

621.13  
Г95

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО  
ТРАНСПОРТА

ВЫПУСК 99

П. А. ГУРСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ  
СОПРОТИВЛЕНИЙ  
ДВИЖЕНИЮ ПАРОВОЗА  
ТИПА 1—5—1 СЕРИИ ФД

ТРАНСЖЕЛДОРИЗДАТ



1991

СССР—НКПС  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Абонемент на научно-  
техническую литературу  
Дата 2004

ВЫПУСК 99

П. А. ГУРСКИЙ

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЙ  
ДВИЖЕНИЮ ПАРОВОЗА  
ТИПА 1-5-1 СЕРИИ ФД



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ТРАНСПОРТНОЕ  
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
Москва — 1940

1975

2-11-63488

621.132  
Г 95



В книге описывается выбор методики для опытного определения сопротивлений паровоза ФД, приводятся результаты испытаний приборов беспарного хода на паровозе серии ФД и результаты исследований двустороннего выхлопа.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников и студентов втузов жел.-дор. транспорта.

**БИБЛИОТЕКА**

Белорусского  
института инженеров  
жел.-дор. дорожного  
транспорта

Отв. редактор. О. Л. Романенко

Корректор Левина А. И.

Техн. ред. П. А. Хитров

Сдано в набор 3/VIII 1940 г.

Подписано к печати 17/X 1940 г.

Формат 60×92<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Объем 6<sup>1</sup>/<sub>2</sub> п. л.

49 000 зн. в п. л. ЖДИЗ 18195. Зак. 1701.

Тираж 1200 экз. А32436

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

**БИБЛИОТЕКА**

Академии  
**ПОГА**  
жел.-дор. транспорта  
и П. С.



# СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение . . . . .	4
<b>Глава I. Общие соображения об отдельных видах сопротивлений паровоза</b> . . . . .	6
1. Удельное сопротивление паровоза с тендером от кривой— $w_r$ . . . . .	6
2. Удельное сопротивление паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути— $w'_0$ . . . . .	7
3. Удельное сопротивление паровоза как машины при езде с паром— $w_m$ . . . . .	9
4. Удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при езде с закрытым регулятором— $w_z$ (беспарный ход) . . . . .	10
<b>Глава II—Выбор методики для опытного определения сопротивлений паровоза ФД</b> . . . . .	12
<b>Глава III. Скатывание паровоза ФД и определение удельных сопротивлений паровоза как повозки <math>w'_0</math> и как машины при закрытом регуляторе <math>w_z</math></b> . . . . .	13
1. Сущность метода скатывания . . . . .	13
2. Выбор участка для скатывания . . . . .	15
3. Определение коэффициента инертности $\gamma$ . . . . .	17
4. Определение ускорений и обработка материалов, полученных при опытах . . . . .	21
5. Кривые удельных сопротивлений $w'_0=f(V)$ ; $w'_0+w_z=\varphi(V)$ и их анализ . . . . .	27
<b>Глава IV. Величины удельных сопротивлений <math>w_m</math> паровоза ФД с тендером как машины при езде с паром</b> . . . . .	32
<b>Глава V. Беспарный ход паровоза ФД</b> . . . . .	34
1. Общее замечание . . . . .	34
2. Процесс работы машины на беспарном ходу . . . . .	34
3. Устройство приборов беспарного хода для паровоза ФД . . . . .	37
4. Организация испытаний приборов беспарного хода . . . . .	48
<b>Глава VI. Результаты испытаний приборов беспарного хода на паровозе ФД</b> . . . . .	49
1. Клапаны Рикюра . . . . .	49
2. Клапаны Пирина . . . . .	56
3. Байпасы Гендри . . . . .	62
4. Золотники Трофимова . . . . .	67
5. Сравнительная оценка приборов беспарного хода . . . . .	74
<b>Глава VII. Исследование двустороннего выхлопа</b> . . . . .	77
<b>Глава VIII. Езда по системе «дрифтинг»</b> . . . . .	91
1. Сущность езды . . . . .	91
2. Результаты испытаний . . . . .	92
<b>Выводы и заключение</b> . . . . .	102



## ВВЕДЕНИЕ

Известно, что паровоз, как и всякая другая единица подвижного состава, оказывает сопротивление своему движению, причем это сопротивление, пропорциональное весу паровоза, состоит из основного и дополнительного, зависящего от профиля и плана пути, по которому приходится перемещаться паровозу.

Кроме того, при движении паровоза наблюдается еще и третий вид сопротивления, обусловливаемый наличием паровой машины с соответствующими движущим и парораспределительным механизмами, называемый машинным сопротивлением. Последнее сопротивление меняется в зависимости от характера движения самого паровоза. Если паровоз движется под паром, то машинное сопротивление имеет одну закономерность изменений. Совершенно иная картина наблюдается во время движения паровоза без пара, при закрытом регуляторе. Природа и характер машинного сопротивления здесь уже не таковы, как в первом случае; величина их также изменяется по другим законам.

Следовательно, разделяя сопротивление движению паровоза на сопротивление как повозки и на сопротивление как машины, можно считать, что полное сопротивление движению при езде с паром, т. е. с открытым регулятором, равно

$$W' = (w'_0 + w_i + w_r + w_m) P, \quad (1)$$

а при езде без пара, т. е. при езде с закрытым регулятором:

$$W' = (w'_0 + w_i + w_r + w_3) P, \quad (2)$$

где  $W'$  — полное сопротивление движению паровоза;

$P$  — расчетный вес паровоза с тендером;

$w'_0$  — удельное (на 1  $t$  веса паровоза с тендером) сопротивление паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути;

$w_i$  — удельное сопротивление паровоза с тендером от подъема;

$w_r$  — удельное сопротивление паровоза с тендером от кривой;

$w_m$  — удельное сопротивление машины паровоза при езде с открытым регулятором;

$w_3$  — удельное сопротивление машины паровоза при езде с закрытым регулятором.

Сопротивление паровозов, в особенности мощных, имеет большое значение в решении важнейших вопросов железнодорожного транс-



порта, как, например, при расчете весов поездов, при решении тормозных задач, при назначении норм расходов топлива и пр.

Поэтому изучение полного сопротивления паровоза, а также элементов, его составляющих, является одной из важнейших задач в области изучения общей работы паровоза.

Правильное определение сопротивления паровозов требует знания всех условий появления и закономерности изменения его.

Для этого каждый новый тип паровоза должен быть обследован также и с точки зрения изучения сопротивлений, возникающих при его движении, что кроме получения необходимых данных для практических расчетов позволяет наметить пути для уменьшения сопротивления.

---



## Г Л А В А I

### ОБЩИЕ СООБРАЖЕНИЯ ОБ ОТДЕЛЬНЫХ ВИДАХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПАРОВОЗА

Рассмотрим в отдельности каждое из удельных сопротивлений, входящих в выражения (1) и (2) полного сопротивления паровоза.

Единственное удельное сопротивление, определяющееся совершенно точно теоретическим путем, — это удельное сопротивление от подъема, которое как для паровоза, так и для вагонов в килограммах на тонну веса равно числу тысячных подъема, т. е.

$$w_i = i, \quad (3)$$

где  $i$  — подъем или уклон, выраженный в тысячных.

Такой подсчет удельного сопротивления от подъема никаких затруднений не вызывает, а поэтому на нем больше останавливаться не будем.

Все же остальные виды сопротивлений паровоза находятся под влиянием многих разнообразных факторов, и точное определение их теоретическим путем невозможно. В лучшем случае путем анализа и математической обработки можно получить лишь общую схему происходящих явлений в виде формул, содержащих ряд неизвестных коэффициентов, требующих проверки экспериментальным путем.

Остановимся в связи с этим на величинах удельных сопротивлений паровоза  $w_r$ ,  $w_0^1$ ,  $w_m$ ,  $w_z$ .

#### 1. Удельное сопротивление паровоза с тендером от кривой — $w_r$

При движении паровоза на кривых частях пути появляется дополнительное сопротивление, которое можно в основном охарактеризовать как сопротивление от сил трения. Однако появление этих сил трения зависит от большого количества факторов и весьма сложных явлений, происходящих во время движения по кривой, и всякая попытка теоретическим путем разобраться в этом не приводит к удовлетворительным результатам, имеющим практический интерес.

Сама природа появления сопротивления в кривой указывает, что оно должно зависеть от радиуса кривой и от других факторов, как, например: от длины базы вписываемого экипажа, конструкции самого вписываемого экипажа, скорости движения, ширины колеи, степени натяжения сцепных приборов, угла набегания колеса и т. п.

Нельзя сказать, чтобы на это не было обращено внимания со стороны ряда исследователей подвижного состава. Было предложено



много формул, отражающих влияние тех или иных факторов. Однако иное устройство и иные размеры каждого вновь появляющегося типа паровоза, в том числе и паровоза ФД, делают невозможным применение этих формул к новым паровозам.

Поэтому в дальнейшем для определения дополнительного сопротивления паровоза ФД в кривых будем пользоваться приближенной формулой

$$w_r = \frac{700}{R}, \quad (4)$$

рекомендованной для подсчета дополнительного сопротивления от кривых для всех типов подвижного состава новым проектом правил тяговых расчетов, разработанным НИИЖТ и утвержденным Научно-техническим Советом НКПС.

Это допустимо еще и потому, что дополнительное сопротивление от кривой относительно невелико по сравнению с другими элементами, входящими в полное сопротивление движению согласно уравнениям (1) и (2).

## 2. Удельное сопротивление паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути — $w_0'$

Это сопротивление, принимаемое основным, зависит от многих факторов, обычно объединяемых в пять главнейших групп:

а) сопротивление воздушной среды, имеющее особое значение для паровоза, всегда идущего во главе поезда и принимающего на себя все лобовое давление воздушной среды;

б) трение скольжения осевых шеек в подшипниках;

в) трение качения между бандажом и рельсом;

г) трение скольжения между бандажом и рельсом;

д) потери живой силы от ударов на стыках, в сцепных приборах и от колебательных движений паровоза.

Но для практических эксплуатационных целей, например для тяговых расчетов, не столь существенно точное знание отдельных элементов, входящих в общее сопротивление. Значительно важнее знать общее сопротивление паровоза с тендером как повозки, так как с ним, а не с отдельными элементами, в него входящими, нам приходится иметь дело в повседневной практике.

Конечно, знание отдельных элементов сопротивления весьма полезно, так как это дает возможность, изучив их, установить, где, в какой степени и каким путем можно уменьшить общее сопротивление.

Однако изучение отдельных групп основного сопротивления паровоза как повозки показывает<sup>1</sup>, что ни один из элементов, в них входящий, из которых в конечном счете складывается общая величина сопротивления паровоза с тендером как повозки, не поддается точ-

<sup>1</sup> Проф. Петров. Сопротивление поезда на ж. д., 1899 г.



ному теоретическому определению. Получаются зависимости со многими неизвестными коэффициентами, определить которые можно только опытным путем. Стоит только указать на коэффициент трения, который до сих пор точно не определен.

Таким образом, для установления величины удельного сопротивления паровоза с тендером как повозки остается единственный способ строго научного опытного исследования, по которому с давних времен и до последнего времени идут исследователи во всем мире.

Первые опыты для получения сопротивления вагонов относятся еще к 1818 г. и произведены Стефенсоном и Уддом, но и в дальнейшем вопрос определения сопротивления опытным путем привлекал к себе внимание целого ряда исследователей.

Опытным изучением сопротивления паровозов как повозки занимались Франк (1879 г.), Дедуи (1886 г.), Барбье, Лейтцман, Занцин и др.

Аналогичные опыты производились и на русских железных дорогах (в особенности в 1913 — 1915 гг.) с паровозами, работающими еще до сих пор.

В результате многочисленного экспериментирования с различными типами паровозов предложено много формул для определения удельного сопротивления паровоза как повозки. Все они имеют вид трехчлена:

$$w'_0 = a + bV + cV^2$$

или

$$w'_0 = a + bV + cV \left( \frac{V + d}{e} \right).$$

Встречаются формулы, имеющие вид двухчлена:

$$w'_0 = a + bV.$$

Так, в курсе «Тяга поездов» проф. Бабичкова и проф. Егорченко, стр. 210, рекомендуется удельное сопротивление грузовых паровозов как повозки определять по формуле

$$w'_0 = 1,5 + 0,05 V.$$

Однако все известные формулы в настоящий момент нуждаются в пересмотре и уточнении и не могут применяться для современных новых паровозов.

Как известно, надежность формул, выведенных на основе опытов, обуславливается как одинаковыми условиями опытов с обычными условиями эксплуатационной работы, так и родственностью типа и конструкции паровозов.

Появление в Советской стране новых условий в работе паровозов (более совершенный путь, твердая смазка, новые материалы, любовное отношение к паровозу со стороны машинистов-кривоносовцев и т. п.), изменение типов и конструкции самого паровоза, скоростей движения делают неприменимыми к современным паровозам фор-



мулы, выведенные 25 лет назад на основе опытов с паровозами, сейчас уже отживающими свой век.

Практика машинистов-кривоносовцев вскрыла, кроме всего прочего, также и резервы, скрывавшиеся формулами сопротивлений паровозов.

Следовательно, удельное сопротивление паровоза ФД как повозки паровоза, резко отличающегося от старых товарных паровозов как своим типом (у нас это первый тип 1-5-1), нагрузкой на ось, так и конструкцией и размерами отдельных деталей, не может определяться по старым формулам, а должно быть получено опытным путем, на основе специально поставленных исследований с паровозом ФД.

### 3. Удельное сопротивление паровоза как машины при езде с паром — $w_m$

Наличие паровой машины с движущим и парораспределительным механизмами вызывает появление у паровоза дополнительных вредных сопротивлений, которые обуславливаются:

а) трением золотниковых и поршневых колец о стенки втулок, трением штоков в сальниках, трением поползущек крейцкопфов о параллели, трением золотниковых кулачков в своих направляющих, трением во всех сочленениях как движущего, так и парораспределительного механизмов (пальцы о подшипники, валики о втулки) и

б) увеличением силы, прижимающей шейки сцепных осей к буксовым подшипникам.

В основе все эти сопротивления зависят от силы пара, развиваемой в цилиндрах паровозов, от скорости, оказывающей влияние на коэффициенты трения и на инерционные усилия в механизмах, а также от типа паровоза и конструкции шарниров движущего и парораспределительного механизмов.

Для преодоления этих вредных сопротивлений машина паровоза должна развивать какое-то дополнительное усилие, или же, наоборот, усилия, развиваемые в цилиндрах паровой машины при передаче на обод сцепных колес, должны уменьшаться на величину сопротивлений машины, что и характеризуется механическим коэффициентом полезного действия машины паровоза.

Следовательно, справедливо равенство

$$F_k = \eta_m F_i,$$

где  $F_i$  — индикаторная сила тяги;

$F_k$  — касательная сила тяги и

$\eta_m$  — механический коэффициент полезного действия машины паровоза.

Последнее равенство можно заменить следующим выражением:

$$F_k = F_i - w_m P,$$



где  $w_m$  — удельное сопротивление паровоза как машины при езде с паром;

$P$  — вес паровоза с тендером,  
откуда

$$w_m = \frac{F_i - F_k}{P}. \quad (5)$$

Таким образом, зная  $F_i$  и  $F_k$  для любого паровоза, можно получить значение  $w_m$  для этого же паровоза.

Вообще говоря, при решении практических задач при тяговых расчетах величина  $w_m$  нас не интересует, потому что все расчеты ведутся обычно по  $F_k$ .

Однако величина  $w_m$ , так же как и  $\eta_m$ , интересна тем, что характеризует механические качества паровой машины и дает возможность судить о степени совершенства того или иного паровоза с точки зрения конструктивного выполнения движущего и парораспределительного механизмов. Обычно она также определяется опытным путем.

#### 4. Удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при езде с закрытым регулятором — $w_z$ (беспарный ход)

При езде с закрытым регулятором, т. е. при отсутствии силы пара, создающей работу трения в движущем и парораспределительном механизмах, машинное сопротивление не исчезает, а меняет свой характер. Часть из составляющих элементов машинного сопротивления, зависящих от собственного веса механизмов и сил инерций, появляющихся при движении, сохраняется.

К этим величинам прибавляются новые силы сопротивления, появляющиеся в результате превращения цилиндров паровой машины при езде с закрытым регулятором в своеобразные насосы, засасывающие и перекачивающие воздух и горячие газы из дымовой коробки.

В золотниковой коробке и соединенной с ней одной из полостей цилиндра происходит разрежение (всасывание воздуха и газов), а в другой полости цилиндра в это же время происходит сжатие и нагнетание воздуха и газов. Вследствие образующейся большой разницы давлений по обе стороны поршня и необходимости, в связи с этим, затрат энергии движущегося паровоза как на всасывание газов, так и на их нагнетание возникает сопротивление движению, которое, таким образом, есть следствие отрицательной работы, происходящей в цилиндрах на беспарном ходу.

Очевидно, что величины их зависят от типа и размеров цилиндров, а также от типа и конструкции перепускных приборов, устанавливаемых на паровозе для устранения или уменьшения вредных тормозящих усилий, связанных с наличием отрицательной работы.

Отсюда становится ясным, что точное определение величины удельного сопротивления паровоза как машины при закрытом регуляторе теоретическим путем невозможно.

Определять же для паровоза ФД это сопротивление по различным,



предлагаемым разными авторами, формулам, полученным хотя и опытным путем, но с паровозами меньших размеров и мощностей, будет неправильно.

В самом деле, если обозначить через  $Q$  объем цилиндра паровой машины, равный

$$Q = \frac{\pi d_y^2}{4} l,$$

где  $d_y$  — диаметр цилиндра,  
 $l$  — ход поршня,

а площадь отверстия, через которое происходит выбрасывание сжимаемого газа и воздуха (например, средняя площадь открытия золотниковых окон), через  $\Omega$ , то для выбрасывания газов и воздуха, заполняющих объем цилиндра, необходимо газу и воздуху сообщить какую-то скорость  $v$ , определяемую из уравнения

$$\frac{\pi d_y^2}{4} l = v \Omega \mu,$$

откуда

$$v = \frac{\pi d_y^2 l}{4 \mu \Omega}, \quad (6)$$

где  $\mu$  — коэффициент скорости, обуславливающийся конструкцией каналов.

Но сопротивление, вызываемое отрицательной работой в цилиндрах паровоза на беспарном ходу, в значительной мере меняется с изменением скорости  $V$ , зависящей от размеров цилиндров, а также и площади, через которую выталкиваются газы и воздух. Эта площадь может также меняться с изменением того или иного типа прибора беспарного хода, установленного на данном паровозе.

Таким образом, расчетные формулы для определения сопротивления  $w_z$  не могут распространяться на все типы паровозов, а должны быть получены опытным путем для каждого типа паровоза со свойственным ему прибором беспарного хода.

\* \* \*

Следовательно, определение удельного сопротивления паровоза ФД как повозки —  $w'_0$ , удельного сопротивления как машины при езде с паром —  $w_m$  и удельного сопротивления как машины при езде с закрытым регулятором (на беспарном ходу) —  $w_z$  возможно только на основе производства специальных испытаний, к изложению результатов которых сейчас и приступаем.

Что же касается определения дополнительных удельных сопротивлений паровоза ФД от подъема и от кривой, то последние следует подсчитывать по общим законам для любого типа подвижного состава, а именно:

$$w_i = i$$



$$w_r = \frac{700}{R},$$

где  $R$  — радиус кривой в метрах.

## Г Л А В А II

### ВЫБОР МЕТОДИКИ ДЛЯ ОПЫТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПАРОВОЗА ФД

Выше было доказано, что для паровоза ФД первого у нас типа 1-5-1 массовой постройки необходимо опытным путем в первую очередь определить: а) удельное сопротивление паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути —  $w'_0$ , б) удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при езде с паром —  $w_m$  и в) удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при езде с закрытым регулятором (беспарный ход) —  $w_z$ .

Если удельное сопротивление паровоза с тендером как машины —  $w_m$  — не имеет особо важного значения для решения ряда практических задач и скорее имеет значение для сравнительной оценки устройства механизма паровой машины паровоза, то удельное сопротивление паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути —  $w'_0$  и удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при беспарном ходе —  $w_z$  являются совершенно необходимыми при производстве тяговых расчетов.

Существуют два метода определения сопротивлений паровоза  $w'_0$  и  $w_z$  опытным путем:

- а) метод динамометрических измерений и
- б) метод скатывания.

Для определения удельного сопротивления паровозов на прямом и горизонтальном пути  $w'_0$  метод скатывания является более надежным по сравнению с динамометрическим. При последнем требуется составление опытного поезда из нескольких паровозов испытуемого типа со снятыми дышлами. Такой поезд должен вести какой-то другой, действующий паровоз с включением между ними динамометрического вагона. При этом все лобовое давление воздушной среды будет восприниматься действующими, а не испытываемыми паровозами, вследствие чего сопротивление испытываемых паровозов, определяемое по силе тяги на крюке, замеряемой в динамометрическом вагоне, включенном вслед за действующим паровозом, будет меньше действительных. Доля лобового воздушного сопротивления в общем основном сопротивлении  $w'_0$  значительно возрастает с увеличением скоростей, и результаты, получаемые при динамометрическом методе определения сопротивления  $w'_0$ , будут значительно отличаться от истинных величин этого сопротивления.

Вот почему правильнее остановиться на методе скатывания. При этом методе несоответствие опытной обстановки с эксплуатационной



в значительной мере исключено. Этот метод поэтому и применен нами при определении сопротивлений паровоза ФД.

Методом скатывания на паровозе ФД было определено:  $w'_0$  ( $w'_0 + w_3$ ) — при оборудовании паровоза клапанами Рикюра и раздвижными золотниками — байпасами системы И. О. Трофимова, так как с клапанами Рикюра паровозы ФД выпускались до 1936 г., в котором были приняты к серийной постройке и золотники Трофимова.

Но для улучшения работы паровоза ФД при езде с закрытым регулятором (беспарный ход) кроме клапанов Рикюра и золотников Трофимова были предложены и другие приборы.

К таким приборам относятся байпасы Гендри и клапаны конструкции инж. И. В. Пирина, примененные им впервые на паровозе Е<sub>ф</sub><sup>п</sup> 127, а затем предложенные и для паровозов ФД.

Байпасами Гендри и клапанами Пирина оборудованы только единичные паровозы для проведения над ними опытов. Влияние этих приборов на сопротивление паровоза при езде с закрытым регулятором необходимо было также определить при испытании паровоза ФД.

Оценка предложенных клапанов беспарного хода типа Гендри и конструкции инж. И. В. Пирина на паровозе ФД по сравнению с клапанами Рикюра и золотниками Трофимова была произведена путем определения отрицательной мощности паровоза при езде с закрытым регулятором, с последовательной установкой золотников Трофимова, клапанов Рикюра, байпасов Гендри, клапанов Пирина на одном и том же паровозе ФД.

### Г Л А В А III

## СКАТЫВАНИЕ ПАРОВОЗА ФД И ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ ПАРОВОЗА КАК ПОВОЗКИ $w'_0$ И КАК МАШИНЫ ПРИ ЗАКРЫТОМ РЕГУЛЯТОРЕ $w_3$

### 1. Сущность метода скатывания

Метод скатывания для определения сопротивления паровозов применяется очень давно и завоевал себе по праву первое место из всех известных методов определения сопротивлений паровоза<sup>1</sup>.

При этом методе паровоз при закрытом регуляторе под влиянием собственного веса или же под влиянием живой силы, накопленной им ранее, катится по участку с равномерным уклоном, величина которого точно определяется предварительной нивелировкой.

В этом случае общеизвестное уравнение движения примет вид

$$\left( M + \sum \frac{I}{R^2} \right) \frac{dV}{dt} = iP - w_k P, \quad (7)$$

<sup>1</sup> Впервые этот метод был применен проф. Франком в 1879 г. См. А. Frank. Die Widerstände der Locomotiven und Bahnzug. 1886.



где  $w_k = w'_0$  — при определении сопротивления паровоза как повозки (со снятыми дышлами) и

$w_k = w'_0 + w_3$  — при определении суммы сопротивлений как повозки и как машины при закрытом регуляторе.

Заменяя в уравнении (7)

$$\sum \frac{I}{R^2} = \gamma M,$$

получим

$$M(1 + \gamma) \frac{dV}{dt} = P(i - w_k).$$

Вместо  $M$  подставляем ее величину, равную

$$M = \frac{P \cdot 1000}{g},$$

и получаем

$$\left[ 1000 \frac{1 + \gamma}{g} \right] \frac{dV}{dt} = i - w_k \quad (8)$$

Решая уравнение (8) относительно  $w_k$ , будем иметь

$$w_k = i - \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \frac{dV}{dt}$$

или при определении удельного сопротивления паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути

$$w'_0 = i - \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \frac{dV}{dt}, \quad (9)$$

а для определения суммы удельных сопротивлений паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и как машины при закрытом регуляторе

$$w'_0 + w_3 = i - \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \frac{dV}{dt}. \quad (10)$$

Отсюда следует, что искомые сопротивления можно определить, если будут известны значения: уклона  $i$ , коэффициента  $\gamma$ , учитывающего влияние вращающихся масс и ускорения  $\frac{dV}{dt}$ .

Таким образом, задача сводится к определению во время опытов ускорения скатываемого паровоза  $\frac{dV}{dt}$ , так как величина уклона  $i$  определяется заранее тщательной нивелировкой опытного участка, а значения  $\gamma$  каждый раз легко подсчитываются.



## 2. Выбор участка для скатывания

Для производства скатывания паровоза ФД надо было выбрать участок, имеющий равномерный уклон достаточной длины, так как равномерность уклона при скатывании имеет решающее значение для точности получаемых данных.

Скатывание паровозов старых типов производилось обычно на Егорьевской ветке Ленинской ж. д. Современные же паровозы ФД и ИС, имеющие нагрузку на ось уже более 20 т, скатывать там нельзя, так как путь этой ветки относительно слаб. В связи с этим для опытов необходимо было выбрать другой участок.

После ознакомления с профилем ряда дорог для производства опытов по скатыванию паровозов был выбран участок на перегоне Легошинка — Спирово главной линии Октябрьской ж. д., имеющий равномерный пятитысячный уклон длиной около 5 км. Участок этот оказался очень удобным еще и потому, что на нем возможны быстрые разгоны для получения высоких скоростей, а также быстрые торможения после прохода опытного участка, так как перед опытным участком там имеется еще уклон, правда меньшей крутизны, но достаточной длины для разгона, а после опытного участка сразу же начинается подъем  $i = 2,6\text{‰}$ , что дает относительно быструю остановку и сокращает непроизводительную потерю времени между двумя смежными скатываниями. Близость депо Спирово, хотя и обратного, как базы для опытного паровоза также играла роль при выборе перегона Легошинка — Спирово Октябрьской ж. д. для производства опытов по скатыванию паровозов.

Для непосредственных наблюдений за скатыванием паровоза ФД на перегоне Легошинка — Спирово был выбран участок длиной 1,5 км между 405 и 406,5 км.

Опытный участок разбивался на пикеты по 50 м с постановкой 30 специальных пикетных номерных столбиков на балластной призме.

При увеличении начальной скорости скатываемого паровоза более 35 км/час расстояние между пикетными столбиками увеличивалось до 100 м, а при увеличении начальной скорости более 60 км/час это расстояние увеличивалось до 200 м выдерживанием промежуточных пикетных столбиков.

Однако состояние профиля пути на выбранном участке оказалось далеко не таким идеальным, как это было изображено в продольном профиле Октябрьской ж. д. Нивелировка пути опытного участка, произведенная по разбитым пикетам перед началом опытов по скатыванию паровоза ФД, показала, что участок не представляет собой равномерного уклона. Каждый пикет имеет свой уклон, отличный от уклонов других пикетов. После подбивки пути, несколько исправившей положение, и после повторной нивелировки получили профиль опытного участка, представленный на фиг. 1, с указанием уклонов на каждом пикете через 50, 100 и 200 м, в соответствии с принятыми расстояниями между столбиками для указанной выше градации начальных скоростей.

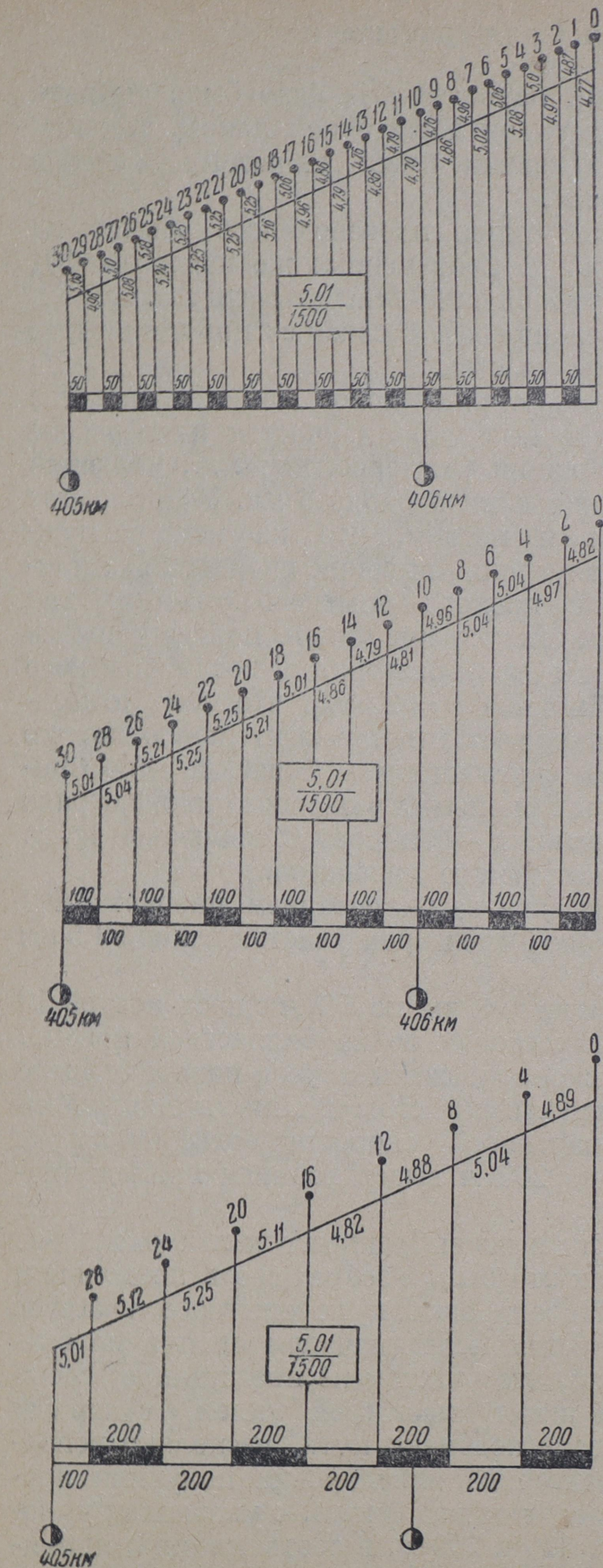


Общий уклон участка оказался равным  $i = 5\text{‰}$ . Некоторая неравномерность уклона, конечно, сказалась на полученных результатах опытов, давая относительную разбросанность точек.

Относительно густое движение поездов на этом участке также имело отрицательное влияние на опыты, так как под действием проходящих поездов возможно некоторое деформирование пути и изменение уклонов отдельных пикетов. Произвести же все опыты по скатыванию непосредственно после приведения профиля к указанным выше на фиг. 1 отметкам не представлялось возможным, так как опытный паровоз ФД выпускался на перегон только в промежутки между поездами не более как на 1 — 1,5 часа.

Для компенсации отрицательного влияния этих недостатков нами было увеличено число скатываний, что дало возможность получить надежные сгруппированные точки.

К сожалению, лучшего участка для скатывания подыскать не удалось, и пришлось примириться с недостатками выбранного участка. Кроме паровоза ФД на этом же участке перегона Легошинка—Спирово Октябрьской ж. д. производилось скатывание паровозов ИС, Гаррат, тепловоза ВМ и др.



Фиг. 1. Продольный профиль опытного участка, на котором производилось скатывание паровоза ФД



### 3. Определение коэффициента инертности $\gamma$

Выше было указано, что влияние вращающихся масс в уравнении движения заменяется увеличением массы на некоторую величину  $\gamma$ , которая определяется из выражения

$$\sum \frac{I}{R^2} = \gamma M,$$

откуда

$$\gamma = \frac{\sum \frac{I}{R^2}}{M} = \frac{g}{P \cdot 1000} \sum \frac{I}{R^2}, \quad (11)$$

где  $\sum \frac{I}{R^2}$  — представляет собой сумму полярных моментов инерции, деленных на квадрат радиуса, для паровозных и тендерных скатов и вращающихся частей механизма.

По исследованиям проф. Жуковского оказалось, что для одной тендерной оси

$$\frac{I}{R^2} = 50 \left( \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}} \right),$$

а для паровозной

$$\frac{I}{R^2} = 19 + 100 R \left( \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}} \right),$$

где  $R$  — радиус колеса в метрах.

В условиях паровоза ФД, имеющего шестиосный тендер, передний бегунок  $D_6 = 900$  мм, пять сцепных осей  $D_{cy} = 1500$  мм и одну заднюю поддерживающую ось  $D_n = 1050$  мм, будем иметь

$$\sum \frac{I}{R^2} = 6 \left( \frac{I}{R^2} \right)_T + \left( \frac{I}{R^2} \right)_6 + 5 \left( \frac{I}{R^2} \right)_{cy} + \left( \frac{I}{R^2} \right)_n. \quad (12)$$

Подставляя численные значения, получим

$$\begin{aligned} \sum \frac{I}{R^2} &= 6 \cdot 50 + (19 + 45) + 5(19 + 75) + (19 + 52,5) = \\ &= 905,5 \left( \frac{\text{кг/сек}^2}{\text{м}} \right); \end{aligned}$$

и тогда

$$\gamma = \frac{g \sum \frac{I}{R^2}}{1000 P} = \frac{9,81 \cdot 905,5}{1000 P} \approx \frac{8,9}{P},$$

где  $P$  — вес паровоза с тендером в тоннах.

Так как обычно паровоз скатывается в горячем состоянии, то для точного определения его веса необходимо перед скатыванием произ-



водить обмер воды по тендеру и угля, находящегося в нем, что нами и делалось во время испытаний.

При совершенно порожнем тендере вес паровоза ФД с тендером  $P = 190 \text{ т}$  и

$$\gamma_{нов} = \frac{8,9}{190} = 0,047 \text{ или } \gamma_{нов} = 4,7\%.$$

При полных запасах воды и топлива

$$P = 190 + 44 + 22 = 256 \text{ т},$$

и тогда

$$\gamma_{зр} = \frac{8,0}{250} = 0,035 \text{ или } \gamma_{зр} = 3,5\%.$$

Очевидно, что все значения коэффициента  $\gamma$ , называемого иногда коэффициентом инертности, при эксплуатации паровозов должны лежать в этих пределах.

Во время опытов подсчитанная за каждое скатывание величина коэффициента инертности оказалась в среднем равной  $\gamma = 3,7\%$ .

Нами было произведено также и опытное определение величины  $\gamma$  путем известного способа вкатывания паровоза на уклон, сущность которого заключается в следующем.

При скатывании паровоза с одной и той же скоростью на участках с различными уклонами  $i_1$  и  $i_2$  должны будем иметь сопротивления  $w_k$ :

$$w_{k_1} = i_1 - \frac{1\,000(1 + \gamma)}{g} \cdot \frac{dV}{dt}$$

на первом участке и

$$w_{k_2} = i_2 - \frac{1\,000(1 + \gamma)}{g} \cdot \frac{dV}{dt}$$

на втором участке.

Очевидно, что при равенстве скоростей будем иметь равенство сопротивлений, т. е.

$$w_{k_1} = w_{k_2}.$$

Отсюда

$$i_1 - \frac{1\,000(1 + \gamma)}{g} \left[ \frac{dV}{dt} \right]_1 = i_2 - \frac{1\,000(1 + \gamma)}{g} \left[ \frac{dV}{dt} \right]_2$$

или

$$i_1 - i_2 = 1\,000 \left( \frac{1 + \gamma}{g} \right) \cdot \left\{ \left[ \frac{dV}{dt} \right]_1 - \left[ \frac{dV}{dt} \right]_2 \right\}$$

и

$$1 + \gamma = \frac{i_1 - i_2}{\left[ \frac{dV}{dt} \right]_1 - \left[ \frac{dV}{dt} \right]_2} - \frac{g}{1\,000}. \quad (13)$$

Для того чтобы не производить организации опытов по скатыванию еще и на втором участке с уклоном, отличным от первого,



что сложно и требует много времени, можно на том же самом участке, где делается скатывание паровоза, произвести и вкатывание его на уклон. Тогда

$$i_2 = -i_1$$

и

$$1 + \gamma = \frac{2ig}{1000 \left\{ \left[ \frac{dV}{dt} \right]_1 - \left[ \frac{dV}{dt} \right]_2 \right\}}. \quad (14)$$

Ниже приводится таблица подсчетов, произведенных по определению величины  $1 + \gamma$  путем вкатывания. Было произведено три вкатывания, определены скорости и ускорения на каждом элементе, а затем сделана выборка элементов участка, имевших одинаковую со скатыванием скорость. Данные этих элементов сведены в табл. 1.

По данным приведенной таблицы оказалось, что в среднем  $1 + \gamma = 1,041$  или  $\gamma = 4,1\%$  при среднем весе паровоза  $237 \text{ т}$ .

Следует отметить, что значение  $\gamma$ , полученное опытным путем, довольно близко к значению  $\gamma$ , полученному на основе подсчетов.

Зная, что

$$\gamma = \frac{g \sum \frac{I}{R^2}}{P \cdot 1000}$$

или

$$g \sum \frac{I}{R^2} = \gamma P \cdot 1000,$$

и принимая значение  $\gamma = 0,041$ , полученное опытным путем при среднем весе паровоза  $P = 237 \text{ т}$ , будем иметь

$$g \sum \frac{I}{R^2} = 0,041 \cdot 237 \cdot 1000 = 9720;$$

тогда общее выражение для  $\gamma$  в зависимости от веса паровоза будет равно

$$\gamma = \frac{9720}{P \cdot 1000} = \frac{9,72}{P}.$$

Определяя при каждом скатывании вес паровоза и тендера, имеем возможность точно определить значение  $\gamma$ . Крайние значения коэффициента инертности

$$\gamma_{\text{нор}} = \frac{9,72}{190} 100 = 5,1\% \text{ и } \gamma_{\text{зр}} = \frac{9,72}{256} 100 = 3,8\%.$$

Различие значения  $\gamma$  опытного от расчетного, очевидно, получилось потому, что формула для паровозных осей

$$\frac{I}{R^2} = 19 + 100 R$$



Определение коэффициента инертности  $\gamma$  паровоза ФД

Таблица 1

Скорость км/час	Скатывание			Вкатывание				$\left[ \frac{dv}{dt} \right]_1 - \left[ \frac{dv}{dt} \right]_2$	$i_1 - i_2$	$1 + \gamma$
	№ заез-дов	$i_1$	$P_m$	$\left[ \frac{dv}{dt} \right]_1$	№ заез-дов	$i_2$	$P_m$	$\left[ \frac{dv}{dt} \right]_2$		
34,7	17	4,16	228	0,0088	36	-4,56	243	0,0717	8,72	1,062
38,5	23	4,16	230	0	37	-5,15	241	0,0865	9,31	1,054
38,8	20	4,67	231	0,00871	35	-4,84	243	0,0787	9,52	1,067
38,6	20	4,85	231	0,0130	37	-5,44	241	0,0851	10,29	1,029
42,8	21	5,45	231	0,0121	36	-5,20	243	0,0887	10,65	1,036
44,8	21	5,81	231	0,0357	36	-4,65	243	0,0666	10,46	1,003
49,7	22	4,03	231	0,0082	36	-4,83	243	0,0895	8,86	1,070
23,9	18	5,16	235	0,03015	33	-4,85	246	0,0617	10,01	1,066
19,6	19	3,44	235	0,0247	33	-4,9	246	0,0569	8,34	1,000
27,0	19	5,22	235	0,0199	35	-3,67	243	0,0607	8,89	1,014
27,6	19	3,6	235	0,0168	33	-5,05	246	0,0635	8,65	1,058
30,3	19	5,16	235	0,0310	35	-5,13	243	0,0658	10,29	1,042
23,7	25	4,20	224	0,0216	33	-5,05	246	0,0635	9,25	1,066
25,5	25	4,0	224	0,0260	36	-5,15	243	0,0633	9,15	1,006
27,6	25	3,38	224	0,0140	33	-5,05	246	0,0635	8,43	1,067
29,0	25	5,22	224	0,0264	34	-4,90	246	0,0701	10,12	1,027
30,5	25	4,10	224	0,0207	35	-5,13	243	0,0658	9,23	1,047
30,7	25	1,10	224	0,0207	33	-4,92	246	0,0659	9,02	1,023

$$P_{cp.c} = 230 \text{ m}$$

$$P_{cp.e} = 244 \text{ m}$$

$$\Sigma (1 + \gamma) = 18,739$$

$$n = 18$$

$$(1 + \gamma)_{cp} = 1,041$$

$$\gamma_{cp} = 4,1\%$$

$$P_{cp} = \frac{P_{cp.e} + P_{cp.c}}{2} = \frac{230 + 244}{2} = 237 \text{ m}$$



недостаточно отражает влияние вращающихся масс шатунов, вес и масса которых в современных паровозах довольно значительны.

Поэтому во всех дальнейших подсчетах принимаем значение  $\gamma$ , определенное опытным путем.

#### 4. Определение ускорений и обработка материалов, полученных при опытах

Выше было отмечено, что для определения сопротивлений методом скатывания необходимо определять ускорение (или замедление)  $\frac{dV}{dt}$  скатываемого паровоза.

Очевидно, что величина  $\frac{dV}{dt}$  может быть получена дифференцированием какой-то функции  $V = f(t)$ , которая в свою очередь должна быть получена после дифференцирования функции

$$S = \varphi(t).$$

Таким образом, для определения ускорений необходимо во время испытаний построить зависимости проходимого паровозом опытного участка пути от времени, для чего требуется точное определение времени прохождения каждого пикетного столбика.

Определение времени прохождения паровозом пикетных столбиков обычно раньше проводилось по секундомеру, причем точность отсчетов при этом не превосходила в лучшем случае 0,5 сек., что недостаточно. Большую точность можно получить только хронографом с электрическим замыканием, которым мы и пользовались при испытании паровоза ФД.

Хронограф представляет собой самопишущий прибор с электромагнитным замыкателем, контактными часами с двумя перьями и лентой шириной 20 мм, движущейся пропорционально времени от часового механизма. По мере надобности может включаться и третье перо. Движение ленты может быть различно; в каждые полсекунды лента перемещается на 5 и 10 мм. Одно перо самописца при этом делает отметки на ленте через каждые 0,5 сек., а другое — в момент замыкания тока.

Хронограф устанавливается в будке паровоза; к нижней ступеньке лестницы, ведущей в будку паровоза, прикрепляется особое крыло, соединяемое с хронографом проводами. Во время движения паровоза по опытному участку крыло ударяется о пикетные столбики и в момент удара производит замыкание тока в цепи: батарея — хронограф — крыло.

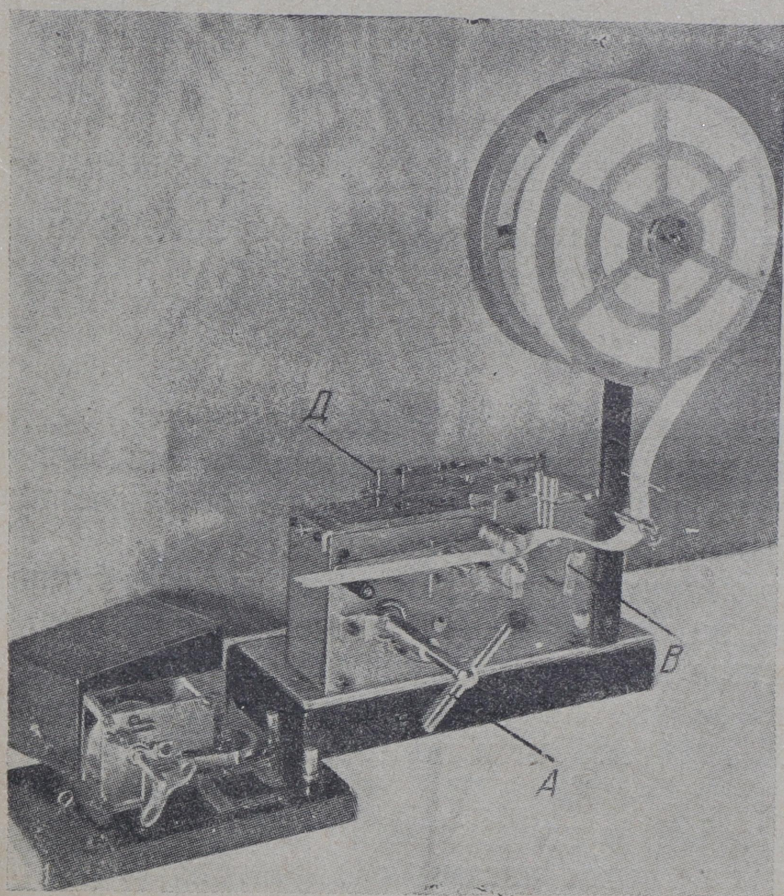
При этом способе момент прохождения пикетных столбиков отмечается на ленте хронографа исключительно точно, в то время как при пользовании обычным секундомером этот момент отмечается на-глаз. Очевидно, что погрешности при последнем способе возможны, в особенности при больших скоростях, и величина их зависит от на-



метанности глаза наблюдателя. При хронографе эта субъективная величина совершенно исключается.

На фиг. 2 представлен общий вид хронографа, на фиг. 3 — образец ленты хронографа с отметками пути и времени, на фиг. 4 — эскиз крыла-замыкателя, а на фиг. 5 — общий вид этого крыла, установленного на нижней ступеньке подножки паровоза, в момент подхода к пикетному столбику и замыкания тока в цепи.

Крыло-замыкатель состоит из длинной дубовой планки, прикрепленной к листовой стальной пружине, укрепленной на особом кронштейне. Последний болтами крепится к подножке паровоза. Для того чтобы крыло после удара о столбик сильно не отбрасывалось в сторону, оно с кронштейном связано еще особой пружинкой. На кронштейне укрепляется контакт, к которому и прижимается своим контактом крыло во время удара о столбик. К обоим контактам подведены концы провода, т. е. концы разомкнутой электрической цепи. Кроме того, на кронштейне укрепляются еще резиновые амортизаторы, смягчающие удары крыла о контакт. На паровозе же вместе с хронографом устанавливается шести-



Фиг. 2. Общий вид хронографа с контактными часами

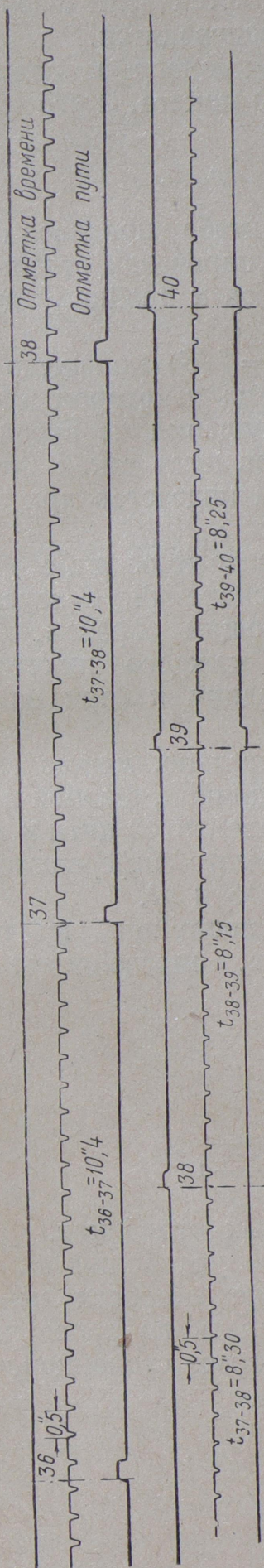
вольтовая батарея, питающая ток цепь.

Крыло-замыкатель работало при правильной сборке и при точном расположении пикетных столбиков при скатывании паровоза ФД удовлетворительно. Однако при больших скоростях, т. е. при более сильных ударах, крыло-замыкатель под действием сил инерции иногда производило подряд несколько замыканий цепи тока, что в дальнейшем затрудняло расшифровку ленты хронографа.

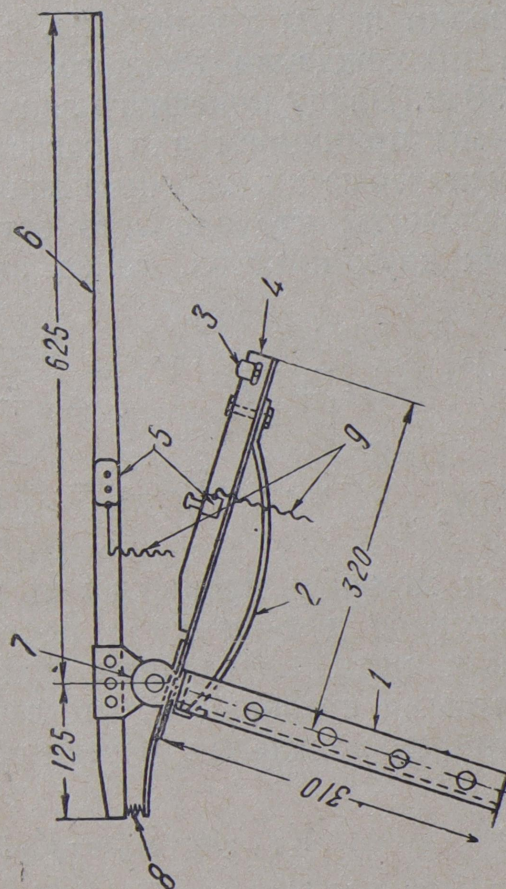
При более же высоких скоростях, порядка 100 км/час и выше, крыло-замыкатель при ударах о пикетные столбики ломалось. Поэтому в дальнейшем от механического способа замыкания электрической цепи хронографа в момент прохождения пикетных столбиков следует отказаться и перейти на более совершенный способ замыкания.

Таким замыкателем может быть или индуктивный замыкатель или фотоэлемент.



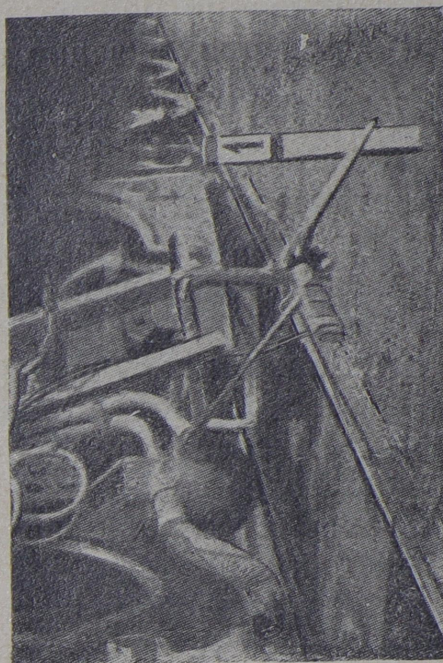


Фиг. 3. Образец ленты хронографа с отметкой пути и времени



Фиг. 4. Крыло-замыкатель

1 — кронштейн железный; 2 — пружина стальная; 3 — амортизатор резиновый; 4 — накладка деревянная; 5 — контактные пластинки медные; 6 — крыло-замыкатель деревянное; 7 — шарнир; 8 — возвращающая пружина; 9 — провода



Фиг. 5. Общий вид крыла-замыкателя в момент подхода к пикетному столбику



Наиболее простым и дешевым способом является использование фотоэлемента, опыты с которым в НИИЖТ производятся.

После каждого скатывания паровоза лента хронографа размечалась, определялось время прохождения каждого пикета, и строилась кривая

$$t = f(S).$$

При построении этой кривой в большом масштабе производилась некоторая корректировка времени прохождения паровозом отдельных пикетов участка. В дальнейшем задача сводилась к двойному дифференцированию этой кривой.

В основу дифференцирования уравнения  $t = f(S)$  положено допущение о постоянстве скоростей и ускорений на некотором промежутке пути. Точность расчетов от такого допущения не страдает, так как всегда можно подобрать длину участков пути такой, чтобы заданная точность была обеспечена, но техника подсчетов при этом значительно упрощается.

На основе принятого допущения дальнейшее двойное дифференцирование уравнения  $t = f(S)$ , т. е. подсчет ускорений, а затем и удельных сопротивлений, производится следующим образом.

Нам точно известен момент прохождения каждого пикетного столбика, начиная с нулевого и кончая последним  $n$  (при наших испытаниях  $n = 30$ ).

Из расшифровки ленты хронографа, следовательно, можно определить и время прохождения каждого пикета длиной, равной в наших условиях 50 м. Ввиду конечного значения элементов пути и времени, которые мы принимаем для расчетов, вместо дифференциалов  $dS$  и  $dt$  берем некоторые их конечные значения  $\Delta S$  и  $\Delta t$ .

Если предположить, что скорость остается постоянной на протяжении каждых двух пикетов, то ее значение, определяемое из выражений:

$$V_1 = \frac{2 \Delta S}{\Delta t_1 + \Delta t_2}; V_3 = \frac{2 \Delta S}{\Delta t_3 + \Delta t_4};$$
$$V_5 = \frac{2 \Delta S}{\Delta t_5 + \Delta t_6}; \dots V_{n-1} = \frac{2 \Delta S}{\Delta t_n + \Delta t_{n-1}},$$

можно отнести к моменту прохождения нечетных столбиков.

На основе второго допущения о постоянстве ускорений на отдельных участках пути определяем приращение скорости между нечетными пикетными столбиками, что легко сделать по ранее найденным скоростям прохождения нечетных пикетных столбиков.

Имеем:

$$\Delta V_{1-3} = V_3 - V_1;$$
$$\Delta V_{3-5} = V_5 - V_3;$$
$$\Delta V_{5-7} = V_7 - V_5$$

и т. д.



Соответствующее время прохождения расстояния между нечетными пикетными столбиками определяется по заранее вычисленным временам прохождения каждого пикета  $\Delta t_1, \Delta t_2, \dots$  и т. д. или по кривой  $t = f(s)$ .

Получим:

$$\Delta t_{1-3} = \Delta t_2 + \Delta t_3;$$

$$\Delta t_{3-5} = \Delta t_4 + \Delta t_5;$$

$$\Delta t_{5-7} = \Delta t_6 + \Delta t_7$$

и т. д.

Тогда ускорения между нечетными пикетными столбиками равны

$$\left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{1-3} = \frac{V_3 - V_1}{\Delta t_2 + \Delta t_3}; \quad \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{3-5} = \frac{V_5 - V_3}{\Delta t_4 + \Delta t_5}; \quad \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{5-7} = \frac{V_7 - V_5}{\Delta t_6 + \Delta t_7} \text{ и т. д.,}$$

которые и относим к моментам прохождения четных пикетных столбиков.

Величина уклона  $i^0/_{00}$  между нечетными пикетными столбиками определяется как средняя между уклонами двух пикетов, т. е.

$$i_{1-3} = \frac{i_2 + i_3}{2}; \quad i_{3-5} = \frac{i_4 + i_5}{2}; \quad i_{5-7} = \frac{i_6 + i_7}{2} \text{ и т. д.}$$

Вычислив для каждого заезда величину

$$\frac{1000(1 + \gamma)}{g}$$

по способу, указанному выше, определяем затем на каждом четном пикете величину

$$\frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{1-3}; \quad \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{3-5}; \\ \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \left[ \frac{\Delta V}{\Delta t} \right]_{5-7} \text{ и т. д.}$$

Величина удельного сопротивления, равная  $w_k = w'_0$  или  $w_k = w'_0 + w_z$ , определяется последующим действием

$$w_k = i - \frac{1000(1 + \gamma)}{g} \cdot \left( \frac{\Delta V}{\Delta t} \right)$$

и относится к скорости прохождения нечетных пикетных столбиков, выраженной в км/час.

Таким способом обрабатывались все заезды при скатывании паровоза ФД как со снятыми, так и с надетыми дышлами.

Все расчеты по каждому заезду сводились в таблицы.

Обработка материала по заезду № 2 приводится для примера в табл. 2.



Таблица 2

Обработка опытного материала заезда № 2 по определению удельного сопротивления паровоза ФД как повозки на прямом и горизонтальном пути ( $w'_0$ )

№ пикетов	$\Delta s$ (метры)	$t$ (секунды)	$\Delta t$ (секунды)	$\Delta t$ (секунды) на 2 пикетах	$V = \frac{\Delta s}{\Delta t}$ (м/сек) на нечетных пикетах	$\Delta V$ м/сек	$\Delta t$ (секунды) соответствующ. $\Delta V$	$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ м/сек <sup>2</sup>	$1000 \frac{(1+\gamma)}{g} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta t}$ кг/м	$f=i$ кг/м	$w'_0$ кг/м	$V$ км/час	Примечание
0		0,00											
1	50	17,60	17,60	33,60	2,976					4,92			
2	50	33,60	16,00			0,558	30,70	0,01828	1,93	5,02	3,14	10,7	
3	50	48,30	14,70	28,30	3,534					5,12			
4	50	61,90	13,60			0,450	26,40	0,01700	1,81	5,12	3,27	12,7	
5	50	74,70	12,80	25,10	3,984					5,04			
6	50	87,00	12,30			0,402	23,90	0,01680	1,79	5,13	3,34	14,3	
7	50	98,60	11,60	22,80	4,386					5,13			
8	50	109,80	11,20			0,331	21,90	0,01510	1,60	5,04	3,42	15,8	
9	50	120,50	10,70	21,20	4,717					5,00			
10	50	131,00	10,50			0,258	20,70	0,01250	1,32	4,90	3,53	17,0	
11	50	141,20	10,20	20,10	4,975					4,80			
12	50	151,10	9,90			0,233	19,60	0,01100	1,26	4,70	3,46	17,9	
13	50	160,80	9,70	19,20	5,208					4,74			
14	50	170,30	9,50			0,227	18,80	0,01210	1,28	4,84	3,61	18,8	
15	50	179,60	9,30	18,40	5,435					4,94			
16	50	188,70	9,10			0,263	18,00	0,01460	1,55	5,04	3,54	19,6	
17	50	179,60	8,90	17,55	5,698					5,14			
18	50	206,25	8,65			0,219	17,15	0,01270	1,36	5,12	3,76	20,5	
19	50	214,75	8,50	16,90	5,917					5,12			
20	50	223,15	8,40			0,256	16,70	0,01530	1,63	5,28	3,61	21,3	
21	50	231,45	8,30	16,20	6,173					5,20			
22	50	239,35	7,90			0,237	15,70	0,01510	1,60	5,20	3,60	22,2	
23	50	247,15	7,80	15,60	6,410					5,20			
24	50	254,95	7,80			0,169	15,45	0,01090	1,16	5,20	4,02	23,1	
25	50	262,60	7,65	15,20	6,579					5,16			
26	50	270,15	7,55			0,155	15,00	0,01030	1,10	5,08	3,97	23,7	
27	50	277,60	7,45	14,85	6,734					5,06			
28	50	285,00	7,40			0,139	14,75	0,00940	1,00	5,02	4,01	24,2	
29	50	292,35	7,35	14,55	6,873					5,00			
30	50	299,55	7,20							5,10		24,8	

Так как скатывания паровоза ФД производились при различных начальных скоростях, менявшихся от 5 до 85 км/час, то получавшиеся значения сопротивлений при одинаковых скоростях, но в различных заездах, собирались затем в одну группу. Подсчитанные средние значения сопротивлений по группам наносились в дальнейшем на планшет в виде точек.

По нанесенным точкам прочерчивалась кривая, определявшая закон изменения удельного сопротивления паровоза ФД с тендером



как повозки на прямом и горизонтальном пути  $w'_0$  и суммы удельных сопротивлений как повозки на прямом и горизонтальном пути и как машины при закрытом регуляторе ( $w'_0 + w_3$ ) в зависимости от скорости движения паровоза  $V$ .

## 5. Кривые удельных сопротивлений $w'_0 = f(V)$ ; $w'_0 + w_3 = \varphi(V)$ и их анализ

Удельные сопротивления как повозки и как машины при езде с закрытым регулятором методом скатывания определялись дважды на паровозе ФД 20-107:

1) при оборудовании паровоза простыми золотниками и клапанами беспарного хода Риккура;

2) при оборудовании того же паровоза раздвижными золотниками системы Трофимова.

Вторичное скатывание было организовано собственно только для определения сопротивлений паровоза при езде с закрытым регулятором при золотниках Трофимова. Однако пришлось произвести и вторичное определение  $w'_0$ , так как сопротивление паровоза как машины  $w_3$  можно определить только как разность сопротивлений ( $w'_0 + w_3$ ) и  $w'_0$ , т. е.

$$w_3 = (w'_0 + w_3) - w'_0.$$

Следовательно, для получения точных значений  $w_3$  необходимо знать  $w'_0$ , соответствующее полученному ( $w'_0 + w_3$ ), т. е.  $w'_0$  и ( $w'_0 + w_3$ ) должны быть получены одновременно.

Скатывание паровоза ФД с простыми золотниками производилось в ноябре 1934 г., а с золотниками Трофимова в начале апреля 1936 г. Метеорологические условия в обоих случаях были примерно одинаковые, что важно для сравнения полученных результатов.

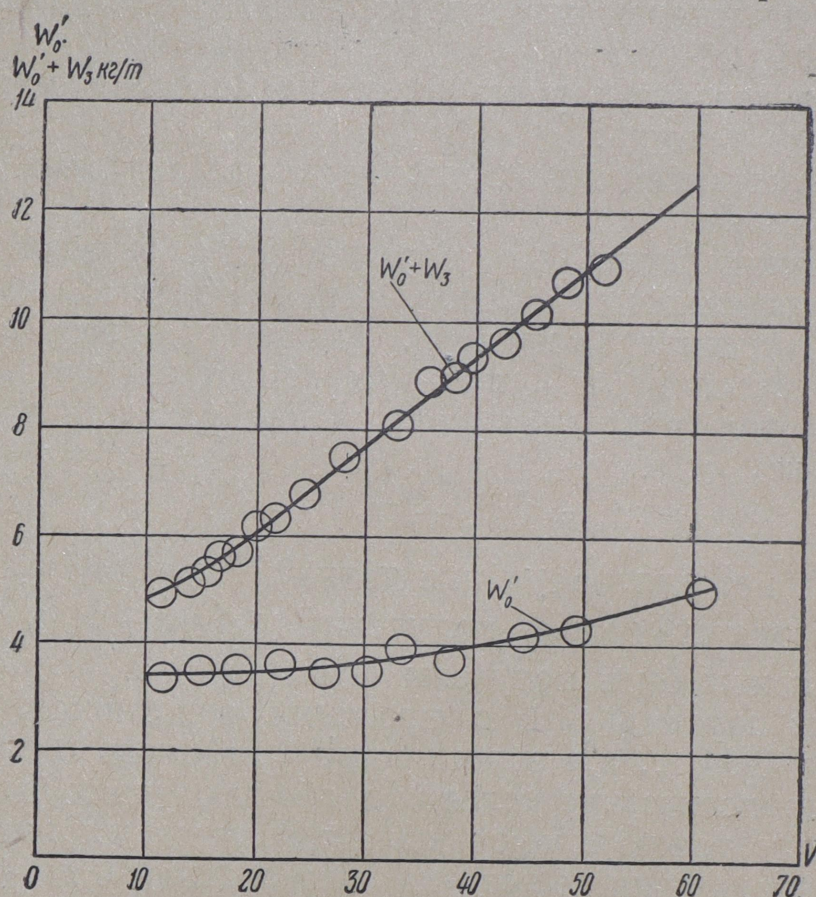
Температура наружного воздуха колебалась от 0 до  $+5^\circ$ , скорость ветра — порядка 1—2 м/сек, временами шел небольшой дождь.

При определении удельных сопротивлений паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и в первом и во втором случае паровоз скатывался со снятыми ведущими дышлами и эксцентровыми тягами. Строго говоря, при определении сопротивлений паровоза как повозки необходимо снимать и спарники, так как наличие спарников несколько увеличивает  $w'_0$  вследствие трения пальцев кривошипов сцепных осей в подшипниках. Однако производившиеся в разное время опыты по определению сопротивлений паровозов как повозки со спарниками и без них показывают, что сопротивление собственно спарников ничтожно и практически величина  $w'_0$  почти не изменяется при наличии спарников.

Между тем наличие спарников во время опытов по скатыванию сохраняет правильное расположение сцепных колесных пар, которые при движении без спарников изменили бы расположение противовесов. Кроме того, наличие спарников хотя бы до некоторой степени сохраняет:



- 1) условие уравнивания паровоза, нарушенное снятием ведущих дышел;
- 2) его возмущенные движения и
- 3) воздействие на путь, что в свою очередь обеспечивает получение большей точности определяемой величины. Наличие спарников также значительно сокращает работы по собиранию дышел после опытов, так как разворачивание сбитых во время опытов колесных пар для надевания спарников — работа весьма трудоемкая. Поэтому паровоз ФД 20-107 скатывали также с надетыми спарниками.



Фиг. 6. Удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути в зависимости от скорости

Паровоз со снятыми дышлами и эксцентриковыми тягами<sup>1</sup>, с укрепленными соответствующим образом поршнями, золотниками и кулисами разгонялся другим паровозом, специально прикомандированным на опыты. После каждого скатывания этот же паровоз снова втаскивал опытный паровоз на гору и снова разгонял его до заданной скорости.

При определении же суммы удельных сопротивлений паровоза с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и как ма-

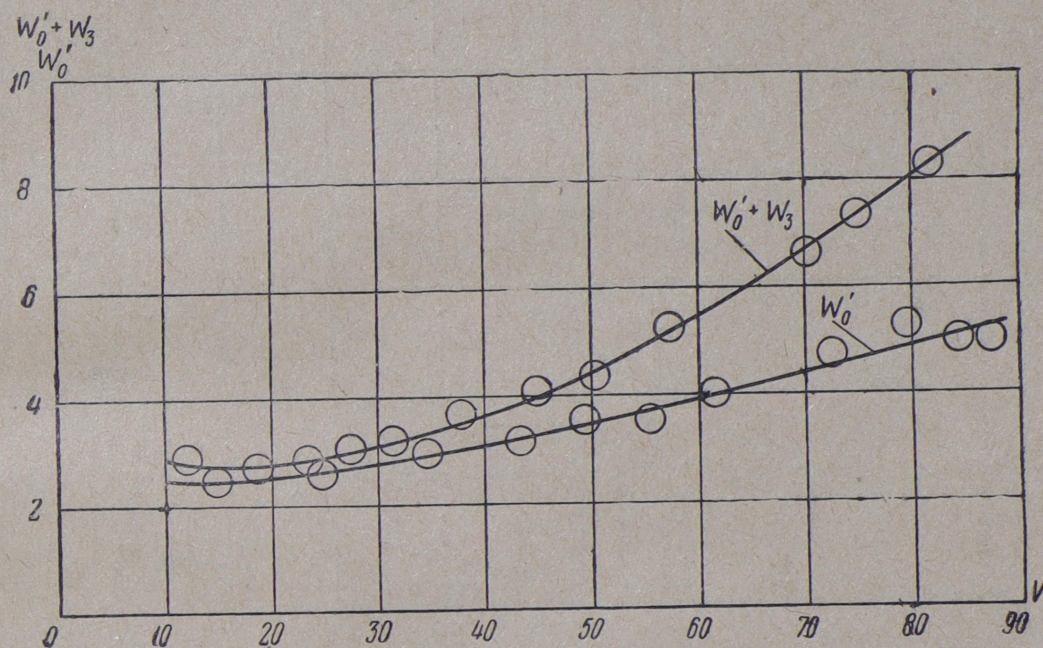
<sup>1</sup> Правильно было бы вместо снятых дышел навешивать на пальцы ведущей оси специальную болванку для сохранения идентичности уравнивания. Так мы поступили в последующем, при скатывании паровоза 2-3-2 № 1 постройки Коломенского завода.



шины при закрытом регуляторе паровоз ФД скатывался с надетыми дышлами и эксцентриковыми тягами и разгонялся до требуемой скорости собственным паром. При подходе к опытному участку пар закрывался, и паровоз катился дальше при закрытом регуляторе, расходуя накопленную живую силу на работу сил сопротивления.

Всего с паровозом ФД было произведено: в первое скатывание для определения  $w'_0$  — 11 заездов и для определения  $(w'_0 + w_3)$  — 8 заездов; во второе скатывание для определения  $w'_0$  — 15 заездов и для определения  $(w'_0 + w_3)$  — 18 заездов.

Обработка всех заездов по методу, разобранному выше, дала ряд точек, позволивших прочертить кривые  $w'_3 = f(V)$  и  $(w'_0 + w_3) = \varphi(V)$ .



Фиг. 7. Удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и сумма удельных сопротивлений как повозки и как машины при закрытом регуляторе в зависимости от скорости

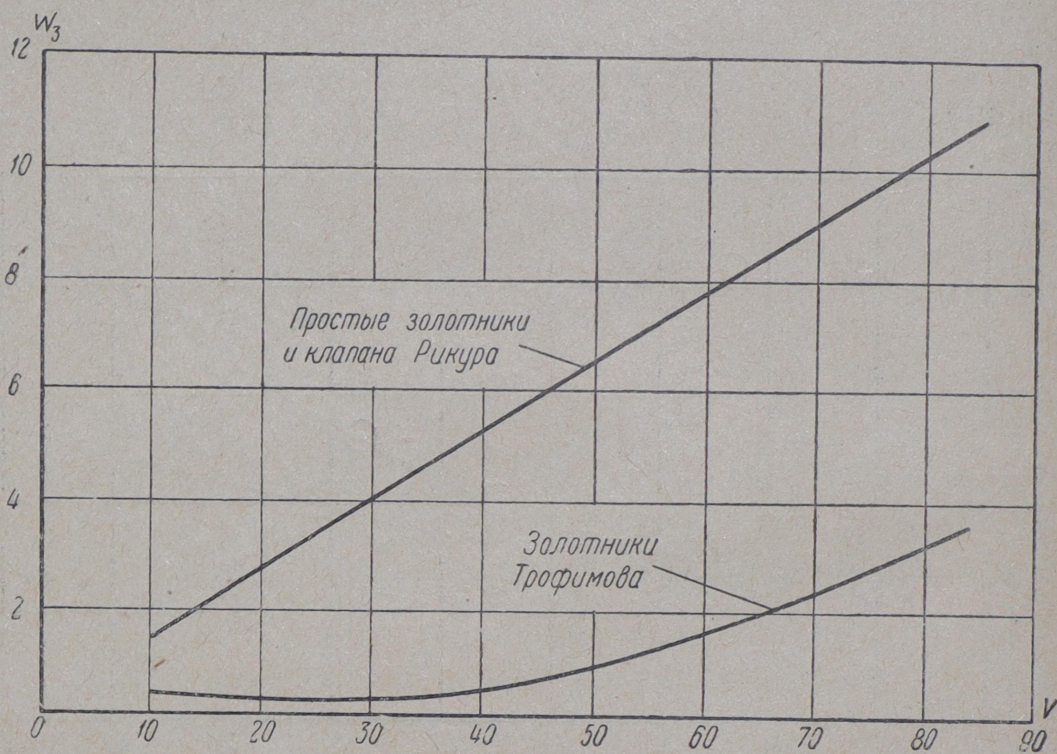
На фиг. 6 и 7 приведены эти кривые с нанесенными опытными точками. Фиг. 6 представляет собой результаты определения удельного сопротивления паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути  $w'_0$  и суммы удельных сопротивлений как повозки на прямом и горизонтальном пути и как машины при закрытом регуляторе  $(w'_0 + w_3)$  при оборудовании паровоза обычными золотниками с клапанами Риккура, а на фиг. 7 — те же сопротивления, но для паровоза ФД, оборудованного раздвижными золотниками Трофимова. Из сопоставления кривых  $w'_0$  фиг. 6 и 7 видим, что полученное при первом скатывании  $w'_0$  имеет несколько большее значение, чем  $w'_0$ , полученное при втором скатывании. Это и естественно, так как в первом случае паровоз ФД 20-107 скатывался почти новым, с пробегом всего только около 2 000 км от постройки, в то время как во втором слу-



чае этот же паровоз скатывался после пробега 15 000 км. За время этого пробега все осевые подшипники успели хорошо приработаться, и сопротивление трущихся частей уменьшилось.

Очевидно, что для всех расчетов следует пользоваться кривой удельных сопротивлений как повозки, полученной при втором скатывании.

Что же касается удельных сопротивлений паровоза ФД с тендером как машины при закрытом регуляторе, то из этих же фиг. 6 и 7 получаем, что сопротивления эти несколько велики при оборудовании паровоза клапанами Рикюра и значительно уменьшаются при постановке золотников Трофимова.



Фиг. 8. Удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как машины при езде с закрытым регулятором в зависимости от скорости при оборудовании паровоза клапанами Рикюра и раздвижными золотниками Трофимова

Так, при скоростях до  $V=40$  км/час это сопротивление при золотниках Трофимова очень мало отличается от  $w'_0$ . При этих скоростях сжатие воздуха, перекачиваемого из одной полости в другую, отсутствует, так как воздух успевает свободно переходить из одной полости цилиндра в другую и сопротивление машины при закрытом регуляторе представляет собой лишь сопротивление от трения поршней в цилиндрах, поршневых и золотниковых скалок в сальниках, а также сопротивления от трения в дышловых подшипниках и валиков во втулках парораспределительного механизма.

На фиг. 8 представлены кривые удельных сопротивлений паровоза ФД как машины при закрытом регуляторе при клапанах Рикюра и раздвижных золотниках Трофимова, полученные из фиг. 6 и 7 как разности сопротивлений

$$w_3 = (w'_0 + w_3) - w'_0.$$

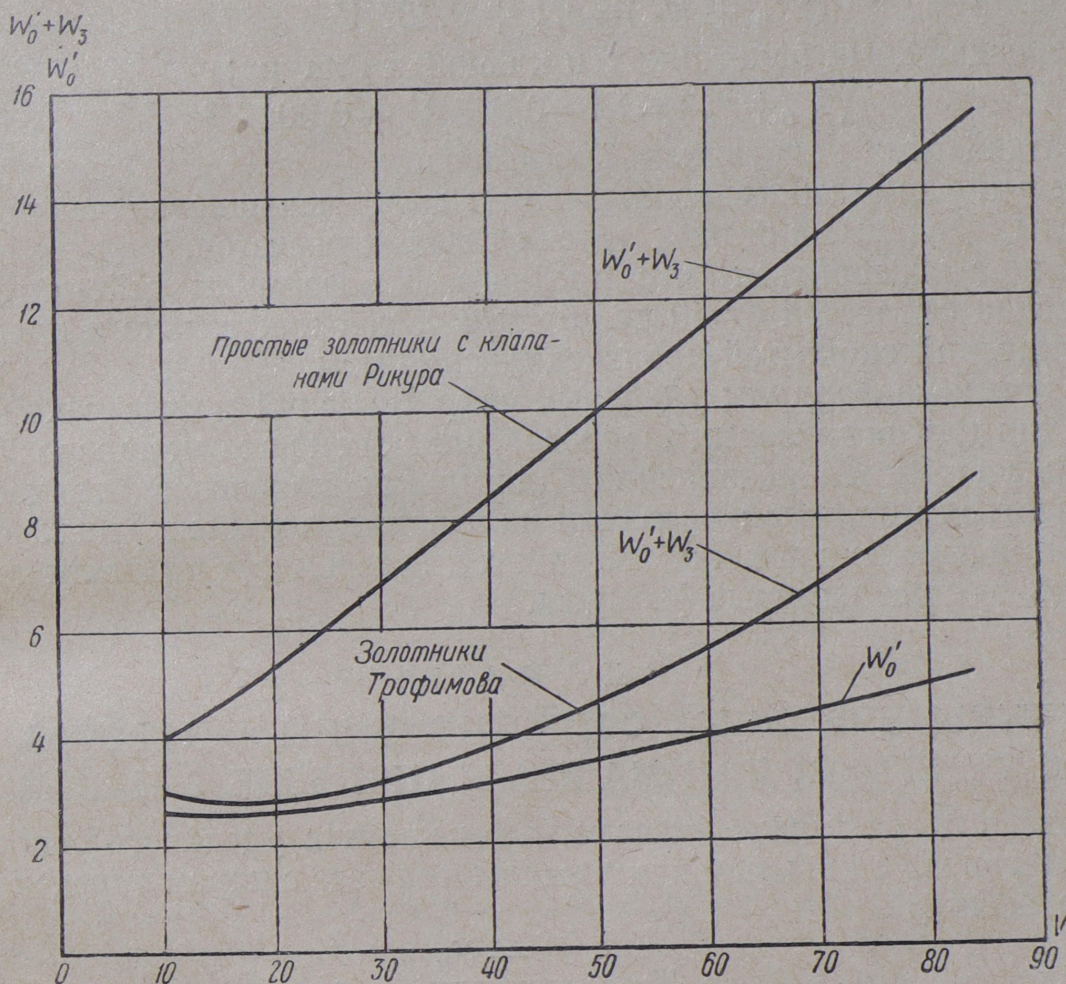


Величины удельных сопротивлений паровоза ФД как машины при нераздвижных золотниках и клапанах Рикюра хорошо укладываются в формулу

$$w_3 = 0,25 + 0,125 V, \quad (15)$$

а при раздвижных золотниках Трофимова — в формулу

$$w_3 = 0,7 - 0,04 V + 0,0009 V^2. \quad (16)$$



Фиг. 9. Паспортные кривые удельных сопротивлений паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути в зависимости от скорости

В прежних курсах тяговых расчетов для определения сопротивления паровоза как машины при закрытом регуляторе давались формулы:

$$w_3 = 1,5 + 0,3 V \text{ — при нераздвижных золотниках}$$

и

$$w_3 = 1,5 + 0,1 V \text{ — при раздвижных золотниках.}$$

Старые формулы не содержат члена с квадратом скорости и дают более высокие значения сопротивлений паровоза как машины, чем оно есть на самом деле, и поэтому применение их к паровозу ФД недопустимо.

На фиг. 9 представлен паспортный планшет, которым и надлежит пользоваться при работах по тяговым расчетам.



Величины удельных сопротивлений паровоза с тендером как поковки на прямом и горизонтальном пути  $w'_0$ , приведенные на этой фигуре, хорошо укладываются в формулу

$$w'_0 = 1,8 + 0,025 V + 0,00017 V^2; \quad (17)$$

суммарные сопротивления паровоза с тендером как поковки на прямом и горизонтальном пути и как машины при закрытом регуляторе достаточно хорошо укладываются в формулы

$$(w'_0 + w_z) = 2,1 + 0,157 V \quad (18)$$

при нераздвижных золотниках и клапанах Риккура;

$$(w'_0 + w_z) = 2,7 - 0,013 V + 0,001 V^2 \quad (19)$$

при раздвижных золотниках Трофимова.

Все эти формулы имеют иной вид и дают меньшие значения, чем формулы, даваемые в старых курсах тяговых расчетов.

Следует оговориться, что предлагаемые формулы действительны в пределах скоростей от 10 до 85 км/час, так как только в пределах этих значений скоростей производились опыты.

Полученные формулы удельных сопротивлений можно рекомендовать и для других грузовых паровозов, близких по типу к паровозу ФД.

С расчетами сопротивлений для новых паровозов приходится сталкиваться при проектировании на заводах, в транспортных институтах, при перспективных расчетах и т. д., где и могут принести известную пользу предлагаемые формулы.

#### Г Л А В А IV

### ВЕЛИЧИНЫ УДЕЛЬНЫХ СОПРОТИВЛЕНИЙ $w_m$ ПАРОВОЗА ФД С ТЕНДЕРОМ КАК МАШИНЫ ПРИ ЕЗДЕ С ПАРОМ

Выше в главе I было указано, что величина удельного сопротивления паровоза с тендером как машины при езде с паром определяется из выражения

$$w_m = \frac{F_i - F_k}{P},$$

где  $w_m$  — удельное сопротивление паровоза с тендером как машины при езде с паром;

$F_i$  — индикаторная сила тяги;

$F_k$  — касательная сила тяги, т. е. сила тяги, приложенная к ободу сцепных колес;

$P$  — вес паровоза с тендером в рабочем состоянии.

Для вычисления  $w_m$  необходимо каждый раз знать соответствующие значения  $F_k$  и  $F_i$  при различных скоростях движения паровоза.

Для паровоза ФД производство таких подсчетов не представляет затруднений, так как он проходил тяговые испытания, во время которых определялись  $F_i$  и  $F_k$  при различных отсечках и постоянных скоростях<sup>1</sup>.

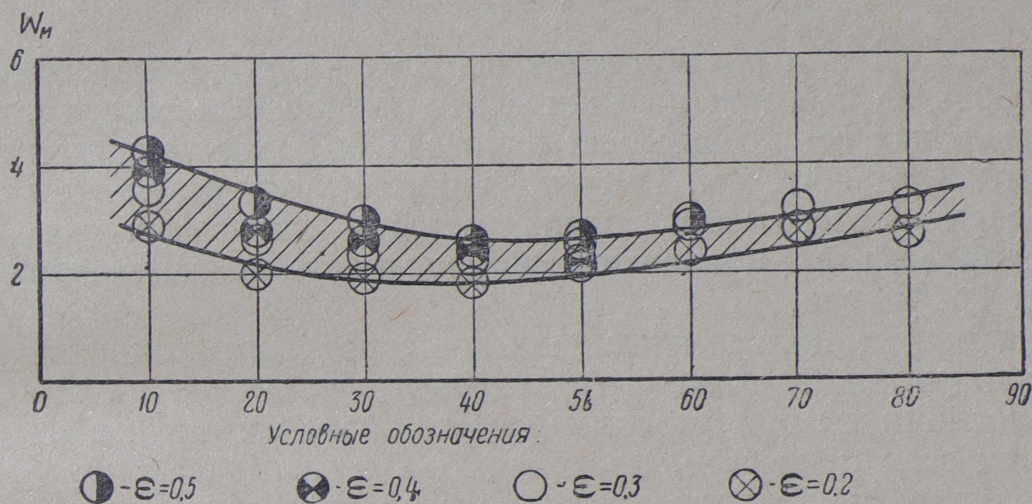
<sup>1</sup> П. А. Гурский. Главнейшие результаты испытаний серийного паровоза ФД типа 1-5-1 НИИЖТ. Выпуск 23, Москва, Трансжелдориздат, 1937 г.



Воспользовавшись величинами  $F_i$  и  $F_k$  из паспорта паровоза ФД, определим искомые величины  $w_m$  для различных отсечек. Разбросанность полученных при этом точек, нанесенных на фиг. 10, характеризуется тем, что величина  $w_m$  зависит не только от скорости, но также и от силы тяги, т. е. от силы давления пара в цилиндрах. При одних и тех же скоростях, но при различных отсечках, т. е. при различных силах тяги, будем иметь отличающиеся друг от друга величины  $w_m$ .

Заштрихованная на фиг. 10 площадь между двумя кривыми, проведенными по крайним верхним и нижним точкам, дает представление об изменениях величин  $w_m$  с изменением скорости.

Из рассмотрения фиг. 10 видим, что  $w_m$  с увеличением скорости вначале падает, достигает своих минимальных значений, а затем вновь



Фиг. 10. Удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как машины при езде с паром при различных отсечках и скоростях

начинает повышаться, причем с увеличением скорости диапазон изменений величин  $w_m$  уменьшается.

Такой характер изменения величины  $w_m$  объясняется двойственной зависимостью  $w_m$ : с одной стороны, от силы тяги, а с другой, — от скорости. Сопротивление паровоза как машины характеризуется работой трения во всех трущихся деталях парораспределительного и движущего механизмов. Очевидно, что работа сил трения должна увеличиваться по мере увеличения нормального давления на трущиеся части и, наоборот, падать с их уменьшением.

Так, для всех отсечек индикаторная сила тяги, обуславливающая давление на трущиеся части механизмов, падает с увеличением скорости, и поэтому средние значения удельного сопротивления  $w_m$ , казалось бы, все время должны уменьшаться, тем более что и второй фактор, определяющий работу сил трения, — коэффициент трения — также обычно падает с увеличением скорости.

Однако с увеличением скорости очень быстро начинают возрастать инерционные усилия как в движущем, так и в парораспределительном механизмах, величина которых, как известно, пропорциональна квадрату скорости.



Суммарное действие всех факторов таково, что среднее значение удельных сопротивлений паровоза ФД с тендером как машины при скоростях выше 40—50 км/час начинает возрастать, на что и указывает фиг. 10.

А так как с увеличением скорости относительная разность между величинами сил тяги при разных отсечках уменьшается, то диапазон изменений удельных сопротивлений как машины  $w_m$  также уменьшается.

## Г Л А В А V

### БЕСПАРНЫЙ ХОД ПАРОВОЗА ФД

#### 1. Общее замечание

В главе III при рассмотрении вопроса об удельных сопротивлениях паровоза ФД как повозки одновременно был затронут вопрос и об удельных сопротивлениях паровоза ФД как машины при езде с закрытым регулятором. Там же были приведены результаты определения величин этого сопротивления методом скатывания при оборудовании паровоза ФД клапанами Рикюра, а затем раздвижными золотниками Трофимова.

Однако, хотя приведенные данные о сопротивлениях паровоза ФД как машины при езде с закрытым регулятором вполне достаточны для использования их при тяговых расчетах, все же они не вскрывают сущности всех процессов, происходящих в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу. А так как кроме клапанов Рикюра и золотников-байпасов Трофимова для паровоза ФД предложены еще и другие приборы беспарного хода, то является необходимым сравнительное изучение их для выбора наилучшего.

Остановимся предварительно на сущности процессов, происходящих в цилиндрах паровой машины паровоза на беспарном ходу, разберем далее устройство различных приборов беспарного хода, предложенных для паровоза ФД, и приведем результаты их испытаний.

#### 2. Процесс работы машины на беспарном ходу

При езде с закрытым регулятором сильно возрастает сопротивление паровоза как машины вследствие того, что цилиндры паровой машины превращаются в своеобразные насосы, засасывающие через конус из дымовой коробки горячие газы и воздух, а затем сжимающие засосанную смесь и выталкивающие ее обратно в дымовую коробку через конус.

Если представить схему работы машины паровоза при закрытом регуляторе, то получим следующую картину.

Построим диаграмму Цейнера для отсечки  $\varepsilon = 0,6$ , наибольшей отсечки паровоза ФД. По диаграмме Цейнера можно построить теоретическую индикаторную диаграмму процесса, происходящего в цилиндрах машины паровоза при езде с закрытым регулятором. Так как



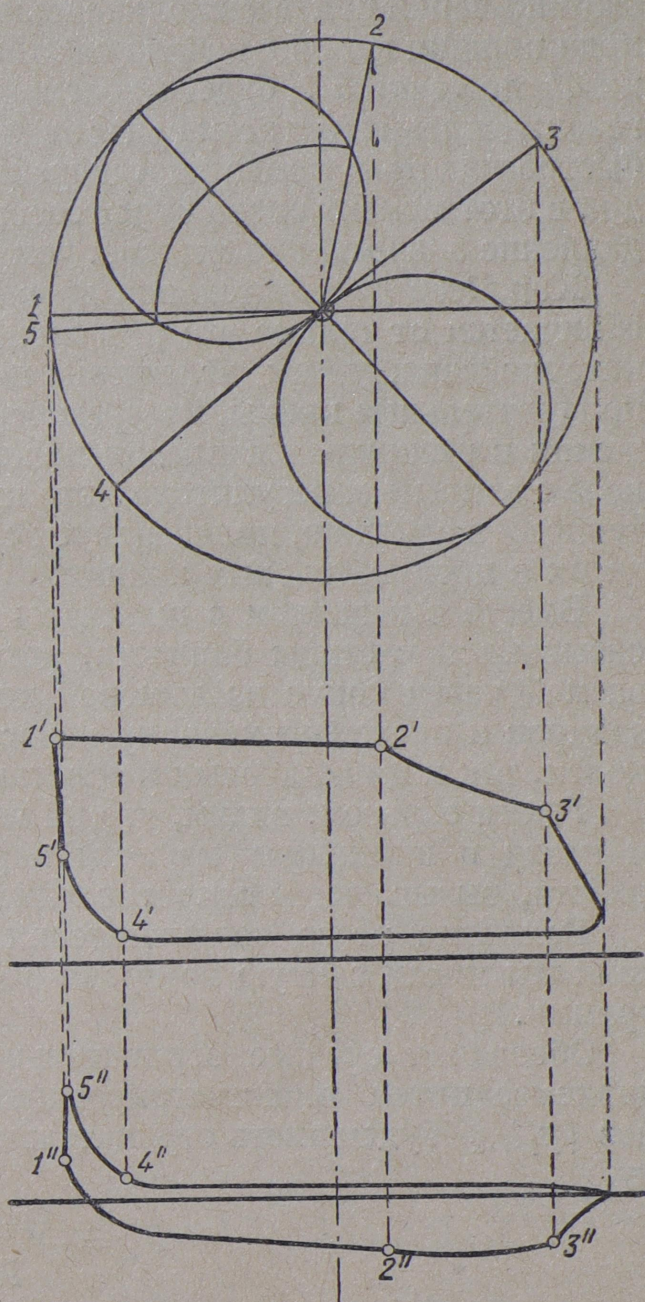
все фазы парораспределения на беспарном ходу остаются такими же, как и при работе машины с паром, то весь рабочий процесс беспарного хода можно рассматривать по отдельным элементам, соответствующим фазам общеизвестной индикаторной диаграммы при работе машины с паром.

Тогда на индикаторной диаграмме беспарного хода (фиг. 11) линия  $1'' - 2''$  будет соответствовать моменту впуска.

В это время будет увеличиваться объем полости цилиндра вследствие перемещения поршня от левой мертвой точки к правой, а давление на рассматриваемую сторону поршня должно понижаться, так как цилиндр паровоза в это время через золотниковую коробку и парорабочую трубу будет соединен с ничем не заполненной камерой перегретого пара коллектора пароперегревателя. В цилиндре происходит разрежение, и паровая машина при этом превращается в насос.

Линия  $2'' - 3''$  соответствует моменту расширения. При этом в цилиндре будет происходить дальнейшее понижение давления (разрежение) на рассматриваемую сторону поршня, так как в точке  $2''$  золотник закроет окно, отъединит цилиндр от золотниковой камеры и парорабочей трубы, а имеющееся в цилиндре некоторое количество воздуха при продолжающемся перемещении поршня должно занимать увеличивающийся объем. Понижение давления (разрежение) будет происходить до точки  $3''$ —момента предварения выпуска. В этот момент

золотник открывает окно на выхлоп, что соответствует моменту предварения выпуска, и тем самым соединяет рассматриваемую полость цилиндра через выхлопные трубы и конус с дымовой коробкой. А так как давление в дымовой коробке больше, чем в цилиндре, и равно почти атмосферному, то горячие газы, а вместе с ними и частицы из-



Фиг. 11. Диаграмма Цейнера и индикаторные диаграммы при работе с паром и на беспарном ходу при отсечке  $\varepsilon = 0,6$



гари, находящиеся в дымовой коробке, устремятся в цилиндр и повысят там давление до давления в дымовой коробке.

При обратном ходе поршня начинается выталкивание попавших в цилиндр газов обратно через конус в дымовую коробку. А так как газы не успевают покинуть полость цилиндра, то давление там в момент выталкивания будет несколько повышаться. Так продолжается до прихода поршня к точке начала сжатия 4". С этого момента, т. е. с точки 4" до точки 5", будет происходить сжатие оставшихся в цилиндре газов; давление при этом будет значительно повышаться и снова начнет быстро падать в момент предварения впуска, так как полость цилиндра в этот момент снова будет сообщена с золотниковой коробкой, где давление значительно меньше, чем в цилиндре в конце сжатия.

Характер действительной диаграммы беспарного хода несколько отличается от только что разобранный теоретически возможной индикаторной диаграммы вследствие подсоса атмосферного воздуха через продувальные краны, которые отрываются от своих гнезд при понижении в цилиндрах давления ниже атмосферного. При езде на паровозе с закрытым регулятором это явление легко установить по характерному щелканию, являющемуся следствием ударов клапанов о гнезда их в продувальных кранах.

Вместе с воздухом в цилиндры через продувальные краны подсасываются частицы балласта, которые с частицами изгари, засасываемой через конус из дымовой коробки, способствуют образованию задиров и преждевременному износу как поршневых и золотниковых колец, так и цилиндровых и золотниковых втулок.

Таким образом, видим, что на всем пути движения поршня вперед и назад в цилиндрах машины паровоза происходит отрицательная работа, вызывающая сопротивление движению.

Величина этого сопротивления легко может быть подсчитана, если мы имеем снятую во время беспарного хода индикаторную диаграмму.

Обозначая среднее отрицательное индикаторное давление, определяемое путем планиметрирования индикаторной диаграммы, через  $(p_i)_{б.х.}$ , будем иметь отрицательную индикаторную силу тяги, равную

$$-F_i = \frac{(p_i)_{б.х.}}{p_k} M,$$

где  $M$  — модуль паровоза;  
 $p_k$  — котловое давление.

После этого определяем отрицательную мощность, получаемую в цилиндрах:

$$-N_i = \frac{-F_i V}{270}.$$

При этом и  $F_k$  приобретает отрицательное значение, становясь тормозящей силой, причем по абсолютной величине она больше, чем  $F_i$ , на величину сопротивлений, вызываемых работой трения в тру-



щихся элементах движущего и парораспределительного механизмов, т. е.

$$-F_k = -F_i + (-Pw_m).$$

Заменяя отрицательную силу тяги положительным сопротивлением паровоза как машины при закрытом регуляторе, получим

$$-F_k = W_z = Pw_z. \quad (20)$$

Следовательно, величину удельного сопротивления паровоза с тендером как машины при закрытом регуляторе можно получить не только путем скатывания, когда определяется величина  $(w'_0 + w_z)$ , но также и путем снятия индикаторных диаграмм во время беспарного хода, последующей их обработкой и определением тормозящего усилия, возникающего в цилиндрах паровой машины паровоза.

Для уменьшения отрицательной работы, развиваемой машиной на беспарном ходу, все паровозы обычно оборудуются различными приборами беспарного хода.

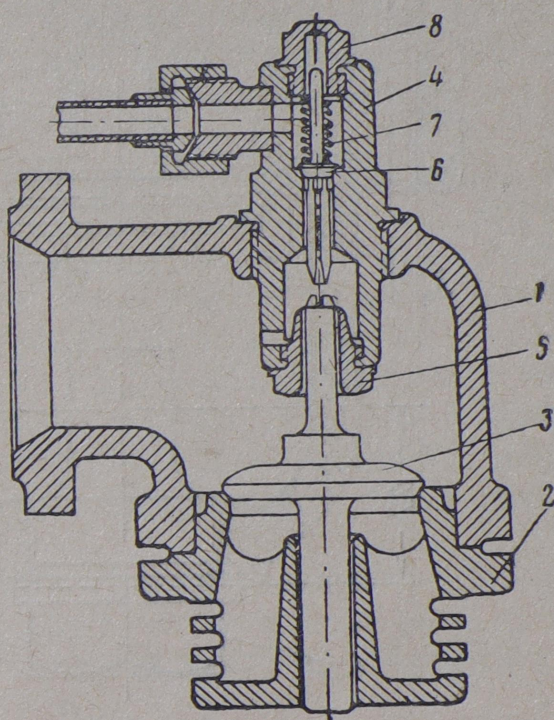
Рассмотрим устройство приборов беспарного хода, испытанных на паровозах ФД.

### 3. Устройство приборов беспарного хода для паровоза ФД

Клапаны Лопушинского и Рикюра. Первые паровозы ФД оборудовались паровоздушными клапанами Лопушинского, широко известными по своей работе на других сериях паровозов (Э, Л, С<sup>у</sup>).

Общий вид клапана Лопушинского, установленного на специальных отростках, приваренных к паровпускным трубам, представлен на фиг. 12. Он имеет воздушную и паровую часть. Принцип его действия таков. При образовании разрежения в цилиндре воздушный клапан 3 приподнимается вследствие превышения давления атмосферного воздуха над давлением в полости цилиндра, к которой присоединен клапан Лопушинского через паровпускную трубу и золотниковую коробку, и тем самым дает возможность атмосферному воздуху попасть в цилиндр и уменьшить разрежение в нем.

Одновременно воздушный клапан 3 при своем подъеме хвостовиком поднимает и паровой клапан 6, и пар, подводимый к клапану по особой трубке от камеры насыщенного пара коллектора паропере-



Фиг. 12. Паровоздушный клапан Лопушинского

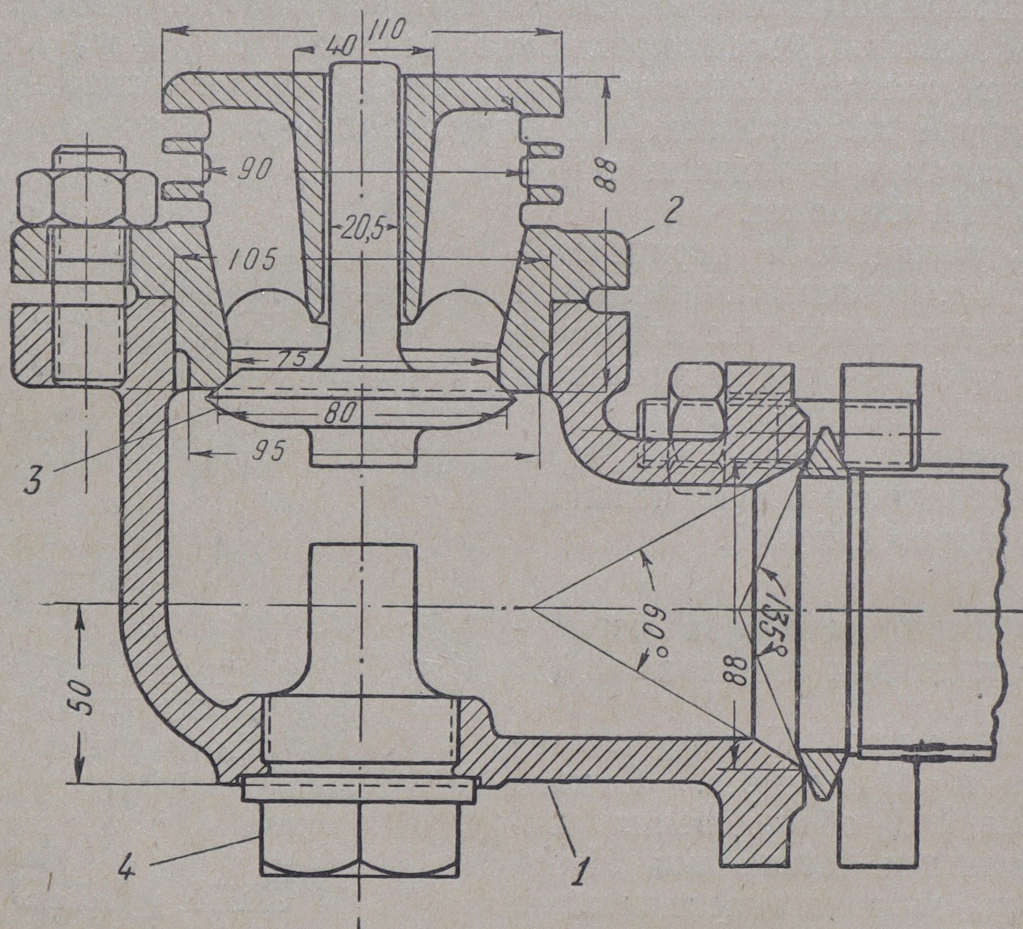
1 — корпус; 2 — седло; 3 — воздушный клапан; 4 — штуцер; 5 — направляющая втулка; 6 — паровой клапан; 7 — пружина; 8 — пробка-крышка



гревателя, устремляется также в цилиндр. Смешиваясь с воздухом, пар заполняет цилиндр и уменьшает тем самым образовавшееся в нем разрежение, отчего уменьшаются сопротивления паровоза.

Пар, впускаемый в цилиндр, кроме уменьшения разрежения обогревает стенки цилиндра, предохраняя их от резкого охлаждения, возможного при засасывании атмосферного воздуха через воздушный клапан, в особенности в зимних условиях.

Практика эксплуатации первых паровозов ФД в депо Красный Лиман показала, что клапаны Лопушинского, в представленном на



Фиг. 13. Клапан Рикюра

1 — корпус; 2 — седло клапана; 3 — клапан; 4 — пробка с упором

фиг. 12 конструктивном оформлении, работают неудовлетворительно. Вследствие малого сечения в особенности паровой части они не обеспечивают свободного беспарного хода паровоза. Кроме того, было установлено бездействие паровой части из-за некоторой сложности ее устройства; частая поломка хвостовиков воздушного клапана вызывала много хлопот в депо с ремонтом их.

Поэтому еще в 1934 г. при составлении первой характеристики на серийную постройку паровозов ФД было решено «модернизировать» клапан Лопушинского.

При этом изъяли всю паровую часть, а воздушный клапан вместе со всем корпусом повернули на 180°. Таким образом, клапан Лопушинского превратили в обычный клапан Рикюра, с которым и выпускались



паровозы ФД до 1936 г. Общий вид этого клапана представлен на фиг. 13.

Клапан Рикура, установленный на паровозе ФД, отличается от одноименных клапанов, установленных на паровозах других серий, тем, что он, во-первых, установлен на паровпускных трубах, а не на крышках цилиндров, а во-вторых, он повернут на  $180^\circ$ .

Если клапан Рикура на старых паровозах при стоянке и езде с паром садится на свое седло под действием собственного веса и затем прижимается паром, то клапан Рикура паровоза ФД, наоборот, при стоянках под действием собственного веса отрывается от седла, опускаясь на упор, и сообщает тем самым золотниковую камеру с атмосферой. При открытии же регулятора под действием силы пара он прижимается к своему седлу.

При закрытии регулятора и образовании разрежения в золотниковой коробке, а значит и в паровпускной трубе, клапан падает на упор под действием силы тяжести и под давлением атмосферного воздуха, открывает доступ атмосферному воздуху в цилиндры, уменьшая в них отрицательную работу.

Во время движения паровоза при закрытом регуляторе клапан должен все время находиться в опущенном состоянии. Однако во время выхлопа давление в цилиндрах, в золотниковой коробке и паровпускной трубе повышается настолько, что прижимает клапан к седлу. Поэтому клапан все время находится в движении возвратно-поступательного характера, попеременно садясь с ударом на седло или на упор, отчего часто ломаются хвостовики клапана и расстраивается фланцевое соединение корпуса клапана с отростком паровпускной трубы. Это является существенным недостатком конструкции, так как вызывает затруднения в эксплуатации.

**Клапаны Пирина.** Клапаны Пирина, изображенные на фиг. 14 и 15, принадлежат к типу воздушных клапанов, уменьшающих тормозящие усилия при езде без пара, к которому относится и клапан Рикура.

Клапан Пирина состоит из чугунного корпуса 1 с крышкой 2, укрепляемой на корпусе шестью болтами с гайками 12. Корпус клапана при помощи особого фланца устанавливается на канале, соединяющем золотниковую коробку с цилиндром, вместо смотрового фланца с индикаторной пробкой. Постановка индикаторной пробки 14 при этом предусмотрена на корпусе клапана.

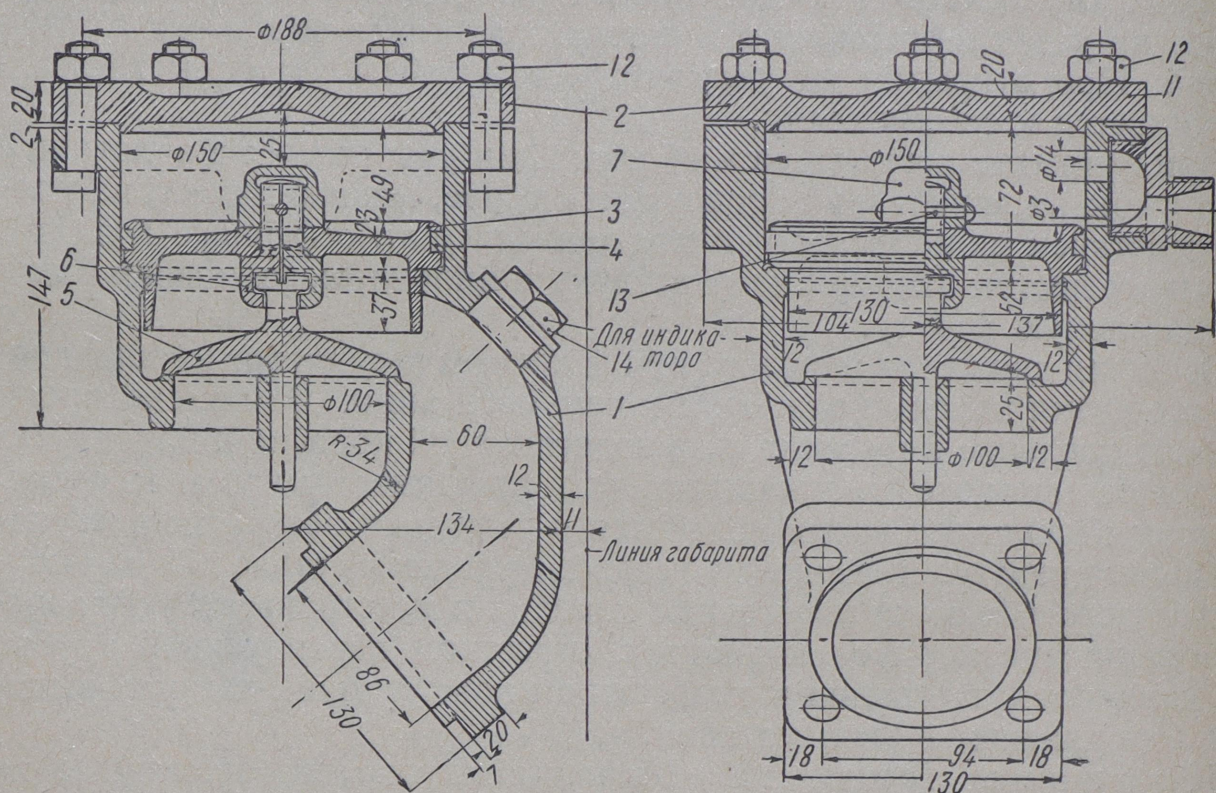
Внутри корпуса установлены два односедельных клапана: клапан-поршень 3 и малый клапан 5, соединенные между собой особой стяжной гайкой 6, укрепляемой глухой гайкой 7. Головка малого клапана 5 вставляется в соединительную гайку 6 с некоторым зазором для возможности более плотной посадки на место каждого клапана самостоятельно.

Клапан-поршень 3 имеет уплотняющее кольцо 4, предназначенное для устранения утечек воздуха через клапан-поршень в золотниковую коробку во время езды без пара. Пропуск же пара в клапане Пирина не является потерей, так как пар, пропущенный поршнем-клапаном,



попадает в цилиндр паровой машины. В нижней части пространства над клапаном-поршнем в корпусе устроено отверстие диаметром 9 мм для стока конденсата.

Схема действия клапана такова. При закрытии регулятора в золотниковой коробке образуется разрежение; при этом происходит понижение давления и в камере над клапаном-поршнем 3, так как при помощи соединительной трубки 15 она соединена с золотниковой коробкой. Точно такое же разрежение будет и в пространстве между клапаном-поршнем 3 и малым клапаном 5, так как оно соединено одновре-



Фиг. 14. Общий вид клапана беспарного хода Пирина

менно и с цилиндром и с золотниковой камерой, в которых давление понижено.

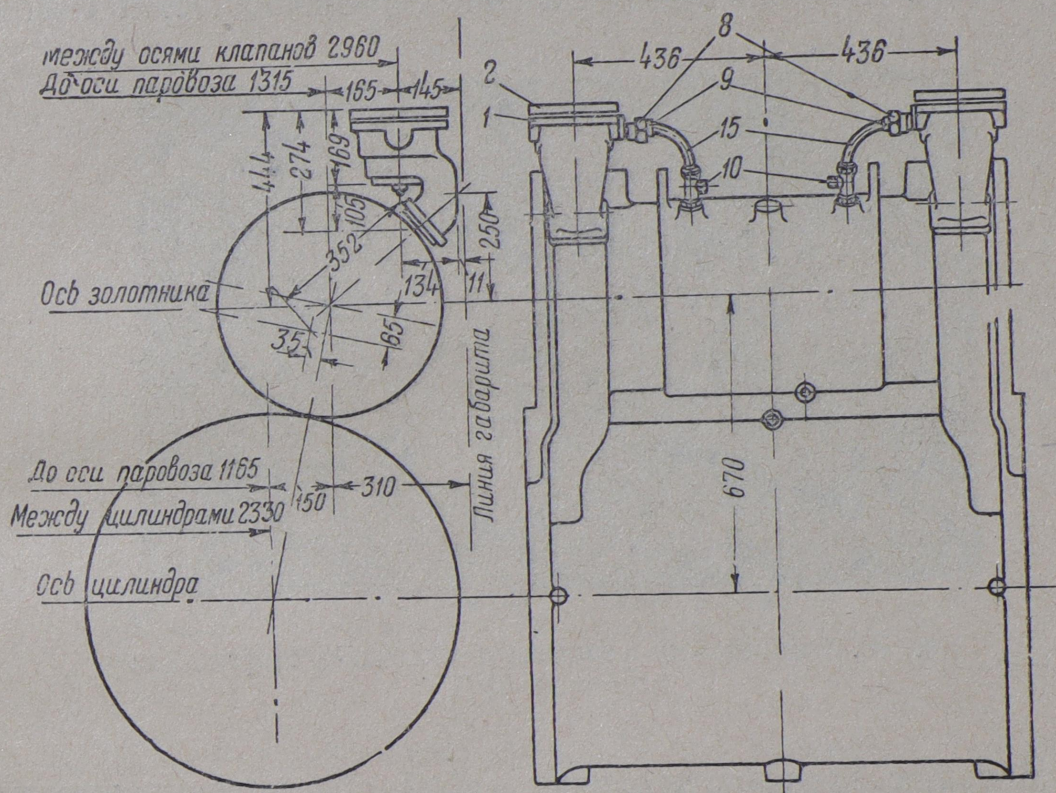
Тогда под давлением атмосферного воздуха малый клапан 5, а вместе с ним и клапан-поршень 3 приподнимутся и откроют доступ атмосферному воздуху в цилиндр, уменьшая в нем разрежение.

При открытии регулятора пар из золотниковой коробки по соединительной трубке 15 попадает в пространство над клапаном-поршнем и оказывает на него давление сверху. Однако в это же время пар, попавший в цилиндры, а также в канал, соединяющий золотниковую коробку с цилиндром, попадает в корпус клапана и начинает давить на клапан-поршень снизу. Одновременно пар будет выходить и в атмосферу через отверстие, еще не закрытое малым клапаном. Вследствие разности площадей клапана-поршня (в верхней части его диаметр равен 150 мм, а в нижней части — 130 мм) он будет прижат к своему седлу давлением пара над клапаном. В это же время будет посажен на место и малый клапан 5.



Клапан-поршень, а вместе с ним и малый клапан 5 при беспарном ходе должны быть всегда приподняты. В этом положении они будут удерживаться давлением атмосферного воздуха, а также давлением выталкиваемого и сжимаемого в цилиндрах воздуха в моменты выхлопа и сжатия.

Это обстоятельство потребовало значительного развития размеров ( $d=100$  мм) малого клапана, что, однако, не представляет никаких неприятностей, так как клапан во время беспарного хода должен находиться в покое, в чем и заключается его принципиальное отличие от клапанов Риккура, которые во время работы при закрытом регуля-



Фиг. 15. Схема установки клапанов беспарного хода Пирина на паровозе ФД

торе все время опускаются и поднимаются и с ударами садятся на место.

Для увеличения доступа воздуха в цилиндры клапаны Пирина устанавливаются по одному на каждую полость цилиндра (т. е. четыре на паровоз ФД).

При наличии клапанов Пирина становятся ненужными предохранительные клапаны на цилиндрах, так как при внезапном повышении давления в цилиндрах (например, бросание воды) клапан-поршень, а вместе с ним и малый клапан 5 будут приподняты и давление в цилиндре упадет; а так как сечение малого клапана в несколько раз превосходит сечение предохранительного цилиндрического клапана (площадь предохранительного цилиндрического клапана равна  $\frac{\pi \cdot 5,5^2}{4} = 23,8 \text{ см}^2$ , а площадь клапана Пирина  $\frac{\pi \cdot 10^2}{4} = 78,5 \text{ см}^2$ ), то эффективность



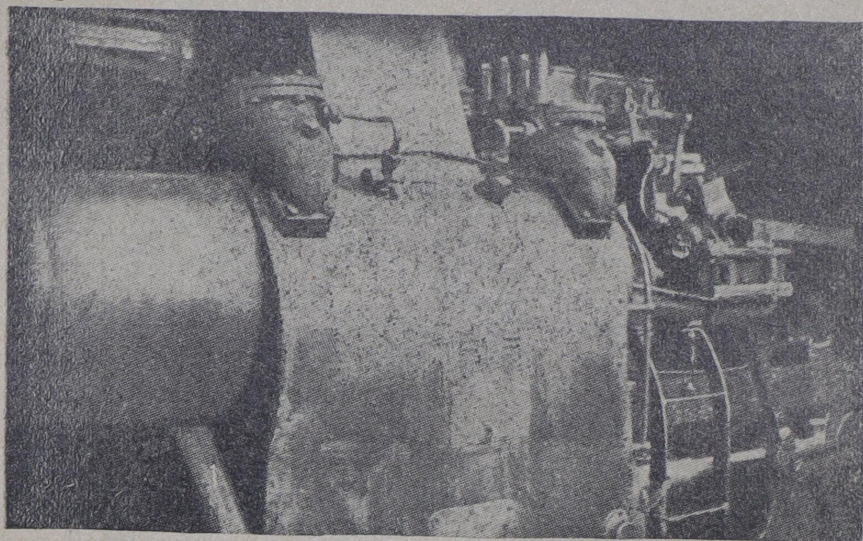
действия его в этих случаях значительно выше и возможность выбивания цилиндрических крышек в значительной степени уменьшена.

Клапанов Пирина было заказано пять комплектов, и первый из них поступил для испытания в НИИЖТ.

Общий вид установки клапанов Пирина на паровозе ФД представлен на фиг. 16.

Впервые аналогичные клапаны И. В. Пирин применил на паровозе Е<sub>ф</sub><sup>п</sup> 127 с камерным пароперегревателем его системы.

**Б а й п а с ы Г е н д р и.** Клапаны беспарного хода Гендри представляют собой одну из многочисленных разновидностей байпасов,



Фиг. 16. Общий вид установки клапанов Пирина на паровозе ФД

т. е. приборов, соединяющих между собой обе полости цилиндров и позволяющих перепускать засосанные в цилиндры газы и воздух из одной полости в другую. Сама по себе идея байпасирования весьма заманчива, так как при этом возможно уменьшение отрицательной работы без ввода в цилиндры наружного воздуха, охлаждающего цилиндры, в особенности в зимнее время.

Байпасы Гендри получили широкое распространение на паровозах в Англии и к нам в Союз оттуда были завезены на паровозе Гаррат в 1933 г.

На этом паровозе они зарекомендовали себя с хорошей стороны, вследствие чего по заказу НКПС ЦЛПБ разработало проект аналогичных клапанов и для паровозов ФД, а Ворошиловградский паровозостроительный завод оборудовал такими байпасами паровозы ФД: № 20-616, отправленный для работы в депо Курган Южно-Уральской ж. д., № 20-678, отправленный для работы в депо Люблино дороги им. Ф. Э. Дзержинского, № 20-835 — паровоз знаменитого машиниста т. Кривоноса и № 20-1500, отправленный для работы в депо Красный Лиман-север Северо-Донецкой ж. д.

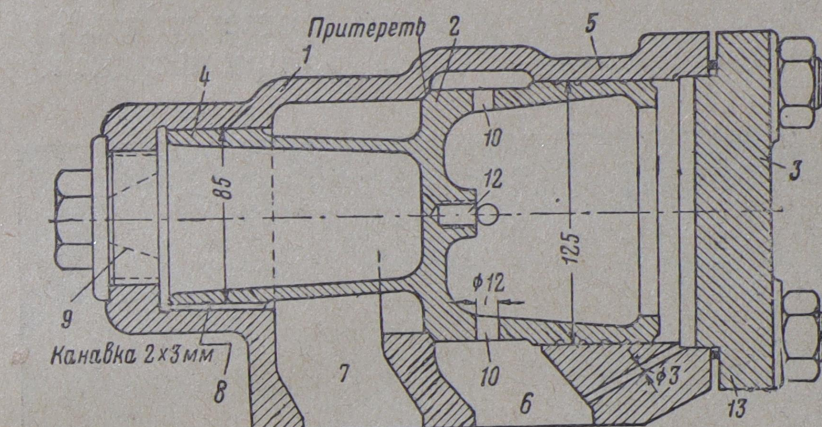


Устройство байпаса Гендри видно из фиг. 17.

Байпас состоит из стального корпуса 1 с крышкой 3 и односедельного клапана 2, помещенного внутри корпуса.

Корпус при помощи четырех шпилек укрепляется на особых приливах цилиндров. На каждом цилиндре устанавливаются два байпаса.

Клапан 2 имеет два поршня — 4 и 5 — разных диаметров, составляющих с ним одно целое и играющих роль направляющих клапана в корпусе 1. Канал 6 корпуса байпаса соединяется с паровпускной камерой золотниковой коробки, а канал 7 — с цилиндром через паропускной канал.



Фиг. 17. Байпас Гендри

1 — корпус; 2 — клапан; 3 — крышка; 4 и 5 — поршни клапана; 6 — канал, соединенный с золотниковой камерой; 7 — канал, соединенный с паровым каналом цилиндра; 8 — канавка; 9 — камера малого поршня клапана; 10 — отверстия в поршне 5 клапана; 12 — отверстие для штока; 13 — кольцо красной меди

вой канал, идущий от золотниковой коробки к цилиндру. При открытии регулятора пар из золотниковой коробки по каналу 6 и через четыре круглых окна 10 большого поршня клапана байпаса прижимает клапан 2 к седлу корпуса. В это время каналы 6 и 7, т. е. золотниковая коробка и цилиндр, разобщены.

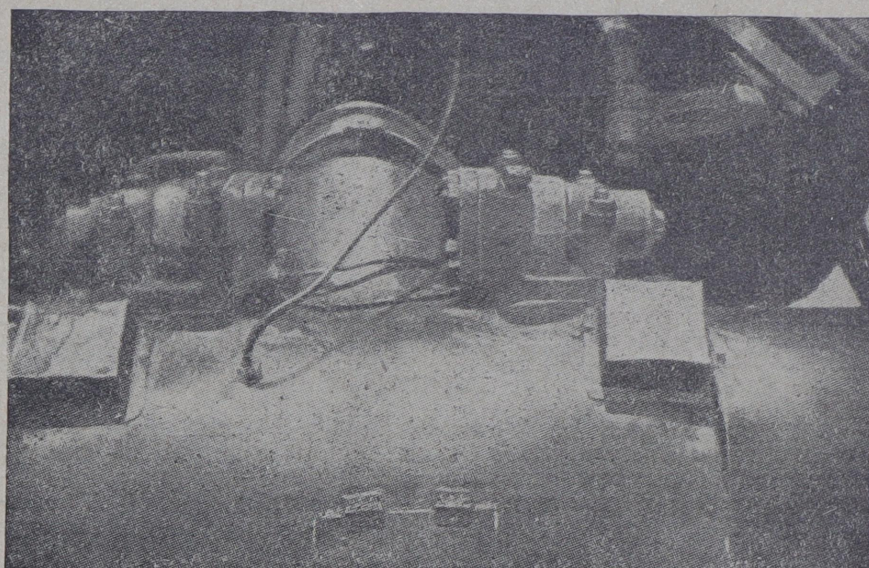
При беспарном ходе в золотниковой коробке (точнее — в пространстве между дисками золотника) образуется разрежение, вызываемое высасыванием воздуха поршнем машины паровоза. Очевидно, что понижение давления произойдет и в пространстве между поршнем 5 и крышкой байпаса 3, так как через канал 6 и отверстия 10 это пространство соединено с золотниковой камерой. В пространстве же между поршнями 4 и 5 клапана 2, а также внутри поршня 4 давление будет равно атмосферному или несколько выше его, так как туда попадают воздух и газы по канавке 8, а кроме того, оно через канал 7 соединено с полостью цилиндра, откуда происходит выталкивание воздуха через конус. Через последний пространство между поршнями 4 и 5 соединено с дымовой коробкой. В моменты же закрытия золотниковых окон в этой полости будет происходить сжатие, и давление повысится еще больше. Описанный процесс легко проследить по теоре-



тически возможной индикаторной диаграмме беспарного хода, представленной на фиг. 11 и разобранной выше.

Под действием разности давлений клапан 2 отодвинется вправо до упора в крышку 3 и тем самым соединит каналы 6 и 7. Давление в цилиндре при этом стремится сравняться с давлением в золотниковой коробке. Так как байпасы поставлены по обоим концам золотниковой коробки, то пространство между золотниковыми дисками будет сообщено с обеими полостями цилиндра и давление на поршень с обеих сторон должно быть одинаковым, т. е. поршень должен уравновеситься.

При открытии регулятора клапан 2 давлением пара, попадающего из золотниковой коробки через канал 5 и отверстия 10, отодвигается влево и прижимается к своему седлу. Удар при посадке клапана смяг-



Фиг. 18. Общий вид установки байпасов Гендри на цилиндре паровоза ФД

чается воздушной подушкой в камере 9. После посадки клапана воздух, сжатый в камере 9, будет медленно выходить через канавку 8. Канавка сделана для спуска конденсата, а отверстие 12 предназначено для ввертывания штыря при выемке клапана из корпуса.

Установка байпасов Гендри на паровозе ФД представлена на фиг. 18.

**Золотник Трофимова.** История развития приборов беспарного хода на наших паровозах до появления паровоза ФД показывает, что ни одна из многочисленных конструкций воздушных и паровоздушных клапанов, а также перепускных клапанов (байпасов) не является достаточно удовлетворительной. Все они имеют те или иные существенные недостатки, причиняющие много хлопот в повседневной эксплуатационной работе, а главное — не уничтожают отрицательной работы в цилиндрах на беспарном ходу.

Кардинальное разрешение этого вопроса связано с появлением раздвижных золотников-байпасов системы изобретателя И. О. Трофимова.



Раздвижные золотники Трофимова обеспечивают хорошее байпасирование через каналы и паровыпускные трубы, что при существующих размерах последних сводит к минимуму все сопротивление во время перекачивания поршнем цилиндра воздуха из одной полости в другую. Одновременно уменьшается и сопротивление от трения поверхностей, так как диски золотника при закрытии регулятора останавливаются.

Широкая практика работы золотников Трофимова на грузовых (серии Э со всеми индексами, Е, СО) и пассажирских (серии С, СУ) паровозах в течение уже многих лет подтвердила их преимущества перед всеми другими приборами беспарного хода, вследствие чего золотники Трофимова получили широкое распространение не только в СССР, их родине, но и частично на дорогах западноевропейских стран: в Англии, Германии, Чехо-Словакии и др.

Естественным было желание сконструировать раздвижной золотник и для паровоза ФД. Однако паровоз ФД начал строиться с жесткими золотниками американского типа.

Некоторые тогда существовавшие опасения, вызвавшие необходимость постановки на паровозе ФД нераздвижного золотника, сводились к следующему. Диаметр золотника на паровозе ФД принят равным 300 мм против 250 мм, принятых на старых паровозах. Ход золотника также значительно увеличен.

Все это было сделано для увеличения площади открытия золотниковых окон.

Очевидно, что такое увеличение размеров золотника дает значительное увеличение его веса, что, казалось, при одновременном увеличении котлового давления могло бы не обеспечить плавную и безударную посадку дисков раздвижного золотника на упорные шайбы. Практики с раздвижными золотниками такого диаметра в то время еще не было.

Кроме того, для обеспечения свободного выхлопа пара и уменьшения противодействия в цилиндрах, на паровозе ФД был принят золотник по американскому типу с двусторонним выхлопом, т. е. со средней частью, представляющей собой трубу, по которой отработавший пар может свободно проходить из передней выхлопной трубы в заднюю, и наоборот. При такой конструкции золотника выпуск отработавшего в цилиндрах пара происходил одновременно через обе выхлопные трубы (переднюю и заднюю), что должно было уменьшить противодействие на нерабочую сторону поршня.

Одновременно постановкой трубы в золотнике достигалась разгрузка его дисков, что позволяло уменьшить их вес и улучшало условия их работы.

Конструкция же стандартного типа золотника Трофимова этим требованиям не отвечала, а поэтому и не могла сразу же быть принятой для постановки на паровозы ФД. Эти соображения и заставили при проектировании паровоза ФД остановиться на золотнике жесткого типа.

Но вопрос о применении раздвижных золотников для паровоза ФД

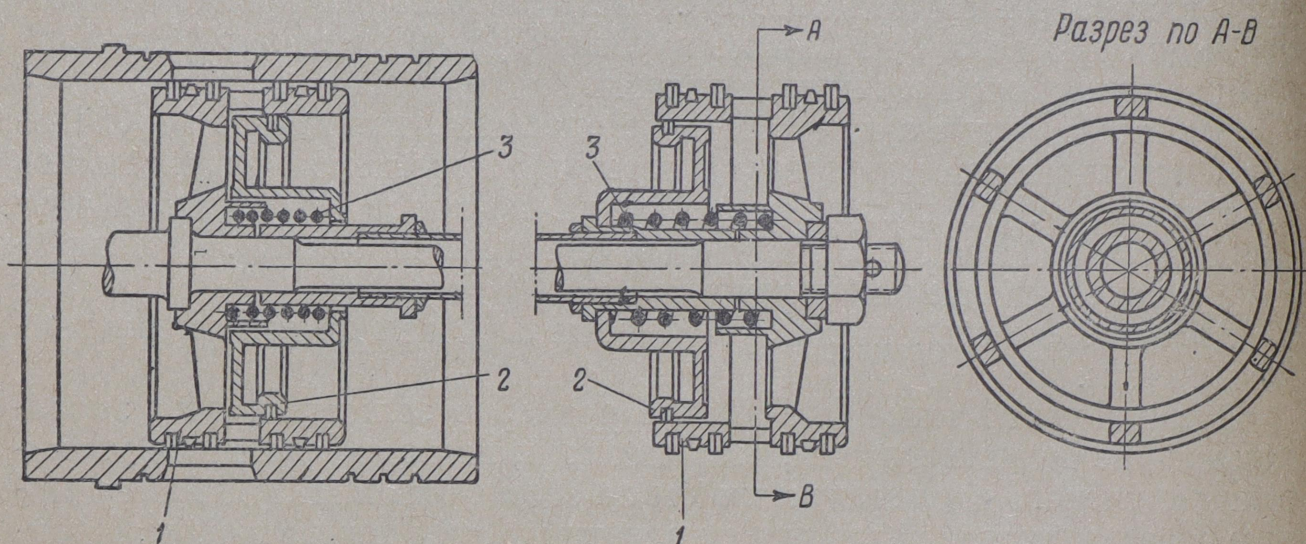


не снимался, и изобретателю И. О. Трофимову было предложено разработать конструкцию раздвижного золотника для паровоза ФД с учетом указанных выше принципов, положенных в основу проектирования золотника для паровоза ФД, т. е. было предложено спроектировать раздвижной золотник с двусторонним выхлопом.

Изобретатель т. Трофимов разработал два варианта такого раздвижного золотника, которые в виде опыта вскоре и были поставлены на паровозах ФД в депо Красный Лиман-север Северо-Донецкой ж. д.

Один из этих вариантов раздвижного золотника — пружинный, поставленный на паровозе ФД 20-4, изображен на фиг. 19.

В этом варианте золотниковые диски 1 укреплены на штоке неподвижно, а перемещаются упорные шайбы 2, которые перекрывают



Фиг. 19. Раздвижной золотник Трофимова для паровоза ФД. Первый вариант — пружинный

окно, образованное в диске. Под действием пара упорные шайбы прижимаются к диску, а при закрытии регулятора отодвигаются под действием пружины 3 и открывают окно в диске, через которое и происходит байпасирование.

Работа этого золотника оказалась неудовлетворительной, и от него очень быстро отказался и сам автор.

Пружины под действием высоких температур перегретого пара быстро садились, на притирочной поверхности дисков и упорных шайб образовывался нагар, что давало большой пропуск пара. Золотниковые диски этого золотника все время находятся в движении, отчего износ втулок и сопротивление от трения увеличиваются.

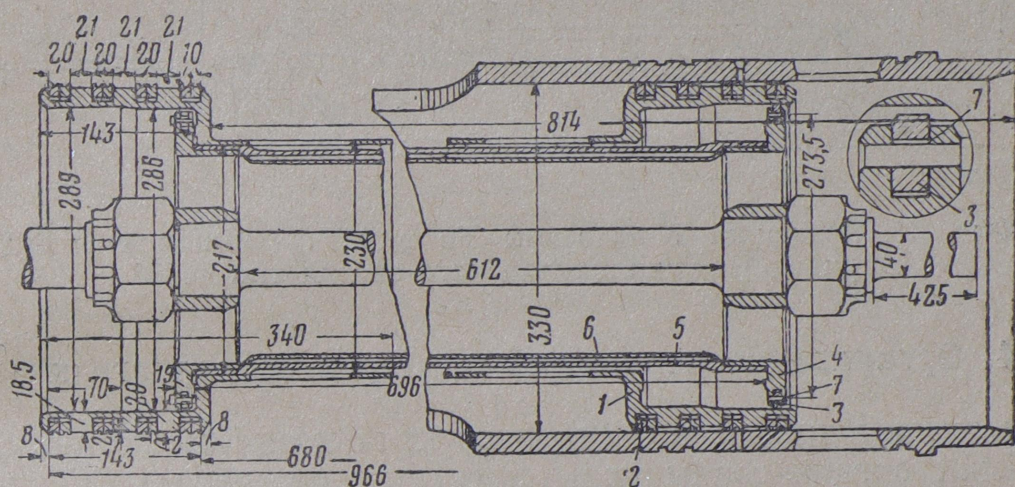
Второй вариант раздвижного золотника в разработке автора был установлен на паровозе ФД № 20-2, а затем и на паровозе серии ИС № 20-2.

Общий вид его представлен на фиг. 20. Золотник сделан с внутренней трубой 6 для двустороннего выхлопа, имеющей специальную за-



точку шириной 45 мм с обеих сторон для укрепления с упорной шайбой.

Так как оба диска раздвижного золотника стальные, то золотник снабжен контрштоком, который поддерживает его навесу и не позволяет дискам скользить по золотниковым втулкам и изнашивать их. Для смягчения ударов дисков 1 об упорные шайбы 4 и для устранения возможных пропусков пара были поставлены на упорных шайбах пружинящие кольца 3, удерживавшиеся в своих ручьях четырьмя заклепками 7. Отверстия для заклепок в кольцах больше диаметра заклепок. Поэтому кольца должны сохранять свою пружинящую способность и плотно прилегать к внутренним стенкам диска. Этот золотник в эксплуатационных условиях работы на паровозе ФД 20-2 дал



Фиг. 20. Раздвижной золотник Трофимова для паровоза ФД. Второй вариант—изобретателя

удовлетворительные результаты, что позволило НКПС внести золотники Трофимова в характеристику на постройку паровозов ФД в 1936 г.

Ворошиловградский паровозостроительный завод разработал рабочие чертежи этого золотника Трофимова для серийной постройки, причем внес в конструкцию некоторые изменения, вызванные технологией производства. Так, вместо конической посадки упорных шайб введена цилиндрическая посадка, уменьшена ширина заточки в трубе для посадки ее на упорную шайбу, введена приварка одного конца трубы к шайбе и пр.

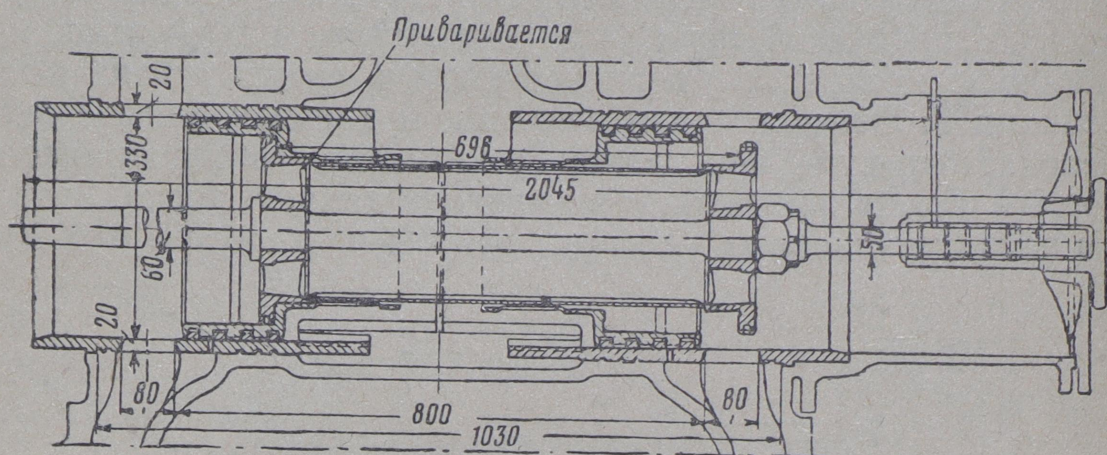
Общий вид раздвижного золотника Трофимова, разработанного Ворошиловградским паровозостроительным заводом, представлен на фиг. 21. Этот золотник в дальнейшем нами назван золотником типа 1936 г.

С такими раздвижными золотниками Трофимова Ворошиловградский паровозостроительный завод в 1936—1937 гг. выпустил 258 паровозов серии ФД.

Комплект таких золотников был установлен и на опытном паровозе ФД 20-107 для определения удельного сопротивления паровоза с тендером как машины при езде с закрытым регулятором.



Ниже, в результатах испытаний золотников Трофимова будут разобраны недостатки их, появившиеся при массовом выпуске. Здесь же только отметим, что эти недостатки конструкции были настолько существенны, что НКПС по настоянию дорог вынужден был прекратить постановку золотников Трофимова на паровозах ФД.



Фиг. 21. Раздвижной золотник Трофимова для паровоза ФД.  
Вариант Ворошиловградского завода типа 1936 г.

#### 4. Организация испытаний приборов беспарного хода

Для оценки приборов беспарного хода и выбора из них наилучшего были организованы испытания их на паровозе ФД, которые производились на опытном кольце НИИЖТ, расположенном при станции Щербинка дороги им. Ф. Э. Дзержинского.

Выше было уже отмечено, что для оценки приборов беспарного хода мы остановились на методе определения отрицательных мощностей, развиваемых в цилиндрах паровой машины паровоза ФД во время движения с закрытым регулятором при оборудовании паровоза различными приборами беспарного хода.

Определение отрицательных мощностей производилось путем индцирования процессов, происходящих в цилиндрах во время езды с закрытым регулятором на различных скоростях, с последующей обработкой индикаторных диаграмм.

Для получения сравнительных данных необходимо было произвести снятие индикаторных диаграмм при постановке различных приборов на одном и том же паровозе ФД, что давало к тому же значительное сокращение времени на производство опытов, так как приспособлять под опыты нужно было только один паровоз вместо нескольких.

Испытание перепускных приборов было произведено на паровозе ФД 20-1291, находившемся в это время на опытном кольце НИИЖТ. Снятие же индикаторных диаграмм при золотниках Трофимова было произведено на паровозе ФД 20-107 во время его скатывания при определении удельных сопротивлений как машины при закрытом регуляторе. На паровозе ФД 20-1291 золотники Трофимова установить



не удалось, так как их постановка требовала смены золотниковых втулок, ибо для золотников Трофимова золотниковые втулки должны быть большей длины.

Таким образом, на паровозе ФД 20-1291 были испытаны клапаны Рикюра, клапаны Пирина и байпасы Гендри с последовательной их установкой.

Опытные поездки организовали следующим образом. Опытный паровоз ФД 20-1291 прицепили сзади динамометрического вагона, а во главе такого поезда поставили другой, ведущий паровоз. С этим поездом производился ряд опытных поездок при наперед заданных постоянных скоростях от 10 до 80 км/час. Во время поездок на опытном паровозе ФД 20-1291 регулятор не открывали, а реверс спустили доотказа.

По сигналу с ведущего паровоза производилась съемка индикаторных диаграмм, а в динамометрическом вагоне одновременно с этим производилась запись скорости и температуры, замеряемой в паровыпускной трубе.

Во время каждой опытной поездки с постоянной скоростью производилось 10—12 наблюдений с интервалами в 2—3 мин.

Количество наблюдений вполне обеспечивало точность получаемых средних величин, характеризующих заданную поездку.

## ГЛАВА VI

# РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ ПРИБОРОВ БЕСПАРНОГО ХОДА НА ПАРОВОЗЕ ФД

## 1. Клапаны Рикюра

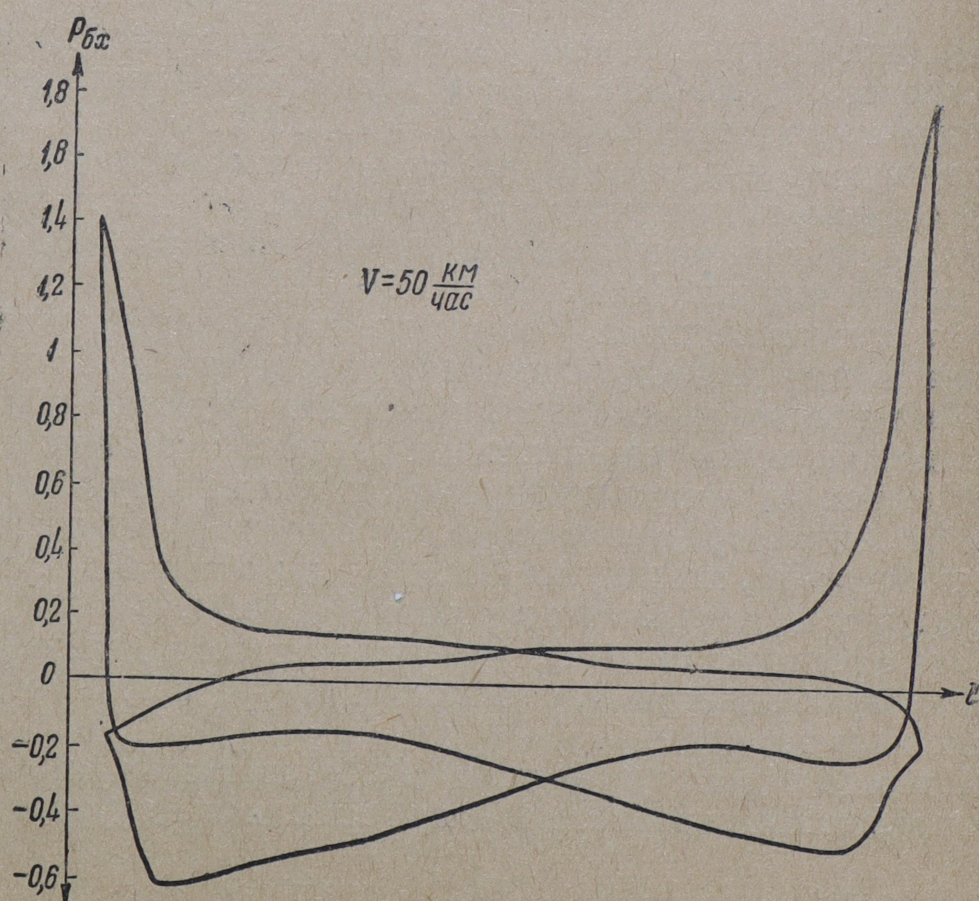
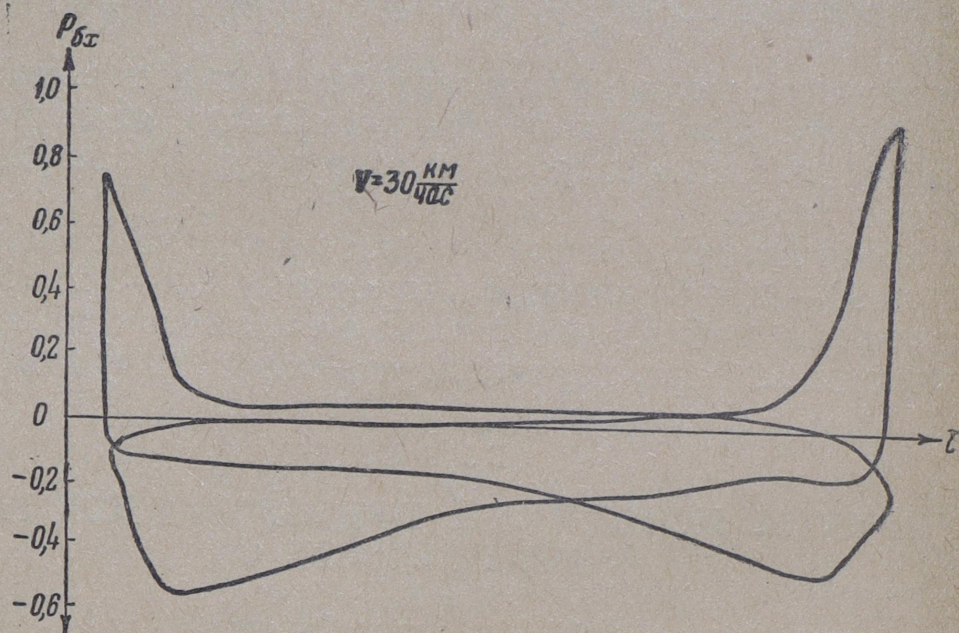
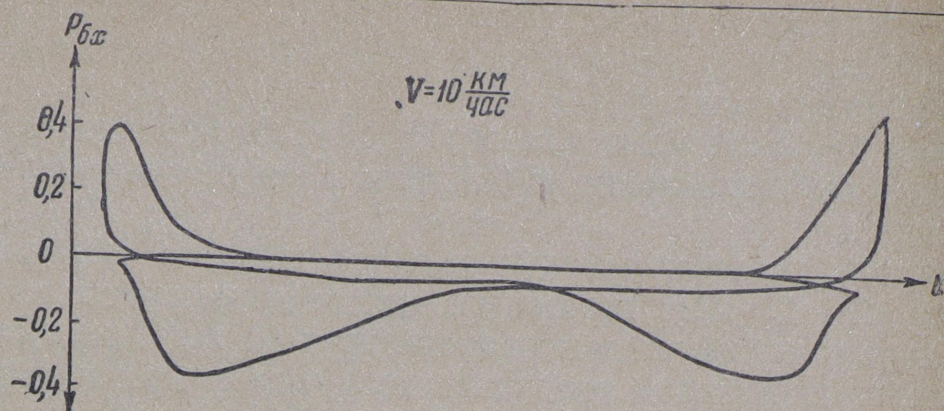
На фиг. 22 представлены образцы индикаторных диаграмм, снятые на паровозе ФД 20-1291, оборудованном клапанами Рикюра, во время беспарного хода при скоростях  $V = 10, 30, 50$  и  $70$  км/час, по которым можно судить о процессе, происходящем в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при клапанах Рикюра. Эти же индикаторные диаграммы дают представление и о величинах разрежений и сжатий в цилиндрах при клапанах Рикюра.

Следует оговориться, что снятие индикаторных диаграмм производилось при индикаторных пружинах различных жесткостей (масштабов) для каждой скорости. Масштабы пружин подбирались на основе предыдущей поездки с таким расчетом, чтобы использовать полный подъем карандаша индикатора и всю ширину индикаторной ленты. Наглядное сравнение индикаторных диаграмм разных масштабов очень неудобно, поэтому на фиг. 22 даны образцы индикаторных диаграмм, уже перестроенных в едином масштабе.

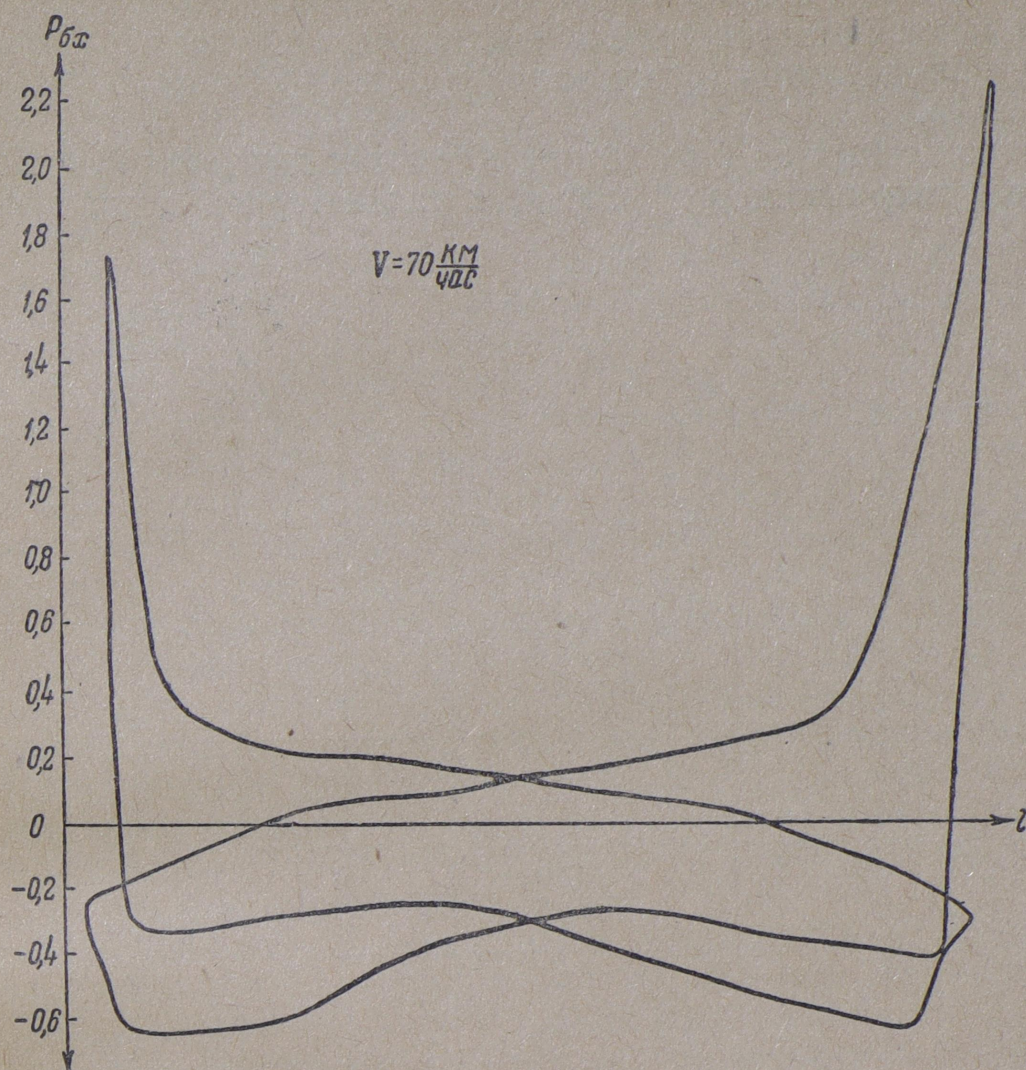
Это замечание относится и к приводимым в дальнейшем образцам индикаторных диаграмм, снятых при оборудовании паровоза другими приборами хода.

Из рассмотрения приведенных образцов индикаторных диаграмм беспарного хода паровоза ФД при клапанах Рикюра и сравнения их









Фиг. 22. Индикаторные диаграммы беспарного хода паровоза  
ФД при клапанах Рикюра

с теоретически возможной индикаторной диаграммой беспарного хода, представленной на фиг. 11, следует, что клапаны Рикюра оказывают некоторое влияние на величины разрежений в цилиндрах только лишь на участке, соответствующем открытию окон в момент впуска пара при нормальной работе паровоза, причем на малых скоростях это сказывается заметнее, чем на больших.

В момент впуска разрежение несколько падает, заметно увеличиваясь после закрытия окон золотника.

Из этих диаграмм также следует, что наибольшая часть отрицательной работы машины паровоза происходит во время засасывания воздуха, что является следствием больших сопротивлений в клапанах.

Площадь живого сечения клапана Рикюра равна

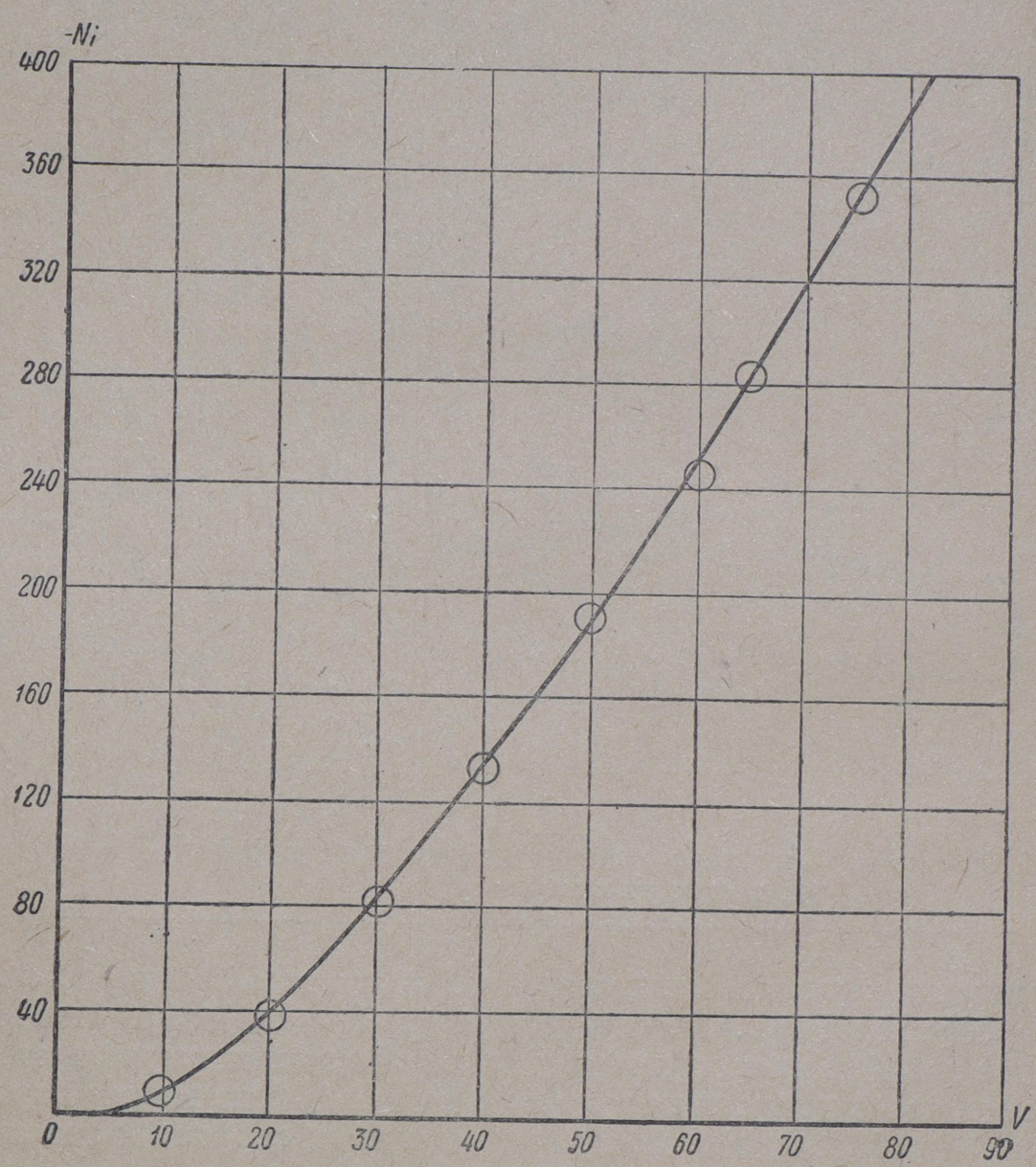
$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 7,5^2}{4} = 44 \text{ см}^2,$$

что составляет около 1,25% от площади поршня, а максимальная площадь открытия окна золотника при отсечке  $\epsilon = 0,6$  равна 355 см<sup>2</sup>.



Ясно, что при таких размерах клапана Рикюра подача воздуха через клапан не обеспечивает полного заполнения им цилиндра для уравнивания давления в нем с атмосферным, вследствие чего и будет образовываться понижение давления (разрежение) в цилиндре, порождающее тормозящие силы.

Анализ приведенных на фиг. 22 индикаторных диаграмм показывает, что для уменьшения всей площади индикаторной диаграммы



Фиг. 23. Отрицательная мощность в зависимости от скорости, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при клапанах Рикюра

на беспарном ходу необходимо по возможности увеличить фазу, соответствующую впуску при езде с паром, так как при этом площадь и время открытия золотникового окна увеличиваются, а следовательно, увеличивается подсос воздуха через клапан Рикюра, что уменьшает сопротивление всасыванию. Кроме того, при этом будет уменьшаться и сжатие, ибо наибольшему впуску, как известно, соответствует наи-



меньшее сжатие, что также уменьшит площадь индикаторной диаграммы.

Таким образом, выявляется, что при езде с закрытым регулятором при клапанах Рикюра и им подобных необходимо спускать реверс до упора, с тем чтобы получить максимально возможные открытия золотниковых окон.

Вместе с тем такая езда неблагоприятно отражается на парораспределительном механизме, так как при наибольшей отсечке имеем наибольший размах золотника, что способствует появлению больших инерционных усилий, ускоряющих износ шарниров механизма.

Из представленных на фиг. 22 диаграмм также видно, что давление в конце сжатия достигает довольно значительной величины (2 ат при  $V=70$  км/час). Это влечет за собой ударное нагружение в пальцах и валике кулака и как следствие преждевременный износ плавающих втулок и расстройство всего движущего механизма. При всех прочих равных условиях ударное нагружение будет увеличиваться по мере увеличения зазоров между пальцами и втулками.

Величины разрежений в цилиндрах паровоза, достигающие 0,7—0,65 ат в моменты, соответствующие предварению выпуска при работе паровоза с паром, дают возможность образования подсосов газов из дымовой коробки в цилиндр. Вместе с газами возможно попадание мелких частиц уноса, что способствует образованию задиров и преждевременному износу втулок и нарушает нормальную работу поршневых и золотниковых колец.

Планиметрирование всех индикаторных диаграмм, снятых во время опытных поездок, позволило определить среднее индикаторное давление в цилиндрах на беспарном ходу ( $p_i$ ) б.х при различных скоростях, а затем и отрицательную мощность— $N_i$  по методу, изложенному на стр. 36.

Величины отрицательных мощностей в зависимости от скорости при клапанах Рикюра на паровозе ФД даны на фиг. 23. Как видно из этой фигуры, отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД при клапанах Рикюра, быстро возрастает с увеличением скорости, достигая, например, при скорости  $V=80$  км/час довольно значительной величины 385 ЛС.

Отрицательная мощность равна

$$-N_i = -\frac{F_i V}{270}.$$

Отсюда получаем величину тормозящего усилия, развиваемого в цилиндрах:

$$-F_i = \frac{270 \cdot N_i}{V}$$

или

$$w_i' = -f_i = -\frac{F_i}{P} = -\frac{270 \cdot N_i}{VP}, \quad (21)$$

где  $w_i'$  — величина удельного тормозящего усилия, развиваемого в цилиндрах.



Подставляя цифры при  $V = 80 \text{ км/час}$ , получаем

$$w'_i = -f_i = \frac{270 \cdot 325}{80 \cdot 234} \approx 5,6 \text{ кг/м.}$$

Относя же всю тормозящую силу к весу всего поезда, например  $Q = 2000 \text{ т}$ , будем иметь

$$b'_T = \frac{F_i}{P+Q} = \frac{270 Ni}{(P+Q)} = \frac{270 \cdot 385}{80 \cdot (234 + 2000)} = \frac{1\,290}{2\,234} = 0,58 \text{ кг/т,}$$

где  $P$  — расчетный вес паровоза ФД, равный  $234 \text{ т}$ .

Таким образом, поезд, следующий при закрытом регуляторе на паровозе ФД, будет терять свою скорость не только под действием основного сопротивления, но и под действием тормозящей силы, появляющейся в цилиндрах.

В величину  $w'_i$  не вошло влияние сопротивления как движущего, так и парораспределительного механизмов, что в конечном счете еще более увеличит тормозящую силу поезда.

Следовательно, при оборудовании паровоза ФД клапанами Рикюра во время движения с поездом при закрытии регулятора будем иметь состав, набегающий на паровоз.

Одним из значительных недостатков клапанов Рикюра на паровозе ФД надо считать их прерывистое действие, т. е. действие только во время открытия золотниковых окон на «впуск», что, конечно, сильно увеличивает площадь индикаторной диаграммы, характеризующей отрицательную работу.

В момент отсечки полость цилиндра отъединяется от золотниковой коробки и парорабочей трубы, на которой стоит клапан Рикюра, и, следовательно, доступ атмосферного воздуха в цилиндр прекращается.

Для устранения этого явления следовало бы поставить не один клапан на паровпускной трубе, а по одному клапану на каждую крышку цилиндров машины паровоза.

Во время сжатия воздуха в цилиндрах паровой машины температура его повышается, причем в зависимости от степени сжатия она достигает такой величины, что может начаться возгонка смазки, непрерывно поступающей как в золотниковую коробку, так и в цилиндр, и при езде без пара.

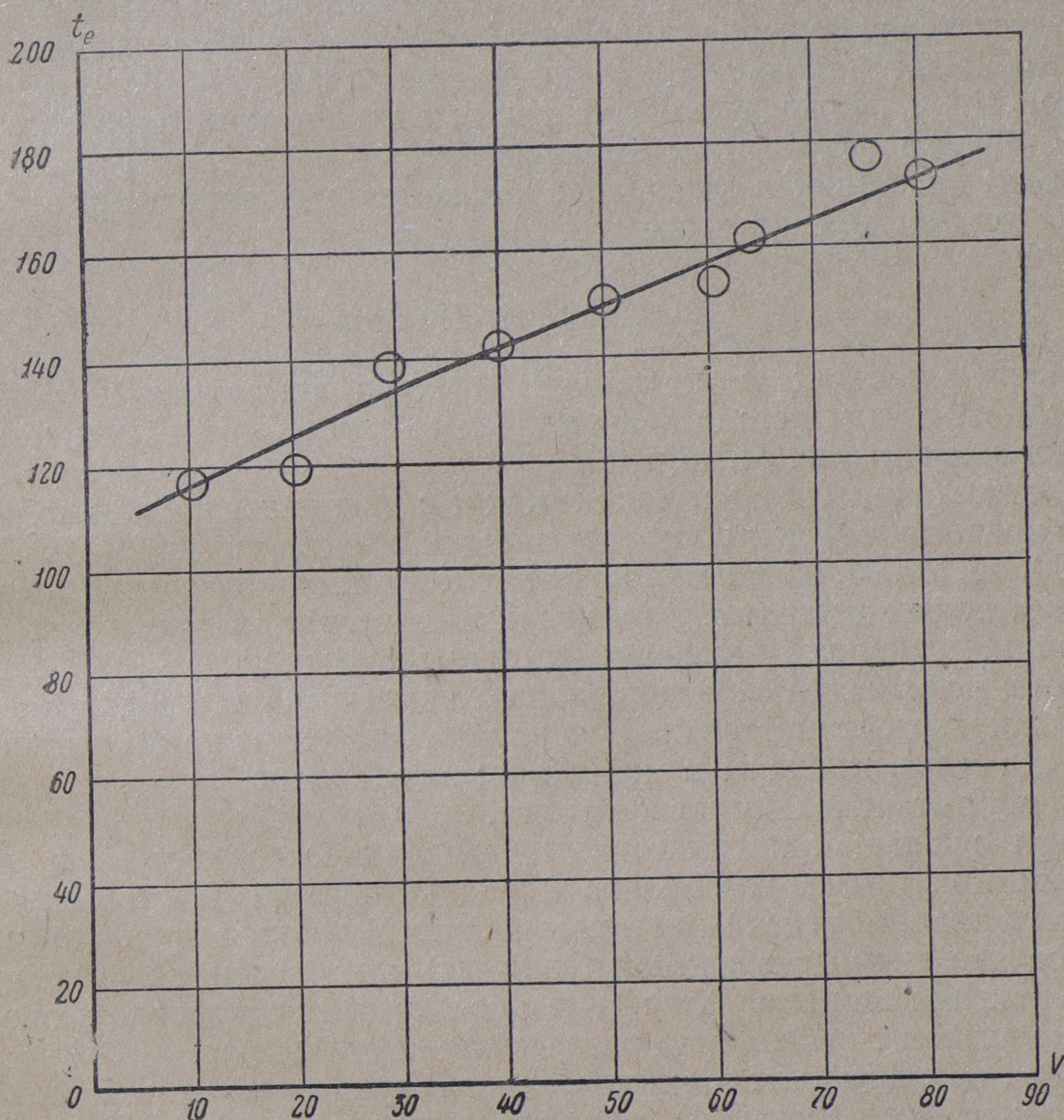
При этом на золотниковых и цилиндрических втулках, а также на золотниковых и поршневых кольцах может образоваться нагар, способствующий более быстрому износу их, а иногда и служащий причиной поломки колец.

Для определения вероятности образования нагара, т. е. возгонки смазки, следовало бы знать истинную температуру в цилиндрах в момент сжатия. По причинам технического характера нам не удалось измерить температуру в цилиндрах, и мы ограничились измерением температур в паровыхлопной трубе непосредственно вблизи паровыхлопных окон. Хотя измерение температуры в паровыхлопной тру-



бе и не дает представления об абсолютных величинах температур, получаемых во время сжатия, все же для относительного суждения знание этих температур представляет известный интерес.

На фиг. 24 представлено изменение температуры в выхлопной трубе, получаемой при оборудовании паровоза клапанами Рикюра в зависимости от скорости.



Фиг. 24. Изменение температуры в выхлопной трубе паровоза ФД (через 10 мин. после закрытия регулятора) в зависимости от скорости при клапанах Рикюра

Следует отметить, что все точки, нанесенные на планшете фиг. 24, представляют собой величины температур, измеренные через 10 мин. от начала опыта, т. е. через 10 мин. езды с закрытым регулятором. Это обстоятельство очень важно оговорить, так как с увеличением времени езды с закрытым регулятором температуры в выхлопной трубе повышаются. Для идентичности условий при сравнении температур нами были взяты только температуры, получавшиеся после 10-минутной езды при закрытом регуляторе. Это условие соблюдалось также



и при всех других клапанах беспарного хода, подвергавшихся испытанию.

Из фиг. 24 следует, что с увеличением скорости температура в выпускной трубе возрастает, а значит, возрастает и температура сжатия.

А так как езда с закрытым регулятором применяется главным образом по спускам, когда паровоз и без пара вместе с поездом развивает достаточно большие скорости, то вероятность образования нагара при клапанах Рикюра во время длительного следования без пара имеет место, что и наблюдается в условиях эксплуатации паровозов ФД.

К другим недостаткам клапана Рикюра следует отнести частую поломку хвостовиков клапана, а также пропуски пара при недостаточно тщательной притирке его.

## 2. Клапаны Пирина

После поездок с клапанами Рикюра на опытном паровозе ФД 20-1291 были установлены клапаны Пирина, общий вид которых представлен на фиг. 14, 15 и 16.

С клапанами Пирина, так же как и с другими приборами беспарного хода, произведены опытные поездки со скоростями 10, 20, 30, 40, 50, 60, 65, 70, 75, 85 км/час, во время которых производилась съемка индикаторных диаграмм. Образцы индикаторных диаграмм беспарного хода при клапанах Пирина представлены на фиг. 25.

Из рассмотрения образцов индикаторных диаграмм видно, что наибольшая часть отрицательной работы происходит во время всасывания воздуха через клапаны в цилиндр и значительно меньшая часть — во время выталкивания и сжатия его.

При сравнении индикаторных диаграмм беспарного хода, полученных при клапанах Пирина, с индикаторными диаграммами беспарного хода, полученными при клапанах Рикюра, видно, что в первом случае линия разрежения (вакуума) идет почти горизонтально, мало изменяя своей характер даже с увеличением скоростей, в то время как во втором случае линия разрежения круто падает.

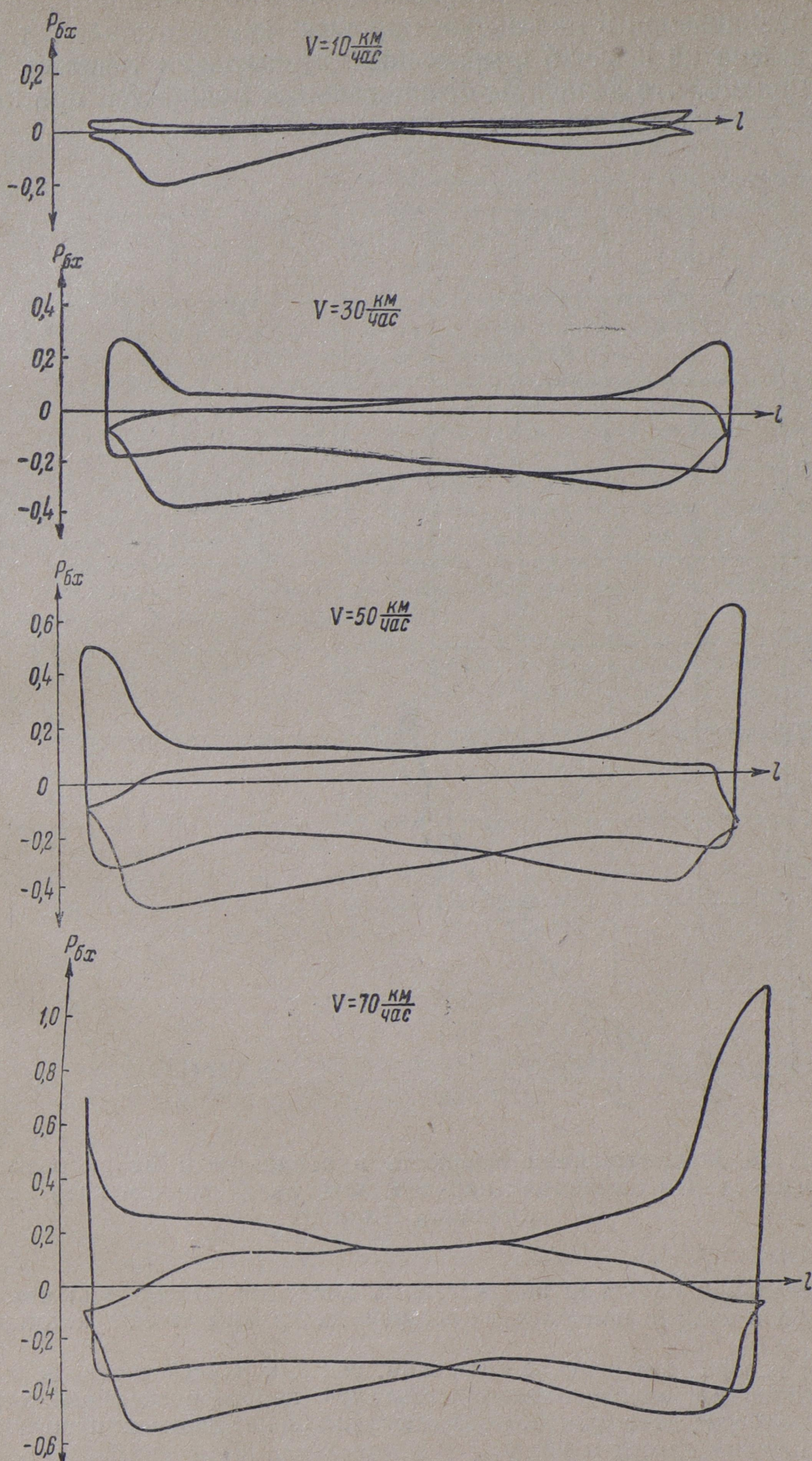
Обе эти диаграммы показывают, что отрицательная работа происходит главным образом за счет большого сопротивления при всасывании. Площади же клапанов настолько малы, что не обеспечивают большую подачу воздуха через них.

Правда, при клапанах Пирина подсос воздуха больше, чем при клапанах Рикюра, что и видно на индикаторной диаграмме (менее крутое увеличение разрежения), но все же сопротивления подсосу воздуха через клапаны еще велики несмотря на то, что живое сечение в клапане Пирина больше такового в клапане Рикюра в

$$\frac{d_n^2}{d_p^2} = \frac{10^2}{7,5^2} = 1,8 \text{ раза,}$$

где  $d_n = 100 \text{ мм}$  — диаметр клапана Пирина;  
 $d_p = 75 \text{ мм}$  — диаметр клапана Рикюра.

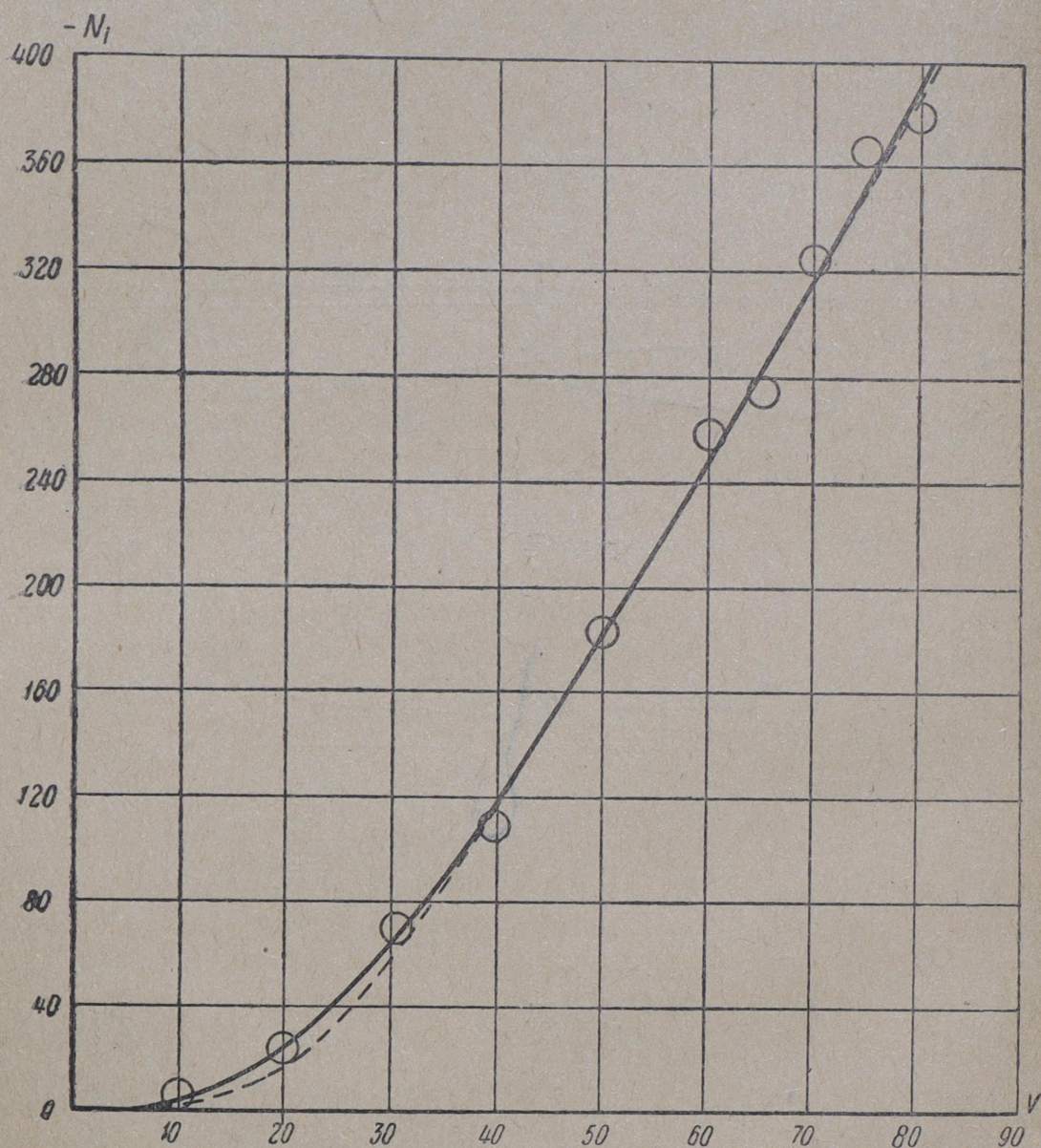




Фиг. 25. Индикаторные диаграммы беспарного хода паровоза ФД при клапанах Пирина



Подсчитанная по индикаторным диаграммам отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД при клапанах Пирина, представлена на фиг. 26 с нанесенными опытными точками. Из этой фигуры видно, что величины отрицательных мощностей при клапанах Пирина так же велики, как и при клапанах Риккура.



Фиг. 26. Отрицательная мощность в зависимости от скорости, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при клапанах Пирина

При детальном изучении индикаторных диаграмм выяснилось, что снятые на передней и задней полостях цилиндров диаграммы имеют неодинаковые площади.

Вообще говоря, это явление возможно, так как разные площади индикаторных диаграмм обуславливаются тем, что парораспределение паровоза на шестом зубе не дает одинакового открытия золотниковых паровых окон при ходе поршня вперед и назад.

Так, например, при снятии эллиптических диаграмм на паровозе ФД 20-107 обнаружены следующие величины наибольших открытий золотниковых окон на шестом зубе.



## Величина наибольших открытий окон в мм

Зуб	Правый цилиндр			Левый цилиндр			Средняя для обеих полостей
	задняя полость	передняя полость	средняя полость	задняя полость	передняя полость	средняя полость	
6	46,75	36,0	41,4	46,5	33,5	40,0	40,7

Отсюда ясно, что при езде с закрытым регулятором при любых клапанах беспарного хода невозможно получить совершенно одинаковые диаграммы беспарного хода для передней и задней полостей цилиндров.

Однако при рассмотрении индикаторных диаграмм беспарного хода при клапанах Пирина было установлено, что разность площадей диаграмм по полостям значительно больше, чем у индикаторных диаграмм беспарного хода, снятых при клапанах Рикюра.

Следовательно, на равномерность работы цилиндров машины паровоза кроме неодинакового открытия золотниковых окон оказала влияние еще какая-то причина. Эта причина была вскоре обнаружена во время опытных поездок при наблюдении за работой клапанов. Оказалось, что клапан передней полости работал с некоторыми перебоями, что и давало увеличение индикаторных диаграмм передней полости.

Чтобы избежать ошибки в подсчетах величин отрицательной работы и не дать завышенное ее значение, нами сделано «приведение» отрицательной мощности при клапанах Пирина к условиям отрицательной мощности при клапанах Рикюра.

Считая, что неравномерность площадей индикаторной диаграммы обязательно будет иметь место вследствие неодинакового открытия окон золотников, и принимая эту неравномерность за единицу при клапанах Рикюра, так как клапан Рикюра один обслуживает обе полости цилиндров и в одинаковой степени влияет на площади индикаторных диаграмм этих полостей, приведем разности в площадях индикаторной диаграммы передней и задней полостей при клапанах Пирина к условиям работы машины при клапанах Рикюра.

В самом деле, отрицательная площадь, развиваемая в цилиндрах паровой машины на беспарном ходу, равна

$$N_i = \frac{F_i V}{270},$$

где  $N_i$  — отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах машины;

$F_i$  — отрицательная цилиндровая сила тяги;

$V$  — скорость паровоза.

Но

$$F_i = \xi M,$$

где  $M$  — модуль силы тяги паровоза, а

$\xi$  — средней коэффициент индикаторного давления, который вычисляется каждый раз как

$$\xi = \frac{P_{im}}{15},$$

где  $P_{im}$  — среднее индикаторное давление в цилиндрах, определяемое как полусумма индикаторных давлений на беспарном ходу в передней и задней полостях цилиндров, т. е.

$$P_{im} = \frac{P_{iz.n} + P_{in.n}}{2},$$



где  $p_{i3.n}$  — индикаторное давление в задней полости цилиндра на беспарном ходу, а

$p_{in.n}$  — индикаторное давление в передней полости цилиндра.

Обозначая со значком (') величины, относящиеся к работе паровоза с клапанами Пирина при исправном действии обоих клапанов, а со значком (") величины, относящиеся к данным о работе паровоза с клапанами Пирина, полученным во время испытаний при некоторой неправильности в работе клапана, стоящего на передней полости цилиндра, будем иметь среднее индикаторное давление в цилиндре машины при клапанах Пирина в первом случае равным

$$p'_{im} = \frac{p'_{i3.n} + p'_{in.n}}{2}.$$

Обозначая отношение индикаторных давлений передней и задней полостей через

$$\beta' = \frac{p'_{in.n}}{p'_{i3.n}},$$

будем иметь

$$p'_{in.n} = \beta' \cdot p'_{i3.n};$$

тогда

$$p'_{im} = \frac{\beta' p'_{i3.n} + p'_{i3.n}}{2} = \frac{p'_{i3.n} (1 + \beta')}{2}. \quad (22)$$

Очевидно, что при клапанах Пирина во втором случае будем иметь соответственно

$$p''_{im} = \frac{p''_{i3.n} (1 + \beta'')}{2}. \quad (23)$$

Деля выражение (22) на (23), получаем

$$\frac{p'_{im}}{p''_{im}} = \frac{p'_{i3.n} (1 + \beta')}{p''_{i3.n} (1 + \beta'')}.$$

А так как величина индикаторного давления в задней полости при правильно работающем клапане останется одинаковой как при исправном, так и при неисправном действии клапана передней полости, то

$$p'_{i3.n} = p''_{i3.n}$$

и тогда

$$\frac{p'_{im}}{p''_{im}} = \frac{1 + \beta'}{1 + \beta''},$$

откуда

$$p'_{im} = p''_{im} \left( \frac{1 + \beta'}{1 + \beta''} \right) = \alpha p''_{im},$$

где

$$\alpha = \frac{1 + \beta'}{1 + \beta''}.$$

Следовательно, среднее индикаторное давление в цилиндре машины паровоза на беспарном ходу при правильно работающих клапанах Пирина равно среднему индикаторному давлению, полученному на опытах, умноженному на коэффициент  $\alpha$ . Коэффициент  $\alpha$  легко определить, памятуя, что мы хотим все привести к условиям работы при клапанах Рикюра.



Так как при нормальной работе клапанов Пирина отношение между индикаторными давлениями обеих полостей цилиндра должно быть таковым же, как при клапанах Рикюра, то коэффициент

$$\beta' = \left[ \frac{p_{i.n.n}}{p_{i.z.n}} \right]_{Рик}$$

Его легко определить по индикаторным диаграммам беспарного хода снятым при клапанах Рикюра.

Коэффициент  $\beta''$  равен

$$\beta'' = \left[ \frac{p''_{i.n.n}}{p''_{i.z.n}} \right]_{Пир'}$$

что опять-таки легко определить по индикаторным диаграммам, снятым на беспарном ходу при клапанах Пирина в таком виде, как это имело место в действительности.

Зная коэффициенты  $\beta'$  и  $\beta''$ , легко вычислить коэффициент

$$\alpha = \frac{1 + \beta'}{1 + \beta''},$$

а затем внести поправку к вычисленной ранее кривой отрицательной мощности при клапанах Пирина, ибо отрицательная мощность при исправно действующих клапанах Пирина будет также равна

$$N'_i = \alpha N''_i,$$

где  $N'_i$  — отрицательная мощность при исправно действующих клапанах, а

$N''_i$  — отрицательная мощность, подсчитанная по снятым во время опытов индикаторным диаграммам.

Вычисленное таким способом новое значение отрицательной мощности при различных скоростях движения паровоза на фиг. 26 нанесено пунктиром.

Как видно из фиг. 26, поправка отрицательной мощности очень невелика, и практически можно считать, что отрицательная работа в цилиндрах, полученная на опытах при клапанах Пирина, достаточно точно характеризует клапаны беспарного хода Пирина. Но определить поправку было необходимо, чтобы не создать ложного представления о проведенных испытаниях.

Таким образом, результаты опытов дают основание утверждать, что клапаны беспарного хода Пирина в данном конструктивном оформлении не разрешают вопрос об уменьшении отрицательной работы паровоза на беспарном ходу.

Надо полагать, что трубка, соединяющая камеру над поршнем-клапаном с золотниковой камерой, имеет недостаточное сечение, вследствие чего в камере над поршнем-клапаном давление понижается не в должной степени, а поршень-клапан не может подняться на полную высоту и тем самым сечение для прохода атмосферного воздуха в цилиндр сужается, а сопротивление и вакуум в цилиндре увеличиваются.

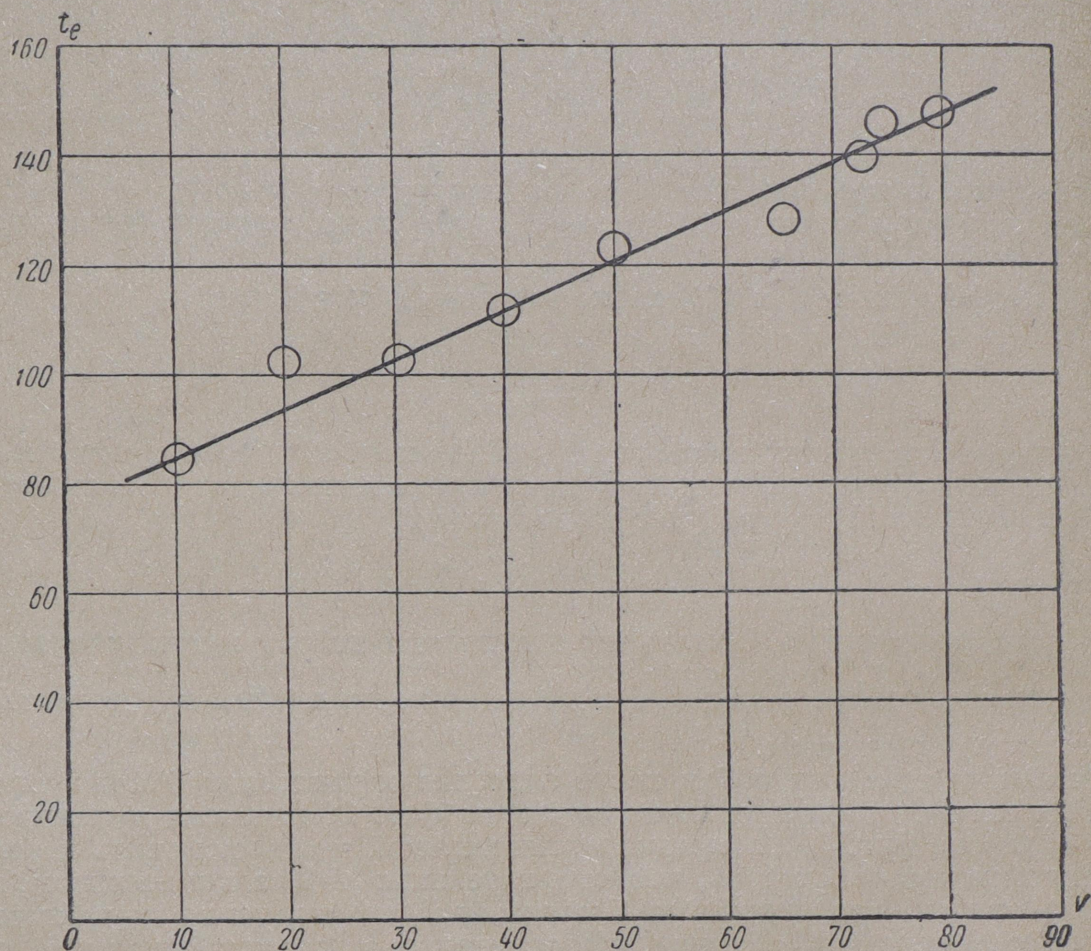
Следует отметить относительно низкие температуры, измеренные в выхлопной трубе и представленные на фиг. 27, что указывает на лучшее вентилирование цилиндров, чем при других клапанах беспарного хода. Однако сильное понижение температуры, в особенности зимой, может повлечь за собой трещины в цилиндрах.



### 3. Байпасы Гендри

Так как опытный паровоз ФД 20-1291 не имел байпасов Гендри, то последние пришлось снять с паровоза ФД 20-678 депо Люблино и поставить на опытный паровоз ФД 20-1291 для производства сравнительных испытаний.

На фиг. 28 представлены образцы индикаторных диаграмм беспарного хода паровоза ФД, оборудованного байпасами Гендри.



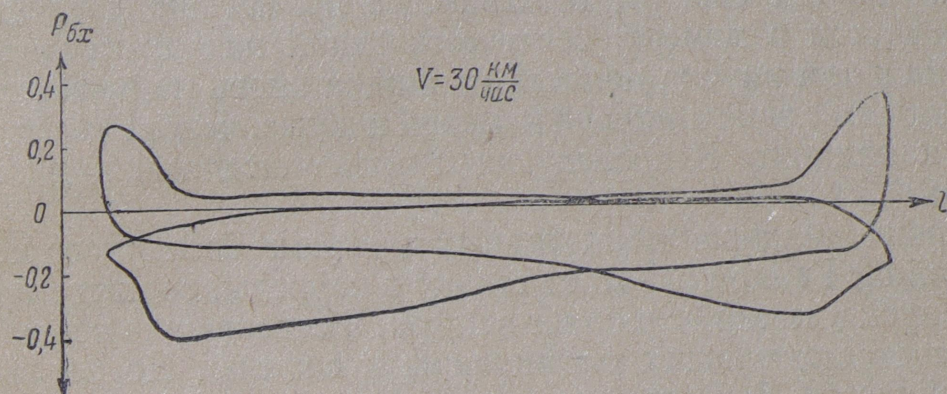
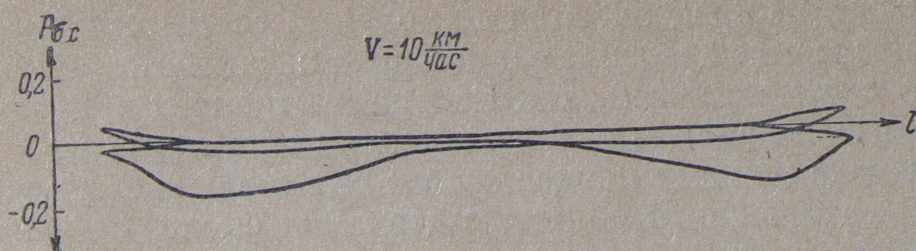
Фиг. 27. Изменение температуры в выхлопной трубе паровоза ФД (через 10 мин. после закрытия регулятора) в зависимости от скорости при клапанах Пирина

Из рассмотрения этих образцов индикаторных диаграмм следует, что байпасы Гендри, так же как и клапаны Риккура, действуют прерывисто.

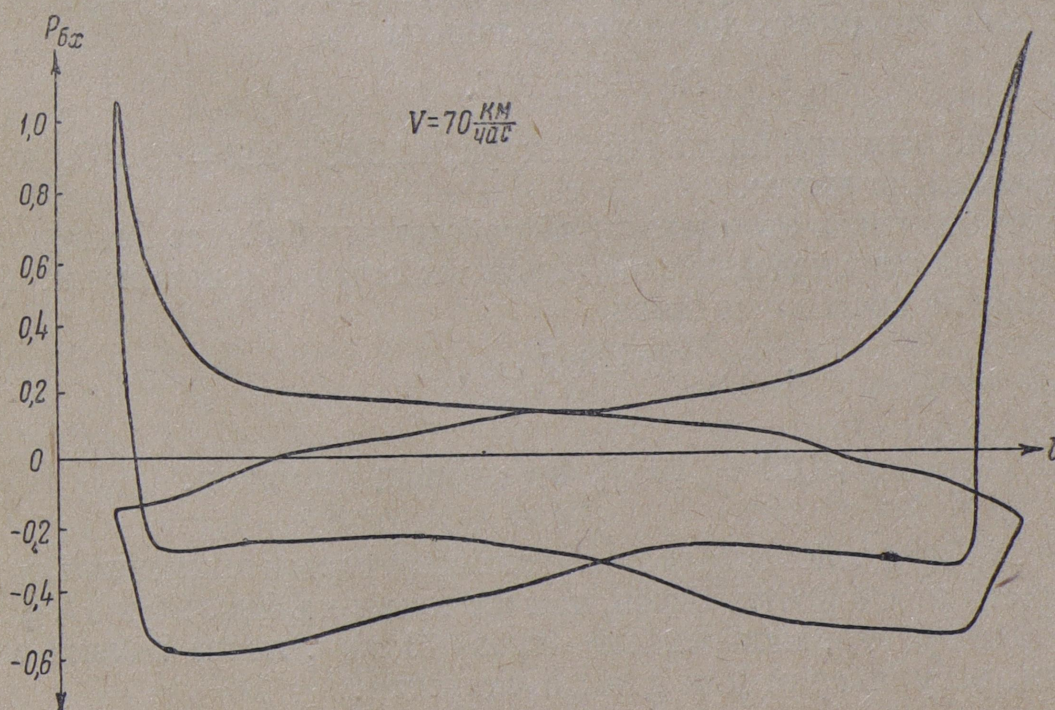
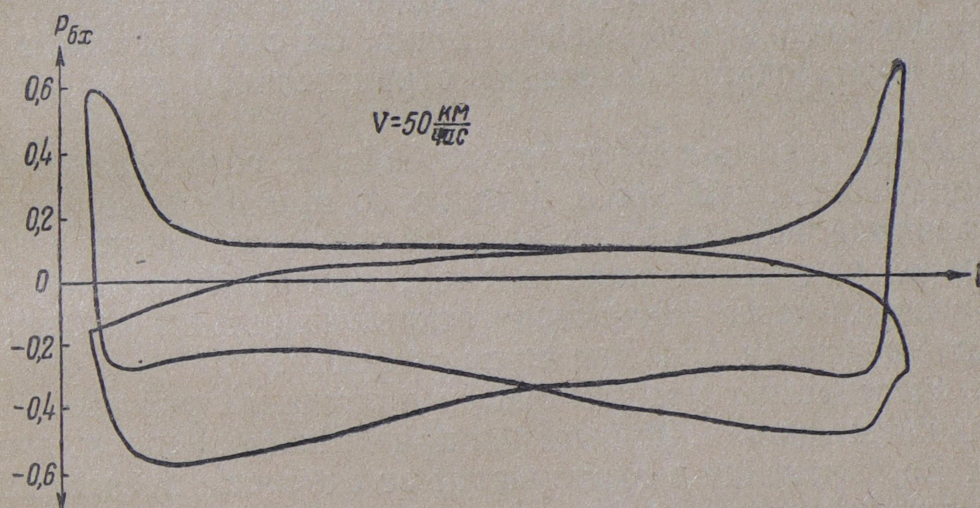
Действительно, из индикаторных диаграмм беспарного хода видно, что в начале хода поршня, в момент, соответствующий наполнению при езде с паром, в рассматриваемой полости цилиндра происходит разрежение, под действием которого клапан байпаса перемещается в сторону крышки и восстанавливает сообщение между обеими полостями. В этот период — момент всасывания — воздух в цилиндр попадает из золотниковой коробки, куда он засасывается из выхлопных клапанов.

В момент, соответствующий началу расширения, золотник разобщает полость цилиндра от золотниковой коробки, а при дальнейшем





Фиг. 28.  
Индикатор-  
ные  
диаграммы  
беспарного  
хода  
паровоза  
ФД при  
байпасах  
Гендри





движении поршня происходит разрежение заключенного в цилиндре воздуха. Это разрежение продолжается до момента, соответствующего началу выпуска, после чего давление в цилиндрах начинает подниматься, выравниваясь с атмосферным, так как рассматриваемая полость цилиндра в это время соединяется с конусом через выпускные каналы.

При обратном ходе поршня продолжается выталкивание воздуха. При выталкивании давление в цилиндре держится около атмосферного. Затем начинается сжатие, вызывающее повышение давления, которое прекращается в момент, соответствующий началу предварения впуска. С началом впуска полость цилиндра вновь получает возможность сообщаться с золотниковой камерой и далее, через байпас, — с выпускными каналами. В последующем вышеописанный цикл повторяется вновь.

Из приведенного анализа индикаторных диаграмм беспарного хода вытекает, что байпас Гендри работает только в периоды, соответствующие периодам впуска, когда ослабляет вакуум, и совершенно не участвует в фазах, соответствующих расширению и сжатию. Но ослабление вакуума байпасами Гендри, как это видно из индикаторных диаграмм беспарного хода, все же недостаточно. За счет вакуума главным образом и происходит образование отрицательной работы в цилиндрах.

Таким образом, прерывистое действие байпаса способствует увеличению отрицательной работы в цилиндрах при беспарном ходе. Кроме того, влияние байпаса очень мало сказывается при начальном открытии и перед закрытием окон, так как при прохождении байпасируемого воздуха через узкие щели открывающихся и закрывающихся окон наблюдаются большие сопротивления.

Это также способствует увеличению отрицательной работы.

Отрицательная мощность, получаемая при байпасах Гендри, достаточно велика. Ее изменение в зависимости от скорости представлено на фиг. 29, из которой видно, что, например, при скорости  $V = 80$  км/час отрицательная мощность достигает величины

$$N_i = 332 \text{ ЛС.}$$

Это меньше, чем при клапанах Риккура, на  $385 - 332 = 53$  ЛС, но все же еще достаточно много.

Большие значения отрицательной работы при байпасе Гендри следует отнести за счет недостаточно развитых сечений каналов их. Так, площадь канала составляет всего

$$5,5 \times 100 = 55 \text{ см}^2,$$

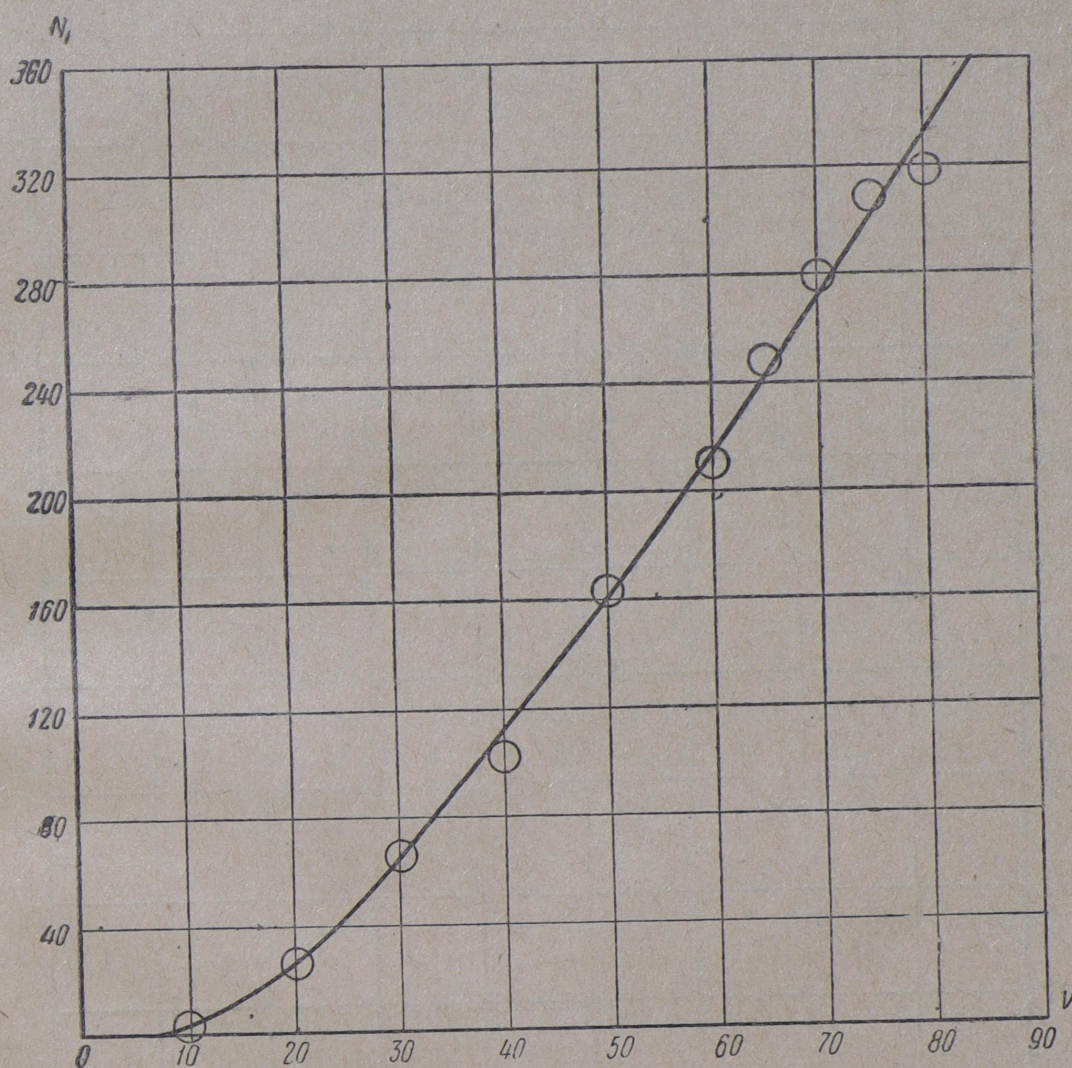
т. е.

$$\frac{55}{3052,5} \cdot 100 = 1,53\% \text{ от площади поршня.}$$

На фиг. 30 представлено изменение температуры в выхлопной трубе в зависимости от скорости. Здесь, так же как и на фиг. 24 и 27, даны значения температур, измеренные через 10 мин. после начала езды с закрытым регулятором при данной скорости.



Из фиг. 30 видно, что температуры в выхлопной трубе при байпасах Гендри быстро повышаются с увеличением скорости, достигая почти  $190^{\circ}$  при скорости  $V = 80-85$  км/час. Очевидно, что температура в моменты сжатия будет еще выше, что может способствовать образованию нагара. В действительности при байпасах Гендри в эксплуатационных условиях наблюдается образование нагара в цилиндрах и золотниках несколько в большей степени, чем при клапанах Рикюра.



Фиг. 29. Отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу, в зависимости от скорости при байпасах Гендри

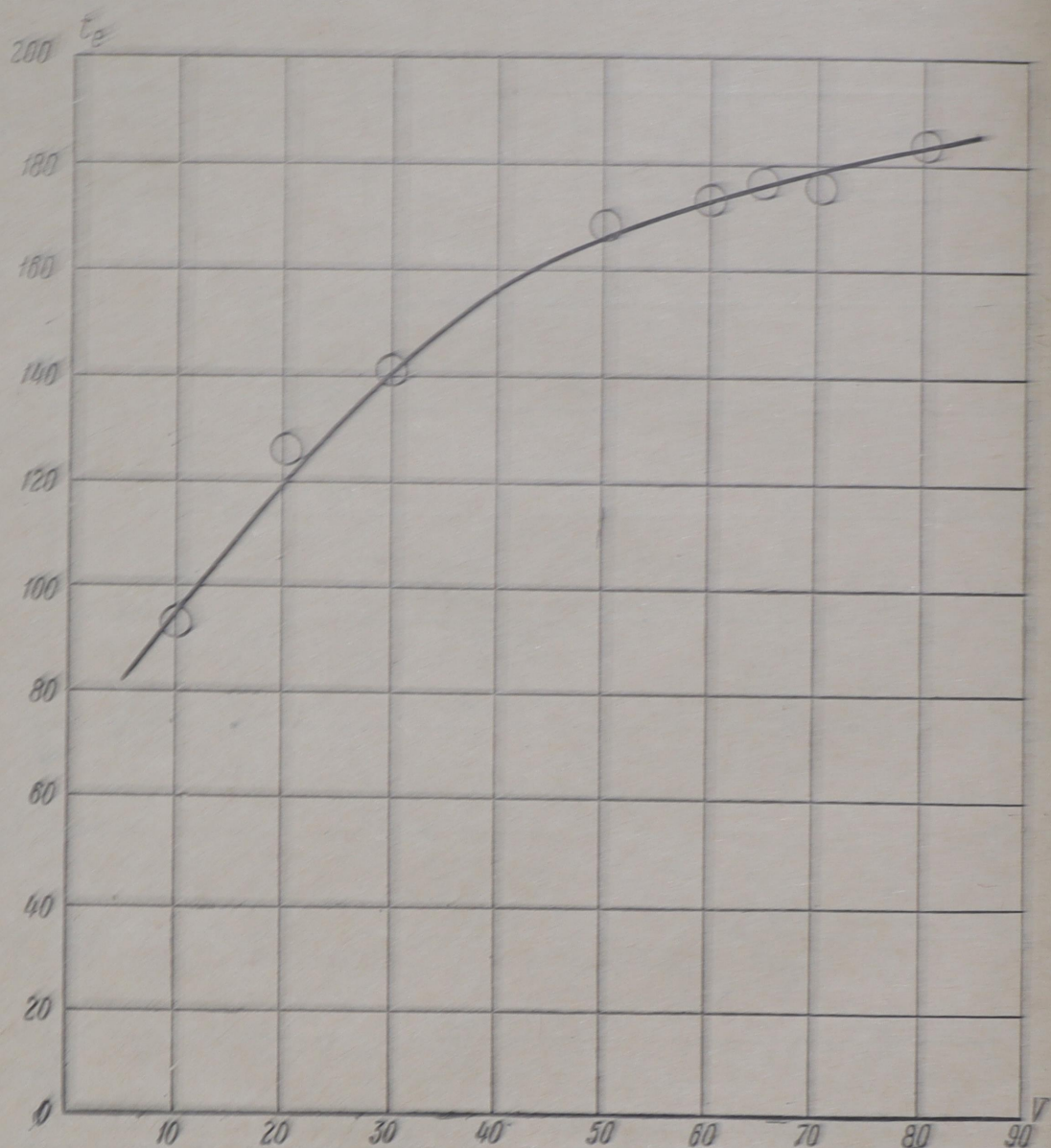
Поэтому депо Курган Южно-Уральской ж. д., где работает паровоз ФД 20-616 с байпасами Гендри, и депо Люблино, где работает паровоз ФД 20-678, оборудованный этими байпасами, жалуются на систематическое заедание байпасов. Книга записей ремонта паровоза ФД 20-678 пестрит записями: «Осмотреть байпасы и очистить их от нагара».

Между тем на паровозе ФД 20-835 с байпасами Гендри, на котором работал знаменитый машинист П. Ф. Кривонос, явлений сильного образования нагара не наблюдается, и т. Кривонос дает положительный отзыв о работе байпасов.



Очевидно, все зависит от правильной регулировки пресс-аппарата и от правильной подачи смазки. Кроме образования нагара в депо Люблино и Курган наблюдается пропаривание байпасов в месте постановки, так как Ворошиловградский паровозостроительный завод ставит их на цилиндры на клингеритовой прокладке.

Прокладку часто выдувает, — отсюда и наблюдается пропаривание. Этого можно избежать, поставив корпус байпаса на притирке.



Фиг. 30. Изменение температуры в выхлопной трубе паровоза ФД через 10 мин. после закрытия регулятора в зависимости от скорости при байпасах Гендри

В эксплуатации наблюдались случаи потерь пробок байпасов.

Главнейшим недостатком байпаса Гендри кроме малого уменьшения отрицательной мощности следует считать пропуски пара через клапаны и, что самое главное, невозможность установления их при езде с паром.

Установить наличие пропуска пара через клапаны байпаса можно только при открытии регулятора с заторможенным паровозом и реверсе, поставленном на центр.



Характерный шум в дымовой коробке и дымовой трубе паровоза указывает на наличие пропуска пара через клапаны байпаса. Правда, к этому пропуску пара прибавляется пропуск пара через золотниковые кольца, но все же опытному человеку разобраться в этом можно.

Более точно определить утечки пара через клапаны можно путем постановки специального опыта, что нами и было проделано после опытных поездок.

Перед постановкой байпасов Гендри с паровоза ФД 20-678 на паровоз ФД 20-1291 и перед началом опытных поездок байпасы были осмотрены, очищены от нагара, притерты, — словом, приведены в нормальное состояние.

После опытных поездок по определению отрицательной работы, производившихся в течение двух дней, состояние клапанов мало изменилось. Однако на притирочных поверхностях появились некоторые вмятины, образовавшиеся в результате ударной посадки клапанов байпаса на место.

После вторичного осмотра байпасов на паровозе ФД 20-1291 был поставлен опыт на определение утечек пара через золотники. Полученные при этом утечки пара относились и к золотникам и к байпасам, которые во время опыта стояли на месте. Эти утечки оказались равными

$$b_{y.3}^* = 497 \text{ кг/час.}$$

Затем байпасы были заглушены, т. е. между корпусом байпаса и местом его на цилиндре была укреплена прокладка, и снова был поставлен такой же опыт на утечки пара через золотники.

При этом утечки пара могли происходить только через кольца золотников. Они оказались равными

$$b_{y.3}'' = 293 \text{ кг/час.}$$

И тогда утечка пара через байпасы может быть получена как разность

$$b_{y.6} = b_{y.3}^* - b_{y.3}'' = 497 - 293 = 204 \text{ кг/час,}$$

или на один байпас

$$\frac{204}{4} = 51 \text{ кг/час.}$$

В условиях ненормального состояния клапанов байпасов при образовании нагара на притирочных поясах и т. д. утечки пара будут еще больше, что, конечно, ведет к пережогам топлива. Устранять утечки можно только тщательным уходом за байпасами.

#### 4. Золотники Трофимова

Анализ процесса работы машины паровоза ФД на беспарном ходу при золотниках Трофимова производился на паровозе ФД 20-107.

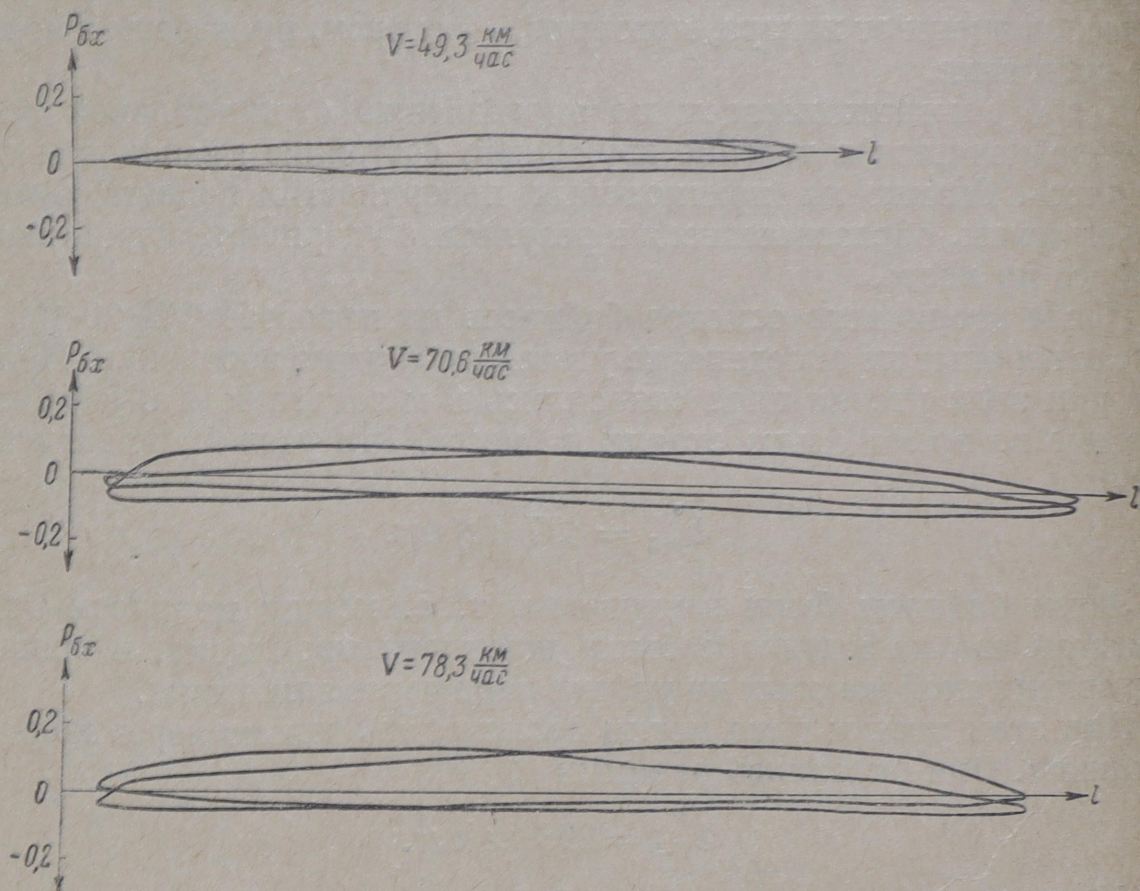
Съемка индикаторных диаграмм на этом паровозе производилась



не на опытном кольце, а одновременно со скатыванием паровоза на участке Лешошинка — Спирово Октябрьской ж. д.

На фиг. 31 представлены образцы полученных при этом индикаторных диаграмм, а на фиг. 32 — величины отрицательной мощности при различных скоростях, полученные в результате обработки всех индикаторных диаграмм.

Некоторая разбросанность точек на фиг. 32 объясняется неравномерным движением паровоза во время скатывания, вследствие чего



Фиг. 31. Индикаторные диаграммы беспарного хода паровоза ФД при раздвижных золотниках Трофимова

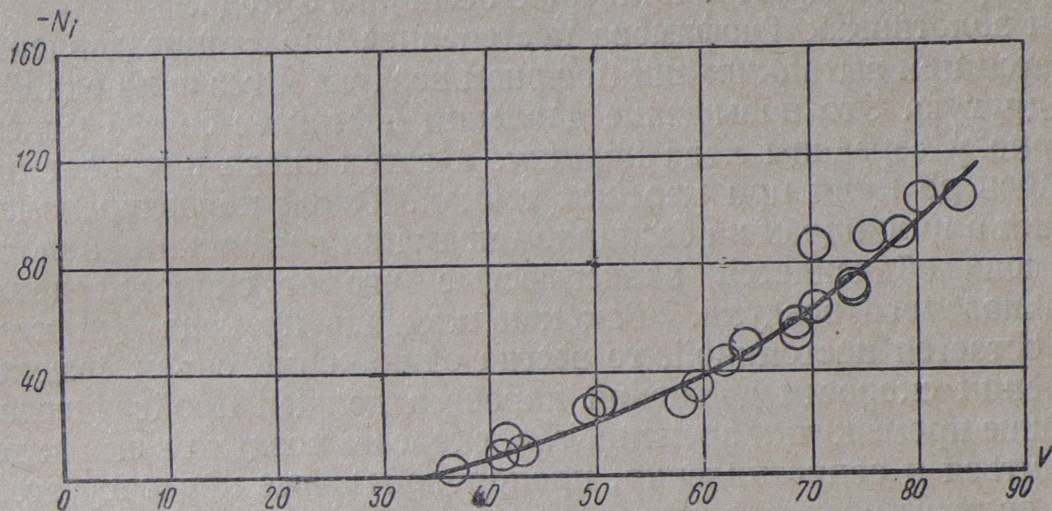
происходило некоторое опаздывание съемки индикаторных диаграмм по отношению к моментам наблюдения скоростей, производимым точно по сигналу.

Из рассмотренных индикаторных диаграмм и величин отрицательных мощностей, развиваемых в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при золотниках Трофимова, следует, что при скоростях, меньших  $V = 35 \text{ км/час}$ , зарегистрировать индикатором отрицательную мощность не удалось, что и подтверждает соображения, изложенные при рассмотрении величин удельных сопротивлений паровоза ФД с тендером как машины на беспарном ходу. При этих скоростях полностью обеспечивается перекачивание воздуха и газов из одной полости цилиндра в другую.

В самом деле, при закрытии регулятора диски золотников сдвигаются к центру, и золотниковые окна, через которые устанавливается



сообщение между полостями цилиндра, остаются открытыми все время при любых положениях поршня, действие же образованного при этом байпаса продолжается непрерывно. Фиг. 33 наглядно разъясняет сказанное.

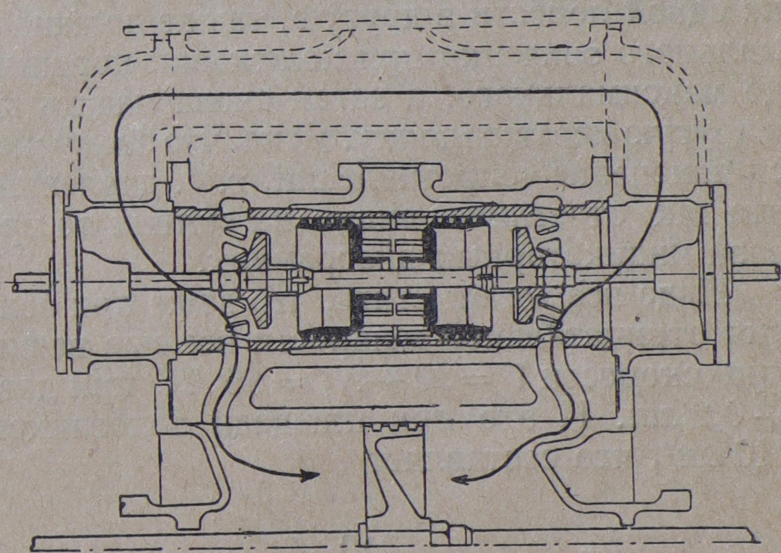


Фиг. 32. Отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу в зависимости от скорости при раздвижных золотниках Трофимова

Поэтому действительные индикаторные диаграммы беспарного хода при золотниках Трофимова, представленные на фиг. 31, существенно отличаются от таковых при всех прочих приборах беспарного хода.

Это важнейшее преимущество золотников Трофимова ставит их в особое положение в ряду других приборов беспарного хода, так как почти все до сих пор известные приборы работают с перерывами, прекращая, по сути, свою деятельность в момент закрытия золотниковых окон.

Если в индикаторной диаграмме беспарного хода при клапанах Рикюра и пр. большая часть площади ее образовывается за счет значи-



Фиг. 33. Схема сообщения полостей цилиндров на беспарном ходу при раздвижных золотниках Трофимова

тельного понижения давления при всасывании воздуха и газов в цилиндр паровой машины паровоза, то при раздвижных золотниках Трофимова этого явления нет, линия всасывания дает незначительное понижение против атмосферного давления. Даже при скоростях по-



рядка 80 км/час она не опускается ниже — 0,1 ат. Вследствие непрерывного байпасирования, что видно из схемы работы золотника, представленной на фиг. 33, совершенно отсутствует быстрое возрастание давления при сжатии, столь характерное для индикаторных диаграмм, снятых при всех других приборах беспарного хода.

При золотниках Трофимова постепенное нарастание давления наблюдается при выталкивании поршнем воздуха и газов из одной полости в другую. Это повышение давления достигает своего максимума примерно у середины хода поршня, а затем снова начинает падать, опускаясь до нуля при мертвых точках. Такой характер изменения давления в цилиндрах на беспарном ходу при раздвижных золотниках Трофимова объясняется зависимостью его от скорости движения перекачиваемого воздуха. Так как площадь прохода для него все время остается постоянной, то всегда одинаковый объем воздуха при увеличении скорости движения паровоза должен пройти через окна в меньшие промежутки времени, т. е. скорость воздуха в окнах должна увеличиться и сопротивления, пропорциональные квадрату этой скорости, должны возрасти, что и видно на образцах индикаторных диаграмм беспарного хода при золотниках Трофимова, представленных на фиг. 31.

Наибольшие величины давлений в цилиндрах возрастают по мере увеличения скорости движения паровоза. Но и во время одного оборота колеса скорость поршня, выталкивающего воздух из одной полости в другую, не остается постоянной: она меняется от нуля в мертвых точках до своего максимума при нахождении поршня где-то у среднего положения. По этой причине скорость воздуха, перекачиваемого из одной полости в другую, также должна возрасти от своего минимального значения при положении поршня в одной из мертвых точек до максимального, а затем снова падать к моменту прихода поршня в другую мертвую точку. Ясно, что этому же закону должно подчиняться изменение сопротивлений, т. е. давлений перекачиваемого воздуха, что так отчетливо видно на снятых во время беспарного хода паровоза индикаторных диаграммах.

Надо все же отметить, что даже при золотниках Трофимова значения отрицательной мощности все еще велики и достигают, например, при скорости  $V = 80 - N_i = 95$  ЛС при давлении в цилиндрах около  $+0,2$  ат. И это при площади золотниковых окон втулки, равной  $710$  см<sup>2</sup>, что составляет

$$\frac{f_{ок}}{f_{пор}} 100 = \frac{710}{3052,5} 100 = 22\% \text{ от площади поршня.}$$

Величины отрицательной мощности, в сущности, здесь уже не зависят от раздвижных золотников и обуславливаются, с одной стороны, количеством перекачиваемого воздуха и газов, т. е. размерами цилиндров, а с другой, — размерами золотниковых окон и сечением выхлопных каналов в цилиндре, что для данного типа паровоза является постоянной величиной.



Для паровоза ФД наиболее узким местом, создающим наибольшие сопротивления, являются выхлопные каналы в цилиндрах, площадь сечения которых равна  $600 \text{ см}^2$ , в то время как площадь золотниковых окон равна  $710 \text{ см}^2$ .

Поэтому можно утверждать, что отрицательная работа, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при золотниках Трофимова, есть минимально возможная. Всякий другой тип прибора беспарного хода обязательно даст большие ее значения, так как площадь свободного прохода в любом клапане меньше площади золотниковых окон и выхлопных каналов, через которые при золотниках Трофимова происходит непрерывное байпасирование.

Анализ индикаторных диаграмм беспарного хода при золотниках Трофимова указывает на полное отсутствие резкого повышения давления в цилиндрах при подходах поршня к одной из мертвых точек, что наблюдается при других приборах беспарного хода.

Как видно из индикаторных диаграмм, давление в цилиндрах в мертвых точках при золотниках Трофимова почти равно нулю. Это обстоятельство положительно сказывается на работе плавающих втулок. Износ их уменьшается.

Все же в мертвых точках желательно было бы иметь незначительное повышение давления в цилиндрах для создания некоторой подушки, смягчающей удары при изменении поршнем направления своего движения.

Прекрасная байпасирующая способность золотников Трофимова типа 1936 г. сводится на-нет их конструктивными и производственными недостатками, обнаруженными как при испытании, так и в эксплуатационной работе паровозов ФД, оборудованных этими раздвижными золотниками.

Прежде всего оказалось, что диски золотников Трофимова типа 1936 г. требуют больших усилий для своего раздвигания.

Так, на паровозе ФД 20-107 после многочисленных опытов на трогание паровоза с места было установлено, что диски золотников раздвигаются только при давлении в золотниковой коробке не менее  $4-4,5 \text{ ат}$ , т. е. только при открытии второго клапана регулятора, в то время как при простых золотниках паровоз трогается с места при открытии только разгрузочного клапана регулятора.

Это обстоятельство исключает возможность плавного трогания паровоза с места.

При давлении в золотниковой коробке  $4 \text{ ат}$  сила, заставляющая диски садиться на упорные шайбы, оказывается равной

$$P_z = \frac{\pi}{4} (33,0^2 - 21,8^2) 4,5 = 1930 \text{ кг}^*.$$

Ясно, что под действием такого значительного усилия диски с сильным ударом садятся на свои места, деформируя в этот момент притирочную поверхность упорных шайб.

\* Размеры золотника Трофимова взяты по чертежу ВПЗ № 1613.



При открытии же регулятора во время движения паровоза к этой посадочной силе добавляется еще инерционное ударное усилие.

Осмотр золотников Трофимова на паровозе ФД 20-107 после испытаний, а также осмотр их на многих других паровозах в условиях эксплуатации (депо Челябинск, Узловая, Елец, Валуйки и др.) показал, что по всей длине торцевой притирочной поверхности упорных шайб имеются следы от ударов в виде вмятин, расположенных равномерно, что нарушает притирку и создает условия для пропуска пара. Уплотняющие же кольца на упорных шайбах обычно работали плохо, часто перекашивались, выскакивали из ручья и не только не уменьшали пропуск пара, но часто сами служили причиной непосадки диска на шайбу или перекоса его, что вызывало подчас задир золотниковой втулки. На дорогах, в депо эти кольца, как не оправдывающие своего назначения, быстро выбросили, а ручьи в упорных шайбах заварили.

Под действием таких значительных посадочных усилий в эксплуатации обнаруживались не только вмятины на притирке, но и изгибы самих упорных шайб.

Главное же последствие от таких сильных ударов золотниковых дисков об упорные шайбы заключается в том, что происходит обрыв сварного шва (в особенности — недоброкачественного), которым укреплялась перепускная труба к задней упорной шайбе. Этот обрыв способствовал созданию большого пропуска пара из золотниковой коробки через перепускную трубу в конус, а затем в атмосферу.

Утечки пара через золотники при этих условиях достигают значительной величины.

Так, на опытном паровозе ФД 20-107 этот расход пара оказался равным

$$b_{y.з} = 3640 \text{ кг/час},$$

в то время как при обычных жестких золотниках он был равен всего только

$$b_{y.з} = 500 \text{ кг/час}.$$

При осмотре золотников Трофимова на паровозе ФД 20-107 после этого опыта на утечки как раз и был обнаружен обрыв сварного шва у перепускной трубы.

Это явление широко распространено и в условиях эксплуатации. Так, в депо Челябинск Южно-Уральской ж. д. в зиму 1936/37 г. одним из видов причин межпоездного ремонта паровозов ФД были массовые случаи обрывов перепускных труб у золотников Трофимова. А из-за сильного пропуска пара при обрывах трубы бывали случаи бросания поезда. Депо Челябинск в этом случае не является исключением.

Большая сила, необходимая для посадки золотниковых дисков на упорные шайбы, является следствием громоздкости и большого веса раздвижных золотников при наличии перепускной трубы для осуществления двустороннего выхлопа. Так, непосредственное взвешивание золотников паровоза ФД 20-107 дает следующую картину:



Таблица 4

## Вес золотников в кг

Тип золотников	Правый	Левый	В среднем
Жесткие . . . . .	142,7	144,2	143,4
Трофимова . . . . .	149,4	152,0	150,7
Трофимова паровоза серии Эм . . . . .	—	—	89,0

Мы наблюдаем увеличение веса раздвижного золотника Трофимова для паровоза ФД против раздвижного золотника стандартного типа диаметром 250 мм на

$$\frac{(150,7 - 89)}{89} 100 = 68\%,$$

а против жесткого золотника паровоза ФД на

$$\frac{(150,7 - 143,4)}{143,4} 100 = 5,1\%.$$

Положение еще усугублялось небрежной сборкой золотников на Ворошиловградском паровозостроительном заводе, допускавшем всякие отклонения в центровке оси золотника, что создавало перекосы, неправильную работу золотника, быстрый задир и износ золотниковых втулок, заклинивание дисков и т. д.

Приварка перепускной трубы к упорной шайбе заводом выполнялась, как правило, исключительно небрежно. В некоторых депо (например, Карталы Южно-Уральской ж. д., Малоярославец Западной ж. д.) после долгих мучений с золотниками Трофимова расперли у них золотниковые диски, превратив тем самым раздвижные золотники в простые.

Все эти недостатки, обнаруженные на первых же паровозах ФД, выпущенных с золотниками Трофимова типа 1936 г., создавали затруднения в депо, повышая стоимость ремонта паровоза.

Стоимость ремонта этих золотников оказалась выше и на паровозоремонтных заводах.

Так, по данным группы ремонта локомотивного отделения НИИЖТ стоимость ремонта различного типа золотников с учетом накладных расходов на Воронежском паровозоремонтном заводе выражается цифрами, указанными в табл. 5.

Вследствие всех указанных недостатков раздвижных золотников Трофимова типа 1936 г., учтя жалобы и требования ряда дорог и депо, НКПС вынужден был приостановить постановку этих золотников на паровозы ФД несмотря на их хорошее байпасирование. И после выпуска 255 паровозов ФД с раздвижными золотниками Трофимова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Золотники Трофимова поставлены на паровозах ФД 20-657, 20-658 и с 20-757 по 20-1010.



Таблица 5

Серия паровоза и тип золотника	Себестоимость ремонта комплекта	Стоимость ремонта комплекта с уче- том накладных расходов
ФД, золотник жесткий . . . . .	99 р. 08 к.	233 р. 82 к.
ФД, золотник трофимовский . . . . .	157 р. 30 к.	371 р. 23 к.
Э, золотник трофимовский . . . . .	86 р. 69 к.	204 р. 58 к.

Увеличение стоимости ремонта трофимов-  
ского золотника ФД по отношению к  
жесткому . . . . .

59%

59%

Увеличение стоимости ремонта трофимов-  
ского золотника ФД по отношению к тро-  
фимовскому золотнику паровоза ЭУ . .

81%

81%

Ворошиловградский паровозостроительный завод в конце 1936 г. снова возвратился к постановке жестких золотников и клапанов Рикюра впредь до улучшения и упрощения конструкции раздвижных золотников и облегчения их в весе.

### 5. Сравнительная оценка приборов беспарного хода

На фиг. 34 представлены отрицательные мощности при разных скоростях, развиваемые в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу при раздвижных золотниках Трофимова и обычных жестких золотниках с клапанами Рикюра, Пирина и байпасами Гендри. На фиг. 35 представлены кривые изменения температуры, измеренной в выхлопной трубе при клапанах Рикюра, Пирина и байпасах Гендри. К сожалению, температуру в выхлопной трубе при золотниках Трофимова измерить не удалось.

Из рассмотрения фиг. 34 следует, что наибольшая отрицательная мощность развивается при клапанах Рикюра.

При клапанах Пирина отрицательная мощность меньше, чем при клапанах Рикюра при скоростях до 30 км/час. При больших же скоростях отрицательная мощность паровоза ФД при клапанах Пирина достигает и даже несколько превышает значения отрицательных мощностей при клапанах Рикюра.

При байпасах Гендри отрицательная мощность меньше, чем при клапанах Рикюра и клапанах Пирина; например, при скорости 80 км/час она меньше на

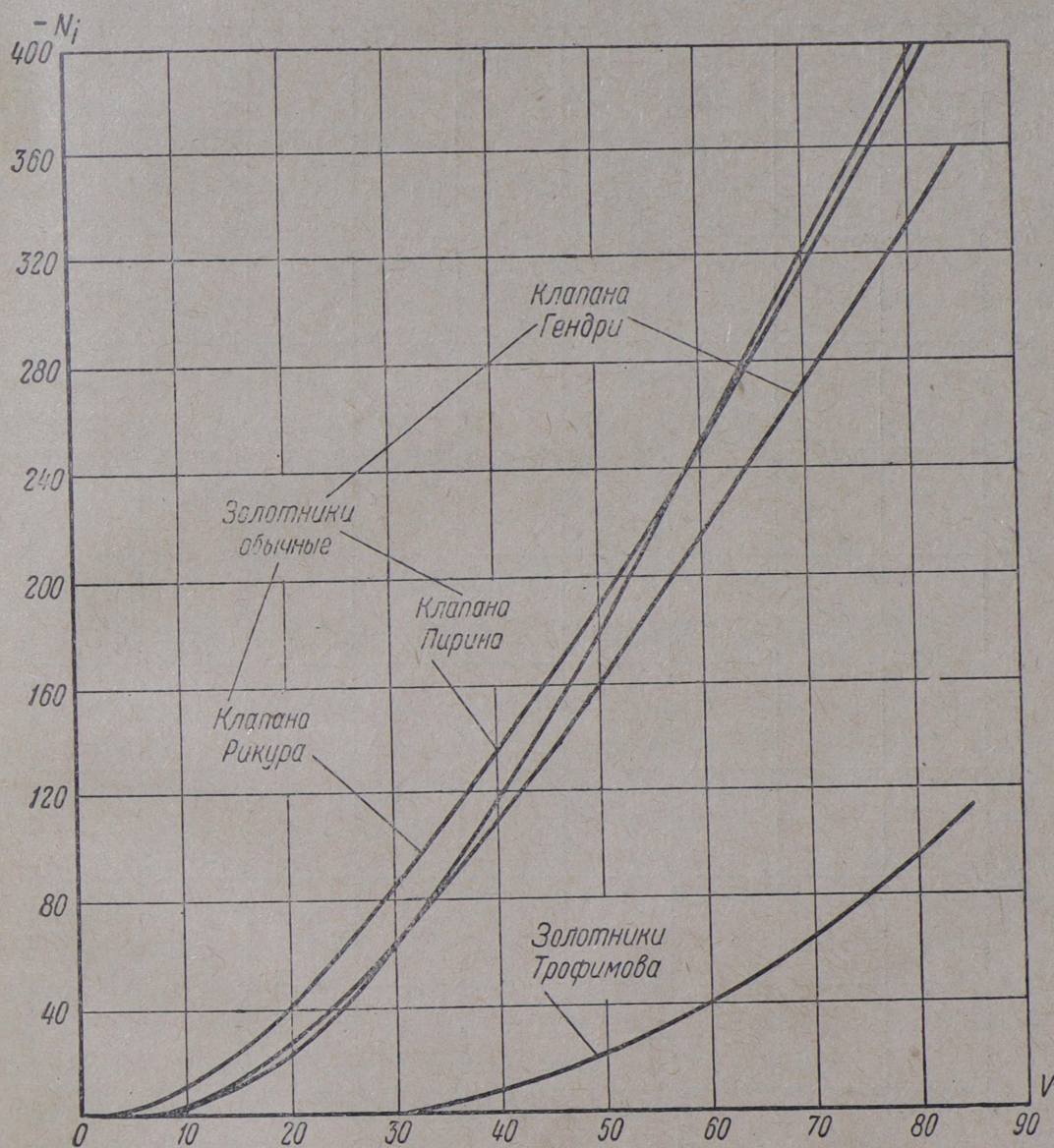
$$\frac{390 - 330}{390} 100 = 15,4\%.$$

Минимальная отрицательная мощность получена при золотниках Трофимова, хотя по абсолютной величине она и достигает довольно большой цифры: 100 ЛС при скорости  $V = 82$  км/час.



Таким образом, по уменьшению сопротивлений паровоза как машины на беспарном ходу на первое место следует поставить золотники Трофимова, на второе место — байпасы Гендри и, наконец, на последнее — клапаны Пирина и клапаны Рикюра.

Надо считать, что ни клапаны Рикюра, ни клапаны Пирина, ни байпасы Гендри не разрешают проблемы уменьшения отрицательной ра-



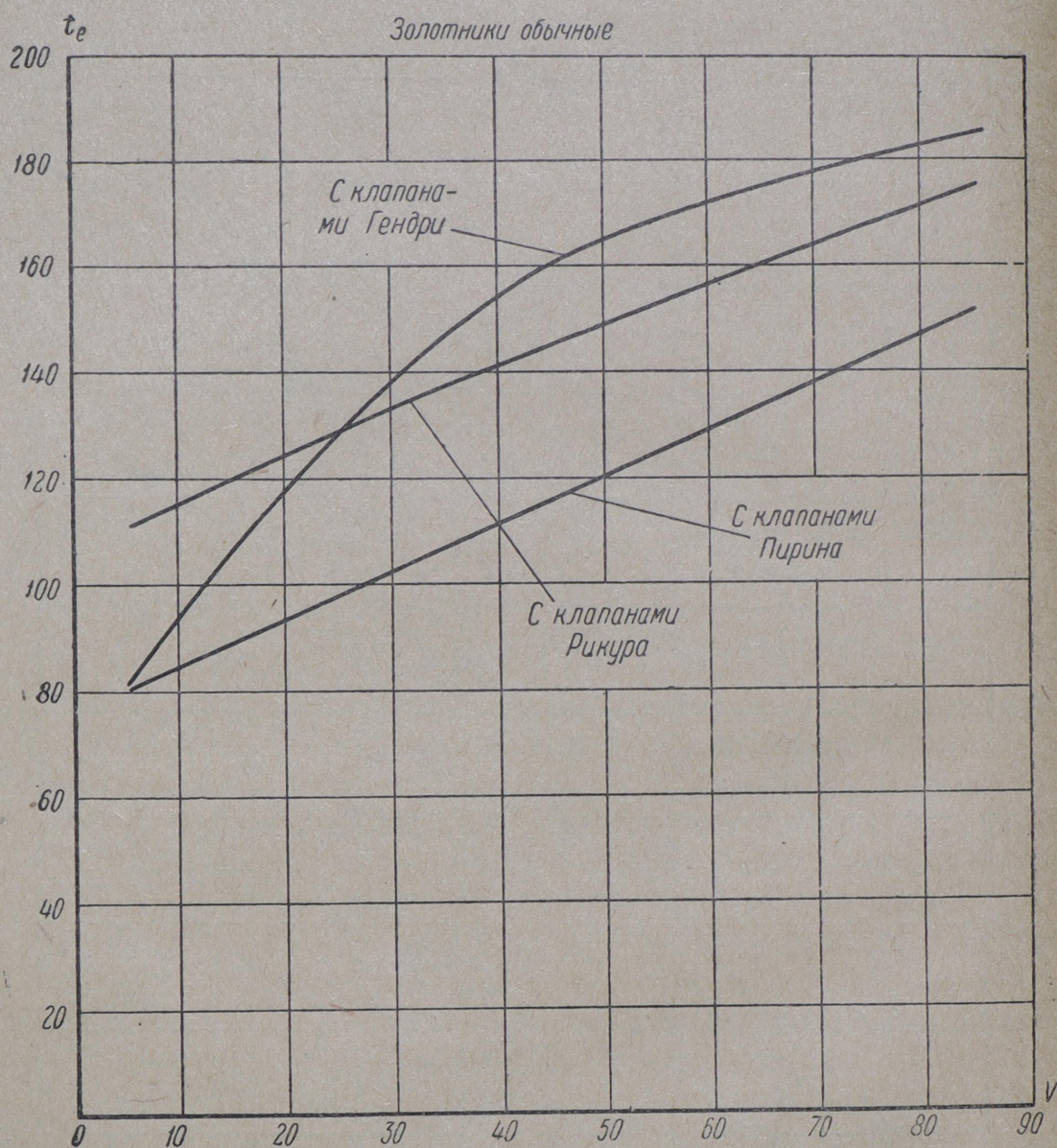
Фиг. 34. Отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу в зависимости от скорости при различных приборах беспарного хода

боты паровоза ФД на беспарном ходу. Это является следствием применения недостаточно развитых живых сечений этих клапанов при относительно больших размерах цилиндров паровоза ФД.

Золотники Трофимова типа 1936 г. положительно разрешают проблему уменьшения отрицательной работы. Однако конструктивное оформление и низкокачественное изготовление на Ворошиловградском паровозостроительном заводе положительные качества раздвижных золотников Трофимова сводят на-нет.



Вследствие того, что отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу, мало изменяется при замене клапанов Рикюра клапанами Пирина или байпасами Гендри, удельное сопротивление паровоза как машины  $w_3$  при езде с закрытым регулятором, полученное на паровозе ФД, оборудованном клапанами Рикюра, практически можно распространять и на паровозы ФД, обо-



Фиг. 35. Изменение температуры в выхлопной трубе паровоза ФД на беспарном ходу в зависимости от скорости при различных приборах беспарного хода

рудованные клапанами Пирина и байпасами Гендри. При тяговых расчетах во всех этих случаях следует пользоваться кривой  $(w'_0 + w_3) = f(V)$ , представленной на фиг. 9.

Для паровозов ФД с золотниками Трофимова следует пользоваться отдельной кривой, составленной для этого случая. Более детальное расчленение удельных сопротивлений паровоза ФД как машины на беспарном ходу при простых золотниках, но с различными приборами беспарного хода, практически не имеет смысла.



Из рассмотрения кривых фиг. 35 следует, что наименьшие температуры выхлопа на беспарном ходу дают клапаны Пирина, так как при них в цилиндры засасывается наибольшее количество воздуха. Это обстоятельство уменьшает возможности образования в цилиндрах нагара от смазки. К сожалению, в зимних условиях наблюдений за температурой выхлопа произвести не удалось. Не исключена возможность, что в зимних условиях при длительной езде без пара при клапанах Пирина можно получить сильное переохлаждение цилиндров и возможность образования трещин.

При байпасах Гендри температура выхлопа наивысшая, так как они не дают доступа атмосферному воздуху. Засасывание происходит из дымовой коробки. Иными словами, при байпасах в цилиндр попадает не воздух, а уже горячие газы, температура которых еще более повышается при их сжатии. При этих условиях возможность образования нагара от смазки увеличивается, что и наблюдается в условиях эксплуатации на паровозах ФД 20-678 в депо Люблино и ФД 20-616 в депо Курган.

Конструктивные преимущества и недостатки испытанных приборов беспарного хода разобраны выше.

## ГЛАВА VII

### ИССЛЕДОВАНИЕ ДВУСТОРОННЕГО ВЫХЛОПА

Итак, анализ работы испытанных приборов беспарного хода показал, что по существу для паровоза ФД нет эксплуатационного надежного прибора, уменьшающего вредные сопротивления паровоза при езде без пара: приборы клапанного типа (Рикура и Пирина, а также и байпасы Гендри) не снижают отрицательную работу и имеют еще ряд эксплуатационных недостатков, а золотники Трофимова типа 1936 г., разрешая проблему байпасирования, настолько неудачны по своей конструкции и изготовлению, что от них пришлось отказаться.

А между тем вопрос об уменьшении сопротивления паровоза ФД на беспарном ходу — это вопрос экономии топлива.

В самом деле, из общего пробега паровоза процентов 20 — 25, в зависимости от профиля, идет на беспарный ход. На некоторых тяговых плечах этот процент еще выше. Свободный ход паровоза без пара помогает проходить многие элементы профиля за счет накопленной ранее живой силы, не уменьшая при этом технической скорости. Это обстоятельство не может не уменьшать расхода топлива.

Исследуя работу золотников Трофимова типа 1936 г., мы установили, что основной причиной сложности их конструкции, вызвавшей все эксплуатационные недостатки, является наличие перепускной трубы, установленной, как и при жестких золотниках паровоза ФД, для возможности выхлопа пара из цилиндров в обе стороны, т. е. через передние и задние паровыхлопные каналы.

Отказ от этой трубы немедленно приводит к упрощению конструкции раздвижного золотника и устраняет главнейшие его недостатки.



Естественно поэтому возникло желание перепускную трубу выбросить и получить тем самым эксплуатационно надежный раздвижной золотник, обеспечивающий наилучший беспарный ход паровоза ФД.

Однако, отказываясь от перепускной трубы, мы теряем возможность двустороннего выхлопа отработавшего пара, чем нарушаем основной принцип, заложенный при проектировании золотников паровоза ФД.

Предполагалось, что двусторонний выхлоп способствует уменьшению противодействия на нерабочую сторону поршня во время выхлопа и тем самым повышает индикаторный коэффициент паровоза, а значит, и его полезную мощность.

Но так ли это на самом деле? Посмотрим, где создается противодействие в цилиндрах паровоза ФД.

Выхлопной пар через выпускные золотниковые окна попадает в паровыхлопные каналы, а затем в конус. Если посмотреть площади прохода в различных местах на пути выхлопного пара (при одних и тех же расходах пара эти площади и создают сопротивления для его прохода), то увидим, что при диаметре отверстий 4-дырного конуса с раздельным выхлопом даже  $d_k = 95$  мм площадь сечения конуса для выхлопа пара с каждой стороны будет равна

$$\Omega_k = 2 \frac{\pi d_k^2}{4} = 2 \frac{\pi \cdot 9,5^2}{4} = 142 \text{ см}^2.$$

Паровыхлопные каналы в цилиндрах паровоза ФД сделаны прямыми и широкими, сечение канала одной полости равно

$$\Omega_{в.к} = 600 \text{ см}^2.$$

Площадь открытия золотниковых окон — величина переменная и зависит от отсечки. Окна на выхлоп открываются на полную свою ширину 80 мм, начиная с отсечки  $\epsilon = 0,4$ . При отсечке  $\epsilon = 0,1$  наибольшее открытие окна на выхлоп равно 64 мм, что дает площадь открытия

$$\Omega_{з.о} = 10 \cdot 8,87 \times 64 = 567 \text{ см}^2.$$

Площадь сечения перепускной трубы равна

$$\Omega_{п.т} = 205 \text{ см}^2.$$

Таким образом, видим, что противодействие на нерабочую сторону поршня зависит от площади конуса, так как она имеет наименьшую величину на пути прохода пара, — это она создает подпор. Выхлопной пар, выйдя из цилиндра через золотниковые окна, весь должен пройти через конус, независимо от того, какими путями он будет к нему добираться: пройдет ли он весь по паровыхлопному каналу только одной полости, или же, перейдя по перепускной трубе золотника, частично пойдет и по паровыхлопному каналу другой полости. Подпор от конуса останется одним и тем же, следовательно, противодействие в цилиндре также остается одинаковым в обоих случаях.

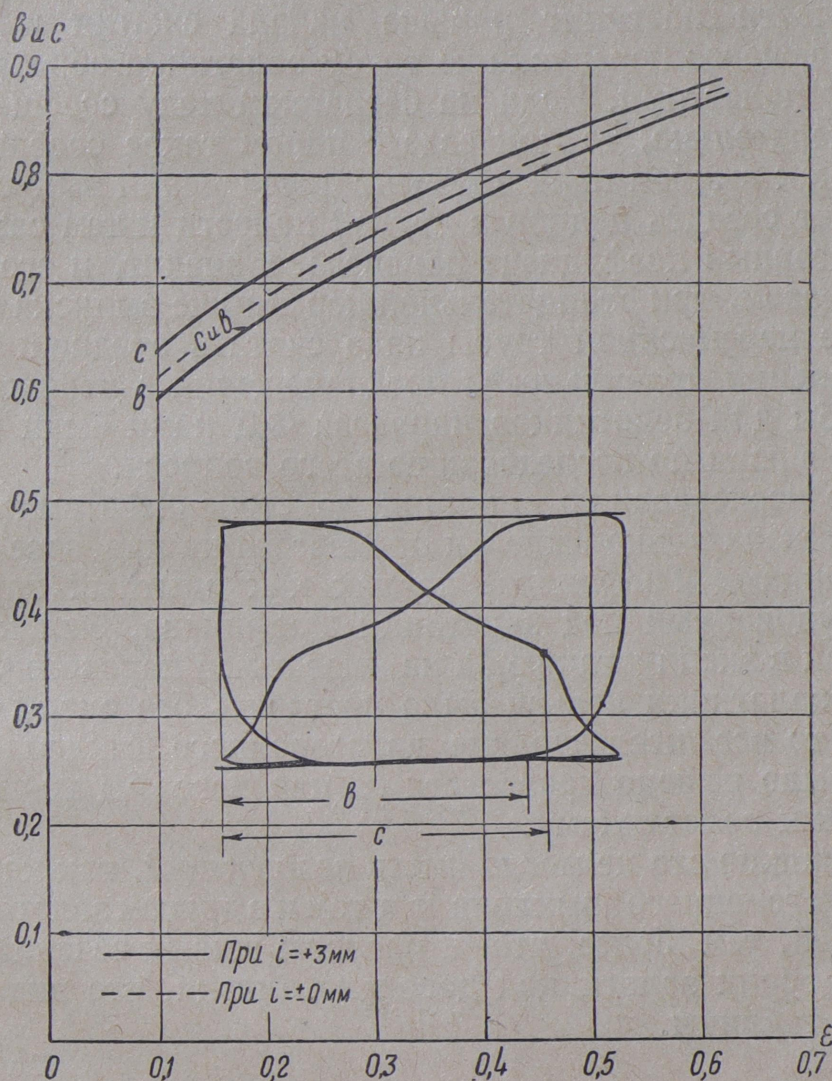
Единственно, что может дать перепускная труба, это уменьшение скорости пара в паровыхлопных каналах, если часть пара уйдет че-



рез трубу на другую сторону, что повлечет за собой некоторое уменьшение сопротивлений для пара при прохождении им паровыхлопных каналов.

Но при сильно развитых паровыхлопных каналах в цилиндрах паровоза ФД влияние этого обстоятельства весьма ничтожно.

На беспарный ход при жестких золотниках перепускная труба также оказать влияния не может, так как через нее при перекрыше



Фиг. 36. Величины предварения выпуска  $c$  и сжатия  $b$ , выраженные в долях поршня, в зависимости от отсечки  $\epsilon$

выпуска  $i = +3,0$  мм соединения полостей не происходит, начало сжатия при этой перекрыше выпуска (закрытие золотниковых окон одной полости) всегда происходит раньше предварения выпуска, т. е. открытия золотниковых окон на выхлоп в другой полости.

Это положение наглядно иллюстрируется фиг. 36, построенной по эллиптическим диаграммам, снятым на паровозе ФД 20-107.

Величина  $c$  представляет собой положение поршня, выраженное в долях его хода от мертвой точки, в момент предварения выпуска, а величина  $b$  — в момент начала сжатия в другой полости.

Как видим из фиг. 36, сжатие в одной полости наступает ранее,



чем предварение выпуска в другой. Этот разрыв уменьшается с увеличением отсечки.

При нулевой перекрыше выпуска момент выхлопа одной полости совпадает с моментом сжатия в другой, и, следовательно, сообщение между полостями через перепускную трубу золотника также не наступает. Но при отрицательной перекрыше выпуска (например  $i = -3$ ) кривые  $b$  и  $c$  на фиг. 36 поменяются местами, и тогда выхлоп в одной полости наступит раньше начала сжатия в другой, и, следовательно, через перепускную трубу золотника образуется сообщение между полостями. Если на беспарном ходу сообщение между полостями желательно, то при езде с паром такое сообщение очень вредно, так как выхлоп пара в момент предварения выпуска в одной полости может создать подпор в другой полости и тем самым уменьшить индикаторный коэффициент паровоза, а значит, и его мощность.

Таким образом, при отрицательной перекрыше выпуска постановку на золотнике перепускной трубы надо считать вредной.

Для выяснения правильности предположения о ненужности перепускной трубы для золотников паровоза ФД нами были поставлены специальные опыты по исследованию этого вопроса.

Опыты по исследованию влияния двустороннего выхлопа на работу машины желательно было бы произвести на паровозе с раздвижными золотниками Трофимова, но так как опытный паровоз ФД 20-107, оборудованный под золотники Трофимова, был к тому времени уже сдан в эксплуатацию, а на имевшемся паровозе ФД 20-1291 раздвижные золотники нельзя было поставить без смены золотниковых втулок, то все исследование двустороннего выхлопа (перепускной трубы) было решено произвести на паровозе ФД 20-1291 с обычными жесткими золотниками.

Принципиально это не могло иметь возражений, так как сущность процесса двустороннего выхлопа и в том и в другом золотнике остается одинаковой, тем более, что и размеры живых сечений перепускной трубы в обоих золотниках довольно близки, что видно из ниже помещенной таблицы.

Т а б л и ц а   6

Площадь живого сечения перепускной трубы

Тип золотника	Площадь живого сечения посередине трубы см <sup>2</sup>	Площадь прохода в диске упорной шайбы см <sup>2</sup>
Жесткий . . . . .	205	302
Раздвижной, вариант изобретателя . .	243	193
Раздвижной, вариант завода . . . . .	239	186

Из табл. 6 видно, что у жесткого золотника наименьшее живое сечение имеет труба, в то время как у раздвижного золотника наименьшую площадь живого сечения имеет упорная шайба, что вытекает из сущности самой конструкции обоих золотников.



Во всяком случае, наименьшие размеры проходов через перепускную трубу в обоих типах золотников таковы, что результаты, полученные при выяснении влияния двустороннего выхлопа у жесткого типа золотника с полным основанием могут быть распространены на раздвижной золотник; и наоборот.

Оценку влияния перепускной трубы на работу паровоза ФД было решено произвести по индикаторному коэффициенту, а также по отрицательной работе, развиваемой в цилиндрах на беспарном ходу.

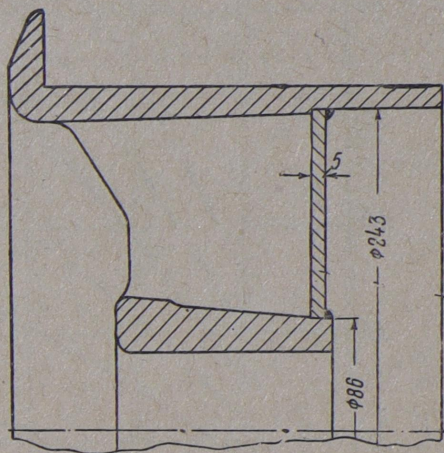
Хотя данные по индикаторному коэффициенту для паровоза ФД при жестких золотниках с перепускной трубой уже и имелись (см. паспорт паровоза ФД), все же, для исключения влияния индивидуальных особенностей самого паровоза, нами были произведены поездки для получения индикаторного коэффициента и отрицательной мощности, развиваемой на беспарном ходу, на одном и том же паровозе ФД 20-1291 как с обычными жесткими золотниками, имеющими перепускную трубу для двустороннего выхлопа, так и золотниками без этой трубы.

Для этой цели после первой серии поездок золотники были вынуты и распорная перепускная труба у них была заглушена путем сварки специально изготовленной железной шайбы толщиной  $\delta = 5$  мм. Постановка такой шайбы видна на фиг. 37. После заглушки перепускной трубы все опытные поездки были повторены.

Так как индикаторный коэффициент, принятый нами за основу для суждения о возможности влияния перепускной трубы золотника на работу машины паровоза ФД, меняется в зависимости от отсечек и скоростей, при которых он реализуется, т. е.  $\xi = f(\epsilon, V)$ , то для определения его величин предстояло сделать большое количество поездок с различными комбинациями отсечек и скоростей.

Нами же была выбрана несколько иная зависимость для индикаторного коэффициента. Очевидно, что перепускная труба золотника должна пропускать из одной выхлопной полости в другую некоторое количество отработавшего в цилиндрах пара в зависимости от общего количества выталкиваемого пара, т. е. в зависимости от машинной форсировки, а также и от скорости, с которой этот пар будет выталкиваться из цилиндра. Последняя характеризуется скоростью поршня, а значит, зависит от числа оборотов и скорости движения паровоза. Следовательно, нам важно иметь зависимости не  $\xi = f(\epsilon, V)$ , а  $\xi = \varphi(z_m, V)$ , по которым и следует вести сравнение.

Для сокращения времени испытаний нами были сделаны опытные поездки при следующих значениях форсировок:  $z_m = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  и



Фиг. 37. Схема постановки заглушки на перепускной трубе жесткого золотника

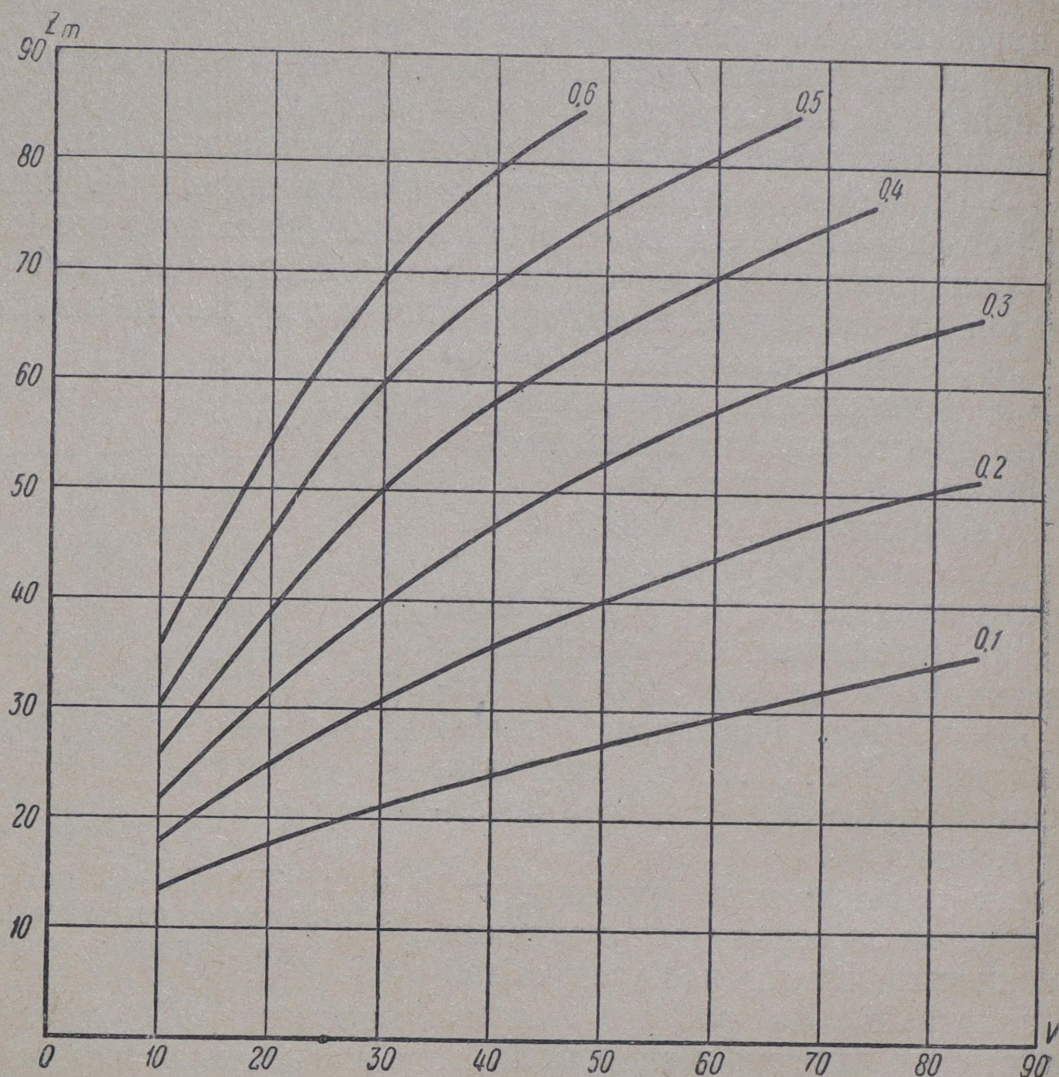


$z_m = 70 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  при трех значениях скоростей для каждой форсировки:

$$V = 30 \text{ км/час}$$

$$V = 50 \quad \gg$$

$$V = 70 \quad \gg$$



Фиг. 38. Машинная форсировка  $z_m$  котла паровоза ФД в зависимости от скорости при различных отсечках  $\epsilon$

При форсировке  $z_m = 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  поездки произведены при скоростях 30, 45 и 60 км/час.

Реализация заданных форсировок при различных скоростях осуществлялась путем постановки реверса во время опытной поездки в заранее определенное положение.

Имея кривые  $z_m = f(V, \epsilon)$ , полученные во время испытаний серийного паровоза ФД, и перестраивая их в кривые  $z_m = \varphi(\epsilon, V)$ , легко было определить требуемую отсечку  $\epsilon$  для заданных скоростей и форсировок. Эта отсечка определяется пересечением прямой, соответствующей  $z_m = \text{const}$  с кривой  $z_m = \varphi(\epsilon)$  для заданной скорости. Кривые  $z_m = f(V, \epsilon)$  и  $z_m = \varphi(\epsilon, V)$  представлены на фиг. 38 и 39. На



последней фигуре для примера показано определение необходимой отсечки для реализации  $z_m = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  при скорости  $V = 50 \text{ км/час}$ , которая оказалась равной  $\epsilon = 0,28$ .

Полученные таким образом отсечки для реализации заданных комбинаций скоростей и форсировок приведены в табл. 7.

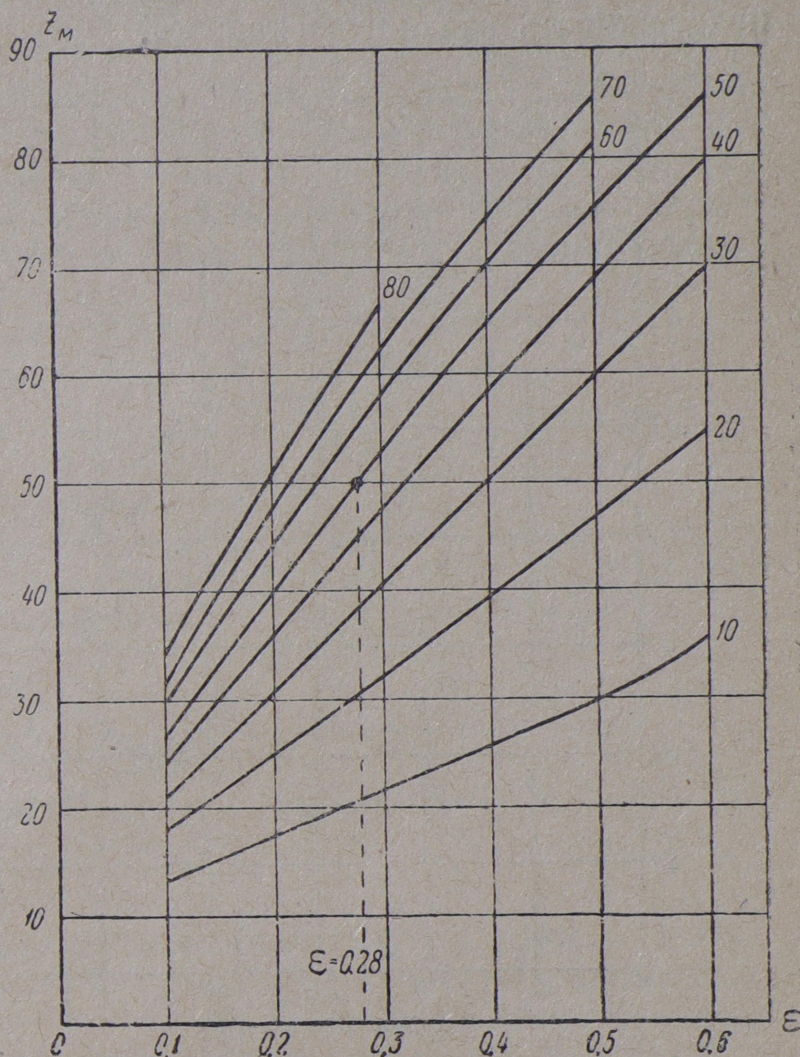
Таблица 7

Комбинация		Необходимая отсечка $\epsilon$
$z_m$	$V$	
30	30	0,20
30	45	0,12
30	60	0,10
50	30	0,40
50	50	0,28
50	70	0,22
70	30	0,60
70	50	0,45
70	70	0,36

Требуемая отсечка легко устанавливалась во время поездки. Предварительно размеченные рейка и маховик переводного винта позволили осуществить это достаточно точно.

Некоторая неточность в установке реверса на заданную отсечку во время опытной поездки происходила из-за необходимости обязательной постановки маховика реверса в такое положение, при котором собачка его попала бы в какой-либо из зубьев, имеющих на маховике для удержания реверса в постоянном положении.

А так как на этот самый зуб собачка ставилась как во время поездок с нормальными золотниками, так и с золотниками, имеющими заглушенную перепускную трубу, то некоторая неточность в отсечках не имела существенного значения, — результаты получались относительно сравнимые. Поэтому надо считать, что во время опытных поездок нами были получены  $z_m$  не точно 30, 50, 70  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$ , а с некоторыми незначительными отклонениями от этих цифр. Но эти от-



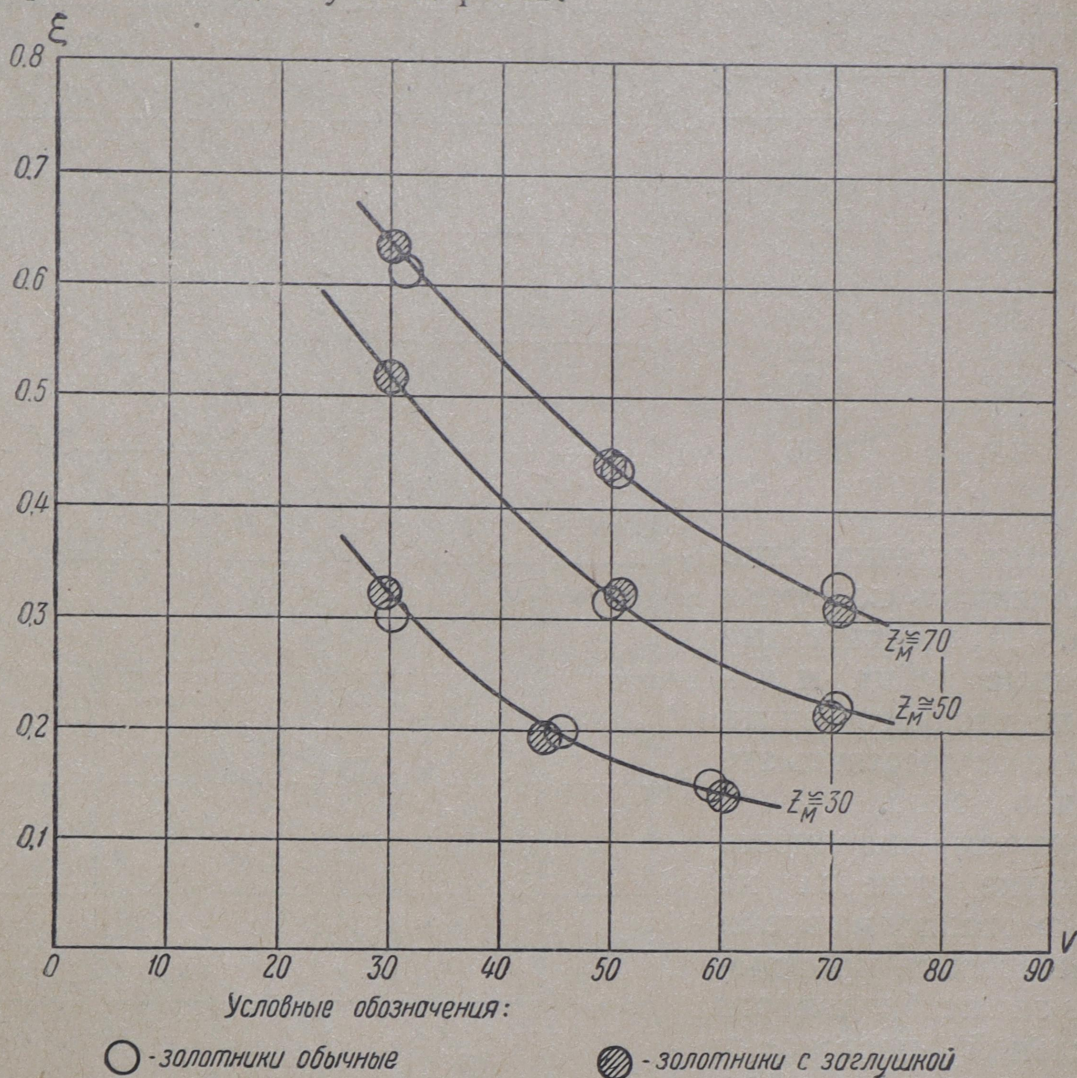
Фиг. 39. Машинная форсировка  $z_m$  котла паровоза ФД в зависимости от отсечек  $\epsilon$  при различных скоростях  $V$



клонения, как уже указывалось, в обеих сериях поездок получены в одну сторону, что делает опытные данные вполне сравнимыми.

Все опытные поездки производились при полном открытии регулятора.

В отношении же получения требуемой скорости дело обстояло значительно проще: при поездках на опытном кольце с тормозным составом всегда можно было соответствующим подтормаживанием поддерживать заданную скорость.



Фиг. 40. Изменение индикаторного коэффициента в зависимости от скорости при различных машинных форсировках

Во время каждой опытной поездки снималось 8 — 10 индикаторных диаграмм, что вполне достаточно для получения средних значений индикаторного коэффициента.

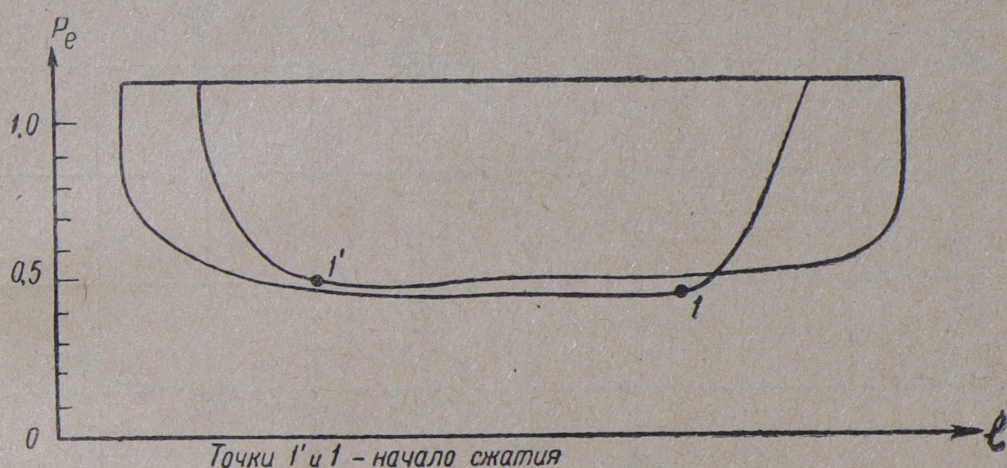
Переходим к рассмотрению опытных данных.

На фиг. 40 представлены кривые изменения индикаторного коэффициента паровоза ФД в зависимости от скорости и форсировок. Эти кривые проведены по опытным точкам, нанесенным на этом же планшете. Точки незаштрихованные получены во время поездок с золотниками нормальной конструкции, т.е. с действующей перепускной трубой, а точки заштрихованные получены во время поездок с заглу-



шенными перепускными трубами тех же самых золотников. Расположение опытных точек показывает, что по ним можно провести только по одной кривой индикаторного коэффициента для каждого  $z_m$ . Это говорит о том, что практически индикаторные коэффициенты получены одинаковыми как при действующей, так и при заглушенной перепускной трубе золотников. Следовательно, перепускная труба практически влияния на работу машины с паром не оказывает.

Для того чтобы убедиться в этом точнее, нами одновременно со съемкой индикаторных диаграмм производилось специальное индцирование противодавлений на нерабочую сторону поршня, так как перепускная труба если и может оказать влияние на работу машины, то только в моменты выхлопа и выталкивания отработавшего пара. Для этой цели был специально установлен индикатор, а для получения



Фиг. 41. Индикаторная диаграмма линии выхлопа и выталкивания

более точных данных на нем применялась мягкая пружина с масштабом  $m = 30 \text{ мм}$  ( $1 \text{ ат} = 30 \text{ мм}$ ). Так как ход поршенька индикатора ограничивается специальным упором, то при съемке карандаш вычерчивал в крупном масштабе только нижнюю часть обычной индикаторной диаграммы, т. е. вычерчивал линию выхлопа, которая в совокупности с атмосферной линией давала возможность судить о величинах противодавления.

Планиметрируя площадь диаграммы, ограниченную линиями выхлопа, выталкивания до момента сжатия и атмосферной, можно получить среднее противодавление в одной полости цилиндра. Проведя это для всех четырех полостей, легко определить среднее противодавление  $p_e$  на нерабочую сторону поршня.

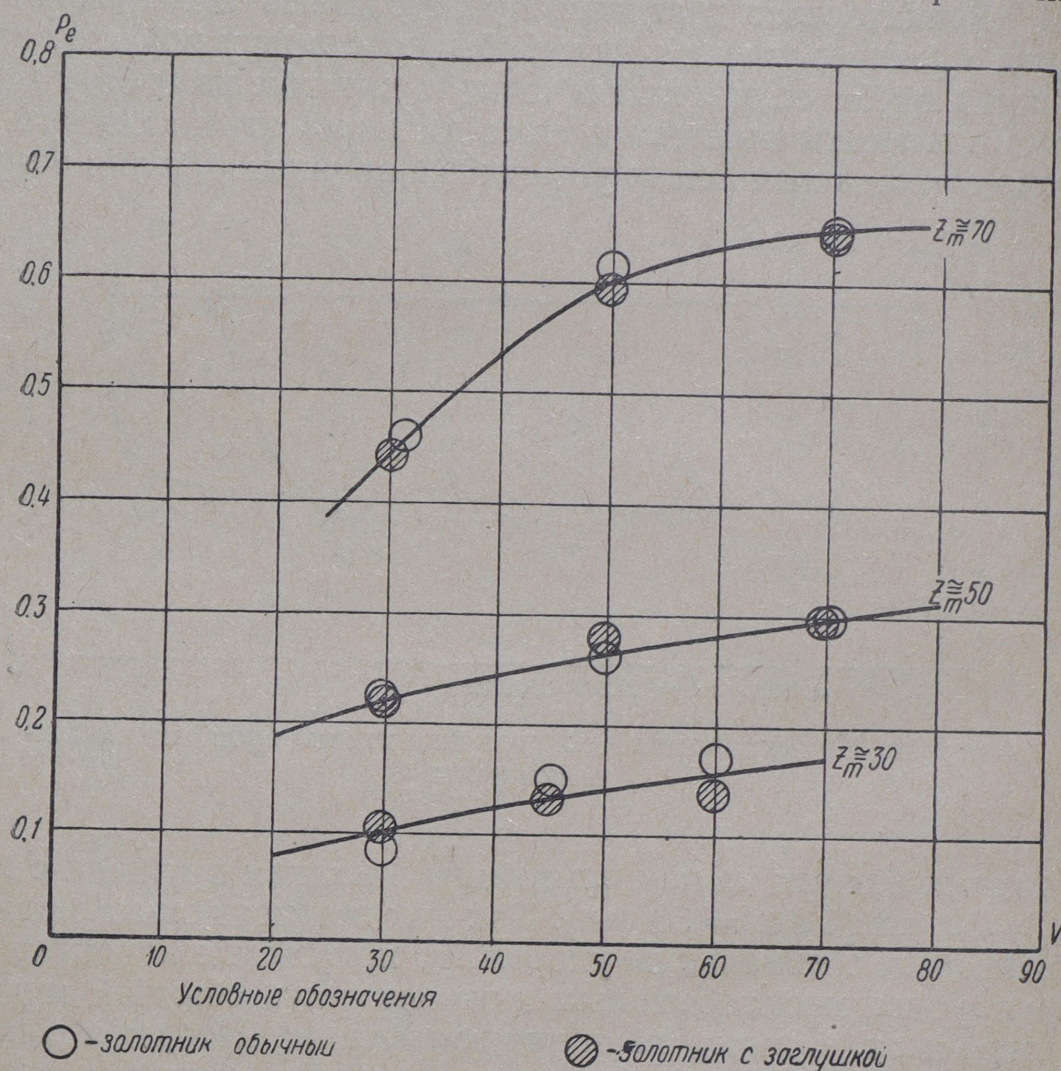
На фиг. 41 представлен образец диаграммы линии выхлопа с разметкой ее под планиметрирование; точки 1 и 1' соответствуют началу сжатия в обеих полостях. Полученные таким образом средние значения противодавлений  $p_e$  в виде точек нанесены на планшете фиг. 42, по которым проведены кривые для форсировок  $30, 50 \text{ и } 70 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$ , причем незаштрихованные точки характеризуют нормальный золот-



ник, а заштрихованные точки — золотник с заглушенной перепускной трубой.

Расположение точек дает основание полагать, что перепускная труба практически не оказывает никакого влияния на величину средних противодавлений в цилиндрах на нерабочую сторону поршня.

Некоторый разбег точек на кривой  $z_m = 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  надо объяснить недостаточной точностью вычерчивания линий диаграмм индикатора.



Фиг. 42. Среднее противодействие в цилиндрах паровоза ФД при различных скоростях и форсировках

тором и ошибкой при планиметрировании вследствие незначительных величин противодействия.

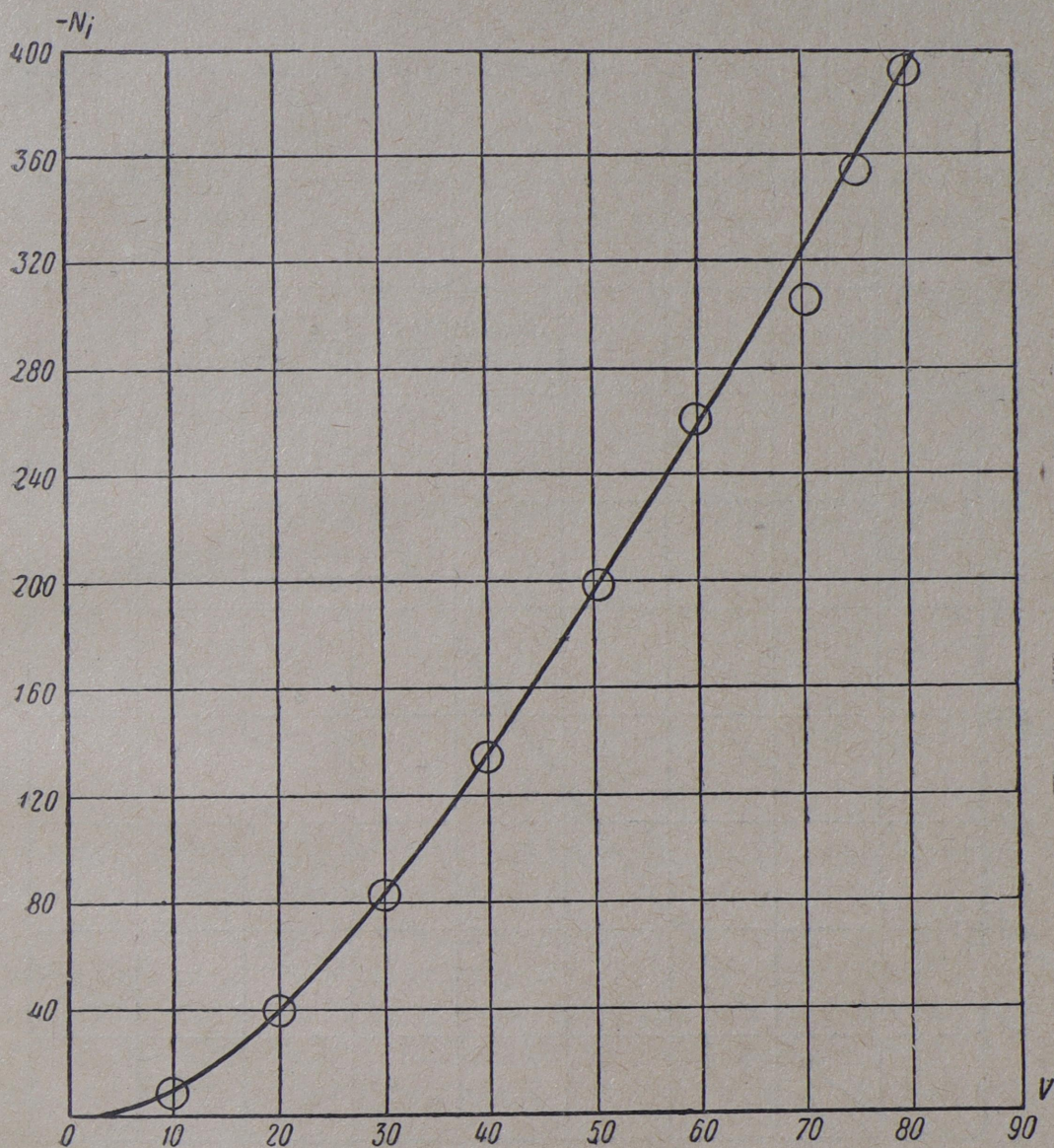
Для противодействий около  $0,1 \text{ ат}$ , получаемых при этой форсировке, очевидно, пружина  $m - 30$  жестка. Поэтому во время планиметрирования диаграмм могла получиться некоторая ошибка.

На справедливость этого указывает хотя бы и то обстоятельство, что противодействие при скорости 45 и 60 км/час для  $z_m = 30 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{час}}$  получено бóльшим при золотниках с перепускной



трубой, чем при золотниках с заглушенной перепускной трубой, чего не может быть по здравому смыслу.

Для установления влияния перепускной трубы золотника на работу машины паровоза на беспарном ходу было произведено индизирование процессов, происходящих в цилиндрах машины на беспарном ходу, как при золотниках нормальных, так и при золотниках с заг-



Фиг. 43. Отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу в зависимости от скорости при клапанах Рикюра и золотниках с заглушенной перепускной трубой

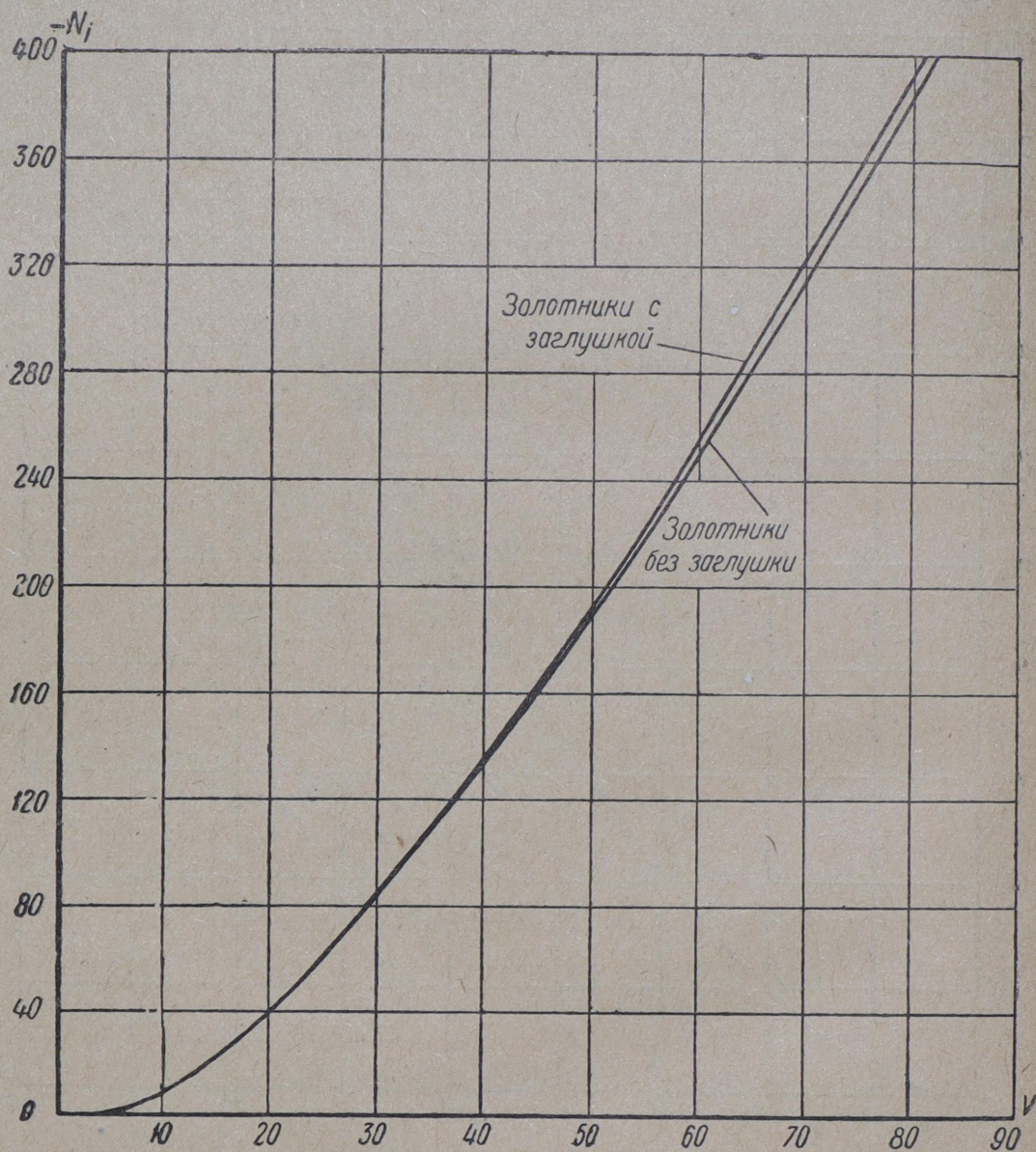
лушенной перепускной трубой. И в том и в другом случае стояли клапаны Рикюра, применяемые на серийных паровозах ФД.

На фиг. 43 представлено изменение отрицательной мощности, развиваемой в цилиндрах паровоза ФД в зависимости от скорости на беспарном ходу при золотниках с заглушенными перепускными трубами с нанесенными опытными точками, а на фиг. 44 — совмещенные кривые как при нормальной, так и при заглушенной трубе. Все опыт-



ные поездки на беспарном ходу производились со спущенным реверсом.

Из рассмотрения фиг. 44 следует, что обе кривые почти не отличаются одна от другой. Практически их можно считать совпадающими, и некоторое едва заметное расхождение можно отнести за счет точности проведения кривых. Поэтому можно считать установленным, что



Фиг. 44. Изменение отрицательной мощности, развиваемой в цилиндрах паровоза ФД на беспарном ходу в зависимости от скорости при клапанах Рикюра

двусторонний выхлоп практически не оказывает никакого влияния на отрицательную мощность паровоза на беспарном ходу и золотник при наличии перепускной трубы не может стать байпасом.

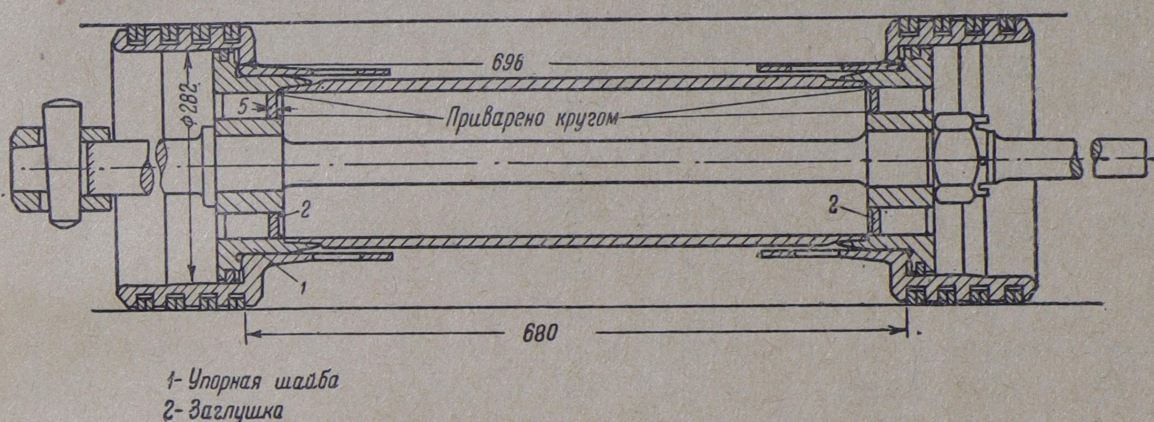
Итак, наличие перепускной трубы в золотнике паровоза ФД практически не оказывает влияния на его работу, вследствие чего наличие ее становится излишним и она может быть изъята для упрощения кон-



струкции золотника, облегчения его веса и увеличения объема золотниковой коробки.

Сказанное позволило сделать следующий практический вывод: на всех паровозах ФД, оборудованных раздвижными золотниками Трофимова типа 1936 г., при наличии большого пропуска пара во время обрыва перепускной трубы по месту приварки ее с упорной шайбой следует производить заглушку перепускной трубы путем вварки особых пластинок, см. фиг. 45.

Отказ от перепускной трубы позволил изобретателю Трофимову запроектировать раздвижной золотник для паровоза ФД облегченного типа. Общий вид этого золотника представлен на фиг. 46. В дальнейшем мы будем его называть раздвижным золотником типа 1938 г.



Фиг. 45. Общий вид золотника Трофимова с заглушкой перепускной трубы

Он весит всего лишь 120 кг против 152 кг золотника типа 1936 г., и более прост по своей конструкции.

В 1938 г. по заказу НКПС Ворошиловградский паровозостроительный завод выпустил четыре паровоза ФД с такими золотниками: 20-1815, 20-1980, 20-1985 и 20-1995, которые поступили для эксплуатационной работы в депо Красной Лиман-север Северо-Донецкой ж. д.

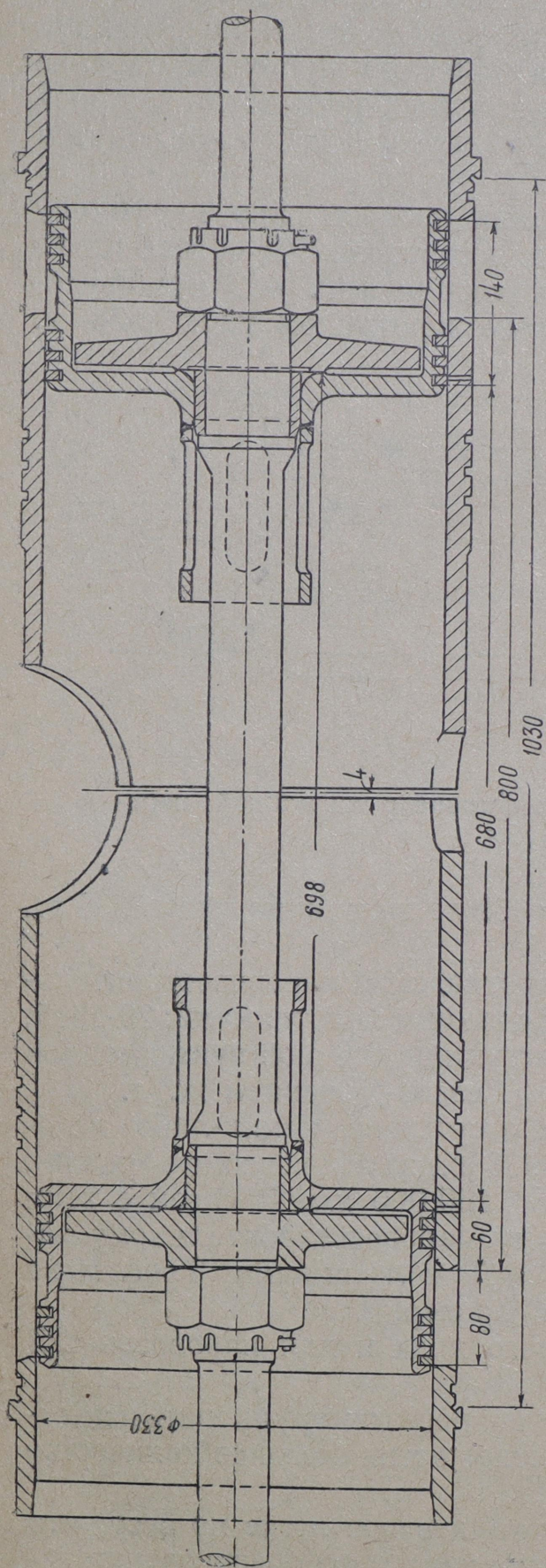
Работа этих паровозов показала отсутствие каких-либо недостатков в золотниках Трофимова типа 1938 г., за исключением трещин, появившихся в дисках после пробега 150 000 км. В связи с этим НКПС предложил Ворошиловградскому паровозостроительному заводу оборудовать еще 30 паровозов ФД золотниками Трофимова для более широкой эксплуатационной проверки.

Таким образом, проблема беспарного хода и для паровозов ФД в дальнейшем будет решена.

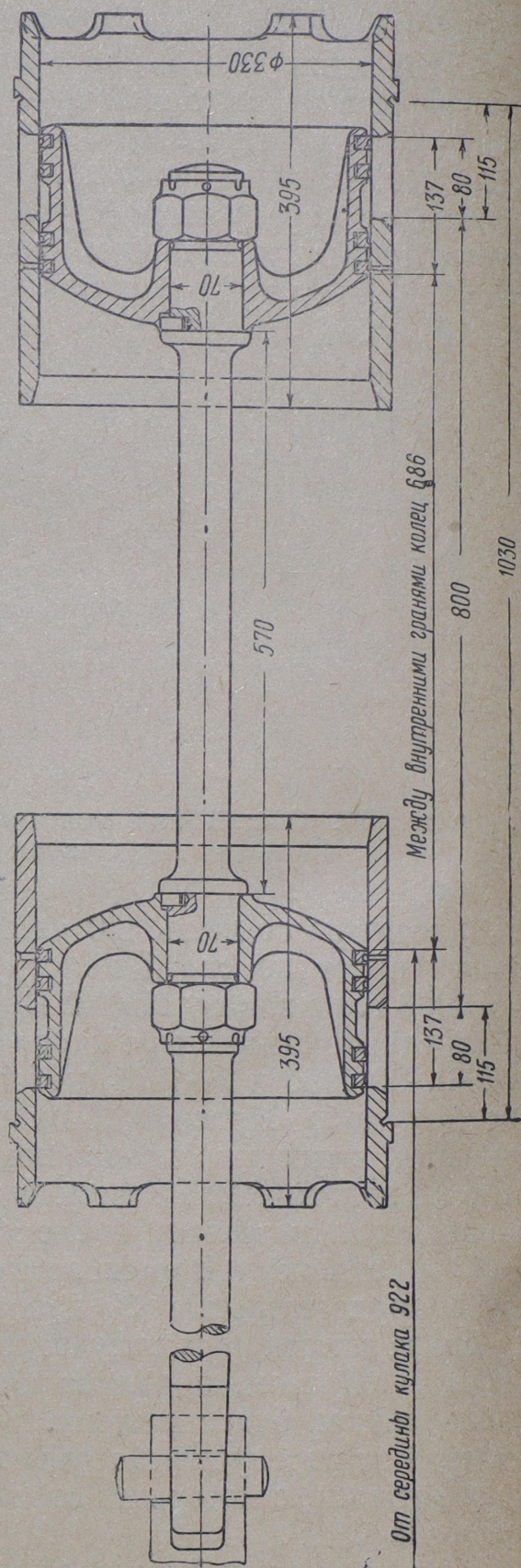
Отказ от перепускной трубы позволяет переконструировать и жесткие золотники, с которыми сейчас работает очень большое количество паровозов ФД.

При этом может быть получен золотник вдвое легче по весу, что значительно уменьшит инерционные усилия в парораспределительном механизме и увеличит срок службы как деталей этого механизма, так и золотниковых втулок.





Фиг. 46. Общий вид золотника Трофимова типа 1938 г. (облегченный, без перепускной трубы)



Фиг. 47. Общий вид жесткого золотника без перепускной трубы для паровоза ФД



Такой золотник по типу немецкого золотника Schihiau — Volf<sup>1</sup> разработан конструкторской группой НИИЖТ для эксплуатационных испытаний.

Ворошиловградский паровозостроительный завод такими золотниками оборудовал паровоз 2-3-2 и паровоз ФД с конденсацией пара. Общий вид этого золотника представлен на фиг. 47.

### ГЛАВА III

## ЕЗДА ПО СИСТЕМЕ «ДРИФТИНГ»

### 1. Сущность езды

Итак, применяя раздвижные золотники Трофимова типа 1938 г., мы радикально решаем проблему беспарного хода паровоза ФД. Но выпуск паровозов с этими золотниками следует ожидать не ранее чем в 1941 г., а до тех пор все новые паровозы ФД будут выпускаться с жесткими золотниками и клапанами Рикюра. Вместе с прежде выпущенными паровозами это составляет солидную цифру.

Все эти паровозы требуют проведения мероприятий, улучшающих беспарный ход и без раздвижных золотников Трофимова.

Выше было указано, что создание для паровозов ФД условий для благоприятной работы на беспарном ходу — дело первостепенной важности, так как паровозам ФД приходится делать 20 — 25% (а иногда на горных участках и 50%) своего пробега без пара.

После тщательного рассмотрения этого вопроса мы пришли к выводу, что для улучшения беспарного хода при жестких золотниках следует применять при закрытом регуляторе езду по способу «дрифтинг», т. е. езду с впуском в цилиндры некоторого количества насыщенного пара.

Сущность такой езды заключается в том, что после закрытия регулятора при помощи автоматически действующего клапана небольшое количество насыщенного пара начинает поступать в цилиндры паровоза.

Этот пар, расширяясь, заполняет увеличивающийся объем полости цилиндра и тем самым в значительной степени исключает возможность образования в цилиндрах вакуума. При этом уменьшается отрицательная работа, сокращается возможность засоса газов, а также возможность образования нагара от смазки, что сохраняет золотниковые и цилиндровые кольца и втулки от преждевременного износа.

Кроме того, насыщенный пар, поступающий в цилиндры, является до некоторой степени смазкой, что опять-таки благоприятно отражается на трущихся поверхностях.

Одновременно этот пар обогревает стенки цилиндров, в особенности зимой, от чрезмерного остывания, которое способствует образованию в цилиндрах трещин и вызывает при открытии регулятора большую начальную конденсацию, а значит, и расход пара.

<sup>1</sup> Проф. Карташев. Курс паровозов. Т. II, стр. 139.



Такой способ езды с клапаном «дрифтинг» получил широкое распространение на дорогах США и Канады. Но, к сожалению, на наших паровозах ФД нет автоматически действующего клапана «дрифтинг», выпускающего насыщенный пар в цилиндр при езде с закрытым регулятором.

Поэтому для паровозов ФД может быть предложен способ езды по спускам (беспарный ход) с открытием регулятора на разгрузочный клапан и, конечно, при спущенном реверсе.

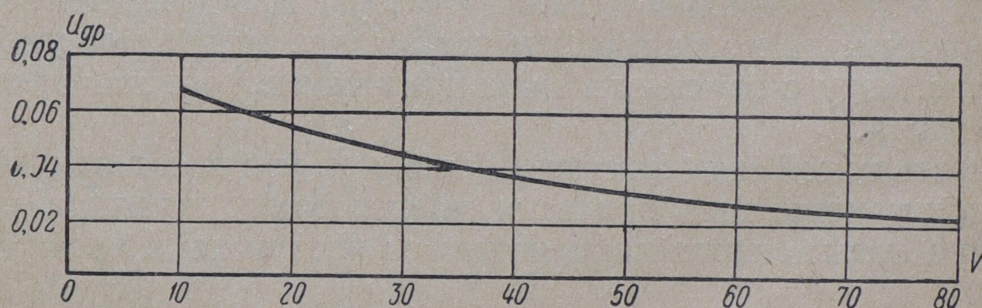
При нашем способе, в отличие от американского, пар в цилиндры поступает не насыщенный, а осушенный и возможно слегка перегретый, так как он будет поступать в цилиндры только после прохождения элементов пароперегревателя.

В остальном сущность явления остается одной и той же. Хотя выпуск насыщенного пара более целесообразен, однако отсутствие специальных клапанов «дрифтинг» и невозможность быстрого оборудования ими всех паровозов ФД делает езду с открытием регулятора на разгрузочный клапан заслуживающей внимания.

## 2. Результаты испытаний

Для проверки способа езды по спускам с открытием регулятора на разгрузочный клапан и выявления расходов пара при этом были произведены специальные опыты на паровозе ФД 20-107.

Во время этих опытов кроме определения расхода пара, так же как и при исследовании других приборов беспарного хода, производилось



Фиг. 48. Расход пара в кг на один ход поршня в зависимости от скорости при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

индицирование работы цилиндров для определения отрицательных мощностей. Эти испытания, как и все предыдущие, производились на опытном кольце НИИЖТ.

Во время опытов паровоз ФД 20-107 с динамометрическим вагоном ставился сзади ведущего паровоза, который, следуя во главе такого поезда, поддерживал постоянную заданную скорость в зависимости от условий опытной поездки.

На опытном паровозе ФД 20-107 в это время регулятор открывался на разгрузочный клапан, реверс спускался вперед доотказа, и такое положение сохранялось во все время опытной поездки.

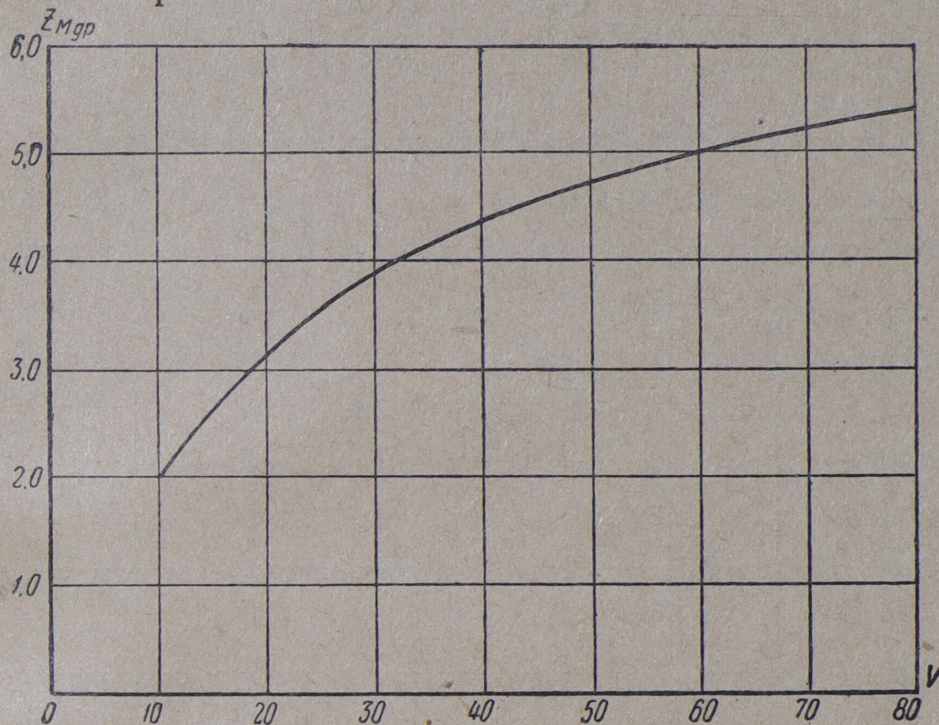
Для сокращения времени опытов и для получения большей



точности в обмерах расход пара при этом определялся только по расходу воды из котла, замеряемой в начале и конце опытной поездки по калиброванным водомерным стеклам.

Таким образом, продолжительность опытной поездки определялась расходом из котла полного водомерного стекла воды.

Во время каждой поездки на обоих цилиндрах, производилась съемка не менее десяти индикаторных диаграмм, которые в дальнейшем подвергались обработке.



Фиг. 49. Машинная форсировка котла  $z_m$  в зависимости от скорости  $V$ , получаемая при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

Такие опытные поездки были произведены при различных скоростях—от 10 до 80 км/час.

Обработка полученного материала дала следующие результаты.

На фиг. 48 представлен расход пара на один ход поршня машины паровоза ФД 20-107 в зависимости от скорости при езде с открытым регулятором на разгрузочный клапан, а на фиг. 49 — получаемая при этом машинная форсировка котла. По этим величинам легко определился часовой расход пара на машину, как

$$U_{др} = z_{m.др} \cdot H$$

или

$$U_{др} = 4 \frac{1000 \cdot V}{\pi D} u_{др},$$

где  $U_{др}$  — часовой расход пара машиной паровоза при езде с открытым регулятором на разгрузочный клапан;

$u_{др}$  — расход пара на один ход поршня при этих условиях;

$V$  — скорость;

$D$  — диаметр сцепных колес в метрах;

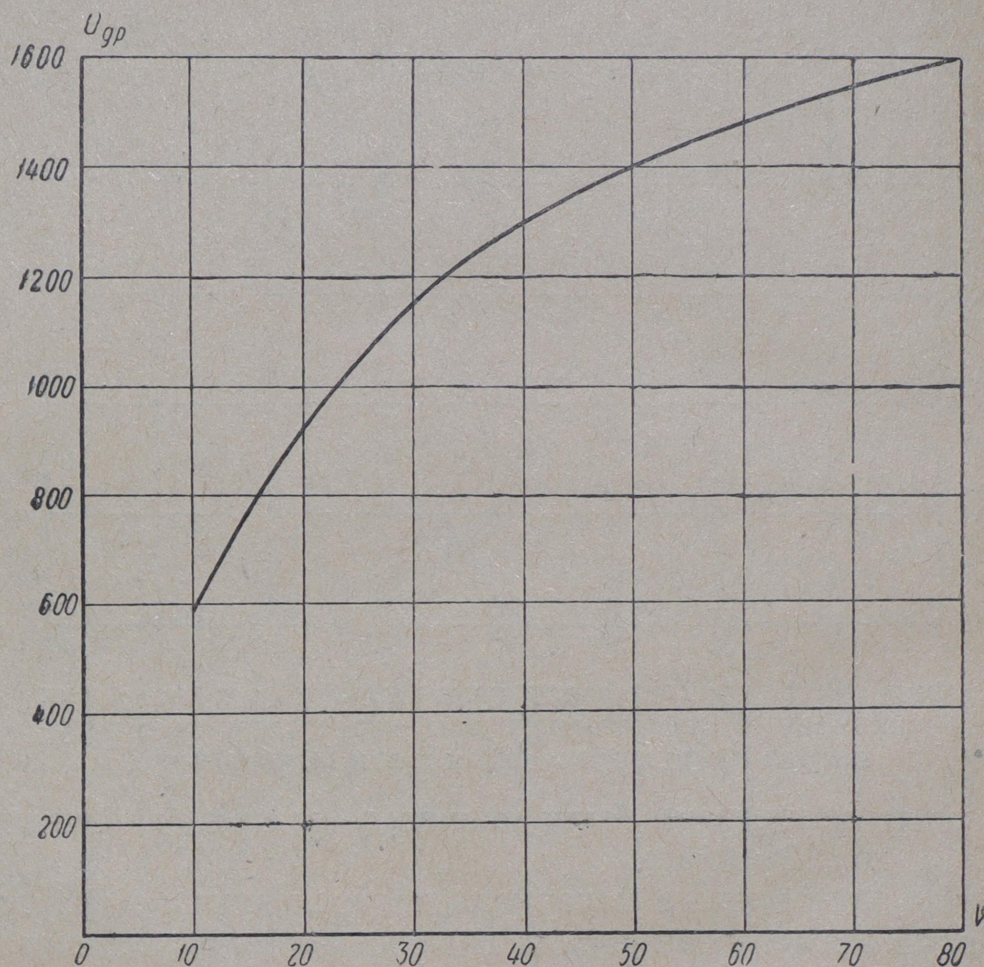
$H$  — испаряющая поверхность нагрева котла в м.



Изменение часового расхода пара на машину при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан в зависимости от скорости дано на фиг. 50. В дальнейшем для сокращения будем называть езду с открытием регулятора на разгрузочный клапан ездой по способу «дрифтинг».

По данным часового расхода пара  $U_{др}$  легко получить расход пара на 1 км пройденного пути при данной скорости —  $b_{др}$ .

$$b_{др} = \frac{U_{др}}{V} = 4 \frac{1000}{\pi D} u_{др}.$$



Фиг. 50. Часовой расход пара в зависимости от скорости при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

Изменение величины  $b_{др}$  в зависимости от скорости представлено на фиг. 51. Этот график назовем эксплуатационной расходной характеристикой «дрифтинга». Имея зависимость  $b_{др} = f(V)$ , зная путь, проходимый при закрытом регуляторе, среднюю скорость прохождения этого пути (эти данные можно получить из диаграмм  $V = f(s)$  и  $t = f(s)$ , получаемых при тяговых расчетах), легко подсчитать расход пара на «дрифтинг», что очень важно знать для подсчетов расхода воды, а также при нормировании расходов топлива.

Таковы расходные характеристики езды по системе «дрифтинг». Но сами по себе они еще ни о чем не говорят. Следует посмотреть,



как же отражается впуск пара в цилиндр на вредных сопротивлениях, и сравнить последние с данными беспарного хода при оборудовании паровоза различными приборами беспарного хода.

Выше указывалось, что во время опытных поездок производилось индицирование работы машины паровоза. Для получения более точных индикаторных диаграмм последние снимались индикаторами с масштабом  $m = 30$  или  $m = 20$  мм в зависимости от скоростей опытных поездок.

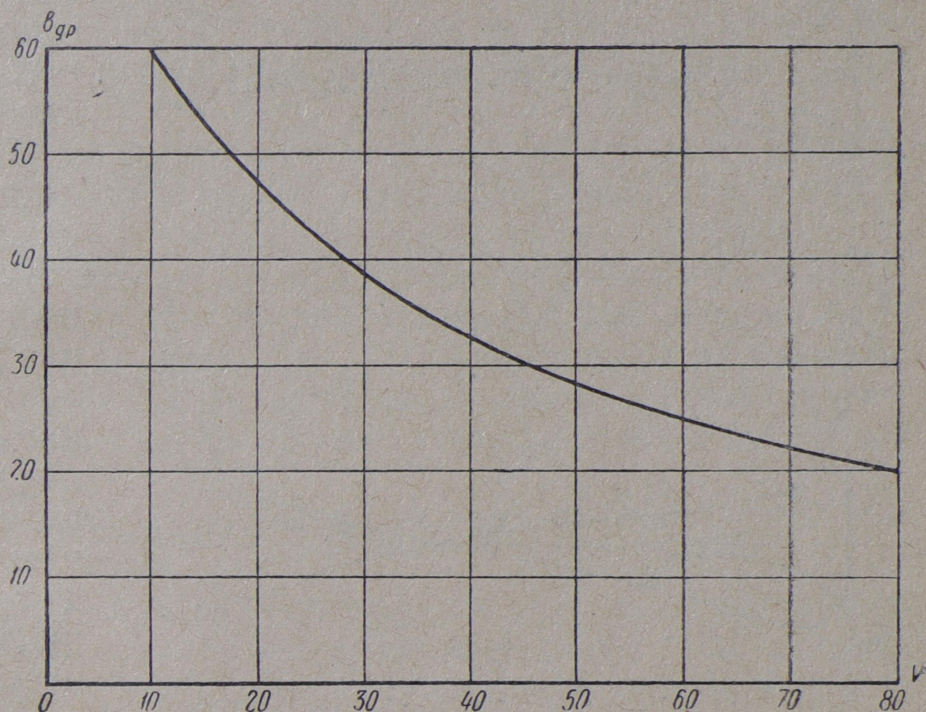
На фиг. 52 приведены некоторые образцы индикаторных диаграмм, снятых на различных скоростях при езде по способу «дрифтинг». Из анализа индикаторных диаграмм устанавливаем, что на малых скоростях

(например, при скорости  $V = 17,0 \text{ км/час}$ ) индикаторная диаграмма при «дрифтинге» имеет обычный вид диаграммы, снятой при езде с паром. Все фазы на ней отчетливо видны.

Из этой диаграммы видно, что пар, вpuщенный в цилиндр, совершает положительную работу. По мере увеличения скорости индикаторная диаграмма при «дрифтинге» начинает менять свой вид: во-пер-

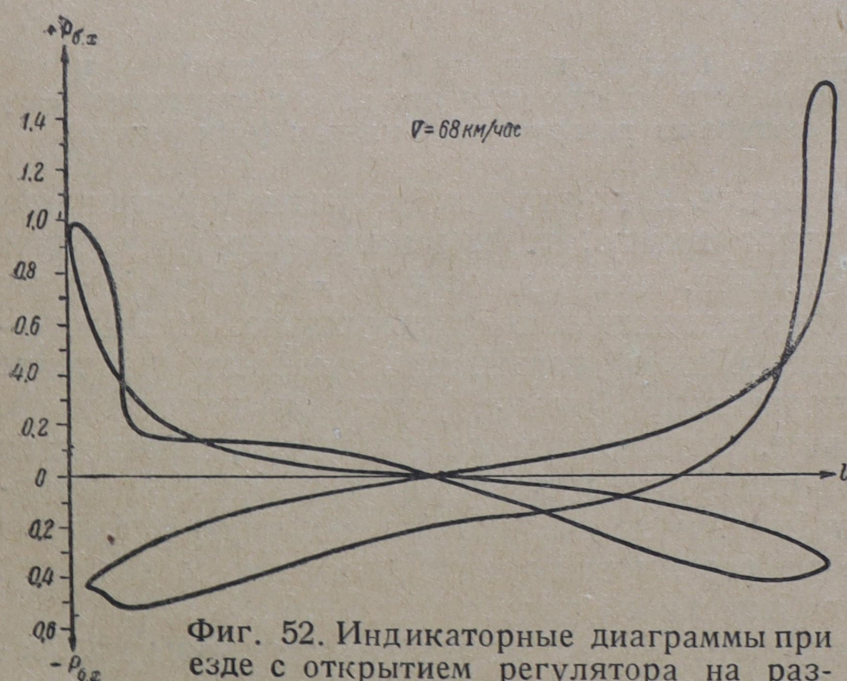
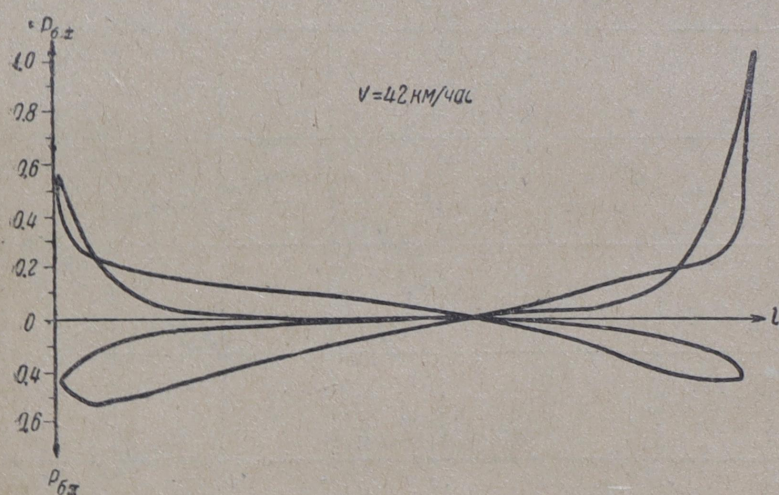
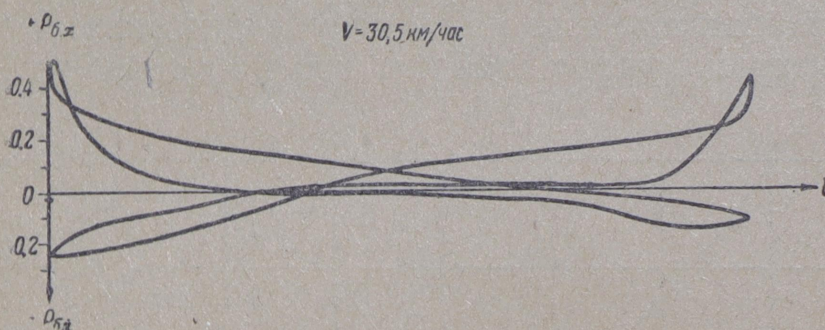
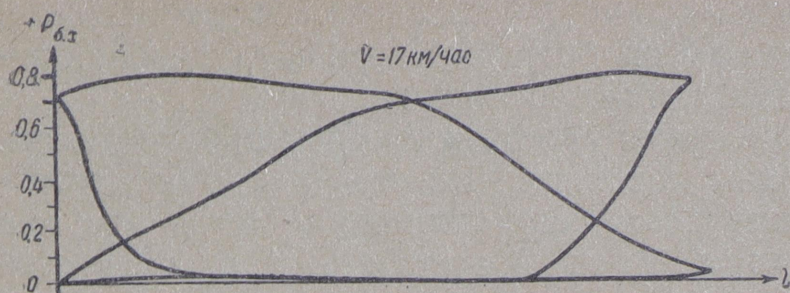
вых, на ней появляются петли, а во-вторых, давление в цилиндрах начинает падать ниже атмосферного, т. е. в цилиндрах образуется разрежение. Однако, например, при скорости  $V = 30,5 \text{ км/час}$  все же в общей сложности пар дает хотя и незначительную, но положительную работу. При дальнейшем повышении скорости давление сжатия оказывается значительно больше давления впуска пара, петли значительно больше, разрежение увеличивается, появляется отрицательная работа. И чем больше скорость, тем больше индикаторная диаграмма «дрифтинга» не похожа на обычную паровую диаграмму, а все более по своему виду приближается к обычной индикаторной диаграмме беспарного хода.

Таким образом, выявляется, что впуск пара в цилиндры на беспарном ходу до некоторой скорости не только локализует разрежение в цилиндрах, но даже создает положительную работу.



Фиг 51. Расход пара на 1 км пройденного пути в зависимости от скорости при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)





Фиг. 52. Индикаторные диаграммы при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

Затем, с увеличением скорости начинает не хватать поступающего в цилиндры пара: он не успевает заполнять быстро увеличивающийся объем цилиндров.

В цилиндрах образуется разрежение, и дальнейшая фаза процесса, происходящего в цилиндрах, будет аналогична процессу беспарного хода при обычных клапанах.

В самом деле, при открытии золотником окна на предварение впуска при положении поршня в мертвой точке пар устремляется в цилиндр. При продвижении поршня к противоположному мертвому положению впуск пара в цилиндр продолжается до закрытия окна золотником, т. е. до 0,65 хода поршня, поскольку реверс у нас спущен до отказа. Однако давление пара при впуске невелико, и поступление его в цилиндр при больших скоростях явно недостаточно, пар не успевает заполнять увеличивающийся объем цилиндра, и давление в нем начинает понижаться, опускаясь ниже атмосферного, отчего образуется вакуум и цилиндр превращается в компрессор. После закрытия золотником



окна, т. е. после отсечки, наступает расширение пара, т. е. дальнейшее понижение давления в цилиндре, дальнейший вакуум. При предварении выпуска золотник открывает окно и тем самым сообщают полость цилиндра через конус с дымовой коробкой. Горячие газы устремляются в цилиндр, давление в нем повышается. В последующей фазе выталкивания давление в цилиндре повышается выше атмосферного и при сжатии достигает значительной величины, превосходящей давление находящегося в золотниковой коробке пара, вследствие чего с момента предварения впуска давление в цилиндре вновь падает. Далее процесс начинает повторяться.

Из рассмотренного процесса изменений давления в цилиндре следует, что площадь индикаторной диаграммы дает в этом случае отрицательную работу. С увеличением скорости давление в цилиндрах понижается больше, что и видно из сравнения приведенных образцов индикаторных диаграмм.

Однако сравнение индикаторных диаграмм при езде по способу «дрифтинг» с индикаторными диаграммами беспарного хода при всех разобранных выше приборах беспарного хода, за исключением золотников Трофимова, показывает, что отрицательная работа, т. е. сопротивление машины при «дрифтинге», значительно меньше; меньше также и абсолютные значения величин давления при сжатии и разрежении.

Для полного уничтожения отрицательной работы следует с увеличением скорости увеличивать количество впускаемого в цилиндры пара.

Но при открытии регулятора только на разгрузочный клапан увеличить впуск пара нельзя.

В самом деле, при открытии разгрузочного клапана регулятора пар в цилиндры может попасть исключительно через зазоры между разгрузочными дисками клапанов регулятора и отверстиями в камере регуляторной коробки. А так как разгрузочные диски и направления в коробке делаются по четвертому классу точности, то величина этого зазора может быть от 0,4 до 0,9 мм.

Принимая в среднем этот зазор 0,7 мм, будем иметь его сечение  $\omega = 0,000098 \text{ м}^2$ .

Считая далее, что пар проходит через зазор с критической скоростью, определим расход его по формуле Бендемана

$$g = 203 \psi \omega \sqrt{\frac{p}{v}} \text{ м/сек},$$

где  $\psi$  — коэффициент потери скорости — может быть принят от 0,5 до 0,8;

$p$  — давление пара перед входом в зазор;

$v$  — удельный объем пара;

$\omega$  — площадь зазора.

Если считать, что потери давления пара при проходе разгрузочного клапана и элементов пароперегревателя составят 0,5 — 0,6 ат,



то давление пара в разгрузочной камере перед зазором можно принять равным

$$p = 15,4 \text{ ат.}$$

Если насыщенный пар из котла, проходя через элементы пароперегревателя, только подсушится, то удельный объем его будет равен

$$v = 0,1264 \text{ м/кг.}$$

Тогда через зазоры четырех разгрузочных дисков может попасть в цилиндры пара

$$g = 4 \cdot 203 \cdot 0,5 \cdot 0,000098 \sqrt{\frac{15,4}{0,1264}} \cdot 3600 = 1600 \text{ кг/час.}$$

Это и есть максимально возможный расход пара через зазоры.

Практически он может быть и еще меньше.

При скорости 80 км/час у нас расход пара машиной как раз и составляет это количество.

Следовательно, большего количества пара при открытии разгрузочного клапана регулятора в цилиндры впустить нельзя, а значит, уменьшить отрицательную работу на беспарном ходу при этом тоже невозможно. Для дальнейшего уменьшения отрицательной работы необходимо спроектировать особый клапан, который давал бы в цилиндры количество пара в зависимости от скорости, дросселируя его до необходимого давления.

Однако отсутствие пока такого клапана не опирачивает способа езды по спускам с открытием регулятора на разгрузочный клапан, так как и при этом положении все же имеем значительное уменьшение сопротивления паровоза как машины.

Попытаемся выявить величины сопротивления, получаемые при этом.

Снятые во время опытных поездок индикаторные диаграммы позволили определить отрицательную мощность, развивающуюся в цилиндрах паровоза ФД 20-107.

Все индикаторные диаграммы планиметрировались, а затем находилось среднее индикаторное давление. Вышеприведенный анализ индикаторных диаграмм показывает, что в данном случае понятие «среднее индикаторное давление» несколько условно, так как если на малых скоростях оно характеризует процессы, происходящие с паром, к которым собственно и относится это понятие, то на больших скоростях в связи с образованием вакуума оно характеризует вообще давление в цилиндре и является средним результирующим давлением.

По подсчитанным средним индикаторным давлениям для опытных точек легко определить и отрицательные мощности, развивающиеся в цилиндрах паровоза при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан в зависимости от скорости.

Имея опытные значения среднего индикаторного давления  $p_i$  мы определили вначале силу тяги, развиваемую в цилиндрах, т. е.



$$F_i = \frac{\left(d^2 - \frac{d_{ш}^2}{2}\right) l}{100 D} p_i,$$

где  $F_i$  — сила тяги по цилиндрам;

$d$  — диаметр цилиндра;

$d_{ш}$  — » штока;

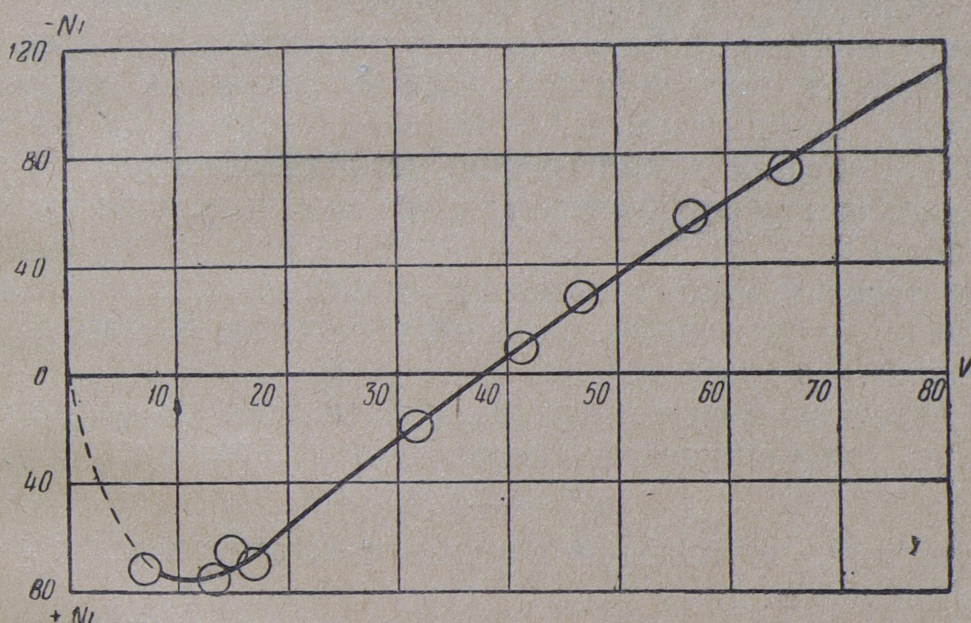
$D$  — » колес;

$l$  — ход поршня;

$p_i$  — индикаторное давление,

а затем и мощность из выражения

$$N_i = \frac{F_i V}{270}.$$



Фиг. 53. Отрицательная мощность, развиваемая в цилиндрах паровоза ФД при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

Изменение мощности в зависимости от скорости дано на фиг. 53.

Из рассмотрения этой фигуры следует, что пар, попадая в цилиндры при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»), создает положительную работу, доходящую при скорости 10 км/час до 75 ЛС и убывающую с увеличением скорости.

Только при скорости свыше 38 км/час в цилиндрах начинает появляться отрицательная работа, а значит, и тормозящее усилие на ободе колеса.

Эта отрицательная работа при скорости 80 км/час достигает 112 ЛС, оставаясь все же меньше отрицательной работы в цилиндрах на этой скорости при всех клапанах беспарного хода.

Таким образом, впущенный в цилиндры пар до скорости 38 км/час совершает положительную работу, а при скоростях выше 38 км/час он уменьшает вредное сопротивление, возникающее в цилиндре как



в компрессоре. Фиг. 53 по сравнению с фиг. 34 достаточно наглядно доказывает пользу впуска пара в цилиндры при езде с закрытым регулятором.

Остается определить удельное сопротивление паровоза как машины при езде по системе «дрифтинг», которое необходимо для производства тяговых расчетов.

Выше было указано, что для определения удельного сопротивления паровоза как повозки, а также и для определения суммарного удельного сопротивления паровоза как повозки и как машины при закрытом регуляторе необходимо произвести скатывание паровоза.

Скатывания паровоза ФД при «дрифтинге» не производилось, поэтому определение величины попытаемся сделать, используя предыдущие скатывания паровоза ФД.

В самом деле, сопротивление паровоза как машины при закрытом регуляторе складывается из двух величин:

1) из сопротивления, возникающего в цилиндрах паровоза вследствие превращения последних при езде с закрытым регулятором в своеобразный компрессор, и

2) из сопротивлений от сил трения, возникающих во всех шарнирах движущего и парораспределительного механизмов во время движения паровоза.

Сюда же относим и сопротивления от сил трения, возникающих между поршнем и цилиндром, скалкой и сальником, поползушками и параллелями.

Первая часть совершенно точно определяется по индикаторной диаграмме и характеризуется отрицательной величиной  $f_i$ , т. е.

$$w_i' = -f_i,$$

где  $f_i$  — сила тяги, развиваемая в цилиндрах, отнесенная к 1 т веса паровоза с тендером.

Вторую же часть непосредственно определить не можем.

Во всяком случае ясно только одно, что она зависит не только от скорости, но и от сил, действующих на механизм, т. е. в конечном итоге от  $w_i'$ .

Следовательно, удельное сопротивление паровоза как машины при закрытом регуляторе  $w_z$  будет равно

$$w_z = w_i' + w'_m,$$

где  $w_i'$  — удельное сопротивление паровоза от сил, возникающих в цилиндрах, а

$w'_m$  — удельное сопротивление от сил трения, возникающих в механизмах.

Но, с другой стороны, если для какого-либо случая нам известны  $w_z$  и  $w_i'$ , то  $w'_m$  определяется исключением, т. е.

$$w'_m = w_z - w_i'.$$

В нашем случае для определения величины  $w_z$  при езде по способу «дрифтинг» имеем только величину  $w_i'$ .

Величину  $w'_m$  мы вынуждены взять из другого какого-либо случая, когда известны величины  $w_z$  и  $w_i'$ .



Выше нами изложен анализ работы паровоза ФД при различных приборах беспарного хода, причем при некоторых приборах беспарного хода для анализа их работы имелись и индикаторные диаграммы, т. е. величины  $w'_i$  и скатывание паровоза, непосредственно определенные величины  $w_z$ .

Эти данные имеем при клапанах Рикюра и при золотниках Трофимова.

Следовательно, определив величину

$$w'_m = w_z - w'_i.$$

для этих случаев, можно затем распространить ее и для «дрифтинга».

Но величина  $w'_m$  при всех прочих равных условиях зависит от тех усилий и давлений, которые возникают в цилиндрах паровоза во время движения, так как эта величина характеризуется работой сил трения, зависящих от давления.

Следовательно,  $w'_m$  может быть разной для клапанов Рикюра и для золотников Трофимова. Так как отрицательная мощность при «дрифтинге» ближе подходит к таковой при золотниках Трофимова, то величину  $w'_m$  следует взять по данным, полученным при золотниках Трофимова.

Конечно, все же получим некоторую неточность, так как величина  $w'_m$  зависит не столько от мощности, сколько от усилий и характера их изменений за оборот колеса, которые при золотниках Трофимова и при «дрифтинге» будут различны; это ясно видно из сопоставления индикаторных диаграмм, снятых в обоих случаях; но ошибка эта будет незначительна.

Таким образом, величина удельного сопротивления паровоза с тендером как машины при закрытом регуляторе при «дрифтинге» равна

$$w_z = w'_i + [w'_m]_{з.т}, \quad (24)$$

где  $[w'_m]_{з.т}$  — величина сопротивлений механизмов при золотниках Трофимова на беспарном ходу.

Для ее определения воспользуемся величиной  $w_z$  при золотниках Трофимова, которую подсчитаем по формуле  $w_z = 0,7 - 0,04 V + 0,0009 V^2$  или же возьмем из графика фиг. 11, а величину  $w'_i$  как для золотников Трофимова, так и для «дрифтинга» определим по различным значениям отрицательной мощности из фиг. 34 и 53 как

$$w'_i = -f_i = -\frac{N_i 270}{VP} = -1,14 \frac{N_i}{V}, \quad (25)$$

где  $N_i$  — отрицательная мощность при «дрифтинге» и золотниках Трофимова при соответствующей скорости из фиг. 34 и 53;

$P$  — расчетный вес паровоза ФД с тендером, равный 234 т.  
Все сделанные подсчеты сводим в табл. 8.



Таблица 8

Золотники Фимова	Скорости	10	20	30	40	50	60	70	80	Примечание
	Величины									
	— $N_i$ ЛС	—	—	— 2	— 9	22,0	— 40	— 65	— 96	Из фиг. 34 $w'_i = -1,14 \frac{N_i}{V}$ $w_z = 0,7 - 0,04V + 0,0009 V^2$ $w'_m = w_z - w'_i$
	$w'_i$ кг/т	—	—	0,08	0,26	0,50	0,77	1,07	1,39	
	$w_z$ »	0,39	0,26	0,31	0,54	0,95	1,54	2,31	3,25	
	$w'_m$ »	0,39	0,26	0,23	0,27	0,45	0,77	1,24	1,86	
«Дрифтинг»	— $N_i$ ЛС	+75	+58	+28	—5	—34	—62	—87	—111	Из фиг. 53 $w'_i = -fi = -1,14 \frac{N_i}{V}$ $w_z = w'_i + w'_m$ $w'_0 = 1,8 + 0,025V + 0,00017 V^2$
	$w'_i$ кг/т	—8,6	—3,4	—1,0	0,14	0,73	1,18	1,43	1,59	
	$w'_m$ »	0,39	0,26	0,23	0,27	0,45	0,77	1,24	1,86	
	$w_z$ »	—8,2	3,10	—0,8	0,4	1,25	1,95	2,65	3,45	
	$w'_0$ »	2,07	2,34	2,70	3,70	3,48	3,91	4,38	4,89	
	$w'_0 + w_z$ кг/т	—6,1	—0,8	1,9	3,5	4,7	5,8	7,0	8,3	

Величины  $w_z$  и  $(w'_0 + w_z)$  для «дрифтинга» нанесены на фиг. 54, которой и надлежит пользоваться при тяговых расчетах, при учете езды по способу «дрифтинг».

Из рассмотрения фиг. 54 следует, что пар, попадающий в цилиндры через зазоры в направляющих дисках регуляторных клапанов, до скорости 22,5 км/час не только своей работой поглощает все вредные сопротивления в машине и экипаже паровоза, но еще создает движущую силу, а до скорости 36,5 км/час поглощает вредные сопротивления только в машине.

Приведенный выше материал о езде по спускам с открытием регулятора на разгрузочный клапан показывает преимущество этого способа езды на беспарном ходу.

Лучшие машинисты стахановцы-кривоносовцы в своей повседневной практической работе также усвоили преимущества езды по системе «дрифтинг», и сейчас этот способ езды по спускам с открытием регулятора на разгрузочный клапан получил широкое распространение на дорогах им. Ф. Э. Дзержинского, Южной и др.

Необходимо только его узаконить и обязать всех машинистов на паровозах ФД с нераздвижными золотниками ездить по спускам непременно с открытием регулятора на разгрузочный клапан.

Остается в заключение добавить, что анализ беспарного хода, произведенный для паровоза ФД, целиком и полностью может быть перенесен и на родственный ему паровоз ИС.

### Выводы и заключение

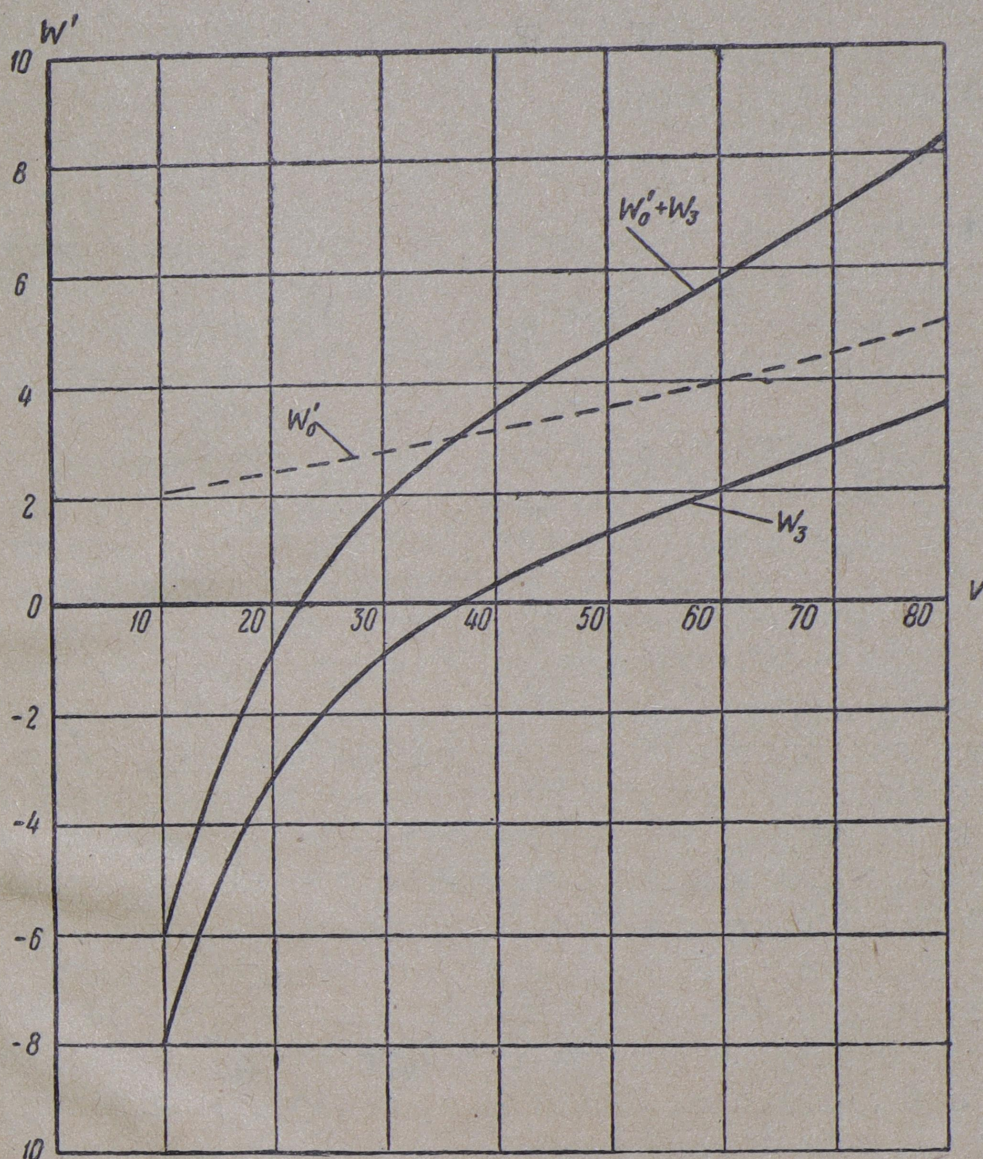
Вышепроизведенный анализ сопротивлений движению паровоза ФД позволяет сделать следующие выводы.

1. Рассчитывать величины удельных сопротивлений паровоза ФД как повозки  $w'_0$  по распространенной формуле  $w'_0 = 1,5 + 0,05V$  нельзя. Эта формула не применима для паровоза ФД, так как не от-



ражает точно природу основного сопротивления (нет члена с квадратом скорости) и дает завышенные результаты.

2. Рекомендовать дорогам удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути при тяговых



Фиг. 54. Удельное сопротивление паровоза с тендером как машины  $w_3$  и сумма удельных сопротивлений как повозки и как машины при езде с открытием регулятора на разгрузочный клапан («дрифтинг»)

расчетах определять по данным испытаний, приведенным на планшете фиг. 9, или же по формуле

$$w'_0 = 1,8 + 0,025 V + 0,00017 V^2.$$

3. Суммарное удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и как машины при езде с закрытым регулятором ( $w'_0 + w_3$ ) в действительности оказалось также меньше, чем подсчитываемое по формулам, полученным на основе испытаний старых паровозов и рекомендуемым проектом правил тяговых расчетов.



4. Суммарное удельное сопротивление паровоза ФД с тендером как повозки на прямом и горизонтальном пути и как машины при езде с закрытым регулятором ( $w_0' + w_3$ ) при тяговых расчетах следует брать по кривым фиг. 9 или же подсчитывать по формулам: при нераздвижных золотниках

$$(-w_0' + w_3) = 2,1 + 0,157 V;$$

при раздвижных золотниках.

$$(w_0' + w_3) = 2,7 - 0,013 V + 0,001 V^2.$$

5. Испытанные на паровозе ФД беспарного хода клапаны Рикюра, Пирина, байпасы Гендри не разрешают проблемы уменьшения вредных сопротивлений при езде без пара и обладают к тому же рядом недостатков, которые затрудняют нормальную эксплуатацию паровозов ФД.

6. Золотники Трофимова типа 1936 г., изготовленные Ворошиловградским заводом, хотя и создают благоприятные условия для беспарного хода, все же обладают рядом недостатков конструктивного порядка (пропуск пара, обрыв трубы, заедание дисков и т. д.), которые сводят на-нет положительные качества золотников Трофимова как байпасов и поэтому в таком виде применяться не могут.

7. Перепускная труба, примененная как на жестких, так и на раздвижных золотниках типа 1936 г. паровозов ФД для двустороннего выхлопа, практически не оказывает влияния ни на байпасирование, ни на индикаторный коэффициент, вследствие чего от нее можно отказаться, упростив тем самым конструкцию золотников.

8. В связи с этим необходимо применять золотники Трофимова без перепускной трубы; с ее изъятием отпадает основной недостаток этих золотников: обрыв трубы и большой пропуск пара.

Этот вывод в последующем целиком подтвердился опытной эксплуатацией в депо Красный Лиман четырех паровозов с золотниками Трофимова без перепускной трубы.

9. На всех существующих золотниках Трофимова типа 1936 г. для паровозов ФД, имеющих пропуск пара через обрываемую перепускную трубу, необходимо произвести установку заглушек в упорных шайбах, как это предусматривается фиг. 45.

10. Для всех паровозов ФД, имеющих жесткие золотники, вследствие неудовлетворительной работы клапанов Рикюра рекомендовать езду по спускам по системе «дрифтинг», т. е. езду с открытым регулятором на разгрузочный клапан.

11. При заводском ремонте паровозов ФД рекомендовать производить замену жестких золотников с перепускной трубой золотниками облегченного типа по фиг. 47.

12. Все выводы относительно беспарного хода, двустороннего выхлопа и езды по способу «дрифтинг» необходимо распространить и на паровозы ИС.