня и уменьшается полезная работа.

Стремление к уменьшению потерь энергии пара при выхлопе в конус привело к мысли сделать р а з д е л ь н ы й в ы х л о п, когда для каждого из цилиндров в конусе предусматриваются «свои» отвер тия. изолированные от выхлопных отверстий другого цилиндра. На фиг. 199 показан конус с раздельным выхлопом пара для паровозов серий «ФД» и «ИС». От каждого цилиндра пар выходит в два выхлопных насадка. Итак, здесь мы имеем все четыре отверстия, попарно обслуживающие паровые цилиндры. По сравнению с обычными конусами прежних систем конусы с раздельным выхлопом отличаются незначительным противодавлением в цилиндрах — в среднем в два с лишним раза меньшим; это дает заметное увеличение площади индикаторной диаграммы (на 6—7%).

В работе четырехдырные конусы с раздельным выхлопом зарекомендовали себя с положительной стороны. Из всех имеющихся — они наилучшие. На фиг. 200 показана зависимость между разрежением в дымовой трубе и противодавлением в цилиндрах паровозов серии «ФД» для различных систем конусов. Кривые наглядно показывают значительные преимущества конуса с раздельным выхлопом. Все вновь строящиеся паровозы, включая сюда и паровозы серий «СО» и «СУ», имеют 4-дырные конуса с раздельным выхлопом пара. Паро-

НТБ ДНУЖТ

возы серий «Э» и «СУ», проходящие капитальный ремонт, теперь оборудуются такими конусами. Недостатками рассматриваемых конусов являются все же, во-первых, некоторый подсос изгари из дымовой коробки в золотники и цилиндры (при езде без пара). Вторым недостатком, на который у нас к сожалению мало обращают внимание, является неравномерное заполнение дымовой трубы: каждый выхлоп происходит лишь в два патрубка, расположенные один возле другого. Если так, то струя пара имеет примерно эллиптическую форму, и при круглом сече-

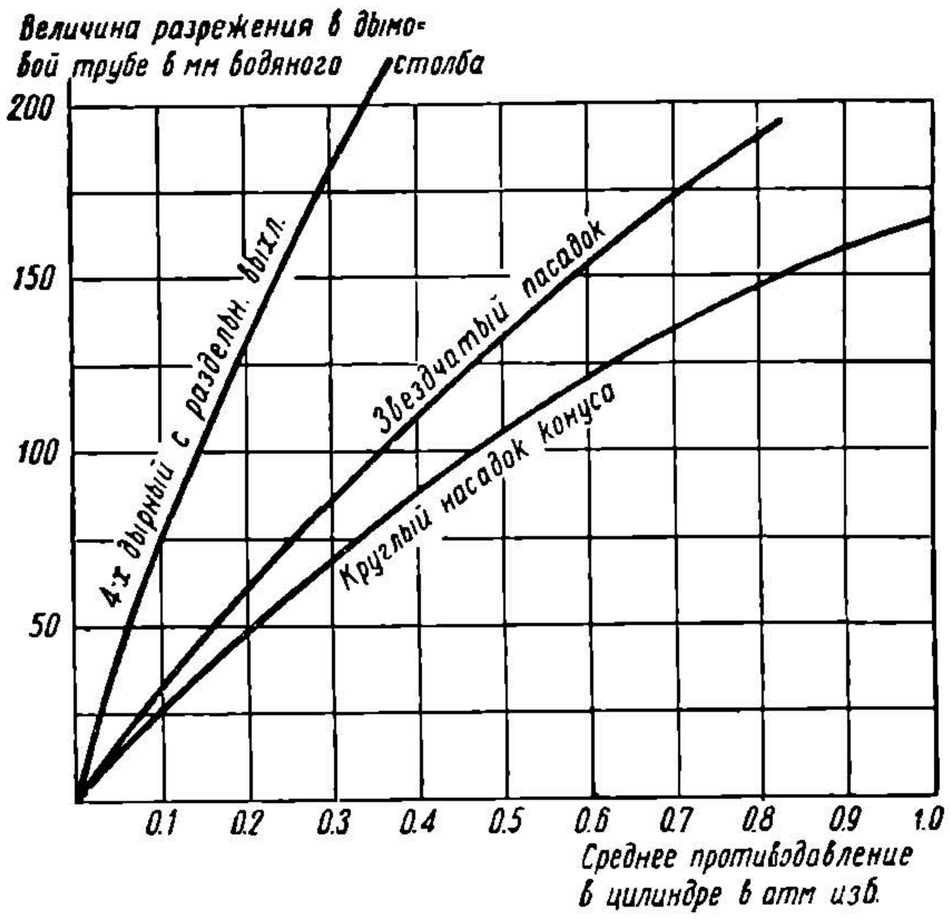


Фиг. 199.

нии трубы неизбежным является подсос воздуха в дымовую коробку. Конечно, подсос этот невелик и ощутительным не является, но все же было бы рациональным сконструировать и испытать предлагаемый 6-дырный конус с раздельным выхлопом, в котором пар из каждого цилиндра выходил бы по т р е м отверстиям, как показано на схеме фиг. 201. Правда, здесь модель несколько усложняется, так как уже не один канал, а два будут пересекать пару других, но это усложнение не велико, тем более что никакой станочной обработки каналы в дальнейшем не требуют: они лишь зачищаются камнем. В предлагаемом шеститрубном конусе заполнение трубы будет значительно более полным. Опа-

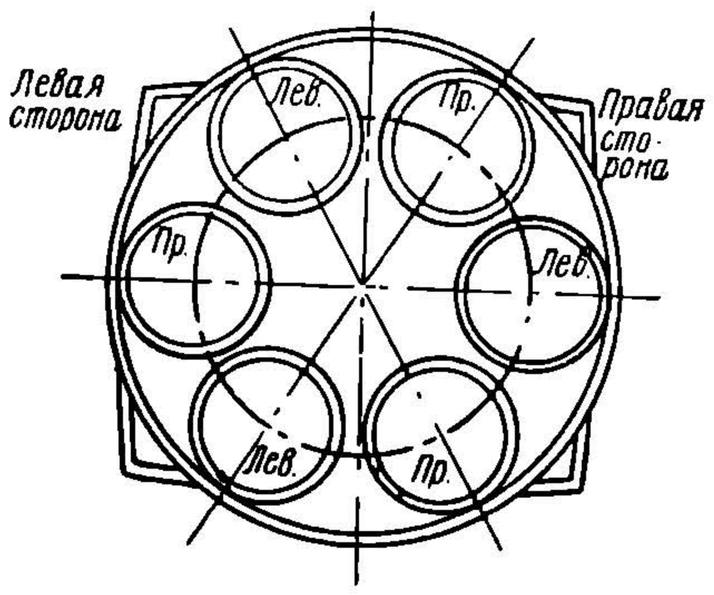
НТБ ДНУЖТ

саться увеличения диаметра дымовой трубы здесь также не приходится, так как средние оси отдельных выхлопных отверстий следует сделать с небольшим наклоном к середине дымовой трубы. Расточка отверстий не под прямым углом потребует самых элементарных приспособлений для вертикально-расточного или карусельного станка. Очень важным моментом в таких многодырных конусах является плавное расщепление внутри конуса паровой струи на ряд отдельных — без завихрений. Последние могут свести «на-нет» все преимущества таких конусов.



Фиг. 200

В заключение укажем, что за последнее время НИИЖТ предло-



Фиг. 201.

жено новое устройство опытного п е р е м е н н о г о конуса с раздельным выхлопом пара. Основной частью устройства является поворотный диск с четырьмя отверстиями, устанавливаемый непосредственно на 4-дырном конусе. Повертывая диск, мы сужаем выхлопные отверстия, тем самым «затягивая» конус. Первые испытания такого устройства дали благоприятные результаты. Переменный конус дает в руки машинисту средство изменять форсировку конуса по своему усмотрению — почти независимо от работы машины. Здесь возможно добиться и бóльшей форсировки и бóльшей экономичности работы паровоза в целом.

Т и п ы и к о н с т р у к ц и и д ы м о в ы х т р у б

Труба представляет собой следующую за конусом часть общего вытяжного устройства. От правильной установки трубы и правильного ее расположения по высоте и соответствия ее размеров диаметру конуса зависит исправное действие всего аппарата тяги газов сгорания. Труба служит для вывода в атмосферу отработанного пара и продуктов горения с минимальными потерями на трение и завихрение,—при возможно более полном отсутствии подсоса воздуха в дымовую коробку.

Ввиду того, что струя пара и газов, подходящая к трубе, постепенно расширяется и имеет коническую форму, такую же расширяющуюся кверху форму должна иметь и труба, причем, как показывают исследования Штраля, полезно коничность трубы делать несколько меньшей, чем коничность струи газов и пара.

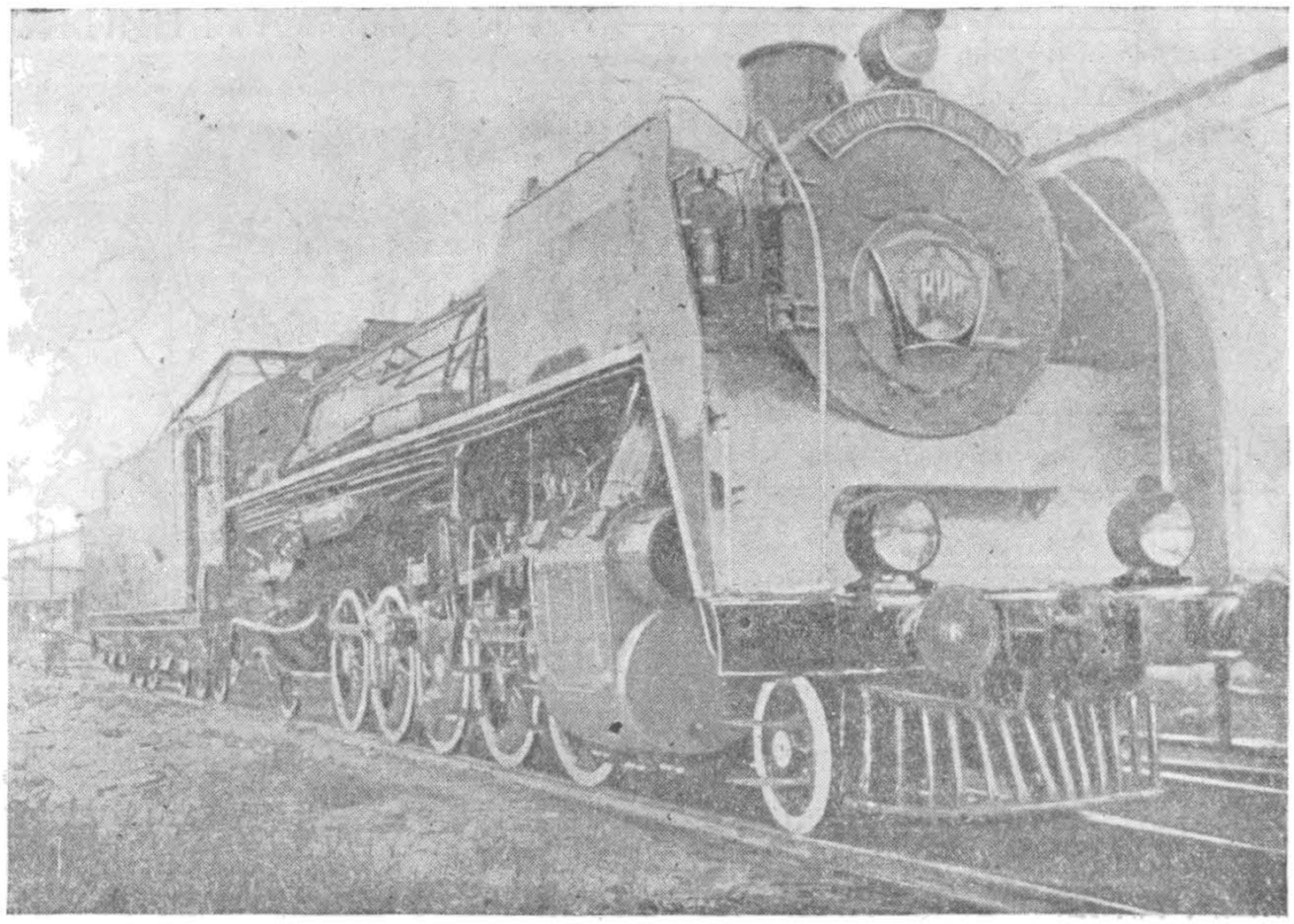
По мере отдаления от насадка коничность струи уменьшается. Это уменьшение коничности объясняется сжатием струи радиальным напором проникающих частично внутрь паровой струи газов сгорания. При выходе из конуса струя пара имеет коничность $^1/_3$ (данные Штраля), затем коничность уменьшается примерно до $^1/_6$. Для дымовых труб паровозов серии «ФД» назначена коничность в $^1/_{10}$.

Дымовые трубы мощных котлов взамен петикотов имеют большие раструбы в нижней части трубы, опущенной в дымовую коробку. Эти раструбы назы-

НТБ ДНУЖТ

ваются смесителями или диффузорами. Диаметр их у современных паровозов делается в пределах 900—1000 *мм*. Подобные смесители имеют применение и на некоторых наших старых паровозах, например серий «СУ», «КУ», но несмотря на то, что размеры этих смесителей не велики, все же они позволяют отказаться от постановки петикотов.

На фиг. 194 в числе прочих деталей показана дымовая труба паровоза серии «ФД», состоящая из трех частей: цоколя, собственно трубы и смесителя. Цоколь отливается из стали (Стл.-2) и приваривается к дымовой коробке воздухонепроницаемым швом. Приварка цоколя удачно разрешает вопрос о герметич-



Фиг. 202.

ности соединения фланца дымовой трубы с барабаном дымовой коробки и позволяет обойтись без кропотливой пригонки фланцев обычных чугунных дымовых труб.

Дымовая труба отливается из твердого чугуна марки Чл.-3 или Чл.-4. Толщина стенки делается минимальной по технологическим соображениям — 8 *мм*, верхний обрез трубы делается обыкновенно горизонтальным. Применявшиеся ранее козырьки у труб теперь обычно не становятся; они себя не оправдали. Лучшим средством отдалить дым от верхней образующей котла и будки машиниста (при закрытом регуляторе) являются «дымоотбойные щиты» в применении к паровозу серии «ФД», показанные на фиг. 202. Встречный воздух проходит между щитом и боковой стенкой дымовой коробки и вследствие косо расположенной в этом месте площадки паровоза идет вверх, отводя с собой и газы сгорания, выходящие из дымовой трубы.

Расчет основных размеров конуса и дымовой трубы

Подсчитать основные размеры трубы и конуса так, чтобы вытяжная установка работала одинаково хорошо при любом режиме работы паровоза, конечно, невозможно, так как с переменой таких факторов, как скорость, отсечка и давление пара, топливо, меняются и условия работы конуса и трубы. Поэтому хорошо рассчитанная для данных определенных условий установка будет давать худшие результаты при других условиях. Ввиду этого конус и труба должны быть рассчитаны для напряженных, преимущественных условий работы паровоза. Вместе с тем надо отметить, что в теоретические формулы по необхо-

НТБ ДНУЖТ

димости вводятся опытные коэфициенты, опять-таки полученные при определенных условиях и на определенных паровозах. Применение этих коэфициентов для расчетов при других условиях, несомненно, уменьшает точность получаемых результатов. В итоге теория дает возможность произвести лишь приближенный расчет. Размеры вытяжной установки, подсчитанные таким образом, должны быть проверены на практике и при необходимости изменены соответствующим образом.

Основываясь на гидродинамическом законе движения жидкостей, Цейнер дал теоретическую формулу для определения зависимости между площадями сечения дымовой трубы (в узком месте — в «горле») и выхлопным сечением конуса. Наличие в формуле нескольких коэфициентов, величина которых могла быть определена только опытным путем, долгое время не позволяло уверенно пользоваться формулой Цейнера. Штраль провел большую исследовательскую и экспериментальную работу по определению этих коэфициентов. Теоретической формулой, устанавливающей зависимость между диаметрами конуса и трубы, с одной стороны, и объемом выхлопного пара и газов, с другой стороны, является формула Цейнера – Грове:

$$\frac{Q}{D_n} = \sqrt{\frac{\frac{F_г}{F_k} - c}{\frac{g}{v_{см}} \cdot \left(\frac{F_г}{R}\right)^2 \cdot \mu + c}} \qquad (109)$$

Здесь:

Q — секундный объем газов сгорания в $м^3$,
D_n — секундный объем выхлопного пара в $м^3$,
$F_г$ — площадь узкого сечения (горла) дымовой трубы в $м^3$,
F_k — выхлопное сечение конуса в $м^2$,
$g = 9{,}81$ — ускорение силы тяжести,
c — коэфициент коничности дымовой трубы:

$$c = 0{,}5 \left[1 + \left(\frac{F_г}{F_y}\right)^2\right]$$

Обычно c берется в пределах 0,75 — 0,80;
F_y — площадь устья (верхнего отверстия) дымовой трубы в $м^2$,
$v_{см}$ — удельный объем вылетающей смеси (газы и пар) в $м^3/кг$,
R — площадь колосниковой решетки в $м^2$,
μ — гидравлический коэфициент котла, учитывающий сопротивление проходу газового протока через зольник, слой топлива, жаровые и дымогарные трубы и искроудержатель.

Для паровозов с перегревателями по Штралю:

$$\mu = a_1 + a_2 + a_3 + a_4,$$

где a_1, a_2 и a_3 — коэфициент сопротивления зольника, слоя топлива и искроудержателя,

a_4 — коэфициент сопротивления трубчатой части котла. Величина a_4 является превалирующей; для современных паровозов с достаточной точностью:

$$a_1 + a_2 + a_3 = (16 \div 19).$$

Величина a_4, всегда в несколько раз бóльшая суммы $a_1 + a_2 + a_3$, подсчитывается по преобразованной формуле Штраля:

$$a_4 = \frac{2}{3}\left(0{,}04 + 0{,}005\,\frac{l_{тр}}{d_{дымог}}\right) \cdot \left(\frac{R}{\Omega_ж + \Omega_д}\right)^2, \qquad (110)$$

где:

$l_{тр}$ — длина труб в *мм*,
$d_{дымог}$ — внутренний диаметр дымогарных труб в *мм*,
$\Omega_ж$ и $\Omega_д$ — площади живого сечения всех жаровых и дымогарных труб в $м^2$.

НТБ ДНУЖТ

Величина слагаемого a_4 колеблется в широких пределах — $40 \div 130$.

Вернемся к основной формуле для расчета конуса и трубы. Штраль рекомендует условно принимать отношения

$$\frac{Q}{D_n} \cong 2{,}6;$$

$$\frac{g}{v_{см}} \cong 5{,}5.$$

В различных по размерам и режиму работы паровозах эти величины колеблются в узких пределах, и пользоваться этими средними величинами оказывается вполне возможным.

Принимая по Штралю опытную зависимость между сечениями $F_г$ и $F_к$

$$F_г \cong 9{,}5\, F_k, \tag{111}$$

получаем искомые величины $F_г$ и $F_к$.

После определения сечений, а следовательно и диаметров трубы и конуса, необходимо определить правильное взаимное расположение деталей аппарата тяги газов сгорания. Прежде всего нужно узнать высоту дымовой трубы.

Высота трубы над дымовой коробкой определяется габаритом подвижного состава (ОСТ 6435) так, чтобы между линией габарита и верхней кромкой трубы оставалось расстояние не меньше 25—40 *мм*.

Затем, расположив возможно ниже конус, но так, чтобы при постановке например дефлекторного искроудержателя оставался все же нужный проход под горизонтальным листом, намечают расположение горла трубы на высоте 0,5—0,6 всего расстояния от конуса до устья трубы. Схема размещения горла трубы и других элементов вытяжного устройства показана на фиг. 203, диаметр узкого сечения дымовой трубы обозначен $d_г$, устья — $d_у$, конуса — $d_к$.

Высота самой дымовой трубы:

$$h = (0{,}5 \div 0{,}4)\quad H, \tag{112}$$

где H — высота от устья конуса до устья трубы.

По Штралю, кроме того, должно быть соблюдено условие:

$$h = (1{,}6 \div 1{,}8)\, d_г\,.$$

Из этих формул получаем:

$$H = (3{,}2 \div 4{,}5)\, d_г\,,$$

т. е. в среднем

$$H \cong 4\, d_г\,. \tag{113}$$

Стремление упростить сравнительно громоздкие расчеты конуса и трубы обусловило появление целого ряда эмпирических формул, дающих более или менее точные результаты. Упомянем прежде всего формулу:

$$F_г = 0{,}33\,(\Omega_д + \Omega_ж), \tag{114}$$

которая позволяет ориентировочно определить площадь сечения горла трубы, а стало-быть и его диаметр. Зная $F_г$, по Штралю легко можно подсчитать и $F_к$.

Эбелинг недавно предложил удачную эмпирическую формулу, дающую результаты, весьма близкие к получаемым по формулам Цейнера—Грове и Штраля. Расчет по Эбелингу однако несравненно проще, чем по этим формулам. Практически формула Эбелинга дает достаточно точные результаты. Формула имеет вид:

$$F_k = 156 \sqrt{\frac{R(\Omega_д + \Omega_ж)}{\Omega_д + \Omega_ж + 0{,}3\, R}} \tag{115}$$

НТБ ДНУЖТ

Здесь обозначения:

$F_к$ — площадь сечения конуса в $см^2$,

R — площадь колосниковой решетки в $м^2$,

$\Omega_д + \Omega_{ж}$ — живое сечение дымогарных и жаровых труб.

Этой формулой мы рекомендуем пользоваться для быстрого и достаточно точного определения диаметра конуса.

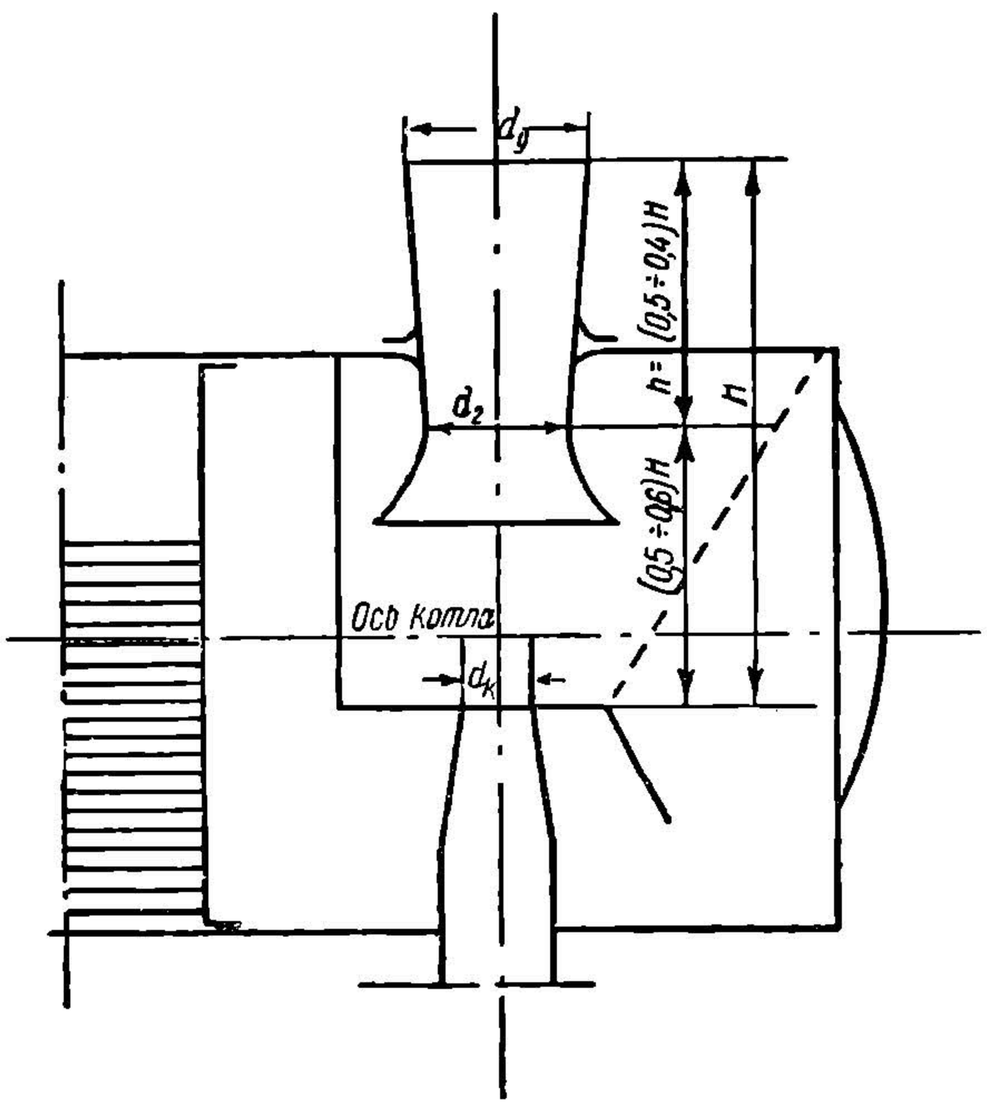
Имеется и еще одна новая удовлетворительная формула, дающая обычно лишь немного преувеличенные результаты, — формула Нордмана:

$$F_k = 40 + 0{,}62\, H_{исп}, \qquad (116)$$

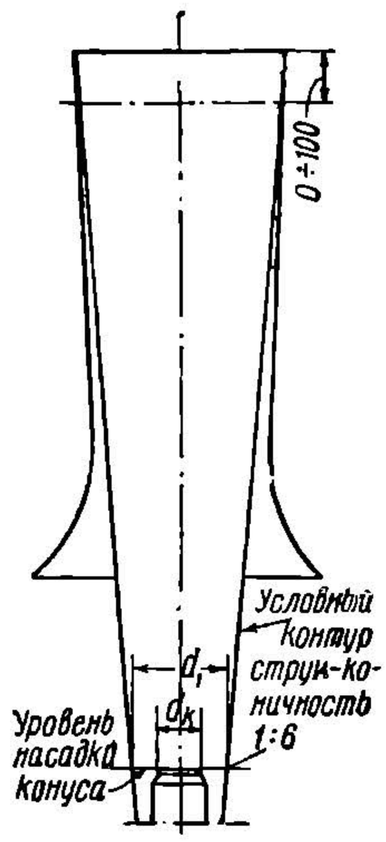
где $H_{исп}$ — полная испаряющая поверхность нагрева котла в $м^2$,

$F_к$ — здесь в $см^2$.

Все изложенные рассуждения касались исключительно конусов с круглыми отверстиями. Что касается фасонных насадков, то расчет здесь еще более усложняется. Поэтому, учитывая возможность увеличения площади выходного отверстия при фасонных насадках на 15—35% (в зависимости от увеличения периметра фасонного насадка по сравнению с круглыми), ведем расчет на круглый насадок и, получив площадь его сечения, соответственно увеличиваем ее в указанной пропорции. Крестообразные насадки должны иметь меньший процент увеличения; звездчатые, как наиболее резко увеличивающие периметр, — бóльший процент. У 4-дырных конусов с раздельным выхлопом площадь в с е х отверстий увеличивается на 45—50%.



Фиг. 203.



Фиг. 204.

В заключение всех расчетов нужно проверить степень заполнения дымовой трубы струей отработанного пара и газов. Ввиду того, что коэфициент сужения струи должен быть несколько больше коничности дымовой трубы ($^1/_6$ вместо $^1/_9$—$^1/_{10}$), может быть такое положение конуса по высоте дымовой коробки, когда струя не заполнит всего сечения устья трубы. В этом случае может возникнуть подсос воздуха из атмосферы в дымовую коробку. Поэтому, проведя через верхнюю кромку трубы наклонные линии, условно изображающие, как показано на фиг. 204, контур вылетающей струи (т. е. с коничностью в $^1/_6$), мы должны иметь нижний диаметр d_1 этой условной «струи», несколько большим диаметра конуса.

НТБ ДНУЖТ

Для того чтобы не было подсоса воздуха в дымовую коробку через трубу, струя пара и газов должна полностью заполнить сечение трубы в устье (или даже немного ниже его). Графически положение конуса для данной трубы может быть получено согласно указаниям Штраля следующим образом. Имея в виду, что коничность струи $^1/_6$, через верхнюю кромку трубы проводим две наклонные линии, условно изображающие вылетающую «струю».

Нижний условный «диаметр» этого конуса d_1 должен быть по Штралю:

$$d_1 \cong d_k + 8{,}5\ см. \qquad (117)$$

Здесь слагаемое в 8,5 *см* учитывает большую коничность струи пара, только что вылетевшей из конуса.

Такой графический способ проверки заполнения дымовой трубы струей пара и газа позволяет установить возможность понижения или, наоборот, повышения расположения конуса работающего или модернизируемого паровоза.

Сифон

Сифон является необходимой принадлежностью всякого паровозного котла, оборудованного конусной установкой. При вентиляторной тяге сифон, естественно, не нужен. Работа сифона создает разрежение, достигающее 20—30 *мм* водяного столба.

Наиболее распространенным и удовлетворительно работающим типом сифона является кольцо диаметром 300—400 *мм*, свернутое из стальной трубки и расположенное примерно в одной горизонтальной плоскости с отверстием конуса в виде пустотелого кольцевого канала, окружающего конус, как показано на фиг. 194. Иногда трубка отливается за одно целое с конусом. В этой трубке делается ряд отверстий диаметром 5 *мм* таким образом, чтобы вылетающий из них пар попадал в дымовую трубу [1]. Сущность работы сифона та же, что и конуса.

Для создания нужной величины разрежения суммарная площадь отверстий должна быть в среднем:

$$\Sigma f = (170 \div 250)\ см^2.$$

Для наших паровозов нормальной мощности — меньшее значение, для мощных — большее. Трубка, подводящая пар к сифонному кольцу, а также и самое сифонное кольцо должны иметь площадь сечения, примерно вдвое большую сечения всех отверстий сифонного кольца. Недостаточный диаметр подводящей трубки иногда является причиной плохой работы сифона у паровозов.

В целях уменьшения расхода пара (тепловой энергии) на работу сифона желательно использовать перегретый пар вместо насыщенного. Заметим, что у мощных паровозов, имеющих пароразборные колонки перегретого пара (о них сказано ниже), для работы сифона используется перегретый пар.

§ 7. Дверки дымовой коробки

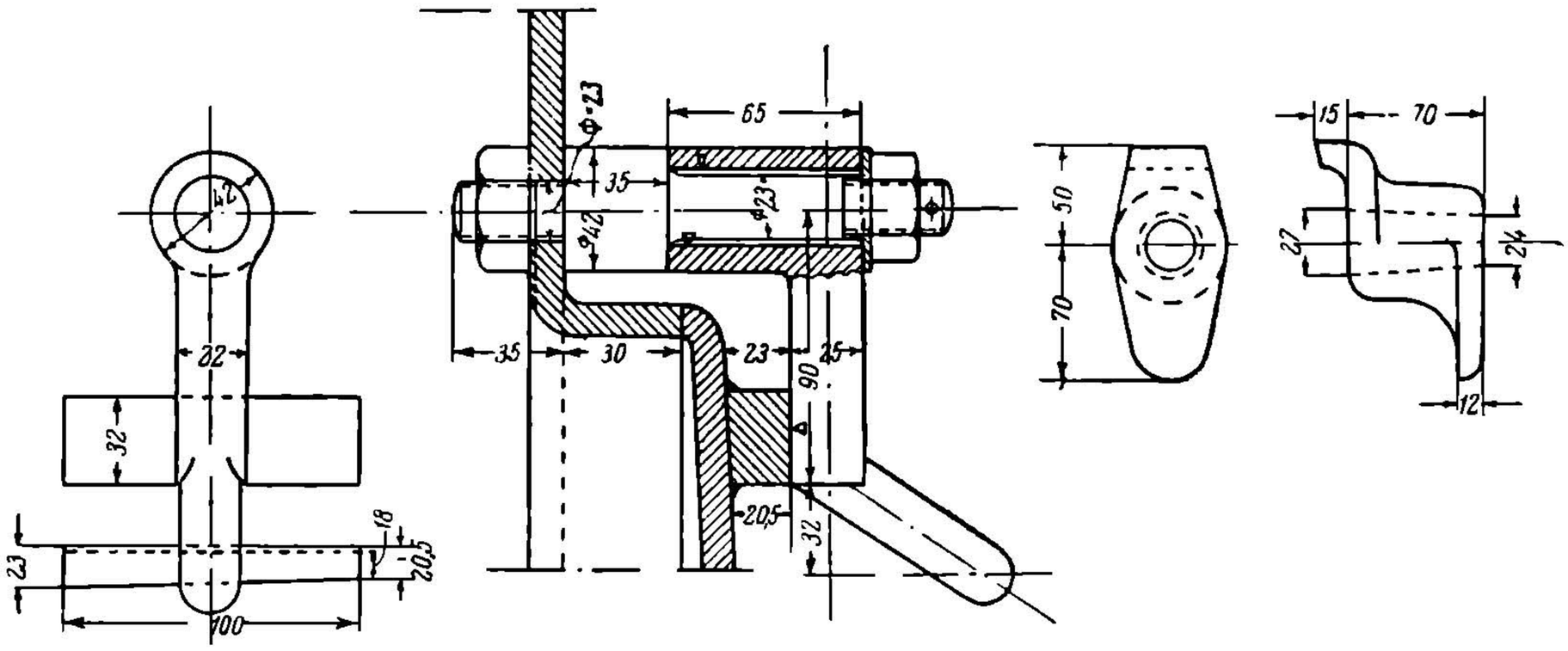
Дверки дымовой коробки изготовляются штамповкой из листов толщиной 10—12 *мм*. Штамповка дверок необходима для придания им некоторой выпуклости, обеспечивающей минимальное коробление в работе паровоза. Для дальнейшего уменьшения коробления устанавливают внутренний лист дверки на некотором расстоянии от основного: воздушный промежуток между листами дверки уменьшает нагревание и, следовательно, коробление основного листа дверки. Коробление дверки — очень нежелательное явление, так как при этом получаются неплотное прилегание ее к фронтонному листу и значительный подсос воздуха в образовавшуюся щель. Подсос резко уменьшает разрежение в дымовой коробке и, следовательно, ухудшает всю работу паровоза: при подсосе воздуха

[1] О сифонах других систем см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ

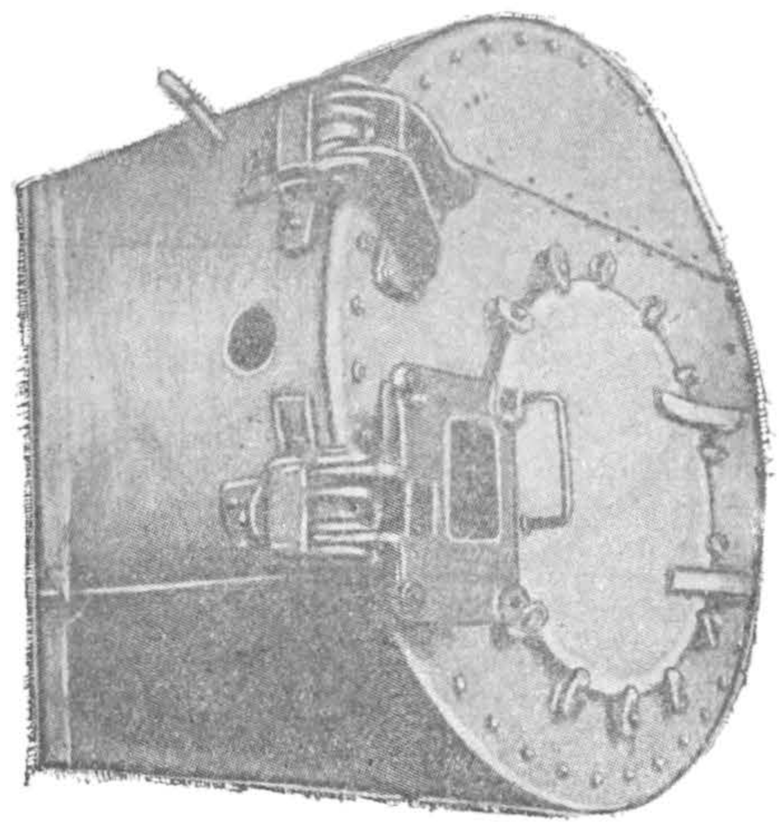
в дымовую коробку для поддержания нужного разрежения приходится затягивать переменный конус; при постоянном конусе — иметь недостаточное парообразование котла до тех пор, пока не будет устранен вредный для работы паровоза подсос через неплотности.

Наши старые типы паровозов имеют диаметр дверки, лишь немного меньший диаметра дымовой коробки. Такие большие дверки делаются, как мы уже знаем, для возможности выемки крайних боковых и нижнего ряда дымогарных



Фиг. 205.

и жаровых труб. Мощные паровозы, с их большими диаметрами дымовых коробок имеют двойные дверки: большую дверку (открываемую лишь при выемке крайних дымогарных или жаровых труб или элементов) и небольшую дверку для постоянного пользования. Последняя открывается сравнительно часто, например для очистки дымовой коробки, осмотра и ремонта элементов и других деталей. Эта дверка делается относительно небольшого диаметра 1000—1150 *мм*, но вполне достаточного для того, чтобы можно было свободно проникнуть в дымовую коробку. Такая дверка имеет небольшой вес, открывается и закрывается быстро.



Фиг. 206.

Устройство двойных дверок у мощных паровозов оказалось вполне рациональным мероприятием; паровозы серий «СУ» и «ЭМ» последних выпусков, все паровозы «СО» также снабжены двойными дверками.

На фиг. 4 в числе других деталей достаточно видно и устройство передней дверки старого типа. Запор у дверки показан двойной: первый элемент — центральный затвор — состоит из нарезанного стержня с Т-образной головкой, закладываемой в отверстие поперечной балки дымовой коробки и прижимающей дверку к фронтонному листу при затягивании маховичка; второй элемент затвора—комплект щеколд, называемых «ригелями» или завертками, накидываемых на кромки листа по всей его окружности. Ригели применяющихся двух типов показаны на фиг. 205. Слева дана очень распространенная и тем не менее крайне неудачная старая конструкция ригеля: при наколачивании его на несколько покоробившуюся дверку дымовой коробки фасонная шпилька работает не только на растяжение, но и на изгиб. Шпилька при сильных ударах ручника

НТБ ДНУЖТ

по ригелю отгибается, и герметичность соединения дверки с фронтонным листом не достигается, тем более что и число ригелей у старых паровозов часто равно 4—6 шт.

В новых конструкциях ригелей предусматриваются отростки их, опирающиеся на фронтонный лист. Шпильки (или болты) здесь целиком разгружаются от изгибающих усилий, работая только на растяжение. Кроме того, число таких ригелей делается значительно большим — до 18—24 шт. для небольших дверок.

На фиг. 206 показано общее устройство дверок паровозов серий «ФД» и «ИС».

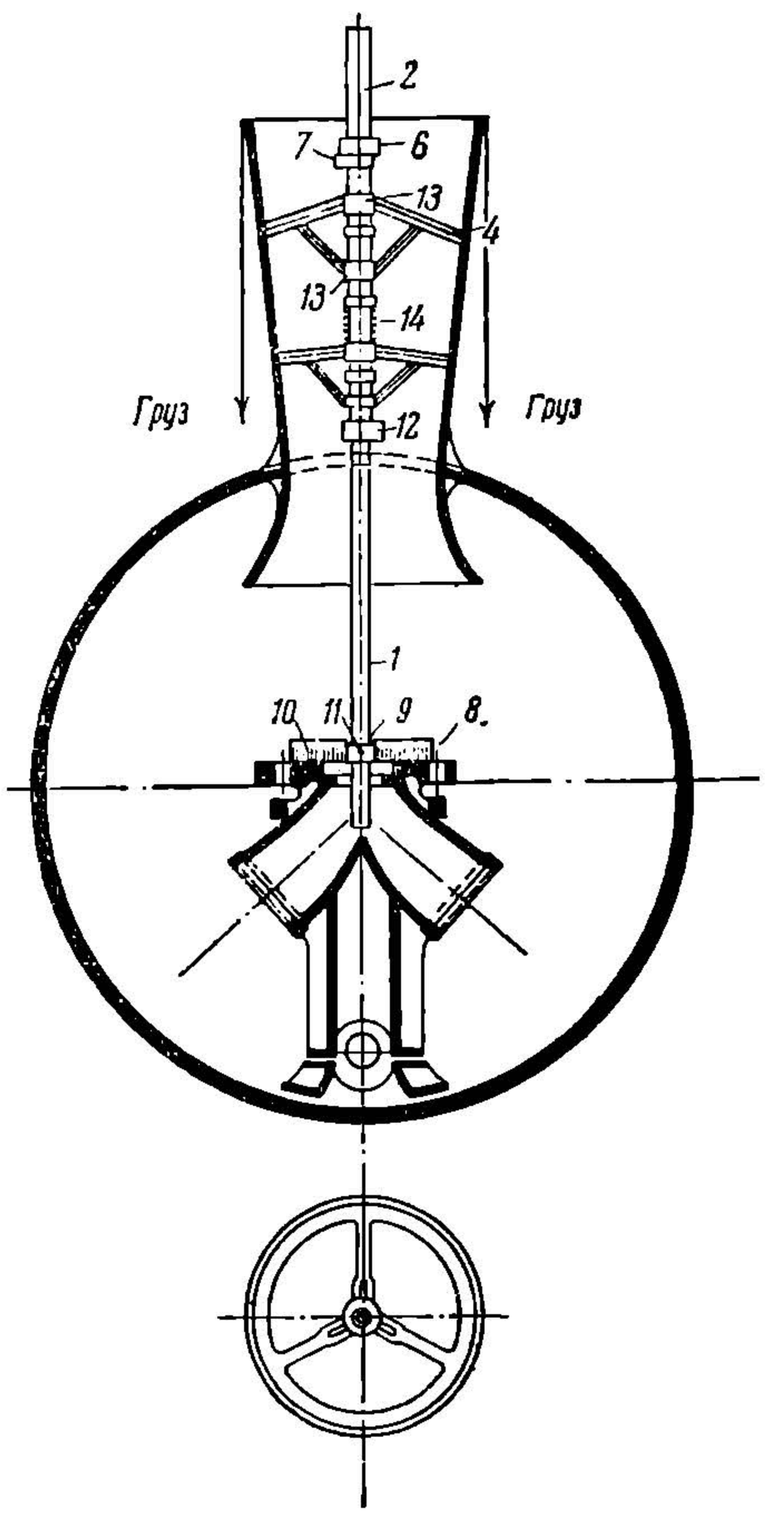
Большая дверка откидывается на петлях особой конструкции (система Океди), позволяющих за счет наличия в каждой петле натяжного болта легко находить нужное положение дверки для прилегания ее по всей окружности переднего кольца дымовой коробки.

Уплотнение большой дверки достигается прокладыванием асбестового картона между дверкой и передним кольцом дымовой коробки. Уплотнение должно быть сделано очень тщательно во избежание подсоса.

§ 8. Проверка дымовой трубы и конуса

Проверка и ремонт дымовой трубы

Малейшая ошибка в установке конуса или его размерах весьма вредно отражается на работе паровоза, уменьшая разрежение в дымовой коробке и понижая этим парообразование.



Фиг. 207

Современные форсировки котлов, достигнутые машинистами-кривоносовцами, требуют от ремонтных работников особого внимания к конусам в части правильной их установки и выверки. Основное требование, предъявляемое к конусам, — совпадение оси дымовой трубы и конуса, их вертикальность и установка устья конуса на альбомном расстоянии от узкого сечения трубы; в противном случае газовая струя, ударяясь о стенки трубы, завихряется, причем при большом отклонении струи может иметь место подсасывание внешнего воздуха. Различают установку и проверку конуса и дымовой трубы при капитальном ремонте и в деповских условиях. В первом случае разбираются конус и дымовая труба. При среднем ремонте и во всех случаях деповского ремонта дымовая труба не снимается, а проверяется лишь установка одного конуса. При заводском ремонте можно рекомендовать установку конуса по трубе, а не обратно, как это обычно практикуется. Установленная на дымовой коробке труба проверяется путем привешивания нити с грузом, причем плоскость прилегания трубы к седалищу должна быть строго горизонтальна, что проверяется по уровню. Для выравнивания положения трубы необходимо сточить или обрубить нижнюю плоскость (основание трубы). После пригонки и вторичной проверки она соединяется болтами с дымовой коробкой. Затем устанавливается конус, правильность положения которого прове-

НТБ ДНУЖТ

ряется специальным прибором. В настоящее время известны приборы Нольтейна, Михайлова, Азаревича и Хрычикова, но так как их принцип один и тот же, то ниже описывается прибор Хрычикова, как наиболее удобный для применения. Как видно из фиг. 207, прибор состоит из трубчатого стержня *1*, вставленного в другой трубчатый стержень *2*, играющий роль направляющей для трубы, и из четырех железных втулок с прорезами вдоль оси и резьбой на конической части, на которые навернуты бронзовые нажимные кольца. Рычаг *4* одними концами шарнирно соединяется с ушками втулки, а серединой со вторым рычагом, также соединенным шарнирно со втулкой *13*. Далее имеется зажимная муфта *6*, снабженная винтовым зажимом *7*, стягивающим ушки муфты. Установительная планка *8* состоит из кольца *9*, двух планок *10* с делениями и зажимного винта *11*. На концах трубчатого стержня ввертываются бронзовые кольца, имеющие газовую резьбу.

Для проверки конуса стержень *2* вставляется в дымовую трубу сверху; перед этим на нем закрепляется нижняя система рычагов при помощи втулок *12* и колец *13* таким образом, чтобы концы рычагов могли упереться в стенки нижней части дымовой трубы. На опущенном до упора стержне закрепляется верхняя муфта системы рычагов, а затем нажимается от руки пружина *14* нижней муфтой верхней системы рычагов, после чего пружина отпускается, и рычажки верхней системы расходятся, упираясь в стенки дымовой трубы. Этим достигается установка трубы. Далее в трубчатый стержень вставляется труба *1*, которая нижним концом проходит в отверстие конуса, а в верхней части укрепляется помощью нажимной муфты *6*. Наконец, в нижней части трубы *1* укрепяется установительная планка *8*, по указаниям которой производится окончательная установка конуса. Одновременно с этим проверяется перпендикулярность плоскости верхнего сечения конуса к оси трубы. При проверке *4*-дырных конусов паровоза серии «ФД» по установке трубы *1* нижний ее конец должен входить в специальное гнездо в центре конуса (см. фиг. 199).

Установка конуса на ремзаводах должна быть принята инспектором ОТК, что удостоверяется специальной карточкой. Приказами за № 80/Ц и 96/Ц 1937 г. на сборных мастеров цехов возложена обязанность личной приемки установки конусов от бригадиров.

Ремонт сифона

Сифон, представляющий собой трубку диаметром 32 *мм* с 16 отверстиями диаметром по 5 *мм* (паровозы серии «ФД»), подвергается прогоранию и закипанию. Кроме того, с течением времени диаметр отверстий для выхода пара увеличивается, доходя до 8—10 *мм*, что ухудшает работу сифона. При капитальном ремонте трубка, как правило, меняется; что же касается деповского ремонта, то допускается наплавка отверстий медью, с рассверловкой их до нормального диаметра. Трубка же при этом отжигается. Установка сифонного кольца также имеет существенное значение. Прежде всего кольцо должно быть установлено в соответствии с альбомными размерами по отношению к оси трубы и узкому ее сечению, и кроме того, особое внимание должно быть обращено на укрепление кольца, особенно в тех случаях, когда оно помещается у раструба трубы; ослабление укрепляющих муфт может даже вызвать переворачивание сифона. В этом случае пользование сифоном невозможно и даже опасно для бригады вследствие возможных ожогов вырывающимся из шуровочного отверстия пламенем. Помимо того, при всех видах ремонта должны подвергаться ремонту вентиль сифона и привод.

§ 9. Стокер

Типы стокеров

Механическое отопление паровозного котла становится необходимым при колосниковых решетках, превышающих 5,5 — 6,0 $м^2$.

Только стокерное отопление позволяет реализовать огромные мощности современных паровозов с их большими колосниковыми решетками. Большой запас мощности применяющихся стокеров практически не ограничивает количества угля,

НТБ ДНУЖТ

забрасываемого на решетку. Например стокеры паровозов серий «ФД» и «ИС» могут перебрасывать в топку до 10—12 *т* угля в час. Во всяком случае форсировка решетки при стокерном отоплении ограничивается лишь скоростью горения угля.

Следует признать, что запроектированное по настоянию б. ИРТ ручное отопление для паровозов серии «СО» с их решетками в 6 *м*² является ярким выражением пропагандировавшихся отдельными работниками б. ИРТ предельческих заниженных форсировок котла[1].

Стокерное отопление пользуется огромным распространением в США, где паровозы с решетками, превышающими 6 *м*², как правило, оборудуются стокерами. Развитие конструктивных форм стокеров насчитывает в США до трех десятилетий. Поэтому, естественно, что мы при постройке наших первых мощных паровозов обратились к использованию опыта США в деле конструирования стокеров. На купленных в США десяти паровозах серий «$Т^{А}$» и «$Т^{Б}$» поставлены стокеры типа «Стандарт Би-Кэй». Наши стокеры (системы ЦЛПБ-1, переделанные теперь заводом и названные «С-1»), поставленные на паровозах серий «ФД» и «ИС», были спроектированы при ориентировке на ту же систему «Стандарт Би-Кэй». Между тем эта система не вполне совершенна.

Конструктивное выполнение стокеров может быть различное. Основными элементами всякого стокера являются:

1. Корыто угольного ящика с конвейерным винтом и углепровод к паровозу.
2. Паровая машина, приводящая в движение механизм подачи угля с тендера на паровоз.
3. Стокерная головка с распределительной плитой, выступающей в топку и служащей для разбрасывания угля по решетке.

Каждый стокер (независимо от системы) подает уголь с тендера на паровоз, вводит уголь в топку и разбрасывает его (обычно силой струй пара) по решетке.

Корыто устанавливается на раме тендера в нижней части угольного ящика; углепровод, называемый часто «хоботом», делается всегда шарнирным из-за относительных перемещений паровоза и тендера. В корыте и углепроводе располагаются вращающиеся массивные винты, осуществляющие подачу угля на паровоз.

Паровая машина устаналивается обычно на тендере. Гибкий паропровод между паровозом и тендером подает к машине перегретый пар.

Стокерная головка и распределительная плита могут размещаться или в нижней половине шуровочного отверстия (наиболее часто встречающееся расположение), когда уголь поступает в топку через это шуровочное отверстие, или же стокерная головка размещается снизу топки, будучи пропущена через колосниковую решетку и лишь несколько возвышаясь над ней. Первая система называется стокером с «верхней подачей»; пользуется она сравнительно большим распространением, так как обеспечивает удобное разбрасывание угля по решетке «сверху» и более удобное обслуживание головки стокера, расположенной в будке. Вторая система—стокер с «нижней подачей»—менее удобна для разбрасывания угля, так как уголь летит по траектории (параболе), приближающейся к прямой линии; в этом случае труднее регулировать работу головки так, чтобы уголь более или менее ровным слоем покрывал всю решетку. Недостатком нижней подачи является и то, что часть решетки непроизводительно пропадает, будучи занята головкой стокера; за то стокер с нижней подачей обусловливает несколько меньший унос.

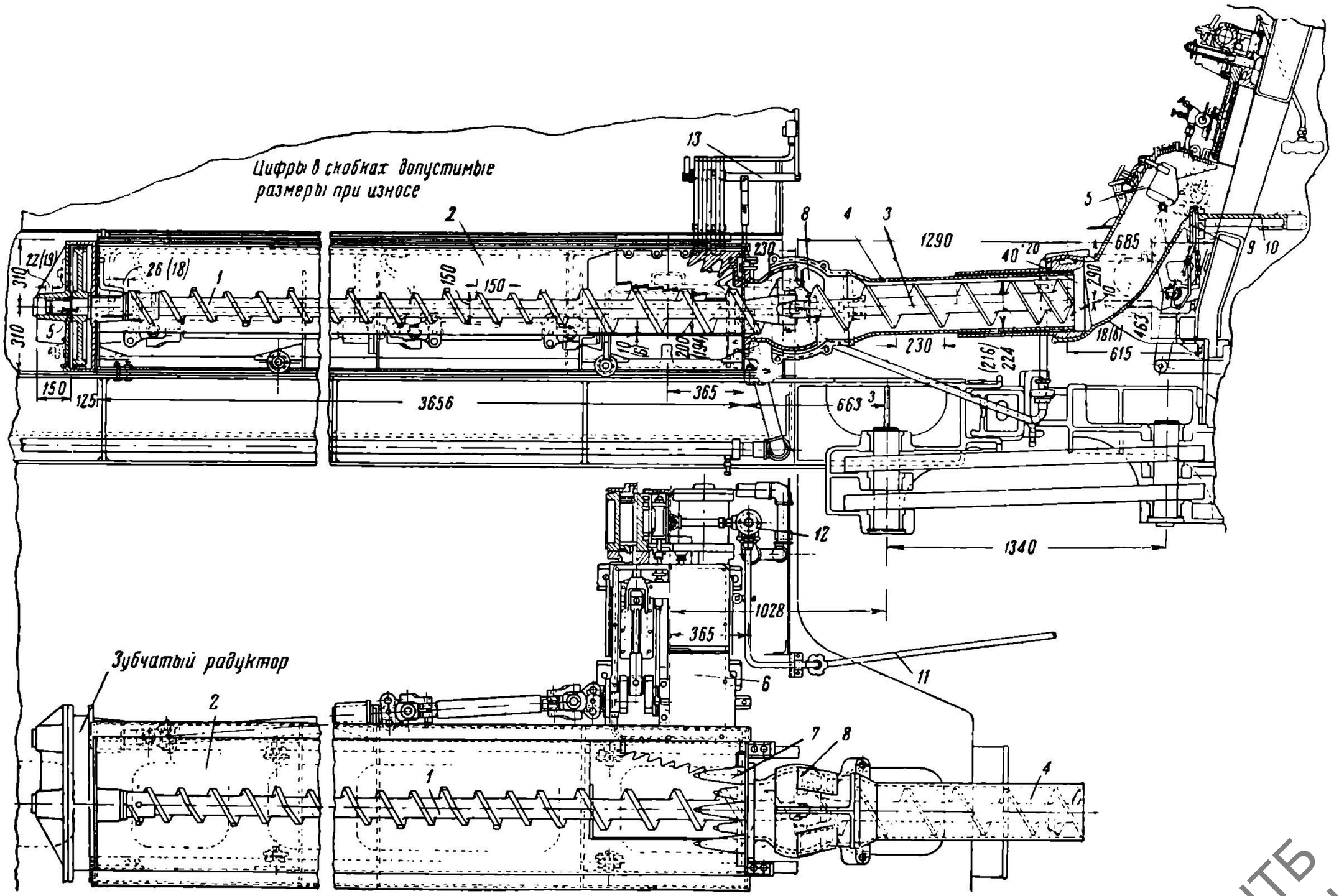
Стокером должно забрасываться не больше 75—80% всего топлива; остальное забрасывается вручную (на стоянке, при езде с закрытым регулятором). Такое комбинированное обслуживание дает более ровный слой, лучшее горение и меньший унос. При сжигании антрацитовых смесей процент ручной забросси несколько повышается; здесь необходимо иметь заранее прочищенную решетку и заренее подготовленную шлаковую подушку. Толщина слоя должна быть малой, не больше 100 *мм*. При соблюдении этих условий работа топки будет бесперебойной, и большие форсировки всегда могут быть получены.

Широкое распространение у нас имеет стокер «С-1», поставленный на паровозах серий «ФД» и «ИС» (фиг. 208).

---

[1] Паровозы серии «СО» теперь будут оборудоваться стокерами.

НТБ ДНУЖТ



Фиг. 208.

НТБ ДНУЖТ

Основными частями этого стокера являются: задний (главный) конвейерный винт *1*, расположенный в корыте *2* на тендере; передний конвейерный винт *3*, расположенный в углепроводе *4* между паровозом и тендером; головка стокера *5*, подводящая уголь к шуровочному отверстию (стокер с верхней подачей); паровая машина стокера *6*, расположенная, как обычно, на тендере; зубчатые плиты *7*, укрепленные в передней части корыта и служащие для размельчения крупных кусков угля, превышающих по своему габариту проход углепровода и могущих вызвать остановку стокера; заднее сферическое соединение углепровода *8*, разбрасывающий уголь порог *9* с горизонтально расположенными соплами в верхней части порога и расположенная перед порогом распределительная плита *10*, шарнирный паропровод *11* к стоящей на тендере паровой машине *12*, реверсивный клапан машины стокера с приводом *13*.

Корыто и углепровод стокера

Корыто имеет в сечении форму, приближающуюся к равнобедренному треугольнику. На дне корыта во всю его длину проходит основной конвейерный винт, отливаемый из стали марки Стл.-1, выполненный в виде трубы с прилитой к ней винтовой поверхностью. Наружная кромка этой поверхности имеет зубцы, раздробляющие крупные куски угля еще до их подхода к угледробильным зубьям, помещенным на стенке корыта.

Для облегчения работы паровой машины, обслуживающей стокер, а также для уменьшения измельчения угля и для уменьшения износа конвейерного винта корыто стокера закрывается сверху передвижными щитками, не позволяющими углю засыпать винт по всей его длине; таким образом винт завален углем лишь на нужном небольшом участке.

Для получения небольшого числа оборотов стокерного винта (обычно не больше 15 в минуту), а также для уменьшения размеров машины применяется зубчатая передача от ведущего вала машины к главному винту. Шестерни расположены сзади жолоба и заключены в чугунный кожух. Машина расположена в передней части тендера. Вдоль всего жолоба (снаружи его) проходит ведущий вал, сделанный гибким (с шарнирами Гука) из-за необходимости расположить коренной вал самой машины на расстоянии большем, чем сумма радиусов двух начальных окружностей шестерен.

Пройдя угледробильные зубья, уголь поступает в углепровод, который имеет два сферических шарнира (один на тендере, другой на паровозе) с телескопическим скользящим расширителем между ними. Внутри углепровода расположен передний конвейерный винт, соединенный с задним основным шарниром Гука; последний расположен в геометрическом центре сферического соединения углепровода. Таким образом уголь подается вперед и внутри самого углепровода.

Углепровод сам по себе представляет минимальное сопротивление движущемуся углю. При выходе из углепровода, когда уголь поступает в нижнюю трубу головки стокера, имеет место значительное изменение направлений потока угля. Так как внутри трубы головки нет конвейерного винта, уголь движется вперед и вверх только за счет подпора его движущимися сзади массами угля. Иногда происходит затор угля; как правило, уголь значительно размельчается.

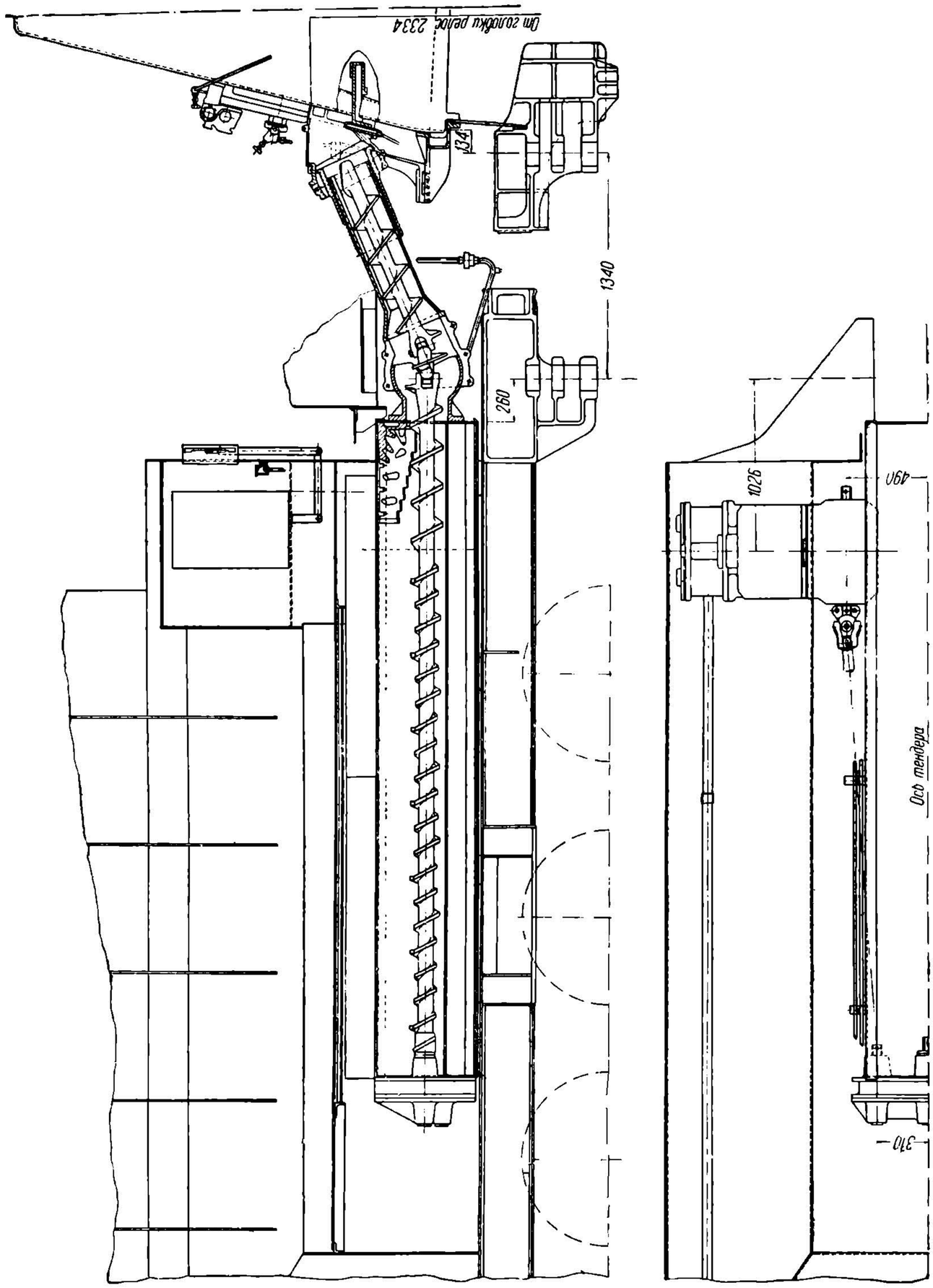
Опасность заторов угля не позволяет применить обильного смачивания его: мокрый уголь иногда спрессовывается в головке. Между прочим, работа сухим углем при стокерном отоплении является одной из причин, увеличивающей унос.

Лучшим по результатам работы является стокер системы Лауэра (Lower), дальнейшим значительным усовершенствованием которого является советский стокер Рачкова, показанный на фиг. 209 в применении к паровозам серии «ФД». Первым существенным достоинством стокеров Лауэра и Рачкова является доведение переднего винта до самого шуровочного отверстия. Это резко уменьшило дробление угля в углепроводе. Между тем именно мелочь в основном составляет унос.

В табл. 19, составленной ж. д. Балтимора-Огайо в результате испытаний стокеров системы «Стандарт Би-Кэй» и Лауэра, приведено процентное содержание веса кусков угля (по отдельным градациям их размеров), вышедших из стокерной головки.

НТБ
ДНУЖТ

НТБ
ДНУЖТ



Фиг. 209.

Таблица 19

Размер кусков в *мм*	«Стандарт Би-Кой» в %	Лауор в %
Менее 6 .	33,54	13,24
6÷12	18,92	10,61
12÷18 .	11,85	8,53
18÷25 . .	8,31	7,33
Более 25 .	27,38	60,29
Итого	100,0	100,00

Замеры сделаны после пропуска угля через все стокерное устройство; уголь — битуминозный (куски до 150 *мм*).

Эти цифры показывают большое достоинство стокера Лауэра, дающего в 2—$2^1/_2$ раза меньше мелочи — кусочков угля меньше 6 *мм*.

Головка стокера и распределительная плита

Головка стокера «С-1» представляет собой фасонную, расширяющуюся кверху трубу, заканчивающуюся у самого шуровочного отверстия. Естественным продолжением головки является распределительная плита, задвинутая в топку. У задней кромки распределительной плиты, немного выше плоскости плиты размещаются сопловые камеры с отверстиями для паровых труб. Для забросси угля в задние левый и правый углы решетки на плите имеются выступающие поверх ее поверхности невысокие кривые ребра, ударяясь о которые куски угля изменяют направление своего движения и летят в углы.

Достаточное равномерное распределение угля по всей решетке осуществляется наличием 2—3 сопел (отверстий) в каждой сопловой камере, подающих пар к соплам. Диаметр отверстий в сопловых камерах делается обычно в пределах 4—6 *мм* (серии «ФД» и «ИС»—4 *мм*), давление обычно не превышает 1,5 — 2,5 *ат*. Вентили к камерам размещены слева на лобовом листе под рукой у помощника машиниста. Вентили ввернуты в горизонтальную цилиндрическую распределительную коробку, получающую пар от пароразборной колонки насыщенного пара. Перед коробкой ставится дополнительный общий шестой вентиль, которым и производится регулировка работы всех сопел одновременно. Каждым из пяти основных вентилей (если они отрегулированы) пользоваться приходится редко.

Вторым вентилем, регулирующим работу стокера и имеющим оперативное значение, является паровой вентиль к машине стокера, регулирующий число оборотов вала машины и винтов, т. е. подачу угля.

Таким образом под рукой у помощника машиниста находится два вентиля — подача топлива (угля) и подача пара. Этими вентилями помощник пользуется постоянно.

Расход пара на разбрасывание угля не превышает 2% от всего количества даваемого котлом пара при средних форсировках.

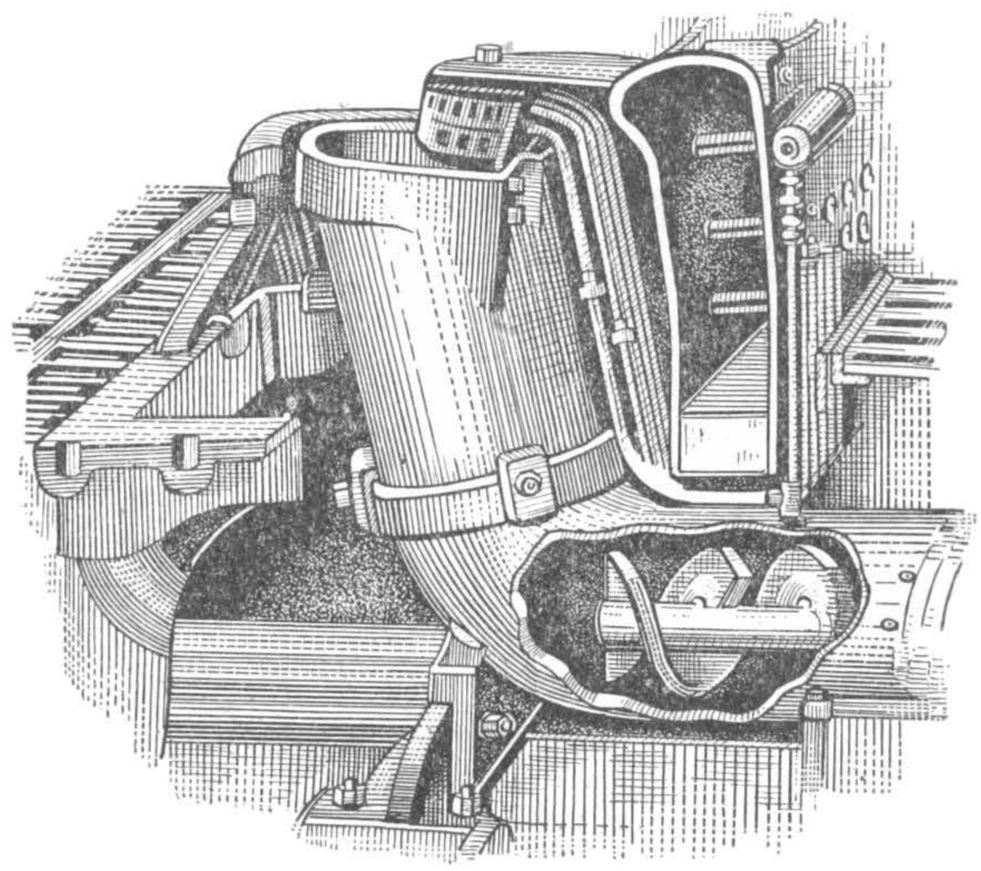
Разбрасывание угля по решетке одним горизонтальным рядом сопел нерационально, так как и мелкие легкие и крупные тяжелые куски угля получают одинаковый толчек от паровой струи. Поэтому мелочь летит к передней части решетки, а крупные куски сбрасываются с плиты и ложатся на задних участках решетки. Значительно рациональнее разбрасывание угля сделано в стокере Рачкова, где сопла расположены в два яруса; нижний из них сделан уменьшенного диаметра; верхний, разбрасывающий крупные куски, имеет сопла увеличенного диаметра. Здесь сильные струи пара, летящие из верхних сопел, кроме того, являются и как бы заслоном, предохраняющим от большого уноса мелочь, летящую под этим заслоном.

Для того чтобы можно было, не трогая регулировочного вентиля в коробке вентилей, увеличить подачу угля на какую-либо половину решетки — правую

НТБ ДНУЖТ

или левую, в головке пепосредственно под крышкой размещен так называемый «руль». Ось руля выходит поверх головки, и рычажком, надетым на наружный конец оси, можно повернуть руль в ту или другую сторону и направить основную массу угля на требующую этого половину решетки. Вообще руль не вполне себя оправдывает, и уже небольшой поворот его создает значительное добавочное сопротивление движущейся массе угля.

Головка стокера нижней подачи (США) показана на фиг. 210. Здесь головка работает в особенно тяжелых температурных условиях, находясь целиком внутри топки. Для того чтобы избежать накаливания самой трубы головки, она окружена литой чугунной решеткой, охлаждаемой воздухом, поступающим в топку через сделанные по всей боковой поверхности решетки щели. Подсос воздуха незначителен и заметно не увеличивает коэфициента избытка воздуха.



Фиг. 210.

Паровая машина стокера

Главные условия, которым должна удовлетворять стокерная машина — полная надежность работы и минимальный уход. Отсюда вытекает необходимость придания ее частям наиболее простых форм, хотя бы в ущерб экономичности.

Для того чтобы взять с места при любом положении кривошипов, машина делается всегда двухцилиндровой, с кривошипами, расположенными под углом 90° один к другому.

Простота обслуживания машины достигается также и применением картерной смазки. Рама машины представляет собой коробку (закрытую сверху железной крышкой), до известного уровня наполненную маслом; ударяющие в масло головки шатунов разбрызгивают его, и отдельные капли попадают в воронкообразные расточки смазочных отверстий движущего и парораспределительного механизма машины. Такая смазка — очень надежна и фактически в работе паровоза требует от бригады лишь общего надзора. Смазка цилиндров и золотников стокерной машины производится или от простых масленок или, лучше, от парового лубрикатора, имеющего несколько выходов. О лубрикаторе будет сказано в разделе «Паровая машина паровоза», том II.

Характеристика паровой машины стокера

Диаметр цилиндров .	180	*мм*
Ход поршня . . .	180	„
Наибольшее давление пара	15	*кг/см²*
Наибольшее число оборотов	100	об/мин
Мощность при 7 *кг/см²* давления пара	20	*л. с.*
Диаметр золотника	70	*мм*
Перекрыша впуска	1,0	
„ выпуска	0,0	
Линейное предварение	1,8	

Из этих цифр мы видим, что стокерная машина представляет собой тихоходную паровую машину, работающую почти без расширения (наполнение 90%) и сжатия; перекрыша впуска и выпуска приближается к 0. Это дает возможность:

1) осуществить наиболее простые конструктивные формы машины,

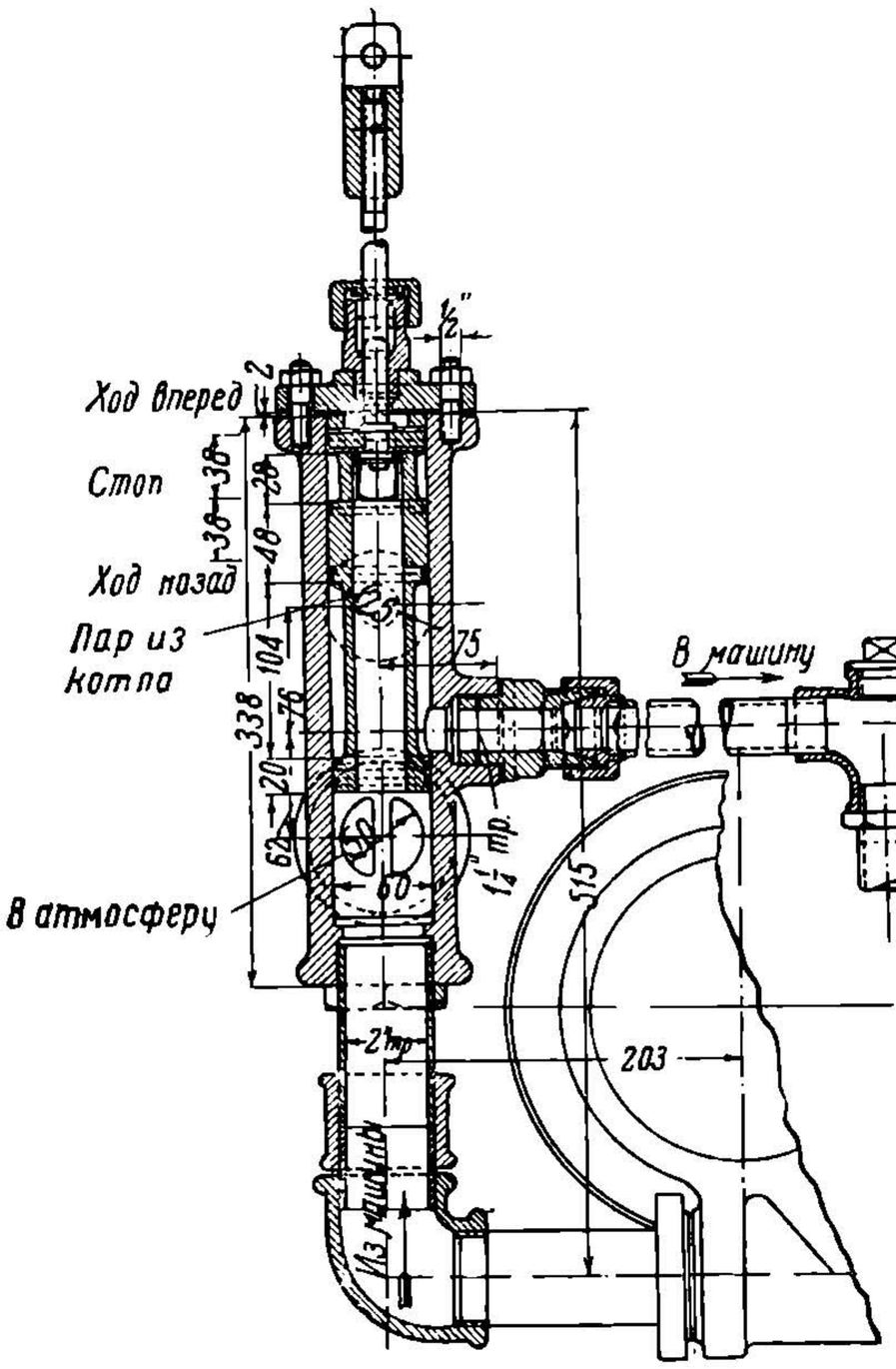
2) брать с места при любом положении кривошипов,

НТБ ДНУЖТ

3) осуществить реверсивность машины простейшими средствами, как об этом будет сказано ниже.

Заметим, что эта простота конструкции машины обусловливает неэкономичность работы: машина расходует до 18—20 *кг* пара на 1 *л. с./час*, что примерно втрое превышает соответствующий расход пара основной машиной паровоза.

Паровые цилиндры (Чл.-1) представляют собой целый блок, привертывающийся к выступам картера так, чтобы между ними и корпусом картера был воздушный промежуток, необходимый для полного устранения попадания пара, просачивающегося через неплотности сальников в картер. Иначе смазка картера быстро загрязнялась бы конденсатом.



Фиг. 211.

Все детали машины стокера — поршни и золотники, шарнирный и парораспределительный механизм, коренной коленчатый вал с подшипниками — имеют совершенно простые формы. Реверсивность машины необходима в условиях эксплуатации стокера. В угле могут попадаться посторонние предметы, чаще всего твердые куски породы. Дойдя по винту до угледробильных зубьев, эти предметы останавливают стокер. Дав винту вращение в обратную сторону, удаляют помешавший предмет, и работа возобновляется нормальным порядком. Иногда небольшой по размерам твердый предмет проходит в сферическое соединение и, дойдя до шарнирного соединения винтов, останавливает механизм. В этом случае прежде всего пытаются обратным вращением винта вытянуть помещавший предмет в корыто стокера а если это не удастся, снимают боковые щитки наружной сферы соединения углепровода, и мешающий работе предмет удаляют.

Редкие случайные периоды работы машины обратным ходом позволили для получения реверсивности машины применить особый золотниковый реверсивный клапан, устанавливаемый возле машины, привод к которому проведен в контрбудку. Идея реверсирования заключается в том, что посредством этого клапана взаимно меняются своими назначениями паровые трубы. Труба для впуска пара в машину становится выхлопной, выхлопная труба оказывается впускной. Течение пара изменяется на обратное: цилиндрические золотники уже имеют не внутренний впуск пара, а наружный, — машина идет в обратную сторону.

На фиг. 211 слева изображен этот реверсивный золотниковый клапан. К корпусу клапана подведены все четыре трубы: труба от котла (от колонки перегретого пара), впускная труба к машине, выпускная труба от машины и труба выхлопа в атмосферу. В цилиндре перемещается сложный по форме цилиндрический золотник, при верхнем положении (показано на фигуре) дающий прямой ход машине, при нижнем—обратный. Работа клапана понятна из чертежа, где имеются пояснительные надписи.

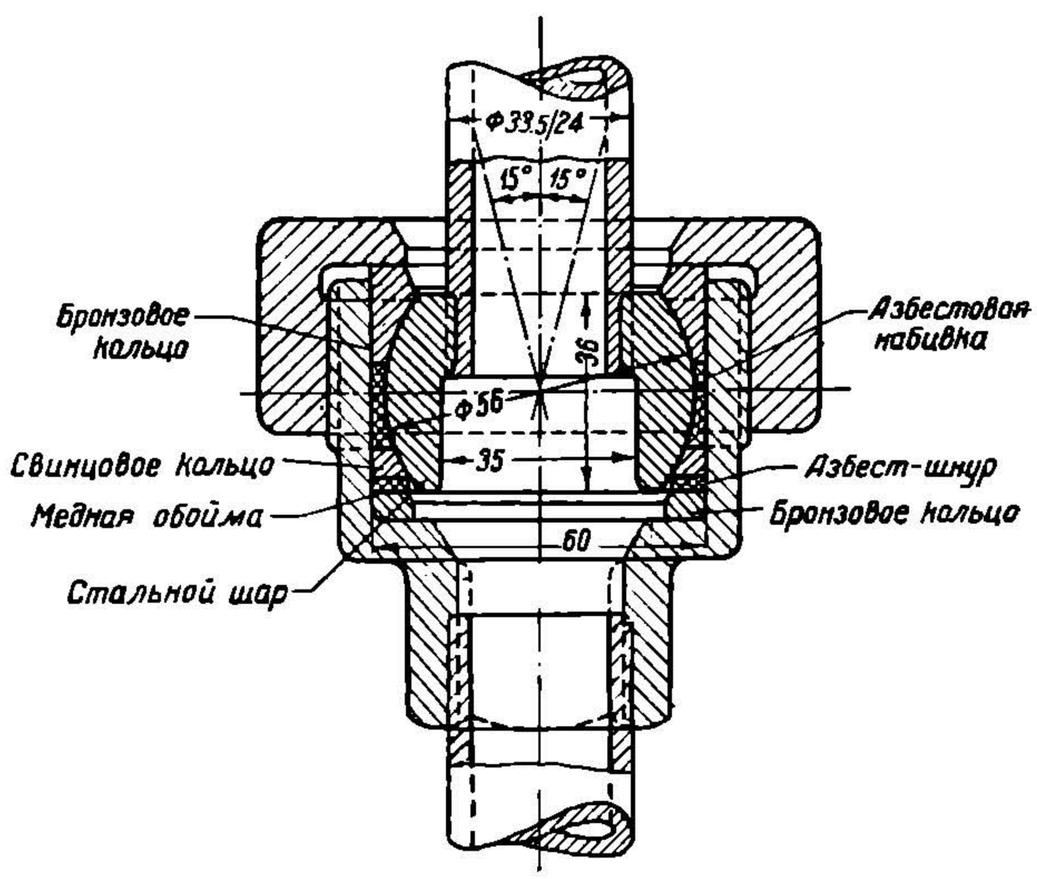
Что касается режима работы машины, то обычно оказывется достаточным очень небольшое давление пара, не превышающее 1,25—2,0 *ат*. Повышение дав-

НТБ ДНУЖТ

ления до 15 *ат* (в будке установлен контрольный манометр) является признаком неполадки в стокере (затор и т. д.).

Гибкий паропровод имеет сферические шарниры, изображенные на фиг. 211а. Количество этих шарниров — три; увеличенное количество сферических соединений по сравнению с тем, что мы имеем в углепроводе (два сферических соединения), объясняется большим давлением и текучестью пара, не позволяющими применить скользящего телескопического соединения, как это сделано в углепроводе. По суги дела расширитель углепровода заменяет собой третий шарнир.

Для обеспечения полной надежности работы всех механизмов стокера и в особенности паровой машины, испытывающей большие напряжения частей при застопоривании винтов в силу каких-либо внешних причин, — в основу расчета на прочность всех частей стокера должно быть положено полное котловое давление, установившееся в цилиндрах стокерной машины. Исходя из этого, рассчитывается с необходимыми минимальными (из-за случайного характера таких перегрузок) запасами на прочность вся цепь деталей, передающих усилие пара на поршень к стокерным винтам,— поршни, штоки, крейцкопфы, параллели, шатуны и коренной коленчатый вал с подшипниками машины, передаточный вал с шарнирами Гука, опоры его, шестерни и их подшипники. Такой метод расчета частей стокера на прочность гарантирует наибольшую надежность работы его в целом. При заторах в углепроводе (например из-за попадания в уголь постороннего предмета) машина останавливается, и поломки частей стокера не происходит.



Фиг. 211а.

§ 10. Ремонт стокера

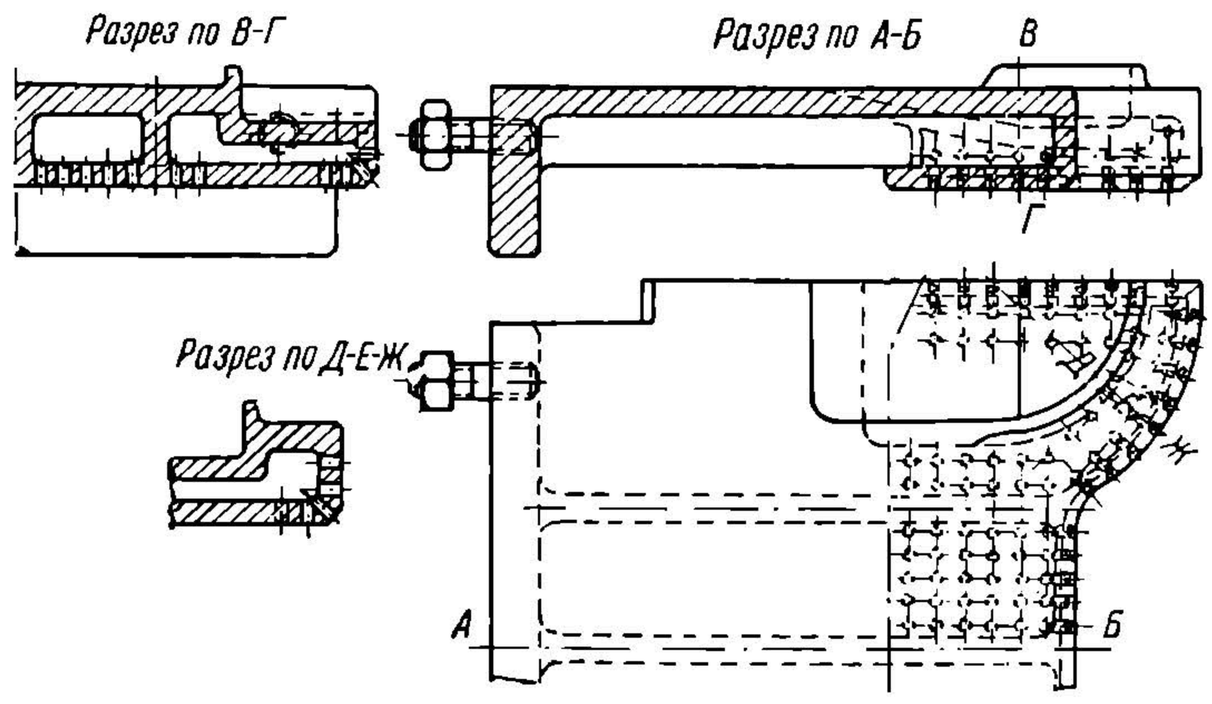
Осмотр, ремонт и уход за стокером требуют особых навыков и знаний. Неисправности стокера могут быть следующие: 1) Пропуск пара и смазки через сальники, что является следствием ослабления укрепления цилиндров машины к картеру. 2) Пропуск пара поршнями и золотниками. Этот случай имеет место при задире стенок цилиндров и золотниковых втулок, а также вследствие износа поршневых и золотниковых колец. Появление задиров вызывается недостатком смазки, особенно при тугой постановке поршней и золотников. Кроме того, могут иметь место непараллельность плоскости скольжения крейцкопфа с осью цилиндра, что также вызывает неравномерный износ стенок цилиндров и пропуск пара. При разработке золотниковой втулки на 0,3 *мм* она должна быть расточена. 3) Грение подшипника коленчатого вала вызывается или недостатком смазки, или засорением смазочных отверстий или сильной затяжкой крышки среднего подшипника. Значительное грение может вызвать даже задиры шеек, что устраняется или зачисткой, или шлифовкой.

При капитальном ремонте вся машина стокера разбирается.

Транспортер или конвейер стокера требует непрерывного за ним ухода и устранения неисправностей. Прежде всего в процессе работы конвейера наблюдаются изгиб и износ винтов. Изгиб винта устраняется путем выправления в горячем состоянии с последующей проверкой на центрах токарного станка. При износе

НТБ ДНУЖТ

же винтов рекомендуется наплавлять изношенные кромки или же приваривать изогнутую по форме винта полосу железа до восстановления первоначального диаметра винта, т. е. до 244 *мм*. Перед наваркой необходимо проверить положение лопастей, так как при большом износе они отгибаются назад, что приводит иногда к перегрузке машины и даже к ее остановке. Лопасти правятся в горячем состоянии. Наваренная поверхность должна быть затем зачищена шлифовальным кругом. Как показал опыт, шероховатость поверхности витков и заусеницы приводят к большому трению их об уголь, а это в свою очередь вызывает необходимость повышения давления пара в машине. При наличии указанных повреждений допускается ремонт изношенных деталей, но кроме того, могут иметь место более крупные повреждения, требующие смены деталей, как например излом винта конвейера и поломка зубьев или трещины и изгиб лопастей переднего (малого винта) конвейера. При



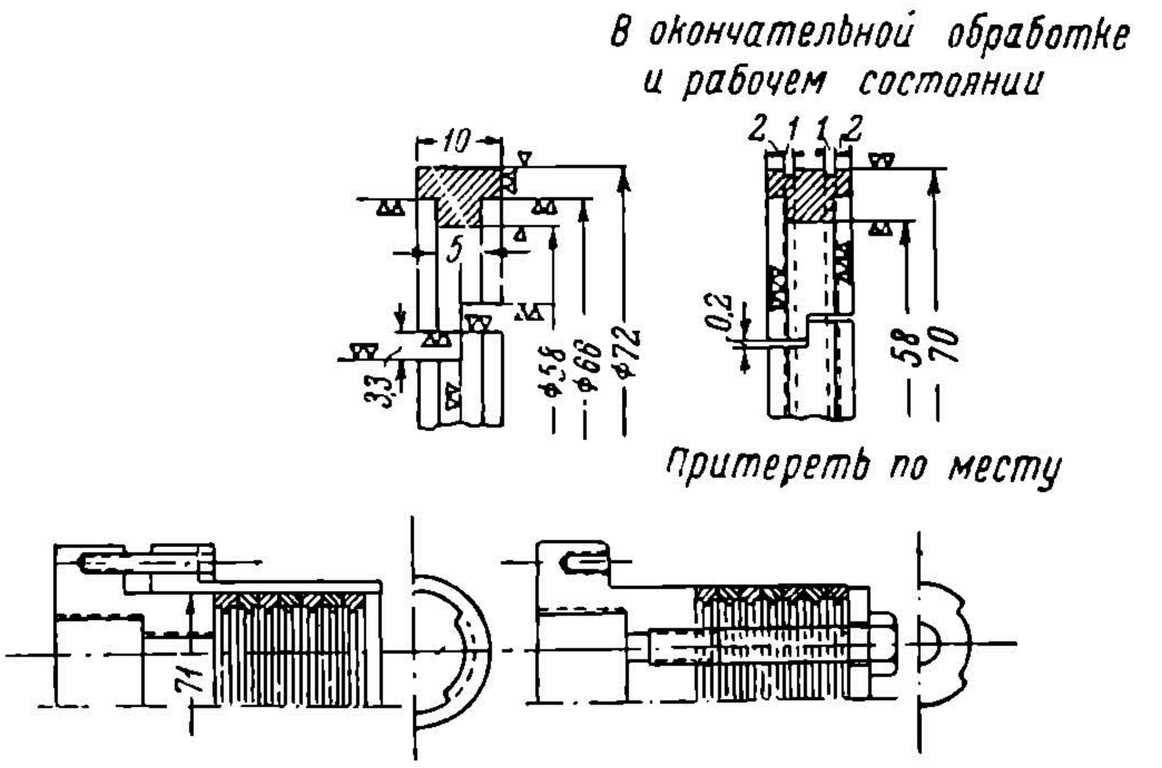
Фиг. 212.

ремонте в депо можно допустить заварку трещины газовой сваркой. 4) Срезание болта шарового соединения головки стокера с направляющей трубой хобота конвейера и зуба в шаровой головке хобота. При ремонте требуется проверка толщины защитного листа в корыте конвейера, а при наличии износа его свыше 6 *мм* он должен быть заменен, так как в противном случае возможны его изгибы или поломка. Наконец, нужно обращать внимание на износ упорных регулирующих шайб заднего винта, нормальная толщина которых равна 26 *мм* (при износе же можно допустить до 18 *мм*). Кроме паровой машины и конвейера, необходимо подвергнуть тщательному ремонту распределительную головку. Прежде всего приходится менять распределительную плиту (фиг. 212) ввиду износа ее отверстий от действия струи пара. При ремонте в депо допускается ввертывание специально заготовленных заглушек с последующей высверловкой в них новых сопловых отверстий диаметром 4 *мм*. При капитальном ремонте как распределительная головка, так и плита (порог), подвергшиеся обгоранию, подлежат смене. Необходимо следить за тем, чтобы передняя плоскоть сопловой камеры находилась под прямым углом к распределительной плите и была перпендикулярна к оси котла, причем распределительная плита должна быть точно горизонтальна. Сопла располагаются на высоте 18 *мм* над плоскостью плиты. Несоблюдение этих условий вызовет неправильное и неравномерное распределение угля по колосниковой решетке. Из деталей стокера, в частности паровой машины, чаще всего требуют смены золотниковые и поршневые кольца, разметка и обработка которых ничем не отличается от изготовления поршневых колец основной машины. Конструкция и их размеры показаны на фиг. 213. Кроме того, при эксплуатации требуется частая смена уплотняющих колец поршневого сальника, материалом которых служит сплав состава: медь — 36,8%, свинец — 60,5%, сурьма — 0,4% и никель — 2,3%.

НТБ
ДНУЖТ

Особо важное значение для работы стокера имеет правильность сборки парораспределения, что проверяется по контрольным кернам, набиваемым на поперечной планке золотникового кулачка, на золотниковом штоке и на эксцентриковой тяге. Расстояние от керна на золотниковом штоке до керна на планке должно быть равно 60 *мм*, а от керна на золотниковом штоке до керна на эксцентриковой тяге — 220 *мм*.

Проверка установки золотников производится следующим образом: золотниковая крышка снимается, поршень же устанавливается в одно из крайних положений, причем измеряется расстояние от притирочной плоскости золотниковой втулки до наружной кромки золотникового кольца. При переднем крайнем положении поршня это расстояние должно быть равно 47,1 *мм*, а при заднем крайнем положении поршня—42,5 *мм*.



Фиг. 213.

При нарушении данных размеров положение золотника регулируется путем его перемещения или же изменения длины эксцентриковой тяги; на практике наблюдаются случаи ее изгиба вследствие заедания сальников, кулачков или постановки золотников с тугими кольцами.

Испытание стокера

После сборки стокера до постановки его на паровоз на ремзаводах должно производиться его испытание на специальных стэндах. Целью испытания является проверка правильности сборки отдельных деталей и производительности стокера. Уголь помещается в отдельно приспособленный ящик, соединенный с корытом стокера; пар для включения машины берется от стационарной установки. Так как все детали стокера открыты, то имеется возможность наблюдать за работой отдельных деталей, за подачей топлива и за его распыливанием. Процесс испытания заключается в следующем: вначале помощью лубрикатора регулируется подача необходимого количества смазки в цилиндры и золотники паровой машины стокера. Затем открываются контрольные вентили и общий паровпускной кран для прогрева и продувки труб к соплам распределительной головки. После этого можно приступить к опробованию распределительных сопел. Все 5 контрольных вентилей (5 шт.) закрываются и затем каждый из них последовательно открывается и закрывается: при этом наблюдаются сила и направление струй пара. Далее прогревается паропровод к машине и делается ее продувка, после чего реверсивный клапан ставится в рабочее положение и открывается заслонка на ящике с углем, из которого он поступает к конвейерному винту и к распределительной головке; при этом проверяется подача угля по замерам расхода его в ящике. Нормально котлы паровозов серий «ФД» и «ИС» могут дать до 24 000 и более *кг* пара в час. Поэтому, приняв паропроизводительность топлива (донецкие угли и их смеси с антрацитами, поступающие на паровозы) равной 6 *кг*, получим, что расход топлива будет равен $\frac{24\,000}{6} = 4\,000$ *кг/час*, что и должен без всякой перегрузки давать стокер.

НТБ ДНУЖТ

ГЛАВА VI

АРМАТУРА КОТЛА

§ 1. Основные сведения

Классификация арматуры

Арматуру паровозного котла возможно классифицировать следующим образом:

1. Арматура, обеспечивающая возможность и безопасность работы котла. Это— основная и наиболее значительная по количесту приборов группа. У старых паровозов эта группа составляется манометром, предохранительными клапанами, водомерным стеклом, водопробными кранами и инжекторами (свежего пара). Мощные паровозы, кроме того, снабжаются водяными колонками, иногда — приборами, сигнализирующими об опасном понижении уровня воды в котле («аларм-сигнал»).

2. Арматура для содержания котла в исправном состоянии. В эту группу входят впускные и продувательные краны и клапаны, а также и приборы для продувки труб на ходу паровоза. Последними пока снабжаются паровозы только со стокерным отоплением.

3. Вспомогательная арматура котла. Приборы этой группы — пароразборные колонки насыщенного и перегретого (у мощных паровозов) пара, воздухоразборная колонка (у мощных паровозов), свисток и различные вентили и краны, устанавливамые на трубопроводах.

4. Арматура угольного (или нефтяного) отопления. Арматуру угольного (или нефтяного) отопления составляют различные вентили и краны. Заметим, что в перечень арматуры угольного отопления стокер со всеми его устройствами не входит.

Роль котельной арматуры чрезвычайно велика. В ПТЭ § 186 посвящен котельной арматуре.

Размещение арматуры

Основной тенденцией развития арматуры и ее размещения на лобовом листе современных крупных паровозов является дублирование главнейших приборов, для того чтобы, во-первых, повысить общую надежность показаний и, во-вторых, расположить дублированные приборы в непосредственной близости и к машинисту и к помощнику.

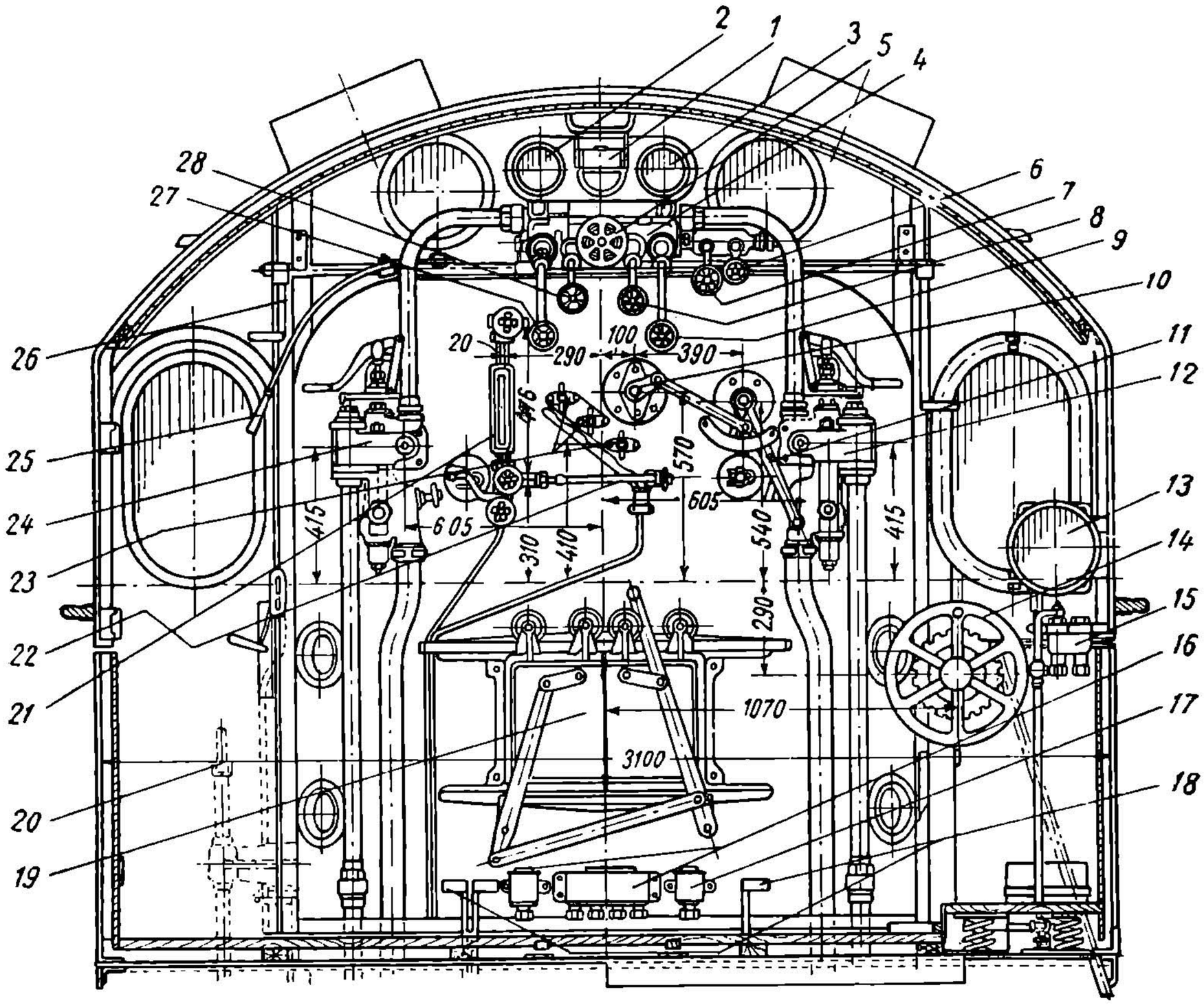
На лобовом листе и верхней части потолка кожуха, выступающей в будку машиниста, располагаются все основные приборы арматуры. Усложнение арматуры мощных котлов, необходимое для увеличения безопасности и надежности работы котла, для создания наибольших удобств для обслуживающего персонала, — вызывает настолько большое загромождение будки машиниста, что наиболее громоздкие части арматуры, например пароразборную колонку, инжекторы, часто приходится вносить за пределы будки.

Сложность управления мощным паровозом ставит во весь рост вопрос о всемерном облегчении обслуживания котла и всего паровоза путем внедрения механизации: введение механического отопления (стокер), воздушного привода к рычагу перемены хода (серво-мотор), устройство сигнала, особым небольшим свистком дающего знать машинисту и помощнику об опасном понижении уровня воды в котле—«аларм-сигнал», и т. д.

Чрезвычайно актуальным для мощного паровозостроения является вопрос об использовании энергии сжатого воздуха от главного воздушного резервуара тормоза для приведения в движение тех или иных приборов и устройств. У современных крупных паровозов сжатым воздухом пользуются для следующих устройств: 1) рычага перемены хода; 2) песочницы; 3) и 4) продувательных клапанов паровых цилиндров основной машины, а также бустера (если он имеется); 5) шуровочной дверки; 6) качающихся колосников (пока применяется ручной привод); 7) привода свистка.

НТБ
ДНУЖТ

Что касается способов укрепления приборов арматуры, то основным, пользующимся почти исключительным распространением на наших старых паровозах способом является постановка приборов на чечевичных кольцах или на мелкой (трубной) цилиндрической нарезке. Оба способа имеют крупные недостатки, в особенности второй. Постановка какого-либо вентиля, инжектора на чечевичном кольце (ОСТ 3356), конечно, является наиболее надежным способом укрепления прибора. Такое соединение очень прочно и герметично, но высокая стоимость деталей, необходимость шлифовки кольца и опорных конических поверхностей под это кольцо, длительная сборка и разборка являются недостатком такого способа. В современном мощном паровозостроении такие соединения применяются только для постановки тяжелых и громоздких приборов арматуры, например инжекторов, пароразборной колонки, свистка.



Фиг. 214.

Наиболее старым и неудовлетворительным, хотя и распространенным способом укрепления приборов арматуры является ввертывание на цилиндрической трубной резьбе. Такая резьба не обеспечивает герметичности соединения. Поэтому уплотнение соединения достигается постановкой мягкой прокладки, которая не отличается долговечностью.

В современном паровозостроении теперь вводится постановка арматуры на к о н и ч е с к о й резьбе. Приборы арматуры мощных паровозов почти целиком (за исключением крупных деталей) ставятся именно таким способом.

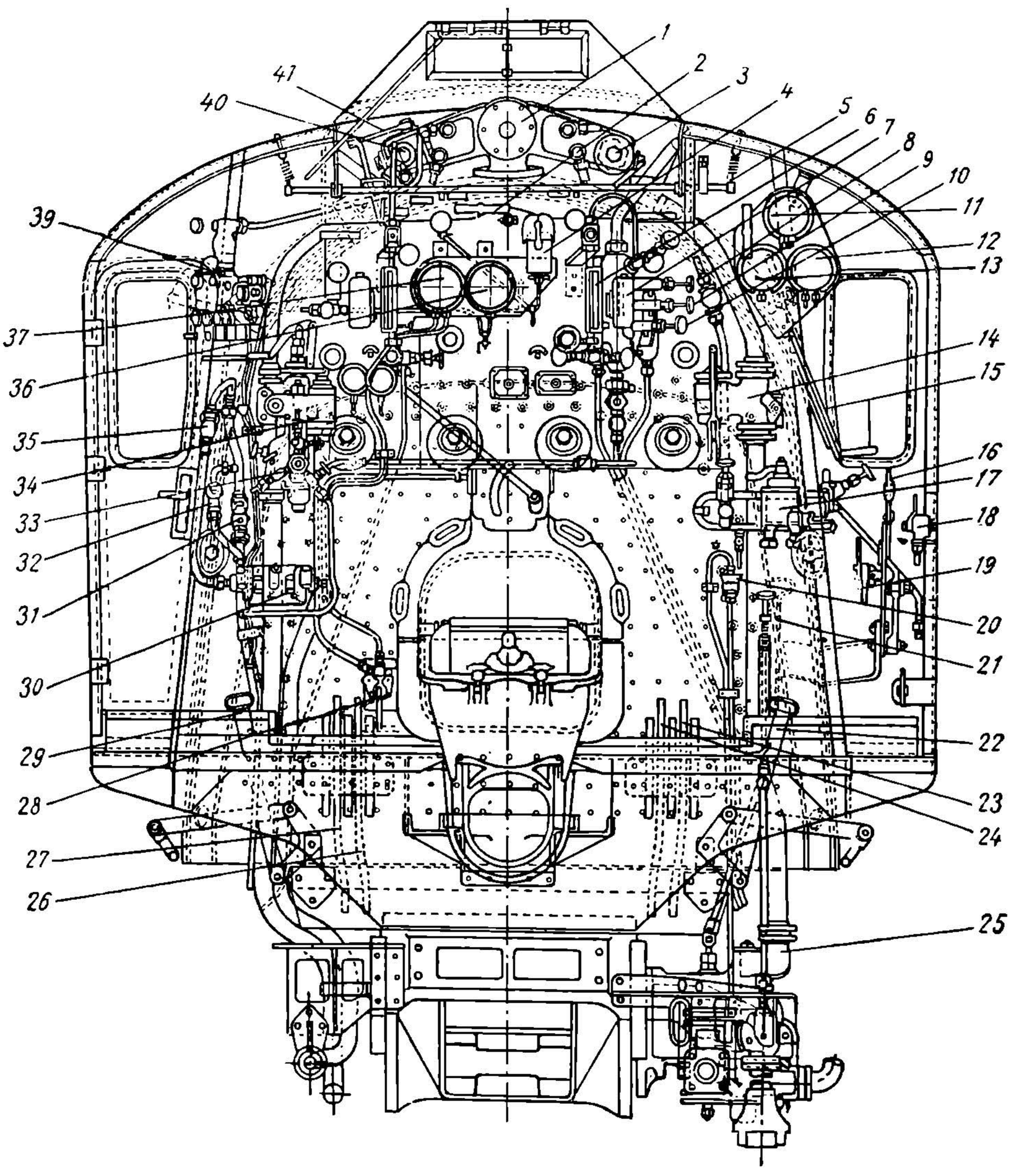
Коническая нарезка делается, как правило, на конусе $^1/_{16}$, причем зубцы резца (гребенки или метчика) должны быть перпендикулярны к образующей конуса, а не к оси его.

Соединение на конической нарезке дает вполне удовлетворительный результат. Это надежный, быстрый и относительно дешевый способ постановки тех или иных приборов.

НТБ ДНУЖТ

Перечень арматуры

Прежде чем перейти к рассмотрению основных приборов котельной арматуры, познакомимся с общим перечнем приборов. Сосредоточенные в будке машиниста органы обслуживания паровоза в пути — в основной массе составляются приборами котельной арматуры. Рассмотрим перечни арматуры наиболее характерных паровозов, попутно называя и другие органы управления паровозом, размещенные в будке машиниста. Сперва рассмотрим паровоз серии «СУ» — типич-



Фиг. 215.

ный представитель наших паровозов нормальной мощности — и затем мощный паровоз серии «ФД» — основной тип товарного паровоза.

На фиг. 214 показаны котельная арматура и другие органы управления и обслуживания паровоза серии «СУ». Перечисляем: *1* — котловой манометр; *2* — пирометр золотниковой коробки; *3* — тормозной манометр (двойной); *4* — пароразборная колонка; *5* — запорный вентиль пароразборной колонки; *6* — вентиль продувки труб; *7* — вентиль прогрева смазочного пресса; *8* — вентиль (паровой) к тормозному насосу; *9* — вентиль к правому инжектору; *10* — кулачек регуляторного вала; *11* — рычаг регулятора; *12* — инжектор Фридмана типа RS № 11 (правый); *13* — измеритель скорости движения паровоза; *14* — маховик пере-

НТБ ДНУЖТ

водного винта (реверс); *15* — кран машиниста воздушного тормоза; *16* — масленки букс и направляющих рессорных хомутов задней тележки; *17* — масленки задней опоры топки; *18* — рычаги клапанов зольника (поддувала); *19* — раздвижная двустворчатая шуровочная дверка; *20* — привод опрокидывающихся колосниковых плит; *21* — водомерное стекло; *22* — привод к запорному вентилю водомерного стекла; *23* — водопробные краны (3 шт.); *24* — инжектор (левый); *25* — привод ручной песочницы (воздухораспределительный кран воздушной песочницы, устанавливаемый справа в будке, не показан); *26* — привод свистка (вал привода расположен поперек будки; по концам вала — рычаги и рукоятки); *27* — вентиль инжектора; *28* — вентиль сифона.

Арматура и другие детали в будке паровоза серии «ФД» показаны на фиг. 215. Здесь мы имеем значительные изменения по сравнению с нашими паровозами старых типов и в частности с паровозами серии «С^{У}». Перечисляем детали: *1*—пароразборная колонка насыщенного пара; в центре ее — запорный вентиль; *2* — рукоятка запорного вентиля колонки, *3* — вентиль к правому инжектору (Натана); *4* — котловой манометр двусторонний, с электрической лампочкой вверху; *5* — вал (поперек будки) ручного привода свистка; *6*—водомерное стекло Клингера (правое); *7* — водяная колонка; *8*, *9* и *10* — водопробные краны; *12* — пирометр пароперегревателя; *13* — тормозной манометр (двойной); *14* — паровой клапан к инжектору Натана; *15* — рычаг регулятора; *16* — рычаг воздушного реверса (серво-мотора); *17*— кран машиниста воздушного тормоза; *18* — воздушный кран продувательных клапанов паровых цилиндров; *19* — воздухораспределительный кран песочницы; *20* — сигнальная воронка инжектора Натана; *21* — привод к инжектору Натана (и водяному и вестовому клапанам); *22* — тяга к клапанам зольника (правая сторона); *23* и *24* — рычаги качающихся колосников (правая сторона); *25*—инжектор Натана; *26* и *27*—рычаги качающихся колосников (левая сторона); *28* — педаль воздушного механизма шуровочной дверки, *29* — тяга к клапанам зольника (левая сторона); *30* — распределительная коробка к соплам стокера — с пятью вентилями; *31* — вентиль (большой) к паровой машине стокера; *32* — то же, малый; *33* — вентили на левом инжекторе для заливки золы и изгари; *34* — инжетрор (левый) Фридмана RS № 11; *35* — главный вентиль к распределительной коробке сопел стокера; *36* — манометр золотниковой коробки; *37* — манометр стокера (двойной); *39* — паровой лубрикатор (смазочный прибор); *40* — вентиль к левому инжектору; *41* — привод парового вентиля для продувки жаровых и дымогарных труб.

§ 2. Арматура, обеспечивающая возможность нормальной и безопасной работы котла

Манометр

Роль котлового манометра на современном паровозе чрезвычайно велика и ответственна. Она получила отражение в ПТЭ, где в § 186, п. г говорится, что «Котел каждого паровоза должен иметь не менее одного манометра для определения давления пара в котле. Манометры должны иметь контрольную стрелку и на циферблате красную черту, определяющую наивысшее допускаемое давление пара в котле. Манометры должны периодически проверяться с указанием на них даты осмотра».

На каждом котле должна быть табличка, укрепленная на обшивке любого места с указанием: 1) железной дороги, к которой приписан паровоз; 2) серии и номера паровоза; 3) номера котла; 4) завода, изготовляющего котел, и года постройки; 5) наибольшего допускаемого давления (согласно данным этой таблички и наносится красная черта на манометре); 6) времени и места последнего полного освидетельствования котла.

У всех старых паровозов манометр располагается, как правило, наверху кожуха топки, у лобового листа.

У мощных котлов с их очень высоким кожухом наблюдение за манометром, помещенным вверху, было бы затруднительно.

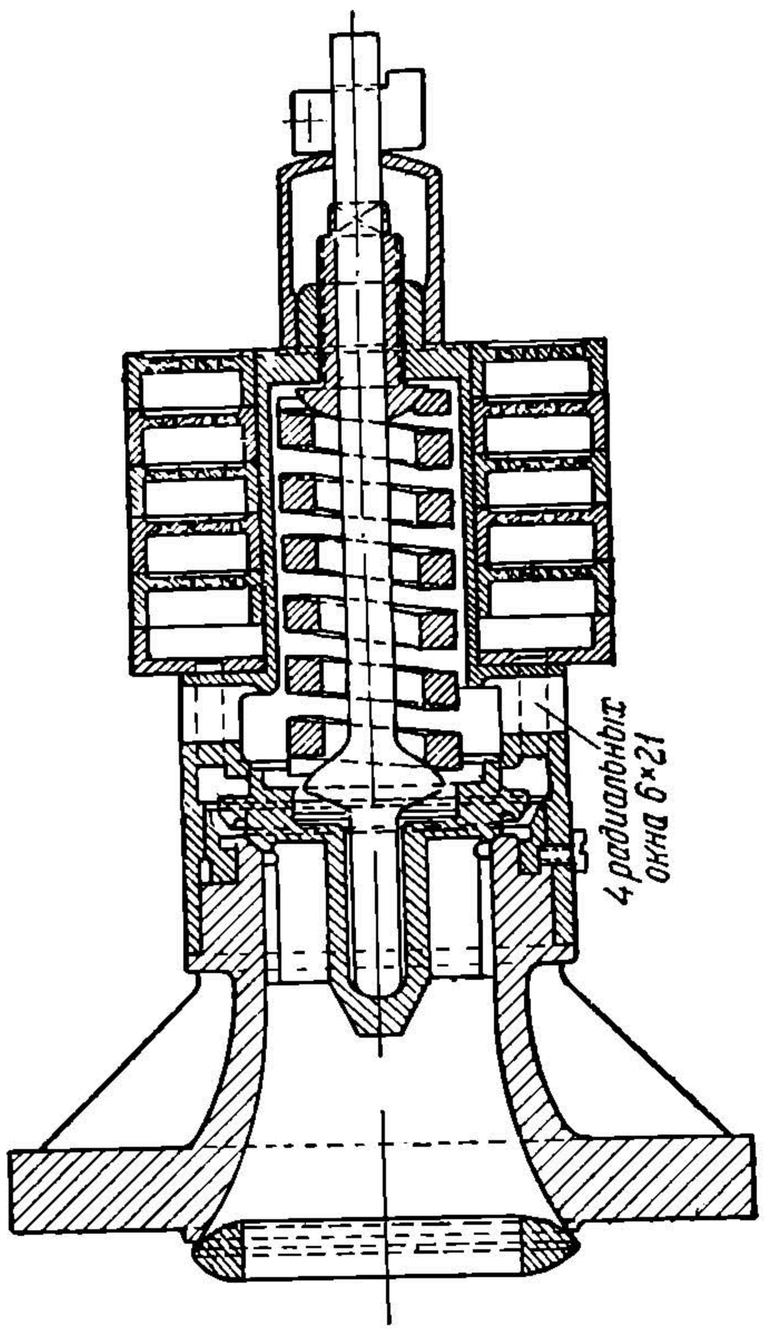
НТБ ДНУЖТ

Поэтому манометры всех мощных котлов располагаются значительно ниже на лобовом листе, причем манометры располагаются в плоскости, не п о п е р е ч н о й котлу, как это имеет место у всех старых паровозов, а п р о д о л ь н о й; манометр делается двусторонним: один циферблат обращен к машинисту, а другой — к помощнику. В этом случае наблюдение за манометром очень удобно.

П р е д о х р а н и т е л ь н ы е к л а п а н ы

На наших старых паровозах применяются многочисленные системы предохранительных клапанов котла, часто обладающие теми или иными недостатками. Наиболее частые недостатки — недостаточная чувствительность и склонность клапанов к закипанию.

Нечувствительность клапана выражается в том, что он, открывшись, выпускает огромное количество пара и садится на место с опозданием, когда давление в котле уже значительно упало и стрелка манометра отошла от красной черты. Такое запаздывание закрытия клапана объясняется «скоростным» подпором паровой струи, ударяющей снизу в клапан. У клапанов «альфа» влияние этого скоростного подпора сведено до минимума.



Фиг. 216.

На фиг. 216 показан клапан «альфа» в его наиболее распространенном на наших более или менее современных паровозах выполнении, но на вновь строящихся паровозах уже не применяемый.

Выйдя из-под клапана и пройдя по кольцевому каналу, пар по каналам попадает в верхнюю часть корпуса, составленную из ряда дисков с просверленными в них мелкими отверстиями, сужающимися кверху. Небольшая часть пара выходит в четыре радиальных прямоугольных отверстия 6 × 21 *мм*, сделанных в корпусе (несколько выше клапана).

Чувствительность посадки клапана на место в основном дают верхние шайбы, уменьшающие скорость вылета пара: над клапаном здесь создается некоторое давление; скоростной подпор пара резко уменьшается, и именно эта особенность клапана «альфа» оказалась очень ценной; клапан «альфа» обычно открывается очень ненадолго, часто работает «отрывками» по нескольку секунд.

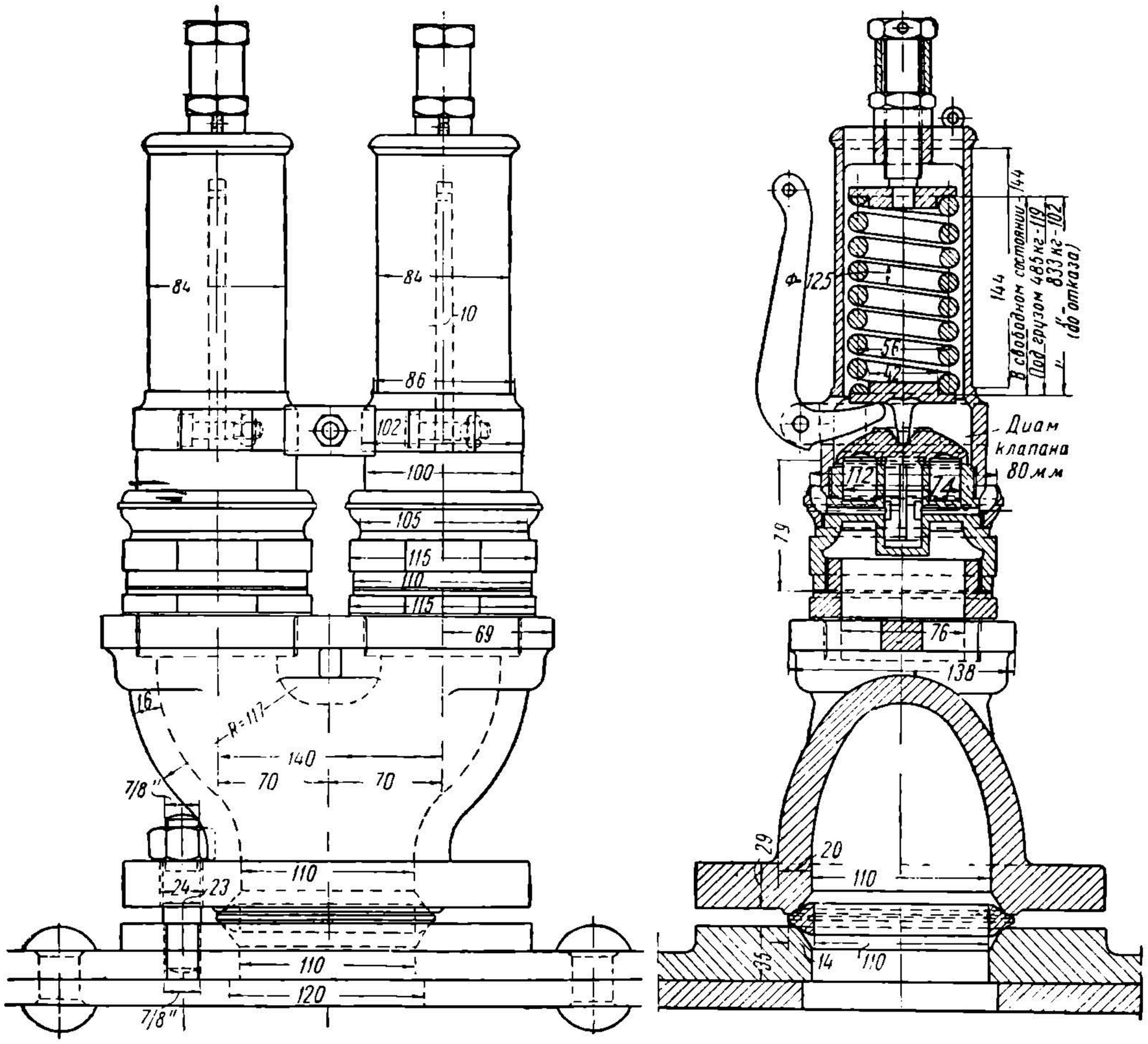
Заметим, что небольшая скорость выхода пара способствует более спокойному его вытеканию; последнее устраняет возможность бросания воды через клапан. Обычные старые конструкции клапанов, — с выходом пара из-под клапана непосредственно в атмосферу, дают выбрасывание его с такой скоростью, что вода в котле вспенивается и частично выбрасывается в смеси с паром.

Но клапан «альфа» все же имеет несколько дефектов: он сложен и дорог, короткая и весьма сильная пружина с течением времени теряет упругость, что резко понижает чувствительность клапана, и в дальнейшем наблюдаются случаи поломки пружины и заедания стержня в верхней гайке.

На фиг. 217 показан о б л е г ч е н н ы й клапан типа «альфа», применяющийся на наших старых паровозах параллельно с клапанами «альфа» нормальной конструкции. Обычно на сухопарнике ставился нормальный клапан «альфа», а на кожухе топки — два клапана облегченной конструкции.

НТБ ДНУЖТ

Этот клапан, напоминающий оригинальный клапан «альфа», не имеет сверленых шайб и регулировочного кольца. Пар в основной своей массе выходит вверх по трубке, в которой размещена пружина, частью направляется через четыре радиальных канала, проходя к ним по направляющему хвостовик клапана стакану. Хвостовик клапана сделан крестообразным, ребристым. Выбрасывание части пара по этим радиальным отверстиям, уменьшая давление под клапаном, также способствует быстрой посадке клапана на место. Проход пара по верхней трубке несколько стеснен, вследствие чего над клапаном здесь также имеется некоторое давление. Такие клапаны лишь немного уступают оригинальным клапанам «альфа» в чувствительности.



Фиг. 217.

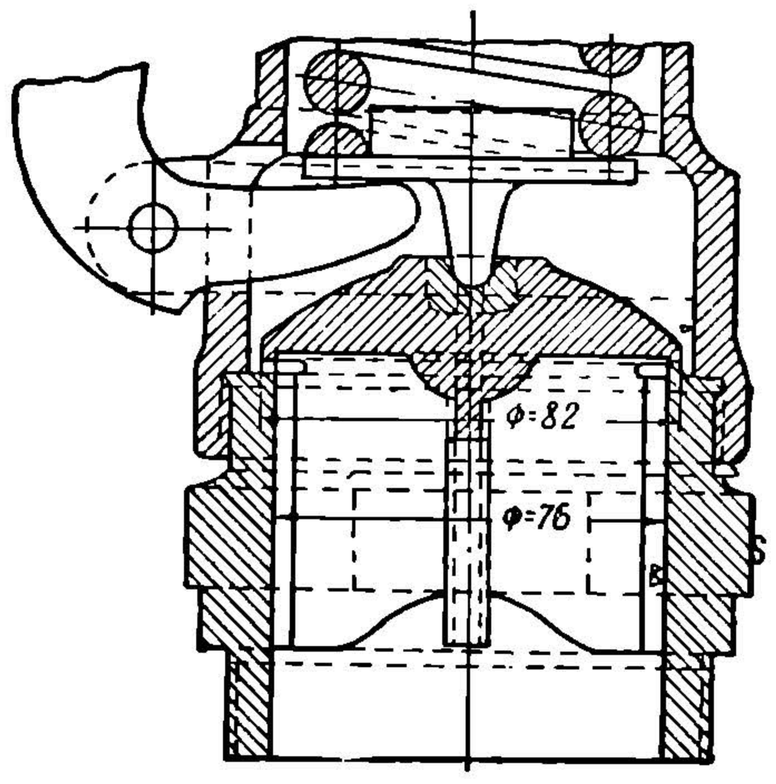
За самое последнее время такие клапаны еще несколько видоизменены, как показано на фиг. 218, изображающей нижнюю часть упрощенного клапана. Верхняя часть клапана одинакова с предыдущим облегченным клапаном «альфа». Здесь клапан имеет простую дисковую форму с четырьмя направляющими; радиальные выходы пара отсутствуют вовсе.

На наших мощных паровозах серий «ФД» и «ИС» поставлены клапаны типа Кросби (фиг. 219), по своим качествам превосходящие наши старые системы.

Самый клапан здесь поршневого типа, опирающийся на седло своей гладкой торцовой поверхностью. Верхний стакан корпуса является одновременно направлением для клапана. Итак, первое достоинство клапана — отсутствие ребер, стесняющих проход. Это положительное качество сейчас же повлекло за собой возможность значительного уменьшения диаметра клапана (проход имеет диаметр 36 *мм*). Второе достоинство клапана — возможность изготовления как

НТБ ДНУЖТ

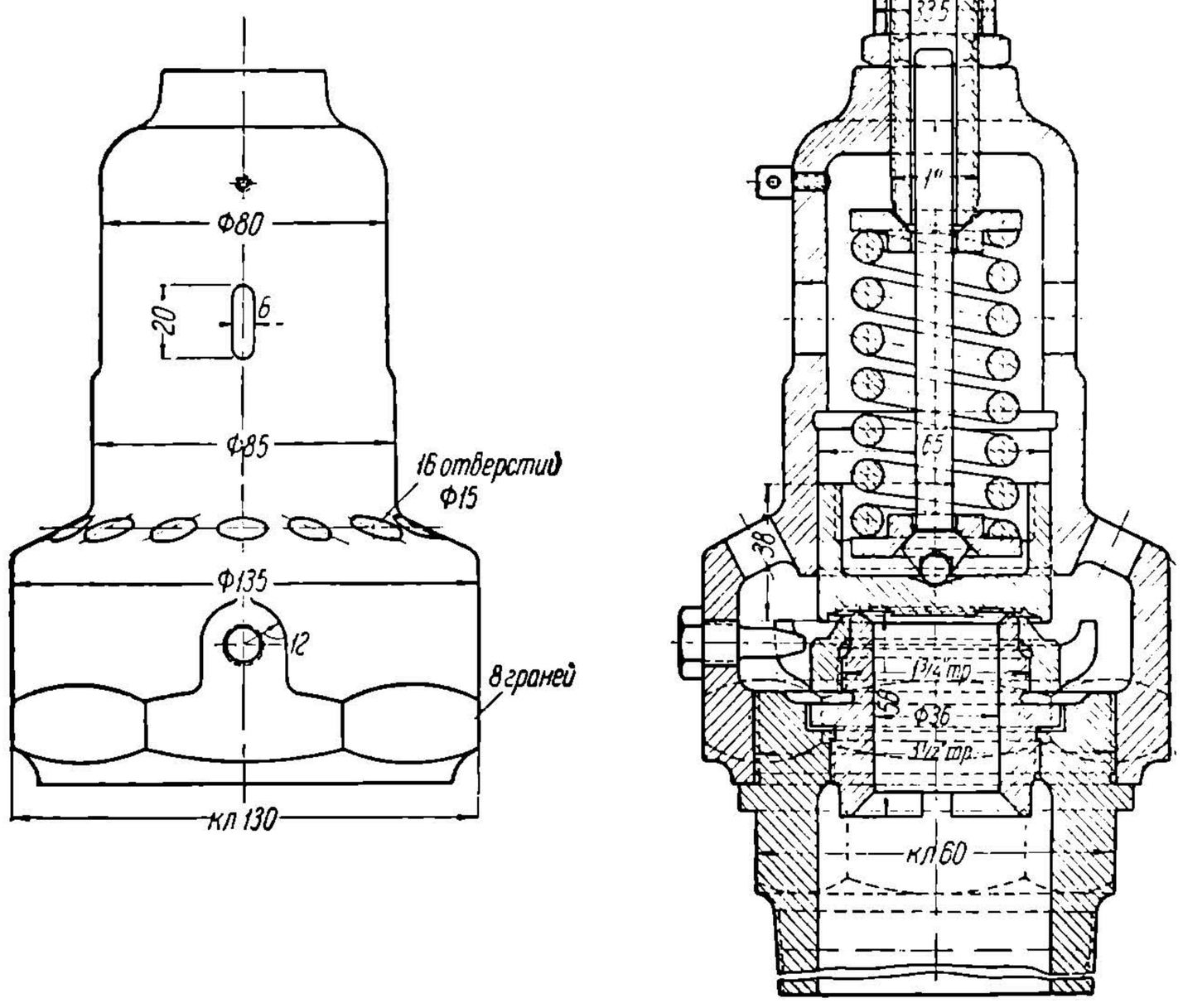
самого клапана, так и седла втулки из с т а л и вместо бронзы и, следовательно, возможность осуществления плоской долговечной притирки. Здесь вначале примянялась легированная (хромоникелевая) сталь, достаточно устойчивая против коррозии и в силу своих высоких механических качеств обеспечивающая длительную герметичность при очень узкой притирочной поверхности; позже получила применение нержавеющая сталь марки «Энерж-7». Очень узкая притирочная поверхность — долговечна (сталь) и, главное, обеспечивает почти полную невозможность прикипания клапана к седлу.



Фиг. 218.

Количество предохранительных клапанов на котле должно быть не меньше двух (согласно § 186, п. б ПТЭ). Огромное большинство старых паровозов имеет по три предохранительных клапана. Клапаны имеют то или иное приспособление, не допускающее изменения нагрузки на клапан (подтягивания пружины). После регулировки пружины натяжное приспособление запломбировывается (§ 186, п. е ПТЭ).

На регулировку пружин нужно обращать серьезное внимание. Для того чтобы избежать одновременного открытия всех трех исправно действующих клапанов, пружины их регулируются



Фиг. 219.

по инструкции НКПС за № Т/514 так, чтобы один из них поднимался при достижении давления пара на 0,125 *ат* больше рабочего, другой — при дальнейшем увеличении давления до 0,3 *ат* сверх рабочего и третий — при

НТБ ДНУЖТ

увеличении давления на 0,5 *ат* сверх рабочего. Работает обычно лишь один первый клапан.

Расчет диаметра клапана может быть произведен по нескольким формулам. В основу их составления положено равенство «расхода» пара клапаном и средней парообразовательной способности котла.

Приведем весьма распространенную в США формулу ARA для определения диаметра предохранительного клапана, дающую диаметр одного клапана и предполагающую постановку на котел двух-трех клапанов, отрегулированных на разные давления (интервал около 0,2 *ат*):

$$d = 17 \cdot \frac{H_{исп}}{h \cdot (p_к + 1)}. \qquad (118)$$

Здесь d в *мм*, $H_{исп}$ — испаряющая поверхность нагрева в $м^2$, h — высота подъема клапана в *мм*, $p_к$ — рабочее давление пара (*ат*) в $кг/см^2$.

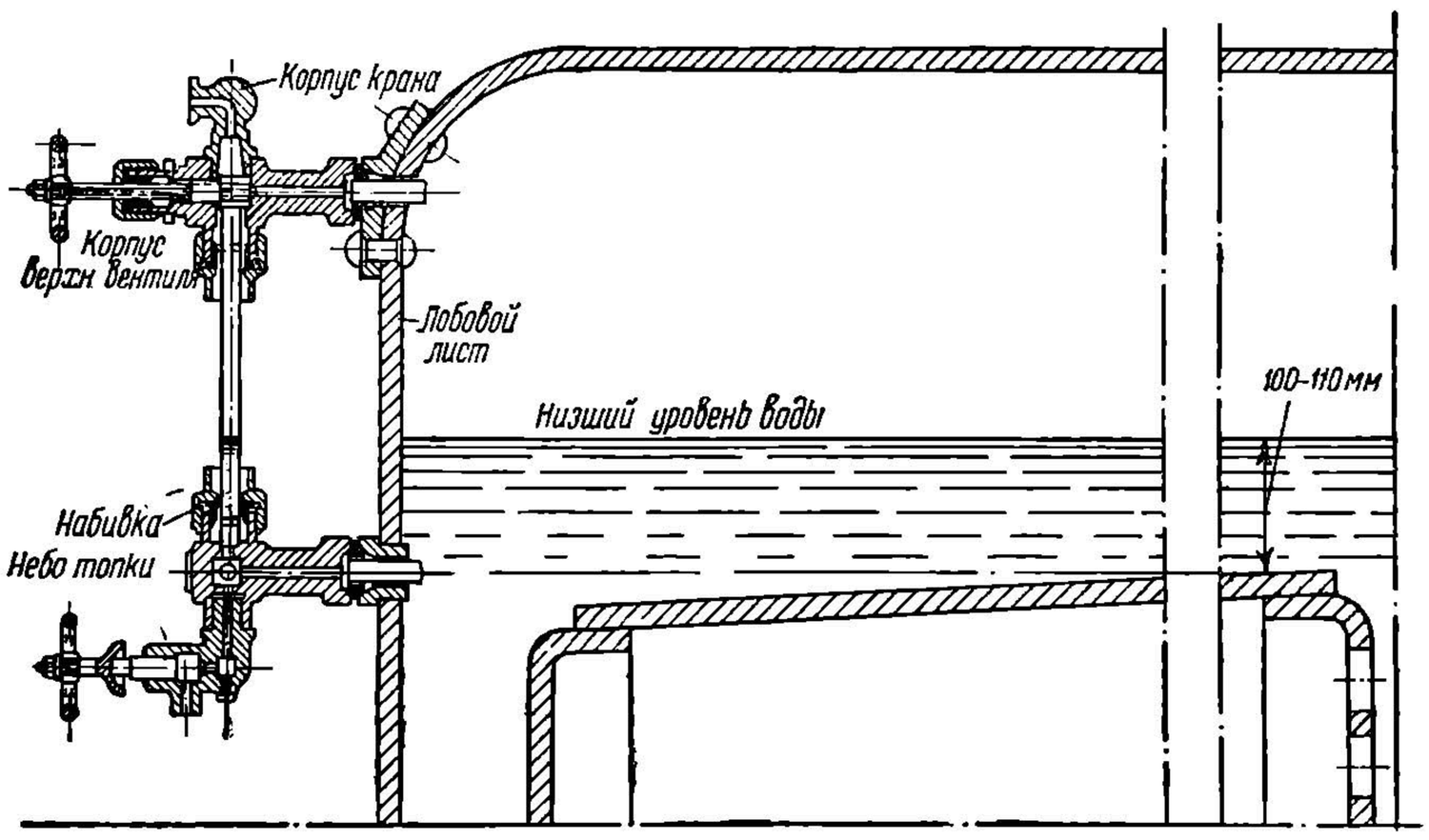
Заметим, что поршневые клапаны (без ребер) имеют необычно большую высоту подъема, достигающую

$$h'' = \frac{\pi d^2_{кл}}{4 \pi d_{кл}} = \frac{d_{кл}}{4}, \qquad (119)$$

что и позволяет применять очень небольшие диаметры отверстий [1].

Водомерное стекло

Круглое водомерное стекло и его расположение показано на фиг. 220. Такое стекло имеет два существенных дефекта: во-первых, оно непрочно и недолговечно (стекло подвержено износу от действия котельной воды) и, во-вторых, уро-



Фиг. 220.

вень воды в нем виден плохо. Бригаде нужно быть особенно бдительной в части наблюдения за уровнем воды в котле.

Круглые стекла в новых паровозах заменяются значительно лучшими стеклами Клингера. Действительно, чтобы предохранить обслуживающих паровоз лиц от ранений осколками лопнувшего стекла, круглое стекло всегда снабжается (окружается) тем или иным защитным приспособлением, например металлическими рамками со вставленными в них толстостенными стеклянными плитками, еще более ухудшающими видимость уровня воды. Стекла Клингера, свободные

[1] Подробнее о расчете предохранительных клапанов см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ

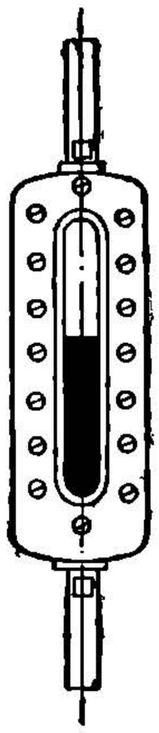
от недостатков старых круглых стекол, получили за последние годы огромное распространение, и все вновь строящиеся паровозы снабжаются только такими стеклами.

Основное достоинство стекла Клингера — его механическая прочность. Случаи излома стекол редки. Другое достоинство стекла Клингера — окрашивание им воды в черный цвет, а пара — в серебристо-белый. Вследствие этого уровень воды в стекле отчетливо виден даже в полуосвещенной будке.

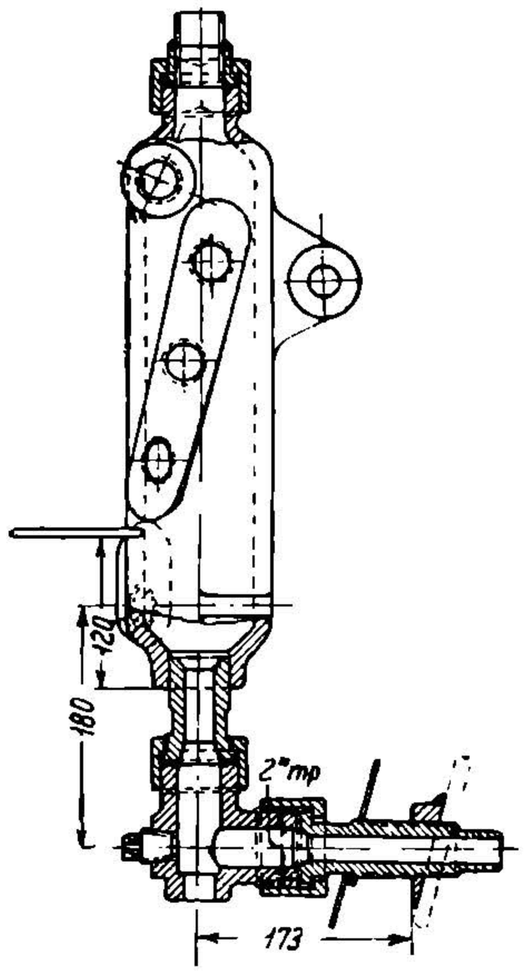
Стекло Клингера (фиг. 221) представляет собой массивную стеклянную плитку, закрывающую вертикальный желобообразный корпус. Последний снабжается двумя недлинными отростками-трубками, вставляющимися в обычные краны водомерного стекла.

Окрашивание воды в черный цвет получается за счет имеющихся с внутренней поверхности стекла, обращенной к корпусу, бороздок, идущих вдоль стекла. Смоченные водой рубцы пропускают луч света внутрь корпуса, и поэтому вода как бы окрашивает стекло в темный цвет. Несмоченное стекло (там, где корпус стекла заполнен паром) отражает обратно лучи света, и поэтому паровое пространство стекла кажется белым, резко разнящимся по окраске от водяного пространства.

Вблизи от водомерного стекла на лобовом листе укрепляется пластинка с указателем и надписью «Наинизший уровень воды в котле». Указатель наинизшего уровня устанавливается на высоте не меньше 100 *мм* над наивысшей гранью потолка топки (при горизонтальном положении продольной оси котла). Ниже этой дощечки на соответствующей высоте делается другая отметка потолка (неба) топки.



Фиг. 221.



Фиг. 222.

Краны водомерного стекла должны давать возможность выключения стекла от котла, а также продувки как самого стекла, так и (отдельно) каналов, сообщающих стекло с котлом. Пробочные краны, применяющиеся на наших старых паровозах, работают неудовлетворительно: они часто парят, часто требуют ремонта (притирки пробок). За последнее время они стали заменяться вентилями, работающими значительно лучше.

Пробочные краны на всех вновь строящихся паровозах не применяются, так как они неудобны в работе (слишком резкое открытие) и требуют частого ремонта (притирки). Вентили свободны от этих недостатков.

Водяная колонка

Водяная или водомерная колонка является дополнительным элементом арматуры крупных котлов. Энергичное парообразование, значительно искажающее (в сторону повышения) показания стекла; большая длина котла, обусловливающая значительные колебания воды в стекле; затруднительность вследствие этого определения истинного уровня воды — заставляют всемерно стремиться к обеспечению наиболее надежной работы мощных котлов. Заметим, что водомерное стекло, непосредственно присоединенное к котлу, дает верные показания только при отсутствии отбора пара из котла.

Водяная колонка, во-первых, несколько приближает наблюдаемый уровень к действительному уровню воды в котле; во-вторых, уменьшает количество отвер-

НТБ ДНУЖТ

стий в листах. Колонка является промежуточным элементом, располагающимся между котлом и одним из водомерных стекол. На фиг. 222 показано устройство водяной колонки.

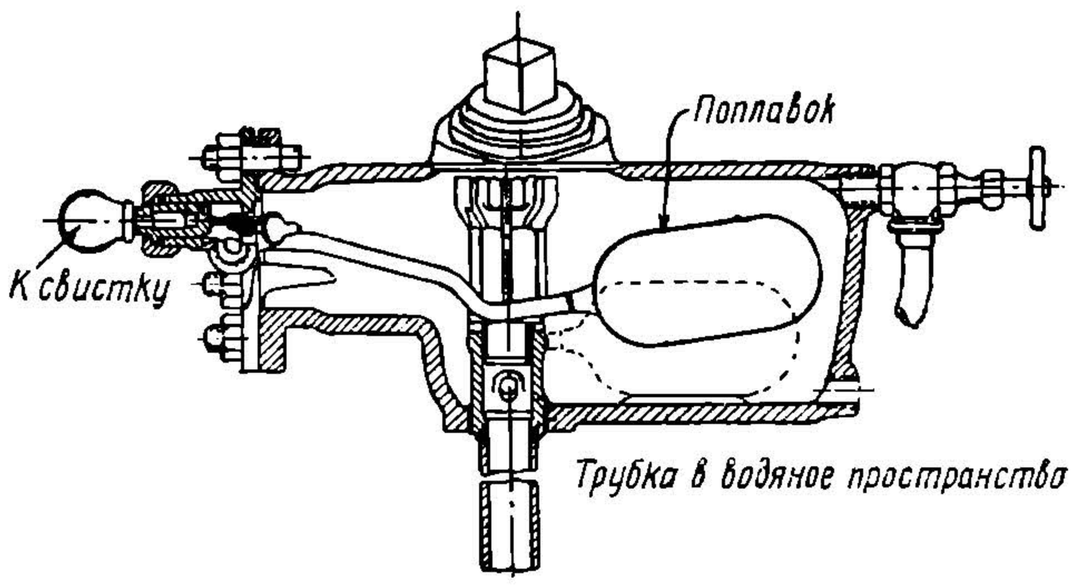
Сама колонка представляет собой стальной литой полый цилиндр диаметром 80—120 *мм*, располагающийся обычно справа на лобовом листе. Верхнее и нижнее его отверстия соединяются с котлом обычным способом. Эта колонка частью заполнена водой, частью паром, к колонке укрепляется второе (правое) водомерное стекло, в ее стенку ввертываются также и три водопробных вентиля.

Сигнал понижения уровня воды в котле («аларм-сигнал»)

Практика показывает, что, несмотря на опытность и внимательность паровозных бригад, все же время от времени у отдельных бригад имеют место случаи недопустимого понижения уровня воды в котле и расплавления предохранительных пробок.

В США за последние 10—15 лет получают распространение особые приборы «Low Water alarm» [1], устанавливаемые сбоку на цилиндрической части котла и особым свистком сигнализирующие машинисту об опасном понижении уровня воды.

Приборы эти поставлены на работающих у нас паровозах серии «$Т^{А}$». На фиг. 223 показан продольный разрез прибора. Корпус прибора устанавливается на котле (несколько сбоку); внутрь котла входит основная труба, заканчивающаяся немного выше горизонтальной плоскости, соответствующей низшему уровню воды. Эта труба, своим верхним концом заходящая в корпус—резервуар прибора, открыта сверху, и кроме того, она же имеет небольшое отверстие в нижней части корпуса. Другой существенной частью является поплавок, всплывающий вверх резервуара при его заполнении водой и опускающийся при его опоражнивании. Рычаг поплавка при опускании последнего открывает доступ пара к небольшому свистку, укрепленному сбоку резервуара.



Фиг. 223.

При нормальном уровне воды в котле по внутренней трубе в корпус прибора подается вода. Вода держит поплавок в верхнем положении. При понижении уровня за пределы нижнего конца внутренней трубы в нее проникает пар. Теперь корпус прибора сообщается с «паровым» пространством, вследствие чего вода, заполняющая корпус прибора, постепенно стекает под действием собственного веса через небольшое отверстие внутренней трубы (сделанное в нижней части корпуса) в котел. Корпус прибора опоражнивается, поплавок опускается, и свисток дает длительный сигнал машинисту.

Инжекторы (свежего пара)

Инжекторы являются почти исключительно распространенными приборами для питания водой паровозных котлов. Правда, за последние 10—15 лет получили некоторое распространение водоподогреватели, но все же и они ставятся всегда одновременно с инжекторами. Согласно § 186, п. а ПТЭ «Котел каждого паровоза должен иметь не менее двух независимых друг от друга приборов для подачи воды, из которых каждый должен обеспечивать полную подачу воды при максимальной форсировке котла».

---

[1] Точный перевод—„тревога из-за низкой воды".

НТБ ДНУЖТ

Простота, надежность, компактность (при небольшом весе), а также и некоторый подогрев воды (до 55—60°), подаваемой в котел, обеспечили инжекторам их место в паровозной практике. Правда, инжекторы обладают и рядом дефектов; одним из наиболее существенных является почти полная невозможность регулирования подачи воды. Так как на паровоз ставятся мощные инжекторы, могущие восполнить убыль воды при наибольшей форсировке, то при средней работе паровоза приходится пускать инжектор в ход на сравнительно непродолжительное время и все же несколько охлаждать котел поданной водой.

По своему типу инжекторы делятся на две больших группы — «всасывающие» и «невсасывающие». Первые имеют особое устройство для всасывания воды, почему могут устанавливаться в будке машиниста и таким образом находиться в отепленном помещении (что желательно по условиям нашего климата). Вторые имеют более простую конструкцию, работают надежнее, чем первые, но должны устанавливаться ниже дна водяного бака тендера, т. е. под будкой машиниста. На наших старых паровозах огромное большинство инжекторов — всасывающие. Теперь на наших мощных паровозах получают большое распространение невсасывающие инжекторы, как наиболее безотказные в работе.

Ряд наших более или менее современных паровозов (серий «КУ», «С», «СУ», «Щ», «Э») имеет испаряющуюся поверхность котла 170—240 $м^2$; часовой расход пара при форсировке $Z = 60$ $кг/м^2$ будет 10 200—14 400 $кг$. Подача инжектора должна с некоторым запасом возмещать расход воды; наиболее подходящим инжектором, получившим значительное распространение на перечисленных паровозах, считался инжектор с подачей 250 $л$ в минуту, т. е. 15 000 $кг$ воды в час. Этому условию отвечает инжектор Фридмана RS № 11, имеющий диаметр нагнетательного сопла в наиболее узкой части 11 $мм$; производительность инжектора зависит, в первую очередь, от диаметра этого сопла, почему инжекторам и присвоены номера в соответствии с диаметром нагнетательного сопла.

Наиболее распространенной является постановка на котел двух инжекторов, справа и слева на лобовом листе. Мощные паровозы серий «ФД» и «ИС» требуют соответственно более мощных инжекторов. Так, применяемый на паровозах серий «ФД» и «ИС» инжектор Натана (невсасывающий) имеет производительность 400 $л$ в минуту, т. е. отвечает требованиям питания котла, форсировка которого примерно

$$Z = \frac{400 \cdot 60}{295} = 80 \ кг/м^2 \ час.$$

Вода поступает в котел в самой передней части последнего. Обычно питательная труба идет внутри котла.

Рациональным способом впуска воды в котел является подача ее в особый «питательный» колпак, как это осуществлено на части паровозов серии «ЭМ» (фиг. 4). Внутри колпака располагаются решетки, раздробляющие воду и способствующие ее быстрому прогреванию; под питательным колпаком внутри котла устанавливается водоочиститель (железные листы с крупгоффром). Вода, сливаясь по этим листам вниз, обусловливает выпадение накипеобразующих веществ. Последние собираются в грязевике — внизу барабана [1].

Действие каждого инжектора основано на превращении энергии скрытой теплоты парообразования в кинетическую энергию быстродвижущейся струи воды. Пар, по сужающемуся паровому соплу впущенный в корпус инжектора, встречает холодную воду и быстро конденсируется в другом сужающемся сопле, называющемся конденсационным. Двигаясь по этому соплу со все увеличивающейся скоростью, струя воды проходит в вестовую камеру инжектора и тотчас поступает в третье — расширяющееся сопло, называемое нагнетательным. Скорость движения в этом сопле уменьшается, напор воды увеличивается настолько, что обратный клапан инжектора поднимается и пропускает воду в котел. Расход пара на подкачивание воды велик; часть тепла идет на подогрев воды, часть — на создание скорости водяной струи.

[1] Подробнее см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ

Рассмотрим вкратце теоретическую сторону работы инжектора. Введем обозначения:

w_0 — скорость воды (*м/сек*) в узком сечении (нагнетательного конуса);

w_1 — скорость воды (*м/сек*) в нагнетательной трубе;

p_0 — давление в конденсационной камере (*ат*);

$p_к$ — давление в котле (*ат*), примерно равное давлению воды в нагнетательной трубе;

γ — удельный вес ($кг/м^3$) воды, нагретой до $t°$ в нагнетательной трубе:

$$\gamma \cong 981\ кг/м^3;$$

g — ускорение силы тяжести, $g = 9{,}81$.

Применяя уравнение Бернули, напишем:

$$\frac{w_1^2}{2g} - \frac{w_0^2}{2g} = 10\,333\left(\frac{p_0}{\gamma} - \frac{p_к}{\gamma}\right).$$

Так как скорость воды в нагнетательной трубе очень мала (2—3 *м/сек*) по сравнению со скоростью воды в узком месте нагнетательного конуса, без большой погрешности (по Брандту) можно принять $w_1 = 0$; давление в конденсационной камере $p_0 \cong 1$ *ат*; тогда

$$w_0 = 14{,}3\sqrt{p_к - 1} \qquad (120)$$

В конденсационной камере происходит смешение m *кг* пара, имеющего скорость $w_2 \cong 450$ *м/сек* (для давлений в пределах 8—15 *ат*), с m_1 *кг* воды, имеющей скорость w_3. Струя горячей воды в результате имеет скорость w_4. Уравнение количества движения:

$$m \cdot w_2 + m_1 \cdot w_3 = (m + m_1)\, w_4;$$

$$\frac{m}{m_1} = \frac{w_4 - w_3}{w_2 - w_4}.$$

Скорость w_3 совершенно незначительна по сравнению со скоростью w_4. Поэтому приблизительно:

$$\frac{m}{m_1} = \frac{w_4}{450 - w_4}. \qquad (120')$$

Расход пара в секунду согласно гипотезе Сен-Венана и Вантцэля [1]:

$$m = 150 \cdot F \cdot p_к, \qquad (120'')$$

где F — диаметр узкого сечения парового конуса в $м^2$.

Приведенные три уравнения (120), 120′) и (120″) позволяют выполнить расчет инжекторов. Имея заданное котловое давление, мы по заданной производительности инжектора прежде всего подсчитываем по формуле (120) скорость воды в узком сечении нагнетательного конуса и по формуле (120′) — расход пара. Суммарное количество воды m_1 и конденсата m проходит через нагнетательный конус. Сечение последнего подсчитывается по уравнению:

$$m + m_1 = F_1 \cdot w_4 \cdot \gamma,$$

откуда определяется площадь узкого сечения нагнетательного конуса и его диаметр.

Зная m, по формуле (120″) определяем площадь и диаметр парового конуса.

Рассмотрим конструктивное выполнение инжектора.

На фиг. 224 показан распространенный на наших паровозах инжектор Фридмана RS № 11; инжектор—всасывающего типа, вертикальный, с автоматическим

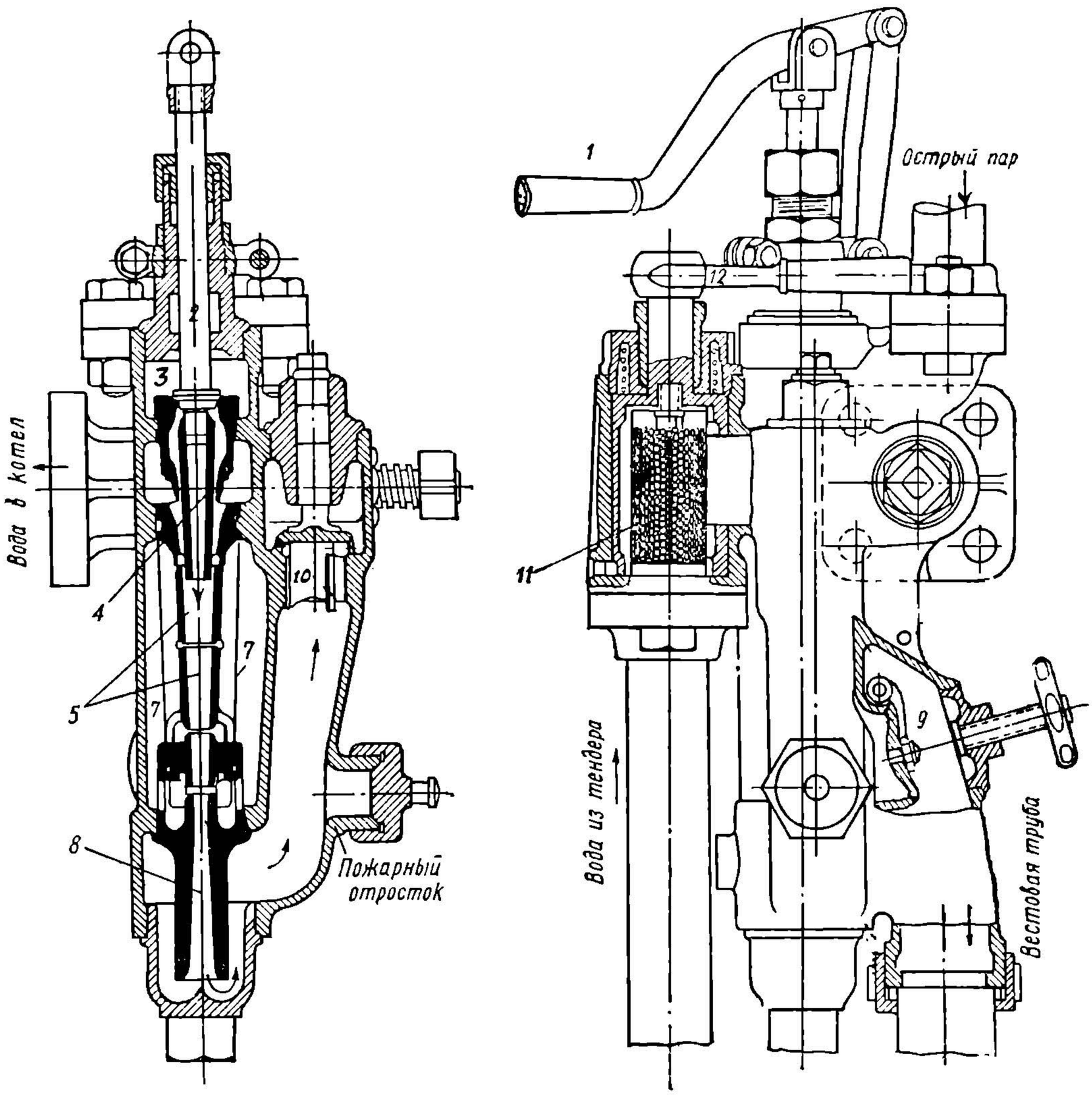
---

[1] См проф. А. А. Брандт, Основы термодинамики, ч. II.

НТБ ДНУЖТ

восстановлением работы при случайных перебоях в подаче воды (рестартинг). Пар подводится к инжектору сверху, вода—снизу. Подача воды в котел осуществляется через патрубок (слева на фиг. 224), которым инжектор и укрепляется к лобовому листу.

Приподнимая немного рычаг *1*, машинист приоткрывает стержнем *2* клапан и пропускает пар, заполняющий полость *3*, по кольцевому соплу вокруг парового сопла *4*. Пар проходит к конусу *5* и выходит по вестовой трубе в атмосферу,



Фиг. 224.

создавая при этом разрежение в полости *7*. Полость, соединяющаяся с водоприемной трубой и называемая водяной полостью, также получает при этом разрежение. Вода присасывается и поступает в корпус инжектора и тоже выходит в вестовую трубу. После присоса воды машинист дает полный подъем рычага. Пар при этом проходит и в паровое сопло и, конденсируясь в сопле *5*, гонит воду (смешанную с конденсатом) через нагнетательное сопло *8* в котел по нагнетательной полости и через обратный клапан *10*.

При установившейся работе инжектора в конденсационной камере *7* давление несколько меньше атмосферного. Это объясняется высасывающим действием водяной струи. За счет большего давления на вестовой клапан (атмосферное давление) — последний закрыт.

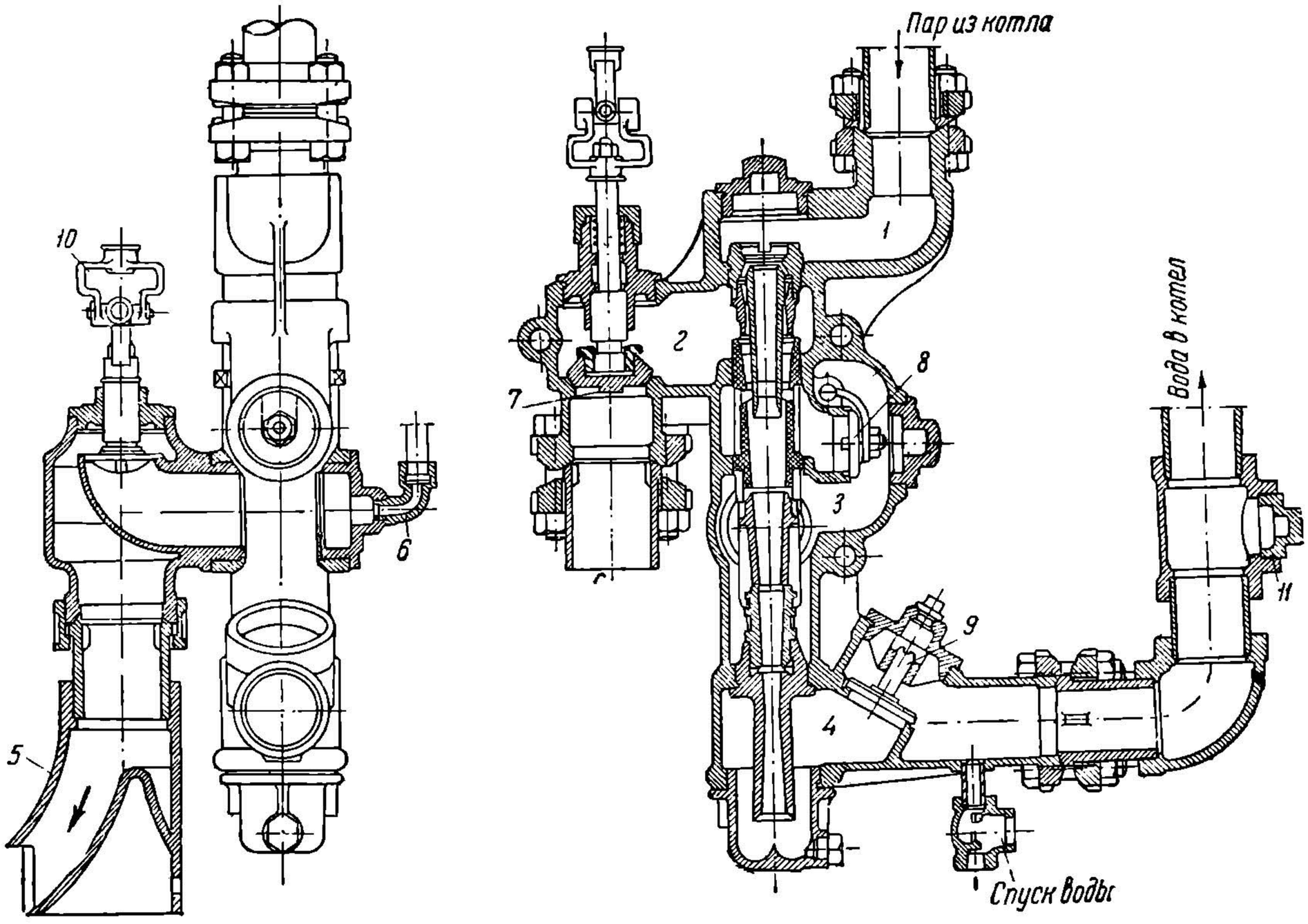
НТБ ДНУЖТ

На нагнетательной камере имеется пожарный отросток с нарезкой под гайку пожарного рукава.

Поступающая в инжектор вода проходит через сетку *11* и делительную пробку, разъединяющую инжектор от водоприемной трубы. Рукоятка делительной пробки обозначена цифрой *12*.

Рассматриваемый инжектор имеет так называемый клапан-добавитель, установленный на канале, соединяющем втулку делительной пробки с конденсационной полостью. При разрежении в последней клапан-добавитель открывается и пропускает «добавочную» воду в конденсационную полость, тем самым способствуя увеличению подачи инжектора [1].

Что касается инжектора Натана, то последний имеет ряд существенных отличий от наших старых типов и в частности от инжектора Фридмана RS № 11.



Фиг. 225.

Прежде всего укажем, что квалифицированное обслуживание современных паровозов, наряду с общим повышением культуры как паровозных бригад, так и персонала депо, позволяет меньше опасаться применения невсасывающих типов инжектора. Утепляя инжектор особым кожухом, как это практикуется для наших паровозов, а также предусматривая необходимость прогрева водяных труб, учитывая, наконец, уже имеющийся опыт (в зимних условиях) работы паровозов, оборудованных неутепленными невсасывающими инжекторами, возможно пойти на постановку невсасывающих инжекторов. Если невсасывающие инжекторы вообще более надежны в работе, то инжекторы Натана в особенности обладают этим преимуществом.

Инжектор Натана (деталь *25* по фиг. 215) имеет установленный отдельно от инжектора паровой «пусковой» клапан (деталь *14* по фиг. 215).

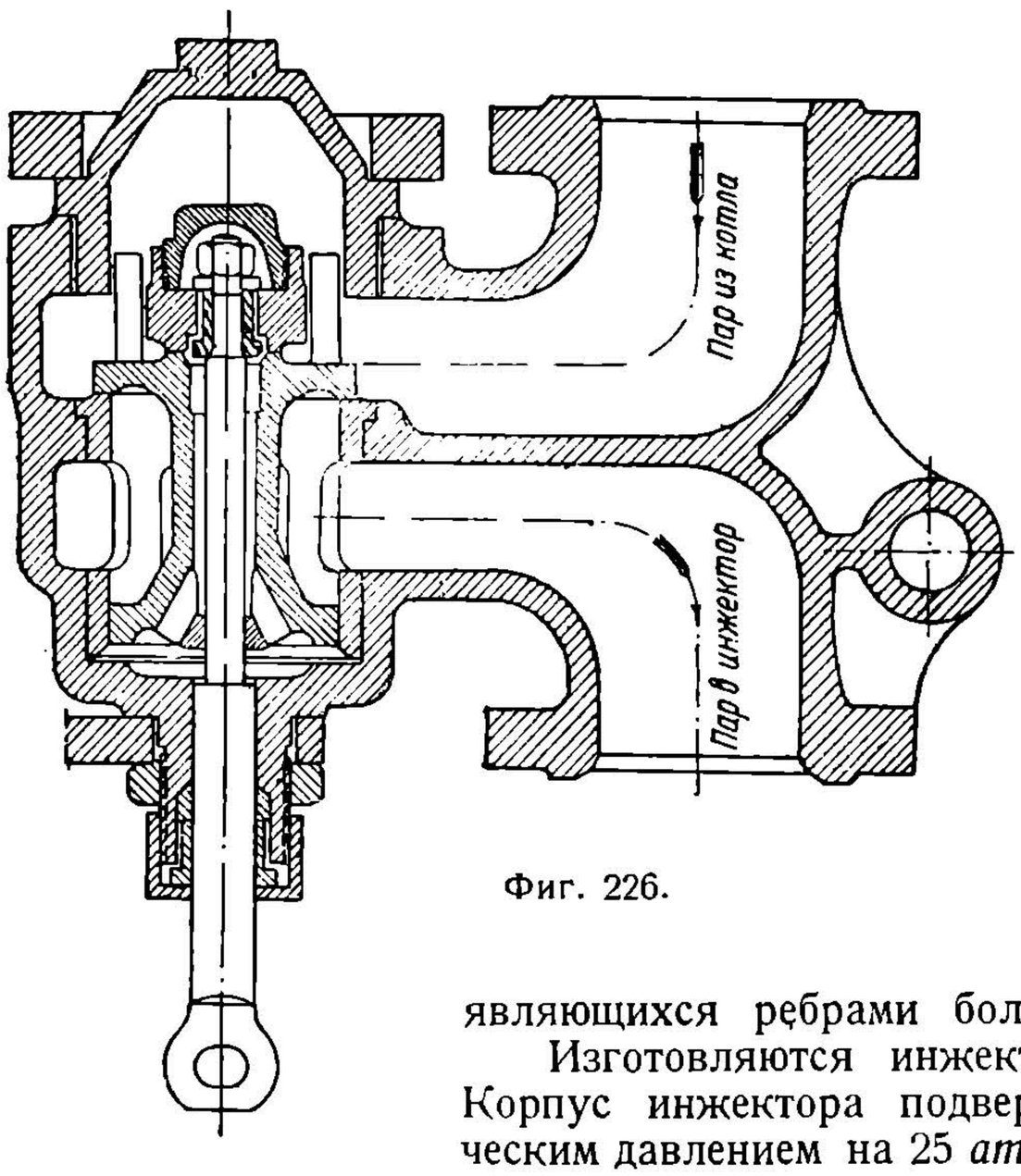
---

[1] Подробное описание инжектора Фридмана RS № 11 см. Я н у ш, Конструкции паровозов, вып. II, изд. 1932 г.

НТБ ДНУЖТ

Наблюдение за пуском инжектора в ход очень удобно, так как вестовая камера снабжена особой трубкой, идущей вверх, в будку машиниста и заканчивающейся над воронкой (деталь *20* по фиг. 215). Вода, выходящая из трубки при закачивании, попадает в эту воронку и дает знать машинисту, что инжектор еще не закачал.

На фиг. 225 показан невсасывающий инжектор Натана. Устройство его проще, чем Фридмана. Для уяснения его работы напомним, что: *1* — паровая камера, *2* — водяная камера, *3* — вестовая камера, *4* — нагнетательная, *5* — вестовая труба, *6* — сигнальная труба, *7* — водозапорный клапан, *8* — внутренний вестовой клапан, *9* — питательный клапан, *10* — наружный вестовой клапан, *11* — пожарный отросток.



Фиг. 226.

Пуск в ход производится открыванием водозапорного клапана и затем— парового (расположен в будке).

В эксплуатации паровоза следует на длительных стоянках спускать воду из инжектора, для чего сделаны спускные клапаны и пробки.

Паровой (пусковой) клапан инжектора Натана показан на фиг. 226. Перемещая шпиндель вверх, машинист открывает малый уравновешивающий клапан и затем уже большой клапан. Малый клапан движется в направляющих, являющихся ребрами большого клапана.

Изготовляются инжекторы из бронзы (Бр.-0Ц10-2). Корпус инжектора подвергается испытанию гидравлическим давлением на 25 *ат*; собранный инжектор испытывается на паронепроницаемость давлением в 18 *ат*, а также и на подачу воды (№ 9—170 *л/мин*, № 10—210 *л/мин* и № 11—250 *л/мин* при давлении пара в котле 11—13 *ат*).

В заключение укажем что, помимо основной своей цели питания котла водой, инжектор на паровозах выполняет целый ряд других вспомогательных функций. Прежде всего — инжектор может прогревать воду в тендере (пускают пар в инжектор, предварительно закрыв вестовой клапан). Затем инжектором пользуются для тушения пожаров в поезде или в ближайших к пути строениях. От нагнетательной полости инжектора можно подавать воду для заливки золы в зольнике, изгари в дымовой коробке и для поливки угля.

§ 3. Арматура для содержания котла в исправном состоянии

Спускные и продувательные краны и клапаны

Помимо назначения спускать воду из котла, спускные или продувательные устройства имеют важнейшее назначение — продувать котел, периодически удаляя из него накипь. Соблюдая правила пользования антинакипинами, применяя регулярную продувку котла, возможно значительно перекрыть нормы межпромывочных пробегов паровоза. Чрезвычайно большое значение огромных межпромывочных пробегов заставляет нас особенно внимательно отнестись к рассмотрению продувательных устройств котла, к самому их расположению и

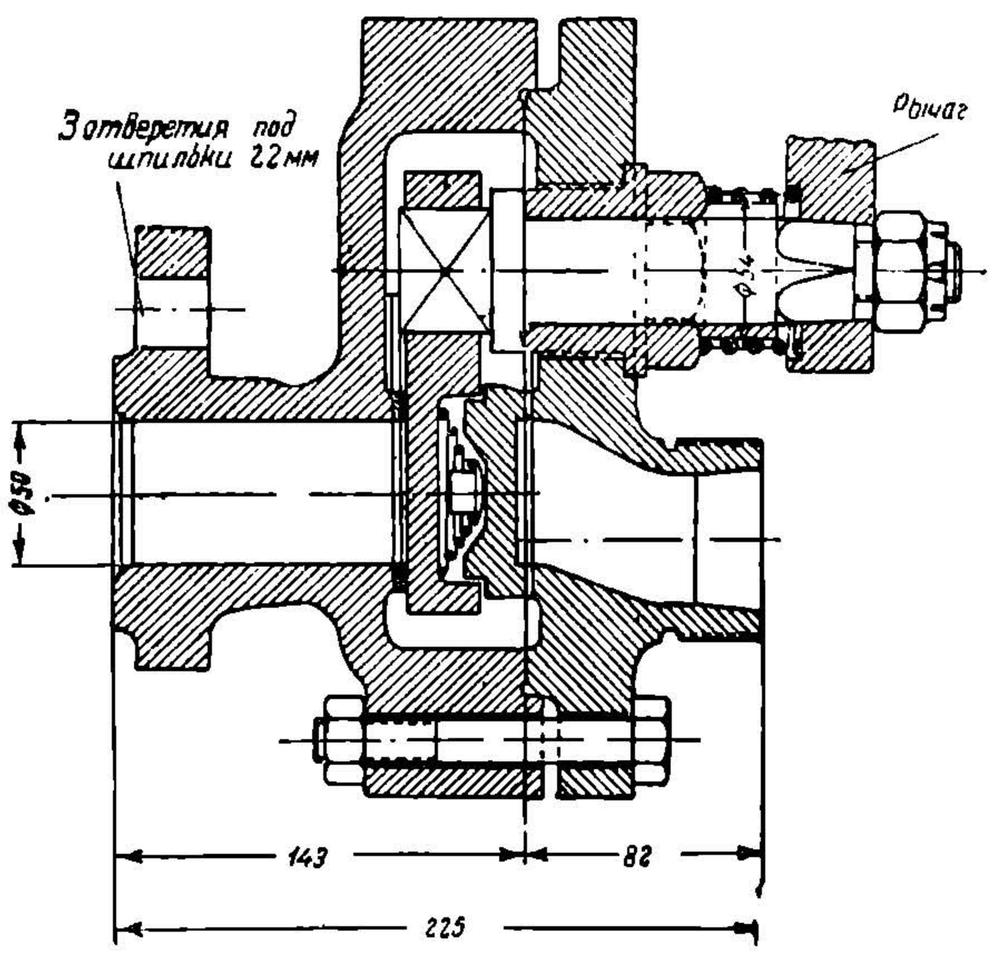
НТБ ДНУЖТ

выбору их числа. Если лучшие машинисты-стахановцы, в частности т. Огнев, работая на паровозах, устройство деталей которых отнюдь не предусматривало больших межпромывочных пробегов, дали огромные результаты, то не приходится сомневаться, что, внеся нужные изменения в конструкции деталей котла, мы тем самым обеспечим возможность дальнейшего роста межпромывочных пробегов.

Прежде всего укажем, что химический состав накипи не однороден; часть накипи имеет удельный вес больше единицы и скапливается в нижних участках котла (удаляется так называемой «нижней» продувкой) и часть накипи (небольшая) имеет удельный вес меньше единицы и скапливается в виде грязной омыленной пены в верхней части водяного пространства, впереди котла. Эта накипь удаляется так называемой «верхней» продувкой. Для рациональной продувки котла нужно иметь не менее двух приборов для нижней продувки (по одному с каждой стороны топки) и один-два прибора для верхней продувки, ставя эти приборы в передней части котла с боков, примерно на высоте середины барабана. Продувать котел следует как в пути при движении, так и на стоянках по приезде в депо.

Отверстия для нижней продувки котла и спуска воды делаются в самых низших местах топки — над обвязочной рамой. Из-за наклона колосниковой решетки вперед отверстия должны быть расположены в передней части топки.

У наших старых паровозов пока применяются пробочные спускные краны со всеми присущими им дефектами — относительно часто требующимся ремонтом, необходимостью прилагать большие усилия для открывания крана, подчас затруднениями с закрыванием крана.



Фиг. 227.

Основными требованиями, предъявляемыми к современным продувательным устройствам, являются, во-первых, легкость манипулирования и, во-вторых,— и это самое важное, — полная возможность быстрого закрытия отверстия.

На наших мощных паровозах получили большое распространение продувательные клапаны Эверластинга, показанные на фиг. 227.

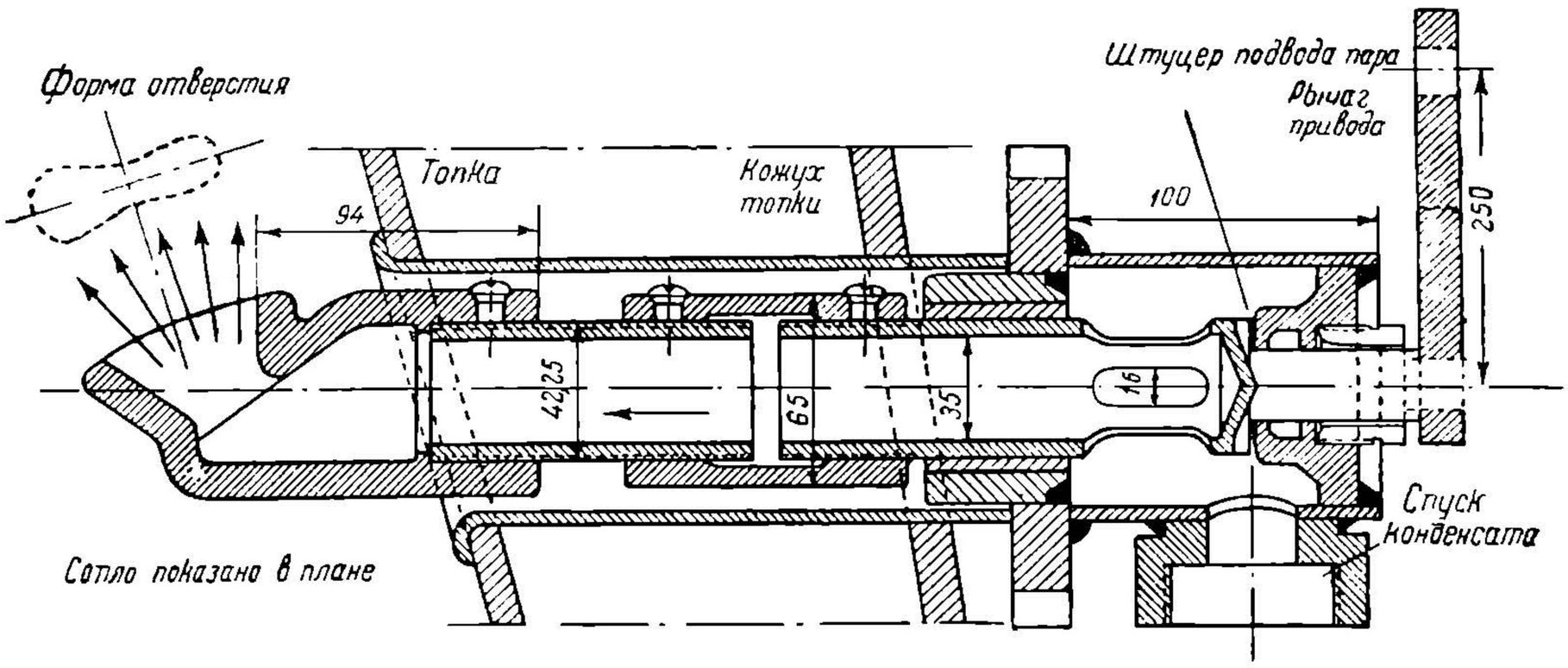
Проход для воды у клапана Эверластинга имеет простую цилиндрическую форму, внутри корпуса перерезываемую заслонкой-клапаном. Последний имеет маятникообразное движение вокруг валика, повертывающегося вокруг своей оси. Рассматривая самый клапан, мы видим, что в системе Эверластинга имеются два диска, «распираемых» заложенной между ними спиральной пружиной. Это сделано для получения лучшей герметичности клапана при отсутствии давления в котле, когда изнутри нет усилия, прижимающего клапан к его опорной поверхности. Котловое давление, прижимая внешний диск к его опорной поверхности— седлу, дает нужную герметичность и в работе паровоза.

Сажевыдуватели

Унос угля в жаровые трубы, имеющий место в особенности при конусной установке и при стокерном отоплении, вызывает необходимость регулярно применять продувку труб не только в депо и на стоянках, но и на ходу паровоза. На ходу паровоза трубы нужно продувать при остановленном стокере и при открытом регуляторе. Унос угля в трубы и их засаривание иногда могут быть

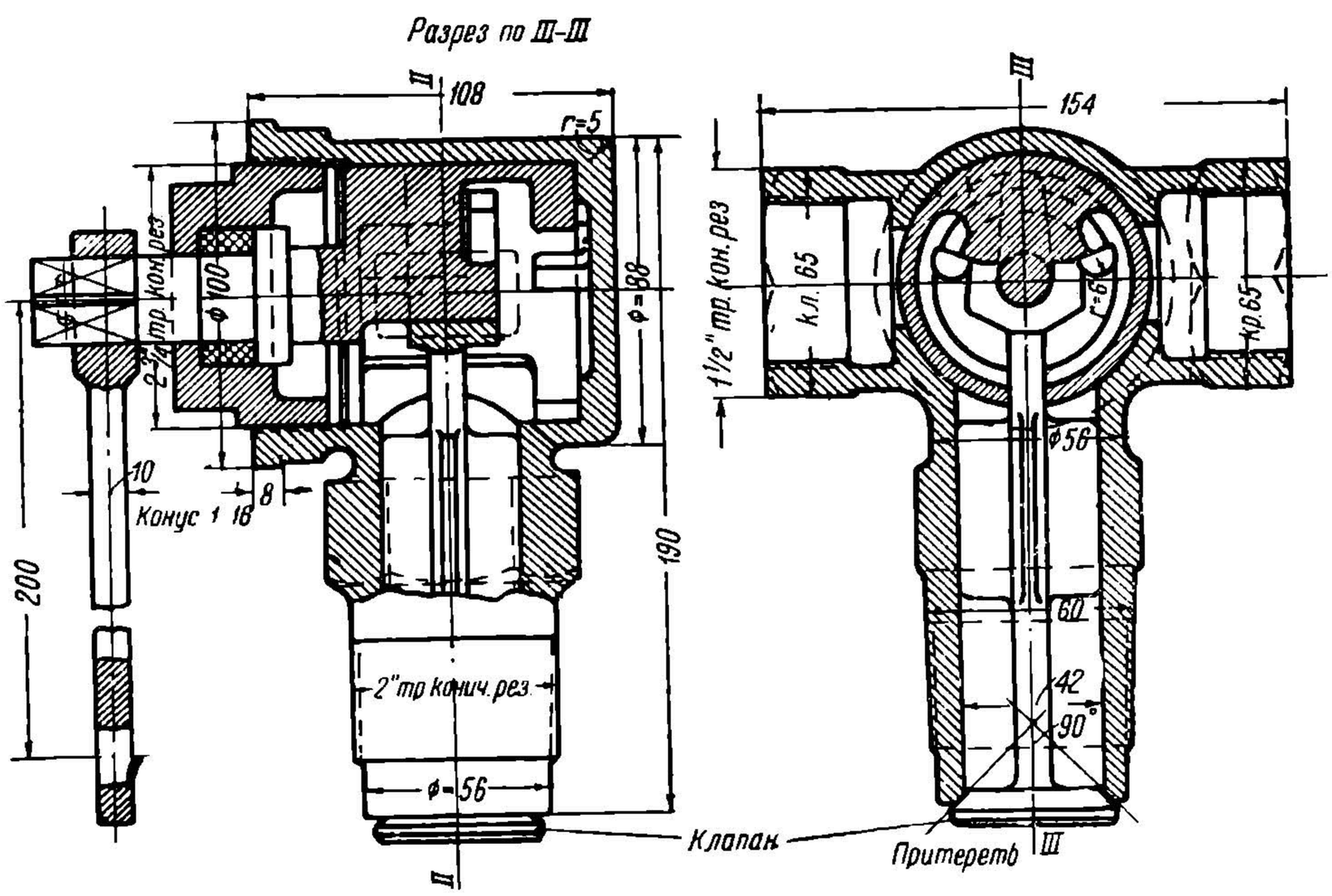
НТБ ДНУЖТ

настолько велики, что резко ухудшается горение топлива, падают парообразование и перегрев. Для удаления кусочков угля и сажи из труб у мощных паровозов применяются особые сажевыдуватели, иногда автоматические. В СССР в настоящее время автоматические сажевыдуватели работают на паровозах серий «$Т^{А}$», «$Т^{Б}$» и «ИС»[1]. Пока на паровозах серии «ФД» применяются сажевыдуватели с ручным приводом.



Фиг. 228

Продувка труб помощью сажевыдувателей производится посредством парового сопла, выходящего внутрь топки; выходное отверстие сопел направлено вперед, вследствие чего корпусу сопла, придают Г-образную (в плане) форму.



Фиг. 229.

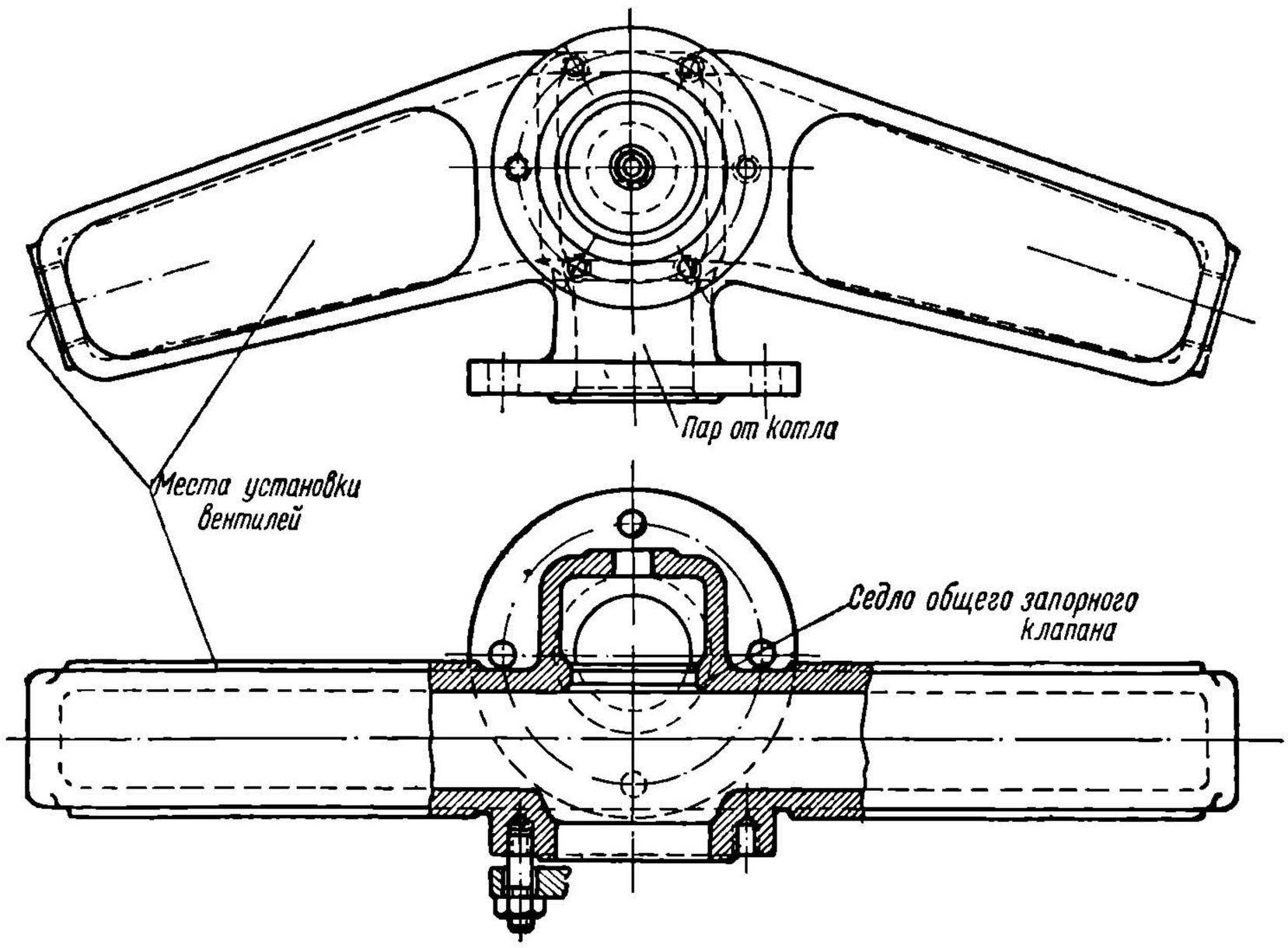
Для пропуска сопла внутрь топки сбоку ее делаются отверстия, в которые вставляется отрезок трубы, как показано на фиг. 228 для паровозов серии «ФД». На паровоз ставятся два прибора—с боков топки. Каждый прибор обслуживает свою половину трубчатой решетки. К соплам подводится пар от паро-

[1] Устройство и работа автоматических сажевыдувателей см. труды И. М. Струженцова, Мощные паровозы, изд. 1935 г. и Конструкции паровозов. изд. 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

разборной колонки, поворачивание сопла вокруг горизонтальной оси, расположенной в поперечной по отношению к паровозу плоскости, производится от руки. Шпиндель сопла — полый; в правой части основной проекции показаны овальные отверстия, по которым пар попадает внутрь шпинделя. Выступающий наружный конец шпинделя снабжен рычагом, с которым соединяется тяга, идущая в будку машиниста. У автоматических сажевыдувателей сопло приводится в качательное движение автоматически—от специальной маленькой турбинки с двухступенчатым червячным редуктором.

Пуск в ход сажевыдувателей производится посредством трехходового крана, скомбинированного за одно кинематическое целое с запорным клапаном и, кроме того, выполнено так, что пустить в ход оба сажевыдувателя сразу — невозможно. Этот кран-клапан показан на фиг. 229. Основным (нижним) отростком кран ввертывается в пароразборную колонку, два других отростка идут к сажевыдувателям. Пустотелая пробка крана при повертывании нажимает своими внутренними



Фиг. 230.

выступами на верхний фасонный конец стержня нижнего клапана. Последний прижат к седлу давлением пара. Повертывая пробку, мы, во-первых, внутренними выступами ее нажимаем сверху на хвостовик клапана и открываем таким образом доступ в корпус, а, во-вторых, открываем или правое, или левое окно корпуса крана.

§ 4. Вспомогательная арматура котла

Многочисленные приборы и устройства паровозного котла и всего паровоза питаются паром от котла. Вентили для отбора пара на служебные надобности всегда концентрируются на пароразборной колонке (обычно отлитой из мягкой стали марки Стл.-1), установленной на котле — на кожухе топки.

Устройство колонок может быть очень разнообразным.

Наиболее совершенными типами колонок являются коробчатые Т-образные колонки насыщенного пара (фиг. 230). Средним фланцем колонка устанавливается на котле; посередине колонки размещается общий запорный клапан.

В плоские вертикальные стенки боковых крыльев ввертываются на конической нарезке (коничность $^1/_{16}$) вентили инжекторов, турбины динамо, смазочного

НТБ ДНУЖТ

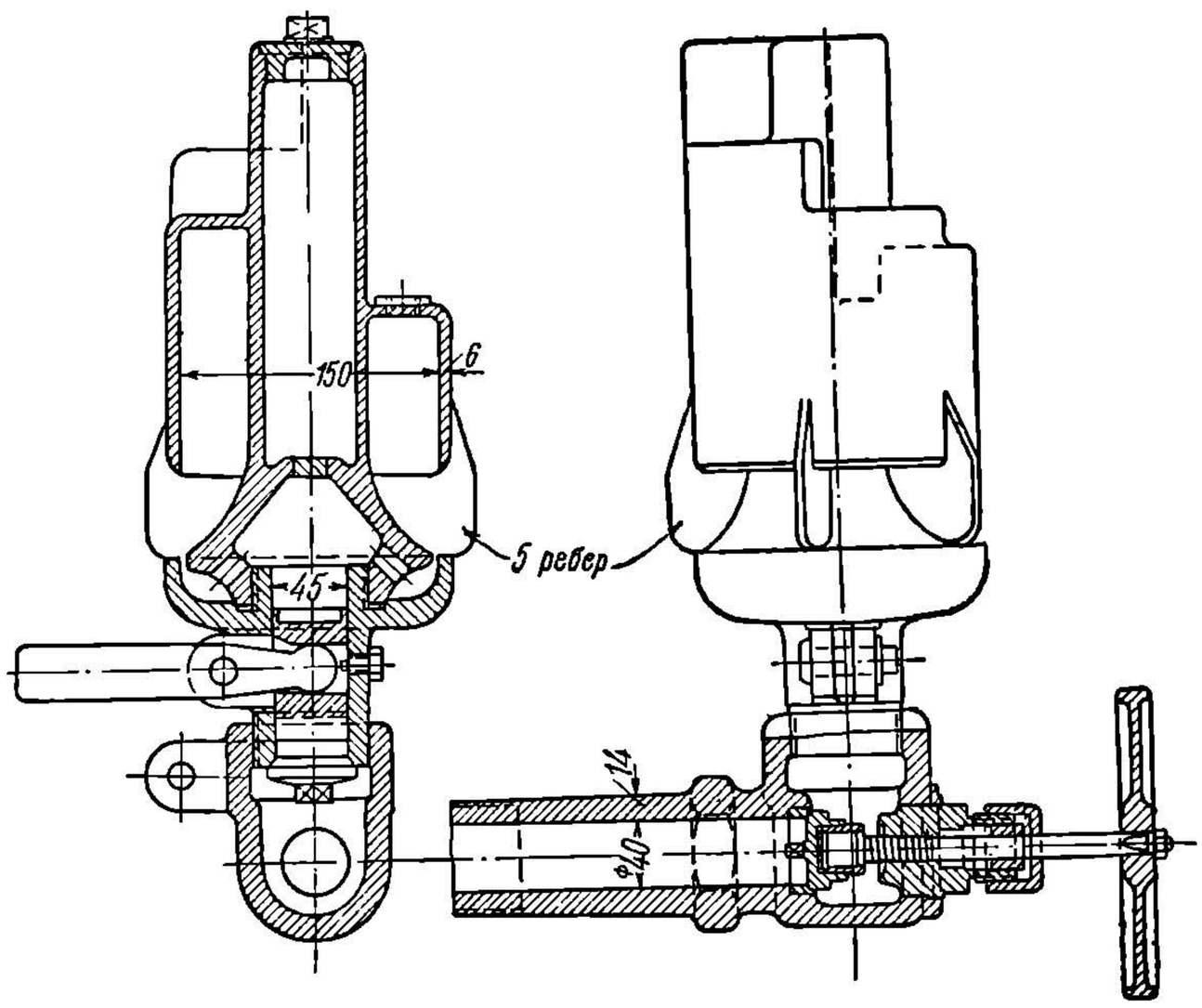
пресса, трехходовый кран са жевыдувателей, лубрикатора, реверса (на случай отсутствия сжатого воздуха), насоса тормоза и др. С тыльной стороны пароразборной колонки, обращенной к переду паровоза, обычно остается много свободного места для установки дополнительных вентилей.

Такая форма колонки, имеющей очень небольшую высоту, является наиболее пригодной для мощных паровозов с их высоко поднятыми и приближающимися к верхней линии габарита котлами.

Так как колонка, из-за тесноты загроможденной арматурой будки, расположена вне пределов последней, то в будку протягиваются стержни с шарнирами Гука от всех вентилей. Для того чтобы иметь в пароразборной колонке пар с минимальной влажностью, иногда внутри котла помещают длинную трубу, подводящую пар к колонке от сухопарного колпака.

Пароразборная колонка перегретого пара

Для всемерного увеличения экономичности паровоза за последние годы как в США, так и у нас получает распространение использование перегретого пара для служебных надобностей, например: сифона, насосов тормоза и водоподогревателя, стокерной паровой машины и т. п.



Фиг. 231.

На камере перегретого пара коллектора предусматривается фланец для отбора пара на служебные надобности. Сама колонка устанавливается снаружи дымовой коробки.

Заметим, что применение перегретого пара на служебные надобности в наших старых паровозах невозможно, так как коллектор перегревателя находится за регулятором (исключение паровоз серии «М»). Поэтому при закрытом регуляторе перегретого пара на наших старых паровозах не имеется вовсе.

Воздухоразборная колонка

Назначение воздухоразборной колонки—сосредоточить в одном удобном и доступном для машиниста и его помощника месте группу вентилей, подающих воздух различным приборам. Этих последних на мощных паровозах довольно много: реверс, свисток, песочница, топочная дверка, продувательные клапаны цилиндров и т. д.

НТБ ДНУЖТ

Воздухоразборная колонка паровозов серий «ФД» и «ИС» представляет собой цилиндр с целым рядом отростков, к которым присоединяются вентили того или другого прибора.

Относительно небольшое давление воздуха (7,5 *ат*), а также и небольшой диаметр колонки (38 × 50) позволили отлить ее из чугуна марки Чл.-2 (ОСТ 970).

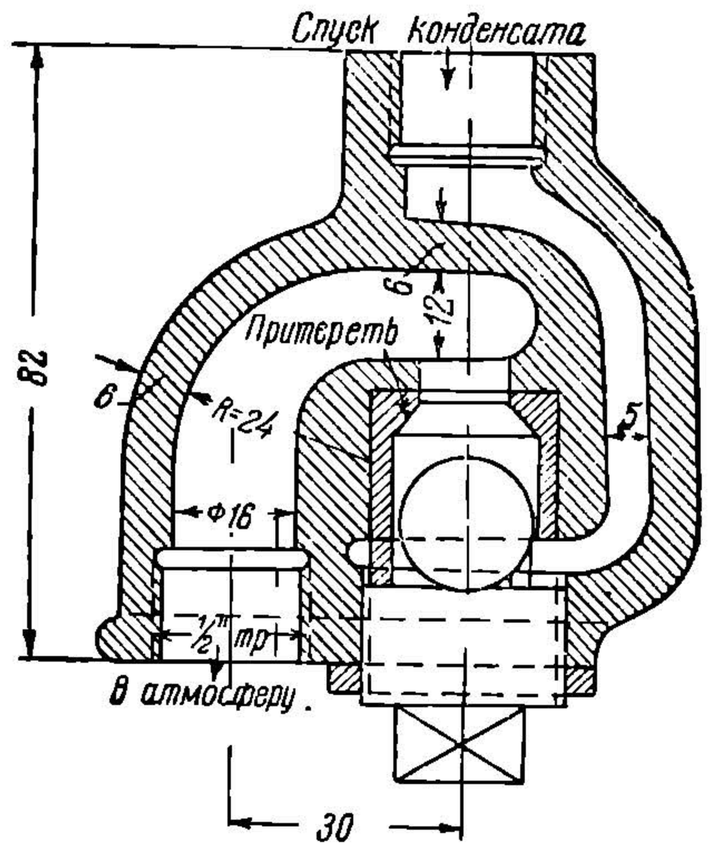
Свисток

Товарные паровозы, предназначенные для работы с тяжелыми длинносоставными поездами, должны иметь мощные свистки, чтобы всей поездной бригаде и лицам, находящимся на путях, во всякую погоду были слышны сигналы, подаваемые с паровоза.

Паровозы пассажирские, как предназначенные для обслуживания более коротких составов, имеют более слабые свистки, обычно в несколько тонов Такие «многотонные» свистки за последние годы получили распространение и на товарных паровозах последних выпусков. Паровозы серий «Эм», «СО», «ФД» и «ИС» имеют свистки в пять тонов, как показано на фиг. 231. Все пять отдельных свистков в сечении представляют собой секторы круга — по $^1/_5$ части круга на каждый свисток. Прежде применявшаяся бронза для отливки корпуса свистка теперь с успехом заменяется чугуном.

Вентили и краны

Многочисленные паро-, водо-, воздухо-маслопроводы на паровозе должны быть надежны, удобны для сборки и ремонта, защищены от размораживания—или расположением их под обшивкой котла или должна быть предусмотрена возможность их прогрева.



Фиг. 232.

Краны (пробочные) в современном паровозе могут употребляться только на тех трубопроводах, где отсутствует повышенное против атмосферного давление, т. е. в очень немногих местах. Во всех других местах должны употребляться вентили.

Что касается спуска конденсата из паропроводов, то здесь наиболее совершенным и автоматическим клапаном является шариковый, выполненный по типу фиг. 232. При отсутствии давления в обслуживаемой клапаном полости — шарик лежит внизу и позволяет конденсату свободно стекать в атмосферу. Давление в полости заставляет шарик подняться и закрыть спускное отверстие.

§ 5. Ремонт арматуры

Технические условия на арматурное литье

В качестве основного материала для арматурного литья в большинстве случаев применяется бронза, однако в целях экономии цветных металлов допускается применение стали и чугуна, в особенности ковкого. В «Правилах капитального ремонта паровозов» (изд. 1934 г.) приведена спецификация бронзовых и медных деталей паровозов серии «Э», подлежащих замене чугуном, стальным литьем и ковким чугуном. Для стержней вентилей, находящихся под паром, применяется также и нержавеющая сталь. В качестве бронзового литья применяются бронза марки Бр-ОЦ-10-2 (ОСТ 6240) для ответственных отливок и деталей, подвергающихся гидравлическому давлению до 10 *ат* и выше, и бронза марки Бр-ОЦ-8-4 для деталей, подвергающихся гидравлическому давлению менее 10 *ат*.

НТБ ДНУЖТ

Ремонт водопробных кранов и кранов водомерного стекла

При капитальном, среднем и подъемочном ремонтах все краны снимаются и очищаются от накипи. Отверстия для пробок должны быть проверены разверткой, причем диаметр их допускается увеличивать не свыше 15% от альбомных размеров. Пробки перед постановкой в гнезда притираются. По постановке кранов водомерного стекла необходимо проверить их открытия, кроме того, проверяется и правильность постановки водомерных стекол, перекос которых в сальниках является одной из причин их разрушения.

Для правильной работы стекла имеет также существенное значение длина водомерных стекол, которая для паровозов серий: «Э», «Эг», «Эш», «Эм», «Эу» должна быть равна —416 *мм*, серий «С», «Су»—450 *мм*, серий «ФД» и «ИС»—468 *мм* и серии «Щ» — 426 *мм*. Постановка корпуса кранов водомерного стекла производится или на чечевичных кольцах (паровозы серии «Э») или путем ввертывания их на резьбе в тело водяной колонки, как это сделано на паровозах серий «ФД» и «ИС». Последняя конструкция является наиболее целесообразной.

При капитальном ремонте котлов со сменой топок и потолков положение кранов на лобовом листе должно быть проверено. За исходные плоскости при этом берутся потолок топки и обвязочная рама.

Ремонт водопробных кранов не представляет сложности и заключается главным образом в проверке гнезда корпуса крана и резьбы штуцера, а также в смене стержня клапана. При износе гнезд корпуса кранов размеры их должны устанавливаться по градациям.

Манометр

Каждый манометр подлежит обязательной контрольной проверке через 3 месяца, что производится при помощи второго контрольного манометра. Ремонт манометров заключается в разборке всех деталей, их осмотре, соответствующем исправлении, а затем сборке с последующей проверкой. Особенно необходимо обращать внимание на трубчатую пружину манометра, получающую вследствие продолжительного нагрева остающееся удлинение, искажающее с течением времени показания давления пара.

Испытание производится специальным бюро по проверке манометров, проверяющим их на приборах Рухгольца, описываемых в курсах паровых котлов.

Манометры признаются годными для установки: 1) если погрешность в показаниях их не превышает установленных норм и 2) если стрелка манометра при выключении его не доходит до нулевого положения на величину, меньшую или равную допускаемой погрешности.

После испытания должна быть поставлена контрольная стрелка, затем манометр пломбируется и на нем наносится дата и место ремонта с пометкой «ремонт».

Предохранительные клапаны

Ремонт предохранительных клапанов, отличающихся большим разнообразием их конструкций, заключается в проверке или смене изношенных и поврежденных деталей. При ремонте клапаны должны быть разобраны и в случае годности проверены и притерты к своим гнездам, а негодные заменены новыми. Особое внимание необходимо обращать на пружины, прижимающие клапаны к их гнездам. Шайбы, опорные призмы и валики изготовляются из стали марки Ст.-5.

Клапаны обычно делаются из бронзы, но в паровозах серий «ФД» и «ИС» они выполнены из хромоникелевой стали. По окончании ремонта и сборки предохранительные клапаны проверяются на пару с таким расчетом, чтобы один из двух клапанов начал работать при повышении давления на 0,3 *ат*, а другой на 0,5 *ат* против рабочего давления. В паровозах серий «ФД» и «ИС» предохранительные клапаны должны быть отрегулированы таким образом, чтобы первый из них срывал на 15,125, второй на 15,3 и третий — на 15,5 *ат*. Следовательно, при

НТБ ДНУЖТ

подобной регулировке работает нормально только первый клапан, чем избегается выбрасывание больших масс пара. Проверка пружин рычажных клапанов производится в холодном состоянии путем подвешивания груза, причем величина груза Q при испытании определяется из выражения $Q = p\,\frac{\pi D^2}{4}\cdot\frac{b}{a}$, где p — давление пара в котле в *кг/см²*, D — диаметр клапана в *см*, a — длина большего плеча рычага, а b — длина меньшего плеча рычага. Остальные клапаны обязательно проверяются в горячем состоянии на специальной установке, представляющей собой стол, на котором уложена паропроводная труба с вентилем и с двумя ответвлениями. На конце одного ответвления устанавливается манометр, а на другом конце имеется штуцер с фланцем, на котором устанавливается полностью собранный корпус предохранительного клапана. Клапан должен сработать по достижении установленного давления пара в котле с превышением его на 0,25 *ат*. Пружина клапана выверяется еще до сборки на прогиб. Так, в паровозах серии «Су» высота пружины под грузом, равным 485 *кг*, составляет — 119 *мм*, а под грузом — 833 *кг* равна всего 102 *мм*.

Свисток. Паровозный свисток при всех видах ремонта должен быть разобран, очищен от накипи и отремонтирован со сменой изношенных и негодных деталей. Чаще всего требуют смены или притирки клапаны его. Кроме того, меняются валики привода. Высота подъема клапана регулируется с таким расчетом, чтобы он не превышал 1 *мм*. В паровозах серии «ФД» до 1934 г. применялся также малоудачный воздушный привод.

Наиболее часто встречаются в практике разъединение привода и излом клапана, вследствие чего на эти детали и следует обращать особое внимание при ремонте и сборке.

Спускные и продувательные краны топки

При ремонте прежде всего проверяется на станках корпус крана и его пробка, но с таким расчетом, чтобы запас на притирку составлял не менее 6 *мм*. В практике чаще всего встречаются случаи замораживания корпуса кранов и обрыва хвостовиков пробки. Лопнувший корпус подлежит обязательной замене, что же касается хвостовика, то допускается постановка его на резьбе. После обработки пробки она притирается к корпусу крана и проверяется.

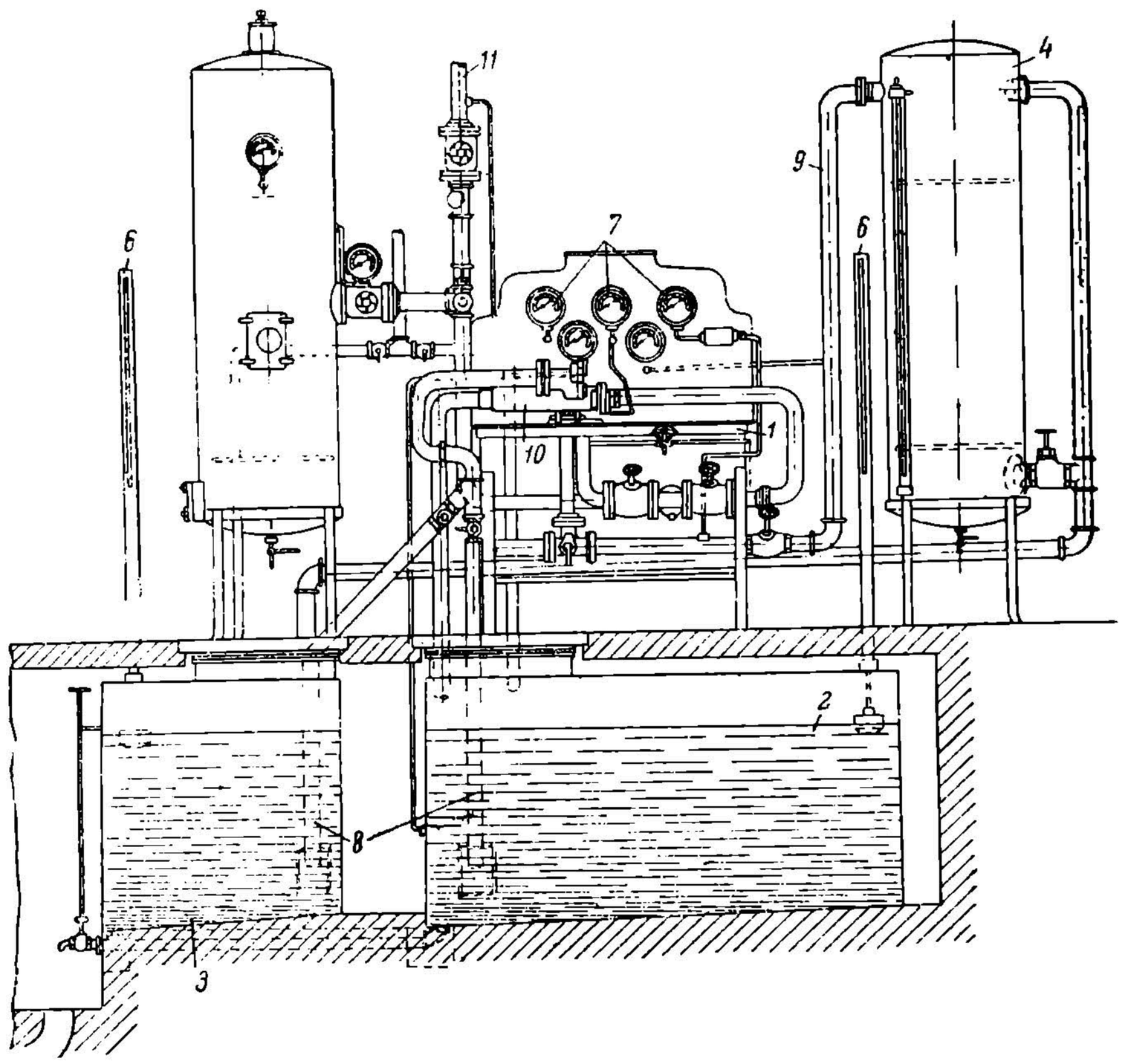
Ремонт установленных на паровозах серий «ФД» и «ИС» спускных кранов Эверластинга, являющихся в то же время и продувательными (фиг. 227), несравненно проще ремонта спускных кранов обычного типа и заключается в пришабровке большой и малой заслонок и мест их прилегания, а также в замене пружин и валиков как самого крана, так и его привода. По сборке крана Эверластинга проверяется, как и в простых кранах, совпадение осей и отверстий крана. При износе заслонок, изготовленных из стального литья с наплавкой притирочных поверхностей бронзой, последние вновь наплавляются бронзой. При эксплуатации паровозов необходимо особенно следить за состоянием кранов в зимний период, так как замерзание воды, оставшейся в корпусах, приводит к их разрыву. Для предупреждения подобных явлений необходимо при заправке холодных паровозов предварительно отогреть краны факелом.

Ремонт инжекторов

Инжекторы, подающие в котел воду, разделяются на всасывающие и невсасывающие, но методы их ремонта более или менее одинаковы. При капитальном и среднем ремонтах инжекторы подвергаются полной разборке и тщательному осмотру всех деталей. Прежде всего необходимо проверить соответствие конусов альбомным размерам как по диаметру отверстий, так и по их длине. При осмотре конусов часто наблюдаются случаи нарушения оси отверстий, что является причиной отказа инжекторов в работе. Поэтому в целях ускорения ремонта рекомендуется применять специальные калибры, соответствующие форме конусов. Конусы с забитыми или зачищенными концами подлежат замене.

НТБ ДНУЖТ

Следующими характерными повреждениями являются: 1) пропуск парового закачивающего клапана, 2) пропуск питательного клапана, 3) неприсасывание инжектором воды при закачивании, 4) потеря части воды или качание воды целиком наружу, 5) потеря воды по окончании работы, 6) срыв при закачивании или во время работы, 7) отдача пара в тендер при закачивании, 8) медленная подача воды в котел, 9) непосадка питательного клапана на место и 10) быстрое падение давления пара в котле при работе инжектора. В первом и втором случаях неисправности инжектора устраняются притиркой клапанов и проверкой их гнезд. Причиной неприсасывания воды инжектором является прежде всего неправильная установка парового сопла или неправильный размер конусов, особенно парового. В этом случае установка конуса должна быть сделана в точном соответствии с альбомными размерами.



Фиг. 233.

1—испытательный стол, *2*—питательный бак, *3*—бак подогретой воды, *4*—измерительный бак, *5*—компенсаторный резервуар, *6*—термометры, *7* манометры, *8* питательная труба, *9*—нагнетательная труба, *10*—испытуемый инжектор, *11* трубопровод свежего пара.

Потеря воды при закачивании инжектором чаще всего происходит вследствие зарастания нагнетательных клапанов и питательной камеры инжектора накипью, а также вследствие отложения накипи в питательных трубах. При ремонте же и сборке инжектора необходимо следить за соблюдением точных размеров подъема парового клапана и величиной открытия парового или водяного запорных клапанов. Главное внимание необходимо обращать на расположение заборной воронки нагнетательного конуса. В качестве одной из мер, устраняющей потерю воды, можно рекомендовать удлинение нагнетательного конуса путем подкладки прокладного кольца в 2—2,5 *мм* толщиной между заборной и промежуточной воронками. Срыв при закачивании инжектора происходит или из-за пропуска воздуха в соединение фланца делительной коробки или при ослаблении гаек

НТБ
ДНУЖТ

водоприемной трубы. Наконец, срыв инжектора происходит также и из-за загрязнения конусов. Устранение неисправностей сводится к укреплению соединений. Потеря воды по окончании работы инжектора имеет место главным образом в теплое время, когда при наличии высокого уровня воды в тендере при закрытом закачивающем клапане, но при открытой длительной пробке инжектор может качать воду, однако, так как питательный клапан успеет уже сесть на свое место, качание воды будет происходить наружу в вестовую трубу. Для устранения подобной утечки воды необходимо удлинить нагнетательную воронку водяного конуса путем прокладки кольца между нагнетательным конусом и промежуточной воронкой. Отдача пара в тендер происходит от неправильной установки и подбора конусов, а также и от зарастания накипью отростка вестовой трубы. Медленная подача воды в котел является следствием зарастания питательных труб накипью или постановки труб меньшего против альбомных размеров диаметра. На подачу воды оказывает влияние также засорение трубопроводов. Инжекторы до постановки их на паровоз должны быть испытаны на специальной испытательной станции (фиг. 233) на подачу определенного количества воды. Характерным в работе инжекторов является наблюдаемое иногда быстрое падение давления пара, причиной чего может быть или зарастание труб накипью, или же разъединение питательных труб над потолком топки.

Ремонт инжекторов мятого пара

При ремонте инжекторов мятого пара, так же как и при ремонте инжекторов остальных типов, требуется точное соблюдение альбомных размеров деталей, что гарантирует их безотказную работу. Не касаясь особенностей инжекторов, все их неисправности, требующие устранения, могут быть сведены к следующим: 1) неправильная притирка или пропуск закачивающих клапанов, что вызывает прогрев воды в водоприемной трубе и в дальнейшем отказ инжекторов в присасывании воды; 2) заедание золотника острого пара в нижнем положении; в этом случае при полном открытии делительной пробки вода будет выходит наружу; 3) заедание того же золотника в верхнем положени, что воспрепятствует подъему золотника мятого пара, тогда инжектор будет качать только свежим паром; 4) заедание золотника мятого пара в верхнем или нижнем положении; 5) нецентральная постановка парового конуса; 6) нарушение расстояний между водяным конусом и конусом мятого пара.

Ремонт сажевыдувателей

Сажевыдуватель является обязательной принадлежностью всех современных паровозов. Он требует постоянного осмотра деталей, подвергающихся износу и обгоранию. Вследствие износа и обгорания наиболее часто меняются: сопло, турбинное колесо, тормозные колодки регулятора и пружинки тормоза. Сопла меняются в случае их обгорания. Так как сопло находится в зоне высокой температуры, то оно отливается из специального сплава. Для удлинения срока службы целесообразно сопло покрывать алюминием. Отверстиям сопла придано сложное очертание, поэтому они обыкновенно не обрабатываются, а исправляются в отливке разверткой. Турбинное колесо изготовляется из алюминия и меняется при износе лопаток. Обработка его производится на токарном станке. Подрезка и расточка ступицы после установки нового колеса должны быть проверены на правильную балансировку.

Тормозные колодки регулятора при их износе меняются.

Весьма существенное значение для работы сажевыдувателя имеет регулирование его работы. Нормальным считается 5—6 колебаний сопла в минуту в ту и другую сторону. При большем числе поворотов сопла колодки меняются на более тяжелые, а при меньшем числе колодки должны быть облегчены.

НТБ ДНУЖТ

Для правильной работы сажевыдувателя необходимо регулировать выход сопла в огневую коробку таким образом, чтобы одно сопло обдувало около 60% ширины огневой решетки. Регулирование осуществляется специальной муфтой с установочными винтами. В зимний период необходимо тщательно следить за состоянием спускных трубок и различных спускных клапанов во избежание их замораживания.

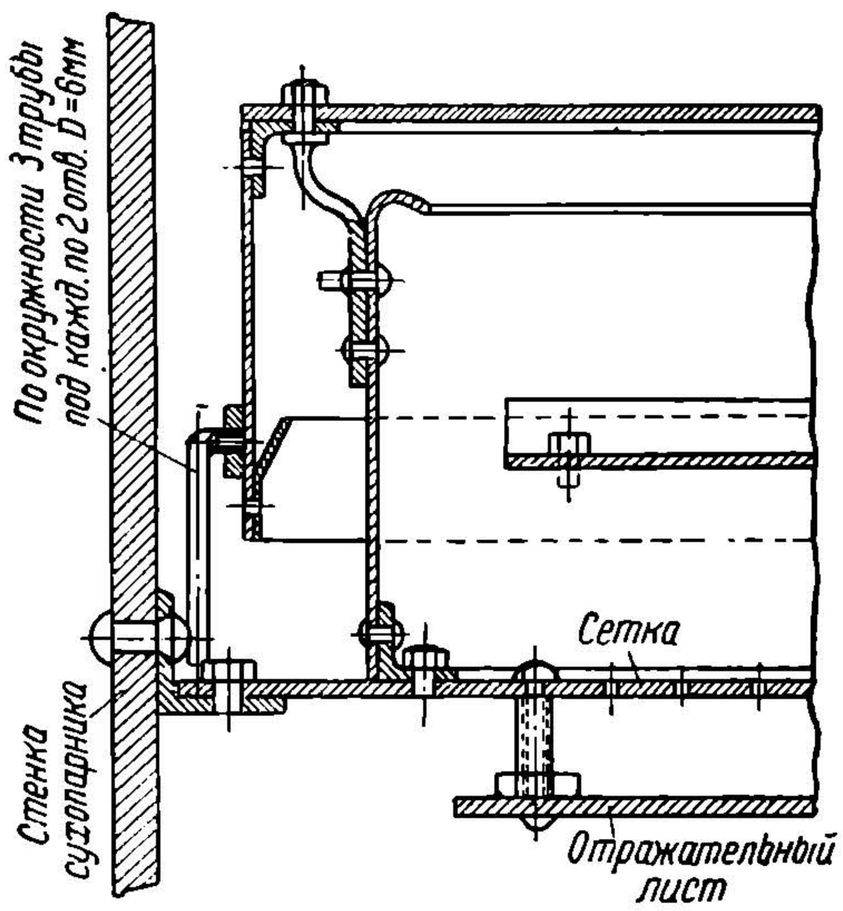
ГЛАВА VII

ПАРОПРОВОД И РЕГУЛЯТОР

§ 1. Паросушитель

Насыщенный пар, изготовляемый паровым котлом, всегда содержит в себе больший или меньший процент влаги, содержание которой в среднем достигает 6—8%.

Влажность пара значительно снижает как тепловой, так и общий экономический эффект работы паровоза. Помимо падения перегрева, опасности поломки частей машины из-за наличия при этом конденсата в цилиндрах, сокращения срока службы элементов, имеет место и увеличенный износ золотников, поршней и цилиндров из-за попадания в золотники и цилиндры частиц накипи. В среднем, на основании опытных данных и теоретических подсчетов можно считать, что каждый процент влаги в паре (в весовом исчислении) понижает перегрев на 10°, а расход топлива увеличивает на 1%. Из этих цифр ясно видна необходимость возможно более полной осушки пара, поступающего в перегреватель. Паровоз, оборудованный конденсатором, почти свободен от накипи, но при влажном паре падение перегрева и в связи с этим мощности и экономичности остается в силе.



Фиг. 234

Приборы для отделения влаги от пара называются паросушителями; они, как правило, устанавливаются внутри сухопарного колпака. По принципу своей работы паросушители могут быть разделены на три группы — сеточные, инерционные и центробежные. Обычно оказывается полезным применение одновременно двух типов, расположенных последовательно по ходу парового потока.

Основная проблема, до сих пор вполне не разрешенная во всех паросушителях, — возвращение отделившейся от пара воды обратно в котел.

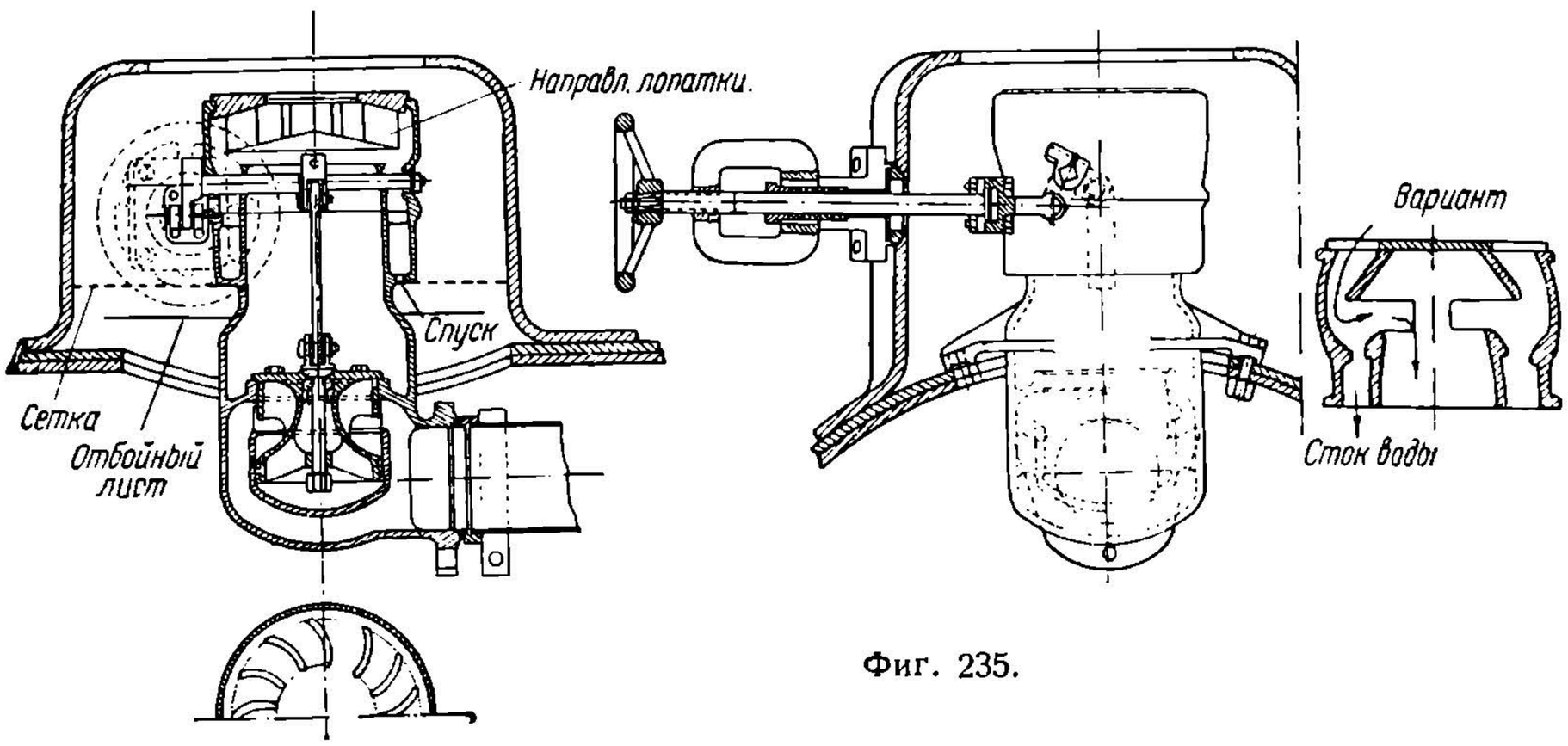
Простейший сеточный паросушитель, применяющийся на многих старых паровозах, составляется одной или двумя тонкими железными диафрагмами из листовой стали (Ст.-О) толщиной 4—5 *мм*, расположенными у основания сухопарника и снабженными большим количеством пробитых мелких отверстий ($d = 5 \div 8$ *мм*). Пар, проходя через диафрагму, теряет часть содержащейся в нем воды. Последняя падает в котел, хотя в известной части снова тут же увлекается вверх новыми порциями пара.

Более совершенными являются инерционные и центробежные паросушители, действие которых основано на значительной разнице в удельных весах пара и воды. Внутри паросушителя пар либо резко меняет направление своего движения, либо приобретает вращательное движение. При этом вода, как более тяжелое тело, по инерции пролетает вперед или за счет центробежной силы отбрасывается в сторону и таким образом отделяется от пара. Могут быть и комбинированные паро-

НТБ ДНУЖТ

сушители, где используются оба эти принципа. На фиг. 234 показан паросушитель паровозов серий «Су» и «Эм». Здесь имеется расположенная в горизонтальной плоскости большая горизонтальная диафрагма с отверстиями диаметром 12 *мм*, отделяющая верхнюю часть сухопарника от нижней. Эта диафрагма защищена от непосредственного попадания воды на нее нижним листом-отражателем.

На горизонтальном листе-диафрагме установлен барабан с загнутой внутрь верхней кромкой. На некотором расстоянии над этим барабаном размещен сплошной лист, заставляющий пар итти в стороны, изменив свое первоначальное направление. Наконец, имеется второй невысокий большего диаметра барабан, укрепленный к верхнему горизонтальному листу. Этот барабан заставляет пар итти вниз, причем вода, как более тяжелое тело, будет стекать по внутренней стенке барабана и, встретив кольцевой жолоб, будет собираться в нем и стекать по трубке на нижнюю диафрагму и далее в котел — через спускные отверстия в этом листе. Жолоб сделан для того, чтобы избежать вторичного захватывания воды паром, огибающим снизу большой барабан. Часть воды отделяется от пара, и при этом



Фиг. 235.

последнем изменении его направления пар идет вниз и затем резко изменяет направление своего движения на обратное; вода по инерции продолжает двигаться вниз и частично отделяется от пара.

Отделившаяся от пара вода имеет все же затрудненный обратный сток в котел.

В США и на наших мощных паровозах пользуется сравнительно большим распространением центробежный паросушитель, показанный в применении к паровозам серий «ФД» и «ИС» на фиг. 235. Здесь паросушитель и главный запорный клапан котла представляют собой одну узловую деталь. Пар входит по кольцевому каналу в верхнюю часть корпуса паросушителя и, встречая косо поставленные направляющие лопатки (см. план), приобретает вращательное движение, при котором частицы влаги разлетаются в стороны за счет центробежной силы. Отделившаяся вода собирается в боковом кармане прибора и стекает обратно в котел. Как вариант, справа показан и н е р ц и о н н ы й паросушитель этих же паровозов. Верхняя часть корпуса всего устройства взамен направляющих лопаток по основному варианту получает иной паросушитель, основной частью которого является усеченный конус, открытый снизу. Пар, двигаясь, как показано стрелками, резко изменяет свое направление, и вода по инерции пролетает в боковой карман.

Независимо от этих приборов мощные паровозы снабжаются сеткой и отражательным листом.

В заключение заметим, что одним из способов борьбы с влажностью пара является отбор последнего не из одной точки, а из ряда мест, расположенных по длине котла.

НТБ ДНУЖТ

§ 2. Регулятор

Расположение регулятора

Регулятор является главнейшим органом управления ходом паровоза.

На наших старых паровозах регулятор расположен в сухопарном колпаке паровоза, в непосредственной близости к паросушителю. Лишь в самое последнее время получают распространение регуляторы, расположенные за коллектором пароперегревателя.

По мере увеличения размеров паровозов размещение регулятора в колпаке оказывалось все менее и менее рациональным.

Во-первых, при увеличенных размерах регулятора увеличивался необходимый ремонт, производить который неудобно — приходится снимать крышку сухопарника.

Во-вторых, паровоз оказывался все менее и менее «маневренным», так как после закрытия регулятора машина должна была израсходовать пар, заполняющий регуляторную трубу, камеры насыщенного и перегретого па ра коллектора, пароработочие трубы, и, главное, пар, заполняющий все перегревательные элементы. По мере совершенствования паровоза, как мы уже знаем, число перегревательных элементов возрастает; при этом объем их возрастает быстрее «роста» объема цилиндров. Негибкость управления создает неудобства в особенности на маневровой работе — при подходе под поезд, на поворотном круге, под водяной колонкой и т. д.

В третьих, при расположении регулятора в сухопарном колпаке перегревательные элементы при закрытом регуляторе значительно нагреваются, и срок их службы сокращается.

Для всемерного удлинения срока службы перегревательных элементов оказалось весьма полезным перенесение регулятора за коллектор. В этом случае элементы оказываются всегда заполненными паром.

При размещении регулятора за коллектором трогание с места осуществляется сразу же перегретым паром. Наконец, достоинством такого расположения регулятора оказывается возможность устройства простого и доступного для ремонта на горячем паровозе наружного привода к регулятору, идущего сбоку котла. Сам регулятор, располагаясь в дымовой коробке, также легко доступен для осмотра и ремонта.

Но, расположив регулятор за коллектором, мы имеем и одно отрицательное явление: слишком резкое трогание с места, с толчком, и возникающая при этом опасность обрыва поезда. Действительно, при старом расположении регулятора проходящий через клапан или золотник регулятора пар постепенно поднимает давление в целой цепи последовательно расположенных объемов — пароработочих труб коллектора, элементов, золотника и самого цилиндра, что и обеспечивает плавное трогание с места. Здесь же регулятор, расположенный за коллектором, обусловливает быстрое заполнение пароработочих труб, золотникового и парового цилиндров и быстрое повышение давления на поршень.

Для того чтобы получить спокойное трогание с места, для облегчения открытия регулятора, а также и по целому ряду других соображений, чрезвычайно полезным оказывается применение многоклапанного регулятора.

При расположении регулятора за коллектором приходится в сухопарном колпаке ставить показанный на фиг. 235 главный запорный клапан для того, чтобы в случае необходимости выключить перегревательный коллектор и элементы.

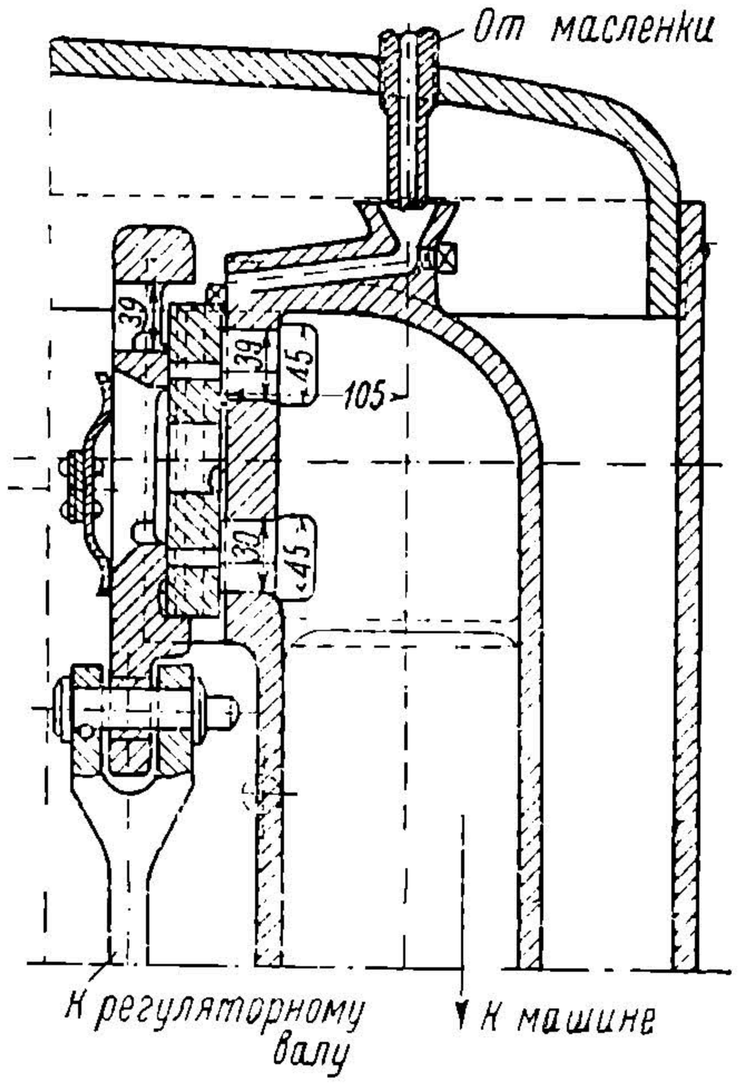
Плоский регулятор

Огромное количество наших старых паровозов имеет плоские регуляторы.

На фиг. 236 показано типовое выполнение плоского золотникового регулятора. Наличие малого золотника, кроме основного — большого, объясняется необходимостью разгрузить последний от котлового давления противодавлением из регуляторной трубы. Привод из будки перемещает прежде всего малый золотник,

НТБ ДНУЖТ

щелевые отверстия в нем пропускают пар в регуляторную трубу, давление в ней поднимается; после этого дальнейшим перемещением малого золотника сравнительно легко приводится в движение и большой золотник, открывающий свободный выход пара. На фиг. 236 регулятор показан закрытым: перемещение золотников при открытии регулятора — сверху вниз.



Фиг. 236.

Основные недостатки плоского регулятора — необходимость частой шабровки золотников, все же неизбежный пропуск пара (при закрытом регуляторе) из-за коробления его, большое трение в соприкасающихся частях и необходимость смазки их (трубка показана на крышке сухопарника). Некоторым недостатком является и отбор пара не из высшей точки сухопарника.

Клапанный регулятор

Клапанный регулятор имеет целый ряд преимуществ перед плоским. Он достаточно компактен, надежен, прост, имеет значительно большую герметичность, требует небольшого ремонта, обходится, естественно, без смазки самого клапана, почти уравновешен (легкое открытие).

На наших паровозах получил большое распространение клапанный регулятор Цара, показанный на фиг. 237. Корпус головки регулятора укреплен на регуляторном колене, в свою очередь приклепанном к стенке сухопарника. Регулятор имеет два клапана: большой *г*, снабженный в своей нижней части разгрузочным поршнем, и малый *3*. Последний выполнен в виде бурта на центральном стержне регулятора, управляющем открытием большого клапана. Стержень в своей верхней части заканчивается вилкой, шарнирно соединенной с рычагом *4*. Повертывая рукоятку регулятора, машинист посредством регуляторного вала, идущего вдоль котла по паровому пространству, повертывает рычаг и открывает таким образом малый клапан.

При открытии малого клапана пар проходит по кольцевому зазору *Ж* в пространство под разгрузочным поршнем и, кроме того, тремя путями в регуляторную трубу, а именно: через два верхних отверстия *Е* и через отверстие *Г* внизу разгрузочной камеры. Суммарная площадь этих трех отверстий вдвое меньше полной площади открытия малого клапана, поэтому пар успевает накапливаться во внутренней камере под поршнем и разгружает этот последний, чем облегчает подъем большого клапана.

После открытия большого клапана пар по кольцевому каналу *Д* попадает в регуляторное колено и далее к перегревателю и цилиндрам.

Отверстия *Г* и *Е* имеют и другое важное значение, а именно: попадающий в полость под разгрузочным поршнем пар уходит, как только что сказано, через эти отверстия в регуляторную трубу. Таким образом при закрытии регулятора на разгрузочный поршень снизу не будет противодавления, так как пар из этого пространства под разгрузочным поршнем уйдет в цилиндры. Если бы этого не было, то закрытие большого клапана было бы затруднительным.

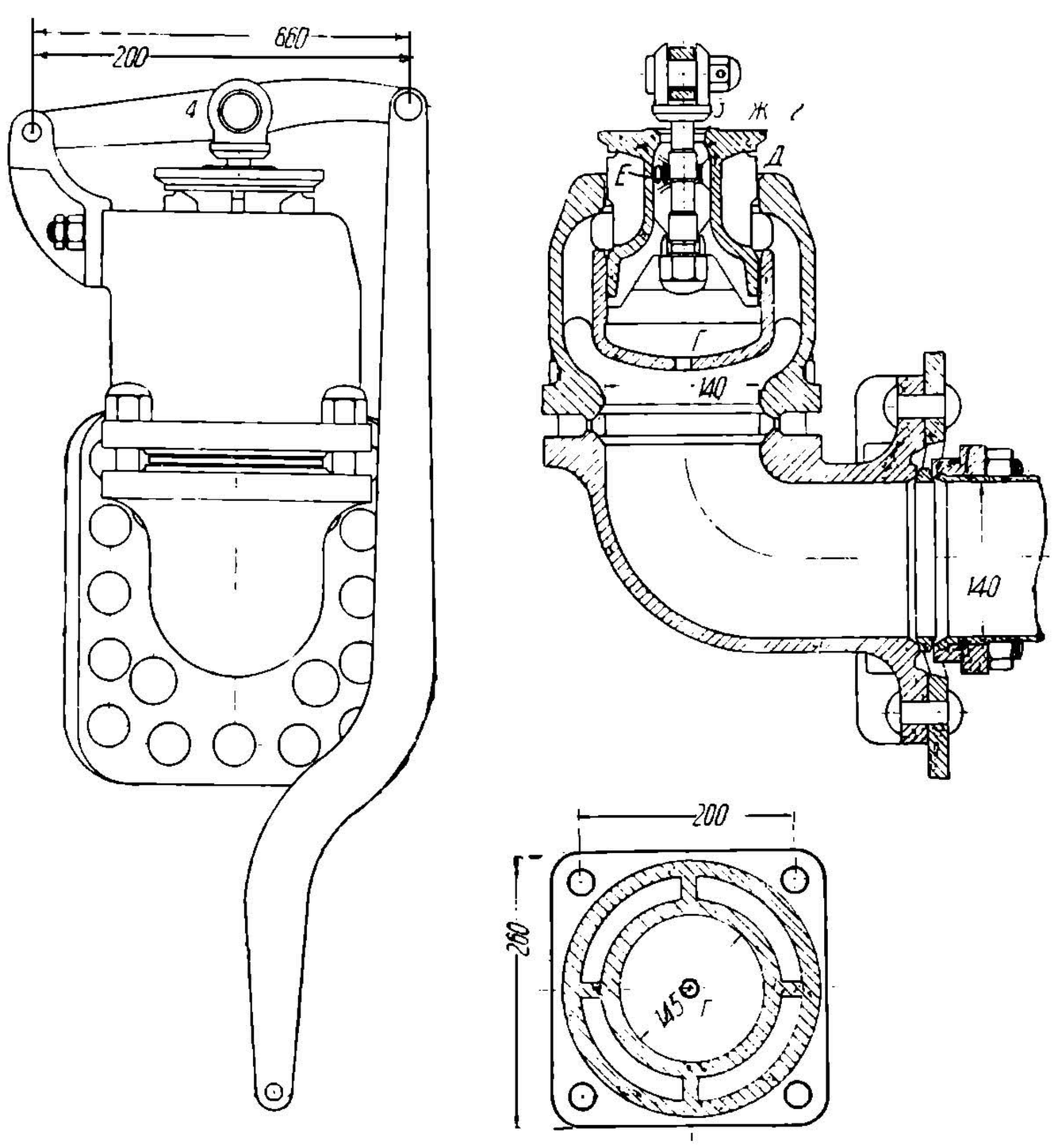
Многоклапанный регулятор

Простые одноклапанные регуляторы, хотя и лучшие по сравнению со старыми плоскими, все же имеют значительное мятие пара при малых открытиях большого клапана.

НТБ ДНУЖТ

Но основной причиной, побудившей отказаться от применения одноклапанного регулятора для мощных паровозов, остаются все же громоздкость всего устройства и большие размеры клапана, который должен пропустить в два и три раза большее количество пара у мощных паровозов по сравнению со старыми. Наконец, отказаться от применения одноклапанного регулятора пришлось и потому, что, располагая регулятор за коллектором, т. е. в области перегретого до 400—440° пара, мы должны в особенности бояться коробления клапана, тем более большего диаметра.

Применив многоклапанные регуляторы с четырьмя-шестью относительно небольшого размера клапанами, мы освобождаемся от перечисленных дефектов обычного одноклапанного регулятора. Манипулирование рукояткой регулятора—



Фиг. 237.

легкое; мятие пара — несколько меньше, так как сечение для прохода его в клапанах достаточно велико. Размеры клапанов невелики (диаметр 102 *мм* для паровозов серий «ФД» и «ИС» вместо 161 у паровозов серий «Э м» и «С у »), коробление их незначительно, хотя все же для получения наибольшей герметичности и долговечности, а также и для уменьшения ремонта клапаны обычно выполняются из легированной стали.

В конструктивном отношении многоклапанный регулятор очень удобен тем, что корпус его отливается за одно целое с перегревательным коллектором и паровое пространство над клапанами является одновременно частью объема камеры перегретого пара коллектора.

Но многоклапанный регулятор, расположенный, как обычно, за коллектором, не свободен от некоторых недостатков. Во-первых, недостатком является общая сложность устройства, как это мы сейчас увидим, и, во-вторых, несмотря на применение легированной стали и небольшой диаметр клапанов, периодически требуется ремонт их именно из-за специфических условий такого расположения регулятора: помимо разъедания клапанов быстро движущимся перегретым паром,

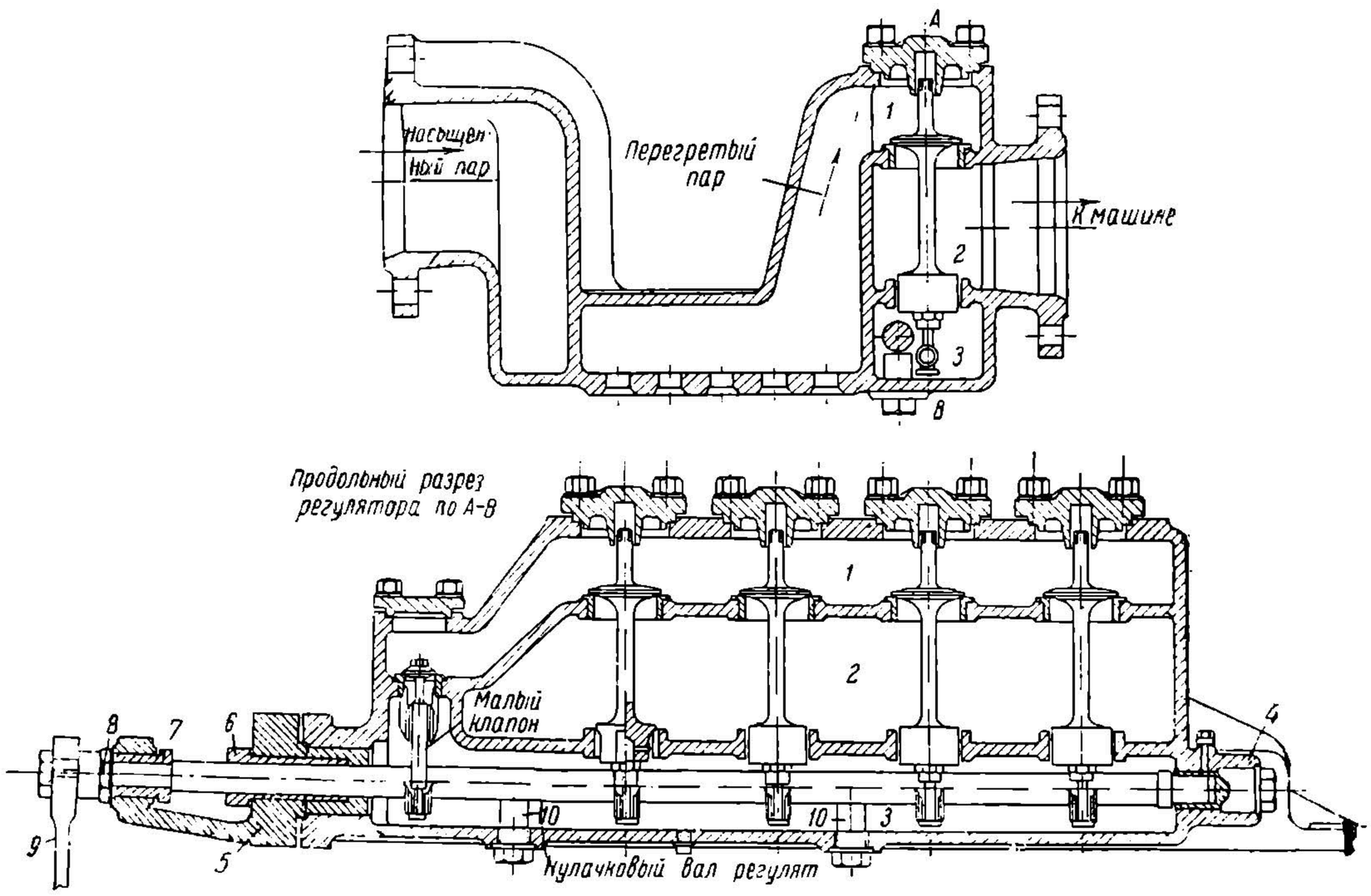
НТБ
ДНУЖТ

при каждом бросании воды котлом горячие стенки регуляторных полостей и сами клапаны, имеющие температуру 400° и больше, частично испаряют попавшую в них воду и покрываются слоем накипи, нарушающей герметичность.

Если бросание воды котлом обычного паровоза — недопустимое явление, то при регуляторе, расположенном за коллектором, бросание воды является в особенности вредным.

Сложность многоклапанного регулятора заставляет ограничиваться числом клапанов не свыше шести (США). Наши паровозы серий «ФД» и «ИС» имеют четырехклапанные регуляторы. Кроме того, устраивается добавочный малый клапан для разгрузки рабочих клапанов.

На фиг. 238 показано типовое устройство многоклапанного регулятора, изготовленного за одно целое с коллектором перегревателя. На чертеже дан поперечный разрез коллектора и камеры регулятора. Насыщенный пар входит в левый патрубок, проходит к элементам, перегревается и собирается над клапанами в правой верхней части рассматриваемой проекции.



Фиг. 238.

Камера регулятора состоит из трех полостей: верхней *1*, расположенной над клапанами; средней *2*, расположенной непосредственно под клапанами, снабженной патрубками пароработочих труб к цилиндрам, и нижней *3*, являющейся разгрузочной. Камеры *1* и *3* сообщаются одна с другой при открывании малого разгрузочного клапана.

В нижней разгрузочной полости располагается регуляторный кулачковый вал. Каждая пара смежных кулачков охватывает нижний хвостовичок клапанов и толкает их вверх или вниз в зависимости от направления вращения вала.

Выступающий за стенку дымовой коробки конец регуляторного вала снабжается рычагом *9*, надетым на квадрат вала. С этим рычагом соединяется тяга, идущая в будку машиниста.

Повертывая вал, мы открываем прежде всего малый клапан, при подъеме которого пар проходит в нижнюю разгрузочную полость и, нажимая снизу на разгрузочные поршни основных клапанов, облегчает их подъем.

Поочередное открытие клапанов достигается разной длиной их нижних хвостовичков. Малый клапан имеет хвостовичок с минимальными зазорами по высоте

НТБ
ДНУЖТ

относительно кулачков. Поэтому уже небольшое повертывание вала (повор от рукоятки регулятора) вызывает подъем малого клапана. Первый рабочий клапан имеет длину хвостовичка на 10 *мм* большую и будет оставаться в покое до тех пор, пока при дальнейшем повороте регуляторного вала соответствующая пара кулачков не нажмет на этот первый большой клапан. Следующий и все остальные клапаны имеют хвостовички на 5 *мм* длиннее предыдущего; поэтому, прежде чем каждый клапан не поднимется на 5 *мм*, последующий не тронется с места.

Клапаны изготовляются из высокосортной хромоникелевой нержавеющей стали (электрической плавки), хвостовики, как изнашивающиеся части, сделаны сменными, ввертными, из Ст.-5. Для улучшения своих механических свойств хвостовик нормализуется.

Для удобства осмотра и притирки клапанов сверху дымовой коробки делается большой вырез, закрываемый щитком. Сняв щиток, мы имеем свободный доступ к регуляторным клапанам.

Главный запорный клапан

В заключение нужно указать, что наличие главного запорного клапана в сухопарнике при регуляторе, расположенном за коллектором, является обязательным по эксплуатационным соображениям. При отсутствии этого клапана перегреватель являлся бы непосредственным продолжением парового пространства котла. Между тем перегреватель, в особенности элементы и крепление их к коллектору, требует периодического осмотра и проверки крепления гаек элементов (на горячем паровозе).

Главный запорный клапан показан на приведенной раньше фиг. 235. Как видно, устройство самого клапана очень напоминает клапан регулятора Цара, но привод к нему очень простой, заканчивающийся снаружи на самом колпаке; в будку машиниста привода нет, и уже одно это показывает, что главный запорный клапан не имеет оперативного назначения. Во избежание закипания клапана и его привода — исправное действие клапана проверяется каждую поездку.

В работе паровоза главный запорный клапан должен быть все время открыт полностью. Закрывать клапан следует лишь по приезде в депо.

§ 3. Пароработочие трубы

Пароработочие трубы паровозов с простыми двухцилиндровыми машинами составляются регуляторной трубой, идущей от котла к коллектору, паровпускными трубами, идущими от коллектора к паровым цилиндрам, и паровыпускными трубами, отводящими мятый пар из цилиндров.

Все пароработочие трубы изготовляются из стали марки Ст.-1 или Ст.-2. Соединения труб делаются обычно на фланцах с прокладными чечевичными кольцами.

Диаметры паровых труб могут быть определены с достаточной точностью — по объему и скорости протекающего по ним пара. Расчет основан на равенстве среднего расхода пара паропроводом и цилиндром:

$$F_{тр} \cdot v = F_{цил} \quad c,$$

где:

$F_{тр}$ — площадь сечения рассчитываемой трубы в $м^2$;

v — скорость пара в *м/сек*; для насыщенного пара принимают $v = (25 — 35)$ *м/сек*, для перегретого $v = (70 — 90)$ *м/сек*;

$F_{цил}$ — площадь сечения цилиндра;

c — средняя скорость поршня в *м/сек* при конструкционной скорости.

Из приведенного уравнения получаем диаметр трубы:

$$d_{тр} = d_{цил} \sqrt{\frac{n \cdot l}{30 \cdot v}}, \qquad (121)$$

где n — число оборотов движущих колес в минуту;

l — ход поршня.

НТБ ДНУЖТ

Площадь выпускной трубы:

$$F_{вып} \cong \frac{F_{цил}}{13} \qquad (122)$$

Вообще площадь выпускной трубы должна быть примерно вдвое больше площади впускной. Полученные диаметры труб увязываются с ОСТ.

Наружная регуляторная труба (паровозы серий «Б», «С», «С^{У}», «Э», «Э^{У}» и др.) и паровпускные трубы рассчитываются на разрыв внутренним давлением известным способом.

R_z — допускаемое напряжение (в *кг/см*^{2}) — берется не свыше 250 *кг/см*^{2}, так как расчетными формулами не учитываются ни износ, ни, главное, изгибы трубы. Наличие изгибов, естественно, увеличивает действительное напряжение как из-за распора колена трубы, так и из-за уменьшения толщины стенки внешней стороны изгиба.

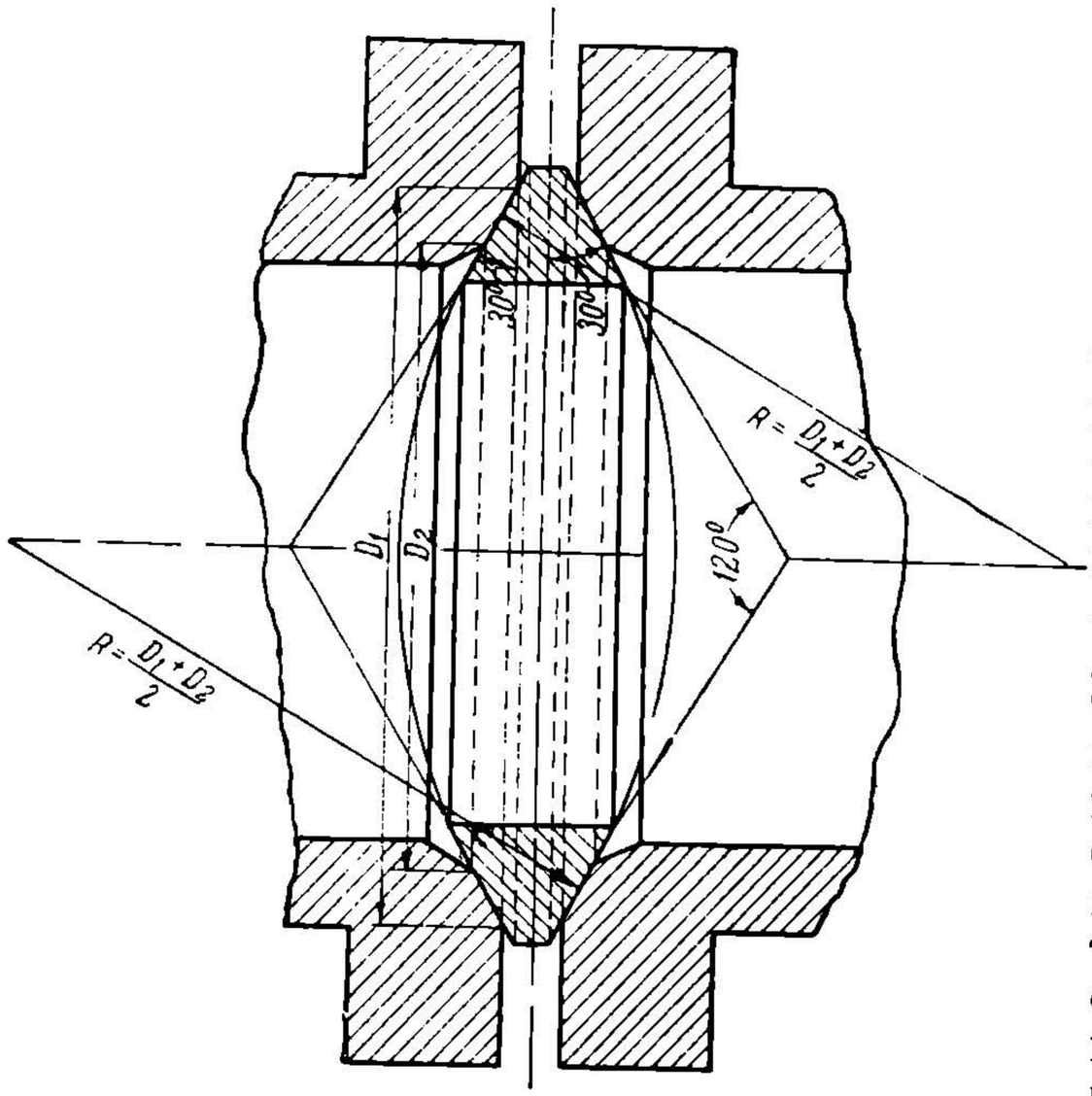
§ 4. Ремонт регуляторов и их деталей

Ремонт регуляторной головки и деталей регулятора сопровождается обязательным открытием сухопарного колпака, что требует охлаждения котла. Ремонт регуляторов, помимо нормального износа его деталей, вызывается следующими причинами: 1) недокрытием или перекрытием регулятора; 2) пропуском регулятора (золотника или клапанов); 3) парением крышек над клапанами (при многоклапанном регуляторе). Все повреждения регуляторов и неисправности обнаруживаются лишь после разборки их и обычно внешними признаками не определяются. Пропуск регулятора обнаруживается выходом пара в цилиндровые продувательные краны на стоянке паровоза, что может привести к произвольному троганию паровоза с места. Причиной пропуска могут быть наличие рисок на плоскостях прилегания золотника к зеркалу регуляторной головки и ослабление пружин, прижимающих малый золотник к большому, которые должны также прижимать оба золотника к лицу (зеркалу) головки. Все обнаруженные выработки, задиры и царапины на лицах золотников и зеркале головки должны быть устранены путем строжки и пришабровки с последующей притиркой. Предельная толщина плоского регуляторного золотника должна быть не менее 20 *мм* при выпуске паровозов из капитального ремонта, 18 *мм*—из среднего. В клапанных регуляторах типа Цара пропуск имеет место при наличии рисок на клапанах и их гнездах, что также устраняется путем проверки гнезд и клапанов с последующей их притиркой. После ремонта регуляторные головки испытываются на плотность. С этой целью при закрытом положении золотников или клапанов головка опрокидывается и наполняется водой, а затем осматривается со всех сторон. Отсутствие течи свидетельствует о правильности сборки и доброкачественности пригонки золотников друг к другу и их плоскостей к зеркалу регуляторной головки. При всех случаях ремонта регулятора с разборкой головки место соединения ее с регуляторной трубой должно быть проверено на станке и одновременно сменено соединительное чечевичное кольцо (фиг. 239); при среднем ремонте это кольцо может быть оставлено, но обязательно проверено. Обработка кольца делается с таким расчетом, чтобы поверхность прилегания его точно ложилась на плоскость раззенковки. Пропуск пара вследствие неплотности соединения регуляторной головки с трубой является серьезной неисправностью паровоза, требующей его охлаждения, и обнаруживается пропуском пара при стоянке паровоза через продувательные краны, а также течью во фланце регуляторной трубы со стороны дымовой коробки. При гидравлическом испытании котла, после сборки регуляторной головки особенно тщательно осматриваются все шпильки, гайки, шайбы и проверяется наличие шплинтов; недосмотр, допущенный в этом направлении, может вызвать разъединение частей регулятора. При регуляторных головках с плоскими золотниками в случаях разъединения привода, вследствие выпадения одного из валиков при открытом регуляторе, закрытие его невозможно, и управление паровозом возможно лишь с помощью одного реверса, что представляет сложную и трудную задачу. При клапанном регуляторе

НТБ ДНУЖТ

при разъединении привода имеют место самостоятельное закрывание регулятора и неизбежное требование резервного паровоза. Кроме указанных неисправностей регулятора, в особенности с плоскими золотниками, иногда наблюдается недокрывание регулятора.

При капитальном и среднем ремонтах, после устранения всех неисправностей отдельных деталей регулятора и замены негодных частей, необходимо проверить правильность открытия регулятора.



Фиг. 239.

Уход за многоклапанным регулятором и его ремонт

Многоклапанные регуляторы, впервые поставленные в паровозах серий «ФД» и «ИС», требуют несколько иных методов ремонта, сборки и проверки, чем плоские регуляторы или регуляторы Цара. Для обеспечения плавного трогания паровоза с места регулятор должен открываться постепенно и плавно. В этом случае нужно открыть первый рабочий клапан; открытие же остальных клапанов определяется условиями дальнейшего ведения поезда, в частности оно зависит от веса поезда, скорости и профиля пути. Как теорией, так и практикой езды машинистов-кривоносовцев установлено, что наивыгоднейшим методом езды является езда на полное открытие или, как принято говорить, «на большой клапан».

Особое внимание при эксплуатации паровозов с многоклапанными регуляторами необходимо обращать на работу клапанов. При бросании воды возможно закипание их и отложение накипи в направляющих разгрузочных клапанов, что может привести к незакрытию регулятора. При невозможности закрыть регулятор нельзя допускать натягивания ручки регулятора с большой силой, так как это может вызвать повреждение деталей регулятора. В таких случаях рекомендуется перемещать ручку регулятора вперед и назад. При этом накипь постепенно очищается, и клапаны имеют возможность сесть на место. В силу сказанного при каждой промывке по охлаждении клапанной коробки регулятор должен быть промыт, для чего после снятия крышек производится очистка камеры от накипи в первую очередь скребками с предварительным размягчением накипи раствором каустической соды или соляной кислоты.

Раствором нужно заполнять только разгрузочную камеру, для удаления раствора достаточно открыть пробку в дне камеры, но ни в коем случае не вывертывать опорные пробки. После удаления раствора камера должна быть промыта горячей водой во избежание попадания кислоты в цилиндры паровоза.

Осмотр и ремонт многоклапанного регулятора

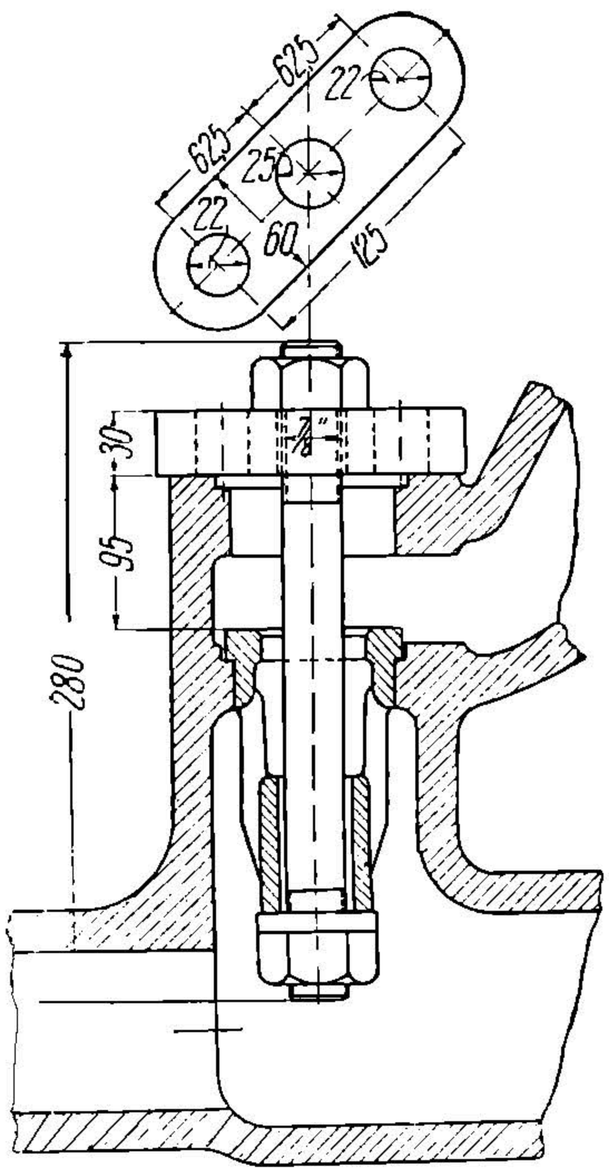
Ремонт многоклапанного регулятора вызывается:

1) наличием рисок, выработки и забоин на притирочных поверхностях клапанов и седел;

НТБ ДНУЖТ

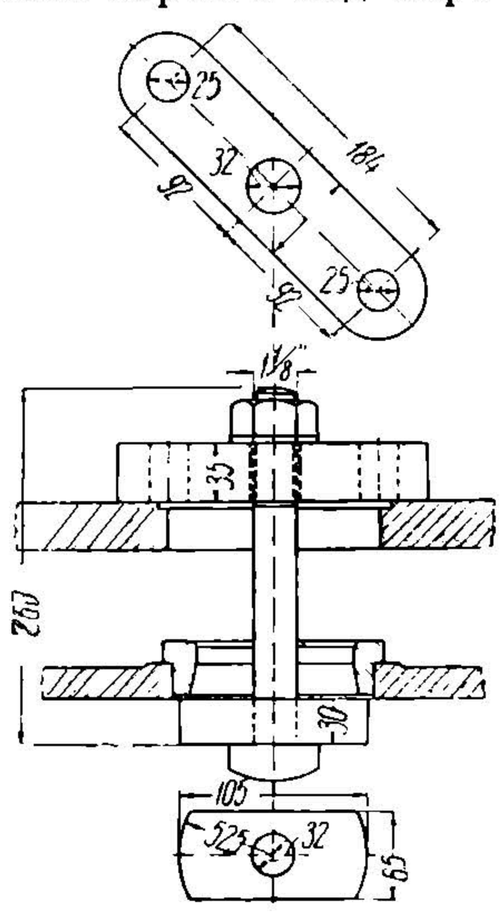
2) пропуском пара в цилиндры при закрытом регуляторе;
3) неполным закрытием клапанов;
4) изгибом кулачкового вала и его скручиванием;
5) износом кулачков вала и изломом их;
6) ослаблением клапанных гнезд или втулок;
7) неплотностью клапанных крышек;
8) пропуском сальников регуляторного вала;
9) изгибом стержней у одного или нескольких клапанов;
10) закипанием гнезд верхних крышек у направляющих клапанов и
11) нарушением последовательности открытия клапанов.

При подъемочном и промывочном ремонтах регулятора и его деталей производится разборка элементов, требующих исправления: при капитальном же и среднем—многоклапанный регулятор должен быть разобран полностью. При разборке регулятора снимается люк на дымовой коробке над паро-



Фиг. 240.

перегревательной камерой, разъединяется тяга регуляторного привода с рычагом, насаженным на регуляторный вал, затем отвертываются гайки и снимаются крышки (фиг. 238). Далее необходимо повернуть вал против часовой стрелки до упора кулачков вала в стенку коробки. В этом случае кулачки регуляторного вала примут вертикальное положение и расцепятся с хвостовиками клапанов. Затем нужно вынуть все клапаны, отвернуть гайки правой опоры, снять грундбуксу, удалить набивку, выбить шплинт,



Фиг. 241.

удалить шайбу и рычаг вала, после чего, отвернув гайку, — снять опору вала. По удалении опоры рычаг вала повернуть по часовой стрелке с таким расчетом, чтобы кулачки установились горизонтально и чтобы вал можно было выдвинуть из коробки до упора кулачков в стенку, после чего вал нужно сместить влево. Это даст возможность вынуть его из коробки.

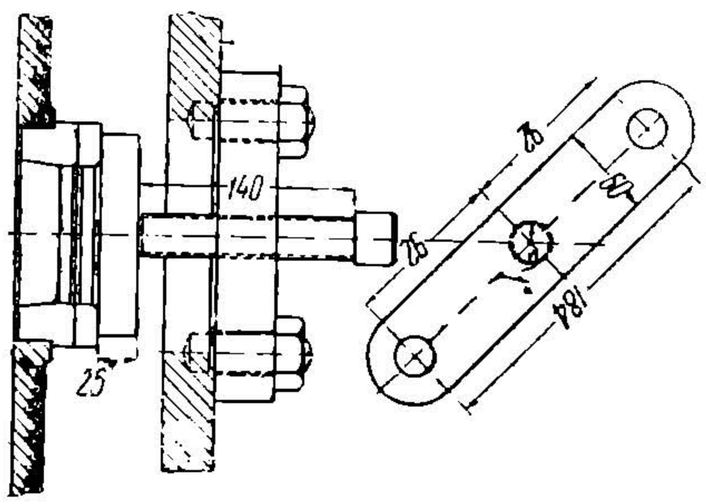
Способы ремонта деталей многоклапанного регулятора

При наличии задиров и выедин в притирочных плоскостях клапанов необходимо проверить их на станке, седла проверить шарошкой, а клапаны притереть. При значительных задирах клапаны меняются, седла же их выпрессовываются, причем для выпрессовки втулок разгрузочного клапана пользуются приспособлением, показанным на фиг. 240, а для выпрессовки втулок большого клапана приспособлением, показанным на фиг. 241. Запрессовка втулок производится при помощи приспособления (фиг. 242). После обработки притирочных поверхностей необходимо проверить подъем клапана. Разгрузочный клапан изготовляется или из стали Энерж-2 или Ст.-5. При обработке поковки клапана он сначала центруется на сверлильном станке. Далее на токарном станке производятся подрезка торцов, черновая и чистовая обработка всего клапана и зачистка фасок. Втулка клапана обрабатывается в четырехкулачковом патроне, в котором сначала обрезается бурт, а затем производятся проточка, расточка и вторая расточка для направляющей клапана; затем втулка зажимается в патрон другим концом и подреза-

НТБ ДНУЖТ

ется. Обработку втулки можно производить также на станках Питлера. Большой клапан меняется при износе притирочной поверхности. Обработка его на токарном станке состоит из: 1) центровки торцов, 2) подрезки с двух сторон по альбомным размерам, 3) сверловки отверстия для хвостовика, 4) грубой обдирки и 5) чистовой обработки. Наконец, на фрезерном станке производится фрезеровка четырех канавок в направляющей хвостовика. Притирочная поверхность обыкновенно хромируется. Втулка большого клапана меняется при ее износе и ослаблении в гнезде. Для обработки отливка зажимается в четырехкулачковом патроне и сначала обтачивается по наружному диаметру, а затем растачивается по внутреннему диаметру. После обточки во втулке прорезаются канавки, затем она зажимается другим концом, обтачивается, подрезается бурт, зачищаются острые кромки и протачивается фаска под клапан.

Износившиеся кулачки вала восстанавливаются электронаваркой, при наличии износа их более чем на 1,5 *мм* перед наваркой необходимо дополнительно снять часть подлежащей наплавке поверхности, так как толщина навариваемого слоя должна быть не менее 3 *мм*. После наварки кулачки должны быть обработаны по шаблону. Хвостовики клапанов при износе более 1,5 *мм* подлежат смене. Сверловка же отверстия для штифта в новом хвостовике производится после пригонки его и проверки подъема клапана. По постановке штифта его концы должны быть расклепаны и зачищены. Выправление погнутого регуляторного вала, что происходит вследствие заедания клапанов или при попадании под них посторонних предметов, производится в горячем состоянии с последующей проверкой на станке. Особое внимание должно быть обращено на правильность положения кулачков, что проверяется на разметочной плите, в особенности на то, чтобы они находились в одной плоскости, иначе может быть нарушена последовательность открытия клапанов. Не меньшее значение имеет положение квадрата вала относительно кулачков. В том случае, когда положение его нарушилось, например после правки вала, необходимо наварить вал и разметить новый квадрат. Весьма существенное значение для работы многоклапанного регулятора имеет неплотное закрытие клапанов, что может иметь место вследствие неправильной насадки рычага регуляторного вала относительно кулачков, неправильной длины тяги, соединяющей компенсаторный рычаг и регуляторный вал, и излома втулки регулирующего клапана. Регулировка длины тяги производится на горячем паровозе, причем при полном прижатии клапанов ручка регулятора не должна доходить до крайнего положения на 1—2 зуба, что достигается ослаблением или подтягиванием вилок.



Фиг. 242.

Сборка и проверка вала многоклапанного регулятора

После ремонта и замены отдельных деталей регулятора производится его сборка, которую Ворошиловградский завод рекомендует вести в следующей последовательности:

1) Установить коробку на разметочной плите.

2) Вставить заднюю опору вала (фиг. 238).

3) Вставить вал.

4) Вставить переднюю опору *5* вала и укрепить ее гайками.

5) Определить помощью шаблона точную длину каждой опорной пробки *10* и подрезать их, так чтобы вал лежал без прогиба и зазора.

6) Ввернуть опорные пробки *10*.

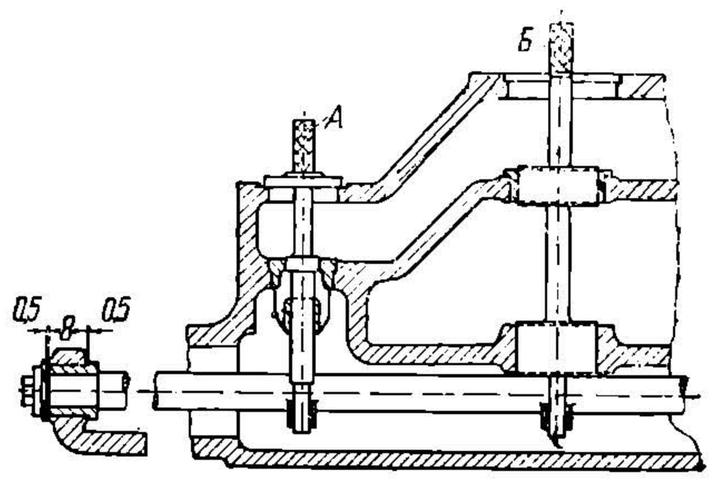
7) Проверить правильность положения кулачков вала по отношению к вертикальной оси клапанов. С этой целью калибр *А* вставляется в прорез кулачка малого клапана, и проверяется положение остальных кулачков калибром *Б*, который должен свободно проходить во все прорезы кулачков (фиг. 243).

НТБ ДНУЖТ

8) Отрегулировать с каждой стороны передней опоры зазор по 0,5 *мм*.

9) Отрегулировать зазор в 1,5 *мм* у задней опоры. С этой целью кулачковый вал нужно переместить до соприкосновения с задней опорой *4*.

10) После установления зазоров вставить и укрепить заднюю опору *4*, правую опору *5*, грундбуксу *6*, укрепить втулку *7* гайкой *8*, насадить рычаг *9* и вставить клапаны.

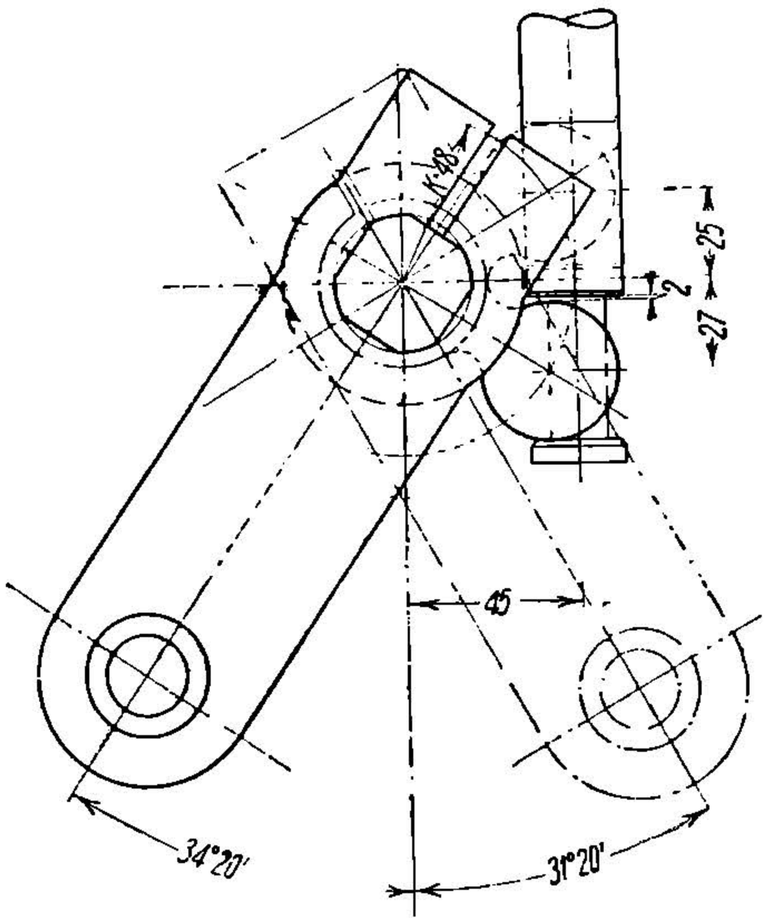


Фиг. 243.

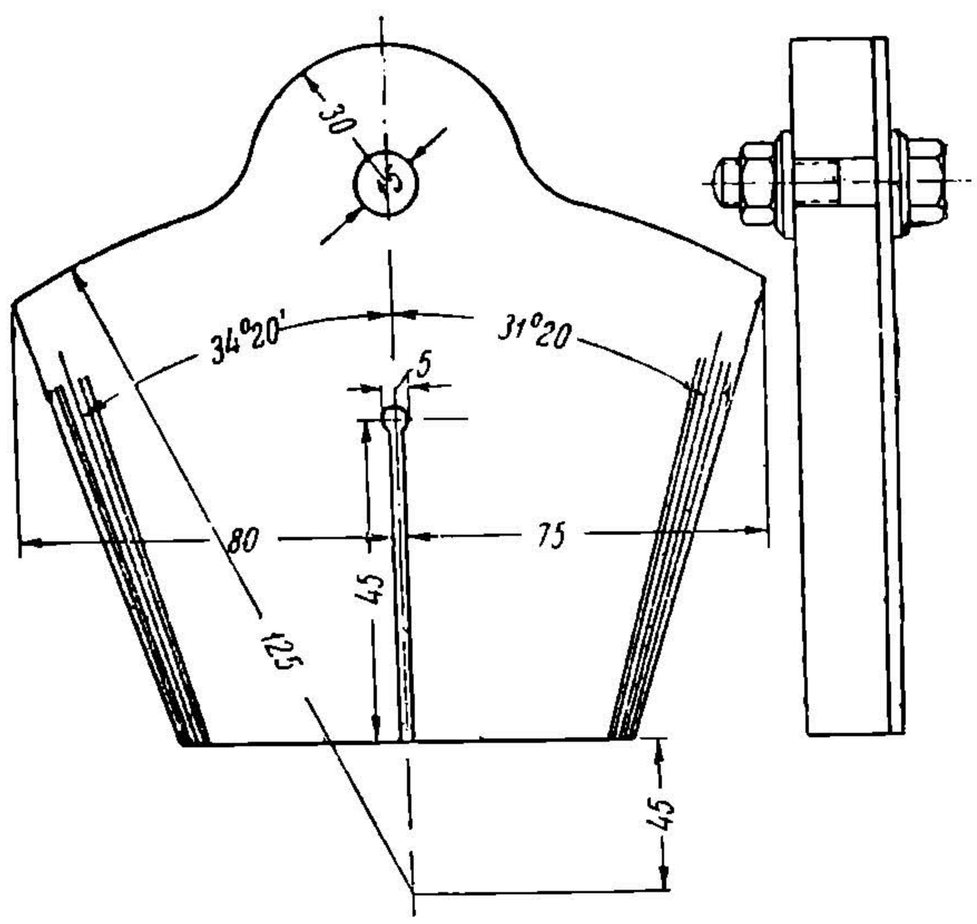
11) Проверить одновременность нажатия кулачков вала на заплечики хвостовиков клапанов.

12) Проверить, чтобы при нажатии кулачков вала на хвостовики клапанов угол, образуемый осью рычага вала с вертикалью, составлял 34° 20′ (допускаемое отклонение 1°). При проверке применяются угольник и шаблон, способ пользования которыми показан на фиг. 244.

13) Затем рычаг повернуть на 65° 40′ и проверить при помощи нониусной линейки (фиг. 245) подъем клапанов. Полный подъем клапанов должен быть ра-



Фиг. 244



Фиг. 245.

вен: разгрузочного—50 *мм*, первого рабочего—40 *мм*, второго — 35 *мм*, третьего — 30 *мм* и четвертого—25 *мм*.

14) Проверить одновременно с проверкой подъема клапанов постепенность их открытия. При поднятии разгрузочного клапана на 10 *мм* начинает открываться первый рабочий клапан. В дальнейшем рабочие клапаны должны подниматься друг за другом, вслед за поднятием предыдущего клапана на 5 *мм*. Допускаемые отклонения в открытии клапанов не должны превышать ± 1 *мм*. Практикой установлено, что отложение накипи наблюдается чаще всего у третьего и четвертого клапанов, так как они открываются реже, поэтому на паровозах серии «ФД» выпусков после 1935 г. расположение клапанов изменено, а именно после подъема разгрузочного клапана вначале открывается четвертый клапан, затем первый, третий и второй, что достигается перестановкой клапанов местами.

15) Поставить и укрепить крышки на коробке, причем зазор между стержнем и дном крышки должен быть не менее 2,5 *мм*.

НТБ ДНУЖТ

Ремонт и изготовление регуляторного вала

Случаи смены регуляторного вала редки и вызываются значительным износом кулачков и его шеек Вал открывается за одно целое с кулачком. Затем он размечается по длине и передается на токарный станок для обдирки и обточки по чертежу и подрезки кулачков. Далее идет разметка кулачков под строжку, которая производится на продольном строгальном станке; после этого вал вновь передается на разметку ушков и квадрата на конце вала. Квадрат и прорезы в кулачках профрезеровываются на вертикально-фрезерном станке и затем вал передается на разметочную плиту для проверки взаимного положения кулачков.

Ремонт главного запорного клапана паровозов серии «ФД»

Ремонт главного запорного клапана вызывается необходимостью устранения ряда отдельных неисправностей, выявившихся в процессе эксплуатации паровоза и износом отдельных его деталей. Прежде всего наблюдается закипание клапанов и седел. В этом случае необходимо тщательно очистить места прилегания их от накипи, а клапаны проточить и притереть. Второй неисправностью является малое открытие клапана, вызывающее мятие пара. Для устранения необходимо в процессе сборки проверить размеры отдельных частей по чертежу. Во время же эксплуатации малое открытие клапана может быть вызвано выработкой валика, соединяющего хвостовик клапана с плечом, или выработкой проушины хвостовика. В подобных случаях валик должен быть сменен, проушина наплавлена электросваркой, а отверстие в ней вновь расточено по чертежу. Основным видом ремонта является смена малого и большого клапанов. Кроме того, во время эксплуатации паровоза имеют место случаи: 1) невозможность открыть клапан, 2) пропуск пара в месте приварки кронштейна и 3) разъедания притирочных поверхностей гнезд. В первом случае причиной неисправности являются срез резьбы гайки малого клапана, разъедание валика большого плеча шарнирного соединения и, наконец, обрыв хвостовика малого клапана. Устранение их не требует сложных работ и сводится к смене деталей или исправлению электросваркой. Пропуск пара вызывается разъеданием чечевичных колец в местах соединения и их неплотным прилеганием. Устранение его осуществляется проточкой или сменой колец и райберовкой мест прилегания. Для предупреждения отложения накипи на притирочных поверхностях необходимо чаще закрывать главный запорный клапан. Помимо того, закрытие клапана обязательно во время стоянок паровоза в депо и перед его охлаждением во избежание скопления конденсата в трубах элементов пароперегревателя, могущего вызвать их размораживание.

Закрытие главного запорного клапана должно производиться легко, без применения дополнительных рычагов. С целью облегчения открывания и закрывания резьба вала, постоянно засариваемая изгарью из дымовой трубы, должна своевременно смазываться. По окончании ремонта и сборки главного запорного клапана нужно проверить плотность посадки клапанов. Для этого необходимо закрыть главный запорный клапан при открытых продувательных кранах цилиндров, открыть регулятор и из цилиндра спустить пар, выход которого при плотной посадке клапана должен прекратиться по истечении непродолжительного промежутка времени; предварительно нужно проверить плотное закрытие клапана колонки перегретого пара или вентиля паровой трубы от сухопарника к колонке перегретого пара.

НТБ ДНУЖТ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ И ПИТАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

ГЛАВА I

ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛЬ

§ 1. Типы перегревателей

Приготовленный котлом пар собирается в верхней части котла, в так называемом паровом пространстве, где он соприкасается лишь с зеркалом воды и внутренней поверхностью цилиндрической части котла, омываемой снаружи воздухом; при таких условиях притока тепла к пару ниоткуда быть не может.

Для того чтобы перегреть этот пар, его необходимо до поступления в паровые цилиндры машины привести в соприкосновение с газами сгорания, имеющими более высокую температуру, что осуществляется присоединением к котлу особых приборов, называемых пароперегревателями.

В паровозных котлах, ввиду крайне напряженной их работы, требующей приготовления весьма большого количества перегретого пара (в современных мощных паровозах — до 25 000 *кг* в час и более), высокой температуры, с одной стороны, и недостатка места, с другой, — вопрос о выборе системы пароперегревателя и его размещения является весьма серьезным и ответственным.

Действительно, если в большинстве стационарных установок имеется полная возможность осуществления пароперегревателя с весьма большой поверхностью нагрева, то в паровозах эта возможность весьма ограничена, что заставляет изыскивать и применять здесь такие системы пароперегревательных аппаратов, которые обладают наибольшим тепловым эффектом.

Этим и объясняется тот факт, что в области паровозных пароперегревателей к настоящему времени накопилось великое множество разнообразных изобретательских заявок и предложений, из которых однако лишь весьма немногие получили распространение на современных паровозах.

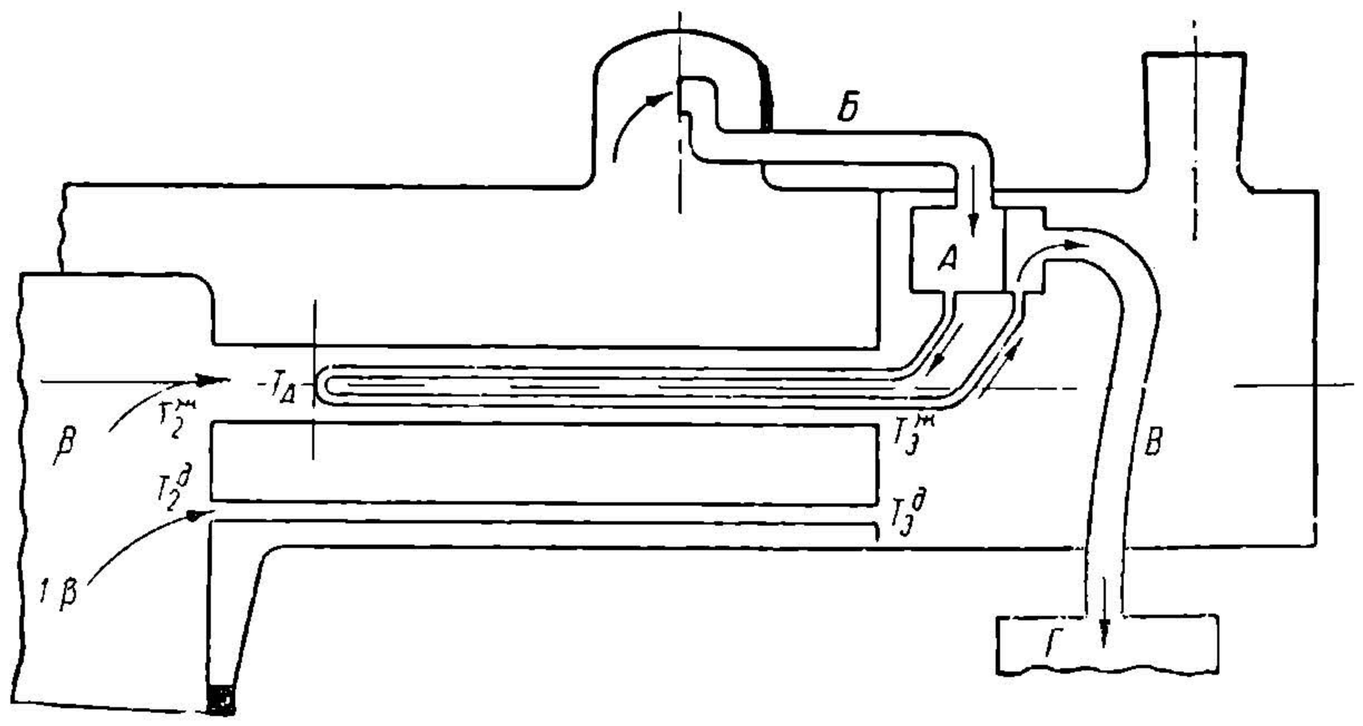
В зависимости от особенностей устройства самого пароперегревателя и способа размещения его в котле, все паровозные пароперегреватели могут быть разделены на следующие характерные группы: 1) пароперегреватели, помещающиеся в дымовой коробке; 2) пароперегреватели, помещающиеся внутри котла; 3) пароперегреватели, размещенные в дымогарных или жаровых трубах; 4) помещающиеся в отдельных специальных камерах.

Пароперегреватели первой группы (Шмидта, Кленча, Лопушинского и др.), а также и второй (Пилока—Слуцкого) распространения не получили.

Пароперегреватели третьей группы (жаротрубные) пользуются в настоящее время почти исключительным распространением во всем мире. Первоначальные попытки размещения элементов пароперегревателей этой группы в узких дымогарных трубах дали отрицательные результаты ввиду недопустимого увеличения газового сопротивления котла и быстрого забивания труб уносом на угольном отоплении. Это заставило ввести некоторые конструктивные изменения в цилиндрическую часть котла. Общая схема устройства паровозного котла с жаротрубным пароперегревателем показана на фиг. 246. В верхней части котла взамен обыкновенных дымогарных труб развальцовывается несколько рядов

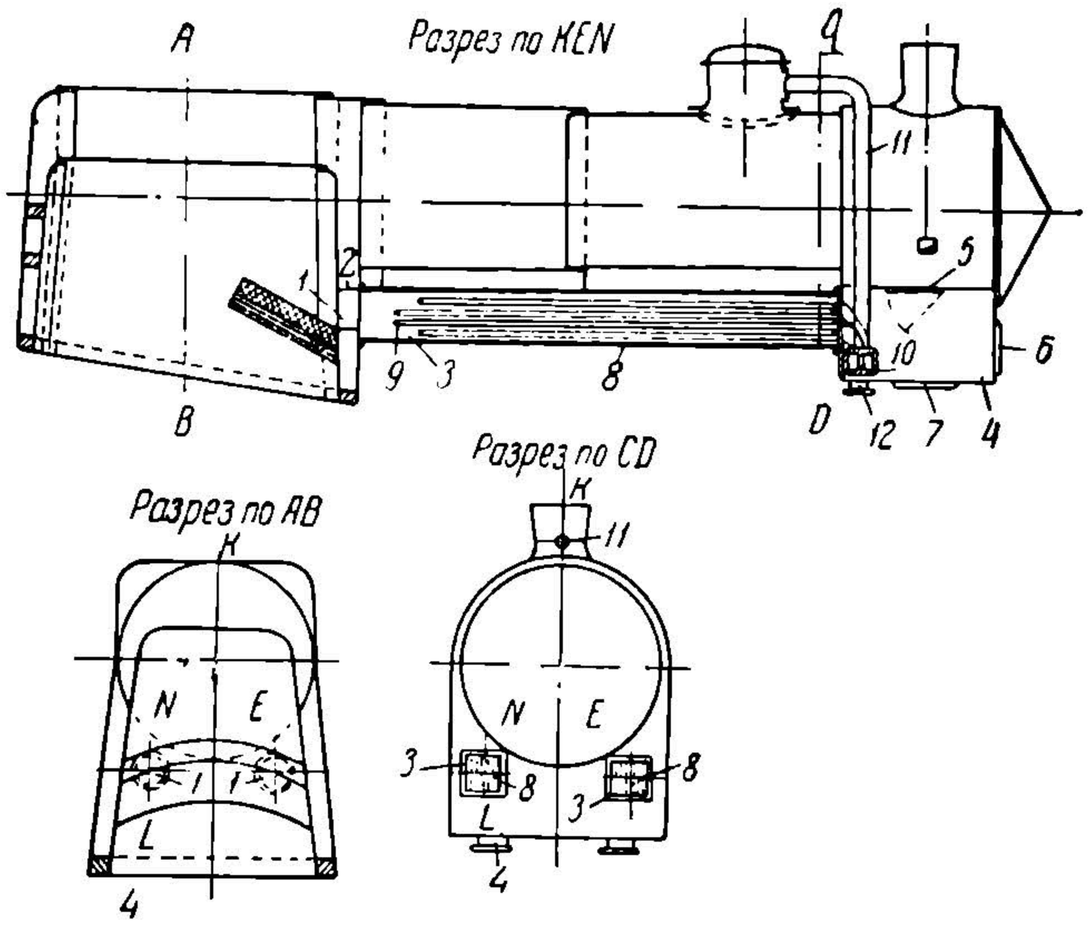
НТБ ДНУЖТ

жаровых труб увеличенного диаметра (диаметр в свету 120—160 *мм*), число которых колеблется в зависимости от мощности паровоза и требуемого перегрева от 20 до 50 и более штук. Внутри этих труб располагаются элементы пароперегревателя той или иной системы в виде цилиндрических, кольцевых или



Фиг. 246.

полукольцевых трубок, концы которых выходят в дымовую камеру и закрепляются там в особых парособирательных коробках (большей частью устраивается одна литая или сварная коробка *А*, разделенная внутренней перегородкой на два отделения); в задней части элементы, во избежание обгорания их в области чрезмерно высоких температур, не доходят миллиметров на 300—500 до плоскости задней трубчатой решетки котла; при этом температура газов у начала элементов достигает при наибольшей форсировке почти 1000°, чем и обеспечивается высокий тепловой эффект пароперегревателя.



Фиг. 247.

1—отверстия для втулок *2*, к которым крепятся камеры *3*; *4*—нижняя дымовая коробка с дверцами *5*, *6* и *7* (первая дверца для регулирования количества газов, поступающих в камеры, вторая для выемки элементов, третья для удаления уноса из дымовой коробки); *8*—железная обшивка камер, изготовляемых из изолирующих материалов (шамот); *9*—элементные трубы; *10*—двухкамерный коллектор; *11*—труба, подводящая свежий пар к коллектору; *12*—труба, отводящая перегретый пар к золотниковым коробкам.

Влажный пар из котла поступает по регуляторной трубе *Б* в первую камеру парособирательной коробки, откуда рядом трубок подводится к отдельным элементам, циркулирует по ним внутри жаровых труб и затем отводится уже перегретым во вторую камеру коллектора, откуда и поступает через пароподводящие трубы *В* в золотниковые коробки *Г* цилиндров.

Все устройство пароперегревателя получается компактным, легким и доступным для осмотра и замены отдельных элементов.

Топочные газы, поступающие в жаровые трубы, омывают параллельно с перегревательной и испаряющую поверхность нагрева, ввиду чего уменьшение этой последней за счет присоединения к котлу пароперегревательного аппарата получается незначительным.

НТБ ДНУЖТ

Вес перегревателя распределяется более или менее равномерно на все оси паровоза.

Дымовая коробка не загромождается чрезмерно элементами пароперегревателя.

Отдельные элементы могут быть выполнены вполне взаимозаменяемыми.

Ввиду уже отмеченного выше преимущественного распространения на сети русских и заграничных железных дорог жаро-трубных паровозных пароперегревателей, дальнейшее исследование рабочего процесса пароперегревателя будет изложено применительно к аппаратам этой группы.

Представителем группы камерных пароперегревателей является у нас пароперегреватель системы инж. Пирина, которым оборудован в виде опыта один из паровозов серии «Е». Схема устройства пароперегревателя системы Пирина показана на фиг. 247.

§ 2. Сбережение воды и топлива при работе перегретым паром

Применение перегретого пара является крупнейшим этапом по пути повышения экономичности паровоза за все его 110-летнее существование. Факт этот можно теперь считать твердо установленным как теоретически, так и практически, и ни одна страна не строит больше поездных паровозов без перегрева пара.

Причина получения весьма значительных сбережений воды и топлива при работе перегретым паром заключается прежде всего в изменении физических свойств пара по мере его перегрева, а именно: удельный объем пара увеличивается в гораздо большей степени, чем затрата тепла на приготовление весовой единицы пара.

Каждый паровоз проектируется для перевозки составов определенного веса по данному профилю пути с заданными скоростями. Чтобы удовлетворить этому условию, машинист должен ехать с определенной степенью впуска пара в цилиндры, заполняя при каждом ходе поршня свежим паром часть объема цилиндра, равную:

$$\frac{\pi d^2}{4} \cdot h \cdot \frac{\varepsilon}{100} \; м^3,$$

где d — диаметр цилиндра, h — длина хода поршня, ε — степень наполнения в процентах от h.

Таким образом мерилом мощности паровоза является не вес, а объем свежего пара, впускаемого в паровые цилиндры в единицу времени. Отсюда понятна и громадная практическая ценность вышеуказанного свойства перегретого пара быстро увеличивать свой объем при перегреве.

Если мы обозначим через v удельный объем (объем 1 *кг* пара в $м^3$), то вес 1 $м^3$ пара, а следовательно и вес воды, затраченной на его приготовление, будет, очевидно, равен:

$$b = \frac{1}{v} \; кг. \tag{123}$$

Обозначая далее через λ весовое теплосодержание пара, т. е. количество тепла (в калориях), которое необходимо затратить на приготовление в котле 1 *кг* пара, мы получаем затрату тепла на приготовление 1 $м^3$ пара:

$$\frac{\lambda}{v} кал.$$

Если топливо, потребляемое котлом, имеет теплопроизводительность K *кал/кг*, а котел работает с коэфициентом полезного действия $\eta_к$, то расход топлива на приготовление 1 $м^3$ пара может быть выражен следующим образом:

$$c = \frac{\lambda}{v \cdot K \quad \eta_k} \; кг. \tag{124}$$

НТБ ДНУЖТ

В прилагаемой табл. 20 приведены для насыщенного (при различной влажности) и перегретого (при разных степенях перегрева) пара давлением 13 *ата* следующие факторы: теплосодержание 1 *кг* пара λ; удельный объем v; расход воды b и угля c на приготовление 1 $м^3$ пара, причем для угольного отопления взято: $K = 7000$ *кал*, $\eta_к = 0{,}60$.

Таблица 20

Состояние пара		Теплосодержание 1 *кг* пара в *кал/кг* λ	Удельный объем пара в $м^3/кг$ v	Расход воды на приготовление 1 $м^3$ пара в *кг* $b = \frac{1}{v}$	Расход угля на приготовление 1 $м^3$ пара $c = \frac{\lambda}{4200\ v}$
% содержания влаги	10	621,5	0,140	7,14	1,057
	5	645,2	0.148	6.76	1,038
	0	669,0	0,156	6,42	1,023
Степень перегрева в °	50	679.9	0,178	5,63	0,935
	100	724,9	0.198	5,05	0,872
	150	750,9	0,218	4,59	0,820
	200	776,4	0,237	4,22	0,780
	250	801,3	0,256	3,91	0,745

На фиг. 248 результаты подсчетов представлены в графической форме. Сравнивая приведенные в таблице цифры расхода воды и топлива для приготовления одного и того же объема пара, а следовательно для реализации одной и той же индикаторной работы, мы видим, что по мере перегрева пара расходы непрерывно уменьшаются; так, например расход воды при работе насыщенным паром с 5% влаги (с таким примерно процентом влажности пара работают обычно котлы паровозного типа в пути) равен 6,76 *кг*, а при перегреве пара на 150° (что при давлении в 13 $кг/см^2$ соответствует температуре перегретого пара 341°) цифра расхода воды снижается до 4,59 *кг*, что дает экономию:

$$Э\ \% = \frac{6{,}76-4{,}59}{6{,}76}\ 100 = 32{,}1\%.$$

Цифры расхода угля: 1,038 и 0,820 *кг*, т. е. экономия топлива составляет:

$$Э_т\% = \frac{1{,}038-0{,}820}{1{,}038} \cdot 100 = 21{,}0\%.$$

Подсчитывая таким образом экономию воды и топлива для различных степеней перегрева по сравнению с насыщенным паром 5% влажности, получаем следующие цифры (табл. 21).

Таблица 21

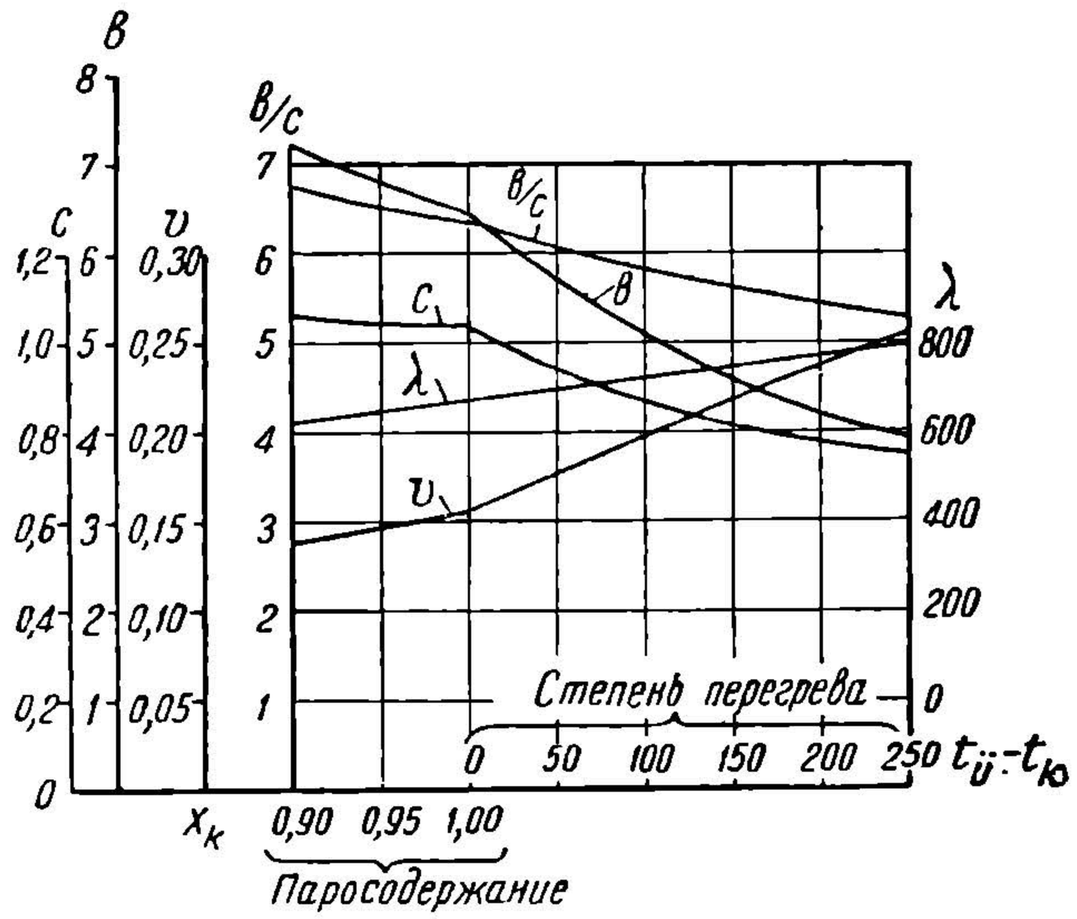
Степень перегрева в ° .	0	50	100	150	200	250
Экономия воды в % . .	5,0	16,7	25,3	32,1	37,6	42,2
Экономия топлива в % .	1,4	9,8	16,0	21,0	24,9	28,2

Полученные данные представлены графиком на фиг. 249. Тот факт, что экономия топлива получается значительно меньше экономии воды, не предста-

НТБ ДНУЖТ

вляется неожиданным. Дело в том, что, если по мере перегрева пар получает все больший и больший объем v, то и приготовление такого пара обходится дороже с точки зрения затраты тепла λ, а следовательно и топлива.

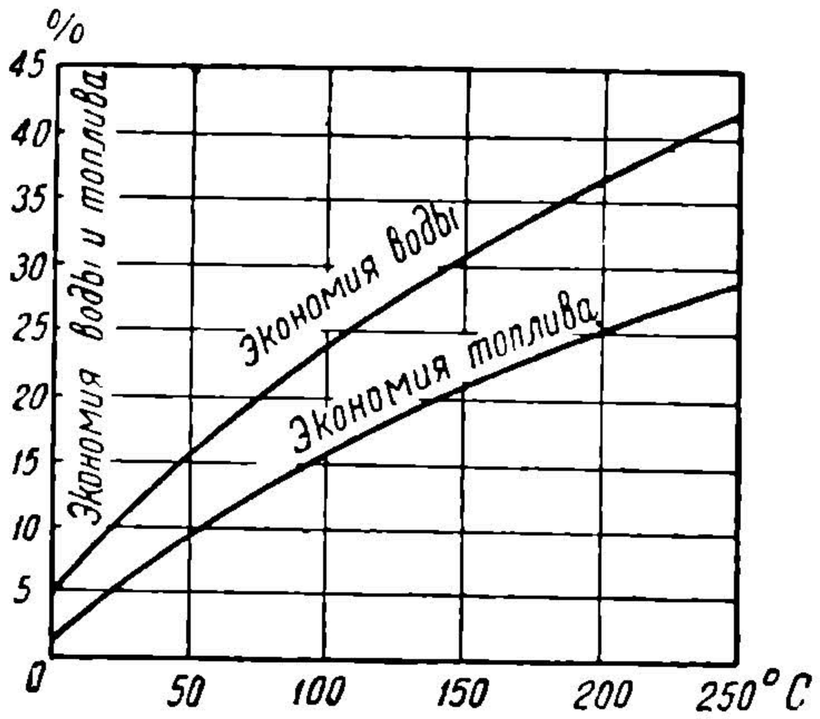
Полная экономия, получаемая в действительности при перегретом паре, будет больше полученных теоретических цифр вследствие значительного улучшения коэфициента полезного действия машины за счет уменьшения теплообмена между паром и стенками цилиндра и поршня. Подробнее на этом явлении мы остановимся при исследовании теплового процесса паровозной машины; здесь же ограничимся только самыми краткими сведениями по этому вопросу.



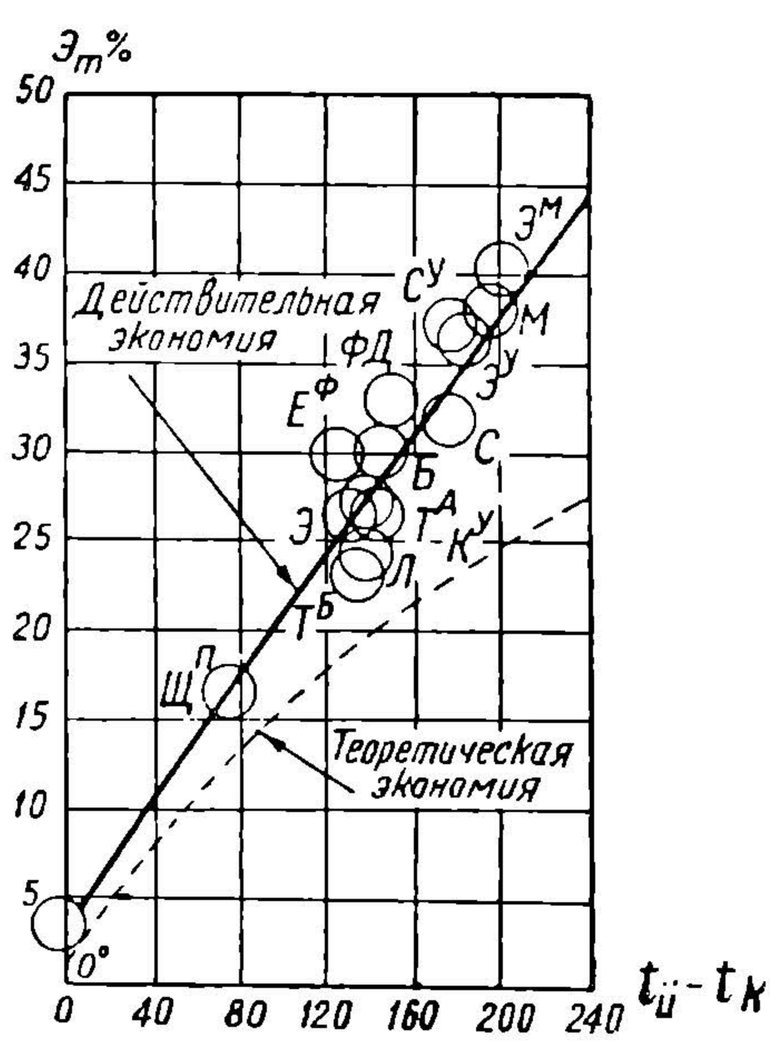
Фиг. 248.

Поступающий в цилиндр в начале хода поршня свежий пар приходит в соприкосновение со стенками впускного канала, непосредственно перед этим сильно охлажденными током выпускаемого из цилиндра пара низкой температуры. Благодаря этому часть тепла, заключающегося в свежем паре, отдается стенкам, и происходит частичная конденсация пара, а следовательно и потеря работы; в восполнение этой потери практически приходится вводить в цилиндр количество пара, значительно большее теоретически необходимого.

При работе насыщенным паром выделившаяся при конденсации, а также и внесенная в цилиндр вместе с паром вода, покрывая мельчайшими каплями



Фиг. 249.



Фиг. 250.

стенки паровпускных каналов, цилиндра и поршня, способствует более энергичному дальнейшему теплообмену вследствие большей теплоемкости воды по сравнению с паром. Поэтому начальная конденсация в машинах, работающих насыщенным паром, чрезвычайно велика.

НТБ ДНУЖТ

Если пару перед выпуском его в цилиндр сообщить достаточно высокий начальный перегрев (не менее 140—150° выше температуры парообразования), то такой пар в цилиндрах конденсироваться не будет; явление начальной конденсации заменяется в этом случае лишь некоторым снижением температуры пара в период впуска (контракция); при этом величина тепловой потери, являющейся результатом теплообмена между паром и сухими металлическими стенками, оказывается во много раз меньше, чем при работе насыщенным паром.

Учитывая сказанное, можно приблизительно считать, что действительная экономия воды и топлива при перегретом паре будет на 40—50% больше тех величин, которые были приведены выше на фиг. 249, как видно из чертежа (фиг. 250), где приведены результаты опытов с различными типами паровозов. Пунктирная кривая перенесена с фиг. 249.

§ 3. Схема тепловой работы газового потока в котле с жаротрубным пароперегревателем. Разделение газового потока

Присоединение к котлу жаротрубного пароперегревателя не может, очевидно, внести каких-либо изменений в обстановку работы газового потока в огневой коробке: количество образующихся газов, их состав и температуры сохраняют те же величины и подчиняются в своих изменениях тем же законам, что и в котле бесперегревного паровоза. Но дойдя до отверстий огневой решетки, газы должны разделиться на два самостоятельных потока: часть их β (фиг. 246) направляется в жаровые трубы, где омывает параллельно с испаряющей поверхностью нагрева жаровых труб и поверхность нагрева перегревательных трубок. Остальная же часть газов (1 — β) направляется в дымогарные трубы.

Называя через $T^{д}_{2}$ и $T^{ж}_{2}$ — температуры газов при входе в дымогарные и жаровые трубы, а через $T^{д}_{3}$ и $T^{ж}_{3}$ — температуры уходящих газов и пользуясь схемой уравнения тепла (5), мы можем написать следующие выражения:

Количество тепла, поступающее в течение 1 часа в дымогарные трубы:

$$Q'_{д} = (1 - \beta)(M \cdot T^{д}_{1} + N \cdot T^{д^1}_{1}). \quad (125)$$

Количество тепла, уходящее за то же время из дымогарных труб:

$$Q''_{д} = (1 - \beta)(M \cdot T^{д}_{1} + N \quad T^{д^2}_{1}). \quad (126)$$

Количество тепла, поступающее в жаровые трубы:

$$Q'_{ж} \quad \beta(M \cdot T^{ж}_{1} + N \cdot T^{ж^2}_{1}). \quad (127)$$

Количество тепла, уходящее из жаровых труб:

$$Q''_{ж} = \beta(M \quad T^{ж}_{1} + N \cdot T^{ж^2}_{з}). \quad (128)$$

Тепло, отдаваемое газами в дымогарных трубах:

$$Q_{д} = Q'_{д} - Q''_{д} = (1 - \beta)\,[M(T^{д}_{1} - T^{д}_{1}) + N(T^{д^1} - T^{д^2})]. \quad (129)$$

Тепло, отдаваемое газами в жаровых трубах:

$$Q_{ж} = Q_{ж} - Q''_{ж} = \beta\,[M\,(T^{ж}_{1}| - T^{ж}_{1}) + N\,(T^{ж^2}_{1} - T^{ж^2}_{1})]. \quad (130)$$

Написанные уравнения сразу уже дают общую картину распределения тепла в котле перегревного паровоза. Входящие в них величины M и N подсчитываются по уже знакомым нам формулам (6); температуры могут быть непосредственно измерены.

Разделение газов при входе в трубчатую часть котла должно, очевидно, произойти в зависимости от тех гидродинамических сопротивлений, которые преодолеваются газами при протекании их по системе жаровых и дымогарных труб.

Полное сопротивление (в *кг*) протеканию газов по трубе выражается формулой:

$$S = \rho \cdot \Omega \cdot \gamma, \quad (131)$$

НТБ ДНУЖТ

где: Ω — площадь живого сечения трубы, γ — средний удельный вес протекающей по трубе жидкости или газа, а ρ — некоторый коэфициент, представляющий собою высоту в метрах условного газового столба с площадью сечения Ω и плотностью γ над уровнем оси трубы

$$s = \frac{S}{\Omega} = \rho \quad \gamma, \tag{132}$$

будет выражать среднее «удельное сопротивление» внутри трубы (в *кг/м²*), приходящееся на единицу площади поперечного сечения ее.

Величина ρ выражается, как известно из гидродинамики, следующим образом:

$$\rho = \frac{A}{2g} \cdot W^2 \cdot \frac{L}{r}, \tag{133}$$

где: A — постоянный коэфициент, W — средняя скорость газов в трубе в *м/сек*, L — длина трубы в метрах, r — средний гидравлический радиус живого сечения трубы, g — ускорение силы тяжести.

Для дымогарных труб величина удельного гидродинамического сопротивления равна:

$$S_д = \frac{A}{2g}\left\{\frac{0{,}8425}{10^6} \quad \alpha \cdot L_0 \cdot B_h \cdot \mu \cdot \frac{(1-\beta)}{\Omega_д} \cdot \left(\frac{T_г^д + T_в^д}{2} + 273\right)\right\}^2 \cdot \frac{L_д}{r_д}$$
$$\cdot \frac{353}{\left(\frac{T_г^д + T_в^д}{2} + 273\right)} = E \quad \frac{L_д}{r_д \cdot \Omega_д^2} \cdot (1-\beta)^2 \cdot \left(\frac{T_г^д + T_в^д}{2} + 273\right), \tag{134}$$

где E — постоянный коэфициент.

Для жаровых труб величина удельного сопротивления на первых коротких участках пути газов от входа в трубы до начала элементов пароперегревателя будет одна, а на остальном протяжении — другая. Называя через $L_{ж'}$, $r_{ж'}$ и $\Omega_{ж'}$ — длину, средний гидравлический радиус и площадь живого сечения на первом участке длины труб, а через $L_{ж''}$, $r_{ж''}$ и $\Omega_{ж''}$ — те же элементы для остального протяжения труб, имеем:

$$S_{ж'} = \frac{A}{2g}\left\{\frac{0{,}8425}{10^6} \cdot \alpha \cdot L_0 \cdot B_h \cdot \mu \cdot \frac{\beta}{\Omega_{ж'}}\left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273\right)\right\}^2 \frac{353}{\left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273\right)} =$$

$$= E \cdot \frac{L_{ж'}}{r_{ж'} \cdot \Omega_{ж'}^2} \cdot \beta^2 \cdot \left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273\right); \tag{135}$$

$$S_{ж''} = E \frac{L_{ж''}}{r_{ж''} \cdot \Omega_{ж''}^2} \cdot \beta^2 \cdot \left(\frac{T_A + T_в^{ж}}{2} + 273\right), \tag{136}$$

где T_A — температура газов в жаровых трубах у начала элементов перегревателя.

Общая величина удельного сопротивления для жаровых труб будет равна:

$$S_{ж} = S_{ж'} + S_{ж''} = E \cdot \left\{\frac{L_{ж'}}{r_{ж'} \cdot \Omega_{ж'}^2} \cdot \left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273\right) \cdot \beta^2 + \right.$$
$$\left. + \frac{L_{ж''}}{r_{ж''} \cdot \Omega_{ж''}^2} \cdot \left(\frac{T_A + T_в^{ж}}{2} + 273\right) \quad \beta^2 \right\}. \tag{137}$$

Несмотря на то, что величины $T_2^{ж}$, T_A, $T_3^{ж}$, $T_2^{д}$, $T_3^{д}$ подвержены довольно значительным колебаниям, средние температуры в жаровых и дымогар-

НТБ ДНУЖТ

ных трубах находятся в некоторых почти постоянных соотношениях. Многочисленными опытами установлены следующие примерно соотношения:

$$\left(\frac{T_A + T_г^{ж}}{2} + 273\right) = 0{,}96\left(\frac{T_г^{д} + T_з^{д}}{2} + 273\right); \qquad (138)$$

$$\left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273\right) = 1{,}33\left(\frac{T_г^{д} + T_з^{д}}{2} + 273\right).$$

Если предположить, что в некоторый момент работы котла величины удельных газовых сопротивлений окажутся не одинаковыми для дымогарных и жаровых труб, то неминуемо начнется перетекание газов из места, обладающего большим «потенциалом сопротивления», к месту с меньшим потенциалом. Таким образом можно сказать, что равенство удельных газовых сопротивлений является необходимым условием установившейся работы котла:

$$S_д = S_{ж}$$

$$E \cdot \frac{L_д}{r_д \cdot \Omega_д'} \cdot (1-\beta)^2 \cdot \left(\frac{T_г^{д} + T_з^{д}}{2} + 273\right) = E \cdot \left[\frac{L_{ж'}}{r_{ж'} \cdot \Omega_{ж'}'} \cdot \beta^2 \cdot 1{,}33 \cdot \left(\frac{T_г^{д} + T_з^{д}}{2} + 273\right) + \frac{L_{ж''}}{r_{ж''} \cdot \Omega_{ж''}'} \cdot \beta^2 \cdot 0{,}96 \cdot \left(\frac{T_г^{д} + T_з^{д}}{2} + 273\right)\right]. \qquad (139)$$

Производя сокращения, получим:

$$(1-\beta)^2 \cdot \frac{L_д}{r_д \cdot \Omega_д'} = \beta^2 \left[1{,}33 \frac{L_{ж'}}{r_{ж'} \cdot \Omega_{ж'}'} + 0{,}96 \frac{L_{ж''}}{r_{ж''} \cdot \Omega_{ж''}'}\right]. \qquad (140)$$

Вводим следующие сокращенные обозначения:

$$\frac{L_д}{r_д \Omega_д'} = a; \quad \frac{L_{ж'}}{r_{ж'} \cdot \Omega_{ж'}'} = b; \quad \frac{L_{ж'}}{r_{ж''} \cdot \Omega_{ж''}'} = c;$$

тогда уравнение (140) принимает следующий вид:

$$a(1-\beta)^2 = (1{,}33\,b + 0{,}96\,c)\ \beta^2, \qquad (141)$$

откуда

$$\beta = \frac{a - \sqrt{(1{,}33\,b + 0{,}96\,c) \cdot a}}{a - 1{,}33\,b - 0{,}96\,c}. \qquad (142)$$

При более грубых подсчетах ориентировочного характера можно пользоваться более простым выражением:

$$\beta = \frac{a - \sqrt{a(b+c)}}{a - b - c}. \qquad (143)$$

В процессе исследования теплопередачи в котле перегревного паровоза могут представиться два случая:

1) Исследование тепловой работы котла и пароперегревателя паровоза, уже построенного — на основании данных измерений факторов тепловой работы во время специальной опытной поездки.

2) Определение ожидаемых факторов тепловой работы котла и пароперегревателя проектного паровоза. Далее дана методика исследования обоих указанных случаев.

§ 4. Исследование работы газового потока в котле построенного перегревного паровоза

Теплопередача в дымогарных трубах

Из уравнения теплопередачи:

$$(1-\beta)\left[(M + 2Nt_k)\ln\frac{T_г^{д} - t_k}{T_з^{д} - t_k} + 2N(T_г^{д} - T_з^{д})\right] = K_д \cdot H_д \qquad (144)$$

НТБ ДНУЖТ

определяется непосредственно коэфициент теплопередачи $K_д$, так как все остальные ингредиенты уравнения (144) известны: B_h, CO_2, O_2, CO, $T_г^д$, $T_г^д$, — измерялись во время опыта; β, M, N — определяются подсчетом по формулам (142) и (5); t_k при известной величине рабочего давления пара в котле находится из термодинамических таблиц; $H_д$ — величина огневой поверхности нагрева дымогарных труб — известна или может быть легко подсчитана по чертежу или с натуры; наконец, химический состав топлива, необходимый для подсчетов M и N, дается лабораторным анализом отобранной во время опыта пробы топлива.

Средняя скорость протекания газов по дымогарным трубам:

$$W_д = 0{,}8425 \frac{L_0 \cdot \alpha \cdot B_h \cdot \mu}{10^6 \cdot \Omega_д} (1-\beta) \cdot \left(\frac{T_г^д + T_з^д}{2} + 273 \right). \qquad (145)$$

Здесь L_0 и α подсчитываются по данным лабораторного анализа топлива и объемного анализа продуктов сгорания во время опыта; μ известно из опыта по величине остаточного члена теплового баланса, $\Omega_д$ — подсчитывается по числу и диаметру труб.

Таким образом величина $W_д$ может быть легко подсчитана по уравнению (145).

Из анализа многих сотен опытов выяснено, что зависимость

$$K_д = f(W_д)$$

подчиняется тому же закону, что и в трубах бесперегревного паровоза, т. е.

$$K_д = (6 + 2{,}45\, W_д^{0{,}7}) \cdot \left(\frac{0{,}0115}{r_д} \right)^{0{,}214}. \qquad (146)$$

Теплопередача в жаровых трубах на длине $L_{ж'}$.

Имеем следующие зависимости:

1) Уравнение теплопередачи:

$$\beta \left[M + 2Nt_k \right) \ln \frac{T_г^{ж} - t_L}{T_A - T_k} + 2N (T_г^{ж} - T_A)] = K_{ж'} \cdot H_{ж'}. \qquad (147)$$

2) Выражение средней скорости протекания газов:

$$W_{ж'} = 0{,}8425 \frac{L_0 \cdot \alpha \cdot B_h \cdot \mu}{10^6 \cdot \Omega_{ж'}} \cdot \beta \cdot \left(\frac{T_г^{ж} + T_A}{2} + 273 \right). \qquad (148)$$

3) Эмпирическое выражение для $K_{ж'}$:

$$K_{ж'} = (6 + 2{,}45 \cdot W_{ж'}^{0{,}7}) \cdot \left(\frac{0{,}0115}{r_{ж'}} \right)^{0{,}214}. \qquad (149)$$

Из уравнения (147) определить сразу $K_{ж'}$ нельзя, так как неизвестна величина T_A. Эта температура при опытах обычно не измеряется, ввиду сложности подвода термоспая через длинную жаровую трубу из дымовой коробки. Поэтому величина T_A, необходимая для дальнейшего исследования тепловой работы перегревательных трубок, а также для определения величин $K_{ж'}$ и $W_{ж'}$, определяется путем совместного решения системы уравнений (147), (148) и (149).

Теплопередача в жаровых трубах на длине $L_{ж''}$.

На этом участке теплопередача идет одновременно на два фронта: часть тепла газов, протекающих по жаровым трубам, в количестве β′ передается через стенки перегревательных трубок перегреваемому пару, остальная часть (1—β′) идет в котел через стенки жаровых труб.

Коэфициент β′ есть отношение количества тепла, пошедшего на осушку и перегрев пара, протекающего по перегревательным трубкам, ко всему количеству тепла, отдаваемого газами в жаровых трубах на длине $L_{ж''}$. Зная из опыта часовое количество пара B_m, идущее через перегреватель в паровые ци-

НТБ ДНУЖТ

линдры, зная теплосодержание пара при входе и выходе из перегревательных элементов (λ_k и $\lambda_{ü}$), находим тепло, расходуемое в 1 час на осушку и перегрев пара:

$$Q_{ü} = B_m (\lambda_{ü} - \lambda_k), \tag{150}$$

где

$$B_m = \frac{(A - a - \Sigma b) + (h_0 - h_1)}{t_x}. \tag{151}$$

Все количество тепла, отдаваемого газами в жаровых трубах на рассматриваемом протяжении их длины:

$$Q_{ж''} = \beta [M (T_A - T_s^{ж}) + N (T_A' - T_s^{ж'})]. \tag{152}$$

После этого имеем:

$$\beta' = \frac{Q_{ü}}{Q_{ж''}} = \frac{B_m (\lambda_{ü} - \lambda_k)}{\beta [M (T_A - T_s^{ж}) + N (T_A^2 - T_s^{ж^2})]}. \tag{153}$$

Величина $K_{ж}''$ коэфициента теплопередачи через стенки жаровых труб котловой воде определится из уравнения теплопередачи:

$$\beta (1 - \beta') [(M + 2Nt_k) \ln \frac{T_A - t_k}{T_s^{ж} - t_k} + 2N (T_A - T_s^{ж})] = K_{ж''} H_{ж''}, \tag{154}$$

а средняя скорость протекания газов подсчитывается по уравнению:

$$W_{ж''} = \frac{0{,}8425}{10^6} \cdot \frac{L_0 \cdot \alpha \cdot B_h \cdot \mu}{\Omega_{ж''}} \cdot \beta \cdot \left(\frac{T_A + T_s^{ж}}{2} + 273 \right). \tag{155}$$

Применим изложенный метод обработки опытных даннных к условиям одной из опытных поездок с паровозом типа 2-3-0 серии «Б», для которого главнейшие размеры котла выражаются следующими цифрами.

Площадь колосниковой решетки	$R = 2{,}8$ *м²*
Поверхность нагрева топки	$H_m = 15{,}24$ „
Число и диаметр дымогарных труб	151 ; 51/46 *мм*
„ „ „ жаровых труб	24 ; 127/119 *мм*
Система пароперегревателя	Шмидт
Диаметр перегревательных труб	34/27 *мм*
Расстояние между трубными решетками . . .	$L = 4{,}42$ *м*
„ от огневой решетки до начала элементов	$L_{ж'} = 0{,}6$ *м*
Поверхность нагрева дымогарных труб (газовая)	$H_д = 96{,}4$ *м²*
„ жаровых труб	$H_ж = 40{,}8$

Паровоз отапливается нефтяными остатками следующего химического состава:

$$C = 86{,}4\%;\ H = 12{,}4\%;\ O = 1{,}2\%.$$

Низшая теплопроизводительность топлива

$$K = 9900\ кал/кг.$$

Основные данные опытной поездки:	
Часовой расход нефтяных остатков	$B_h = 486{,}6$ *кг/час*
„ „ пара на пульверизацию	$b_ф = 164{,}0$
Часовая полезная паропроизводительность	$B_m = 4588$
Рабочее давление пара	$P_k = 14$ *ата*
Степень сухости пара	$x_k = 0{,}95$
Состав продуктов сгорания	$CO_2 = 10{,}64\%$ $O_2 = 5{,}68\%$ $CO = 1{,}17\%$

НТБ ДНУЖТ

Коэфициент избытка воздуха . . . . . $\alpha = 1{,}30$
Действительный расход воздуха на 1 *кг* топлива $L_в = 18{,}59$ *кг*
Температура газов перед дымогарными трубами $T_2^д = 968°$
" жаровыми трубами . $T_2^ж = 1006°$
" за дымогарными трубами $T_з^д = 384°$
" за жаровыми трубами . $T_з^ж = 344°$
" пара в коллекторе пароперегревателя $t_п = 307°$
Теплосодержание 1 *кг* пара в котле . . $\lambda_к = 646{,}2$ *кал/кг*
" 1 *кг* перегретого пара . . . . $\lambda_п = 732{,}9$ "
Приращение теплосодержания 1 *кг* пара в пароперегревателе . . $\Delta\lambda = 86{,}7$

Учитывая, что в топку паровоза поступает не чистая нефть, а смесь нефти с пульверизационным паром, подсчитываем химический состав рабочего топлива — смеси:

$$C' = 86{,}4\,\frac{486{,}6}{486{,}6+164} = 64{,}5\%;$$

$$H' = 12{,}4\,\frac{486{,}6}{486{,}6+164} = 9{,}3\%;$$

$$O' = 1{,}2\,\frac{486{,}6}{486{,}6+164} = 1{,}0\%;$$

$$W = 100 - (64{,}5 + 9{,}3 + 1{,}0) = 25{,}2\%;$$

подсчитываем коэфициенты в уравнении кривой тепла:

$$M = B'_h \cdot G_b c = \left(0{,}55\,\frac{64{,}5}{10{,}64 + 1{,}17} + 0{,}0021 \cdot 64{,}5 + \right.$$
$$\left. + 0{,}0406 \cdot 9{,}3 + 0{,}0045 \cdot 25{,}2 \right) \cdot (486{,}6 + 164) = 2356.$$

$$N = B'_h \cdot G_b \delta = \left(0{,}0000445 \cdot \frac{64{,}5}{0{,}64 + 1{,}17} + 0{,}0000013 \cdot 64{,}5 + \right.$$
$$\left. + 0{,}0000044 \cdot 9{,}3 + 0{,}0000005 \cdot 25{,}2 \right) \cdot (486{,}6 + 164) = 0{,}2424.$$

Геометрические элементы для дымогарных труб, входящие в формулу (147), имеют следующие значения:

$$L_д = 4{,}420 \ м;$$
$$\Omega_д = 0{,}2508 \ м^2;$$
$$r_д = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 0{,}046^2}{\pi \cdot 0{,}046} = 0{,}0115 \ м;$$

для жаровых труб до элементов пароперегревателя:

$$L_{ж'} = 0{,}6 \ м;$$
$$\Omega_{ж'} = 0{,}1884 \ м^2;$$
$$r_{ж'} = \frac{0{,}100}{4} = 0{,}025 \ м;$$

в области элементов:

$$L_{ж''} = 3{,}82 \ м;$$
$$\Omega_{ж''} = 0{,}179 \ м^2;$$
$$r_{ж''} = \frac{\frac{\pi}{4}(0{,}119^2 - 4 \quad 0{,}034^2)}{\pi \cdot (0{,}119 + 4 \cdot 0{,}034)} = 0{,}00936 \ м.$$

НТБ ДНУЖТ

После этого находим следующие величины удельных сопротивлений:

$$S_д = \zeta(1-\beta)^2 \cdot \frac{4{,}42}{0{,}2508^2 \cdot 0{,}0115} = 6110 \cdot \zeta \cdot (1-\beta)^2. \quad (156)$$

$$S_{ж} = \zeta \cdot \beta^2 \cdot \left(\frac{0{,}6}{0{,}1884^2 \cdot 0{,}025} + \frac{3{,}82}{0{,}179^2 \cdot 0{,}00936}\right) = 13\,409 \cdot \zeta \cdot \beta^2. \quad (157)$$

Согласно сказанному выше должно существовать равенство:

$$S_д = S_{ж}$$

или

$$6110 \cdot (1-\beta)^2 = 13\,409 \cdot \beta^2,$$

откуда находим

$$\beta = 0{,}410;$$
$$1-\beta = 0{,}590.$$

Переходим теперь к определению факторов теплопередачи в дымогарных, жаровых и перегревательных трубах.

Из уравнения (144):

$$K_д = \frac{0{,}59\left(2356 + 2 \quad 0{,}2424 \cdot 194\right)\ln\frac{968-194}{384-194} + }{96{,}4}$$
$$\frac{+\,2 \cdot 0{,}2424\,(968-384)}{96{,}4} = 22{,}77.$$

Из уравнения (145):

$$W_д = 0{,}8425\,\frac{18{,}59 \cdot 486{,}6}{10^6 \cdot 0{,}2508} \cdot 0{,}59\left(\frac{968+384}{2} + 273\right) = 17{,}00.$$

Решая уравнения (147), (148) и (149), находим:

$$T_A = 933°;\ K_{ж'} = 20{,}97;\ W_{ж'} = 20{,}46.$$

Из (153):

$$\beta' = \frac{397\,780}{0{,}41\,[2356\,(933-344) + 0{,}2424 \cdot (933^2 - 344^2)]} = 0{,}618.$$

Зная, что

$$H_{ж''} = 40{,}8\,\frac{4{,}42-0{,}6}{4{,}42} = 35{,}4\ м^2,$$

из (154) находим:

$$K_{ж''} = \frac{0{,}41 \cdot 0{,}382 \cdot \left[(2\,356 + 2.0{,}2424)\ln\frac{933-194}{344-194} + \right.}{35{,}4}$$
$$\left.\frac{+\,2 \cdot 0{,}2424\,(933-344)}{35{,}4}\right] = 18{,}53$$

и из (155):

$$W_{ж''} = 0{,}8425\,\frac{18{,}59 \cdot 486{,}6}{10^6 \cdot 0{,}179} \cdot 0{,}41\left(\frac{933+344}{2} + 273\right) = 15{,}93.$$

Переходя теперь к исследованию теплопередачи от газов перегретому пару, мы наталкиваемся на такое осложняющее обстоятельство: в рассматриваемом случае температуры обоих источников тепла являются переменными величинами; действительно, в то время как во всех рассматриваемых выше случаях теплопередачи котловой воде температура этой последней была постоянна в течение всего времени протекания процесса, здесь мы имеем постоянство температуры

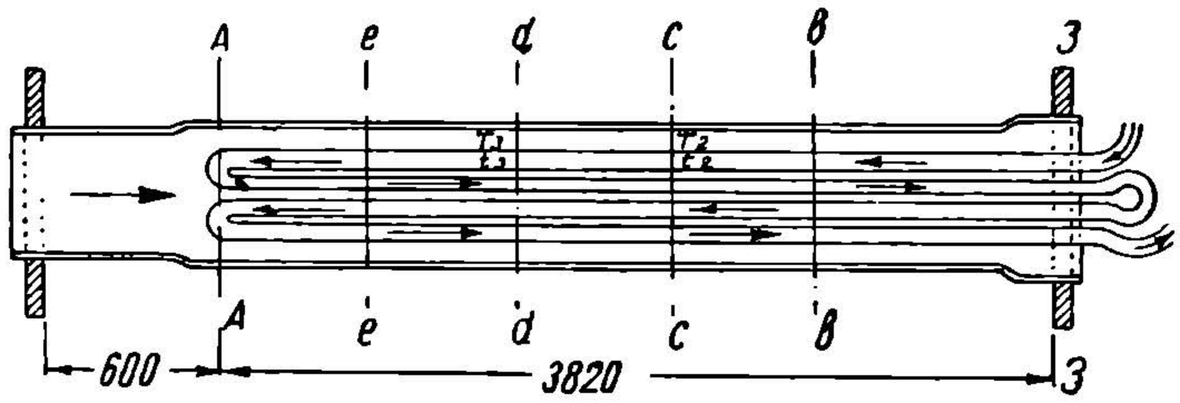
НТБ ДНУЖТ

холодного источника, т. е. пара, лишь на протяжении первых участков длины перегревательных элементов, пока пар не потеряет всей первоначальной влажности, с которой он вступил в элемент; на остальном же протяжении элементов температура пара под влиянием сообщаемого ему тепла будет непрерывно повышаться.

При этом условии интегрирование диференциального уравнения теплопередачи становится для всего протяжения перегревательных трубок невозможным, и вопрос решается методом конечных разностей, разбивая всю поверхность перегревателя на ряд отдельных секций и определяя путем пробных подстановок то истинное значение коэфициента теплопередачи, при котором получается наблюденная температура перегрева по выходе пара из элементов.

Этот метод, дающий в конечном счете исчерпывающее представление о состоянии газов и пара в любой промежуточной точке их пути, подробно изложен в книге «Тепловой процесс паровоза»[1].

К сожалению, применение этого способа сопряжено с громадной затратой энергии и времени на длинные и утомительные подсчеты и может быть рекомендовано лишь при решении некоторых специальных задач чисто исследовательского порядка, а не при массовой обработке опытных данных.



Фиг. 251.

В этом случае, а также и в случае теплового расчета вновь проектируемых паровозных котлов гораздо более удобным оказывается приближенный метод, основанный на весьма близком к истине предположении о постоянстве средней температуры пара в любом поперечном сечении всех четырех перегревательных трубок и равенстве ее полусумме температур котлового и перегретого пара. Иными словами, если на фиг. 251 выделим два произвольных поперечных сечения жаровой трубы с расположенными в ней перегревательными трубками, в интервале *3—3* и *A—A*, то будем иметь следующее соотношение:

$$\frac{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}{4} = \frac{t'_1 + t'_2 + t'_3 + t'_4}{4} = \ldots = \frac{t_k + t_n}{2}.$$

Справедливость этого равенства с точностью до 4—5° неоднократно проверялась автором и его учениками на примерах испытания различных паровозов.

В этих предположениях интегральное уравнение теплопередачи для перегревательных трубок напишется в следующем виде:

$$\beta\beta' \left[\left(M + 2N \cdot \frac{t_k + t_n}{2} \right) \ln \frac{T_A - \frac{t_k + t_n}{2}}{T_a^{ж} - \frac{t_k + t_n}{2}} + 2N \left(T_A - T^{ж} \right) \right] = = K_n \cdot H_n, \quad (158)$$

или для нашего случая:

$$0{,}41 \cdot 0{,}618 \cdot [5642 \cdot \ln \frac{933 - 250{,}5}{344 - 250{,}5} + 0{,}4848\,(933 - 344)] = K_n \cdot 39{,}15,$$

откуда

$$K_n = 34{,}16 \ \kappa a л/м^2 час\ 1°.$$

[1] Автор—проф. С. П. Сыромятников, изд. Трансжелдориздата 1933 г.

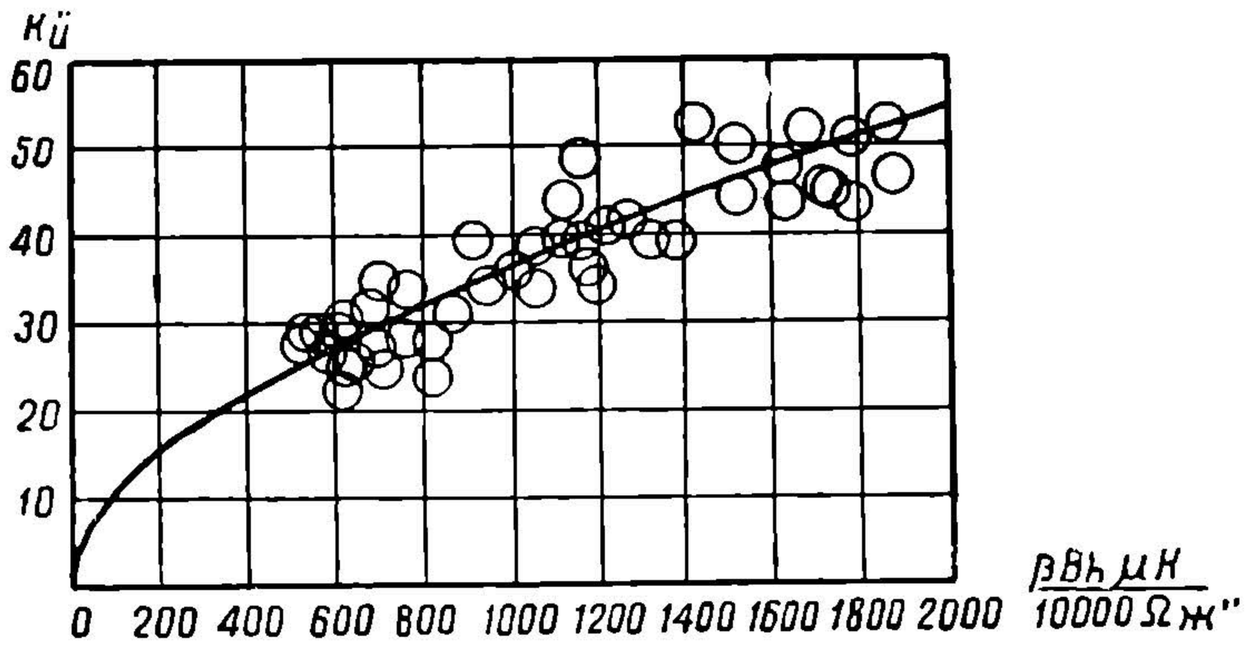
НТБ ДНУЖТ

На фиг. 252 приведены данные о величине коэфициента $K_д$ в функции от количества тепла, проходящего в 1 час через 1 *см*² площади живого сечения жаровых труб («тепловая скорость» газового потока в *кал/см² час*). Данные эти получены путем разработки результатов опытов с различными типами перегревных паровозов дорог СССР, снабженные пароперегревателями Шмидта, Чусова и Элеско.

Кривая, выражающая общий для всех испытывавшихся паровозов закон изменения величин $K_ц$, выражается уравнением:

$$K_ц = \left[6 + 0{,}24\left(\frac{\beta \quad B_h \quad \mu \cdot K}{10\,000 \cdot \Omega_{ж''}}\right)^{0{,}7}\right] \cdot \left(\frac{0{,}0115}{r_{ж''}}\right)^{0{,}214} \tag{159}$$

Подсчитывая указанным в настоящей главе способом величины $K_д$ и $W_д$ по формулам (144) и (145) и величины $K_{ж''}$ и $W_{ж''}$ по формулам (147) и (148) для целого ряда опытных поездок с различными перегревными паровозами и си-



Фиг. 252.

стематизируя полученный материал, мы приходим к убеждению, что величины $K_д$ и $K_{ж}''$ подчиняются тому же самому эмпирическому закону, который был обнаружен и для дымогарных труб бесперегревного паровоза, т. е.:

$$K = (6 + 2{,}45 \cdot W^{0{,}7}) \cdot \left(\frac{0{,}0115}{r}\right)^{0{,}214} \tag{160}$$

Величина же $K_ц$ в своих изменениях подчинена эмпирическому закону, выраженному уравнением (159).

Эти результаты представляют собой вполне надежную базу для проектирования котлов новых перегревных паровозов, научная постановка которого была бы невозможна без предварительного накопления этих материалов.

§ 5. Исследование ожидаемой тепловой работы котла проектного паровоза

В этом случае, пользуясь надежными эмпирическими данными о величинах $K_д$, $K_{ж'}$, $K_{ж''}$ и $K_ц$, требуется определить для проектируемого паровоза ожидаемые величины температур уходящих газов из дымогарных и жаровых труб и температуры перегретого пара, чтобы проверить рентабельность выбранных для котла проектного паровоза размеров поверхностей нагрева. Попутно с этой основной задачей выявляются и величины скоростей протекания газов и коэфициента β'. Наперед заданными являются: все размеры котла и пароперегревателя (β, T_2), обычно общие для дымогарных и жаровых труб, ориентировочно оцениваемые по формуле; все факторы горения: (α, B_h, μ), M, N, $t_к$, B_m.

НТБ ДНУЖТ

Дымогарные трубы

Имеем следующие зависимости:
1) Уравнение теплопередачи:

$$(1-\beta)\left[(M+2Nt_k)\ln\frac{T_2-T_k}{T_\bullet^\partial-t_k}+2N(T_2-T_\bullet^\partial)\right]=K_\partial\cdot H_\partial \qquad (161)$$

2) Эмпирическое выражение для K_∂:

$$K_\partial=(6+2{,}45\cdot W_\partial^{0,7})\cdot\left(\frac{0{,}0115}{r_\partial}\right)^{0{,}214} \qquad (162)$$

3) Выражение для W_∂:

$$W_\partial=0{,}8425\,\frac{L_0\cdot\alpha\cdot B_h\cdot\mu}{10^6\cdot\Omega_\partial}\cdot\left(\frac{T_2+T_\bullet^\partial}{2}+273\right)\cdot(1-\beta). \qquad (163)$$

Совместное решение уравнений (161), (162) и (163) позволяет определить:

$$T_\bullet^\partial,\ K_\partial,\ W_\partial.$$

Жаровые трубы до элементов

1) Уравнение теплопередачи:

$$\beta\left[(M+2Nt_k)\ln\frac{T_2-t_k}{T_A-t_k}+2N(T_2-T_A)\right]=K_{ж}\cdot H_{ж'}. \qquad (164)$$

2) Выражение для $K_{ж'}$:

$$K_{ж'}=(6+2{,}45\cdot W_{ж'}^{0,7})\cdot\left(\frac{0{,}0115}{r_{ж'}}\right)^{0{,}214} \qquad (165)$$

Выражение для $W_{ж'}$:

$$W_{ж'}=0{,}8425\,\frac{L_0\cdot\alpha\cdot B_h\cdot\mu}{10^6\cdot\Omega_{ж'}}\,\beta\left(\frac{T_2+T_A}{2}+273\right). \qquad (166)$$

Уравнения решаются так же, как в случае первом, в результате чего определяются неизвестные:

$$T_A,\ W_{ж'},\ K_{ж'}.$$

Жаровые трубы в области элементов

1) Уравнение теплопередачи для поверхности нагрева жаровых труб:

$$\beta(1-\beta')\left[(M+2Nt_k)\ln\frac{T_A-t_k}{T_\bullet^{ж}-t_k}+2N(T_A-T_\bullet^{ж})\right]=K_{ж''}\cdot H_{ж''}. \qquad (167)$$

2) Выражение для $K_{ж''}$:

$$K_{ж''}=(6+2{,}45\cdot W_{ж''}^{0,7})\cdot\left(\frac{0{,}0115}{r_{ж''}}\right)^{0{,}214} \qquad (168)$$

3) Выражение для $W_{ж''}$:

$$W_{ж''}=0{,}8425\,\frac{L_0\cdot\alpha\cdot B_h\cdot\mu}{10^6\cdot\Omega_{ж''}}\cdot\beta\left(\frac{T_A+T_\bullet^{ж}}{2}+273\right) \qquad (169)$$

НТБ ДНУЖТ

4) Уравнение теплопередачи для поверхности нагрева перегревательных трубок:

$$\beta\beta'\left[\left(M+2N\cdot\frac{t_k+t_a}{2}\right)\ln\frac{T_A-\frac{t_k+t_a}{2}}{T_з^{ж}-\frac{t_k+t_a}{2}}+2N(T_A-T_з^{ж})\right]=$$

$$=K_a\cdot H_a\,. \qquad (170)$$

5) Выражение для количества тепла, затрачиваемого в течение 1 часа на осушку и перегрев пара:

$$Q_a=\beta\beta'\left[M(T_A-T_з^{ж})+N(T_A^{\bullet}-T_з^{ж^{\bullet}})\right]. \qquad (171)$$

Определяя значение K_a по эмпирической зависимости (159), решаем систему уравнений (167)—(171) способом пробных подставок и находим неизвестные:

$$T_з^{ж},\ W_{ж''},\ K_{ж''},\ \beta',\ t_a\,.$$

Порядок решения:
Задаваясь $T_з^{ж}$, из уравнени (169) находим $W_{ж''}$.
Из (168) определяем $K_{ж''}$.
Из (167) находим β'.
По уравнению (171) подсчитываем Q_a.
Зная часовой полезный расход пара B_m, находим

$$\Delta\lambda=\lambda_a-\lambda_k=\frac{Q_a}{B_m},$$

и далее, зная величину λ_k, получим

$$\lambda_a=\lambda_k+\frac{Q_a}{B_m}.$$

Находим из таблиц или по $I-S$ диаграмме температуру перегретого пара t_a

Подставляя в контрольное уравнение (170) величины β', t_a и $T_з^{ж}$, находим из него K_a.

Если это значение совпадает с величиной, определившейся для данного случая из (159), — уравнения решены; в противном случае необходимо задаться иной величиной $T_з^{ж}$ и проделать новый пробный расчет.

Процесс решения значительно облегчается применением графоаналитического способа.

Применим изложенный метод контрольного теплового расчета на примере проектного паровоза типа 1-5-0, характеризуемого следующими размерами:

Площадь колосниковой решетки	$R=5{,}7$ м²
Поверхность нагрева топки	$H_m=22{,}8$ „
Испаряющая поверхность нагрева дымогарных труб (водяная)	$H_д^{вод}=179{,}8$ „
Испаряющая поверхность нагрева жаровых труб (водяная)	$H_{ж}^{вод}=103{,}2$ „
Испаряющая поверхность нагрева дымогарных труб (газовая)	$H_д^{газ}=162{,}2$ „
Испаряющая поверхность нагрева жаровых труб (газовая)	$H_{ж}^{газ}=97{,}0$ „
Поверхность нагрева жаровых труб до перегревателя (газовая)	$H_{ж}'=9{,}4$
Поверхность нагрева жаровых труб в области перегревателя (газовая)	$H_{ж}''=87{,}6$ „

НТБ ДНУЖТ

Расстояние между трубными решетками . $L = 5{,}15$ *м*
Число и диаметр дымогарных труб 218; 51×46 *мм*
„ „ „ жаровых труб . 48; 133×125 „
Система пароперегревателя Шмидт
Диаметр перегревательных трубок 36×29 *мм*
Поверхность нагрева пароперегревателя . . . . $H_п = 100{,}9$ *м*

Факторы тепловой работы котла, определившиеся из предварительного ориентировочного расчета:

Часовой расход угля . . . . . $B_h = 1\,990$ *кг/час*
Количество фактически сгоревшего угля . $B'_h = 1\,573$ „
Теплопроизводительность угля $K = 7\,000$ *кал/кг*
Полная часовая паропроизводительность котла . $B = 12\,500$ *кг/час*
Полезная часовая паропроизводительность котла $B_m = 11\,700$ „
Коэфициенты уравнения тепла . $\begin{cases} M = 5\,400 \\ N = 0{,}5760 \end{cases}$
Действительный расход воздуха на 1 *кг* угля . . . . $L_в = 13{,}59$ *кг*
Температура газов перед трубами $T_2 = 1080°$
„ котловой воды $t_k = 197°$

Подсчитываем L, r и Ω для дымогарных и жаровых труб:

$$L_д = 5{,}15 \text{ м}, \quad r_д = 0{,}0115 \text{ м}, \quad \Omega_д = 0{,}362 \text{ м}^2$$

$$L_{ж'} = 0{,}50 \text{ “}, \quad r_{ж'} = 0{,}0250 \text{ „}, \quad \Omega_{ж'} = 0{,}377 \text{ “}$$

$$L_{ж''} = 4{,}65 \text{ “}, \quad r_{ж''} = 0{,}0097 \text{ „}, \quad \Omega_{ж''} = 0{,}393 \text{ “}$$

$$\beta = \frac{\frac{5{,}15}{0{,}0115 \cdot 0{,}362^2} - \sqrt{\frac{5{,}15}{0{,}0115 \cdot 0{,}362^2}\left(1{,}33\frac{0{,}50}{0{,}025 \quad 0{,}377^2} + \right.}}{\frac{5{,}15}{0{,}0115 \cdot 0{,}362^2} - \left(1{,}33\frac{0{,}50}{0{,}025 \cdot 0{,}377^2} + \right.}$$

$$\frac{\sqrt{\left. + \ 0{,}96\frac{4{,}65}{0{,}0097 \cdot 0{,}393^2}\right)}}{\left. + 0{,}96 \cdot \frac{4{,}65}{0{,}0097 \cdot 0{,}393^2}\right)} = 0{,}506,$$

$$1 - \beta = 0{,}494.$$

Работа газового потока в дымогарных трубах:

$$6\,393 \lg \frac{883}{T_з^д - 197} + 0{,}5690\ (1080 - T_з^д) = 162{,}2 \cdot K_д\ ;$$

$$K_д = 6 + 2{,}45 \cdot W_д^{0{,}7};$$

$$W_д = 0{,}0251\ (813 + 0{,}5 \cdot T_з^д).$$

Решая эти три уравнения, находим:

$$T_з^д = 380°;\ W_д = 25{,}18;\ K_д = 28{,}92.$$

НТБ ДНУЖТ

Жаровые трубы до начала элементов пароперегревателя:

$$6\,548 \lg \frac{883}{T_A - 197} + 0{,}5830\ (1080 - T_{A'}) = 9{,}4\ K_{ж'};$$

$$K_{ж'} = (6 + 2{,}45 \cdot W_{ж'}^{0,7}) \cdot \left(\frac{0{,}0115}{0{,}0250}\right)^{0{,}214} = 5{,}08 + 2{,}08 \cdot W_{ж'}^{0,7};$$

$$W_{ж'} = 0{,}0247\ (813 + 0{,}5 \cdot T_A\ ).$$

Решение системы дает:

$$T_A = 1011^{\circ};\ W_{ж'} = 32{,}58;\ K_{ж'} = 28{,}92.$$

Жаровые трубы в области элементов пароперегревателя:

$$(1 - \beta')\left[6\,548 \lg \frac{814}{T_з^{ж} - 197} + 0{,}5830\ (1011 - T_з^{ж})\ \right] = 87{,}6 \cdot K_{ж''};$$

$$K_{ж''} = 6{,}22 + 2{,}54 \cdot W_{ж''}^{0,7};$$

$$W_{ж''} = 0{,}0238\ (779 + 0{,}5 \cdot T_з^{ж}).$$

$$\beta'\left[6\,548 \lg \frac{1011 - \dfrac{197 + t_п}{2}}{T_з^{ж} - \dfrac{197 + t_п}{2}} + 0{,}5830\ (1011 - T_з^{ж})\ \right] = 100{,}9\quad K_п\ ;$$

$$Q_п = \beta'\,[2732\,(1011 - T_з^{ж}) + 0{,}2910\,(1011^2 - T_з^{ж2})].$$

Вычисление ожидаемой величины $K_п$ по формуле (159) дает:

$$K_п = \left[6 + 0{,}24\left(\frac{1573 \cdot 7000 \cdot 0{,}506}{10\,000\quad 0{,}393}\right)^{0{,}7} \cdot \left(\frac{0{,}0115}{0{,}0097}\right)^{0{,}214} = 46{,}20.\right.$$

Решая предыдущую систему пяти уравнений, получаем:

$$T_з^{ж} = 319^{\circ};\ W_{ж''} = 22{,}35;\ K_{ж''} = 28{,}57;\ \beta' = 0{,}568;$$

$$Q_п = 1\,226\,000;\ \Delta\lambda = 104{,}8;\ \lambda_п = 647 + 104{,}8 = 751{,}8;\ t_п = 344^{\circ}.$$

Подстановка найденных значений величин β', $t_п$ и $T_з^{ж}$ в уравнение теплопередачи для перегревательных трубок дает:

$$K_п = \frac{0{,}568\left[6\,558 \lg \dfrac{1011 - \dfrac{197 + 344}{2}}{319 - \dfrac{197 + 344}{2}} + 0{,}5830\,(1011 - 319)\right]}{100{,}9} = 45{,}88,$$

что представляет совершенно удовлетворительную сходимость с цифрой 46,20, полученной выше по эмпирической формуле.

Средняя температура уходящих газов:

$$T_з = T_з^{д} \cdot (1 - \beta) + T_з^{ж} \cdot \beta' = 349^{\circ}$$

На фиг. 253 представлена зависимость расхода пара на *л. с.* в час от степени перегрева пара, т. е. от величины $t_п - t_к$, полученная из многочисленных опытов с паровозами в условиях форсированной работы.

НТБ ДНУЖТ

Для нашего случая при

$$t_{ii} - t_k = 344 - 197 = 147°$$

находим

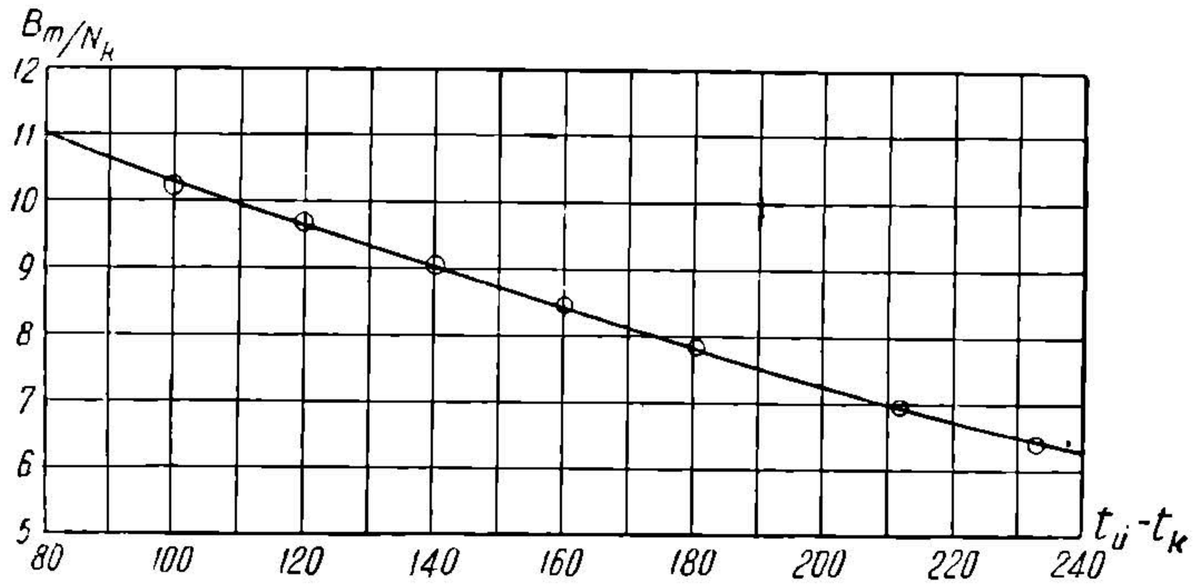
$$\frac{B_m}{N_k} = 8{,}84 \text{ кг.}$$

Отсюда

$$N_k = \frac{11\,700}{8{,}84} = 1\,324 \text{ л. с.}$$

и

$$\frac{B_h}{N_k} = 1\,990/1\,324 = 1{,}503 \text{ кг.}$$



Фиг. 253.

Полный к. п. д. паровоза (от топки до обода движущих колес):

$$\eta = \frac{632}{K \frac{B_h}{N_k}} = \frac{632}{7\,000 \cdot 1{,}503} = 0{,}0601 \ (6{,}01\%).$$

§ 6. Влияние на мощность и экономичность перегревного паровоза длины и диаметра труб и величины отношений $\frac{H_{ii}}{H_k}$ и $\frac{H_k}{R}$

В процессе проектирования нового перегревного паровоза проектировщику приходится выбирать ряд размеров и геометрических соотношений котла и пароперегревателя. Очевидно, что эти величины должны быть выбраны (конечно, в пределах существующих стандартов, весовых и габаритных норм) так, чтобы обеспечить максимум мощности и экономичности паровоза.

Изложенный в предыдущей главе метод теплового расчета, являясь вполне общим и универсальным, позволяет вполне сознательно и научно проанализировать влияние на работу паровоза любого из перечисленных в заголовке основных факторов и многих других.

В настоящей главе мы рассмотрим влияние на мощность и экономичность паровоза в первую очередь длины трубчатой части котла L.

В качестве основного (исходного) варианта оставляем тот же самый паровоз типа 1-5-0, с которым мы имели дело в предыдущей главе, и в дополнение к произведенному там расчету просчитаем другой вариант с длиной труб $L = 6{,}87$ *м* (вместо прежних 5,15 *м*). При этом для сохранения преж-

НТБ ДНУЖТ

ней величины испаряющей поверхности нагрева потребуется 36 жаровых и 164 дымогарных труб.

Будем иметь:

$$H_{д}^{вод} = 180{,}4\ м^2;\ H_{д}^{газ} = 162{,}7\ м^2;\ H_{ж'} = 7{,}0\ м^2;\ H_{п} = 103{,}7\ м^2;$$

$$H_{ж}^{вод} = 103{,}2\ м^2;\ H_{ж}^{газ} = 97{,}0\ м^2;\ H_{ж''} = 90{,}0\ м^2;$$

$$\Omega_{д} = 0{,}272\ м^2;\ \Omega_{ж'} = 0{,}283\ м^2;\ \Omega_{ж''} = 0{,}293\ м^2.$$

По уравнению (142) определяем:

$$\beta = 0{,}504;\ 1 - \beta = 0{,}496.$$

Дымогарные трубы:

$$6\,429 \lg \frac{883}{T_{з}^{д} - 197} + 0{,}571\,(1\,080 - T_{з}^{д}) = 162{,}7 \cdot K_{д};$$

$$K_{д} = 6 + 2{,}45 \cdot W_{д}^{0{,}7};$$

$$W_{д} = 0{,}0336\,(813 + 0{,}5 \cdot T_{з}^{д});$$

$$T_{з}^{д} = 336°;$$

$$W_{д} = 32{,}96;$$

$$K_{д} = 34{,}29.$$

Жаровые трубы до элементов:

$$6\,513 \lg \frac{883}{T_{A} - 197} + 0{,}581\ (1080 - T_{A}) = 7{,}0 \cdot K_{ж'};$$

$$K_{ж'} = 5{,}08 + 2{,}08 \cdot W_{ж'};$$

$$W_{ж'} = 0{,}0328\,(813 + 0{,}5 \cdot T_{A});$$

$T_{A} = 1\,018°;$
$W_{ж'} = 43{,}36;$
$K_{ж'} = 34{,}22.$

Жаровые трубы в области элементов:

$$(1 - \beta')\,[6\,513 \lg \frac{821}{T_{з}^{ж} - 197} + 0{,}581\,(1\,018 - T_{з}^{ж})] = 90{,}0 \cdot K_{ж''};$$

$$K_{ж''} = 6{,}22 + 2{,}54 \cdot W_{ж''};$$

$$W_{ж''} = 0{,}0316\,(782 + 0{,}5 \cdot T_{з}^{ж});$$

$$\beta'\,[6\,513 \lg \frac{1018 - \frac{197 + t_{п}}{2}}{T_{з}^{ж} - \frac{197 + t_{п}}{2}} + 0{,}581\,(1\,018 - T_{з}^{ж})] = 103{,}7 \quad K_{п};$$

$$Q_{п} = \beta'\,[2\,732\,(1\,018 - T_{з}^{ж}) + 0{,}290\,(1\,018^2 - T_{з}^{ж^2})];$$

НТБ ДНУЖТ

$$K_{ü} = \left[6 + 0{,}24\left(\frac{1\,573 \cdot 7000 \cdot 0{,}504}{10\,000 \cdot 0{,}293}\right)^{0{,}7}\right] \cdot \left(\frac{0{,}0115}{0{,}0097}\right)^{0{,}214} = 54{,}93;$$

$T^{ж}{}_{з} = 290°;$
$W_{ж''} = 29{,}29;$
$K_{ж''} = 33{,}23;$
$\beta' = 0{,}546;$
$Q_{ü} = 1\,237\,000;$
$\Delta\lambda = 102{,}8;$
$\lambda_{ü} = 748{,}8;$
$t_{ü} = 339°.$

Контрольная величина $K_{ü}$:

$$K_{ü} = \frac{0{,}546\left[6\,513 \lg \frac{1\,018 - 268}{290 - 268} + 0{,}581(1\,018 - 290)\right]}{103{,}7} = 54{,}79.$$

Средняя температура уходящих газов:

$$T_{з} = 0{,}496 \cdot 336 + 0{,}504 \cdot 290 = 313°.$$

Примечание. Расход пара B_m во втором варианте будет, очевидно, иной, чем в первом (при длине труб 5,15 *м*), так как температура $T_з$ понизилась по сравнению с первым вариантом, и, следовательно, количество тепла, отдаваемого в котел, во втором варианте больше, в результате чего должно возрасти и количество приготовленного котлом пара.

Поверхность нагрева огневой коробки дает, очевидно, для испарения воды в котле одно и то же количество тепла в обоих вариантах. Количество же тепла, отдаваемого в котел через поверхность нагрева жаровых и дымогарных труб, определяется следующим образом:

$$Q = (1 - \beta)\left[M(T_2 - T_з^{д}) + N(T_2^2 - T_з^{д^2})\right] + \beta\left[M(T_2 - T_A) + N(T_2^2 - T_A^2)\right] +$$
$$+ \beta(1 - \beta')\left[M(T_A - T_з^{ж}) + N(T_A^2 - T_з^{ж^2})\right]. \qquad (172)$$

Производя подстановку входящих в уравнение (172) величин, находим для первого варианта:

$$Q = 2\,158\,000 + 257\,000 + 932\,000 = 3\,347\,000 \text{ кал/час};$$

для второго же варианта:

$$Q' = 2\,293\,000 + 206\,000 + 1\,028\,000 = 3\,527\,000 \text{ кал/час},$$

т. е. больше на 180 000 *кал/час*.

Так как теплосодержание пара в котле $\lambda_к = 647$ калорий, а теплота питательной воды $\vartheta = 100$ калорий, то на приготовление 1 *кг* пара затрачивается в котле:

$$647 - 100 = 547 \text{ кал}.$$

Отсюда находим, что во втором варианте будет приготовлено полезного пара:

$$B_m = 11\,700 + \frac{180\,000}{547} = 12\,030 \text{ кг/час}.$$

Эта цифра и была принята в предыдущих подсчетах при определении величины $\Delta\lambda$ по величине $Q_{ü}$.

НТБ ДНУЖТ

По кривой фиг. 253 находим для второго варианта:

$$\frac{B_m}{N_k} = 9{,}00\ кг;$$

$$N_k = \frac{12\,030}{9} = 1\,337\ л.\ с.; \frac{B_h}{N_k} = \frac{1\,990}{1\,337} = 1{,}488\ кг;$$

$$\gamma = \frac{632}{7\,000 \quad 1{,}488} = 0{,}0606, \qquad \text{т. е. } 6{,}06\%.$$

Что касается газового сопротивления трубчатой части котла, то несомненно, что во втором варианте, при большей длине труб и меньшем их количестве, величина S будет больше, чем в основном варианте. Из выражений (132) и (133) имеем:

$$S = \frac{A}{2g} \cdot \frac{L}{r} \cdot \gamma \cdot w^2$$

для трубчатой части паровозных котлов величина $\frac{A}{2g}$ близка к цифре 0,00035 (по опытным данным), т. е.

$$S = 0{,}00035 \cdot \frac{L}{r} \cdot \gamma \cdot w^2, \qquad (173)$$

причем, как мы отмечали выше, величина удельного сопротивления S при установившемся режиме работы котла одинакова как в дымогарных, так и в жаровых трубах, т. е.

$$S_д = S_ж = S_{ж'} + S_{ж''}.$$

Припоминая, что

$$\gamma = \frac{10\,330}{29{,}27 \cdot T_{abs}} = \frac{353}{T_{abs}},$$

подсчитаем величину $S_д$ для основного варианта:

$$S = 0{,}00035 \cdot \frac{5{,}15}{0{,}0115} \cdot \frac{353}{\left(\frac{1\,080+380}{2} + 273\right)} \cdot 25{,}18^2 =$$

$$= 34\ кг/м^2, \text{ или } мм \text{ вод. ст.}$$

Для варианта с удлиненными трубами получаем:

$$S = 0{,}00035 \cdot \frac{6{,}87}{0{,}0115} \cdot \frac{353}{\left(\frac{1\,080+336}{2} + 273\right)} \cdot 32{,}96^2 = 82\ мм \text{ вод. ст.}$$

По этому же методу были произведены подсчеты при длине труб 3,435 и 10,3 *м*. Главнейшие результаты подсчетов сведены в табл. 22 и на фиг. 254.

Из полученных данных видно, что в широком диапазоне изменения длины труб от 5 до 10 *м* температура перегрева и к. п. д. паровоза изменяются крайне незначительно; в то же время газовое сопротивление труб растет очень быстро с увеличением их длины. Поэтому увеличивать L свыше 5—5,5 *м* для данного паровоза не следует.

По этому методу могут быть произведены варианты теплового расчета с выявлением ожидаемых показателей работы паровоза $\left(T_з, \eta_k, t_п, \frac{B_h}{N_k} \text{ и } \gamma\right)$

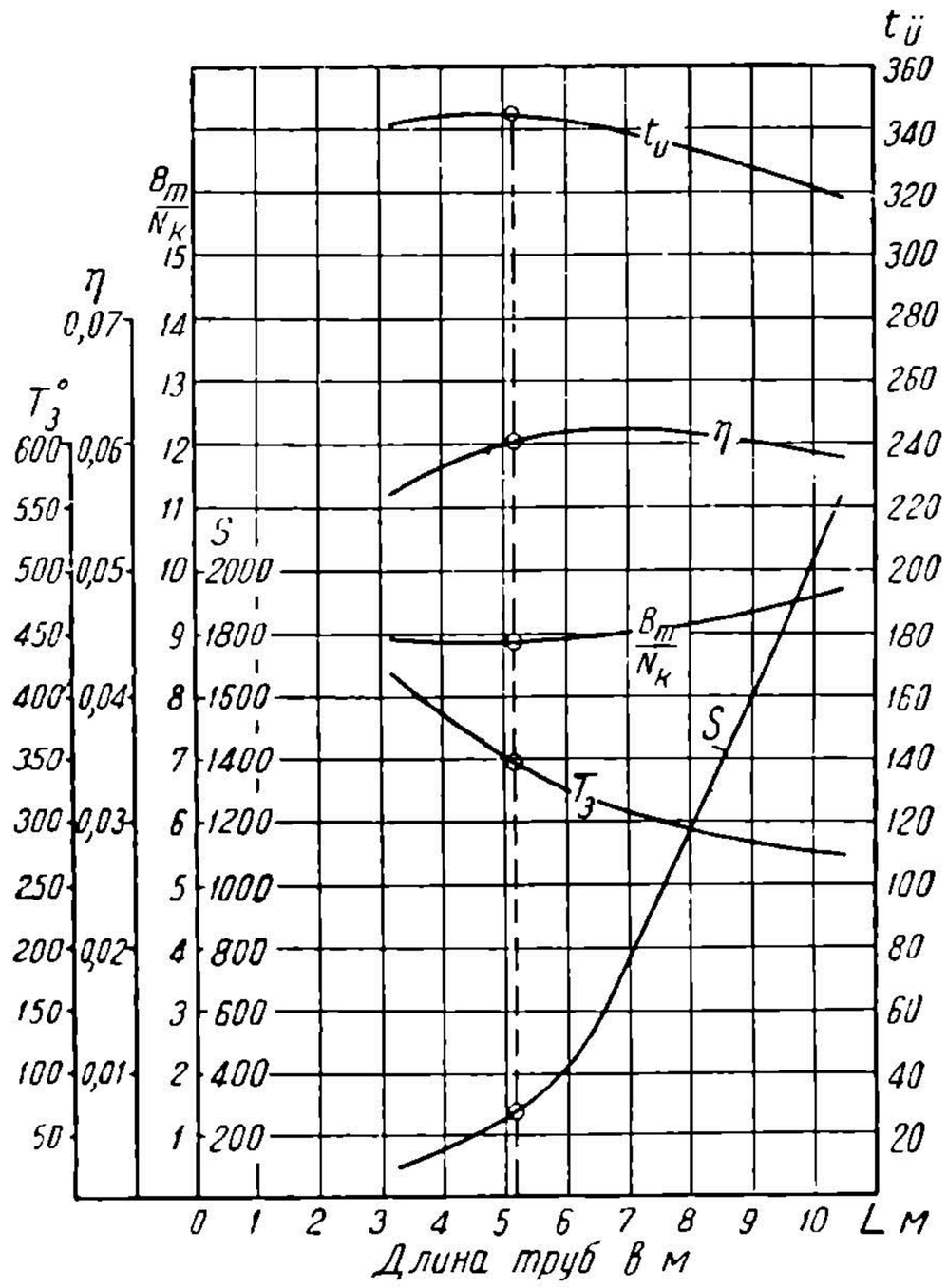
НТБ ДНУЖТ

для любых комбинаций размеров жаровых, дымогарных и перегревательных труб, их длины, величины отношений: $\frac{H_к}{R}$ и $\frac{H_д}{H_к}$ и т. д. [1]. На прилагаемых табл. 23—27 дана сводка результирующих цифр ряда подобных подсчетов. Все цифровые данные относятся к тому же паровозу типа 1-5-0 и к тому же режиму топки.

В табл. 23 и 24 число дымогарных труб $n_д$ для различных вариантов подбиралось из условия сохранения постоянной величины испаряющей поверхности котла $H_к$. Во всех вариантах табл. 25 число дымогарных и жаровых труб одно и то же, а именно: 218 дымогарных и 48 жаровых. В табл. 26 число труб определялось размерами трубной решетки.

Остановимся еще на одном факторе, влияющем на степень перегрева пара и на общую экономичность паровоза, — на температуре питательной воды ϑ.

Применение подогрева питательной воды, помимо ряда чисто эксплуатационных преимуществ, преследует две основных цели: или повышение паропроизводительности котла B_m, или же получение экономии расхода горючего. Пусть мы имеем котел с вполне определенными размерами поверхностей нагрева, отапливаемый определенным сортом топлива. Сравним условия тепловой работы пароперегревателя при питании котла холодной водой и при наличии водоподогрева.



Фиг. 254.

Таблица 22

L	3,435	5,15	6,87	10,3
B_m .	11 140	11 700	12 030	12 600
$T_з$.	407°	349°	313°	272°
$t_п$.	342°	344°	339°	319°
$N_к$.	1 249 *л. с.*	1 324 *л. с.*	1 332 *л. с.*	1 310 *л. с.*
$B_h/N_к$.	1,59	1,50	1,49	1,52
η .	5,68%	6,01%	6,06%	5,92%
S .	15	34	82	274

[1] Многочисленные примеры подобных расчетов, весьма полезные при проектировании новых паровозов, приведены в книге проф. С. П. Сыромятникова. „Варианты расчета паровозного котла", выпуск XXI Трудов МЭМИИТ, Москва, 1937 г.

НТБ ДНУЖТ

Таблица 23

$d_д$	45×40	51×46	57×51	65×60
$n_д$	247	218	195	169
B_m	11 600	11 700	11 630	11 560
$T_в$	335°	349°	364°	392°
$t_д$	362°	344°	332°	311°
$N_к$	1 391 *л. с.*	1 324 *л. с.*	1 260 *л. с.*	1 169 *л. с.*
$B_h/N_к$	1,43	1,50	1,58	1,63
η	6,32%	6,01%	5,71%	5,31%
S	43	34	31	23

Таблица 24

$d_ж$	102×94,5	133×125	152×143	171×163
$n_д$	247	218	200	182
B_m	12 690	11 700	11 020	10 470
$T_э$	389°	349°	381°	433°
$t_д$	220°	344°	383°	394°
$N_к$	984 *л. с.*	1 327 *л. с.*	1 437 *л. с.*	1 425 *л. с.*
$B_h/N_к$	2,02	1,50	1,39	1,40
η	4,47%	6,01%	6,52%	6,47%
S	76	34	21	12

Таблица 25

$d_д$	0	24×18	30×24	36×29	42×35	50×42
B_m	11 120	11 300	11 410	11 700	12 080	12 490
$T_в$	601°	401°	373°	349°	342°	369°
$t_д$	197°	331°	349°	344°	312°	245°
$N_к$	767 *л. с.*	1 221 *л. с.*	1 311 л. с.	1 327 *л. с.*	1 220 *л. с.*	1 033 *л. с.*
$B_h/N_к$	2,59%	1,63	1,52	1,50	1,63	1,93
η	3,48	5,54%	5,95%	6,01%	5,53%	4,69%
S	14	20	27	34	53	75

Таблица 26

$H_д/H_к$	0	0,056	0,173	0,330	0,588
$n_д$	447	399	317	218	104
$n_{ж}$	0	10	28	48	76
B_m	13 630	13 120	12 380	11 700	10 900
$T_э$	378°	367°	355°	349°	351°
$t_д$	197°	197°	267°	344°	430°
$N_к$	940 *л. с.*	951 *л. с.*	1 090 *л. с.*	1 327 *л. с.*	1 701 *л. с.*
$B_h/N_к$	2,12	2,09	1,83	1,50	1,17
η	4,26%	4,31%	4,95%	6,01%	7,72%
S	34	34	35	34	34

НТБ ДНУЖТ

Таблица 27

R	3,8	5,7	8,0
$H_к/R$	80,3	53,7	39,0
$У$	524	350	249
μ	0,64	0,79	0,83
B_m	9 000	11 700	12 630
T_2	1 082°	1 080°	1 027°
T_3 .	322°	349°	352°
$t_д$	340°	344°	334°
$N_к$.	921 *л. с.*	1 327 *л. с.*	1 433 *л. с.*
B_h/N_k	1,99	1,50	1,44
η .	4,55%	6,01%	6,26%
S	22	34	40

Случай 1-й ($B_h = \text{const}$)

Если количество сжигаемого в единицу времени топлива и условия его сгорания будут одни и те же, то, независимо от питания котла холодной или горячей водой, в различных пунктах котла установятся вполне определенные, совершенно одинаковые в обоих случаях температуры газов, в частности температуры при входе в пароперегреватель и при выходе из него. Таким образом как при наличии, так и при отсутствии водоподогрева тепловое напряжение стенок перегревательных трубок и температуры омывающих их газов будут одинаковы, а следовательно, будут одинаковы и количества тепла, передаваемого в единицу времени газами через стенки перегревательных трубок. Что касается количества приготовляемого котлом влажного пара, то его, конечно, будет больше при подогреве воды до $\vartheta°$, так как в этом случае на приготовление каждого килограмма пара котел затрачивает ($\lambda_к - \vartheta$) калорий, что значительно меньше количества тепла ($\lambda_к - \tau$), затрачиваемого при питании котла холодной водой с температурой τ.

После сказанного становится понятным, что если количество пара, проходящего в единицу времени через элементы, при наличии водоподогрева возрастает, а количество тепла, получаемого этим паром от окружающих газов, остается прежним, то каждый килограмм пара получит в пароперегревателе меньшее количество тепла, и температура перегрева несколько понизится.

Случай 2-й ($B_m = \text{const}$)

Если водоподогрев применяется не с целью повышения паропроизводительности котла B_m, а для достижения экономии расхода топлива, то при том же количестве проходящего через элементы пара будет сжигаться меньше топлива при питании котла подогретой водой.

В этом случае благодаря уменьшению величины отношений $\frac{\mu B_h K}{H_m}$ и $\frac{\mu B_h K}{H_к + H_и}$ снизятся температуры газов как при входе, так и при выходе из области расположения перегревательных трубок, что и повлечет за собой понижение степени перегрева пара.

Таким образом в обоих случаях присоединение к котлу водоподогревателя или инжектора мятого пара вызовет снижение перегрева:

Величина $\Delta\lambda = \lambda_д - \lambda_k$ снижается при водоподогреве в отношении

$$\frac{\lambda_k - \tau}{\lambda_k - \vartheta},$$

так что

$$\Delta\lambda' = \Delta\lambda \frac{\lambda_k - \tau}{\lambda_k - \vartheta}, \qquad (174)$$

НТБ ДНУЖТ

где $\Delta\lambda'$ и $\Delta\lambda$ — приращения теплосодержания пара в элементах при подогретой и холодной воде.

Определим, как изменится при выключении водоподогревателя температура перегрева пара в условиях работы котла паровоза 1-5-0, обследованных в главе IV. Все уравнения, характеризующие теплопередачу в дымогарных и жаровых трубах, остаются, очевидно, без изменения. Решение системы уравнений для жаровых труб в области перегревателя дает следующие результаты:

$$(1-\beta')\left[6\,548\,\lg\frac{1\,011-197}{T_з^{жс}-197}+0{,}5830(1\,011-T_з^{жс})\right]=87{,}6\cdot K_{жс''};\qquad(175)$$

$$K_{жс''}=6{,}22+2{,}54\quad W_{жс''}^{0{,}7};\qquad(176)$$

$$W_{жс''}=0{,}0238\ (779+0{,}5\quad T_з^{жс}),\qquad(177)$$

$$\beta'\left[6\,048\,\lg\frac{1011-\frac{197+t_п}{2}}{T_з^{жс}-\frac{197+t_п}{2}}[+0{,}5830(1011-T_з^{жс})\right]=100{,}9\cdot K_п,\qquad(178)$$

$$Q_п=\beta'\left[2\,732(1\,011-T_з^{жс})+0{,}2910(1011^2-T_з^{жс^2})\right]\qquad(179)$$

Задаваясь температурой $T_з^{жс}=327°$, имеем: из (177) — $W_{жс}''=22{,}45$; из (176) — $K_{жс}''=28{,}63$; из (175) — $\beta'=0{,}553$; из (179) — $Q_п=1\,182\,000$.

Количество тепла, получаемое котлом через поверхность нагрева жаровых труб на длине $L_{жс}''$:

$$Q_{жс''}=\beta(1-\beta')\left[M(T_A-T_з^{жс})+N(T_A^2-T_з^{жс^2})\right]=$$

$$=0{,}506\cdot 0{,}447\left[5\ 400\,(1\,011-327)+0{,}576\,(1\,011^2-327^2)\right]=953\,000.$$

Подсчитаем ту же величину при $\vartheta=100°$:

$$Q_{жс''}=0{,}506\cdot 0{,}432\left[5\,400\,(1\,011-319)+0{,}576\,(1\,011^2-319^2)\right]=932\,000.$$

Таким образом при отсутствии подогрева питательной воды ($\vartheta=10°$) котел получает тепла больше на $953\,000-932\,000=21\,000$ *кал/час*.

После этого нетрудно определить и новое количество приготовляемого котлом пара из уравнения:

$$12\,500\,(647-100)+21\,000=B_k\,(647-10),$$

откуда

$$B_k=10\,767\ \textit{кг/час}\ \text{ и }\ B_m=B_k-800=9\,967\ \textit{кг/час}.$$

Далее находим:

$$\Delta\lambda=\lambda_п-\lambda_k=\frac{Q_п}{B_m}=\frac{1\,182\,000}{9\,967}=118{,}6;$$

$$\lambda_п=647+118{,}6=765{,}6;\qquad t_п=371°.$$

Из контрольного уравнения (178) находим $K_п=46{,}25$; в то же время по эмпирической формуле (159) мы имели $K_п=46{,}20$ (см. главу IV).

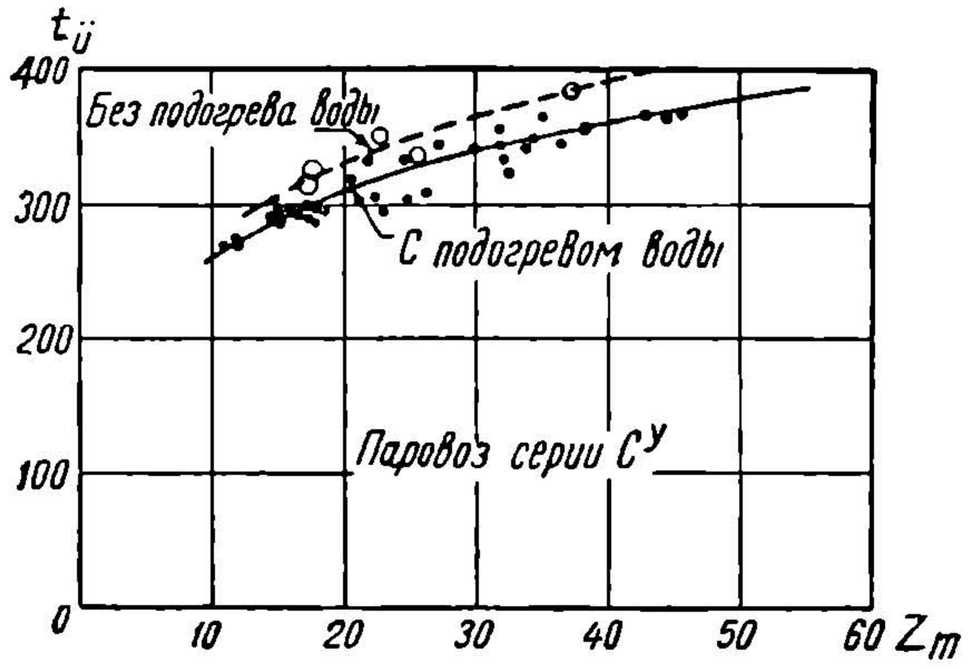
Итак, для данного частного случая мы определили повышение температуры перегрева пара при выключении водоподогревателя в 27°.

На практике эта цифра обычно колеблется в пределах 20—30°.

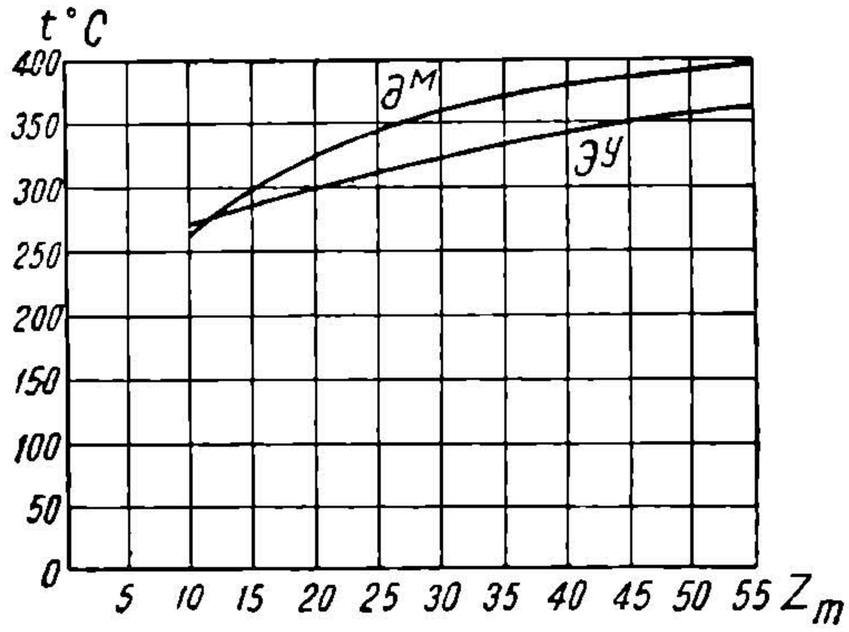
НТБ ДНУЖТ

На фиг. 255 приведены данные о температуре перегрева пара на паровозе серии «$С^{у}$», полученные при опытных поездках. Паровоз работал с подогревом воды в среднем до 100°, но несколько поездок было проведено с выключенным водоподогревателем (вследствие его порчи); эти поездки отмечены на фигуре кружками, и все они дали, как видим, повышение температуры перегрева.

На фиг. 256 показаны температуры пара в золотниковой коробке у паровозов серий «$Э^{у}$» и «$Э^{м}$», совершенно тождественных по размерам котла и испытывавшихся на одном и том же топливе: первый с подогревом воды, второй — с инжекторным питанием.



Фиг. 255.



Фиг. 256.

Приводимая ниже табл. 28 дает примерные цифры снижения температуры перегрева при подогреве воды до различной температуры, а также и другие данности, характеризующие работу котла.

Таблица 28

ϑ	10°	40°	70°	100°
B_m .	9 967	10 480	1 060	11 700
T_s	353°	352°	350°	349°
t_{ii}	370°	361°	352°	344°
$N_к$.	1 230 *л. с.*	1 254 *л. с.*	1 281 *л. с.*	1 324 *л. с.*
$B_h/N_к$ . . .	1,62	1,52	1,55	1,50
η . .	5,58%	5,69%	5,82%	6,01%

§ 7. Пароперегреватель системы Чусова

В Союзе ССР лет 15 назад начал распространяться, успешно конкурируя с системой Шмидта, жаротрубный пароперегреватель Чусова, харакетристике тепловой работы которого посвящена настоящая глава.

Исследование работы котла с пароперегревателем Чусова проведем для того же самого паровоза типа 1-5-0, с которым мы имели дело в предыдущих главах, оставляя те же размеры котла и прежний режим топки и лишь заменяя элементы Шмидта элементами системы Чусова, размеры которых показаны на фиг. 257. При этих размерах перегревательных трубок поверхность нагрева пароперегревателя сохраняется такой же, которую мы имели раньше при элементах Шмидта (4 трубки диаметром 29/36 *мм*).

Величины же $\Omega_{ж''}$ и $r_{ж''}$ изменятся:

$$\Omega_{ж''} = \frac{\pi}{4}\,(0{,}125^2 - 6 \cdot 0{,}024^2) \cdot 48 = 0{,}459\ м^2;$$

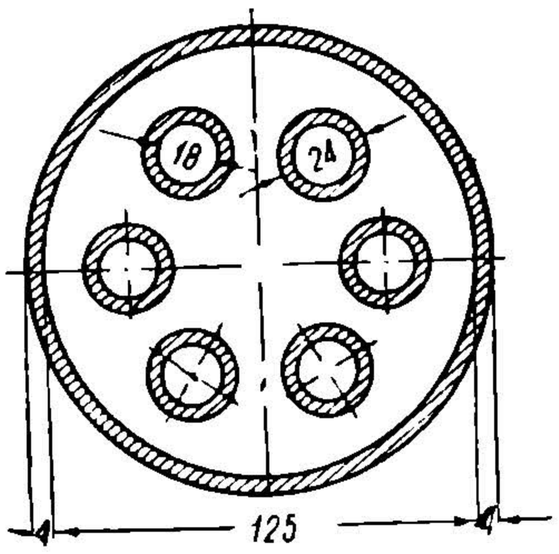
$$r_{ж''} = \frac{0{,}125^2 - 6 \cdot 0{,}024^2}{4\,(0{,}125 + 6 \cdot 0{,}024)} = 0{,}0113\ м.$$

НТБ ДНУЖТ

Таким образом при той же поверхности нагрева, что и с элементами Шмидта, площадь живого сечения жаровых труб при элементах Чусова увеличивается на

$$\frac{0{,}459 - 0{,}393}{0{,}393} \quad 100 = 17\%.$$

В этом и заключается принципиальное преимущество — не «системы Чусова», а той комбинации диаметров жаровой и перегревательных труб, которая представлена на фиг. 257.



Фиг. 257.

Подставляя в формулу (142) новое значение величины c

$$c = \frac{4{,}65}{0{,}0113 \cdot 0{,}459^2} = 1954,$$

получаем:

$$\beta = 0{,}560 \quad \text{и} \quad 1 - \beta = 0{,}440.$$

После этого переходим к исследованию работы газового потока в дымогарных и жаровых трубах котла.

Дымогарные трубы:

$$5\,695 \lg \frac{883}{T_з^д - 197} + 0{,}5070\,(1080 - T_з^д) = 162{,}2 \cdot K_д;$$

$$K_д = 6 + 2{,}45 \quad W_д^{,7};$$

$$W_д = 0{,}0224\,(813 + 0{,}5 \cdot T_з^д);$$

$T_з^д = 378°;$
$W_д = 22{,}45;$
$K_д = 26{,}96.$

Жаровые трубы до пароперегревателя

$$7\,247 \lg \frac{883}{T_A - 197} + 0{,}6450\,(1\,080 - T_A) = 9{,}4 \cdot K_{ж'};$$

$$K_{ж'} = 5{,}08 + 2{,}08 \cdot W_ж^{0{,}7};$$

$$W_{ж'} = 0{,}0215 \quad (813 + 0{,}5 \quad T_A);$$

$T_A = 1\,023°;$
$W_{ж'} = 28{,}47;$
$K_{ж'} = 26{,}37.$

Жаровые трубы в области пароперегревателя:

$$(1 - \beta')\left[7\,247 \lg \frac{826}{T_з^{ж} - 197} + 0{,}6450\,(1023 - T_з^{ж})\right] = 876 \cdot K_{ж''};$$

$$K_{ж''} = 6 + 2{,}45 \cdot W_{ж}^{0{,}71};$$

$$W_{ж''} = 0{,}0207\,(785 + 0{,}5 \cdot T_з^{ж});$$

---

[1] Поправка на гидравлический радиус $r_{ж''}$ так ничтожна, что мы ею здесь пренебрегаем.

НТБ ДНУЖТ

$$\beta' \cdot \left[7\,247 \lg \frac{1\,023 - \frac{197 + t_{\text{п}}}{2}}{T_{\text{з}}^{\text{ж}} - \frac{197 + t_{\text{п}}}{2}} + 0{,}6450\,(1\,023 - T_{\text{з}}^{\text{ж}}) \right] = 100{,}9 \cdot K_{\text{п}};$$

$$Q_{\text{п}} = \beta' \left[3024\,(1\,023 - T_{\text{з}}^{\text{ж}}) + 0{,}3226\,(1\,023^2 - T_{\text{з}}^{\text{ж}^2}) \right];$$

$$K_{\text{п}} = 6 + 0{,}24 \left(\frac{1\,572 \cdot 7\,000 \cdot 0{,}560}{10\,000 \cdot 0{,}459} \right)^{0{,}7} = 43{,}13.$$

Решение этой системы уравнений приводит к следующим значениям неизвестных:

$$T_{\text{з}}^{\text{ж}} = 364^\circ;\ W_{\text{ж}}'' = 20{,}02;\quad K_{\text{ж}}'' = 25{,}95;\ \beta' = 0{,}584;\ Q_{\text{п}} = 1\,360\,000.$$

Тепло, идущее в котел через стенки дымогарных и жаровых труб:

$$Q = 0{,}440\,[5\,400(1080 - 378) + 0{,}5760(1\,080^2 - 378^2] + 0{,}560 \cdot [5\,400(1\,080 - 1\,023) +$$
$$+ 0{,}5760\,(1\,080^2 - 1\,023^2)] + 0{,}560\,(1 - 0{,}584) \cdot [5\,400\,(1\,023 - 364) +$$
$$+ 0{,}5760\,(1\,023^2 - 364^2)] = 1\,927\,000 + 211\,000 + 971\,000 = 3\,109\,000\ \textit{кал/час}.$$

Эта цифра меньше, чем при Шмидтовском пароперегревателе на 3 347 000 — — 3 109 000 = 238 000 *кал/час*.

Вследствие этого имеем:

$$B_m = 11\,700 - \frac{238\,000}{646 - 100} = 11\,260\ \textit{кг/час};$$

$$\Delta\lambda = \frac{1\,360\,000}{11\,260} = 120{,}8;\ \lambda_{\text{п}} = 646 + 120{,}8 = 766{,}8;$$

$$t_{\text{п}} = 374^\circ.$$

Поверка дает:

$$K_{\text{п}} = \frac{0{,}584 \left[7\,247 \lg \frac{1\,023 - \frac{197 + 374}{2}}{364 - \frac{197 + 374}{2}} + 0{,}6450(1023 - 364) \right]}{100{,}9} = 43{,}27.$$

По фиг. 253:

$$\frac{B_m}{N_k} = 7{,}98\ \textit{кг},$$

$$N_k = \frac{11260}{7{,}88} = 1\,411\ \textit{л. с.};$$

$$\frac{B_h}{N_k} = \frac{1\,990}{1\,411} = 1{,}410\ \textit{кг};$$

$$\gamma = \frac{632}{7\,000 \cdot 1{,}41} = 0{,}0640\,(6{,}40\%).$$

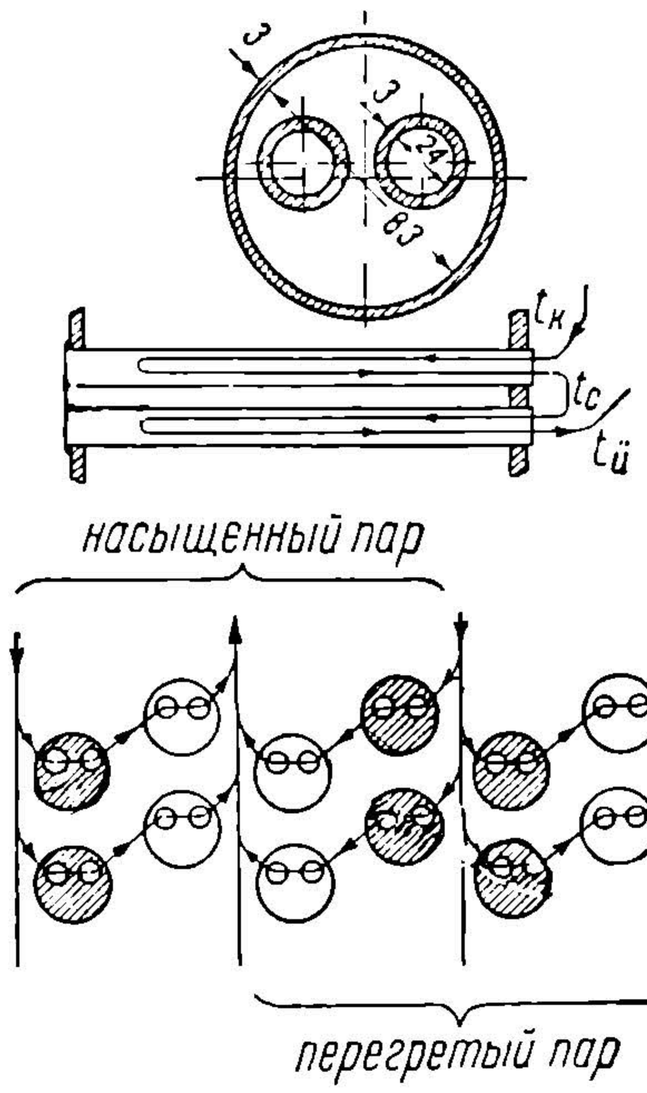
Сравнивая полученные цифры с результатом исследования работы того же самого паровоза при элементах Шмидта (глава IV), мы видим, что пароперегреватель системы Чусова (с перегревательными трубками 24×18 *мм*) дает температуру перегрева пара

НТБ ДНУЖТ

на 30° выше по сравнению с системой Шмидта (с трубками 36×29 *мм* в той же жаровой трубе). Это дает сбережение топлива, или повышение к. п. д. паровоза, примерно на 5—6%. К сожалению, трубки малого диаметра (24×18 *мм*) в сильной степени склонны к забиванию накипью в местах поворота паровой струи и прогоранию поворотных колпачков, расположенных вблизи огневой коробки и омываемых газами высокой температуры (1000—1100°). Это обстоятельство заставляет в ряде случаев воздерживаться от постановки таких тонких трубок на паровозы, особенно при плохом качестве питательной воды.

§ 8. Пароперегреватель системы Элеско

На железных дорогах США получили большое распространение пароперегреватели системы Элеско. Пароперегреватели этой системы были поставлены и на десяти паровозах серий «$Т^{А}$» и «$Т^{Б}$», заказанных нами в США; ими же оборудованы и наши новые мощные паровозы серий «ФД» и «ИС».



Фиг. 258.

Пароперегреватель Элеско имеет два типа: А и Е. Первый тип представляет собой лишь незначительное конструктивное видоизменение четырехтрубного пароперегревателя Шмидта. Тип Е является пароперегревателем, расположенным в жаровых трубах относительно небольшого диаметра (в США — 89×82,5 *мм*), причем в сечении жаровой трубы имеется только две перегревательных трубки.

На фиг. 258 представлены сечение жаровой трубы и схема парового потока.

Преимуществами такого пароперегревателя являются: 1) более равномерное распределение тяги газов по всем трубам (число дымогарных труб ничтожно и почти вся трубчатая поверхность нагрева состоит из жаровых труб); 2) меньшие напряжения на вырывание труб из решетки; 3) лучшие условия выхода пара на поверхность зеркала испарения, благодаря более прямым и просторным вертикальным каналам между рядами жаровых труб, что должно обеспечить более спокойную поверхность зеркала испарения, а следовательно и получение более сухого пара.

Недостатки: слабая термическая эффективность вследствие невыгодно большой пропорции экранирующей поверхности жаровой трубы по отношению к поверхности перегревательных трубок: отношение $\frac{H_{ж''}}{H_{ш}}$ для Шмидта и Чусова составляет около 0,87, а у Элеско = 1,37. Вследствие этого для получения достаточно высокого перегрева приходится сильно развивать перегревательную поверхность; отсюда второй недостаток рассматриваемого пароперегревателя — больший вес.

Обращаясь к исследованию тепловой работы пароперегревателя Элеско, намечаем следующий порядок: коэфициент разделения газового потока β подсчитываем на общих основаниях по формуле (142). Из уравнений (144), (145) и (146) определяются факторы тепловой работы газов в дымогарных трубах:

$$T_з^{д},\ W_д,\ K_д.$$

Из уравнений (147), (148) находим величины:

$$T_л,\ W_{ж'},\ K_{ж'}.$$

НТБ ДНУЖТ

Тепловая работа газов, протекающих по жаровым трубам в области пароперегревателя, будет, очевидно, неодинакова во всех трубах, так как температура пара в «первичных» трубах, покрытых на фиг. 258 штриховкой, будет ниже, чем во вторых трубах. Таким образом половина жаровых труб будет заключать в себе элементные трубки с паром низкой температуры, изменяющейся от $t_к$ до t_c, в остальных же трубах температура перегретого пара будет изменяться от t_c до $t_и$.

Для первичных труб имеем следующие соотношения:

$$\frac{\beta}{2}\cdot(1-\beta_1')\left\{(M+2Nt_k)\ln\frac{T_A-t_k}{(T_з^{ж})_1-t_k}+2N\left[T_A-(T_з^{ж})_1\right]\right\}=$$

$$=(K_{ж''})_1\cdot\frac{H_{ж''}}{2}. \qquad (180)$$

$$(K_{ж''})_1=\left[6+2{,}45\,(W_{ж''})_1^{0{,}7}\right]\cdot\left(\frac{0{,}0115}{r_{ж''}}\right)^{0{,}214} \qquad (181)$$

$$(W_{ж''})_1=0{,}8425\cdot\frac{\alpha L_0\mu\cdot B_h}{10^6\cdot\frac{\Omega_{ж''}}{2}}\cdot\frac{\beta}{2}\left[\frac{T_A+(T_з^{ж})_1}{2}+273\right]. \qquad (182)$$

$$\frac{\beta}{2}\beta_1'\left\{\left(M+2N\frac{t_k+t_c}{2}\right)\ln\frac{T_A-\frac{t_k+t_c}{2}}{T_з^{ж}-\frac{t_k+t_c}{2}}+2N\left[T_A-(T_з^{ж})_1\right]\right\}=$$

$$=K_и\cdot\frac{H_и}{2}. \qquad (183)$$

$$(Q_и)_1=\frac{\beta}{2}\cdot\beta_1'\left\{M\left[T_A-(T_з^{ж})_1\right]+N\left[T_A^2-(T_з^{ж})_1^2\right]\right\}. \qquad (184)$$

Из уравнений (180)—(184) определяются:

$$(T_з^{ж})_1;\ (W_{ж''})_1;\ (K_{ж''})_1;\ \beta'_1;\ (Q_и)_1;\ \Delta\lambda_1;\ t_c\ .$$

Для теплопередачи в жаровых трубах, содержащих вторые петли элементов:

$$2\,(1-\beta)\left\{(M+2Nt_k)\ln\frac{T_A-t_k}{(T_з^{ж})_2-t_k}+2N\left[T_A-(T_з^{ж})_2\right]\right\}=(K_{ж''})_2\cdot\frac{H_{ж''}}{2}. \qquad (185)$$

$$(K_{ж''})_2=\left[6+2{,}45\,(W_{ж''})_2^{0{,}7}\right]\cdot\left(\frac{0{,}0115}{r_{ж''}}\right)^{0{,}214} \qquad (186)$$

$$(W_{ж''})_2=0{,}8425\,\frac{\alpha\cdot L_0\cdot\mu\cdot B_h}{10^6\cdot\frac{\Omega_{ж''}}{2}}\cdot\frac{\beta}{2}\cdot\left[\frac{T_A+(T_з^{ж})_2}{2}+273\right]. \qquad (187)$$

$$\frac{\beta}{2}\cdot\beta_2'\left\{\left(M+2N\cdot\frac{t_c+t_и}{2}\right)\ln\frac{T_A-\frac{t_c+t_и}{2}}{T_з^{ж}-\frac{t_c+t_и}{2}}+2N\left[T_A-(T_з^{ж})_2\right]\right\}=$$

$$=K_и\cdot\frac{H_и}{2}. \qquad (188)$$

$$(Q_и)_2=\frac{\beta}{2}\cdot\beta_2'\left\{M\left[T_A-T_з^{ж}+N\left[T_A^2-(T_з^{ж})_2^2\right]\right\}. \qquad (189)$$

НТБ ДНУЖТ

Из этих уравнений находим:

$$(T_в^{ж})_2;\ (W_{ж''})_2;\ (K_{ж''})_2;\ \beta'_2;\ (Q_{п})_2;\ \Delta\lambda_2;\ t_{п}$$

Прилагаемая табл. 29 дает сравнительные показатели работы паровоза 1-5-0 с пароперегревателями Шмидта, Чусова и Элеско. Цифры таблицы получены тем же, подробно объясненным выше универсальным методом.

Таблица 29

Система пароперегревателя	Шмидт	Чусов	Элеско
B_h	1 990	1 990	1 990
T_2	1 080°	1 080°	1 080°
Жаровые трубы	48 ; 133×125	48 ; 133×125	115 ; 89×82,5
Дымогарные трубы	218 ; 51×46	218 ; 51×46	142 ; 51×46
$Hп/H_к$	0,330	0,330	0,330
β	0,506	0,560	0,633
$T_з$	349°	370°	337°
$tп$	344°	374°	340°
$\eta_к$	57,9%	56,9%	58,4%
$B_h/N_к$	1,503	1,413	1,509
η	6,01%	6,40%	5,98%
S	34 *мм* вод. ст.	33 *мм* вод. ст.	45 *мм* вод. ст.

Цифры этой таблицы показывают, что по тепловому эффекту сравниваемые системы сравнительно мало отличаются друг от друга.

Объясняется это тем, что перегревательный элемент должен одновременно удовлетворять двум требованиям: 1) иметь возможно большую поверхность нагрева и 2) как можно меньше стеснять сечение жаровой трубы. Так как эти два требования взаимно друг друга исключают, то изобретательская мысль не находит достаточно эффектного выхода из этого положения, и все многочисленные, весьма разнообразные по своему внешнему оформлению типы предложенных элементов — дают почти одинаковые результаты.

§ 9. Определение факторов тепловой работы котла паровоза серии «ФД»

I. Основные размеры котла серии «ФД»

Площадь колосниковой решетки $R = 7{,}0\ м^2$

Поверхность нагрева огневой коробки $H_m = 31{,}2$ »

» » дымогарных труб (газовая) $H_д^{газ} = 42{,}1$ »

» » жаровых труб (газовая) $H_{ж'} = 15{,}8$ »; $H_{ж''} = 185{,}2$ »

Полная испаряющая поверхность нагрева котла (водяная) $H_к = 295{,}2$ »

Поверхность нагрева пароперегревателя (газовая) $H_п = 134{,}7$ »

Длина труб: дымогарных $L_д = 5{,}97$ »; жаровых до перегревателя $L_{ж'} = 0{,}47$ »; жаровых в области перегревателя $L_{ж''} = 5{,}50$ »

Число дымогарных труб $n_д = 44$ »

» жаровых » $n_ж = 130$ »

Диаметр труб: дымогарных $d_д = 57 \times 51\ мм$; жаровых до перегревателя $d_{ж'} = 80{,}5 \times 74\ мм$; жаровых в области перегревателя $d_{ж''} = 89 \times 82{,}5\ мм$; перегревательных $d_п = 30 \times 24\ мм$

НТБ ДНУЖТ

Режим работы котла

Топливо: смесь из 30% ПС, 30% Г и 40% АК.

Химический состав и теплопроизводительность смеси: C = 80,0%; H = = 3,1%; S = 1,9%; O = 3,1%; N = 1,1%; W = 3,1%; A = 7,6%. Q = = 7203 *кал/кг*.

Химическая характеристика топлива:

$$\beta_0 = 2{,}37\,\frac{3{,}1 - \frac{3{,}1}{8}}{80} = 0{,}081.$$

Теоретический расход воздуха на 1 *кг* угля:

$$L_0 = \frac{1}{23{,}6}\left(\frac{8}{3}\cdot 80 + 8\cdot 3{,}1 + 1{,}9 - 3{,}1\right) = 10\ кг.$$

Напряжение колосниковой решетки принимаем:

$$У = 550\ кг/м^2час.$$

По опытным данным для выбранной угольной смеси и напряжения решетки находим [1]:

Суммарная потеря от уноса, шлака и провала угля:

$$q_2'' = 36\%,\ \text{т. е. } \mu = \frac{100-36}{100} = 0{,}64;\ \alpha = 1{,}35.$$

Задаваясь CO = 1,5%, находим путем совместного решения уравнений (8), (9) и (11):

$$CO_2 = 12{,}7\%;\ O_2 = 6{,}2\%;\ N_2 = 79{,}6\%.$$

Часовой расход топлива:

$$B_h = 550 \quad 7 = 3\,850\ кг/час;$$

фактически сгорает:

$$B_h = 0{,}64 \cdot 3\,850 = 2\,464\ кг/час.$$

По формуле (6) подсчитываем:

$$G_b \cdot c = 3{,}409;$$

$$G_b \cdot \delta = 0{,}00037$$

и далее: $M = 2\,464 \cdot 3{,}409 = 8\,400$; $N = 0{,}00037 \cdot 2\,464 = 0{,}912$. Кроме того, по опытным данным имеем:

$$X_k = 0{,}90;\ p_k = 16\ ат;\ t_k = 200°;\ \tau = 15°;\ \lambda_k = 625\ кал/кг.$$

По подсчетам находим:

Располагаемое тепло $Q_0 = 3850 \cdot 7203 = 27\,730\,000\ кал/час$.

Потеря от химического недогорания:

$$Q_2' = 56{,}9 \cdot 80 \cdot \frac{1{,}5}{12{,}7 + 1{,}5} \cdot 2\,464 = 1\,185\,000\ кал/час.$$

Потеря от уноса, шлака и провала:

$$Q_2'' = 27\,730\,000 \cdot 0{,}36 = 9\,983\,000\ кал/час.$$

---

[1] «Результаты опытов над первым паровозом типа 1-5-1 серии «ФД», Москва, 1933 г.

НТБ ДНУЖТ

Температура газов перед трубами:

$$T_2 = 1350 \sqrt[1,6]{\frac{\frac{2464 \cdot 7203}{31,2} + 4400}{\frac{2464 \cdot 7203}{31,2} + 223\,000}} = 1100°.$$

Потерю на наружное охлаждение котла примем в 1% от Q_0, т. е.

$$Q_4 = 27\,730\,000 \cdot 0,01 = 277\,000 \text{ } кал/час.$$

Тепло, проходящее в котел через топочную поверхность нагрева:

$$Q_m = 27\,730\,000 - 1\,185\,000 - 9\,983\,000 - (8\,400 \cdot 1\,100 + 0,912 \cdot 1\,100^2) =$$

$$= 6\,218\,000 \text{ } кал/час.$$

Для подсчета коэфициента разделения газов между дымогарными и жаровыми трубами находим:

$$\Omega_д = 0,090 \text{ } м^2 ; r_д = 0,0127 \text{ } м$$

$$\Omega_{ж'} = 0,559 \text{ „ } ; r_{ж'} = 0,0185 \text{ „}$$

$$\Omega_{ж''} = 0,511 \text{ „ } ; r_{ж''} = 0,0088 \text{ „}$$

Отсюда гидродинамические характеристики:

$$a = \frac{5,97}{0,0127 \cdot 0,090^2} = 58\,000; \quad b = \frac{0,47}{0,0185 \cdot 0,559^2} = 80;$$

$$c = \frac{5,50}{0,0088 \cdot 0,511^2} = 2\,390.$$

Из формулы (142) находим:

$$\beta = 0,83; \quad 1 - \beta = 0,17.$$

Для пучка дымогарных труб конкретизируем формулы (161), (162) и (163):

$$0,17 \left[(8\,400 + 2 \cdot 0,912 \cdot 200)\, 2,3 \lg \frac{1\,100 - 200}{T_з^д - 200} + 2 \cdot 0,912 \cdot (1100 - T_з^д) \right] =$$

$$= K_д \cdot 42,1;$$

$$K_д = (6 + 2,45 \cdot W_д^{0,7}) \cdot \left(\frac{0,0115}{0,0127} \right)^{0,214};$$

$$W_д = \frac{29,27 \quad 2\,464(10 \cdot 1,35 + 1) \left(\frac{1100 + T_з^д + 273}{2} \right)}{10\,330 \cdot 3\,600 \cdot 0,090} \cdot 0,17.$$

Или после упрощения:

$$3427 \lg \frac{900}{T_m^{ж} - 200} + 0,31 (1100 - T_з^д) = 42,1 \cdot K_д;$$

$$K_д = 5,87 + 2,4 \cdot W_д^{0,7};$$

$$W_д = 0,0531 (823 + 0,5 \cdot T_з^д).$$

НТБ ДНУЖТ

Совместное решение этих трех уравнений дает:

$$T_з^{\partial} = 477°;\ W_{\partial} = 56{,}36;\ K_{\partial} = 46{,}22.$$

Тепло, передаваемое через поверхность нагрева дымогарных труб:

$$Q_{\partial} = 0{,}17\,[8\,400\,(1\,100 - 477) + 0{,}912\,(1\,100^2 - 477^2)] = 1\,042\,000\ кал/час.$$

Аналогично имеем для предвключенной поверхности нагрева $H_{ж'}$ жаровых труб:

$$0{,}83\left[20\,160\,\lg\frac{900}{T_A - 200} + 1{,}824\,(1\,100 - T_A)\right] = 15{,}8 \cdot K_{ж'},$$

$$K_{ж'} = 5{,}42 + 2{,}21\quad W_{ж'}^{0,7};$$

$$W_{ж'} = 0{,}0417\,(823 + 0{,}5 \cdot T_A).$$

После решения имеем:

$$T_A = 1\,038°;\ W_{ж'} = 55{,}97;\ K_{ж'} = 42{,}43;\ Q_{ж'} = 534\,000\ кал/час.$$

Переходя к исследованию теплопередачи на остальном протяжении длины жаровых труб, где параллельно с испаряющей расположена и перегревательная поверхность, мы находим возможным несколько упростить методику исследования. Отрешаясь от отдельного последовательного исследования условий тепловой работы газового потока в трубах «первой» и «второй» очереди, мы принимаем некоторые средние условия работы для всего пучка из 130 жаровых труб.

Такое предположение, давая совершенно ничтожный процент неточности результатов (меньше 1%), значительно упрощает решение поставленной задачи.

При этом по схеме уравнений (167)—(171) получаем для всего пучка жаровых труб следующую систему уравнений:

$$(1 - \beta') \cdot \left[16\,730 \lg\frac{1038 - 200}{T_з^{ж} - 200} + 1{,}514\,(1038 - T_з^{ж})\right] = 185{,}2 \cdot K_{ж} \qquad (а)$$

$$K_{ж''} = 6{,}36 + 2{,}6 \cdot W_{ж''}^{0,7}, \qquad (б)$$

$$W_{ж''} - 0{,}0456\,(792 + 0{,}5 \cdot T_з^{ж}), \qquad (в)$$

$$\beta'\left[16\,730 \lg\frac{1038 - \dfrac{200 + t_{п}}{2}}{T_з^{ж} - \dfrac{200 + t_{п}}{2}} + 1{,}514\,(1038 - T_з^{ж})\right] = 134{,}7\quad K_{п}, \qquad (г)$$

$$Q_{п} = \beta'\,[6\,972\,(1038 - T_з^{ж}) + 0{,}757\,(1038^2 - T_з^{ж\,2})]; \qquad (д)$$

определяя $K_{п}$ по эмпирической формуле (159), имеем:

$$K_{п} = \left[6 + 0{,}24\left(\frac{0{,}83 \cdot 2\,464 \cdot 7\,203}{10\,000 \cdot 0{,}511}\right)^{0,7}\right]\quad \left(\frac{0{,}0115}{0{,}0088}\right)^{0,214} = 73{,}52.$$

После этого решение системы предыдущих 5 уравнений способом последовательных подстановок приводит нас к цифре:

$$T_з^{ж} = 336°.$$

НТБ ДНУЖТ

Действительно, подставляя эту температуру в уравнение (в), имеем:

$$W_{ж''} = 43{,}78;$$

из (б) получаем:

$$K_{ж''} = 43{,}00;$$

из (а):

$$\beta' = 0{,}442;$$

из (д):

$$Q_{\text{п}} = 2\,489\,000.$$

Тепло, передаваемое через стенки жаровых труб на длине $L_{ж''}$:

$$Q_{ж''} = Q_{\text{п}} \cdot \frac{1-\beta'}{\beta'} = 2\,489\,000 \cdot \frac{0{,}558}{0{,}442} = 3\,134\,000 \ \textit{кал/час}.$$

Суммарное количество тепла, отдаваемое в котел через испаряющую поверхность нагрева топки, дымогарных и жаровых труб:

$$Q = 6\,218\,000 + 1\,042\,000 + 534\,000 + 3\,134\,000 = 10\,928\,000 \ \textit{кал/час}.$$

Вычитая отсюда тепло, отдаваемое через обшивку во внешнюю среду Q_4 находим:

$$Q_к = 10\,928\,000 - 277\,000 = 10\,651\,000 \ \textit{кал/час}.$$

Это — то тепло, которое расходуется в течение 1 часа на приготовление рабочего пара, с котловым теплосодержанием $\lambda_к$ 625 *кал/кг* из воды с первоначальной температурой в тендере $\tau = 15°$. Отсюда определяем полную часовую продукцию котла:

$$B_к = \frac{10\,651\,000}{625 - 15} = 17\,460 \ \textit{кг/час}.$$

Принимая расход пара на служебные нужды равным 5% от $B_к$, получим полезную паропроизводительность котла:

$$B_т = 0{,}95 \quad 17\,460 = 16\,587 \ \textit{кг/час}.$$

Далее имеем:

$$\Delta\lambda = \lambda_{\text{п}} - \lambda_к = \frac{2\,489\,000}{16\,587} = 150{,}0 \ \textit{кал/кг},$$

откуда

$$\lambda_{\text{п}} = 625 + 150 = 775 \ \textit{кал/кг}$$

и температура пара

$$t_{\text{п}} = 389°.$$

Подставляя в (г) величины $T_э^{ж}$, β' и $t_{\text{п}}$, получаем:

$$K_{\text{п}} = 73{,}06,$$

что весьма близко к полученной ранее контрольной цифре 73,52.

Средняя температура уходящих газов:

$$T_э = 0{,}17 \cdot 477 + 0{,}83 \cdot 336 = 360°.$$

Полезное тепло брутто:

$$Q_1 = 16\,587\,(775 - 15) + (17\,460 - 16\,587) \cdot (625 - 15) = 13\,139\,000 \ \textit{кал/час}.$$

Потеря тепла с уходящими газами:

$$Q_э = 8\,400 \cdot 360 + 0{,}912 \cdot 360^2 = 3\,142\,000 \ \textit{кал/час}.$$

НТБ ДНУЖТ

Пересчитывая полезное тепло и потери в процентах от Q_0, составляем таблицу теплового баланса котла:

$Q_0 = 27730000$	. 100,0%
$Q_1 = 13139000$	47,4%
$Q'_2 = 1185000$	4,3%
$Q''_2 = 9983000$	36,0%
$Q_3 = 3142000$	11,3%
$Q_4 = 277000$	1,0%
Итого — 27726000	. . 100,0%

Полное напряжение поверхности нагрева котла в *кг* нормального пара:

$$Z_{кн} = \frac{17460}{295} \cdot \frac{775}{640} = 71{,}7 \ кг/м^2 \ час.$$

Наблюденные при опытных поездках с паровозом серии «ФД» на той же угольной смеси и при этом же напряжении колосниковой решетки величины[1]:

$$Z_{кн} = 72{,}0 \text{ (у нас} — 71{,}7);$$

$$\eta_к^{брутто} = 0{,}48 \text{ (» » } — 0{,}474);$$

$$T_з^{ж} = 330° \text{ (» » } — 336°);$$

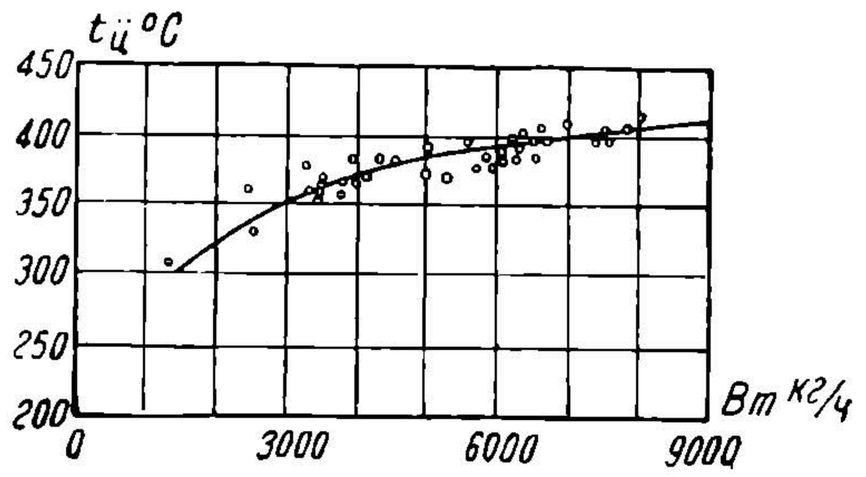
$$t_п = 380° \text{ (» » } — 389°).$$

Это сопоставление показывает полную надежность и высокую степень точности нашей методики теплового расчета паровозного котла и пароперегревателя.

§ 10. Определение поверхности нагрева пароперегревателя

Заданный тепловой эффект пароперегревателя в смысле достижения той или иной степени перегрева пара может быть достигнут при пароперегревателе любой системы, — все дело в числе пароперегревательных элементов, или — в более общем случае — в величине пароперегревательной поверхности.

В доказательство правильности высказанного взгляда приводим на фиг. 259, 260 и 261 опытные данные о температуре перегретого пара в коллекторе у трех паровозов нефтяного отопления, снабженных пароперегревателем системы Шмидта.



Фиг. 259.

У первого паровоза (серии «Н^{П}»), показавшего при опытах температуру перегретого пара до 410°, перегревательная поверхность составляла около 30% от испаряющей ($H_п / H_к = 0{,}30$); паровоз серии «Б», давший перегрев до 340°, имел $H_п / H_к = 0{,}24$; наконец, паровоз серии «Щ^{П}» имел перегреватель всего 19,3%, т. е. $H_п / H_к = 0{,}193$, и дал перегрев лишь в 290°.

Кроме того, все три приведенные планшета показывают, что перегрев пара не является для данного паровоза величиной постоянной, а непрерывно повышается с увеличением форсировки котла. Этого и следовало ожидать, так как с увеличением часового расхода пара возрастают скорости протекания газов, а следовательно и величины коэфициентов теплопередачи: кроме того, повышаются и температуры омывающих перегревательные элементы газов.

Наконец, третьим фактором, влияющим на величину перегрева, является та начальная влажность, с которой пар поступает в элементы пароперегревателя.

---

[1] «Результаты опытов над первым паровозом типа 1-5-1 серии «ФД», Москва, 1933 г., фиг. 32 и 33.

НТБ ДНУЖТ

Исследуя в предыдущих главах работу жаротрубных пароперегревателей, мы видели, что при начальной влажности пара в 5% около четверти всей поверхности перегревательных трубок работает, собственно, как осушитель пара, продолжая и заканчивая работу котла. Между тем при условии поступления в пароперегреватель сухого насыщенного пара все тепло, сообщаемое пару в перегревателе, пошло бы на повышение его температуры, и конечный перегрев получился бы гораздо выше.

Сравнивая формулу теплосодержания насыщенного и перегретого пара

$$\lambda_k = q_k = r \cdot x_k,$$

$$\lambda_п = 594{,}7 + 0{,}477 \cdot t_п - I \cdot p,$$

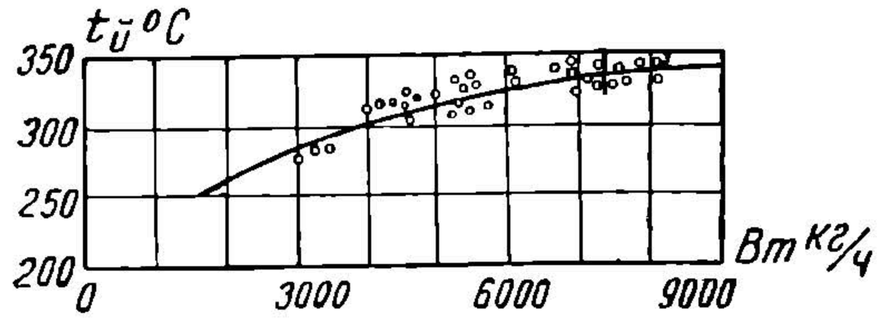
можно считать, что в пределах колебания давления пара от 12 до 16 *ат* величина скрытой теплоты парообразования r может быть принята равной 475 калорий, и, следовательно, испарение каждого процента влаги сопряжено с затратой тепла:

$$\frac{475}{100} = 4{,}75 \ кал.$$

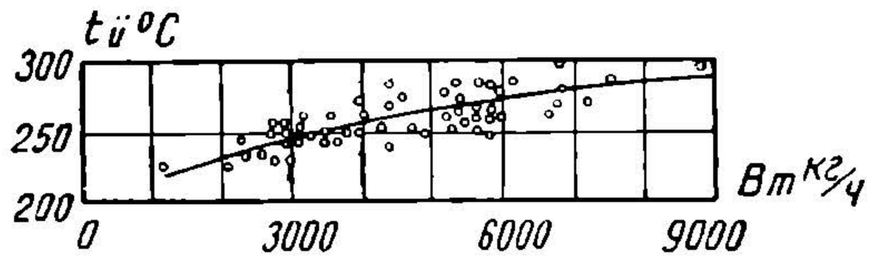
Что касается перегретого пара, то, пренебрегая влиянием члена $I.\ p$, вообще весьма незначительным, можно считать, что для повышения температуры перегретого пара на 1° затрачивается

0,477 *кал.*

Таким образом с точки зрения затраты тепла 1% влаги, содержащейся в паре, эквивалентен 10° температуры. Отсюда ясно, какое громадное влияние ока-



Фиг. 260.



Фиг. 261.

зывает влажность пара на конечную температуру перегрева и насколько важно при проектировании и эксплуатации паровоза принимать все возможные меры к уменьшению влажности.

Из этих мер в руках конструктора находятся следующие:

1) Устраивать забор пара из котла в пункте с наиболее спокойным парообразованием, т. е. как можно дальше от огневой коробки. Правда, здесь существует и иное авторитетное мнение: считая что колебания уровня воды в котле, вследствие качки во время хода паровоза, происходят около средней точки по длине зеркала воды, в Америке признают наиболее рентабельной установку сухопарного колпака на середине длины котла, где вероятность захлебывания его водой будет минимальная. Правоту того или иного мнения можно, конечно, установить только опытом.

2) Возможно большее удаление устья регуляторной трубы от зеркала воды, чем отчасти и оправдывается устройство сухопарника.

3) Постановка специальных паросушителей в сухопарном колпаке.

Учитывая все сказанное о влиянии влажности, мы приходим к выводу, что одна температура перегретого пара еще не дает исчерпывающего представления о тепловой работе пароперегревательного аппарата, почему этот фактор ($t_п$) и надлежит заменить более общим, представляющим собой разность теплосодержания пара в котле и в коллекторе перегревателя ($\Delta\lambda$).

Итак, на перегрев пара ($\Delta\lambda$) влияют величина отношения $H_п / H_к$ и полезная форсировка котла Z_m. Но кроме этих основных факторов, имеется еще целый ряд других: диаметры труб — жаровых, дымогарных и перегревательных,

НТБ
ДНУЖТ

к. п. д. котла и т. д. Поэтому дать общую расчетную формулу для определения необходимой и достаточной величины $H_{ü}$ для достижения заданного перегрева $t_{ü}$ (или $\Delta\lambda$) — чрезвычайно трудно.

Тем не менее установить характер основной зависимости

$$\Delta\lambda = f\left(Z_m, \frac{H_{ü}}{H_к}\right) \tag{190}$$

необходимо, и это мы постараемся сделать, пользуясь для поставленной цели тем же методом исследования, который мы неоднократно применяли в предыдущих главах, и выбирая в качестве конкретного примера паровоз 1-5-0, основные размеры которого даны в главе IV.

На фиг. 262—266 даны 5 вариантов разбивки труб для котла рассматриваемого паровоза. Проводя полное исследование работы каждого из вариантов, подобно тому, как это сделано в главе IV, получаем результаты, сведенные в табл. 30.

Таблица 30

Вариант	I	II	III	IV	V
Число жаровых труб . .	10	28	48	76	80
Число дымогарных труб	399	312	218	104	0
Система пароперегревателя .	Шмидт	Шмидт	Шмидт	Шмидт	Шмидт
B_h .	1 990	1 990	1 990	1 990	1 990
B'_h	1 573	1 573	1 573	1 573	1 573
$H_к$.	373,4	340,3	305,8	272,0	199,1
$Hü$ . .	21,0	58,9	100,9	159,8	172,3
$Hü\ /H_к$.	0,056	0,173	0,330	0,588	0,865
β .	0,105	0,295	0,505	0,773	1
T_2 . .	1 080°	1 080°	1 080°	1 080°	1 080°
$T_{A_д}$ . .	1 009°	1 007°	1 011°	1 010°	1 017°
$T_з$.	379°	380°	380°	376°	—
$T_з$.	276°	294°	319°	344°	379°
$T_з$.	367°	355°	349°	351°	379°
β' . .	0,664	0,618	0,568	0,512	0,486
$Qü$ . .	314 000	799 000	1 226 000	1 628 000	1 961 000
B_m . .	13 120	12 380	11 700	10 895	10 680
$\Delta\lambda$ . .	23,9	64,6	104,8	149,5	183,6
$\lambda_ü$.	669,9	710,6	751,8	795,5	829,6
$t_ü$	197°	267°	344°	430°	499°
$\eta_к$ . . .	56,9%	57,4%	57,9%	57,6%	59,1%
$B_m/N_к$ . . .	13,80	11,35	8,84	6,40	—
$B_h/N_к$ . .	2,092	1,826	1,503	1,170	—
η . .	4,31%	4,95%	6,01%	7,72%	—

На фиг. 267 нанесена по результатам проведенного обследования зависимость:

$$\Delta\lambda = f\left(\frac{H_{ü}}{H_k}\right),$$

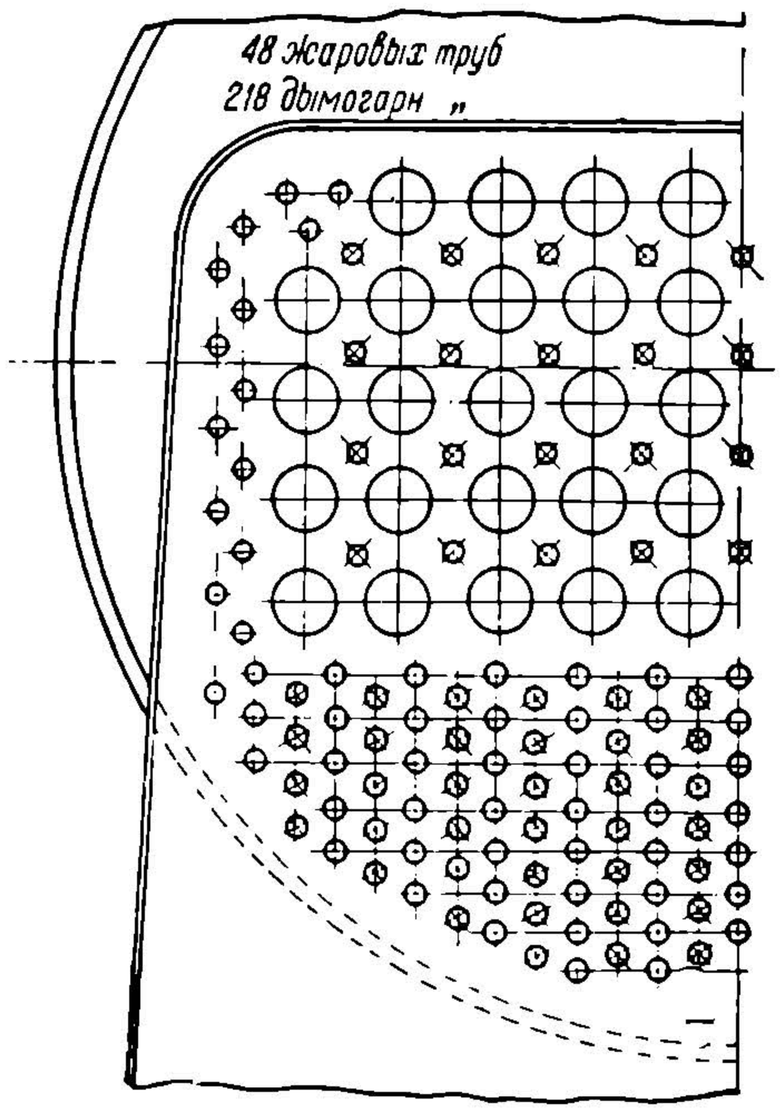
причем кривая, достаточно близко выражающая для нашего частного случая эту зависимость, имеет уравнение:

$$\Delta\lambda = 204\left(\frac{H_{ü}}{H_k}\right)^{0,6}$$

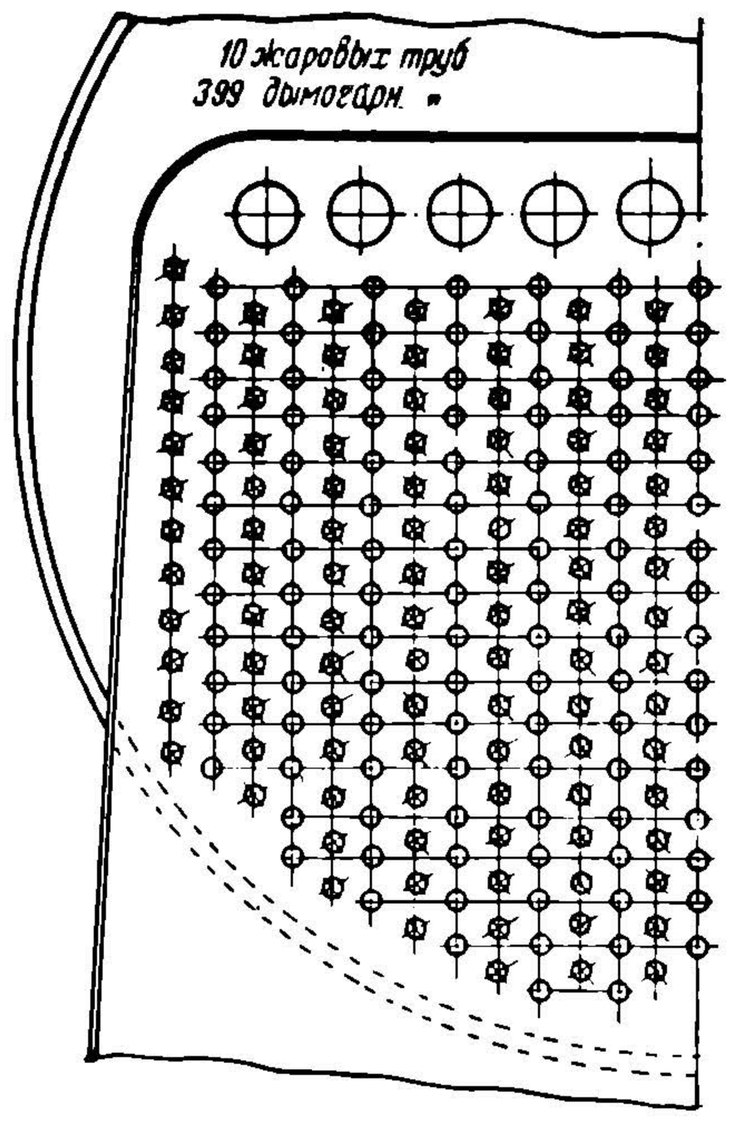
или

$$\Delta\lambda = 0{,}127\,(\lambda_k - \vartheta)\cdot Z_m^{0,3}\quad\left(\frac{H_{ü}}{H_k}\right)^{0,6}$$

НТБ ДНУЖТ



Фиг. 262.



Фиг. 263.

Фиг. 264.

Фиг. 265.

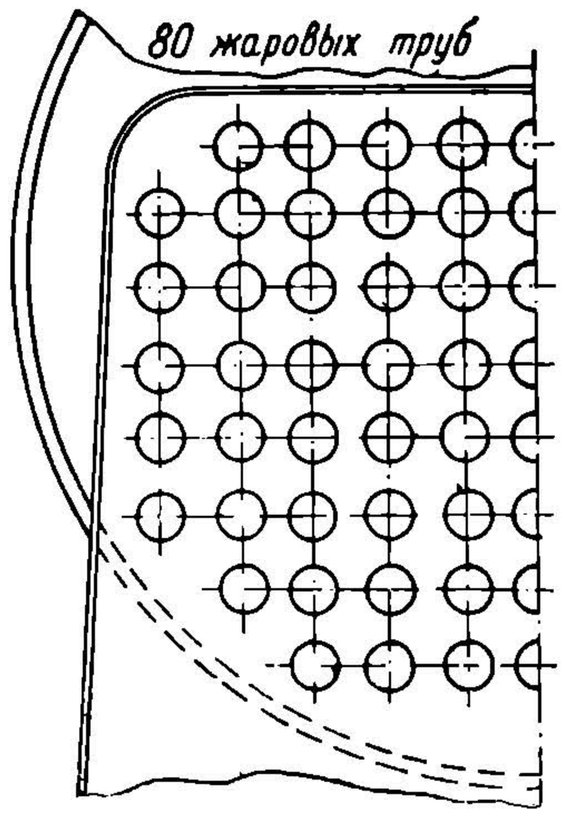
НТБ
ДНУЖТ

Для любой системы пароперегревателя и любых условий его работы будем иметь:

$$\Delta\lambda = \xi(\lambda_k - \vartheta) \cdot Z_m^{0,3} \left(\frac{H_ц}{H_k}\right)^{0,6} \qquad (191)$$

откуда

$$H_ц = \psi \left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda_k - \vartheta}\right)^{1,67} \cdot \frac{H_k}{\sqrt{Z_m}}. \qquad (192)$$



Фиг. 266.

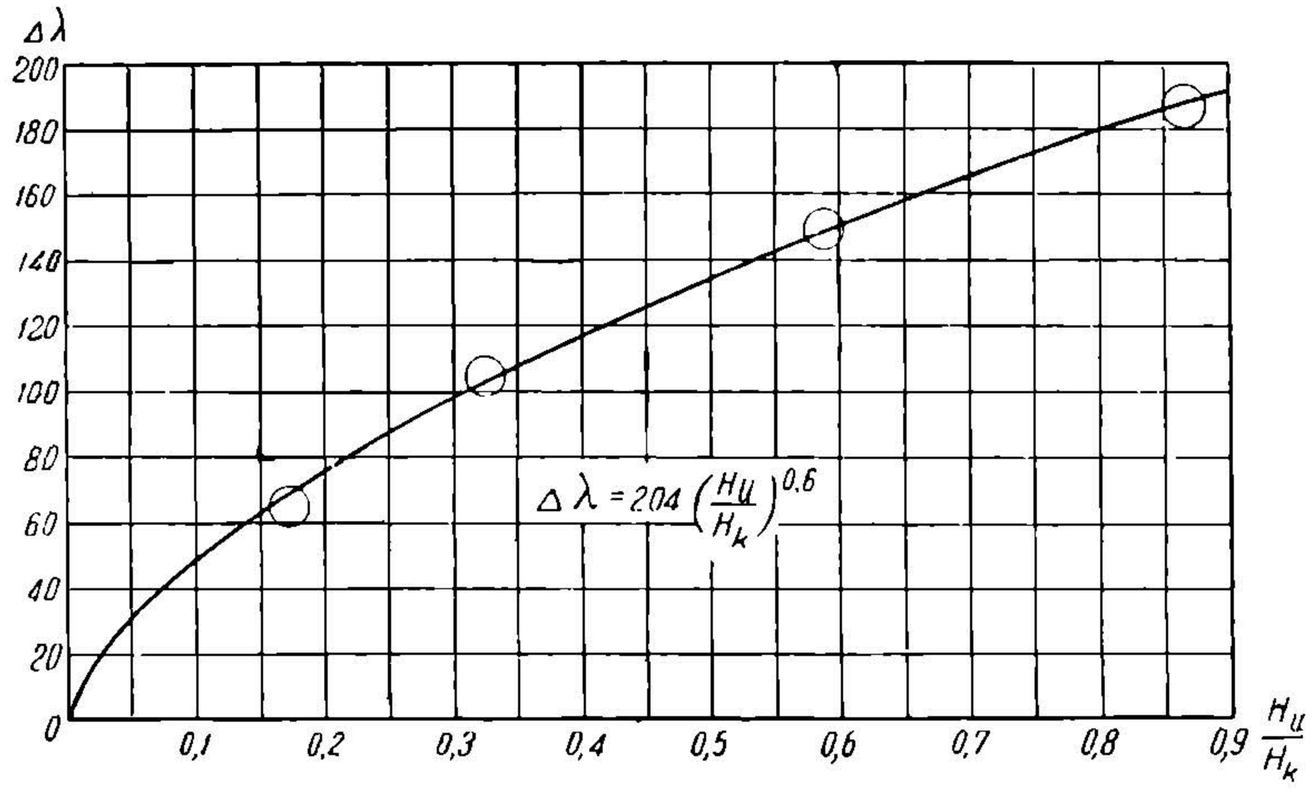
Коэфициенты ξ и ψ имеют различные значения в зависимости от размера труб — дымогарных, жаровых и перегревательных.

Коэфициенты эти связаны между собой зависимостью $\psi - \frac{1}{\xi^{3/_0}}$.

Из формулы (191) имеем:

$$\xi = \frac{\Delta\lambda}{(\lambda_k - \vartheta) \cdot Z_m^{0,3} \cdot \left(\frac{H_ц}{H_k}\right)^{0,6}}. \qquad (193)$$

Подсчитанные по этой формуле значения ξ для разных систем пароперегревателей и размеров дымогарных, жаровых и перегревательных труб нанесены на фиг. 268, по которой и можно брать величину этого коэфициента при определении размеров перегревательной поверхности для вновь строящихся паровозов. Приведенная фигура показывает, что основной фактор, влияющий на величину ξ, являющуюся показателем термической мощности пароперегревателя,— отношение гидравлических радиусов площадей сечения жаровых и дымогарных труб. Таким образом система пароперегревателя сама по себе не влияет заметно на его термическую эф-



Фиг. 267.

фективность: дело не в системе, а в надлежащем подборе размеров дымогарных, жаровых и перегревательных труб, обеспечивающем достаточно большую величину отношения $\frac{r_{ж''}}{r_д}$.

Кроме этого основного фактора, на величину ξ оказывают некоторое влияние длина труб L и величина отношения $H_к/R$. Данные фиг. 268 относятся к ве-

НТБ ДНУЖТ

личине $L = 5{,}15$ *м* и $H_к/R = 53{,}7$. При других значениях этих величин закон изменения

$$\xi = f(L) \text{ и } \xi = \varphi\left(\frac{H_k}{R}\right)$$

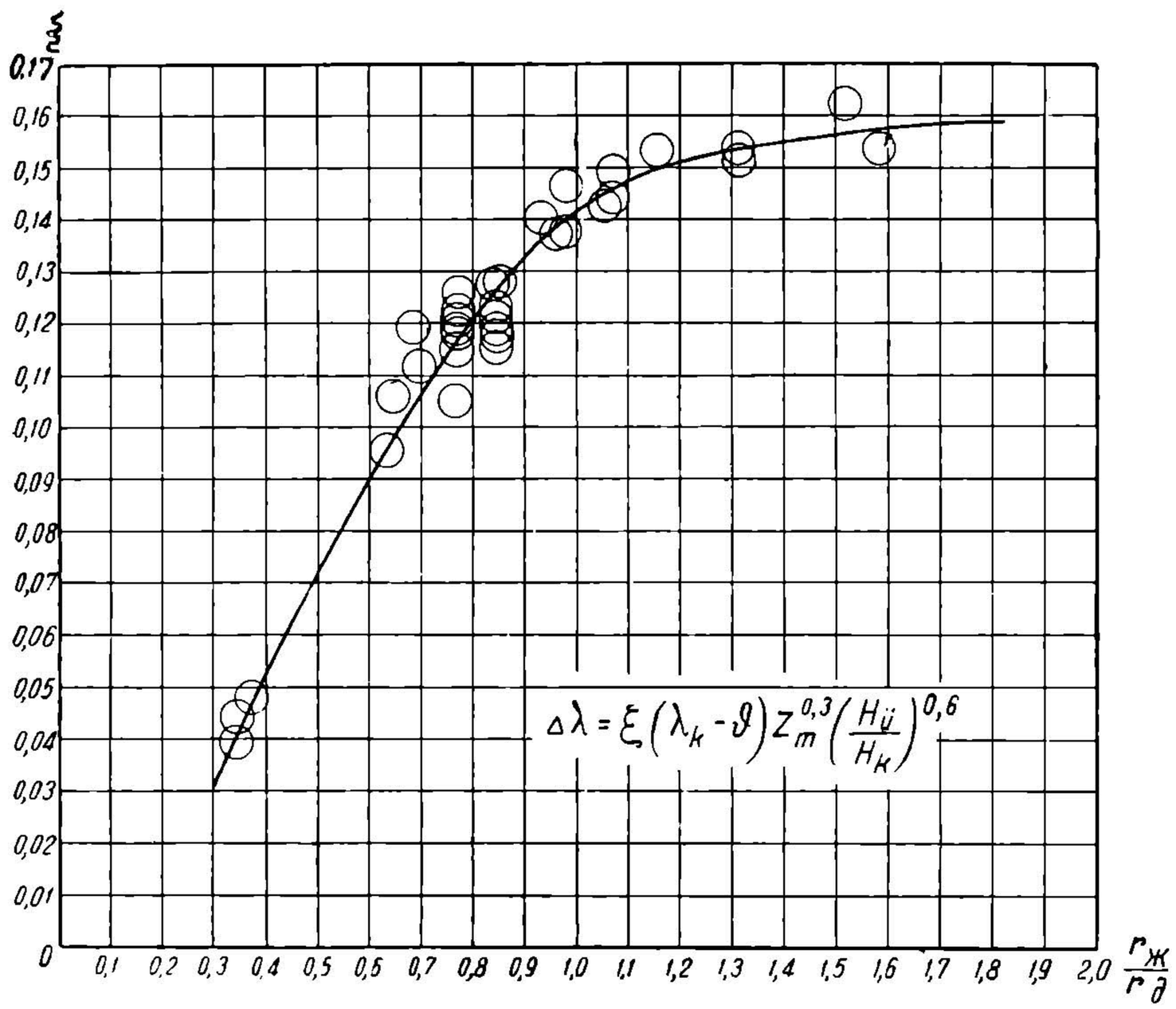
представлен на фиг. 269 и 270.

Данные о величине коэфициента ψ приведены на фиг. 271.

Пример пользования расчетными графиками при проектировании нового паровоза.

Объект проектирования: паровозный котел на 15 000 *кг/час* полезной паропроизводительности; температура перегретого пара $t_п = 400°$; рабочее давление пара $P_к = 17$ *ат*; влажность котлового пара — 7%; температура питательной воды $\vartheta = 80°$. Из весовых и теплотехнических соображений выбраны величины полной поверхности нагрева котла и площади колосниковой решетки:

$$H = H_k + H_п = 500\ м^2; \quad R = 8\ м^2.$$



Фиг. 268.

Намечено: $L = 6{,}5$ *м*; $d_д = 57 \times 51$ *мм*; $d_ж = 152 \times 143$ *мм*; пароперегреватель Чусова с диаметром трубок

$$d_п = 29 \times 23\ мм.$$

Подсчитываем:

$$\lambda_k = 207 + 464{,}8\,(1 - 0{,}07) = 639\ кал/кг;$$
$$\lambda_п = 780\ кал/кг;$$
$$\Delta\lambda = 141\ кал/кг;$$

$$r_{ж''} = 0{,}01215\ м;\ r_д = 0{,}01275\ м;\ \frac{r_{ж''}}{r_д} = 0{,}953.$$

По фиг. 268 для $\frac{r_{ж''}}{r_д} = 0{,}953$, $L = 5{,}15$ *м* и $H_k/R = 53{,}7$ имеем:

$$\xi = 0{,}137.$$

НТБ ДНУЖТ

Поправка на L:

По фиг. 269 для $L = 5{,}15$ *м* и $6{,}5$ *м* имеем значения ξ: 0,1250 и 0,1215. Следовательно, поправочный множитель составляет:

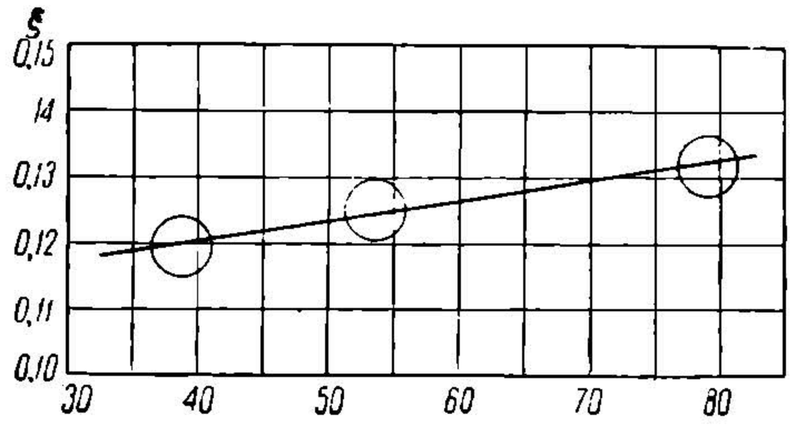
$$\frac{0{,}1215}{0{,}1250} = 0{,}972.$$

Поправка на $\frac{H_k}{R}$:

Задаемся предварительно $\frac{H_k}{R} = 45$. По фиг. 270 для $\frac{H_к}{R} = 53{,}7$ и 45,0 имеем значения ξ: 0,1250 и 0,1220.



Фиг. 269.



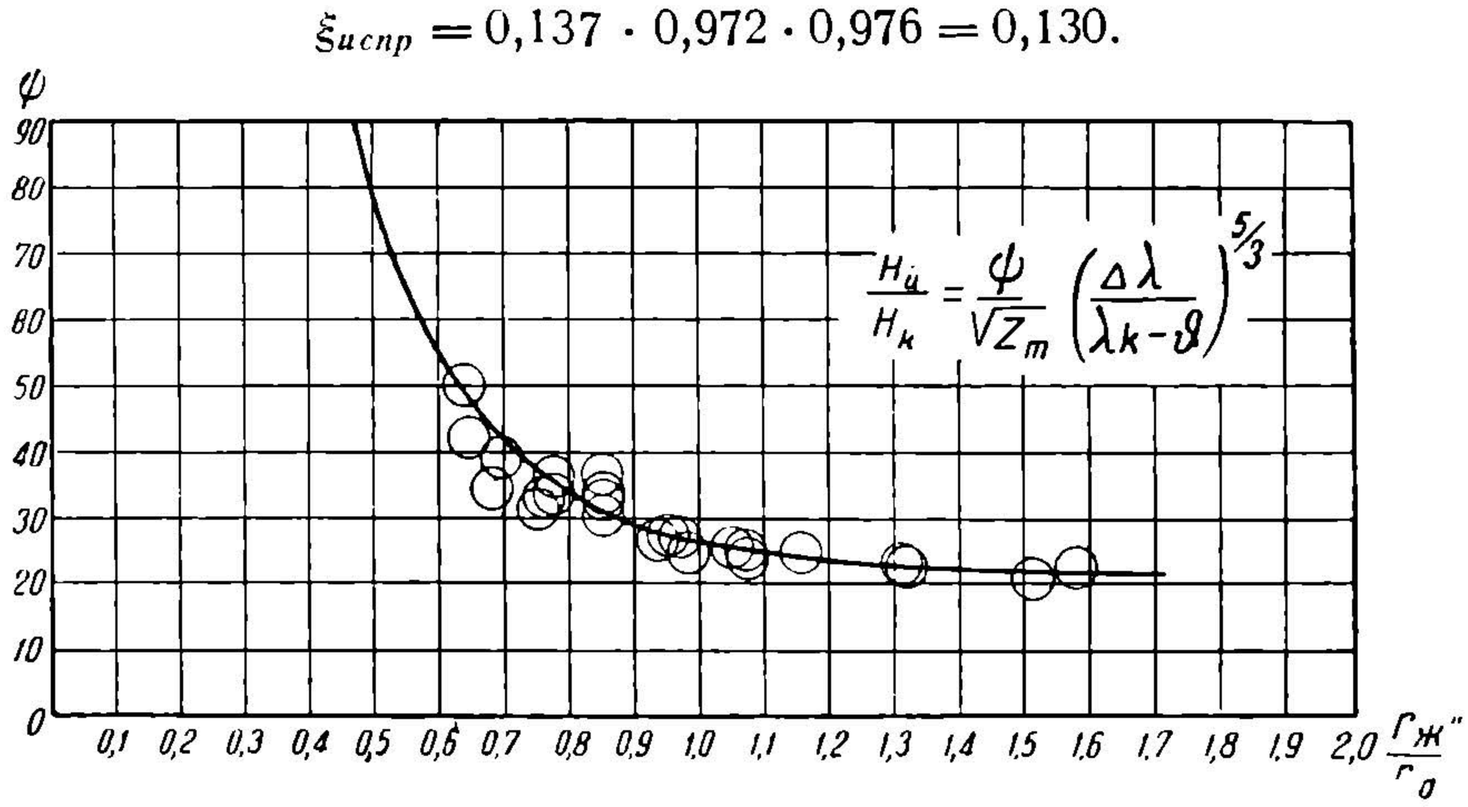
Фиг. 270.

Поэтому поправочный множитель:

$$\frac{0{,}1220}{0{,}1250} = 0{,}976.$$

Исправленное значение ξ:

$$\xi_{испр} = 0{,}137 \cdot 0{,}972 \cdot 0{,}976 = 0{,}130.$$



Фиг. 271.

Задаваясь предварительно $Z_m = 40$ и подставляя в (191) цифровые значения величин: $\Delta\lambda$, ξ, λ_k, ϑ и Z_m, имеем:

$$141 = 0{,}130\,(639 - 80)\,40^{0{,}3} \cdot \left(\frac{H_и}{H_k}\right)^{0{,}6},$$

откуда

$$\frac{H_и}{H_k} = 0{,}478.$$

Зная, что $H_и + H_k = 500$, находим:

$$H_и = 338\ м^2 \text{ и } H_и = 162\ м^2.$$

НТБ ДНУЖТ

Отсюда: $\frac{H_k}{R} = \frac{338}{8} = 42{,}2$ (задавались 45);

$$Z_m = \frac{15000}{338} = 44{,}4 \text{ (задавались 40).}$$

Ввиду полученного расхождения цифр перезадаемся:

$$\frac{H_k}{R} = 42 \text{ и } Z_m = 44.$$

По фиг. 270:

$$\text{при } \frac{H_k}{R} = 53{,}7 \quad \xi = 0{,}1250;$$

$$\text{при } \frac{H_k}{R} = 42 \quad \xi = 0{,}1210;$$

поправочный множитель: $\frac{0{,}1210}{0{,}1250} = 0{,}968.$

Исправленное значение ξ:

$$\xi_{испр} = 0{,}137 \cdot 0{,}972 \cdot 0{,}968 = 0{,}129.$$

Подставляя в (191), имеем:

$$141 = 0{,}129\,(639 \quad 80) \cdot 44^{0{,}3} \quad \left(\frac{H_{\text{п}}}{H_k}\right)^{0{,}6}$$

откуда

$$\frac{H_{\text{п}}}{H_k} = 0{,}461; \; H_k = 342\ м^2; \; H_{\text{п}} = 158\ м^2.$$

Проверка дает:

$$\frac{H_к}{R} = \frac{342}{8} = 42{,}7;$$

$$Z_m = \frac{15000}{342} = 43{,}9.$$

Дальнейшего уточнения, конечно, не требуется. Табл. 31 дает сводку цифровых значений коэфициентов ξ и ψ для разных значений отношения $\frac{r_{ж''}}{r_0}$.

Таблица 31

$\frac{r_{ж''}}{r_0}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
.	0,0600	0,0820	0,1000	0,1140	0,1245	0,1340	0,1415
.	108,7	67,6	46,4	37,3	32,2	28,5	26,0

Продолжение таблицы 31

$\frac{r_{ж''}}{r_0}$	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
ξ . .	0,1472	0,1515	0,1542	0,1560	0,1577	0,1590
ψ .	24,4	23,2	22,6	22,1	21,7	21,4

НТБ ДНУЖТ

§ 11. Мятие пара в перегревателе

Для уменьшения потери давления пара при протекании по системе: регуляторная труба — коллектор — элементы перегревателя— коллектор — золотниковая коробка, — пароперегреватель должен удовлетворять следующим условиям:

1) достаточно большая площадь сечения для прохода пара;

2) возможно большая величина среднего гидравлического радиуса парового сечения;

3) возможно меньшее число крутых поворотов паровой струи;

4) плавность изменения сечения;

5) гладкая внутренняя поверхность перегревательных трубок.

Сопротивление протеканию пара по трубе (или системе труб) слагается из: 1) сопротивления трения на всем протяжении трубы (основное сопротивление) и 2) местных сопротивлений.

Ввиду значительной длины перегревательных трубок и небольшого их диаметра основное сопротивление во всех системах жаротрубных паровозных пароперегревателей преобладает над местными сопротивлениями. Для определения величины основного сопротивления служит формула:

$$S = П \cdot L \cdot \gamma \cdot \rho \cdot \frac{W^2}{g}, \qquad (194)$$

где S — сопротивление, выраженное в *кг*, т. е. представляющее как бы некоторую силу, действие которой приходится преодолевать пару при движении по трубопроводу; $П$ — периметр внутреннего сечения трубы; L — длина трубопровода; γ — средний удельный вес протекающего по трубопроводу газа или жидкости; W — средняя скорость протекания; g — ускорение силы тяжести; ρ — коэфициент сопротивления, определяемый из опыта.

В случае протекания по трубопроводу с площадью сечения $\Omega м^2$ пара давления P *кг/м*², движущая сила равна, очевидно,

$$Q \cdot \Omega \, кг.$$

а сила сопротивления

$$S = \frac{S}{\Omega} \cdot \Omega \ кг;$$

следовательно, избыток движущей силы над сопротивлением, расходуемый на передвижение паровой струи, будет равен:

$$P \cdot \Omega - \frac{S}{\Omega} \Omega = \left(P - \frac{S}{\Omega} \right) \Omega \ кг;$$

иными словами, пар придет к концу трубопровода с давлением:

$$P' = \left(P - \frac{S}{\Omega} \right) кг/м^2$$

и потеря давления составляет:

$$\Delta P = \frac{S}{\Omega} \ кг/м^2.$$

На основании формулы (194) имеем:

$$\Delta P = \frac{П}{\Omega} \cdot \frac{L \cdot \gamma \cdot \rho}{10\,000} \cdot \frac{W^2}{2g} \ кг/см^2. \qquad (195)$$

Для определения величины коэфициента ρ было произведено много опытов, из которых наибольшего внимания заслуживают опыты Дарси, Вейсбаха и Ланга — над протеканием жидкостей, Фрицше — над протеканием газов и паров, Гутермута — над протеканием насыщенного водяного пара.

НТБ ДНУЖТ

При исследовании явления мятия пара Фрицше исходил из несколько иной формулы, которая может быть получена из (195), полагая

$$\frac{\rho \cdot 4 \cdot 1000}{2g} = \beta,$$

после чего

$$\Delta P = \beta \cdot \frac{\Pi}{\Omega} \cdot \frac{L \cdot \gamma}{4 \cdot 1000} \cdot W^2,$$

или, заменяя $\frac{\Omega}{\Pi}$ через r — (средний гидравлический радиус):

$$\Delta P = \frac{\beta}{1000} \cdot \frac{L \cdot \gamma}{4r} \quad W^2. \tag{196}$$

Для величины β Фрицше дает зависимость:

$$\beta = 3{,}044 \frac{d^{0{,}027}}{G^{0{,}148}}, \tag{197}$$

где d — диаметр трубы в *м*, а G — вес пара в *кг*, протекающего по трубе в течение 1 часа. Размер d влияет на β в весьма слабой степени:

при $d = 0{,}010$ имеем $d^{0{,}027} = 0{,}883$,
» $d = 0{,}020$ » $d^{0{,}027} = 0{,}900$,
» $d = 0{,}030$ $d^{0{,}027} = 0{,}909$.

Поэтому для перегревательных трубок можно принять с вполне достаточной для практики точностью

$$d^{0{,}027} = 0{,}9,$$

и формула (197) принимает вид:

$$\beta = \frac{2{,}74}{G^{0{,}148}}. \tag{198}$$

Для учета местных сопротивлений пользуются обычно методом определения «эквивалентной длины», т. е. такой длины прямой трубы данного сечения, сопротивление на протяжении которой было бы равно рассматриваемому местному сопротивлению.

Напишем формулу (196) в несколько ином виде, заменяя $\frac{\Omega}{\Pi}$ через r и полагая $4\ \rho.\gamma = \lambda$:

$$\Delta P = \lambda \frac{L}{4r} \cdot \frac{W^2}{2g} \tag{199}$$

или на 1 *пог. м* длины прямой трубы:

$$\Delta P = \frac{\lambda}{4r} \cdot \frac{W^2}{2g} = \xi \cdot \frac{W^2}{2g}, \tag{200}$$

где $\xi = \frac{\lambda}{4r}$ есть так называемый коэфициент сопротивления.

Величина λ для труб малого диаметра, с которыми приходится иметь дело в паровозных пароперегревателях, определяется по формуле Вейсбаха:

$$\lambda = 0{,}0143 + \frac{0{,}01037}{\sqrt{W}}. \tag{201}$$

Каждое отдельное местное сопротивление характеризуется величиной коэфициента ξ', причем величина отношения $\frac{\xi'}{\xi}$ дает, очевидно, длину прямого участка трубы, эквивалентную рассматриваемому местному сопротивлению.

НТБ ДНУЖТ

Приводим данные для оценки величины ξ'

1) Внезапное расширение или сужение трубы (фиг. 272, *а*):

$$\xi' = \left(1 - \frac{\omega}{\Omega}\right)^2$$

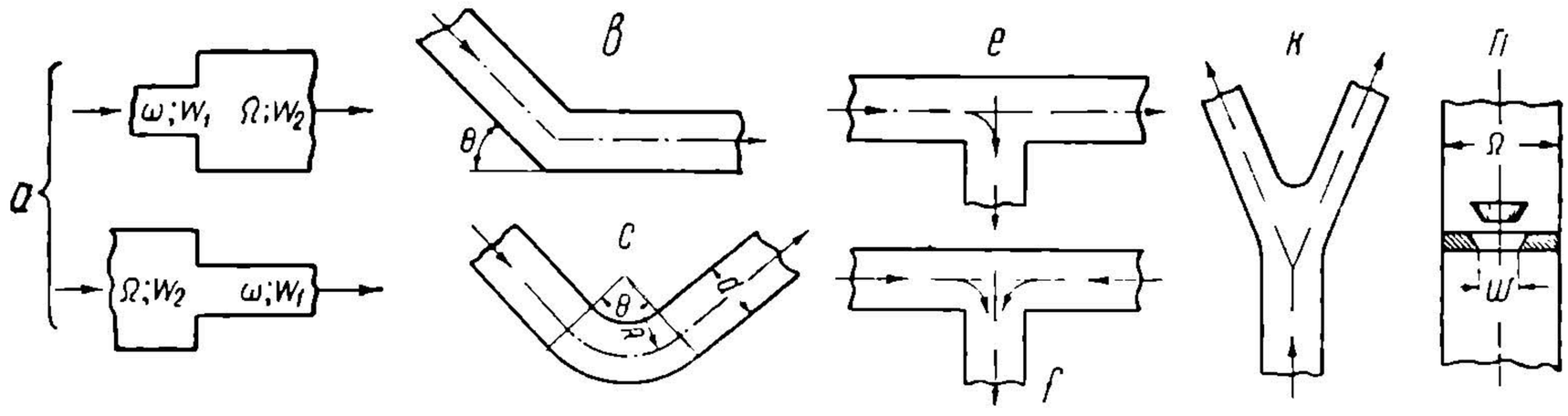
2) Резкий поворот струи (фиг. 272, *в*):]

$$\xi' = 0{,}9457 \sin^2 \frac{\Theta}{2} + 2{,}047 \sin^4 \frac{\Theta}{2}$$

3) Закругленный поворот струи (фиг. 272, *с*):

$$\xi' = \left[0{,}13 + 0{,}16 \left(\frac{d}{R}\right)^{3{,}5}\right] \cdot \frac{\theta}{90}$$

4) Тройник со сквозным протеканием (фиг. 272, *е*): в прямом направлении $\xi' = 1$, в ответвленном направлении $\xi' = 1{,}5$.



Фиг. 272.

5) Тройник со встречным потоком (фиг. 272, *f*):

$$\xi' = 3{,}0.$$

6) Развегвление (фиг. 272, *k*):

$$\xi' = 1{,}0.$$

7) Клапан (фиг. 272, *n*):

$$\xi' = \left(1{,}537 \frac{\Omega}{\omega} - 1\right)^2$$

При этом надо иметь в виду, что при оценке величины падения давления по формуле (200) в нее подставляется вместо W скорость непосредственно за рассматриваемым местным сопротивлением.

После учета всех местных сопротивлений находим полную приведенную длину трубы:

$$L_i = L + \Sigma L_э = L + \sum \frac{\xi'}{\xi}.$$

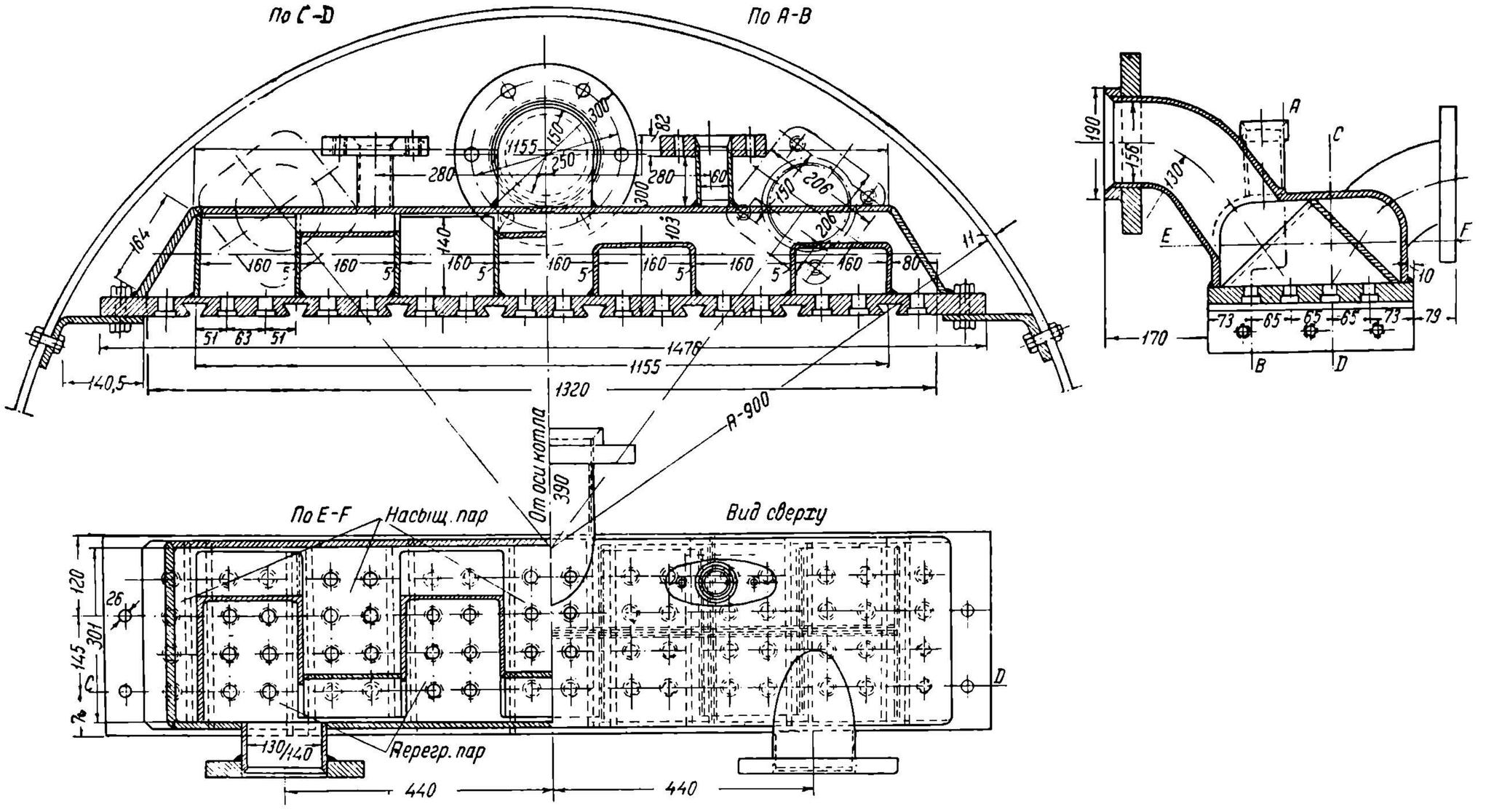
Подставляя, наконец, величину L_i вместо L в формулу (196), получаем искомое (ожидаемое) падение давления в паропроводе — ΔP *кг/м*^{2}.

§ 12. Конструкции перегревательных коллекторов

Коллектор пароперегревателя размещается в дымовой коробке. К нижней плите коллектора, имеющей сверленые отверстия, крепятся элементы. Внутри коллектора располагаются перегородки, разграничивающие одна от другой камеры насыщенного и перегретого пара.

До недавнего времени исключительным материалом, из которого изготовлялся коллектор, было стальное литье (Стл.-1, ОСТ 791) или чугунное литье (Чл.-1, ОСТ 970). В последнее время на паровозах серий «Э^м», «С^у» и «СО»

НТБ ДНУЖТ

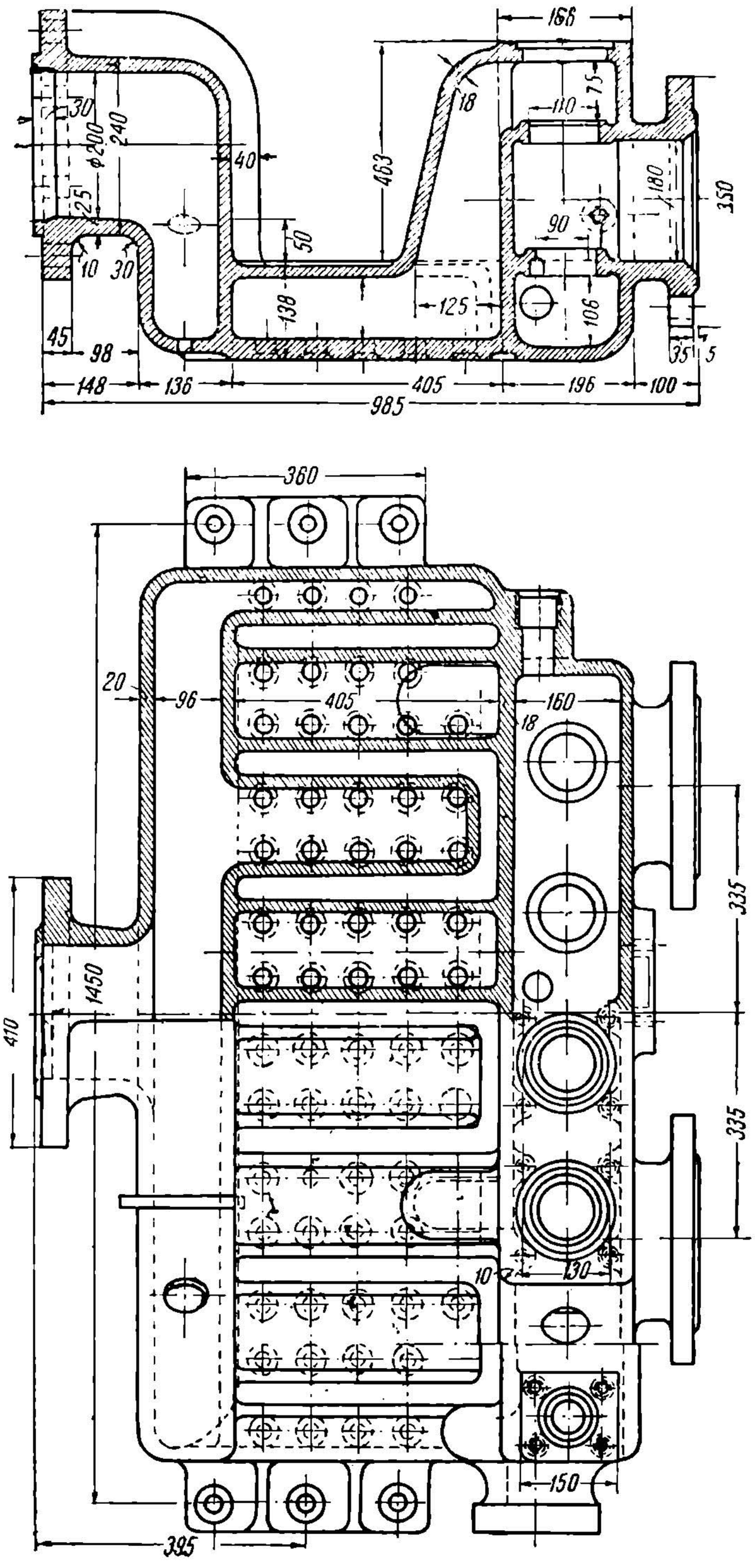


Фиг. 273.

НТБ ДНУЖТ

получили большое распространение цельносварные коллекторы, показанные на фиг. 273.

Здесь перегородками между камерами являются свернутые в П-образную форму трапецоидальные и простые прямоугольные пластины. Основой коллектора является солидная пластина толщиной 30 *мм*, к которой привариваются свернутые и прямые пластинки, накрываемые сверху двумя загнутыми навстречу одна другой (в виде уголков) большими длинными пластинами, образующими верхнюю и боковые наружные стенки корпуса. Материал — Ст.-3, ОСТ 4125. Показанный на чертеже сварной коллектор весит всего 203 *кг* (литой коллектор паровозов серии «Эм» весит 370 *кг*).



Фиг. 274.

Коллекторы мощных паровозов, как мы уже знаем, отливаются за одно целое с корпусом многоклапанного регулятора. Материал, как правило, — Чл.-1. Коллектор мощного паровоза в применении к паровозам серий «ФД» и «ИС» показан на фиг. 274.

Согласно ОСТ 1453 коллектор испытывается гидравлическим давлением в 30 *ат*. Кроме того, непроницаемость каждой камеры проверяется давлением в 5 *ат*.

§ 13. Конструкции перегревательных элементов

Основные сведения об элементах Шмидта, Чусова и Элеско

Как указано раньше, на паровозах пользуются почти исключительным распространением элементы трех названных систем. Старейшим из них и до сих пор конкурентоспособным является элемент Шмидта, схематическое расположение которого показано на фиг. 275.

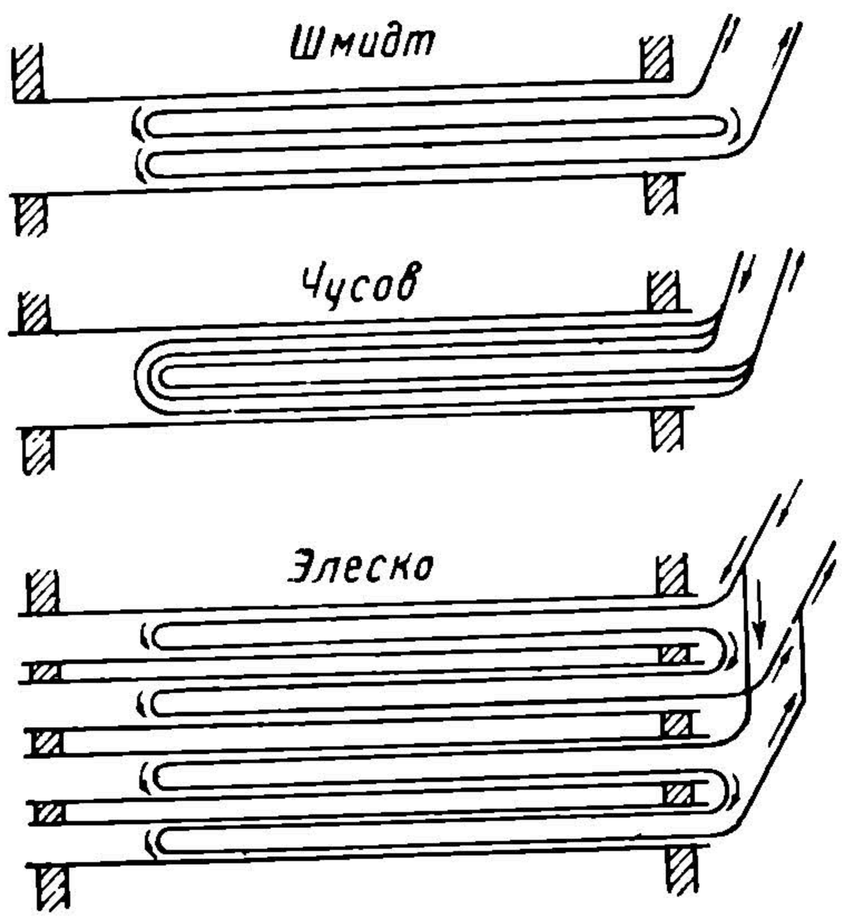
НТБ ДНУЖТ

Элемент Шмидта — четырехтрубный, двухоборотный, так как в жаровой трубе расположены четыре элементных трубки, причем пар делает в жаровой трубе два оборота (две петли).

Элемент Чусова — шеститрубный, однооборотный, труба от коллектора перед самым входом в жаровую трубу разветвляется на три тонких трубки; по всем трем мы имеем параллельное движение пара. Сделав один оборот (одну петлю), трубки по выходе из жаровой трубы соединяются опять в одну трубу, присоединяемую к коллектору.

Элементы Чусова, раздробляющие струю пара на три тонких струи, дают более высокий перегрев, но применяемый на наших старых паровозах малый диаметр трубок обусловливает их сравнительно быстрое закипание и перегорание, в особенности при жесткой воде.

Этот недостаток элементов Чусова оказался настолько серьезным, что перегреватели этой системы перестали применяться на вновь строящихся паровозах и не имеют места как при применении конденсации отработавшего пара, так и при увеличенных размерах сечения трубок.



Фиг. 275.

В США фирмой «Элеско» был предложен элемент (названный по имени фирмы), размещенный в четырех жаровых трубах, но имеющий в каждой трубе только по одной петле. Заметим, что для ясности схемы все четыре жаровых трубы расположены в одной плоскости. Рассматривая элемент Элеско, мы видим, что здесь он выполнен как бы дублированным, причем каждая половина элемента представляет собой разновидность элемента Шмидта, расположенного в двух жаровых трубах. Элемент Элеско может быть назван восьмитрубным двухоборотным элементом, размещающимся в четырех жаровых трубах. Именно в таком выполнении эти элементы получили значительное распространение в США и на наших мощных паровозах серий «ФД» и «ИС».

Стремление повысить экономичность паровозов, и в особенности мощных, заставляет изыскивать для них новые разновидности перегревательных элементов — типа Шмидта или, лучше, Чусова с измененными размерами (Л-40). Широкотрубные перегреватели у мощных паровозов имеют увеличенные размеры элементных трубок (долговечность) и по всем признакам являются наиболее рациональными. Приступлено к выпуску паровозов серии «ФД» с перегревателем Л-40.

В заключение укажем, что ведомственным стандартом НКПС предусматриваются только три стандартных $\left(\frac{\text{ОСТ-6952}}{\text{НКПС-92}}\right)$ диаметра элементных труб: 29×23, 35×28 и 38×31 *мм*. Материал — мягкая мартеновская сталь по $\frac{\text{ОСТ } 6388}{\text{НКТП } 27}$

Устройство элементов

Общее расположение элементов системы Чусова в применении к паровозам серии «Э^{м}» показано на фиг. 4; передние концы элементов Элеско в применении к паровозам серий «ФД» и «ИС» показаны на фиг. 194. Элемент Элеско для этих же паровозов показан на фиг. 276.

Фиксирование расстояний между элементными трубами и общего положения их в жаровой трубе производится различными типами скобок и распорок.

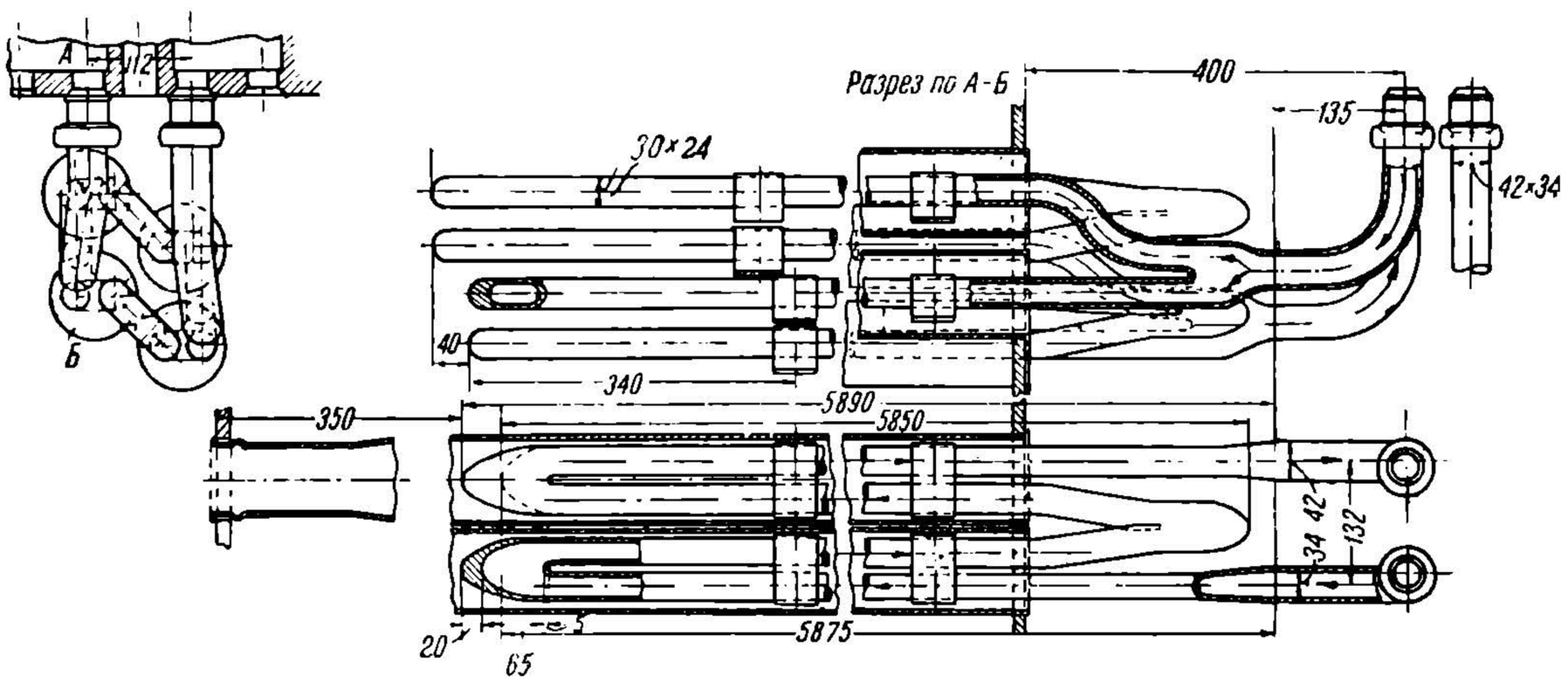
По длине элементы не доходят до заднего конца жаровой трубы примерно на 0,35—0,4 *м*, причем задние петли элементных труб делаются несколько сме-

НТБ ДНУЖТ

щенными одна относительно другой по длине элемента. Это облегчает проток газов по жаровой трубе, уменьшая их завихрение.

Если у Шмидта элементная труба присоединяется тем или иным способом непосредственно к коллектору, то в элементах Элеско и Чусова необходимо сделать разветвление потока пара на отдельные струи. Это разветвление осуществляется сваркой.

Что касается задних концов (колпачков) элементов, то здесь применяется целый ряд различных способов соединения труб (петли); это — одно из самых

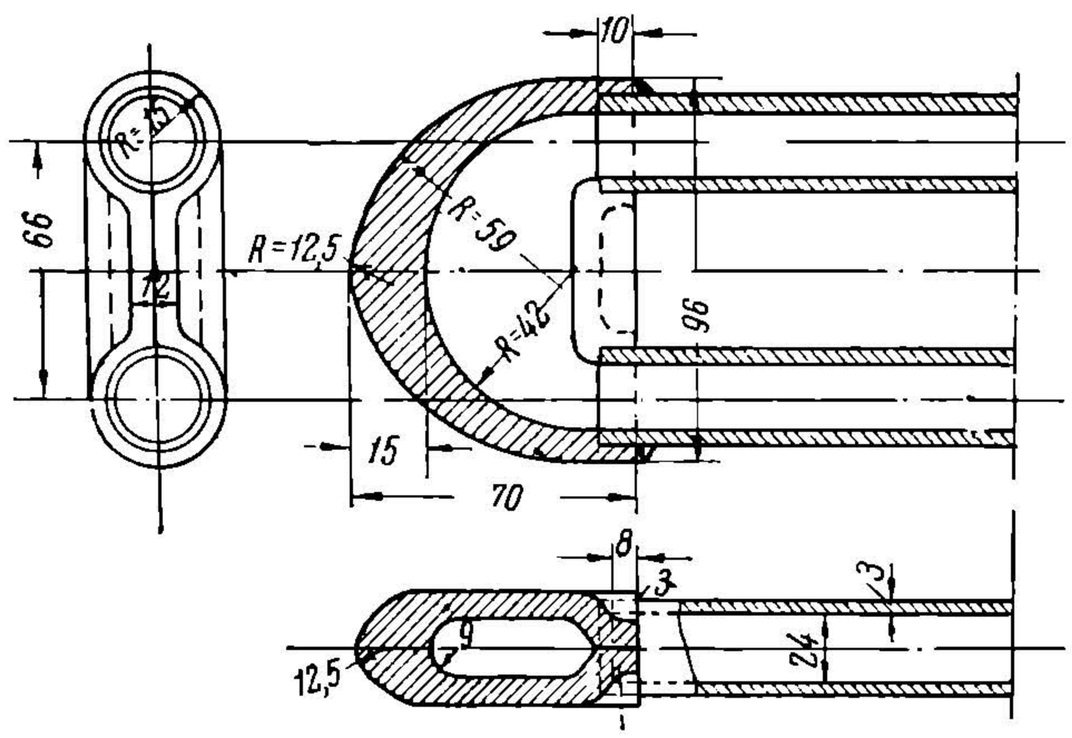


Фиг. 276.

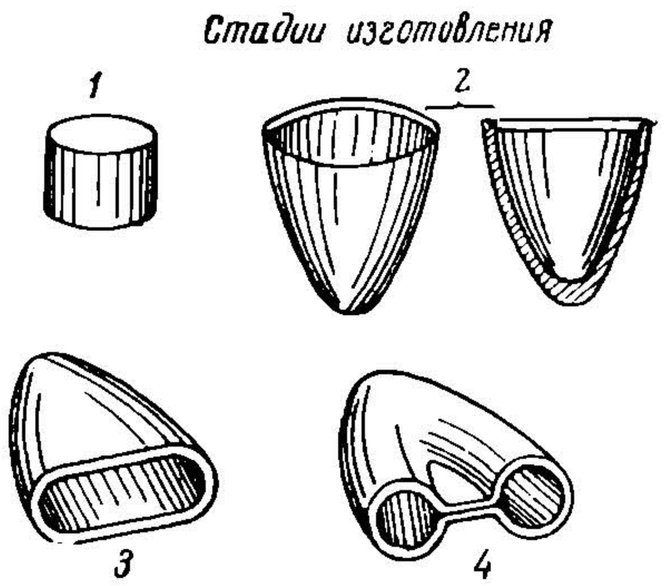
ответственных мест перегревателя, и на нем нужно остановиться несколько подробнее.

Задняя петля элемента образуется или приваркой колпачка, внутренний канал которого повертывает струю на 180°, или же этот колпачок образуется непосредственной сваркой (кузнечной) концов труб.

Штамповка колпачков — более или менее рациональный способ их изготовления, хотя стоимость штампованных колпачков очень высока. На фиг. 277 показан такой штампованный колпачок, а на фиг. 278—стадии его изготовления.



Фиг. 277.



Фиг. 278.

Стенка колпачка, обращенная навстречу топочным газам, должна иметь достаточную толщину («запас на износ», т. е. на обгорание). Износ здесь очень велик, так как, помимо «теплового» износа (обгорания), здесь имеется и механический из-за беспрестанной бомбардировки стенки колпачка летящими кусочками угля, к тому же горячими. Для получения долговечного элемента толщина «лобовой» стенки колпачка должна быть не меньше 13—20 *мм*.

НТБ ДНУЖТ

За самое последнее время, начиная примерно с 1934 г., в СССР Ворошиловградским заводом освоен новый для нас способ образования заднего колпачка элементов кузнечным способом. Обсадка материала получается достаточной, сварной шов — прочным и работа элементов — вполне удовлетворительной. Этот способ уже ряд лет освоен за границей, и там все крупнейшие мастерские по изготовлению перегревательных элементов перешли на этот способ, который заключается в следующем. Две параллельные трубы зажимаются в обоймах на нужном расстоянии одна от другой и после нагрева до сварочного жара вкладываются концами в горизонтально-ковочную машину (Аякс), где за один удар штампов получается распарывание, развертывание и кузнечная сварка развернутых на определенной глубине стенок. Заметим, что стенки обеих труб здесь не разрезаются, а распарываются нажимающим на них штампом с полукруглой лобовой кромкой. Это дает нужную осадку материала и надежную сварку также и в полукруглой стыковой поверхности начального участка сварки (откуда начинаются цилиндрические трубы).

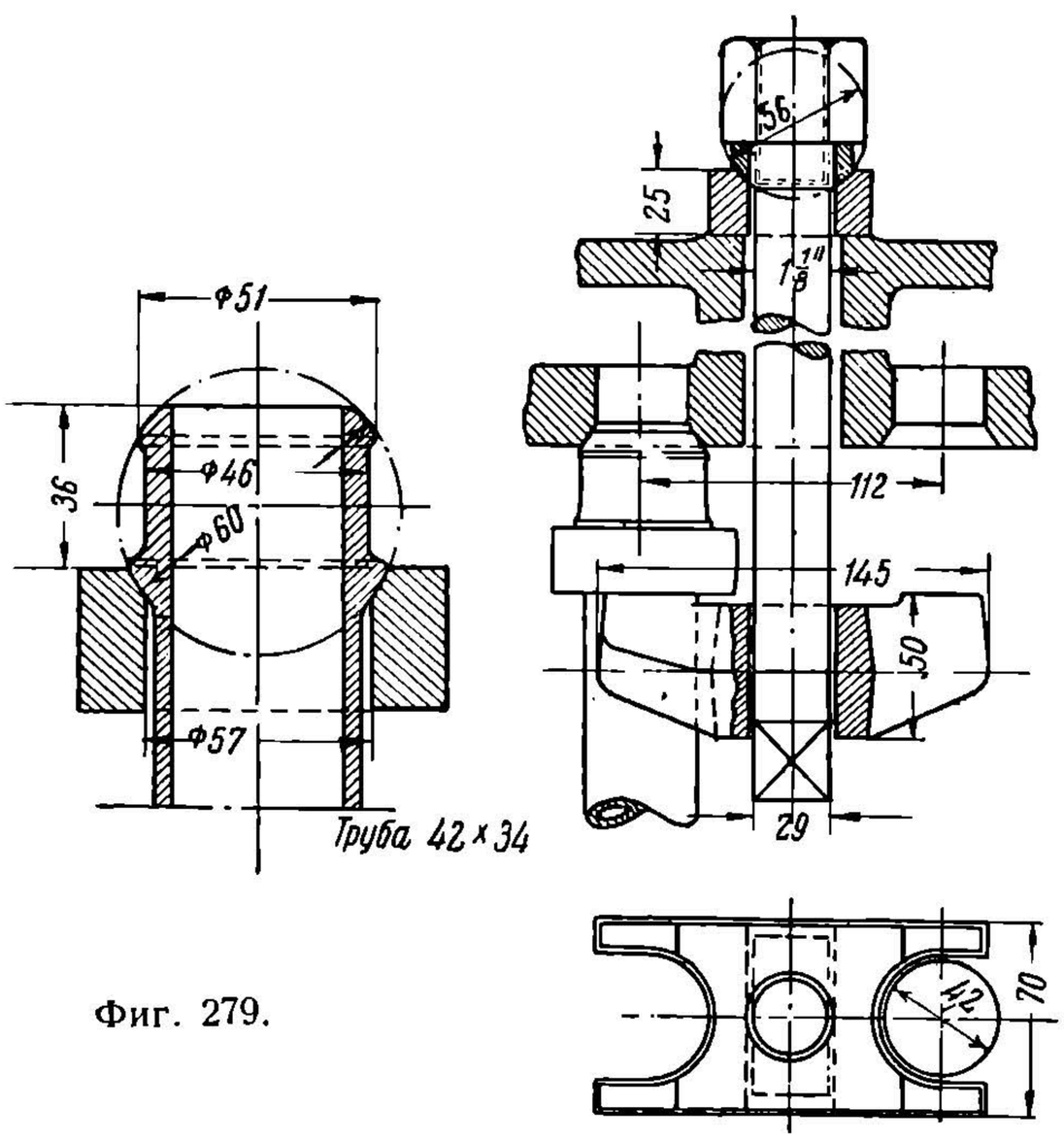
Следующая операция — подкатка на фасонных роликах сваренного конца. Здесь стенки получают увеличенную толщину. Затем заготовка колпачка несколько расплющивается для того, чтобы по ширине колпачок лишь немного выдавался за контур двух элементных труб и таким образом не загромождал жаровой трубы. Наконец, среднее небольшое отверстие заваривается.

Утолщение лобовой стенки здесь получается также очень большое — до 20 *мм*; элемент долговечен.

Присоединение элементов к коллектору

В эксплуатации паровоза элемент иногда настолько пригорает к стенкам жаровой трубы, что как бы заклинивается в ней, и все его температурные деформации поглощаются в основном передним концом элемента, в месте его укрепления к камере коллектора.

Для обеспечения некоторой подвижности соединительных труб без нарушения герметичности наиболее целесообразным является применение шаровых наконечников соединительных труб, по типу показанных слева на фиг. 279. Здесь наконечник соединительной трубы осажен на Аяксе и обточен по шару. Это хороший, но сложный по своей технологии способ образования наконечника. В широких масштабах способ применен пока только новым Ворошиловградским заводом.



Фиг. 279.

Предложенное машинистом Рязанцевым втулочное «коническое» соединение элементов с коллектором оказалось довольно рациональным. Существенной частью соединения является коническая втулка, обточенная снаружи по двум усеченным концам, большие основания которых расположены посередине длины втулки. Соединительная труба приваривается к колодке; коническая втулка вставляется непосредственно в колодку.

НТБ ДНУЖТ

Соединение по способу Рязанцева получает широкое распространение как на вновь строящихся паровозах, так и на проходящих заводский ремонт.

В заключение укажем, что болты, крепящие колодку к коллектору, имеют в наших старых конструкциях квадратную головку со скошенными в виде шипа двумя параллельными гранями для заведения в паз плиты коллектора.

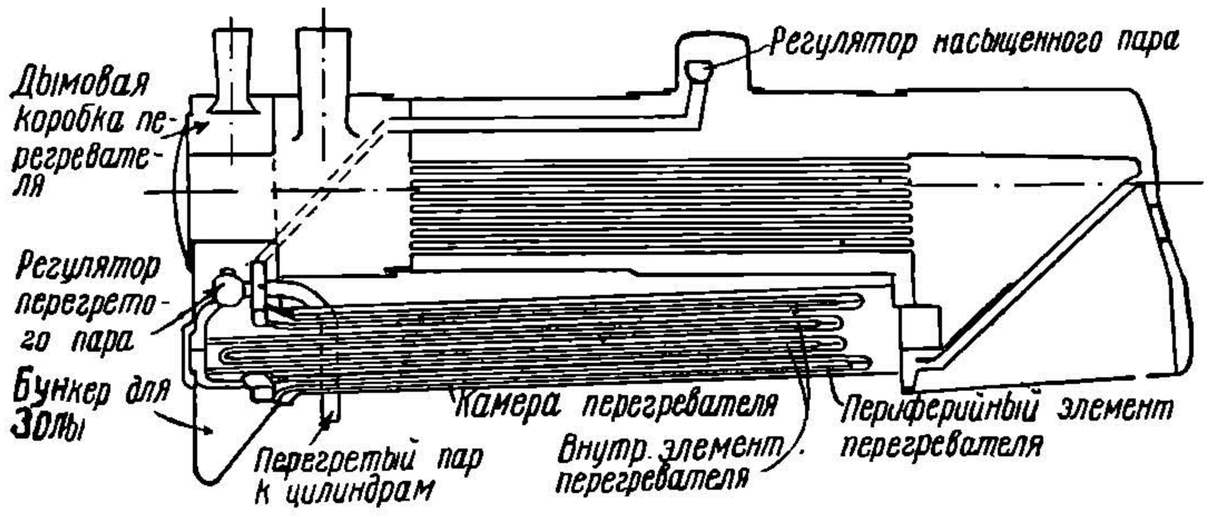
Более совершенным является применение сквозных болтов, проходящих через весь коллектор, как показано на правой проекции фиг. 279. Здесь большая длина затянутого болта дает некоторое упругое его удлинение, благоприятно влияющее на длительность герметичного соединения. Кроме того, сквозные болты позволяют уменьшить толщину нижней плиты коллектора на 30—35%, не увеличивая при этом толщины верхней плиты.

Сквозные болты всегда снабжаются Т-образными головками, удерживающими их от провертывания при затягивании гайки. Т-образная головка болта располагается снизу и входит в неглубокий поперечный паз колодки. Сверху под гайку болта подкладываются сферические шайбы для устранения изгиба болта при его перекосах. Подтягивание соединений по такому способу очень удобно: оно осуществляется снаружи дымовой коробки; требуется открыть лишь щиток над коллектором.

Материал болтов и гаек — Ст.-5.

Камерные перегреватели

Расположение перегревательных элементов в жаровых трубах все же имеет некоторые недостатки, и главным из них является зависимость степени перегрева пара от форсировки котла. Инж. Пирин предложил и осуществил (опытный паровоз серии «Е») иной тип перегревателя — «камерный», несколько напоминающий старинные камерные перегреватели, но имеющий ряд преимуществ перед ними.



Фиг. 280.

Основная идея этого перегревателя — вынесение элементов за пределы цилиндрической части котла и обогревание их отдельным газовым потоком.

На фиг. 280 показана схема устройства котла паровоза с перегревателем Пирина.

Под цилиндрической частью котла размещаются две больших продольных камеры. Эти камеры, заполненные элементами перегревателя, обогреваются потоками газов, выходящих из топки через дополнительные отверстия в ухватном и решеточном листах.

В камерах располагаются внутренние элементы и периферийные, как это обозначено на схеме. Газы сгорания, выйдя из камер, попадают в дымовую коробку перегревателя и далее выходят в особую дымовую трубу. Дымовых труб две: первая — для отвода газов из камер перегревателя, а вторая — из дымогарных труб.

Пар из котла поступает по паропроводу в камеру насыщенного пара периферийного коллектора, входит в периферийные элементы, частично перегревается в них и возвращается в камеру перегретого пара этого же коллектора. Далее по трубе пар переходит в коллектор внутренних элементов, перегревается до высо-

НТБ ДНУЖТ

кой температуры в этих элементах и, наконец, через регулятор перегретого пара по трубам уходит в цилиндры.

Два типа элементов (внутренние и периферийные) применены как для получения высокого перегрева, так и для облегчения условий работы изоляционного материала стенок камер.

Перегреватель Пирина может дать очень высокий перегрев, ограничиваемый только по условиям смазки золотников и поршня (пока не свыше 420—440°).

Заметим, что переделанный паровоз серии «Е» имеет углубленную на 550 *мм* топку, котел очень высоко поднят над уровнем рельса (3600 *мм*). Последнее является недостатком расположения перегревателя под котлом, так как наши мощные паровозы с трудом вписываются в габарит подвижного состава и без камерного перегревателя. Конечно, вынесение элементов за пределы цилиндрической части позволит несколько уменьшить диаметр последней, но вряд ли вписывание в габарит особенно облегчится. Во всяком случае перегреватель Пирина представляет собой оригинальное разрешение вопроса как в тепловом отношении (высокий перегрев, почти независимый от режима), так и в конструктивном. В эксплуатационном отношении небольшие сомнения вызывает срок службы камер.

§ 14. Уход за пароперегревателями и их ремонт

Наиболее слабым местом перегревателя является соединение элементов с коллектором.

Парения этих соединений ни в коем случае не допускается, так как при значительном пропуске пара разрежение в дымовой коробке сильно ослабляется и в связи с этим понижается парообразование котла, что иногда приводит к бросанию поезда в пути. Из сказанного следует, что соединению элементов с коллектором должно уделяться при ремонте и эксплуатации самое серьезное внимание.

При капитальном и среднем ремонтах пароперегреватель должен быть полностью разобран. При проверке его состояния на горячих паровозах (серии «ФД» и «ИС») нужно открыть главный запорный клапан и наполнить пароперегреватель паром. Затем открыть люки с правой и левой сторон дымовой коробки и на-слух установить отсутствие в ней шума. При наличии шума надо закрыть клапан колонки перегретого пара, а также вентиль паровой трубы к левому насосу от сухопарника, спустить оставшийся пар в трубе через сифон и закрыть общий запорный вентиль паровой колонки насыщенного пара. После этого нужно открыть крышку люка на дымовой коробке над пароперегревательной коробкой и осмотреть состояние крышек клапанов и фланцев коробки. При отсутствии в этих местах парения, но при наличии шума, необходимо закрыть главный запорный клапан, спустить пар из перегревателя и проверить на-слух отсутствие парения промывательных пробок, дымогарных труб и швов. Если при этом шума в дымовой коробке нет, то следовательно парение дает пароперегреватель. При каждой промывке нужно рекомендовать наполнение водой пароперегревательной камеры и элементов через крышку реуляторной камеры.

Осмотр элементов

При капитальном, среднем и подъемочном ремонтах пароперегревательные элементы обязательно вынимаются и подвергаются тщательному осмотру. Сначала они осматриваются по наружному виду с целью установления раковин, трещин в стенках, обгорания колпачков и состояния шаровых головок и соединений. Затем проверяется внутреннее состояние элементов, для чего элементы остукиваются молотком, испытываются гидравлическим давлением. При наличии накипи или завала, особенно в задних концах элементов, при ударах получается глухой звук. Накипь удаляется с помощью вываривания труб в специальной ванне. Состав раствора зависит от качества питательной воды и характера накипи. Наличие завала в колпачке можно установить также по цвету поверхности элемента, неравномерного по своей окраске. Все трубки

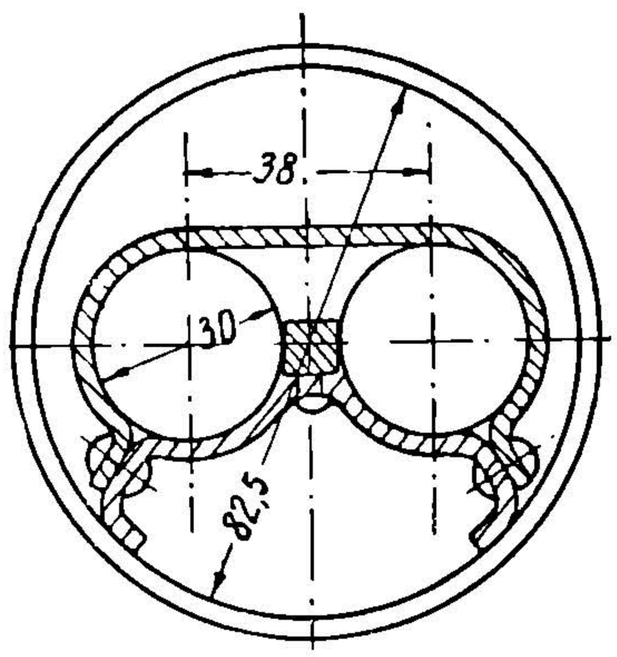
НТБ ДНУЖТ

элементов, имеющие трещины, должны быть заменены новыми. Выедины в шаровых головках устраняются или обточкой головки (при их значительной глубине), или шлифовкой при неглубоких разъединах. В ряде депо для очистки элементов применяется их пропаривание. На паровозах серий «Э» и «СУ» пропаривание производится после снижения давления пара в котле до 6—8 *ат*, потом открывается передняя крышка золотниковой коробки, вынимается золотник, а к коробке присоединяется жолоб из листового железа. Затем к клапану Лопушинского присоединяется рукав от агрегата горячей или теплой промывки, помощью которого в камеру перегретого пара подается под давлением вода при температуре 70—80°. Из камеры вода поступает в элементы и полностью их заполняет. Температура воды в котле в это время равна 170—180°; поэтому вода в элементах начинает кипеть, при этом соли, осевшие на стенках элементов, растворяются, разрушают накипь и тем самым способствуют приведению ее в состояние тестообразной массы, легко удаляемой из элементов. Операция кипячения продолжается около 10—15 минут. Затем нужно открыть регулятор; пар, поступая в регуляторную трубу, а затем в элементы под давлением 6—8 *ат*, выгоняет кипящую воду вместе с растворенной в ней частично накипью в пароработочие трубы и в золотниковую камеру. Процесс кипячения повторяется 3—4 раза до момента выхода в золотниковую коробку чистой воды.

Ремонт пароперегревателей

Способы ремонта пароперегревательных элементов почти одинаковы для всех известных систем пароперегревателей: Шмидта, Чусова и Элеско; поэтому ниже будет рассмотрен метод ремонта пароперегревателей Элеско и Шмидта. В паровозах серий «ФД» и «ИС» разбираются детали дымовой коробки, мешающие выемке элементов (конус, искроуловитель), открывается люк-крышка над пароперегревательной коробкой, освобождаются гайки болтов, крепящих элементы.По удалении шаровых шайб удаляются болты, что позволяет приступить к выемке элементов. Элементы нужно удалять с нижнего ряда, предварительно отжав шаровую головку так, чтобы она могла выйти из своего гнезда. Отжатие производится вручную ломиком, вставляемым в разветвления элементов, упирая его в другой элемент или в жаровую трубу. В тех случаях, когда выемка элементов затруднительна ввиду засорения жаровых труб частичками несгоревшего топлива, нужно предварительно трубы промыть струей горячей воды под большим напором от насоса или от промывочной сети.

По удалении последовательно всех элементов они должны быть уложены на стеллажи, а для предупреждения повреждения головок при транспортировке на них следует надеть деревянные колодки. Вынутые элементы после осмотра подвергаются очистке от накипи. Как отмечалось выше, чаще всего наблюдается обгорание концов элементов. Подлежащие смене концы элементов обрезаются пилой.



Фиг. 281.

Ремонт головок элементов

При наличии трещин в головках они заменяются новыми и привариваются к элементам. Существенное значение имеет правильное положение элементов в жаровых трубах, так как изогнутые элементы, прилегая к стенкам трубы, ухудшают и прохождение газов и способствуют забиванию труб изгарью. В пароперегревателях Шмидта, Чусова и Элеско на трубки элементов надеваются специальные скобы — поддержки. На фиг. 281 показана поддержка элемента Элеско. При ремонте обгоревшие поддержки срубаются и заменяются новыми. По окончании ремонта шаблоном проверяется радиус загиба передних концов труб и, наконец, трубки элементов испытываются гидравлическим давлением на 30 *ат* с остукиванием их ручником. Приемка эле-

НТБ ДНУЖТ

ментов должна производиться лично мастерами цехов. Согласно правилам капитального ремонта допускается укорочение длины элементов, но не более как на 100 *мм*. Ремонт коллектора заключается в заварке обнаруживаемых в нем трещин. Выработка отверстий в коллекторе для элементов допускается не более 4 *мм*, при большей величине отверстие наваривается и затем профрезеровывается. По окончании ремонта коробка испытывается гидравлическим давлением, равным $(P + 5)$ *ат*, где P — рабочее давление пара в котле.

ГЛАВА II

ПИТАНИЕ КОТЛА ПОДОГРЕТОЙ ВОДОЙ

§ 1. Приборы питания котла подогретой водой

Основные сведения

Питание котла подогретой водой чрезвычайно благоприятно отзывается на улучшение условий его работы как в механическом отношении — уменьшение напряжений в стенках из-за неравномерного прогрева котельной воды, так и в тепловом — повышение к. п. д. паровоза. Последнее условие, естественно, имеет место лишь в том случае, если для подогрева воды используется тепло, содержащееся или в мятом паре или в уходящих газах. Приборы первого рода, т. е. паровые водоподогреватели, имеют почти исключительное распространение на паровозах как наиболее компактные.

Паровые приборы для подогрева воды теплом мятого пара распадаются на две больших группы: водоподогреватели и инжекторы мятого пара. В свою очередь водоподогреватели делятся на две подгруппы: водоподогреватели поверхностного типа и водоподогреватели смешения.

В настоящее время наши паровозы снабжены (еще с 1926/27 г.) значительным количеством (до 4 000)установок поверхностных водоподогревателей Кнорра; эти приборы работают в общем пока неудовлетворительно, отчасти из-за недостаточного знакомства с ними персонала депо и из-за неприспособленности последних для ремонта этих приборов. Исправно работающие водоподогреватели Кнорра себя вполне оправдывают (Северные ж. д.), и уже это заставляет обратить на них внимание.

Водоподогреватели типа смешения системы Вортингтона работают у нас на двух паровозах серии «Э» и на 50 паровозах серии «$V^{Б}$», построенных Брянским заводом по заказам промышленности. Дальнейшего распространения эти подогреватели не получают, так как вопрос о выборе типа подогревателя был решен для существующих паровозов в пользу инжектора мятого пара.

Инжекторы мятого пара представляют собой сравнительно простое устройство, напоминающее обычный инжектор свежего пара, но снабженный камерой смешения и увеличенным количеством конусов. Общим недостатком обыкновенных инжекторов мятого пара является необходимость после закрытия регулятора переключать от руки «сорвавший» инжектор на работу свежим паром, а при открытии регулятора — снова переводить работу инжектора на мятый пар.

Для устранения этого существенного недостатка советские изобретатели работали над автоматами переключения; назначение последних — автоматически переводить инжектор с работы мятым паром на работу свежим паром при закрытии регулятора и производить обратное переключение при открытии регулятора.

В работе автоматы оказались неудовлетворительными, и паровозы будут получать простые инжекторы мятого пара.

В СССР имеется несколько систем инжекторов мятого пара — Трофимова, б. ИРТ, Пахомова и др. За границей имеются системы «Меткальф», «Элеско» (поставлены и на паровозах серии «$Т^{Б}$»), Фридмана и др. Все эти иностранные системы инжекторов мятого пара представляют собой всасывающие или невсасы-

НТБ ДНУЖТ

вающие инжекторы, без автоматов переключения. Наши советские инжекторы – всасывающего типа.

В среднем подогреватель смешения может дать подогрев воды до 110—115°, подогреватель поверхностного типа — до 95—100°, инжекторы мятого пара – 85—95° и выше в зависимости от процентажа свежего пара.

Весовые данные и стоимость говорят также не в пользу поверхностных водоподогревателей: если водоподогреватель Кнорра весит 2,5—2,7 *т* (с трубопроводами), то инжектор мятого пара той же мощности — 0,5—0,6 *т*. Примерная стоимость подогревателя Кнорра — около 4000 руб., инжектора мятого пара— 1500 руб.

Водоподогреватель Кнорра

На фиг. 282 показано общее расположение подогревателя Кнорра на наиболее распространенном паровозе, оборудованном этим подогревателем — серии «Э^{У}». Вода из тендерного водяного бака идет по трубе к насосу *1*, от насоса идет по вертикальной трубе к батарее *2*, проходит через переключательный кран *3* и через питательный клапан *4* поступает в колпак котла. Мятый пар берется от тройника (см. поперечный вид паровоза), идет по трубе *7* к маслоотделителю *6* и от него к батарее *2*. Конденсат стекает в тендерный бак по трубе, проложенной с некоторым наклоном к горизонтали под полом будки машиниста. Для обеспечения стока воды батарея расположена очень высоко—на котле.

Пароводяной насос имеет поршневую конструкцию, снабжен двумя парами клапанов (всасывающие и нагнетательные). Воздушный колпак снижает пульсации подачи воды.

Паровая часть насоса взята целиком от тормозного паровоздушного насоса Вестингауза.

Батарея подогревателя Кнорра состоит из ряда (134 шт.) мелких (22 × 19 *мм*) латунных трубок, развальцованных в решетках. Наружный корпус батареи изготовляется из тонкой листовой стали. Крышки батареи имеют фасонную форму. внутренние параллельные ребра на крышках, плотно прилегающие к решеткам, служат для создания удлиненного зигзагообразного движения воды по батарее.

К батарее, кроме главной трубы от машины, подведены трубы отработавшего пара от насосов — подогревателя и тормозного. Батарея изолируется деревом и войлоком.

При нагревании воды до 90—95° в трубках начинают отлагаться минеральные примеси воды — в первую очередь отлагаются углекислый кальций и гипс. Это отложение в особенности интенсивным оказывается в последних по ходу воды трубках, в то время как трубки, имеющие дело с холодной водой, не загрязняются. Чтобы увеличить срок службы батареи между ее промывками, на ней устанавливается четырехходовый кран, повернув пробку которого мы изменяем направление движения воды на обратное. Среднее положение пробки позволяет воде итти непосредственно в котел, минуя например неисправную батарею.

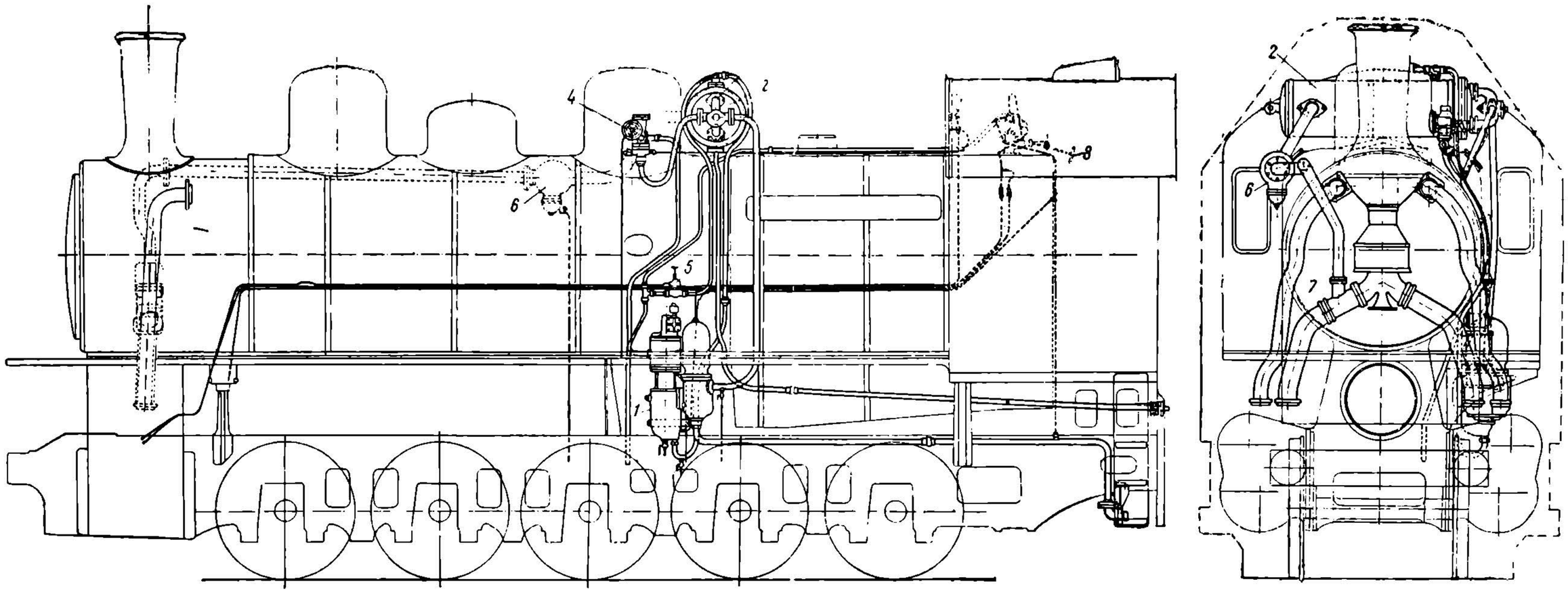
Для того чтобы при закрытом регуляторе, когда мятого пара на паровозе нет, подогреватель все же давал бы подогретую воду (для избежания попадания в котел совершенно холодной воды), подогреватель Кнорра имеет дополнительный паровой автоматический клапан *5*, устанавливаемый на ответвлении паровой трубы к насосу.

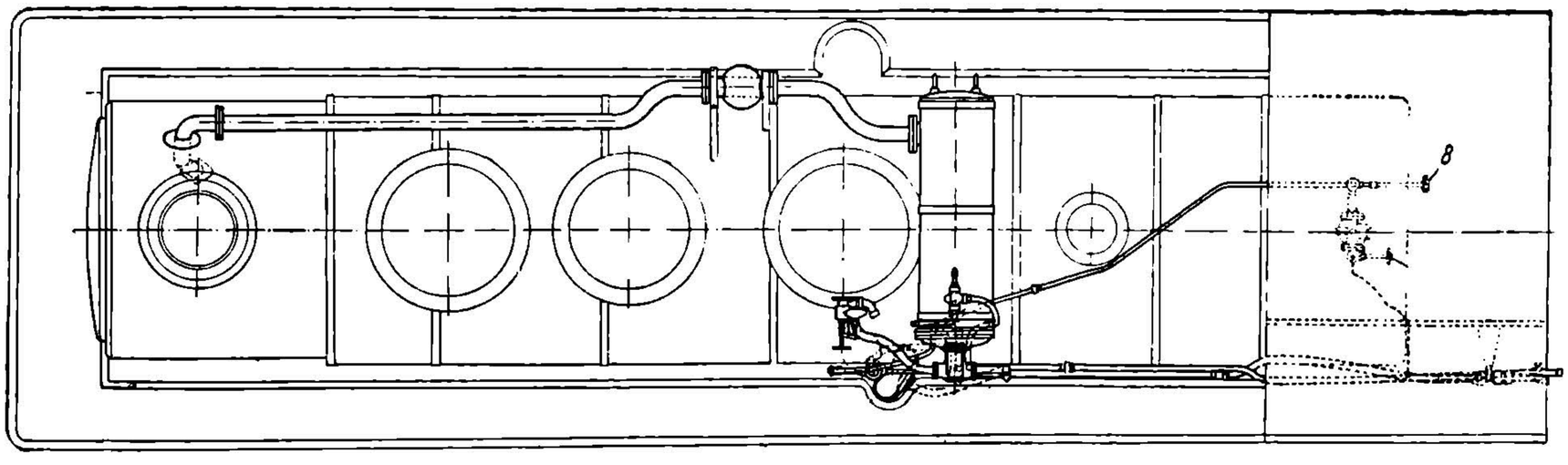
При закрытом регуляторе пар, идущий от пароразборной колонки к насосу, через этот клапан в основной своей массе устремляется в батарею. Насос резко уменьшает число ходов, котел получает очень небольшое количество подогретой (свежим паром) воды. Наличие этого автоматического клапана позволяет так отрегулировать подачу свежего пара к насосу (вентилем *8*), что уровень воды в стекле почти не меняется независимо от открытия регулятора [1].

---

[1] Подробнее об устройстве и работе водоподогревателей см. И. М. Струженцов, Конструкции паровозов.

НТБ ДНУЖТ





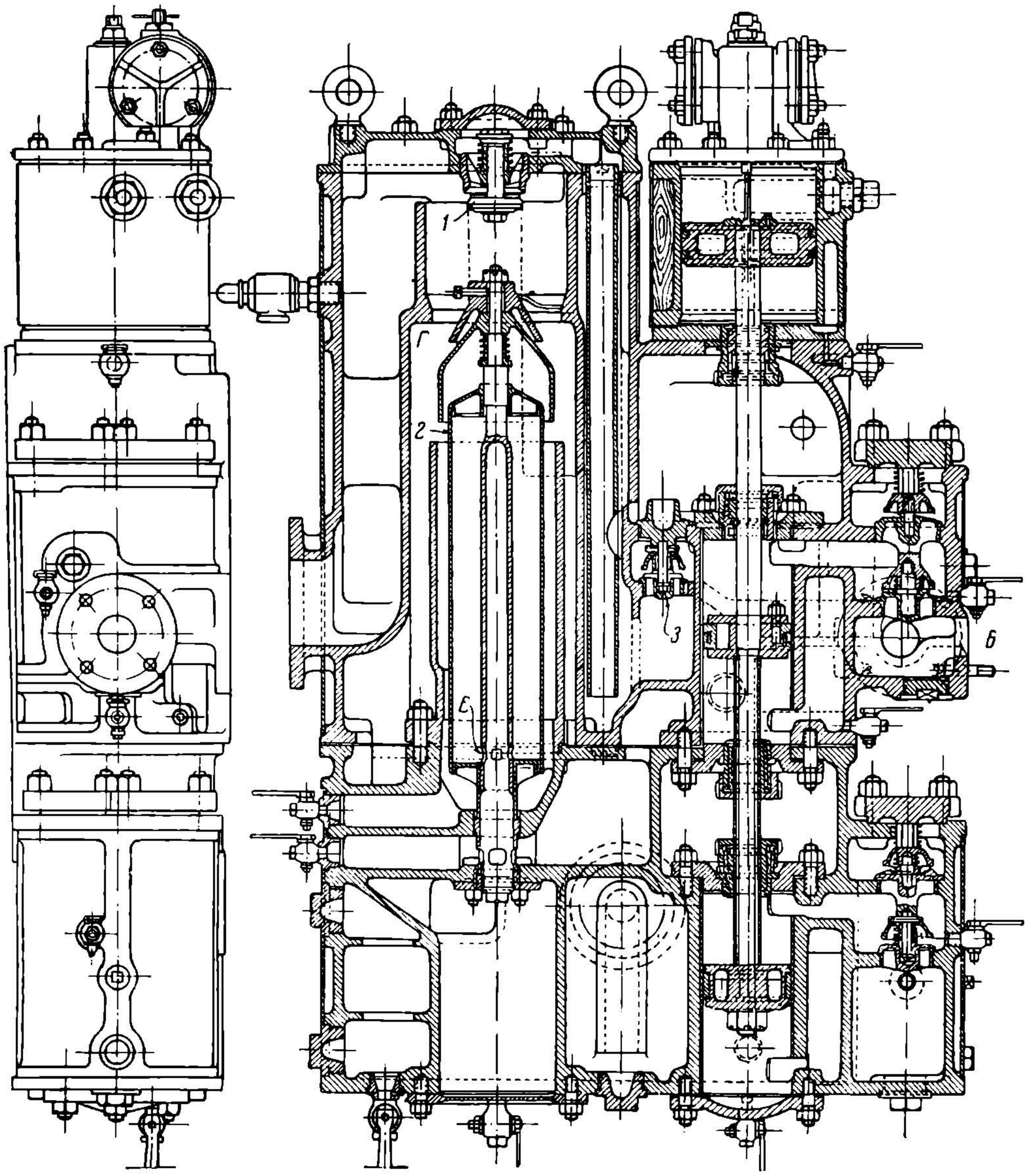
Фиг. 282.

НТБ
ДНУЖТ

Водоподогреватель Вортингтона

Эффективно работающие подогреватели Вортингтона имеют шансы на распространение, в особенности на паровозах недалекого будущего с их повышенным давлением пара. Вкратце рассмотрим устройство и работу подогревателя этой системы.

На фиг. 283 изображен разрез водоподогревателя Вортингтона. Водоподогреватель составляется двумя основными частями: насосной группой (справа) и камерой смешения (слева).



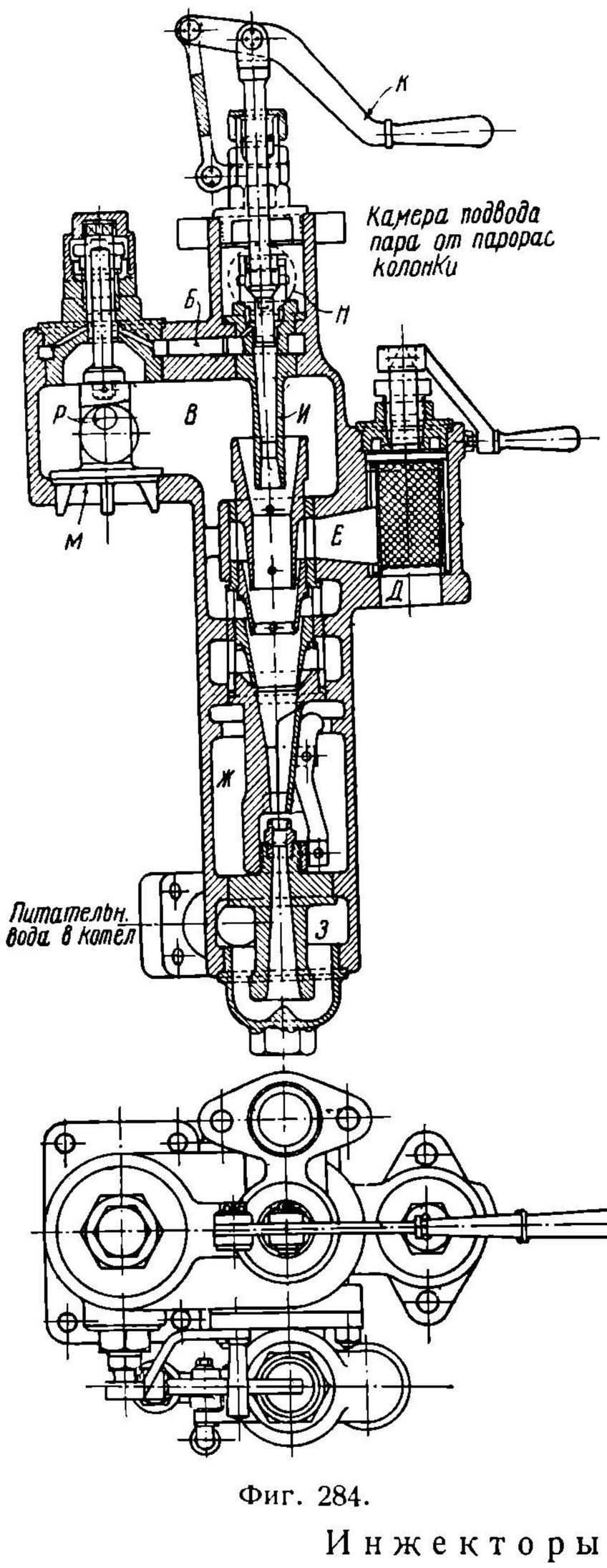
Фиг. 283.

Насос холодной воды расположен в средней части корпуса, горячей воды—внизу. Вода из тендера поступает в насос холодной воды через патрубок *Б* и уходит в самую верхнюю часть корпуса к разбрызгивающему клапану *1*. Пройдя через клапан, вода попадает в камеру смешения *Г*, куда поступает и мятый пар через патрубок в левой части корпуса. Смешиваясь с паром и прогреваясь, вода движется вниз и через боковые окна (на чертеже не попали в разрез) в ниж-

НТБ ДНУЖТ

ней части камеры смешения поступает в самую нижнюю часть подогревателя — к насосу горячей воды. Насос гонит горячую воду в котел. Нагнетательный патрубок показан пунктирными окружностями внизу основной проекции прибора.

При данном числе ходов поршня насоса количество воды, высасываемое из тендера цилиндром холодной воды, вполне определенное. Эта холодная вода в камере смешения обращается в горячую, количество которой уже иное — большее, в зависимости от того, как много мятого пара поступает в эту камеру. Насос же горячей воды тоже имеет вполне определенную производительность. Отсюда видно, что точного согласования в подаче воды обоими насосами нет, камера смешения может то иметь избыток воды, то опоражниваться. Для установления нормальной работы всей установки и для получения максимального подогрева подогреватель снабжен поплавком *2*, представляющим собой открытый сверху цилиндр. При заполнении водой камеры смешения поплавок заполняется водой, опускается и своей нижней направляющей втулкой открывает окна *Е*, через которые излишек горячей воды попадает внутрь направляющей втулки и далее через окна втулки в ее нижней части проходит в нижнюю полость, сообщающуюся с возвратным клапаном *3*. Последний под напором воды поднимается и пропускает горячую воду в полость под нагнетательными клапанами насоса холодной воды. Вода из тендера уже не забирается. Подогретая вода, выкачанная из камеры смешения средним цилиндром, вторично поступает в эту камеру, где вновь смешивается с мятым паром. Температура воды при таком вторичном подогреве возрастает до 110—115°. Откачка воды из камеры смешения идет не только средним цилиндром, но и нижним, который гонит горячую воду в котел; поэтому уровень воды в камере смешения понижается. Как только поплавок опорожнится, работа подогревателя восстанавливается и протекает обычным порядком.



Фиг. 284.

Инжекторы мятого пара

Инжекторы мятого пара так же, как и обычные, отличаются от всех других типов питательных приборов (насосы водоподогревателей) котла отсутствием частей, находящихся в постоянном движении при работе устройства. В насосах этими частями являются пароораспределительные золотники, поршень с кольцами и штоком, клапаны всасывающие и нагнетательные. Износ всех этих многочисленных деталей вызывает ухудшение работы подогревателя, требует относительно частого ремонта. Последний в свою очередь может вызывать дополнительные простои паровоза.

НТБ ДНУЖТ

Огромные достоинства инжекторов мятого пара заставили наш Союз и ряд других стран форсировать вопрос о выборе и внедрении наиболее рационального типа инжектора мятого пара.

Мы имеем в настоящее время стандартный инжектор системы И. О. Трофимова, показанный на фиг. 284. Инжектор — всасывающего типа, вертикальный, с ручным переключением режимов работы. Корпус инжектора — чугунный (марки Чл.-2), конусы и клапаны — бронзовые. Внутри корпуса имеется ряд полостей и основных патрубков: сверху, как обозначено на чертеже, размещена небольшая полость, которая соединена с пароразборной колонкой котла и служит для подачи свежего пара в инжектор при закрытом регуляторе (по каналу *Б*), а также и для постоянной добавки свежего пара в инжектор по небольшому конусу *И*; *В* — камера смешения; клапан *М* — подвод мятого пара; *Д* и *Е* — подвод воды из тендера; *Ж* — вестовая камера (вестовая труба не показана) и *З* — нагнетательная камера. Приподнимая немного рукоятку *К*, снабженную вертикальным стержнем с малым клапаном на нижнем конце, машинист пускает небольшое количество пара в конус *И* и гонит этот пар наружу, в вестовую трубу, создавая при этом разрежение в полости *Е* и всасывая воду в инжектор. После характерного щелчка, сигнализирующего поступление воды в инжектор, машинист поднимает далее (вверх) рукоятку *К* и верхним буртом малого клапана поднимает большой пусковой клапан *Н*. Пар устремляется в конус *И* в большом количестве.

Слева в корпусе инжектора размещены клапан мятого пара *М* и управляющий им стержень с эксцентриком. На выступающий наружу корпуса конец стержня насажен рычаг, повертывая который мы открываем клапан *М*. На чертеже клапан *М* показан закрытым, т. е. положение его соответствует закрытому регулятору паровоза. Пар из пароразборной колонки проходит по каналу *Б* и далее в камеру смешения. Инжектор работает, как обычный инжектор свежего пара.

При открытом регуляторе машинист должен открыть клапан *М* для впуска в инжектор отработавшего (мятого) пара. Поднимая «дootказа» клапан *М*, машинист верхним торцом клапана (клапан *М* — двусторонний; над стержнем *Р* виден малый клапан, управляющий впуском свежего пара по каналу *Б*) закрывает доступ свежего пара, идущего по каналу *Б*, и таким образом переводит работу инжектора на другой режим.

Заметим, что большое количество (по объему) поступающего мятого пара обусловливает наличие целого ряда конденсационных конусов. Для удобства осмотра и ремонта последние заключены в одну общую направляющую втулку (с боковыми отверстиями).

§ 2. Оценка водоподогревательных устройств и даваемое ими сбережение горючего

Современный паровоз теряет с уходящими газами от 10 до 20% тепла сгорания топлива и с отработанным паром — 40—50%. Использование, хотя бы частичное, этих громадных тепловых «отбросов» представляет собой крупнейшую проблему экономики паровоза. Одну из простых возможностей этого использования, ныне уже широко осуществляемую и у нас и за границей, представляет собой предварительный подогрев питательной воды перед ее поступлением в котел.

Обыкновенный инжектор тоже подогревает воду, но подогрев этот происходит за счет тепла котлового рабочего пара; поэтому инжектор, осуществляя процесс питания котла, не дает никакой тепловой экономии. Эта экономия достигается, как указано, путем применения инжекторов мятого пара или специальных водоподогревательных устройств.

На современных паровозах для подогрева питательной воды используют исключительно тепло отработанного пара, хотя температура его (110° — 170°) значительно ниже температуры уходящих из котла газов (300°—400°). Объясняется это тем, что пар как среда, значительно более плотная по сравнению с ухо-

НТБ ДНУЖТ

дящими газами, обладает и гораздо большей теплопередающей способностью Поэтому паровой подогреватель, дающий ту же температуру подогрева воды, выходит несравненно более компактным по весу и габариту.

Паровой водоподогреватель может нагреть воду до 120°, обычно же достигаемый подогрев — 80—100°, в среднем — 90°.

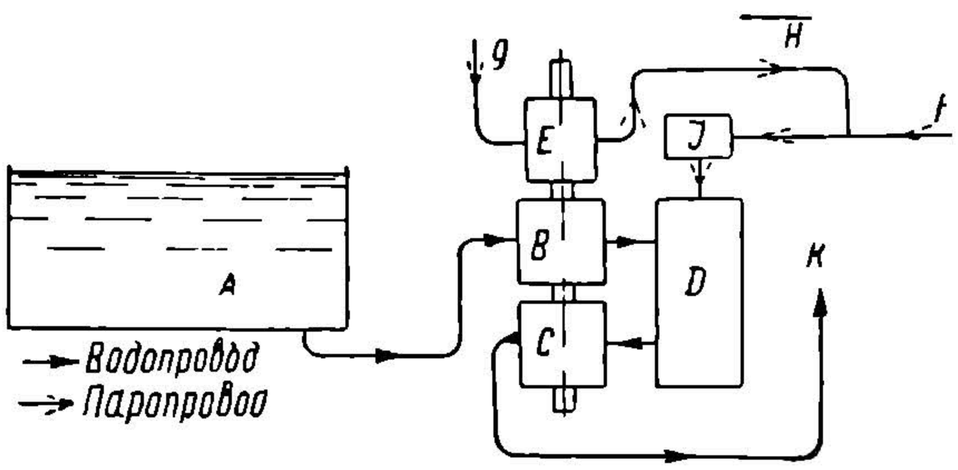
Для подогрева 1 *кг* воды с 15° до 90° требуется затратить 75,4 калории тепла; при конденсации же **1** *кг* мятого пара, отбрасываемого машиной при давлении в 1,1 *кг/см*², освобождается скрытая теплота в количестве 539 калорий.

Обозначая часовой расход пара на машину через B_m *кг*, а количество пара, приготовляемого за то же время котлом, — через $B_к$ *кг*, составляем следующее очевидное соотношение:

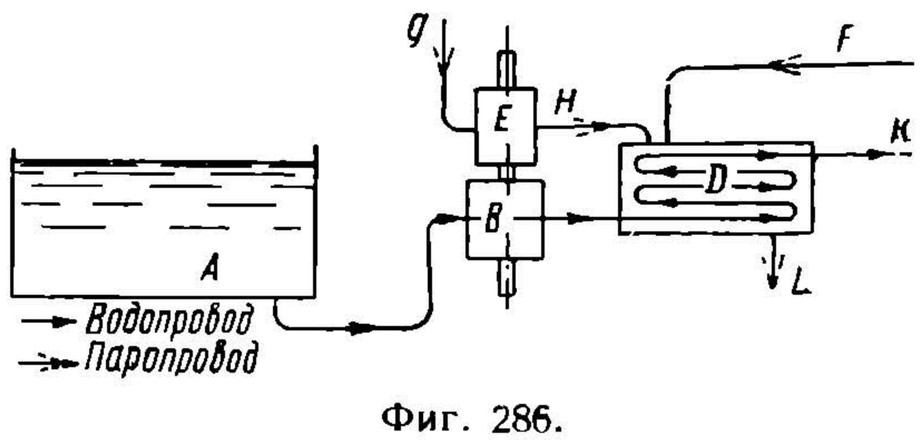
$$\mu \cdot B_m \quad 539 = B_k \cdot 75{,}4. \qquad (202)$$

Здесь левая часть представляет собой количество тепла, освобожденное частью мятого пара для целей подогрева питательной воды, а правая — количество тепла, воспринятое водой. Величина $B_к$ всегда бывает несколько больше B_m ввиду наличия служебного расхода пара (на работу сифона, тормозного и питательного насосов, форсунки, нефтеподогревателя или стокера). Для угольного отопления можно считать:

$$B_к = 1{,}05\ B_m.$$



Фиг. 285.



Фиг. 286.

Подставляя эту величину в уравнение (202), определяем из него величину коэфициента μ, показывающего, какая часть отбрасываемого машиной пара должна быть утилизирована для подогрева питательной воды до заданной температуры—90°:

$$\mu = \frac{1{,}05 \quad 75{,}4}{539} = \frac{1}{6{,}8} \qquad (203)$$

Отвод из пароисходящих труб столь незначительного количества мятого пара не может сколько-нибудь заметно повлиять на уменьшение тяги и на условия сгорания топлива, тем более что при наличии подогревателя, ввиду даваемой им экономии, под котлом приходится сжигать несколько меньшее количество топлива, для чего требуется и меньшая тяга.

На фиг. 285, 286 и 287 даны типовые схемы водоподогревательных устройств.

Фиг. 285 — водоподогреватель типа смешения (Вортингтон):

A — тендерный водяной бак,

B—*C*—*E* — питательный насос:

B — цилиндр холодной воды,

C — цилиндр горячей воды,

E — паровой цилиндр,

D — камера смешения,

g — подвод свежего пара к насосу,

---

1 Чем плотнее среда, тем чаще и интенсивнее будут удары молекул друг о друга и о стенки,—тем следовательно, интенсивнее будет теплообмен со стенками, т. е. больше коэфициент теплопередачи *K*.

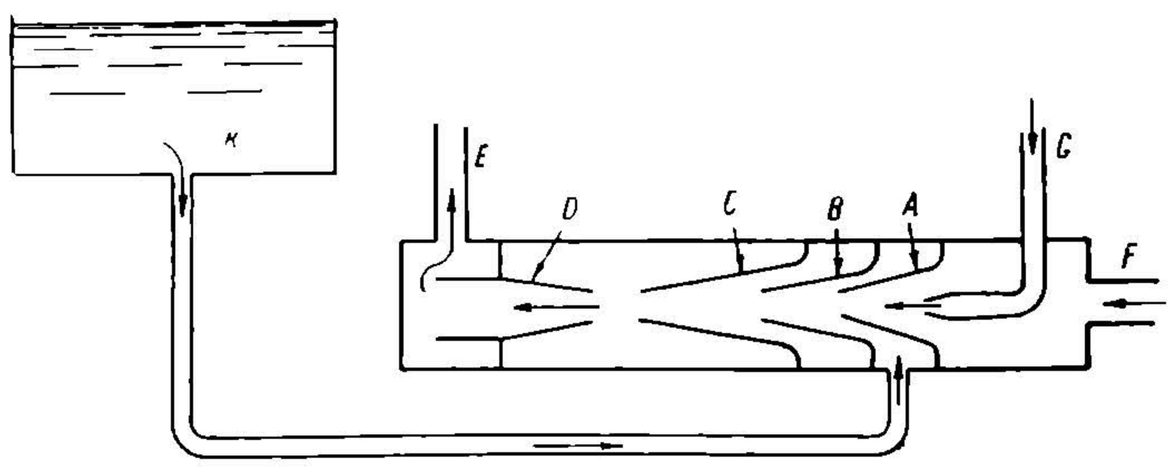
НТБ ДНУЖТ

F — подвод отработанного пара машины,
H — подвод отработанного пара питательного насоса,
K — ввод горячей воды в котел,
I — маслоотделитель.

На фиг. 286 показан водоподогреватель поверхностного типа (Кнорр). Обозначения те же, что и на фиг. 285:

D — батарея (трубчатая камера),
L — сток конденсата на путь—при расположении камеры ниже уровня воды в тендере или, лучше, в тендерный водяной бак—при высоком расположении камеры.

На фиг. 287 дана схема инжектора мятого пара. Отработанный пар по трубе F поступает в паровой конус A; вода из водяного бака тендера K по трубе H поступает в конус B; C — смесительное сопло; D — напорный конус, в котором кинетическая энергия струи горячей воды превращается в энергию давления: E — питательная труба котла. По трубке G пускается в паровой конус добавок свежего пара, помогающий мятому пару преодолеть встречное давление из котла на питательный клапан.



Фиг. 287.

Подогреватели типа смешения отдают в котел все тепло мятого пара, в них поступающего из главной машины и из насосов, — в этом одно из их преимуществ Кроме того, поступление в камеру подогревателя смешения перегретого пара несомненно повышает его эффективность, так как температура смеси (горячей воды) при этом повышается; в подогревателях же поверхностного типа перегретый пар является нежелательным, так как он, ввиду своей меньшей плотности по сравнению с паром насыщенным, хуже передает тепло стенкам трубок, т. е. дает меньшие значения величины коэфициента теплопередачи.

Учитывая современные тенденции к повышению перегрева пара на паровозах, что влечет за собой и выхлоп в конус перегретого (а не насыщенного) пара, приходится и с этой точки зрения отдать преимущество водоподогревателям типа смешения или инжекторам мятого пара.

Что касается попадания в котел смазки, содержащейся в выхлопном паре, конденсат которого при наличии подогревателя смешения попадает в котел, то в практике работы подогревателей типа смешения при надлежащем устройстве фильтров и уходе за ними не может быть никаких неприятных последствий.

§ 3. Экономия горючего, достигаемая применением водоподогревательных устройств

Ознакомившись со схемой водоподогревательных устройств, переходим к определению той теоретической экономии топлива, которую можно ожидать от присоединения к котлу водоподогревателя или инжектора мятого пара.

Обозначим через:

G_e — вес отработанного пара машины, поступающего в питательное устройство (водоподогреватель или инжектор);
$G_к$ — вес острого пара, расходуемого на подачу и подогрев питательной воды;

НТБ ДНУЖТ

A — вес поданной из тендера к насосу или инжектору воды;
a — потери воды в *кг* (утечка через вестовую трубу инжектора);
$B_к$ — полное весовое количество нагретой воды, поступающее в котел (паропроизводительность котла);
$\lambda_е$ и $\lambda_к$ — теплосодержания отработавшего и острого пара;
$\lambda_{кон}$ — теплосодержание конденсата мятого пара, уходящего из водоподогревателя наружу (в подогревателе поверхностного типа);
τ — температуру воды в тендере;
ϑ — температуру воды при поступлении в котел.

Инжектор

Для инжектора, работающего частично или полностью мятым паром, выражение для экономии топлива (или тепла) может быть написано как отношение тепла, возвращенного мятым паром в котел, ко всему количеству тепла, затраченного котлом на приготовление пара:

$$Э^{\%}_{т} = \frac{G_е \cdot \lambda_е}{B_к \cdot (\lambda_п - \vartheta)} \cdot 100, \tag{204}$$

где $\lambda_п$ — теплосодержание перегретого пара (в случае бесперегревного паровоза $\lambda_п = \lambda_к$).

Пренебрегая теплом, уносимым через вестовые трубы, напишем уравнение теплового баланса инжектора:

$$G_е \cdot (\lambda_е - \vartheta) + G_к \cdot (\lambda_к - \vartheta) = (A - a) \cdot (\vartheta - \tau), \tag{205}$$

где:

$G_е (\lambda_е - \vartheta)$ — количество тепла, отданного мятым паром в инжекторе;
$G_к (\lambda_к - \vartheta)$ —количество тепла, отданного свежим паром;
$(A-a)\cdot(\vartheta-\tau)$ — тепло, воспринятое водой.

Уравнение весового баланса инжектора:

$$B_к = (A - a) + G_е + G_к. \tag{206}$$

Определяя из (206) величину $(A-a)$ и подставляя в (205), находим:

$$B_к(\vartheta - \tau) = G_е(\lambda_е - \tau) + G_к(\lambda_к - \tau), \tag{207}$$

откуда

$$\frac{G_е}{B_к} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_е - \tau} \frac{G_к}{B_к} \cdot \frac{\lambda_к - \tau}{\lambda_е - \tau} \tag{208}$$

Подставляя эту величину в (204), получаем:

$$Э^{\%}_{т} = \left[\frac{\vartheta - \tau}{\lambda_е - \tau} - \frac{G_к}{B_к} \cdot \frac{\lambda_к - \tau}{\lambda_е - \tau}\right] \cdot \frac{\lambda_е}{\lambda_п - \vartheta} \cdot 100. \tag{209}$$

Выведенное выражение для инжектора смешанного действия (т. е. работающего смесью отработавшего и острого пара) является вполне общим, так как применимо для любой пропорции острого и мятого пара, участвующих в работе инжектора.

Полагая в выражении (209) $\frac{G_к}{B_к} = 0$, получаем выражение экономии для инжектора, работающего только мятым паром без всякой примеси острого:

$$Э^{\%}_{т} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_е - \tau} \cdot \frac{\lambda_е}{\lambda_п - \vartheta} \cdot 100. \tag{210}$$

При этом экономия топлива получилась бы, конечно, наибольшей. К сожалению, при давлении рабочего пара в котле свыше 10 *ат* инжектор не может (пока) работать одним мятым паром, и для преодоления встречного давления из котла необходима добавка в инжектор свежего пара в количестве около 4—

НТБ ДНУЖТ

5% (при современных давлениях пара порядка 14—16 *ат* [1]) от полной паропроизводительности котла.

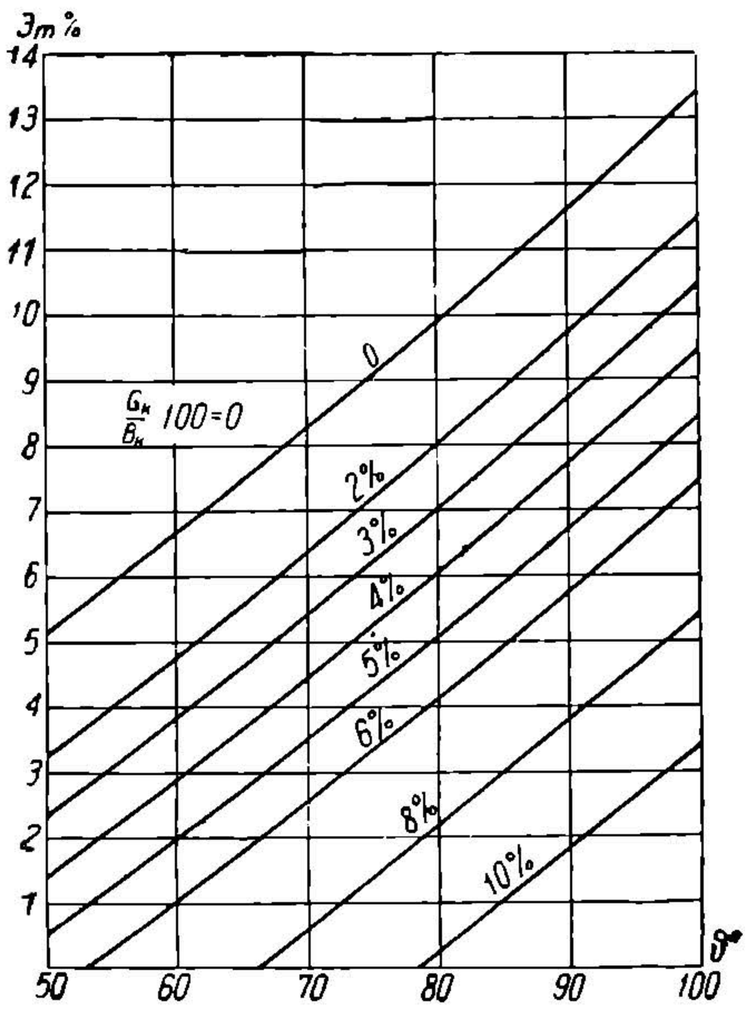
Наконец, при $\frac{G_e}{B_к} = 0$, т. е. в случае обыкновенного инжектора, работающего острым паром, уравнения (208) и (209) дают:

$$Э_m{}^{0}/_{0} = 0.$$

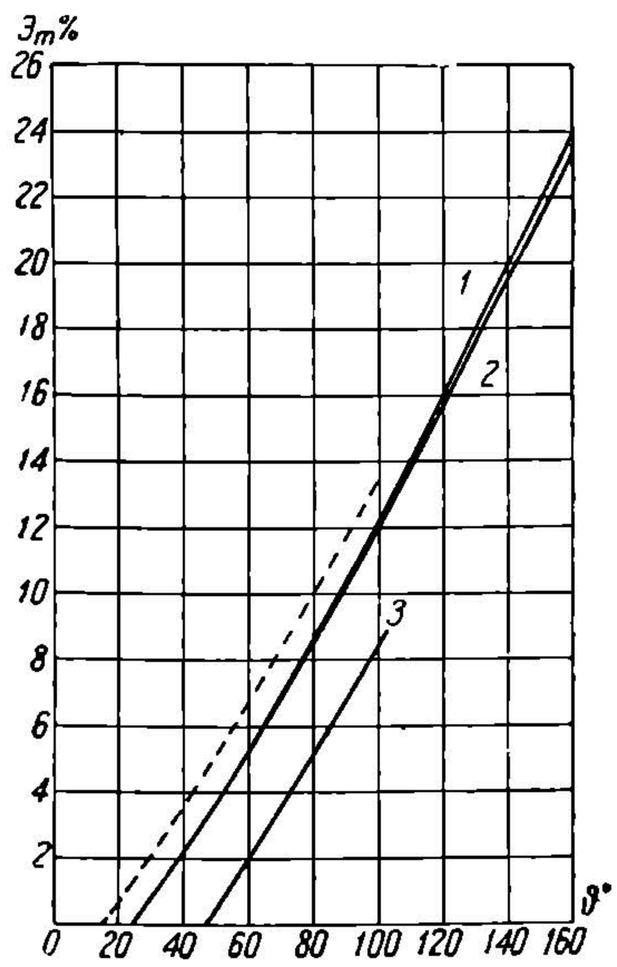
В табл. 32 приведены значения $Э_m$ для разных ϑ и $\frac{G_к}{B_к}$ подсчитанные по формуле (209); при подсчетах принято:

$$\lambda_и = 750; \quad \lambda_к = 646; \quad \lambda_e = 600; \quad \tau = 15.$$

Данные табл. 32 представлены в виде кривых на фиг. 288.



Фиг. 288.



Фиг. 289.

Таблица 32

$\vartheta°$ / $G_к/B_к$	50°	60°	70°	80°	90°	100°
0	5,12	6,69	8,30	9,95	11,65	13,41
0,02	3,27	4,81	6,39	8,01	9,69	11,42
0,03	2,35	3,87	5,43	7,05	8,71	10,42
0,04	1,42	2,93	4,48	6,08	7,73	9,42
0,05	0,50	1,99	3,53	5,11	6,75	8,43
0,06	—	1,05	2,58	4,15	5,76	7,43
0,08	—	—	0,67	2,21	3,80	5,44
0,10	—	—	—	0,27	1,84	3,44

На фиг. 289 кривая *3* дает значения $Э_m$ для $\frac{G_к}{B_к}=0{,}05$, а пунктирная кривая—для $\frac{G_к}{B_к} = 0$.

[1] Иными словами, современные инжекторы мятого пара работают мятым паром лишь на 50—60%.

НТБ ДНУЖТ

Водоподогреватель типа смешения

В водоподогревателях в камеру подогрева питательной воды поступает отработанный пар машины, а также тормозного и питательного насосов. При отсутствии водоподогревателя отработанный пар тормозного насоса выпускается в атмосферу, здесь же этот пар отдает свое тепло питательной воде и возвращает его в котел.

Называя весовое количество пара для обслуживания тормозного насоса через G_m, можем написать выражение для экономии топлива применительно к подогревателю смешения в следующем виде:

$$Э_m^{\%} = \frac{(G_e + G_m) \cdot \lambda_e}{B_k \cdot (\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta)} \cdot 100. \qquad (211)$$

Уравнение теплового баланса водоподогревателя смешения:

$$G_e(\lambda_e - \vartheta) + G_k(\lambda_e - \vartheta) = A(\vartheta - \tau), \qquad (212)$$

где $G_к$ — вес острого пара, затрачиваемого на работу насосов питательного и тормозного; отработав в насосах, этот пар с теплосодержанием λ_e поступает в камеру смешения в помощь мятому пару машины.

Уравнение весового баланса:

$$B_k = G_e + G_k + A; \qquad (213)$$

определяя из (213) A и подставляя в (212), находим:

$$G_e(\lambda_e - \tau) = B_k(\vartheta - \tau) - G_k(\lambda_e - \tau), \qquad (214)$$

откуда:

$$\frac{G_e}{B_k} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} - \frac{G_k}{B_k}. \qquad (215)$$

Подставляя в (211), находим:

$$Э_m^{\%} = \left(\frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} \quad \frac{G_k}{B_k} + \frac{G_m}{B_k}\right) \frac{\lambda_e}{\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta} \cdot 100. \qquad (216)$$

Согласно опытным данным на работу каждого из насосов затрачивается в поездных условиях около 1,5% от $B_к$; поэтому:

$$Э_m^{\%} = \left(\frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} - 2 \cdot 0{,}015 + 0{,}015\right) \frac{\lambda_e}{\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta} \cdot 100 =$$

$$= \left(\frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} - 0{,}015\right) \frac{\lambda_e}{\lambda_{\ddot{u}} - \vartheta} \cdot 100. \qquad (217)$$

Подсчитанное по этой формуле для различных значений ϑ величины $Э_m^{\%}$ сведены в табл. 33 и показаны на фиг. 289 (кривая *1*).

Таблица 33

$\vartheta°$	23,8°	50°	60°	80°	100°	120°	140°	160°
$Э_m^{\%}$	0	3,83	5,34	8,56	12,02	15,77	19,79	24,13

Таблица 34

$\vartheta°$	23,6°	50°	60°	80°	100°	120°	140°	160°
$Э_m^{\%}$	0	3,82	5,34	8,54	11,92	15,52	19,35	23,45

НТБ ДНУЖТ

Водоподогреватель поверхностного типа

Уравнение теплового баланса:

$$G_e(\lambda_e - \lambda_{кон}) + G_k(\lambda_e - \lambda_{кон}) = A(\vartheta - \tau). \qquad (218)$$

Весовой баланс:

$$A = B_k.$$

Принимая $\lambda_{кон} = \vartheta$, к чему и надо стремиться при правильной эксплуатации водоподогревателя, определяем из (218) отношение $\frac{G_в}{B_k}$

$$\frac{G_в}{B_k} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \vartheta} \frac{G_k}{B_k} \qquad (219)$$

имеем:

$$Э_m^{\%} = \frac{(G_в + G_m)(\lambda_e - \vartheta)}{B_k(\lambda_д - \vartheta)} \cdot 100 = \left(\frac{G_e}{B_k} + \frac{G_m}{B_k}\right) \frac{\lambda_e - \vartheta}{\lambda_д - \vartheta} \cdot 100 =$$

$$= \left(\frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \vartheta} - 0{,}015\right) \frac{(\lambda_e - \vartheta)}{\lambda_д - \vartheta} \cdot 100. \qquad (220)$$

Цифры табл. 34, подсчитанные по этой формуле для разных ϑ, дают результаты, весьма близкие к подогревателю типа смешения. Изменение величины $Э_m$ для поверхностного подогревателя показаны кривой *2* на фиг. 289.

Действительная цифра сбережения топлива, получаемая при переходе на водоподогрев, будет несколько отличаться от получаемой по формулам по следующим соображениям.

1. Введя подогрев воды, мы получаем возможность сжигать меньшее количество топлива для съема данного количества пара с котла. Понижая форсировку, мы приводим работу котла в область более высоких тепловых к. п. д. (так как к. п. д. котла есть убывающая функция форсировки). За счет этого должна получиться дополнительная экономия горючего. Размеры этой дополнительной экономии с трудом поддаются точному учету; в современных мощных паровозах она составляет обычно даже при форсированной работе не свыше 2—3%.

2. Введение подогрева питательной воды автоматически снижает температуру перегрева пара, как об этом говорилось выше. При подогреве воды до 100° перегрев пара падает на 20—25°, что эквивалентно перерасходу топлива для получения той же работы паровоза на 4—5%.

В предыдущем изложении в достаточной степени выявилось главное назначение подогревателей питательной воды; подогреватель берет на себя часть функций котла, выполняя их за счет даровой энергии отбрасываемого паровозом мятого пара (или газов); благодаря такому сокращению объема тепловой работы котла и получается значительное сбережение топлива.

§ 4. Отбор пара для подогрева питательной воды

Обозначим через μ — суммарный коэфициент отбора мятого и острого пара для подогрева питательной воды, а через $\mu_к$ — отбор мятого пара из выхлопной системы (конуса).

Очевидно:

$$\mu = \frac{G_e}{B_k} + \frac{G_k}{B_k}, \qquad (221)$$

$$\mu_k = \frac{G_в}{B_k}. \qquad (222)$$

Инжектор

Для инжектора смешанного действия величина $\mu_к$ была уже выяснена выше (уравнение 208).

НТБ ДНУЖТ

Прибавляя к обеим частям этого уравнения величину $\frac{G_к}{B_к}$, имеем:

$$\mu = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} \frac{G_k \lambda_k - \tau}{B_k \lambda_e - \tau} + \frac{G_k}{B_k} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} \frac{G_k \lambda_k - \lambda_e}{B_k \lambda_e - \tau} \quad (223)$$

для инжектора, работающего без примеси острого пара, полагая $\frac{G_к}{B_к} = 0$, получили бы:

$$\mu \quad \mu_k = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau}, \quad (224)$$

для инжектора острого пара $\left(\frac{G_к}{B_к} = 0\right)$, из уравнения (208) найдем:

$$\mu = \frac{G_k}{B_k} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_k - \tau} \quad (225)$$

Водоподогреватель типа смешения

Для этого питательного агрегата мы имели выше уравнение (214), отсюда имеем:

$$G_e = B_k \quad \mu_k.$$

Количество же пара, поступающего в водоподогреватель из насосов питательного и тормозного, оцениваем попрежнему цифрой в $3^0/_0$ от B_k, т. е.:

$$G_k = 0{,}03 \cdot B_k.$$

Подставляя эти значения в (214), имеем:

$$B_k \mu_k (\lambda_e - \tau) + 0{,}03 B_k (\lambda_e - \tau) = B_k (\vartheta - \tau),$$

откуда:

$$\mu_k = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} - 0{,}03. \quad (226)$$

Коэфициент суммарного отбора определяется из уравнения (215):

$$\mu = \frac{G_e}{B_k} + \frac{G_k}{B_k} = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \tau} \quad (227)$$

Водоподогреватель поверхностного типа

Подставляя в (218):

$$G_e = B_k \mu_k G_k = 0{,}03 B_k \text{ и } A = B_k,$$

находим после сокращения на B_k:

$$\mu_k (\lambda_e - \lambda_{кон}) + 0{,}03 (\lambda_e - \lambda_{кон}) = \vartheta - \tau,$$

откуда, полагая $\lambda_{кон} = \vartheta$, имеем:

$$\mu_k = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \vartheta} - 0{,}03; \quad (228)^1$$

$$\mu = \frac{\vartheta - \tau}{\lambda_e - \vartheta}. \quad (229)^1$$

Для большей наглядности проведем сопоставление работы инжектора острого и мятого пара и смешанного действия, а также обоих типов водоподогревателей при следующих одинаковых условиях:

$$\lambda_и = 750 \text{ кал/кг}; \ \lambda_k = 646 \text{ кал/кг}; \ \lambda_в = 600 \text{ кал/кг}; \ \tau = 15^\circ; \ \mu = 0{,}12.$$

Находя из соответствующих формул величины ϑ, $\mu_к$ и $Э_т$, сводим их в табл. 35.

---

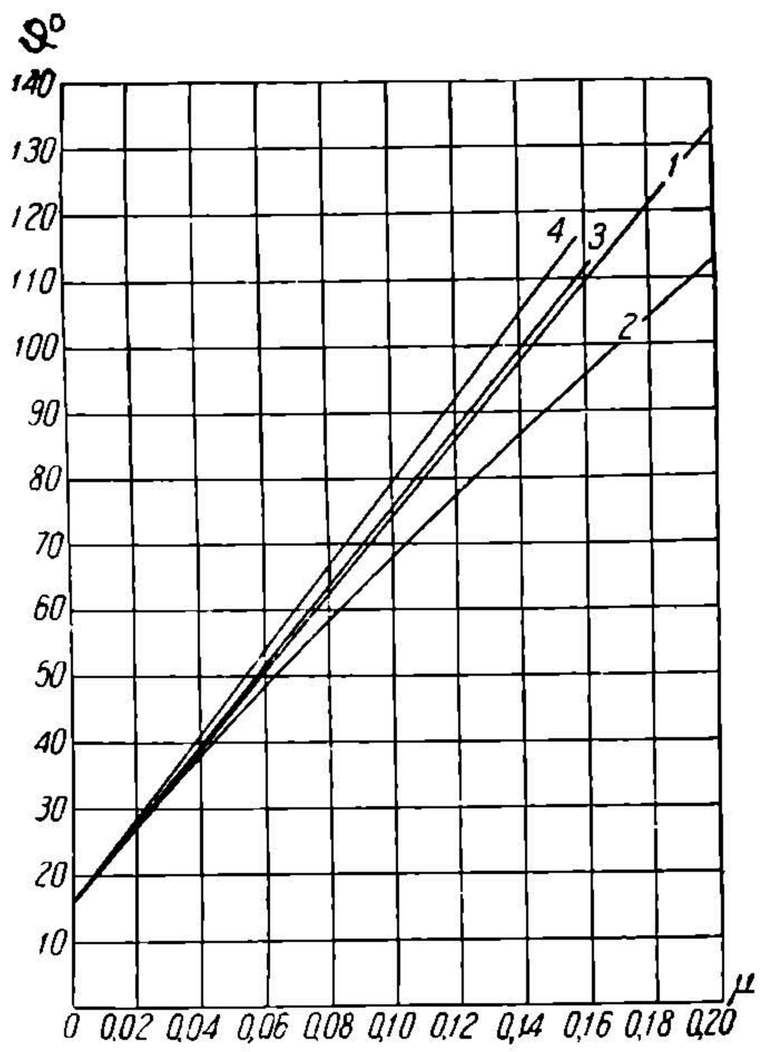
[1] Если отработанный пар уходит из машины перегретым, то вследствие его низкой теплопередающей способности (малая плотность) $\lambda_{кон}$ значительно повышается, а следовательно уменьшаются ϑ и $Э_т$.

НТБ ДНУЖТ

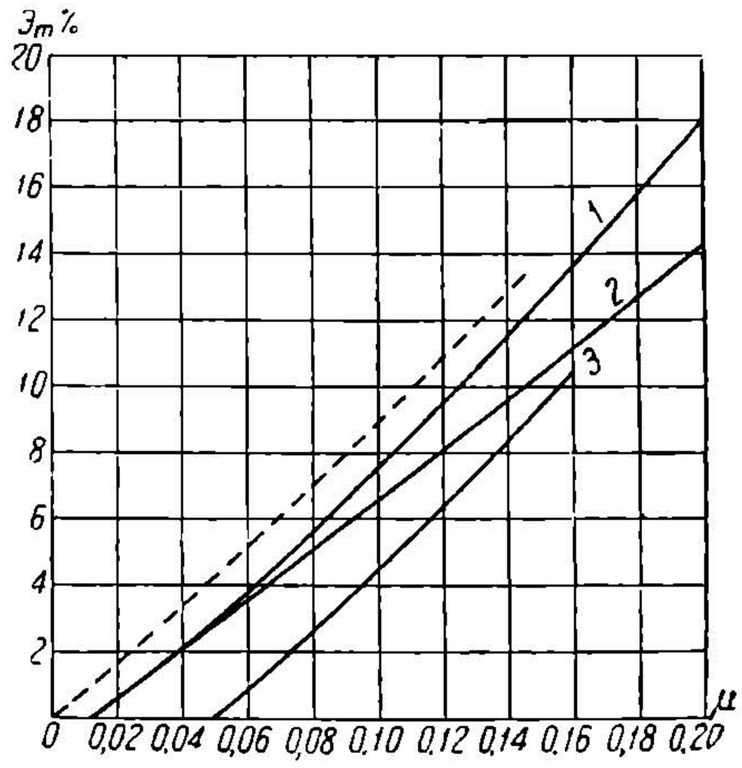
Таблица 35

Тип водоподогревательного устройства	$\vartheta°$	$Э_m^{\%}$	Отбор пара	
			G_c/B_k	G_k/B_k
Инжектор смешанного пара ($G_к/B_к$ = =0,05)	87,5°	6,75%	0,07	0,05
Инжектор острого пара	90,7°	0	0	0,12
Инжектор мятого пара . .	85,2°	10,83%	0,12	0
Водоподогреватель смешения . .	85,2°	9,48%	0,09	0,03
Водоподогреватель поверхностного типа	77,7°	8,16%	0,09	0,03

Подобным же способом получены табличные данные (табл. 36 и 37) характеристик ϑ и $Э_m^{\%}$ работы различных питательных устройств для разных μ, представленные графически на фиг. 290 и 291. Кривая *4* на фиг. 290 относится к инжектору острого пара; кривая *2* — подогреватель поверхностного типа; кривая *3* — инжектор смешанного пара; кривая *1* — инжектор мятого пара.



Фиг. 290.



Фиг. 291.

Приведенные данные показывают, что наивыгоднейшим, с точки зрения сбережения топлива, питательным прибором был бы инжектор, работающий без примеси острого пара. Из существующих же агрегатов на первом месте стоит в отношении экономии топлива водоподогреватель смешения.

Таблица 36

Тип агрегата \ μ	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
Инжектор острого пара . . .	52,9°	65,5°	78,1°	90,7°	103,3°	116,0°	—	—
Инжектор смешанного пара ($G_к/B_к$=0,05) . . .	52,4°	64,1°	75,8°	87,5°	98,9°	110,9°	—	—
Инжектор мятого пара	50,1°	61,8°	73,5°	85,2°	96,6°	108,6°	—	—
Водоподогреватель смешения .	50,1°	61,8°	73,5°	85,2°	96,6°	108,6°	120,3°	132,0°
Водоподогреватель поверхности .	48,1°	58,3°	68,2°	77,7°	86,8°	95,7°	104,2°	112,5°

НТБ ДНУЖТ

Таблица 37

Тип агрегата \ μ	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
Инжектор острого пара . .	0	0	0	0	0	0	—	—
Инжектор смешанного пара ($G_к/B_к$=0,05) . . .	0,85%	2,61%	4,44%	6,33%	8,26%	10,34%	—	—
Инжектор мятого пара .	5,14%	6,98%	8,86%	10,83%	12,82%	14,98%	—	—
Водоподогреватель смешения	3,84%	5,67%	7,53%	9,43%	11,44%	13,57%	15,67%	17,95%
Водоподогреватель поверхности . . .	3,51%	5,08%	6,63%	8,16%	9,67%	11,17%	12,66%	14,15%

Однако, подводя итоги сравнительной оценки инжекторов мятого пара (точнее — смешанного действия) и водоподогревателей, нельзя не согласиться с тем, что инжектор по своей компактности, малому весу, малой стоимости, отсутствию движущихся и быстро изнашиваемых (а потому требующих частого ремонта и смены) частей—имеет неоспоримые эксплуатационные преимущества перед водоподогревателями не только поверхностного типа, но и типа смешения.

§ 5. Расчет водоподогревателя

Водоподогреватели типа смешения, работающие по тому же принципу, как и инжектор мятого пара (с тепловой точки зрения), дают температуру подогрева воды, определяемую из уравнения смешения отработанного пара с тендерной водой; величины же получаемой экономии горючего и коэфициента отбора мятого пара подсчитываются для них по вышеприведенным формулам (217) и (227).

В водоподогревателе поверхностного типа необходимо уметь подсчитать величину поверхности нагрева трубок, необходимую и достаточную для подогрева воды до заданной температуры.

Пусть вода протекает по трубкам парового подогревателя, как показано на фиг. 292.

Пар, имеющий постоянную температуру t_e, обтекает трубки снаружи. Двумя вертикальными плоскостями a и b выделим бесконечно малый элемент поверхности нагрева трубок — dH; температуры воды в сечении a и b будут ϑ_x и $\vartheta_x + d\vartheta$. Если через подогреватель проходит в час $B_к$ кг воды, то количество тепла, получаемое водой на выделенном бесконечно малом участке, выразится через:

$$dQ = B_k c_p [(\vartheta_x + d\vartheta) - \vartheta_x] = B_k c_p \cdot d\vartheta_x$$

или, принимая теплоемкость воды $= 1$:

$$dQ = B_k d\vartheta.$$

С другой стороны, то же количество тепла, как прошедшее через элемент поверхности dH, может быть выражено следующим образом:

$$dQ = \eta \cdot K_n \cdot dH (t_e - \vartheta_x).$$

Соединяя оба последние выражения знаком равенства, имеем:

$$B_k d\vartheta = \eta \cdot K_n dH \cdot (t_e - \vartheta_x). \qquad (230)$$

Разделяя переменные и интегрируя:

$$\frac{d\vartheta}{t_e - \vartheta_x} = \frac{\eta \cdot K_n}{B_k} dH,$$

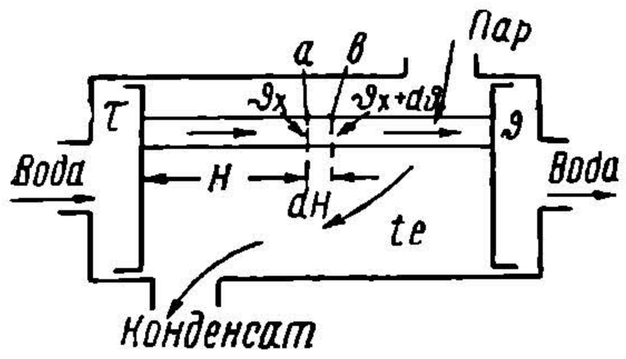
$$\frac{\eta \cdot K_n}{B_k} \cdot H_n = \ln \frac{t_e - \tau}{t_e - \vartheta} \qquad (231)$$

НТБ ДНУЖТ

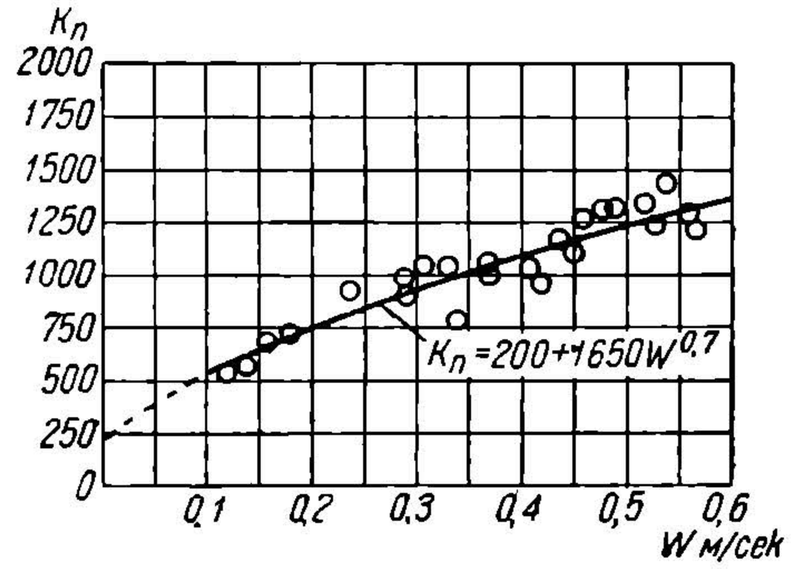
Величина коэфициента теплопередачи K_n была установлена специальными опытами бывш. Научно-технического комитета НКПС (1925 г.) под непосредственным руководством автора. Эта величина подчиняется эмпирическому уравнению:

$$K_n = 200 + 1650 \quad W_n^{0,7}, \tag{232}$$

где W_n — средняя скорость протекания воды по трубкам, доходящая до 1,5 *м/сек*. На фиг. 293 нанесены в виде точек величины K_n, полученные при опытах, и кривая, выражаемая уравнением (232).



Фиг. 292.



Фиг. 293.

Полагая $K_n = 1250$ (при $W = 0,5$ *м/сек*), $\eta = 0,97$, $t_e = 105°$ и $\tau = 15°$, имеем:

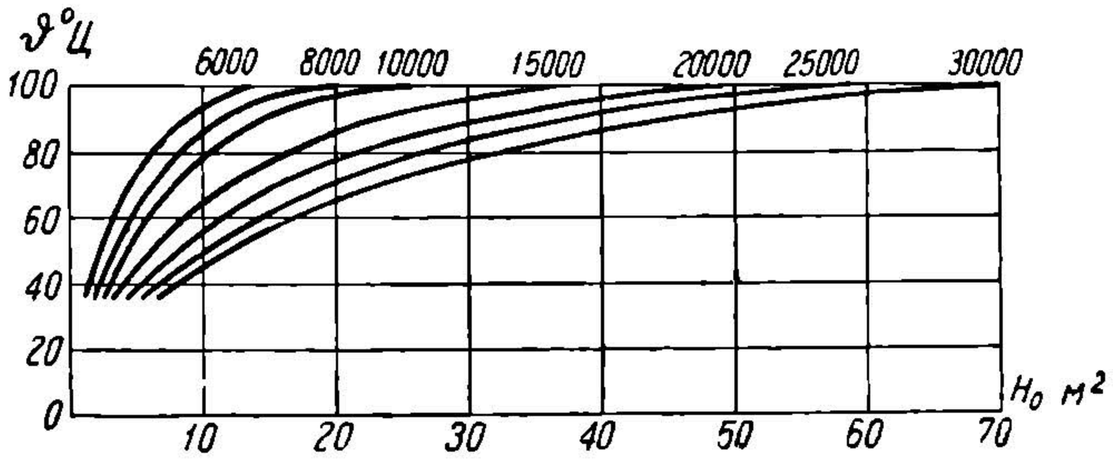
$$H_n = \frac{B_k}{1212} \cdot \ln \frac{90}{105 - \vartheta} \tag{232a}$$

По уравнению (232а) в табл. 38 приведены значения H_n для разных ϑ и B_k.

Таблица 38

B_k \ $\vartheta°$	40°	60°	80°	90°	100°
6 000	1,61	3,43	6,34	8,87	14,34
8 000	2,15	4,57	8,46	11,83	19,12
10 000	2,69	5,72	10,57	14,79	23,90
15 000	4,03	8,58	15,86	22,18	35,85
20 000	5,37	11,44	21,14	29,57	47,79
25 000	6,71	14,30	26,43	36,97	59,74
30 000	8,05	17,15	31,71	44,36	71,69

По уравнению 232а на фиг. 294 нанесены величины необходимой и достаточной поверхности нагрева для достижения заданной температуры подогрева воды при различной часовой паропроизводительности котла.



Фиг. 294.

Тепловая работа водоподогревателя, работающего за счет тепла уходящих из котла газов, ничем не отличается от работы котельной поверхности нагрева.

Поэтому и при расчете газового подогревателя сохраняют силу те же основные уравнения кривой тепла и теплопередачи, которыми мы пользовались при исследовании тепловой работы котла.

НТБ ДНУЖТ

Обозначая через T температуру газов при входе в подогреватель, а через T' — температуру при выходе из подогревательных трубок, имеем:

$$B_k(\vartheta - \tau) = \eta [M(T - T') + N(T^2 - T^{2'})]. \quad (233)$$

$$\left[M + 2N\frac{\tau+\vartheta}{2}\right] \ln \frac{T - \frac{\tau+\vartheta}{2}}{T' - \frac{\tau+\vartheta}{2}} + 2N(T - T') = K \cdot H_n. \quad (234)$$

Температура газов при входе в подогреватель при нормальном расположении такового может быть принята равной температуре газов при выходе из трубчатой части котла $T = T_3$.

Задаваясь температурой ϑ воды по выходе из подогревателя и величиной коэфициента теплопередачи от газов воде, определяем из уравнения (233) величину T', — а затем из уравнения (234) — необходимую и достаточную величину газовой поверхности нагрева H_n.

Величина K будет в этом случае раза в полтора выше, чем в дымогарных трубах котла, ввиду того, что плотность газов в дымовой коробке (температура около 300°) больше, чем в дымогарных трубах (средняя температура газов 600—750°).

§ 6. Ремонт водоподогревателей

При капитальном ремонте паровозов водоподогреватели подлежат полной разборке с заменой всех изношенных и поврежденных деталей. Прежде всего следует рассмотреть неисправности насоса. К ним относятся: 1) отказ насоса от работы при открытом пусковом вентиле; 2) слишком медленный ход и даже остановка насоса через некоторый промежуток времени после пуска в ход; 3) отказ насоса качать воду при пуске, ненормальный ход поршня, работа насоса вхолостую, 4) отказ насоса во время работы, 5) недостаточная производительность насоса.

В первом случае причиной неисправности являются паровая часть насоса, заедание парораспределительного золотника или поршня парового цилиндра. Нередко причиной отказа от работы является поломка или изгиб распределительного золотникового стерженька. Здесь ремонт парового насоса аналогичен с ремонтом насоса автоматического тормоза. Причинами медленного хода насоса и даже его остановок служит малый подъем клапана питательной коробки или же перекрытая пробка. В этом случае возможно значительное повышение давления в напорной магистрали и в трубках подогревателя, что может даже вызвать разрыв трубок. В данном случае необходимо остановить насос, осмотреть положение котельной питательной коробки. Если при вторичном пуске насоса ход его все же останется медленным, необходимо проверить подъем клапана питательной коробки и в случае надобности следует его увеличить. В третьем случае причину неисправности нужно искать в отсутствии доступа воды из тендера вследствие закрытия тендерного вентиля или пробки. Нормальная работа восстанавливается осмотром тендерного вентиля. Отказ насоса во время работы вызывается неплотностью всасывающей трубы, засорением трубы, неплотным прилеганием одного или нескольких клапанов, заеданием клапана или поломкой клапана или поршня насоса и недостатком смазки. В этом случае необходимо главное внимание обратить на состояние клапанов и клапанных седел. По выемке клапанов они должны быть притерты; помимо клапанов, должны быть осмотрены и клапанные пружины, так как они служат нередко причиной заедания клапанов. Недостаточная производительность насоса несмотря на быстрый ход вызывается неплотностью или поломкой клапанов или седел их, попаданием посторонних тел в клапанную коробку, неплотностью водяного поршня и перегревом воды в тендере. Неплотность клапанов определяется по забоинам и матовым пятнам. Неисправные клапаны при наличии забоин должны быть проверены, а затем

НТБ ДНУЖТ

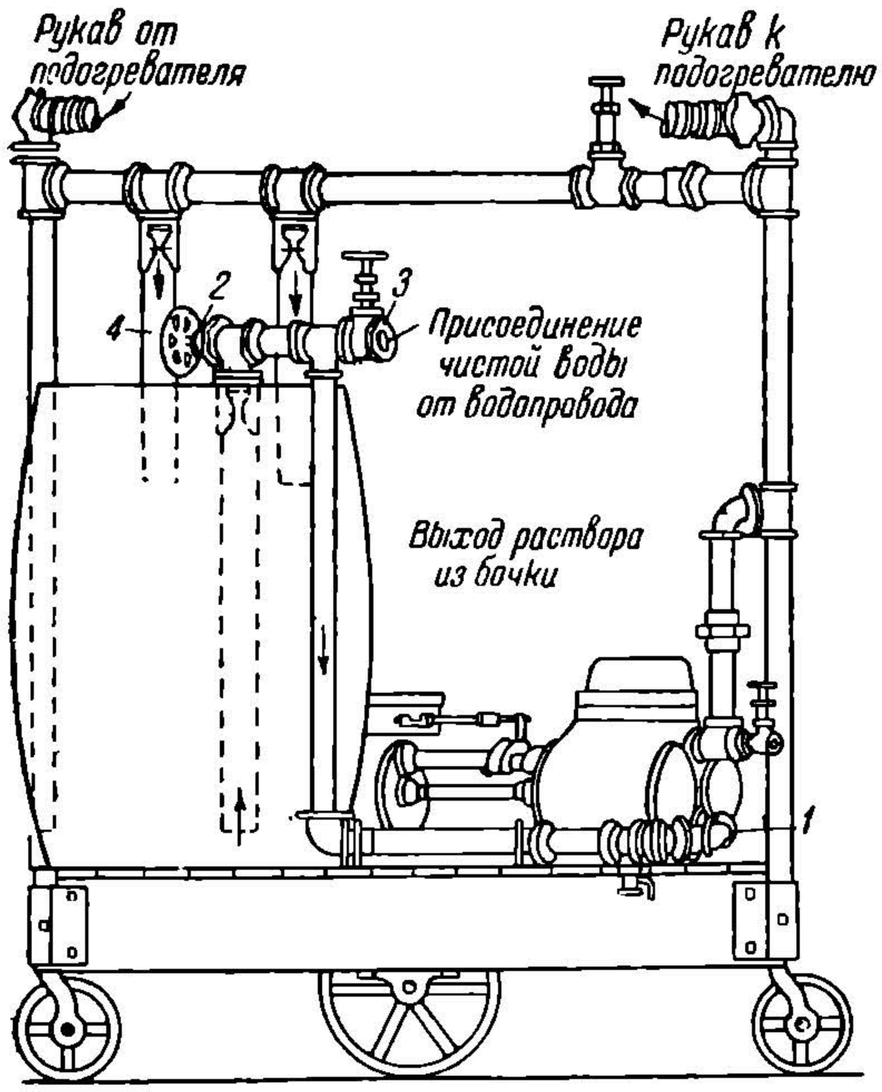
притерты. Клапанная коробка очищается и по постановке клапанов проверяется подъем их, который должен быть равен 7 *мм*. Одновременно меняются все ломаные пружины. Неплотность поршневых колец водяного поршня снижает производительность насоса и обнаруживается помощью манометра, устанавливаемого на напорный колпак. Насосный манометр также покажет при неплотности поршня меньшее давление. При исправном поршне давление пара, под которым работает насос, приблизительно равно $^1/_2$ котлового + (1—1,5) *ат*; при очень усиленной работе (35 — 40 оборотов в минуту) давление равно $^1/_2$ котлового + (2 — 3) *ат*. При неплотности колец давление будет значительно ниже. Кольца должны быть изготовлены из сплава следующего состава: свинца 6, олова 20, сурьмы 10 и красной меди 4 части. Кольца разрезаются косым замком в 7 *мм* шириной, затем кольцо припиливается в замке с таким расчетом, чтобы при установке в цилиндр зазор был не более $^1/_4$—$^1/_2$ *мм*. При осмотре поршня одновременно осматривается и бронзовая втулка цилиндра, на которой могут быть риски, задиры и, наконец, ослабление. Задиры устраняются расточкой; при значительных же рисках втулка заменяется новой с запрессовкой на место давлением 3—4 *ат*. Кроме указанных причин, отказ насоса или же его малая производительность могут быть вызваны значительным перегревом воды в тендере, чему способствует нередко неплотность прогревательного вентиля.

Неисправности батареи водоподогревателя и их устранение

Одной из основных распространенных неисправностей батарей подогревателя является течь трубок, причинами чего могут быть: 1) ослабление их в месте вальцовки, 2) лопнувшая одна или несколько трубок, 3) слабая постановка крышки на место, 4) порча клингеритовой прокладки между днищем и крышкой, 5) трещины в крышке. Течь водоподогревателя определяется тем, что в спускную трубку вытекает воды больше, чем обычно, и, кроме того, подача воды весьма слаба. Если течь передней крышки отсутствует, то повреждение нужно искать внутри корпуса. Для этого отнимается от места у нижней крышки паровой рубашки пароисходящая трубка водяного насоса, затем без добавления пара от тормозного насоса и от масленки Фридмана насос пускается в ход, если при этом в спускную трубу потечет вода, то следовательно имеет место течь. Течь задней крышки в месте прилегания ее к батарее определяется еще и путем ее осмотра по отнятии задней крышки от корпуса. Наличие потеков свидетельствует о наличии течи, в этом случае батарею из корпуса вынимать не требуется. Для устранения течи в самой батарее она должна быть вынута из корпуса и испытана гидравлическим давлением. Слабая завальцовка труб определяется потеками, появляющимися на трубчатой решетке, или же ее дрожанием при легких ударах по концам трубы. Укрепление трубок в решетках производится с помощью вальцовок. Нередко депо для укрепления трубок применяет раздачу бородками, однако этого допускать не следует, так как при этом возможно нарушение соединений труб. Течь прокладок в днищах устраняется или сменой их или же креплением болтов текущей крышки. После постановки новой прокладки, новой трубки или же вальцовки трубок батарея должна быть подвергнута гидравлическому испытанию на 20 *ат*, при этом никакой течи быть не должно. Следующей деталью, которая требует внимательного осмотра и ремонта, является 4-ходовый кран. Необходимость ремонта крана большей частью вызывается его пропуском. При капитальном ремонте пробка крана должна быть притерта, при износе же на 6% против альбомных размеров она заменяется новой. В практике имеют место случаи отказа и пропуска парового автоматического клапана из-за тугой постановки или заедания поршенька. Эти неисправности могут быть устранены только притиркой поршенька и клапанов; при значительном износе поршенек должен быть сменен. В процессе эксплуатации водоподогреватели подвергаются периодическому осмотру, батарея же — промывке. Промывка может быть сделана от своего же насоса при помощи перестановки 4-ходового крана в положение, противоположное рабочему. Затем нужно закрыть пробку питательного клапана и открыть пожар-

НТБ ДНУЖТ

ный отросток, на который следует надеть пожарный рукав. После этих операций на сос пускается в ход. Вода под сильным напором промывает трубки подогревагеля и выбивает накипь. Кроме того, для промывки водоподогревателей можно воспользоваться специальной установкой (фиг. 295), которая состоит из пневматического или электрического насоса, установленного на тележке. Бак, расположенный на тележке, наполняется раствором, состоящим из 4 частей воды и 1 части соляной кислоты. При промывке надо соединить рукав *1* с всасывающим отверстием насоса, закрыть все вентили, кроме 2-го, и пустить насос. Раствор пропускается через подогреватель несколько раз до полной очистки трубок. По окончании промывки закрывается вентиль *2* и открывается вентиль *3*, после чего насос работает некоторый промежуток времени вхолостую, чтобы выдуть из труб воздух и оставшийся раствор. Потом вентиль *3* соединяется рукавом с водопроводной линией, вынимается рукав *4* для спуска воды, вновь пускается в ход насос, и подогреватель окончательно промывается чистой водой.



Фиг. 295.

Подогреватели системы Вортингтона отличаются по своей конструкции значительной сложностью, но не имеют батареи, так как процесс смешения протекает в корпусе самого насоса. При капитальном ремонте водоподогреватель должен быть полностью разобран, цилиндры (правильнее, их втулки) должны быть расточены, а поршневые кольца сменены. Так же меняются клапаны и их седла, причем особое внимание должно быть обращено на качество притирки. По окончании сборки проверяется ход поршня, который должен соответствовать альбомным размерам.

ГЛАВА III

ОСМОТР И ИСПЫТАНИЕ ПАРОВОЗНЫХ КОТЛОВ

§ 1. Правила осмотра и испытания паровозных котлов

Каждый паровозный котел в продолжение всей своей работы подвергается ряду осмотров и испытаний, производимых через определенные сроки, целью которых является установление состояния пригодности его к дальнейшей работе. Правилами ухода и содержания паровозных котлов установлены следующие виды осмотров и освидетельствований: 1) наружный осмотр, 2) гидравлическое испытание, 3) полный осмотр с гидравлическим испытанием котла и 4) специальное обследование котлов с испытанием их материала. Наружный осмотр производится через 2 года, для котлов же, изготовленных полностью или частично из ижорского и импортного железа,—ежегодно. Для производства наружного осмотра необходимо снять обшивку лобового листа кожуха топки, разобрать свод, обмуровку топки и вынуть колосники. При отсутствии признаков течи и пропаривания швов дальнейшего снятия обшивки не требуется, в противном случае, если имеется предположение о наличии под обшивкой пропаривающих швов и текущих закле-

НТБ ДНУЖТ

пок, необходимо снять обшивку на участке возможных неисправностей швов и заклепок. При осмотре топки следует выявить все трещины, выедины, оборванные связи, анкерные болты и лапчатые связи, местные выедины и углубления на стенках топки и ее потолка, а также на стенках кожуха топки. В результате наружного осмотра котла может выявиться необходимость производства полного (наружного и внутреннего) осмотра котла, что производится на основе изложенных ниже методов осмотра. Все обнаруженные недостатки должны быть устранены, контрольные пробки перелиты сплавом, в состав которого входит 90% свинца и 10% олова, согласно приказу НКПС за № 13/а от 16/II 1937 г., а манометр и предохранительные клапаны проверены. О произведенном наружном осмотре в котловой книге паровоза должна быть сделана запись с указанием даты, места осмотра и лиц, его производивших.

Необходимо, кроме наружного осмотра, подвергнуть котлы гидравлическому испытанию с записью в шнуровую котловую книгу в случаях выполнения следующих работ: 1) смена хотя бы части листа или постановка одной или нескольких заплат общей площадью не менее 1,0 $м^2$, 2) переклепка не менее 10 рядом лежащих заклепок, 3) смена более 15% всего числа топочных связей или свыше 20 связей, лежащих в одном месте, 4) электросварочные работы в порядке правил по применению электрической сварки при ремонте паровозных котлов и, наконец, после аварии с котлом (например после поджога топочных листов, нарушения нормального положения котла на раме).

§ 2. Полный осмотр и гидравлическое испытание котла

При капитальном ремонте паровоза, а также при среднем—со сменой частей топки или кожуха котел подвергается полному внутреннему осмотру и испытанию гидравлическим давлением. Осмотр котлов производится лично техническим директором завода и начальником котельного цеха. Результаты осмотра и испытания заносятся в шнуровую котловую книгу паровоза, причем к акту испытания прилагается эскиз произведенных котельных работ. Как правило, полный внутренний осмотр и испытание гидравлическим давлением производятся по истечении 6-летнего срока после предыдущего полного осмотра или в тех случаях, когда от момента выпуска паровоза из ремонта до истечения 6-летнего срока остается менее 3 месяцев. При полном осмотре должны быть осмотрены все отдельные части котла, тем более что до начала осмотра котел освобождается от обшивки и изоляции и, кроме того, вынимаются все дымогарные и жаровые трубы.

При осмотре котла необходимо обратить внимание не только на выедины в нижней цилиндрической части котла, в загибах, у кромок листов, но и на состояние самих швов, кромок у люковых отверстий и вблизи питательных отверстий котла.

После осмотра устанавливается объем ремонта, утверждаемый техническим директором завода. По окончании ремонта производится гидравлическое испытание котла.

§ 3. Правила производства гидравлического испытания

Гидравлическое испытание производится на давление, превышающее рабочее (по манометру) на 5 *ат*. Для контроля давления применяются всегда два точно выверенных манометра. После наполнения котла водой необходимо удалить воздух из котла, препятствующий обычно повышению давления, для чего наполнение производится до тех пор, пока вода не покажется из высшей точки котла (например из открытой масленки, установленной на паровом колпаке).

Дальнейшее подкачивание воды производится насосом, водоподающая трубка которого соединяется с одним из водопробных кранов. По достижении установленного давления (для паровозов серий «ФД» и «ИС» 20 *ат*) насос разобщается с котлом путем перекрытия крана. Под пробным давлением котел выдерживается в течение 5 минут, а затем давление понижается до рабочего, при котором и произ-

НТБ ДНУЖТ

водится осмотр котла. При наличии течи, наблюдаемой в швах, связях и заклепках, подкачивания воды при падении давления не допускается. Осмотр следует начинать с топки, причем наличие течи, особенно в швах, указывает на неплотность клепаных швов, на пористость сварных швов, на слабую постановку связей и болтов в резьбе, или, наконец, на недостаточно уплотненные заклепки. Нередко обнаруживается течь в торце листа, указывающая на наличие расслоения и пленистости железа; такие листы подлежат смене. Также подлежат смене те листы, на цельной поверхности которых появляется течь или же капли воды в виде росы. Одновременно с осмотром производится измерение прогибов стенок топки и потолка, которые не должны превышать установленных норм. Измерения производятся или прикладыванием линейки вдоль и поперек стенок топки, или же индикаторами и тензометрами, позволяющими наблюдать абсолютную величину прогиба. Все участки топки, имеющие незначительную течь, отмечаются мелом и затем по окончании испытания подчеканиваются. Во время гидравлического испытания подчеканка и вообще какие бы то ни было котельные работы не допускаются. При осмотре топки необходимо также выяснить состояние дымогарных, жаровых и циркуляционных труб. При этом все трубы, давшие течь в сварке или же имеющие надорванные борты, подлежат смене. После осмотра топки производится осмотр котла снаружи, где также подробно осматриваются швы, головки связей и заклепок. Подобным же образом осматриваются передняя решетка, передние концы дымогарных и жаровых труб, швы и заклепки, при небольшой течи которых допускается подчеканка.

Так как котел испытывается вместе с арматурой, то особенно тщательно нужно убедиться в том, нет ли течи в корпусах арматуры и в местах укрепления к котлу. Регуляторные золотники и клапаны (при клапанном регуляторе) не должны пропускать воды. Так же подробно осматриваются крышки люков и лазов, крышка сухопарного колпака. В случае обнаружения течи, требующей смены связей, анкерных болтов в количестве, превышающем приведенные выше нормы, или переклепки швов, результаты гидравлического испытания котла считаются неудовлетворительными. Отмеченные недостатки устраняются, после чего котел подвергается вторичному испытанию.

§ 4. Специальное обследование котлов

Паровозные котлы, прослужившие 30 и более лет, подвергаются специальному обследованию, при котором устанавливается отсутствие вредного перерождения металла стенок кожуха[1] и листов цилиндрической части котлов. Во время обследования производится тщательный осмотр стенок топки, ее кожуха и цилиндрической части котла.

Внешний осмотр всех листов топки и цилиндрической части котла позволяет сделать выводы о физическом изменении металла и ухудшении качества листов. При отсутствии признаков ухудшения качества (отсутствие плен, раковин, расслоения) котел признается годным к работе до следующего полного осмотра. Следует отметить, что специальное освидетельствование приурочивается к времени производства полных осмотров котла.

Если при осмотре будут обнаружены листы кожуха топки или цилиндрической части котла, ненадежные для дальнейшей работы, или же требующие наложения заплат, или смены их, то из одного листа вырезаются 4 образца установленного нормального размера (2 образца вдоль прокатки и 2 образца поперек прокатки) для испытания на разрыв. Котел признается годным к дальнейшей службе, если материал испытанных листов будет удовлетворять специально установленным техническим условиям.

Для испытания не должны браться листы позднейшей постановки, что устанавливается по эскизам, прилагаемым к паспорту котла. При постановке

---

[1] Производится обследование главным образом кожуха и цилиндрической части котла, так как огневая коробка не выдерживает 30-летнего срока службы и за этот срок меняется несколько раз.

НТБ ДНУЖТ

новых листов взамен старых в протоколах полного осмотра должны делаться отметки в целях предупреждения испытания на разрыв новых листов. При полном осмотре паровозных котлов, прослуживших 40 и более лет, испытание на разрыв производится независимо от того, требуется ли смена или наложение заплат. О производстве специального обследования паровозного котла должен быть составлен установленной формы акт, а также сделана запись в шнуровой книге, прилагаемой к паспорту котла. Необходимо отметить, что снижения давления в паровозных котлах после испытаний не допускается и отремонтированный котел должен удовлетворять техническим условиям на постройку новых котлов.

Кроме записи в шнуровой книге, на укрепленной на лобовом листе кожуха топки табличке выбиваются даты испытания котла, величина пробного давления, род освидетельствования и место последнего осмотра.

НТБ
ДНУЖТ

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВОДНАЯ ЧАСТЬ

Глава I

Основные данные о паровозах

§ 1. Роль паровоза на жел.-дор. транспорте 3
§ 2. Требования, предъявляемые к паровозу 4
§ 3. Составные части паровоза . 4
§ 4. Классификация паровозов . 6
§ 5. Краткие сведения о старом паровозном парке . . 8
§ 6. Паровозы серий «ФД» и «ИС» как основные единицы товарного и пассажирского парков 15
7. Главнейшие размеры некоторых характерных паровозов 19

Глава II

Реконструкция паровоза

§ 1. Основные данные 19
§ 2. Проблемы первой группы 20
§ 3. Проблемы второй группы 22

Глава III

Основные установки в ремонте паровозов

§ 1. Взаимозаменяемость деталей . . . 27
§ 2. Точность измерения, изготовления и сборки деталей 29

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ПАРОВОЙ КОТЕЛ

Глава I

Общее устройство котла и его работа

§ 1. Основные требования, предъявляемые к котлу 31
§ 2. Составные части котла 31
§ 3. Работа котла 33
§ 4. Отопление котла ручное и стокерное 34

Глава II

Тепловая работа котла

§ 1. Схема тепловой работы паровоза 35
§ 2. Зависимость между теплосодержанием газового потока и его температурой 35
§ 3. Процесс горения 36
§ 4. Уравнение теплового баланса котла. Располагаемое тепло. Температура горения 39
§ 5. Потеря тепла от химической неполноты сгорания 42
§ 6. Потеря тепла от механической неполноты сгорания 45
§ 7. Теплопередача 49
§ 8. Тепловые потери с уходящими газами в окружающую среду и на служебные нужды 60
§ 9. Полезное тепло. и к. п. д. котла. Напряжение поверхности нагрева котла. Нормы рациональных форсировок в связи с достижениями кривоносовского движения 68

НТБ ДНУЖТ

Глава III

Основные части котла

§ 1. Топка и кожух топки . . . 73
§ 2. Расчет на прочность топки и кожуха 85
§ 3. Детали крепления стенок топки и кожуха 89
§ 4. Цилиндрическая часть котла 104
§ 5. Дымогарные и жаровые трубы 115
§ 6. Дымовая коробка 122
§ 7. Люки и пробки котла 124

Глава IV

Ремонт котла

§ 1. Общие сведения 128
§ 2. Способы ремонта топок 131
§ 3. Смена топки . . . 137
§ 4. Ремонт шинельного листа 145
§ 5. Смена потолка топки паровозов серий «Э^{У}» и «С^{У}» 148
§ 6. Вварка замкнутых заплат 151
§ 7. Ремонт задней стенки топки 151
§ 8. Вварка заплат вокруг шуровочных отверстий на задних стенках и на лобовых листах кожуха топки . . . 154
§ 9. Ремонт цилиндрической части котла 155
§ 10. Ремонт дымовой коробки . 157
§ 11. Распорные связи, уход за ними и смена их 159
§ 12. Смена подвижных связей Тэта 167
§ 13. Смена анкерных болтов 169
§ 14. Вварка связей . . 171
§ 15. Ремонт жаровых, дымогарных и циркуляционных труб 173
§ 16. Уход за циркуляционными трубами и их ремонт 181

Глава V

Гарнитура котла

§ 1. Колосниковая решетка 182
§ 2. Свод 186
§ 3. Шуровочная дверка 189
§ 4. Зольник . . 191
§ 5. Искроудержатель 192
§ 6. Аппарат тяги газов сгорания 194
§ 7. Дверки дымовой коробки 206
§ 8. Проверка дымовой трубы и конуса 208
§ 9. Стокер 209
§ 10. Ремонт стокера 217

Глава VI

Арматура котла

§ 1. Основные сведения 220
§ 2. Арматура, обеспечивающая возможность нормальной и безопасной работы котла 223
§ 3. Арматура для содержания котла в исправном состоянии 234
§ 4. Вспомогательная арматура котла 237
§ 5. Ремонт арматуры 239

Глава VII

Паропровод и регулятор

§ 1. Паросушитель 244
§ 2. Регулятор 246
§ 3. Пароработочие трубы . . 250
§ 4. Ремонт регуляторов и их деталей 251

335

НТБ ДНУЖТ

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПАРОПЕРЕГРЕВАТЕЛИ И ПИТАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА

Глава I

Пароперегреватель

§ 1. Типы перегревателей 257
§ 2. Сбережение воды и топлива при работе перегретым паром 259
§ 3. Схема тепловой работы газового потока в котле с жаротрубным пароперегревателем. Разделение газового потока 262
§ 4. Исследование работы газового потока в котле построенного перегревного паровоза 264
§ 5. Исследование ожидаемой тепловой работы котла проектного паровоза 270
§ 6. Влияние на мощность и экономичность перегревного паровоза длины и диаметра труб и величины отношений $\frac{H_д}{H_к}$ и $\frac{H_к}{R}$ 275
§ 7. Пароперегреватель системы Чусова 283
§ 8. Пароперегреватель системы Элеско 286
§ 9. Определение факторов тепловой работы котла паровоза серии «ФД» 288
§ 10. Определение поверхности нагрева пароперегревателя 293
§ 11. Мятие пара в перегревателе 301
§ 12. Конструкции перегревательных коллектоов 303
§ 13. Конструкции перегревательных элементов 305
§ 14. Уход за пароперегревателями и их ремонт 310

Глава II

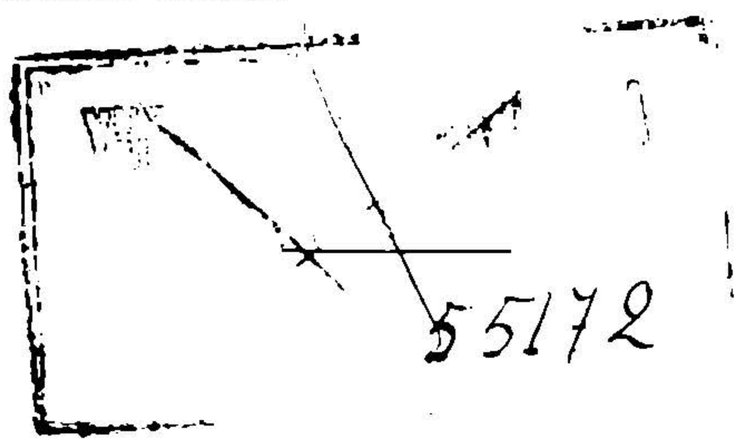
Питание котла подогретой водой

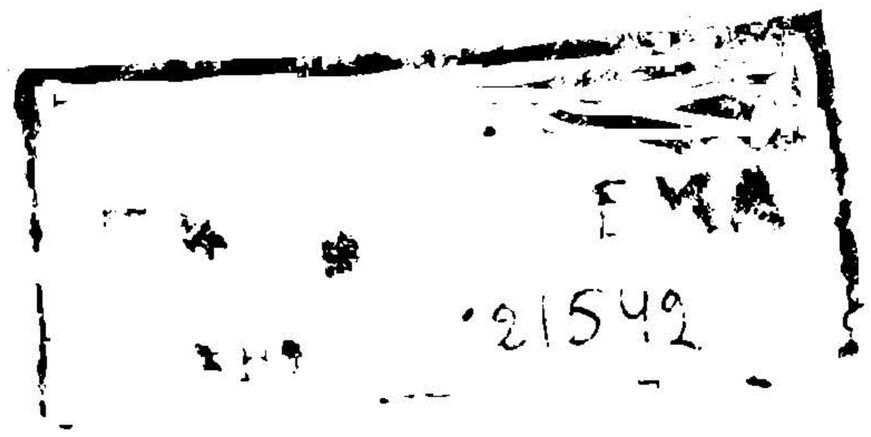
§ 1. Приборы питания котла подогретой водой 312
§ 2. Оценка водоподогревательных устройств и даваемое ими сбережение горючего . 317
§ 3. Экономия горючего, достигаемая применением водоподогревательных устройств 319
§ 4. Отбор пара для подогрева питательной воды 323
§ 5. Расчет водоподогревателя 326
§ 6. Ремонт водоподогревателей 328

Глава III

Осмотр и испытание паровозных котлов

§ 1. Правила осмотра и испытания паровозных котлов 330
§ 2. Полный осмотр и гидравлическое испытание котла 331
§ 3. Правила производства гидравлического испытания 331
§ 4. Специальное обследование котлов 332





НТБ ДНУЖТ

Сканировали: Сидорчик Е.В., Покровская Т.В.

НТБ ДНУЖТ